

PISCES-2DELKによる原型炉耐衝撃詳細解析〔I〕

耐衝撃詳細解析手法の開発

1984年2月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

PISCES-2DELKによる原型炉耐衝撃詳細解析〔I〕

耐衝撃詳細解析手法の開発

石川 眞* 齊藤正樹* 南 一生**

要 旨

本報告書は、昭和56年度に導入した流体-固体相互作用による構造材非線形・大変形挙動解析コード PISCES-2 DELK の、原型炉「もんじゅ」の仮想的炉心崩壊事故時の原子炉容器耐衝撃応答評価への適用手法を、基礎的な面から検討した結果をまとめたものである。ここでは、「もんじゅ」固有の詳細な構造に関わる諸問題には立ち入らずに、むしろ一般的な原型炉級の耐衝撃解析という観点からその検討項目を選択した。従って本報告書で検討された結果は汎用的なものであり、広く耐衝撃解析に応用する事ができる。

検討方法としては、本報告書では3つの段階的なアプローチを採用した。

第1のステップでは、まず理論解または実験結果のある一般的な流体力学的・構造的諸問題を基本例題として、その解析結果を検討した。

第2のステップでは、特に原子炉容器耐衝撃に関する諸問題を解析するために必要な PISCES コードの各種機能の詳細検討及び感度解析を行なった。内容は、数値解析手法に関する項目、体系・材料のモデル化に関する項目、PISCES-2 DELK コードの固有機能に関する項目に分けられる。ここでは計算時間節約のため、APRICOT のベンチマークで使用された CRBR の 1/30 スケール耐衝撃試験体系を基に解析を実施したが、幾つかの特殊機能の検討については、その目的に応じたモデルを作成して解析を行なった。

第3のステップでは、原型炉級の原子炉容器を対象とした耐衝撃解析を実施する際に重要な幾つかの項目について、原型炉の炉心支持板から上部を簡易的にモデル化した体系を基に、詳細な検討を行なった。ここで検討された項目の主なものは、Euler及びShellプロセッサのメッシュサイズ効果、エネルギー源及び空孔性構造物のモデル化法、エネルギー輸送モデル、キャビテーション現象などである。

本報告書でまとめられた結論は、引き続き原型炉「もんじゅ」の炉容器耐衝撃の詳細解析に有効に反映された。

* 大洗工学センター高速炉安全工学部炉心安全工学室

** ファコム・ハイタック株式会社

Feb. 1984

Analysis of Structural Response of Monju Reactor Vessel
under HCDAs using the PISCES-2DELK Code [I]

— Development of Analytical Methods —

Makoto Ishikawa*, Masaki Saito*
and Kazuo Minami**

ABSTRACT

The objective of the present study is to develop the analytical methods of the structural response of the Monju reactor vessel under Hypothetical Core Disruptive Accidents(HCDAs) by the PISCES-2DELK code which was introduced to the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation(PNC) in 1981. Most of the activities in the present study focused on the generic shock structural problems in fast breeder reactors rather than on the problems specific to the Monju reactor.

In the first stage of this study, the general hydrodynamic and/or structural behaviors were analysed and discussed for verifying the overall functions of the PISCES-2DELK code.

In the second stage, some special functions of the code were examined in detail for future use in shock structural analyses of reactor cases. The many sensitivity studies on these functions were performed based on the model of the 1/30-scale model experiment of the Clinch River Breeder Reactor(CRBR) which was also taken as one of the benchmark problems in the Analysis of Primary Containment Transients (APRICOT) program.

Finally, some important problems in the shock structural analyses of the prototype reactor vessel were studied based on a

* Reactor Safety Section, FBR Safety Engineering Division,
O-arai Engineering Center, PNC

** FACOM-HITAC Ltd.

simplified model of the Monju reactor vessel. The surveyed items include the mesh size effect of Euler and shell processors, modeling of energy source and porous material, energy transport model, cavitation model etc.

Many of the conclusions derived here are extensively applicable to many shock structural problems. The results from the present study will be effectively reflected to the subsequent in-depth analyses of the Monju reactor vessel under HCDAs.

目 次

要 旨	i
Abstract	ii
List of Tables	xi
List of Figures	xiii
第1章 緒 言	1
第2章 PISCES-2 DELK コードの概要	3
2.1 コードの概要	3
2.2 プログラムの構成	3
2.3 基礎方程式	4
第3章 基本例題による PISCES-2 DELK コードの検証	7
3.1 概 要	7
3.2 SRI 実験 FV102 体系 (APRICOT 7)	12
3.2.1 実験体系の概要	12
3.2.2 PISCES による解析モデル	12
3.2.3 解析結果の要約	13
3.2.4 実験結果と PISCES による解析結果の比較	13
3.2.5 まとめ	14
3.3 ピストンの加速	30
3.4 ガスの流入・流出	31
3.5 P- α テスト (空孔性アルミニウム)	33
3.6 円板の振動	36
3.7 鉄板の衝突	37
3.8 空孔を持つ板の応力分布	38
3.9 円筒内の温度分布	40
3.10 ノズル内の流れ	42
3.11 ブローダウン実験	44
3.12 Eulerプロセッサの結合	48
第4章 PISCES-2 DELK コードの各種機能の検討及び感度解析	49
4.1 まえがき	49
(A. 数値解析手法に関する項目)	52

4.2	タイムステップ	52
4.3	人工粘性	56
4.4	ブレンディング	59
4.5	数値カットオフ	61
4.6	Lagrange 静的ダンピング	63
4.7	Euler 速度ダンピング	65
4.8	Euler エネルギー輸送モデル	67
	(B. 体系・材料のモデル化に関する項目)	71
4.9	最小圧力 (キャビテーションモデル)	71
4.10	状態方程式	75
4.11	材料の降伏モデル	84
4.12	歪硬化則	92
4.13	P- α compaction モデル	97
4.14	Shell プロセッサ	101
4.15	重力の効果	106
	(C. PISCES-2 DELK の固有機能に関する項目)	107
4.16	Boundary Include オプション	107
4.17	ポーラスポリゴン	116
4.18	リゾーンテスト	122
4.19	リスタートラン	123
第5章	原型炉耐衝撃解析のモデル化に関わる基本オプションの詳細検討	125
5.1	まえがき	125
5.2	原型炉簡易体系基準ケース	126
5.2.1	モデル作成の基本方針	126
5.2.2	モデルの概要	126
5.2.3	解析結果の要約	127
5.3	Euler メッシュサイズ効果	157
5.3.1	目的	157
5.3.2	解析体系	157
5.3.3	解析結果	157
5.3.4	結論	158
5.4	Shell メッシュサイズ効果	167
5.4.1	目的	167
5.4.2	解析体系	167

5.4.3	解析結果	167
5.4.4	結論	168
5.5	エネルギー源のモデル化	177
5.5.1	背景	177
5.5.2	目的	178
5.5.3	解析体系及び各モデルの特徴	178
5.5.4	解析結果	180
5.5.5	結論	182
5.6	エネルギー輸送モデル及び流体の内部エネルギー	197
5.6.1	目的	197
5.6.2	拡大流・縮小流によるモデル解析	197
5.6.2.1	理論解	197
5.6.2.2	モデル解析体系	199
5.6.2.3	モデル解析結果	199
5.6.2.4	メッシュサイズのエネルギー輸送に与える影響	201
5.6.3	原型炉簡易体系による解析	201
5.6.4	人工粘性の影響	202
5.6.5	初期内部エネルギーの影響	203
5.6.6	PISCES-2 DL と PISCES-2 DELK の比較	203
5.6.7	結論	204
5.7	等価厚法による二重 Shell のモデル化	226
5.7.1	目的	226
5.7.2	アプローチの方法	227
5.7.3	二重円筒のモデル解析	227
5.7.3.1	モデル解析体系	227
5.7.3.2	モデル解析結果	228
5.7.4	原型炉実機解析	230
5.7.4.1	解析体系	230
5.7.4.2	解析結果	230
5.7.5	結論	232
5.8	P- α compaction 法によるクラッシュブル構造のモデル化	250
5.8.1	まえがき	250
5.8.2	解析モデル	250
5.8.3	解析結果及び検討	251

5.9 ポーラスポリゴンによる空孔性構造物のモデル化	263
5.9.1 まえがき	263
5.9.2 解析モデル	263
5.9.3 解析結果および検討	264
5.10 キャビテーション	280
5.10.1 まえがき	280
5.10.2 キャビテーションの発生メカニズム及びエネルギー吸収メカニズム ...	280
5.10.3 Pmin モデルにおけるキャビテーション閾値の影響	282
第6章 結 言	289
参考文献	293
謝 辞	295

Appendix A PISCES-2 DELK コードの実行環境

A 1	まえがき	297
A 2	PISCES 本体の動燃大洗計算機システムへの Installation	297
A 2.1	入力されたオブジェクトモジュールと出力されたロードモジュールについて	297
A 2.1.1	オブジェクトモジュール	297
A 2.1.2	ロードモジュール	298
A 2.2	各ロードモジュールの作成手順	299
A 2.2.1	DELK 2D	299
A 2.2.2	DDPLOT	300
A 2.2.3	HCDA 1	301
A 2.2.4	PRPLOT	301
A 2.2.5	WTSTGR	302
A 2.2.6	WTSTXY	302
A 2.2.7	PIPLOT	303
A 2.2.8	PIPLOTG	304
	参考資料(1) JCL	306
	参考資料(2) Fortran Source	311
A 3	PISCES の処理の流れ	319
A 3.1	PISCES 本体の実行	319
A 3.1.1	PISCES 本体の処理	319
A 3.1.2	PISCES 本体で使用するファイル	320
A 3.1.3	PISCES の実行のための JCL	324
A 3.1.4	PISCES システムの付属処理	325
A 3.2	DDPLOT の実行	326
A 3.2.1	DDPLOT・PIPLOT で使用するファイル	328
A 3.2.2	各グラフィックシステムの概要	329
A 3.2.3	使用する JCL	338
A 3.3	DIRECT PLOT の実行	340
A 3.3.1	DIRECT PLOT で使用するファイル	340
A 3.3.2	使用する JCL	341
A 4	PISCES コマンド	343
A 4.1	データセット名の規約	343
A 4.1.1	通常使用する出力ファイル	343
A 4.1.2	通常使用する入力ファイル	343

A 4.1.3	外部サブルーチンを使用する場合	343
A 4.2	PISCES コマンド概要	344
A 4.3	実際の使用方法	345

Appendix B PISCES-2 DELKによる耐衝撃解析入力リスト

B 1	SRI 実験 FV102 体系	359
B 2	原型炉耐衝撃解析簡易基準体系 (SBASE #1)	361

LIST OF TABLES

Table 3.1.1	List of PISCES-2DELK Verification Problems	8
Table 3.1.2	Items Checked by PISCES-2DELK Verification Problems	9
Table 3.2.1	Summary of Analytical Results of SRI Experiment FV102 by PISCES-2DELK Version 3 Level 12	15
Table 4.1.1	List of Main Options Examined	51
Table 4.2.1	Sensitivity Study of Time Step Safety Factor	54
Table 4.3.1	Sensitivity Study of Artificial Quadratic Viscosity Value	58
Table 4.4.1	Sensitivity Study of Blend Fraction Value	60
Table 4.5.1	Sensitivity Study of Velocity Cutoff Value	62
Table 4.6.1	Sensitivity Study of Lagrange Static Damping Constant	64
Table 4.7.1	Sensitivity Study of Euler Velocity Damping Constant	66
Table 4.8.1	Comparison between Euler Energy Transport Options	69
Table 4.9.1	Sensitivity Study of Minimum Pressure Value	72
Table 4.10.1	Comparison between Shock Wave EOS and Polynomial EOS	78
Table 4.10.2	Sensitivity Study of Polynomial EOS	79
Table 4.11.1	Comparison of Plastic Yield Models	87
Table 4.11.2	Sensitivity Study of Stress-Strain Curve	88
Table 4.12.1	Comparison between Strain Hardening Models	94
Table 4.14.1	Sensitivity Study of Shell Sublayer Number	104
Table 4.15.1	Sensitivity Study of Gravity Effect	106
Table 5.2.1	Initial Conditions of Core Region	132
Table 5.2.2	Properties of Sodium	132
Table 5.2.3	Properties of SS 304	133
Table 5.2.4	Summary of Monju Simple Standard Model Analysis ...	134
Table 5.3.1	Summary of Euler Mesh Size Effect Survey	159
Table 5.4.1	Summary of Shell Mesh Size Effect Survey	169
Table 5.5.1	Summary of Energy Source Modeling Survey	184
Table 5.6.1	Summary of Energy Transport Option Test (1) - Standard Mesh -	205

Table 5.6.2	Summary of Energy Transport Option Test (2)	
	-- Coarse Mesh --	206
Table 5.6.3	Summary of Energy Transport Option Test (3)	
	-- Fine Mesh --	207
Table 5.6.4	Summary of Energy Transport Option Effect	208
Table 5.6.5	Summary of Artificial Viscosity Effect	209
Table 5.6.6	Summary of Initial Internal Energy Effect	210
Table 5.7.1	Summary of Equivalent Thickness Model Test	233
Table 5.7.2	Summary of Equivalent Thickness Effect	234
Table 5.8.1	P- α Compaction Test Cases	251
Table 5.9.1	Properties of Bubble	266
Table 5.10.1	Comparison of the Results between $P_{\min}=0$ bar and $P_{\min}=10^{-4}$ bar	283
Table A.2.2.1	Sample JCL to create the DELK2D load module	307
Table A.2.2.2	Sample JCL to create the PRPLOT, WTSTGR, WTSTXY and DDPLLOT load module	308
Table A.2.2.3	Sample JCL to create the HCDA1 load module	308
Table A.2.2.4	Sample JCL to create the PIPLLOT load module	309
Table A.2.2.5	Sample JCL to create the PITTY load module	309
Table A.2.2.6	Sample JCL to create the PIPLLOTG load module	310
Table A.2.2.7	Sample JCL to create the NLPLLOT2 load module	310
Table A.2.2.8	Fortran Source of DATE	312
Table A.2.2.9	Fortran Source of TIME	312
Table A.2.2.10	Fortran Source of HCDA1	313
Table A.2.2.11	Fortran Source of PLOT	314
Table A.2.2.12	Fortran Source of PIDGIN2	316
Table A.3.1.1	Sample JCL for the Execution of PISCES	324
Table A.3.1.2	Sample JCL for the Execution of COMREQ	326
Table A.3.2.1	Sample JCL for the Execution of DDPLLOT	338
Table A.3.3.1	Sample JCL for the Execution of DIRECT PLOT	341

LIST OF FIGURES

Fig. 2.2.1	Flowchart Showing Overview and Time Centering of PISCES-2DELK Code	5
Fig. 3.2.1	SRI Experiment FV102 System	16
Fig. 3.2.2	Pressure-Volume Change and Gas Work-Volume Change Relationships for Energy Source	17
Fig. 3.2.3	Measured Stress-Strain Curves for Ni 200	17
Fig. 3.2.4	Analytical Model of SRI Experiment FV102 by PISCES-2DELK	18
Fig. 3.2.5	Whole Configuration History by Analysis	19
Fig. 3.2.6	Energy History by Analysis	20
Fig. 3.2.7	Comparison of Final Deformed Shape in SRI Experiment FV102	21
Fig. 3.2.8	Comparison of Pressure History in SRI Experiment FV102	22
Fig. 3.2.9	Comparison of Dynamic Strain History in SRI Experiment FV102	27
Fig. 3.3.1	Accelerating Piston	30
Fig. 3.4.1	Input and Escape Test	32
Fig. 3.5.1	Pressure Profile of P-Alpha Test	35
Fig. 3.6.1	Vibrating Circular Plate	36
Fig. 3.7.1	Steel Slab Impact	37
Fig. 3.8.1	Circular Hole in a Plate	39
Fig. 3.9.1	Hollow Cylinder with Heat Flux Boundary	41
Fig. 3.10.1	Nozzle Test	43
Fig. 3.11.1	General Arrangement of Blowdown Pipe	44
Fig. 3.11.2	Pressure Distribution in Blowdown Pipe by Analysis	45
Fig. 3.11.3	Comparison of Pressure History in Blowdown Test ..	46
Fig. 4.2.1	Whole Configurations in Time Step Sensitivity Study	55
Fig. 4.8.1	Energy History in Energy Transport Option Survey	70
Fig. 4.9.1	Pressure History in Minimum Pressure Survey	73
Fig. 4.9.2	Energy History in Minimum Pressure Survey	74
Fig. 4.10.1	Comparison between Shock Wave EOS and Polynomial EOS	80

Fig. 4.10.2	Pressure History in Different EOS Form	81
Fig. 4.10.3	Survey Cases of Polynomial EOS	83
Fig. 4.11.1	Some Material Yield Models	89
Fig. 4.11.2	Stress-Strain Curves used in Material Yield Model Comparison	90
Fig. 4.11.3	Stress-Strain Curves used in Sensitivity Study ...	91
Fig. 4.12.1	Some Strain Hardening Models	95
Fig. 4.12.2	Stress-Strain Curve used in Sensitivity Study of Mechanical Sublayer Number	96
Fig. 4.13.1	P-Alpha Curves for Constant Alpha Elastic Description	100
Fig. 4.13.2	P-Alpha Curves for Variable Alpha Elastic Description	100
Fig. 4.14.1	Difference of Vessel Thickness Modeling in PISCES Code	105
Fig. 4.16.1	Boundary Include Option	107
Fig. 4.16.2	Comparison of Polygon between Version 2C and Version 3	107
Fig. 4.16.3	Boundary Include Test	108
Fig. 4.16.4	Boundary Include Test Cases (I)	110
Fig. 4.16.5(a)	Results of Boundary Include Test-1	111
Fig. 4.16.5(b)	Results of Boundary Include Test-11	111
Fig. 4.16.5(c)	Results of Boundary Include Test-12	112
Fig. 4.16.5(d)	Results of Boundary Include Test-13	112
Fig. 4.16.6	Boundary Include Test Cases (II)	113
Fig. 4.16.7(a)	Results of Boundary Include Test-20	114
Fig. 4.16.7(b)	Results of Boundary Include Test-21	114
Fig. 4.16.7(c)	Results of Boundary Include Test-22	115
Fig. 4.16.7(d)	Results of Boundary Include Test-23	115
Fig. 4.17.1	Porous Polygon Test	116
Fig. 4.17.2(a)	Results of Porous Polygon Test (Porosity = 0%)	117
Fig. 4.17.2(b)	Results of Porous Polygon Test (Porosity = 30%) ...	118
Fig. 4.17.2(c)	Results of Porous Polygon Test (Porosity = 50%) ...	119
Fig. 4.17.2(d)	Results of Porous Polygon Test (Porosity = 70%) ...	120
Fig. 4.17.2(e)	Results of Porous Polygon Test (Porosity = 100%) ..	121
Fig. 5.2.1	Brief Configuration of Prototype Fast Breeder Reactor "Monju"	135

Fig. 5.2.2	Simplified Analytical Model of Monju (SBASE#1 Case)	136
Fig. 5.2.3	Pressure-Volume Relation of Core Bubble	136
Fig. 5.2.4	Whole Configuration History - SBASE#1 Case -	137
Fig. 5.2.5	Energy History - do. -	140
Fig. 5.2.6	Volume History - do. -	143
Fig. 5.2.7	Pressure History - do. -	144
Fig. 5.2.8	Impulse History of Core Bubble - do. -	146
Fig. 5.2.9	Sodium Velocity History - do. -	147
Fig. 5.2.10	Vessel Hoop Strain History - do. -	148
Fig. 5.2.11	Vessel Hoop Strain Profile - do. -	150
Fig. 5.2.12	Vessel Meridional Strain Profile - do. -	152
Fig. 5.2.13	UIS Hoop Strain History - do. -	153
Fig. 5.2.14	UIS Hoop Strain Profile - do. -	155
Fig. 5.3.1	Analytical Models for Euler Mesh Size Effect Survey	160
Fig. 5.3.2	Whole Configuration at 40 msec - Euler Mesh Size Effect -	161
Fig. 5.3.3	Energy History of all Material Sum - do. -	162
Fig. 5.3.4	Energy History of Each Material - do. -	163
Fig. 5.3.5	Strain History of Middle Reactor Vessel - do. - ..	164
Fig. 5.3.6	Strain History of Upper Reactor Vessel - do. - ...	165
Fig. 5.3.7	Final Strain Profile of Reactor Vessel - do. - ...	166
Fig. 5.4.1	Analytical Models for Shell Mesh Size Effect Survey	170
Fig. 5.4.2	Whole Configuration at 40 msec - Shell Mesh Size Effect -	171
Fig. 5.4.3	Energy History of All Material Sum - do. -	172
Fig. 5.4.4	Energy History of Each Material - do. -	173
Fig. 5.4.5	Final Strain Profile of Reactor Vessel - do. - ...	174
Fig. 5.4.6	Final Strain Profile of UIS Side Tube - do. -	175
Fig. 5.4.7	Final Strain Profile of UIS Bottom Plate - do. - .	176
Fig. 5.5.1	Whole Configuration at 40 msec - Energy Source Modeling Survey -	185
Fig. 5.5.2	Pressure Distribution along Center Column - do. - .	186
Fig. 5.5.3	Expansion History of Core Bubble - do. -	190
Fig. 5.5.4	Energy History of Each Material - do. -	191
Fig. 5.5.5	Strain History of Reactor Vessel - do. -	193

Fig. 5.5.6	Strain Profile History of Reactor Vessel - do. -	195
Fig. 5.6.1	Flow in a Sudden Enlargement	197
Fig. 5.6.2	Flow in a Sudden Contraction	198
Fig. 5.6.3	Analysis Model of Energy Transport Option Test ...	211
Fig. 5.6.4	Flow Patterns of Energy Transport Option Test	212
Fig. 5.6.5	Energy History of Energy Transport Option Test ...	214
Fig. 5.6.6	Internal Energy Distribution in Sudden Expansion Flow	216
Fig. 5.6.7	Internal Energy Distribution in Sudden Contraction Flow	217
Fig. 5.6.8	Mesh Size Effect in Sudden Expansion Flow	218
Fig. 5.6.9	Mesh Size Effect in Sudden Contraction Flow	219
Fig. 5.6.10	Energy History of All Material Sum - Energy Transport Model Effect -	220
Fig. 5.6.11	Energy History of Core Material - do. -	221
Fig. 5.6.12	Energy History of Each Material - do. -	222
Fig. 5.6.13	Volume History of Sodium - do. -	223
Fig. 5.6.14	Distribution of Sodium Internal Energy	224
Fig. 5.6.15	Energy History of Water in SRI Experiment FV101 Analysis - Comparison between PISCES-2DL and PISCES-2DELK -	225
Fig. 5.7.1	Analytical Models for Equivalent Thickness Effect	235
Fig. 5.7.2	Pressure-Volume Relationship used in Equivalent Thickness Model Analysis	236
Fig. 5.7.3	Whole Configuration at Final State - Case 1 : Closed Model -	237
Fig. 5.7.4	Energy History - do. -	238
Fig. 5.7.5	Final Vessel Strain Profile - do. -	239
Fig. 5.7.6	Whole Configuration at Final State - Case 2 : Long Vessel Model	240
Fig. 5.7.7	Energy History - do. -	241
Fig. 5.7.8	Final Vessel Strain Profile - do. -	242
Fig. 5.7.9	Whole Configuration at Final State - Case 3 : Open Model -	243
Fig. 5.7.10	Energy History - do. -	244
Fig. 5.7.11	Final Vessel Strain Profile - do. -	245

Fig. 5.7.12	Analytical Models of Shell Equivalent Thickness Effect in SBASE#1 Case	246
Fig. 5.7.13	Whole Configuration at 70 msec - Shell Equivalent Thickness Effect -	247
Fig. 5.7.14	Energy History of Each Material - do. -	248
Fig. 5.7.15	Final Strain Profile of Reactor Vessel - do. - ...	249
Fig. 5.8.1	Modeling for P-Alpha Compaction Test	253
Fig. 5.8.2	Behavior of Slug Impact	254
Fig. 5.8.3	Behavior of Hoop Strain of Vessel Wall	257
Fig. 5.8.4	Final Energy Absorbed by Structures	259
Fig. 5.8.5	Energy Conversion Ratio	259
Fig. 5.8.6	Energy Partition	260
Fig. 5.8.7	Maximum Hoop Strain	261
Fig. 5.8.8	Crushable Effect of Maximum Hoop Strain of Vessel Wall (I)	261
Fig. 5.8.9	do. (II)	262
Fig. 5.9.1	Energy Flow Diagram	267
Fig. 5.9.2	Modeling for Porous Polygon Test	268
Fig. 5.9.3	Euler and Shell Subgrids	269
Fig. 5.9.4	Sodium Kinetic Energy, Sodium Internal Energy and Vessel Internal Energy	270
Fig. 5.9.5	Hoop Strain of Reactor Vessel	271
Fig. 5.9.6	Effects of UCS Porosity on Max. Slug Kinetic Energy(KE_1), Increase of Vessel Internal Energy after Slug Impact (ΔE_S) and Max. Vessel Hoop Strain(ϵ_m)	274
Fig. 5.9.7	Max. Vessel Hoop Strain(ϵ_m) vs. ΔE_S	275
Fig. 5.9.8	Max. Vessel Hoop Strain(ϵ_m) vs. KE_1	275
Fig. 5.9.9	Effects of UCS Porosity on CDA Bubble Energies for the Expansion to the Slug Impact(E_{01}) and to the Final Stage(E_{02})	276
Fig. 5.9.10	Effects of UCS Porosity on Energetics Absorbed by Vessel Wall before Slug Impact(E_{S1}) and until Final Stage(E_{S2})	276
Fig. 5.9.11	Energy Partitions before and after Slug Impact ...	277
Fig. 5.9.12	Correlation between CDA Bubble Energy Expansion to the Slug Impact(E_{01}) and Slug Maximum Kinetic Energy(KE_1)	277

Fig. 5.9.13	Energy Conversion Ratios	278
Fig. 5.9.14	ΔE_s vs. $(KE_1 + \Delta E_{21})$	278
Fig. 5.9.15	Max. Vessel Hoop Strain vs. $(KE_1 + \Delta E_{21})$	279
Fig. 5.10.1	Energy Absorption during Cavitation and Recompaction	281
Fig. 5.10.2	Conventional Equation of State for Cavitated Fluid	284
Fig. 5.10.3	Slug Impact Pressure and Its Impulse	285
Fig. 5.10.4	Coolant Volume Time History	286
Fig. 5.10.5	Sodium Kinetic Energy, Sodium Internal Energy and Vessel Internal Energy	287

第 1 章 緒 言

第 1 章 緒 言

PISCES^(注1)コードは、流体-固体の非線形大変形成動を解析するため、米国 PISCES International 社 (旧名 Physics International 社) によって開発された explicit な有限差方法大型コードである。このコード群は複雑な体系、時間依存境界条件、非線形な材料モデル等を入力する事ができ、また、コード本体の構成を変えずに流体-固体の相互作用を含む多種の問題に適応できる。

動燃事業団は、高速増殖炉における仮想的炉心崩壊事故 (Hypothetical Core Disruptive Accident : HCDA) 時の炉心の核的暴走に対する構造材の耐衝撃応答解析を目的として、PISCES-1 DL, 2 DL を昭和 48 年度に購入した。その後 Lagrange 座標系と Euler 座標系の両方の利点を組み合わせた PISCES-2 DELK コード (version 3, level 10) を昭和 56 年度に導入し、初期の幾多のトラブル^(注2) (level 10, 11) を経て、現在のバージョン (level 12) に到り「もんじゅ」の HCDA 時の原子炉容器耐衝撃応答評価を実施した。

本報告書は、「もんじゅ」の HCDA 時の原子炉容器応答詳細解析に到るまでの準備作業として行なった、PISCES-2 DELK のもつ種々の基本的なオプションの機能テストの結果、及びその感度解析の結果、さらに「もんじゅ」体系のモデル化に伴う重要なオプション機能の詳細検討結果をまとめたものである。以下本報告書の構成を示す。

第 2 章では、PISCES-2 DELK コードの概要・プログラムの構成について簡単にまとめた。

耐衝撃体系を PISCES-2 DELK コードを用いて解析する手法の検討は、以下の 3 つのステップを踏んで段階的に行なった。

まず、第 3 章では PISCES 導入と共に送られてきた幾つかの基本例題の解析結果をまとめた。これらは、理論解または実験解を持つ一般的な流体解析・構造解析の問題であり、これによって PISCES の有している入力オプションのほとんどの機能チェックができるようにプログラムされている。

しかし、これらの例題だけでは、PISCES の各機能が作動する事は確認できたものの、数多くの入力の何が解析結果に重要な因子なのか、入力作成時に最も気を配らねばならない事は何か等の把握はできない。ゆえに、第 4 章では、SRI 実験 FV102 体系 (CRBR の 1/30 スケールモデル耐衝撃実験体系) を主に用いて、耐衝撃解析に必要な入力オプションを、数値解析手

(注1) Physics International multi-Spatial Code for Engineering and Science の略。

(注2) 例えば、Energy Balance の問題、Restart の問題など。

法に関する項目、体系・材料のモデル化に関する項目、PISCES-2 DELK に固有な機能に関する項目の3種に分類し、それらの包括的な感度解析を実施した。

ここまでで、一般的な耐衝撃解析に PISCES コードを使用するために必要な最低限の準備ができたと言える。

続いて、第5章では、特に原型炉実機を対象として、その解析モデルを作成する際に特に重要であると考えられる項目を幾つか摘出し、その詳細な検討を行なった。但し、ここではもんじゅ実機の固有な構造自体に関わる問題には立ち入らずに、もう少し一般的な原型炉クラスの耐衝撃解析という観点から検討項目を選択しており、従ってここで得られた結論は汎用的なものである。特に原型炉実機に固有な問題の詳細な評価は、次の報告書で行なう予定である。第5章で取り挙げた問題は、Euler プロセッサ及び Shell プロセッサでのメッシュサイズ効果、エネルギーの状態方程式のモデル化、エネルギー輸送モデルと「内部エネルギー」の評価、二重円筒を等価厚法で取り扱う事の評価、クラッシュブル構造を $P-\alpha$ compaction モデルで扱う可能性、空孔性構造物のモデル化法、キャビテーションモデルの検討などである。

第6章では、本報告書で行なった検討の結果を要約して示し、結言とした。

また添付資料として、Appendix A では、他ユーザーの便宜を考え、大洗工学センターでの現在の PISCES コードの運用方法をまとめた。内容は、コードをセンターの計算機 (FACOM M190・M200) にインストールする方法、PISCES 本体及び付属コードの実行方法、実行をより容易にするために炉心安全工学室で作成したコマンドプロシージャ (PISCES コマンド) の使用法の3節に分かれている。

Appendix B では、PISCES-2 DELK による耐衝撃解析の入力例として、第4章の各種機能検討・感度解析に使用した SRI 実験 FV 102 体系に対する入力カードと、第5章の詳細検討で使用した原型炉耐衝撃体系の基準ケース (SBASE #1) に対する入力カードを示した。

第 2 章 PISCES-2DELK コードの概要

第 2 章 PISCES - 2DELK コードの概要

2.1 コードの概要

現在 PISCES コード群には、PISCES - 1 DL, - 2 DL, - 2 DELK, - 3 DE が開発されている。1 DL, 2 DL はそれぞれ 1 次元, 2 次元の Lagrange コードで、3 DE は 3 次元 Euler コードである。2 DELK は、Lagrange 座標系と Euler 座標系の両方の特徴を生かした流体と構造材との動的相互作用を模擬するコードである。Lagrange 座標系は、物質と共に移動するため、座標系が“もつれる (tangle)” ような大変形のない固体や構造材の解析にその利点を発揮する。一方、Euler 座標系は、空間に固定されていて、物質は自由にそのメッシュ間を通過することができ、変位の大きな流体領域の解析に用いられる。すなわち Lagrange 系の各ゾーンは、時間的及び空間的に移動・変形するがゾーン内の質量は保存されている。一方、Euler 系の各ゾーンは空間に固定されているため、体積は一定であるが、ゾーン内の物質はゾーンの境界を通過して自由移動する。

2 DELK では、Lagrange 系方程式と Euler 系方程式は、別々に解かれ、両座標系の間は、ポリゴン (Polygon) と呼ばれる特別な境界条件で結ばれている。すなわち Lagrange 座標近傍の Euler セルは Lagrange 座標を動かす圧力境界となり、逆に Lagrange 座標の境界は、その回りを流れる Euler セルにとって幾何学上の障害物となる。

PISCES - 2 DELK にはまた、Shell プロセッサ、Rigid プロセッサが備わっている。Shell プロセッサは体系内に非常に薄い構造物が存在するとき、タイムステップ (物性値と体系により自動的に決まる) が小さくなりすぎて、計算時間が非常に長くなるような場合に、その威力を発揮する。一方 Rigid プロセッサは、変位の非常に小さい領域に対して用いられる。(ただし軸対称な場合のみ適用可能である。)

2.2 プログラムの構成

図 2.2.1 に PISCES - 2 DELK コードの計算の流れ図を示す。以下その流れを簡単に説明する。

まず最初に boundary point processor (BDPRO) が相互作用境界の各点における速度や位置を前サイクル中に計算された力を基に更新する。

次に各サブグリッドが処理される。まず相互作用をもたない Lagrange 点については前サイクルで得られた力から新しい速度や位置が計算される。相互作用をもつ Lagrange 点については、相互作用境界用配列 (array) より新しい速度を求める。各 Lagrange ゾーンは歪速度、新しい歪、各ゾーンコーナーに加わる力を計算する。このコーナーの力は、次サイク

ルのために保存される。相互作用境界上の各点の力は次のサイクルの BDPRO 用に相互作用境界用配列に保存される。

次に各 Euler サブグリッドに対しては、第1ステップとして質量、運動量、各セルの表面を通過するエネルギーを計算する。次に新しい密度、内部エネルギー密度、圧力が計算される。

又、各セルを通る Euler - Lagrange 相互作用境界に及ぼす力が計算され、相互作用境界配列における適切な相互作用点の力に加算される。Euler セルの全インパルスが得られた後、新しい速度が計算される。

このようにして一連のこれらの処理が終わった後、次サイクルの最小安定ステップが計算され、以上の結果を必要ならば編集して、次サイクルに移行する。

2.3 基礎方程式

本コードで計算する方程式は

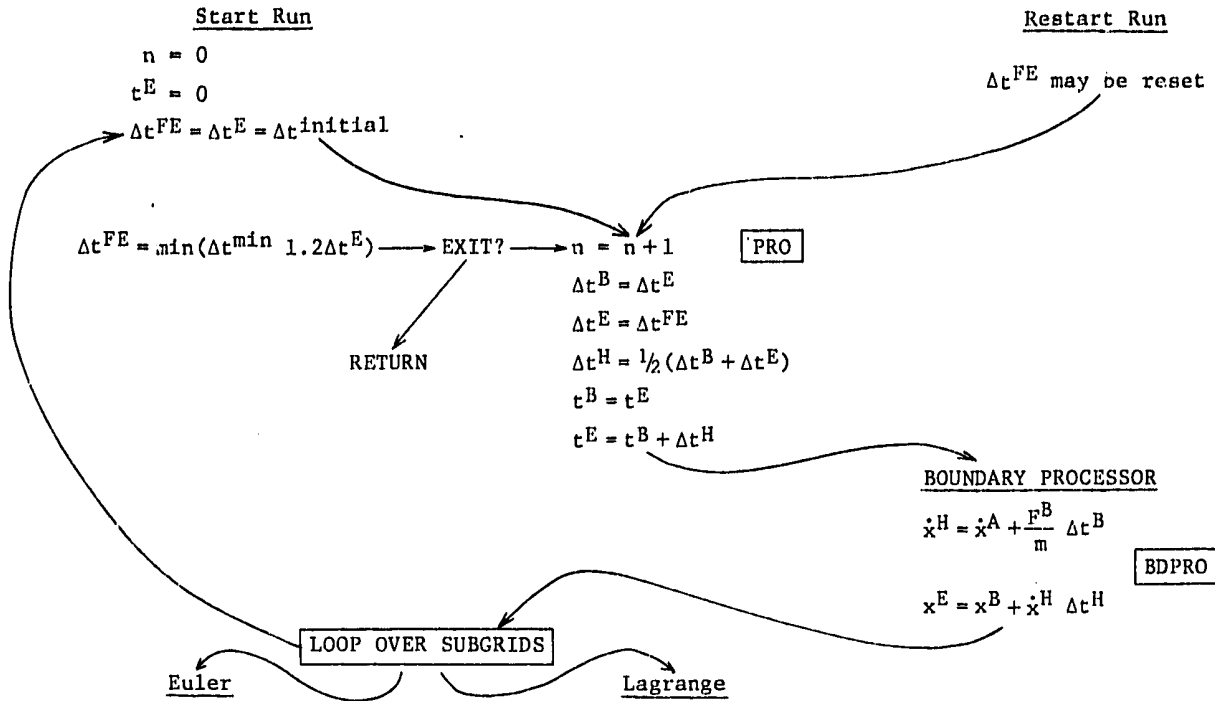
質量保存則

運動量保存則

エネルギー保存則

構成方程式

であるが、それらについては参考文献〔2-1〕，〔2-2〕，〔2-3〕，〔2-4〕に詳細に説明されているので、本報告書では、その説明を省略する。



Mass, momentum, and energy transport:

MASS	{	$\Delta m^H = \rho_{up}^B \vec{S}^E \cdot \vec{u}^H \Delta t^H$	}	MOTION
		$\Delta M_X^E = u_{up}^H \Delta m^H$		
		$\Delta E^H = e_{up}^B \Delta m^H$	}	ZONE
		$m^E = m^B + \Delta m^H$		
		$E^E = E^B + \Delta E^H$		
		$\dot{x}^H = \dot{x}^A + \frac{F^B}{m} \Delta t^B$		
		$X^E = X^B + \dot{x}^H \Delta t^H$		
		$T_{ij}^E = f(T_{ij}^B, \Delta \epsilon_{ij}^H)$		
		$\vec{F}^E = f(T_{ji}^E)$		

Notation

- A - ancient time, $t^{n-3/2}$
- B - beginning time, t^{n-1}
- H - half time, $t^{n-1/2}$
- E - end time, t^n
- F - future time, $t^{n+1/2}$
- FE - future end time, t^{n+1}

AFTMAS	{	$\rho^E = m^E / V^E$
		$e^E = E^E / m^E$
		$p^E = p(\rho^E, e^E)$

MOMENT $M_X^F = M_X^H + \Delta M_X^E + F_X^E \Delta t^E$

AFTMOM $u_X^F = M_X^F / m^E$

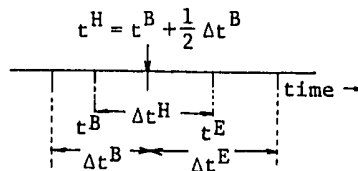


Fig. 2.2.1 Flowchart Showing Overview and Time Centering of PISCES-2DELK Code (2-1)

第3章 基本例題によるPISCES-2DELK コードの検証

第3章 基本例題によるPISCES - 2DELKコードの検証

3.1 概 要

PISCES コードを導入する際に、コード本体と共に、コード検証のための計13題の基本例題（input 及び manual）が送付されて来た。⁽³⁻¹⁾これらの例題は、Physics International 社がPISCESコードの改訂・リリースをする際に使用しているもので、PISCESコードの基本機能の大部分をチェックできるようにプログラムされたものである。例題は、全て、理論解を持つか、または公開文献により報告された実験であり、検証はこれらの理論・実験解と、PISCES コードの結果を比較する事によって行なわれる。

この基本例題の一覧を表 3.1.1 に示す。また、PISCES コードの各機能（input card）が、どの例題によってチェックされているかを表わすクロスレファレンスを表 3.1.2 に示す。

以下、これらの基本例題の概略と動燃大洗工学センターに導入された PISCES - 2 DELK version 3 level 12 による解析結果を示す。

Table 3. 1. 1 List of PISCES-2 DELK Verification Problems

<u>Problem Number</u>	<u>Description</u>	<u>Comparison</u> [*]
1.	SRI Experiment FV102 (APRICOT 7) (CRBR 1/30 Scale Model)	Exp.
2.	Accelerating Piston (静止ピストンをガスで加速)	Analy.
3.	Input and Escape Test (ガス管中の衝撃波伝播)	Analy.
4.	(not available.)	
5.	P-ALPHA Test (Porous Aluminum) (空孔性アルミニウム中の 衝撃波伝播)	Analy.
6.	(not available.)	
7.	Vibrating Plates (円板の固有振動)	Analy.
8.	Steel Slab Impact (Euler 物質どうしの衝突)	Analy.
9.	Circular Hole in Plate (穴あき平板での応力分布)	Analy.
10.	Hollow Cylinder with Heat Flux Boundary (円筒中の伝熱)	Analy.
11.	Nozzle Test (縮小・拡大ノズルを通るガス流)	Analy.
12.	Blowdown Test (1000 psig の水のパイプ中の blowdown)	Exp.
13.	Joined Euler Test (Euler 領域を結合してガスの伝播を見る)	Analy.

* Exp. ... 実験値との比較による verification

Analy. ... 理論解との比較による verification

Table 3.1.2 Items checked by PISCES-2DELK Verification Problems

GLOBAL INPUT DATA

FEATURE/OPTION			PROBLEM NUMBERS
ALLGRID	SYMM	AXIAL	● 1,2,4-8,10,12
		TRANS	● 3,13
		PSTRESS	● 9
		TWOHALFD	● 11
	RUNTYP	START	● ALL
		RESTART	● 2,4,11
		REZONE	● 6
WRAPUP			● ALL
TSTEP			● ALL
MATERIAL	BASIC		● ALL
	BASIC 2		○
	EOSA/EOSB	POLY	● 1,2,4,7,8,12
		GAMMA	● 1-3,10,11,13
		SHOCK	● 1,5
		TILLOT	● 6
		JWL	● 4
		GASBAG	● 1
	SHEAR		● 1,2,4-8
	YIELD	HYDRO	● 2,5,6
		VONMISES	● 4,7,8,9
		COULOMB	● 7
		BILINEAR	● 10
		FNAME	● 1
	ELASTIC	POISSON	● 1,9
		YOUNG	● 1,9
		BULK	● 1
		SHEAR	● 1
	COMPACT		● 5
	EXPLODE		● 4
	TWOPHASE		● 12
	HTCA		● 10
	HTCB		● 10

GLOBAL INPUT DATA

FEATURE/OPTION			PROBLEM NUMBERS
INITIAL	VNAMES		● ALL
	RVEL		○
	DPLANE		○
	DSPHERE		● 4
ALLBOUND	TRANSMIT		● 5
	ESCAPE		● 3,11
	FLOW		● 3,4,11
POLYGON	SETUP		● 1,2,4,6
	POINTS		● 1,2,4,6
FUNCTION	ANALYTIC		● 1,10
	TABLE		● 1,5,9,10
ALLEDIT	PRINT	BYTIMES	● 7
		BYCYCLES	● 9,13
		NEVER	● 1,12
	ARCHIVE		● 9
	RESTART		● 1,2,4,6,9-12,13
	ARCMAT		● 1,9
	SUMMARIES		● 2,3,6,7,9
CUTOFF			● 3,6,7,9
OPTIONS	GRAVX		○ (used in chapter 4)
	GRAVY		○
	ETRANS		● 6
	DAMP		● 9
	EDAMP		○ (used in chapter 4)
	EVPLAG		● 1
	EVPEUL		○
	ZEROSUP		● 1
GENOPT			● 9
HEADING			● ALL

Table 3.1.2 (Contd.)

LOCAL INPUT DATA

FEATURE/OPTION			PROBLEM NUMBERS	
SUBGRID	LAGRANGE	●	1,2,5,6,9,10,12	
	EULER	●	1-4,6,8,11,13	
	SHELL	●	1,4,7	
	RIGID	○	(used in next report)	
	ZONING	POINTS	●	1-9,11,12
	RECTANG	●	1,2,10,12,13	
	SEGMENT	●	1-9,11,12	
	ARC	●	9	
	BLOCK	●	1,4,9,11	
	REGION	INDEX	●	1-8,10-12,13
	RECTANG	●	1,4,8	
	CIRCLE	●	9	
	LINE	●	1	
	EXREG	○		
BOUNDARY	VELOCITY	●	1,2,5-7,9,12	
	STRESS	●	1,9	
	TRANSMIT	●	5	
	MOMENT	●	1,7	
	TRACER	●	2	
	INCLUDE	○	(used in chapter 4)	
	JOIN	LAGRANGE	●	1
		EULER	●	13
		SHELL	●	1
	INTERPOL	●	1,2,4,6	
WALL	●	3		
ESCAPE	●	3,11		
FLOW	●	3,4,11		
THERMAL	HEATFLUX	●	10	
	TEMPURE	●	10	
	INSULATE	●	10	
WRAPUP	●	2		
EXCLUDE	○	(used in next report)		
JET	●	4		

LOCAL INPUT DATA

FEATURE/OPTION			PROBLEM NUMBERS
REZONE	RESpace	○	(used in chapter 4)
	ERASE	○	(used in chapter 4)
	INSERT	○	(used in chapter 4)
	DROP	●	6
	ADD	○	(used in chapter 4)
SUBOPT	MAP	●	6
	COMBINE	●	6
	SHELL	●	4
EDIT	PRINT	●	1,2,3,5,6,8,10,12
	BYCYCLES	●	1,4,6,9,11,13
	ARCHIVE	●	1,12
	RESTART	●	3
	MESHLOT	●	1,4
	CONPLOT	●	9
	VECPLOT	●	4
	TENPLOT	●	9
	CVPLOT	●	1
EDLIST	VNAMES	●	1,2,6,8,10,11,13
	TIMES	●	6
	CYCLES	○	
	COLS	●	1
	ROWS	○	
	SUBLAYER	○	
PLOT		●	1,4,9
COMMENT		●	4,7,9
ENDECK		●	ALL
ENDINPUT		●	ALL

Table 3.1.2 (Contd.)

EXTRA ROUTINES

Routine Name	Description		Problem Numbers
EXEDIT	produces extra output	<input type="radio"/>	(used in next report)
EXPTS	generates extra coordinates	<input type="radio"/>	
EXREG	generates extra initial value region	<input type="radio"/>	
EXVALU	generates initial values	<input checked="" type="radio"/>	12
EXTVEL	evaluates x and y velocity as a function of time and space	<input type="radio"/>	(used in next report)
EXSTR	evaluates normal pressure and shear stress acting on a boundary	<input type="radio"/>	
EXFLOW	evaluates Euler flow boundary condition parameters	<input type="radio"/>	
EXCON	defines a complete constitutive model	<input type="radio"/>	
EXSHR	evaluates shear modulus	<input type="radio"/>	
EXYLD	evaluates yield stress	<input type="radio"/>	(used in next report)
EXEOSF	extra equation of state in "full" format	<input type="radio"/>	(used in next report)
EXEOSQ	extra equation of state in "quick" format	<input type="radio"/>	
EXALP	evaluates P- α relationship	<input type="radio"/>	
EXFUNC	evaluates a function of time and space	<input type="radio"/>	(used in next report)
EXTHK	defines z dimension in TWOHALFD option	<input checked="" type="radio"/>	11
EXUFAC	modifies face velocities for porous polygons	<input type="radio"/>	

3.2 SRI 実験 FV102 体系 (APRICOT7)

本実験は、CRBR の HCDA 耐衝撃体系を 1/30 スケールで模擬して、SRI (Stanford Research Institute) により実施されたものである。この実験は、APRICOT (Analysis of Primary Containment Transients) Program の No.7 として採用されており、また、その実験構成・材料・放出エネルギー・圧力履歴・動歪履歴・最終容器変形等について、非常に詳細な報告がなされていて⁽³⁻²⁾その信頼性が高い。

3.2.1 実験体系の概要

図 3.2.1 に実験体系を示す。半径 10.4 cm ・高さ 26.7 cm の円筒容器中に、水が満たされており、下部中心部には、初期圧 252 bar の圧力源 (PETN/microballoon 火薬 + canister 構造) がおかれている。圧力源の較正のために、10 回の P-ΔV 測定 (浮子使用) を行なっている。図 3.2.2 に較正された P-ΔV 関係を示す。

容器胴部は、Ni-200 の薄肉円筒 (厚さ 0.5 cm) であり、この材料の応力-歪関係は、容器作成時に切り出した試験片を用いて、 $4 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ の中速引張り試験により測定された。図 3.2.3 にその応力-歪線図を示す。また、ガス部の外側には、厚さ約 2.5 cm ・高さ 10 cm の鉛のバレル (アルミニウムの外張り付) が置かれている。水と上蓋の間には、1.3 cm の空気層がある。

3.2.2 PISCES による解析モデル

PISCES の解析モデルを図 3.2.4 に示す。

Euler サブグリッドは 10×22 メッシュであり、1 メッシュのサイズは約 $1.2 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}$ である。構造材は、容器壁 (Ni-200) が Shell サブグリッドで模擬されており、コアバレルは Lagrange サブグリッドで、外側 (アルミニウム) には、Shell サブグリッドが結合されている。作動流体と構造材の相互作用はポリゴン (polygon) を介して行なわれる。

バレル内側の膨張ガス部の状態方程式としては図 3.2.2 の P-ΔV 関係を用い GASBAG EOS オプションを使用している。

水は、非粘性圧縮性流体として扱われ、Hugoniot による shock wave EOS オプションを使用している。

水と上蓋部の間にある空気部は比熱比 ($\gamma = \frac{C_p}{C_v}$) が 1.4 の理想気体として扱われる。

構造材 (Ni-200, 鉛, アルミニウム) はいずれも、弾塑性体として扱い、piecewise linear モデルにより歪硬化を考慮している。ここで、Ni-200 には移動硬化則を用いるが、鉛とアルミニウムは等方硬化則としている。

3.2.3 解析結果の要約

表 3.2.1 に PISCES による解析結果の要約を示す。

図 3.2.5 に全体形状の時刻変化を示す。

図 3.2.6 に PISCES 解析結果の各材料毎のエネルギー履歴を示す。約 0.7 msec で水の運動エネルギーが水柱の撃突により急速に減少し、容器壁の歪エネルギーがその時点から急速に増加している。また、解析終了後 (2 msec) のエネルギー分布を表 3.2.1 に示すが、圧力源からの放出エネルギーの内 7 割が容器壁の歪エネルギーとなり、2 割強が水及び空気の内部エネルギーとなっている。

3.2.4 実験結果と PISCES による解析結果の比較

容器壁最終変形

図 3.2.7 に実験終了後の Ni-200 容器壁最終変形と PISCES による解析結果 (at 2.0 msec) の比較を示す。容器壁の最大変形は、約 3.5 % mm/mm (注1) であり、解析結果は実験結果と非常に良好な一致を示している。

それに対して容器壁腹部 (主に変形は、初期の衝撃波で起こる) については、解析結果は実験結果の約 1/2 の変形となっている。

バレル部の変形も、解析の方がかなり小さい。

圧力履歴

図 3.2.8 (a) に、容器腹部での実験と解析の圧力履歴を比較して示す。実験は、対称位置にセンサーが 2 つあるが、その一致度は非常に良い。この位置では、約 0.2 msec 時に 80 ~ 90 bar の初期衝撃波が到達し、その後、約 0.9 msec 時に、水柱の上部壁の撃突による大きな圧力パルス (200 ~ 260 bar) がみられる。解析は、水の撃突による圧力パルスのピーク値を除けば、実験の挙動を非常に良く再現している。(注2)

(注1) 歪 (strain) には材料の変形の経路に沿ってその各々の時点での歪増分 ($d\varepsilon = \frac{dl}{l}$) を積分する真歪 ε (true strain) と変形の終了時の変位から算出する ($\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$) 公称歪 e (engineering strain) の 2 種が定義される。第 2 章と第 3 章では、実験値と比較する意味から公称歪を一貫して採用し、原型炉実機体系を解析している第 5 章では真歪を一貫して採用した。但し、真歪と公称歪の関係は、 $\varepsilon = \ln(1 + e)$ であり、10 % $\Delta l / l$ の大きさの歪の場合でも約 0.5 % $\Delta l / l$ 程度である。

(注2) 圧力のピーク値はサンプリング間隔の問題もあり、正確に比較するのは困難である。むしろ圧力履歴を時間で積分したインパルスで比較すべきであろう。

図 3. 2. 8 (b) に、首下部での圧力履歴の比較を示す。約 0.9 msec で水柱の撃突による圧力パルスが発生している様子が良く再現されている。

図 3. 2. 8 (c) に、容器底部での圧力履歴の比較を示す。容器壁に比べると、その一致度は良くないが、許容範囲であろう。

図 3. 2. 8 (d) に、容器上蓋中央部での圧力履歴の比較を示す。最初の水柱の撃突の様子は非常に良く一致している。2回目の撃突も、時刻は少し異なるが、再現されている。

図 3. 2. 8 (e) に、容器上面周辺部での圧力履歴の比較を示す。最初の水柱撃突の後の容器壁からの反射第 2 波は、解析の方が少しなまっている。

動歪履歴

図 3. 2. 9 (a) に、首下部での動歪履歴の比較を示す。実験では途中でセンサーが破損しているが、立ち上がりからピーク到達まで、PISCES コードは良く再現している。

図 3. 2. 9 (b) に、容器腹部での動歪履歴の比較を示す。最初の衝撃波による変形と、水柱の撃突による 2 次変形が良く模擬されている。

図 3. 2. 9 (c) に、容器下部での動歪履歴の比較を示す。ここでは水柱の上蓋への撃突による影響は殆どなく、最初の衝撃波（多分まわり込みによるもの）による変形のみであるが、ピーク時刻に若干のずれが見られる。また前述のように変形量も解析の方が小さい。

3. 2. 5 まとめ

以上の実験結果と解析結果の比較から、PISCES コードは、耐衝撃体系に対して、圧力によって検証される流体の動的挙動、炉容器の動歪・最終歪分布によって検証される流体と構造材の相互作用のいずれにおいても、ほぼ妥当な結果を算出し得ると考えられる。

Table 3.2.1 Summary of Analytical Results of SRI Experiment FV102 by PISCES-2DELK Version 3 Level 12

Analysis Case Name		STANDARD	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		2.13 KJ (0.72 msec)	
Final Results (at 2 msec)	Energy Balance	+ 1.3 %	
	Maximum Strain of Vessel (near Initial Water Level)	3.53 % $\Delta l/l$	
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	0.271 % $\Delta l/l$	
	Energy Partition	Explosive Release Energy	-3.14 KJ (100%)
		Water Internal Energy	0.48 KJ (15%)
		Air Internal Energy	0.16 KJ (5%)
		Ni-200 Distortion Energy	2.23 KJ (71%)
		Lead Distortion Energy	0.17 KJ (5%)
		Al Distortion Energy	0.07 KJ (2%)
		others	0.08 KJ (3%)

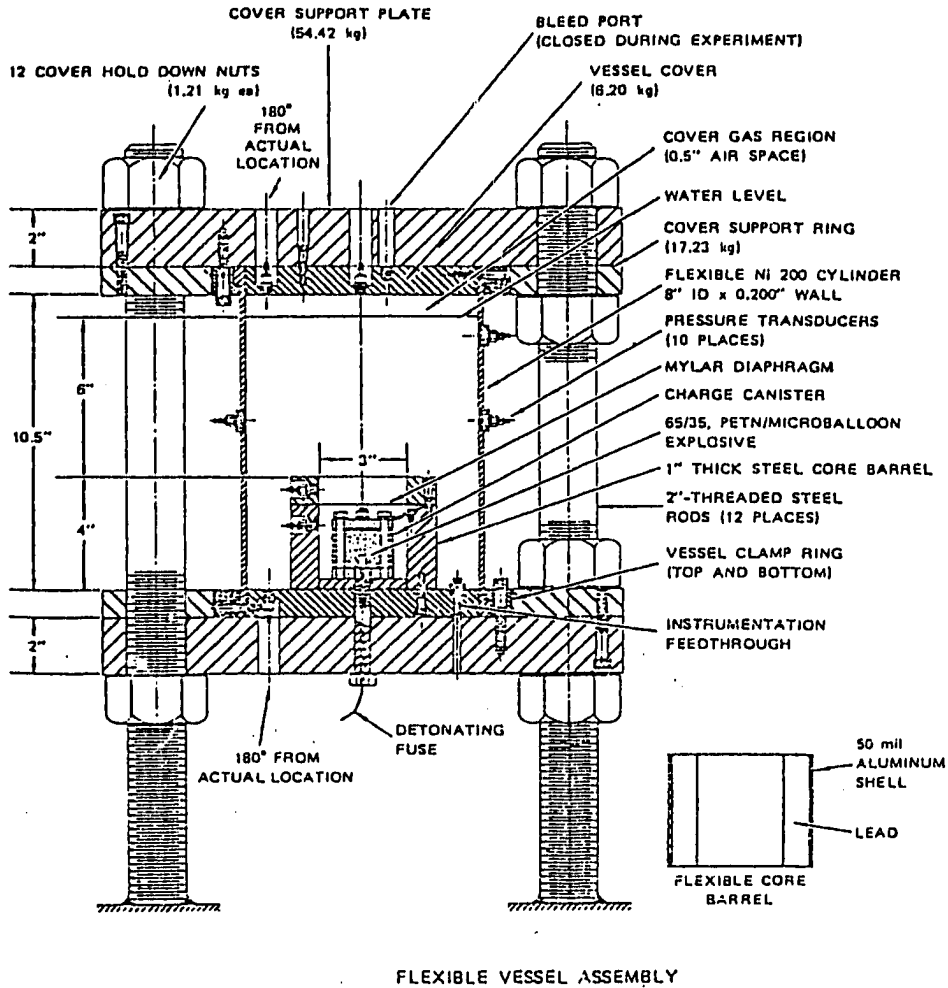


Fig. 3.2.1 SRI Experiment FV102 System (3-2)

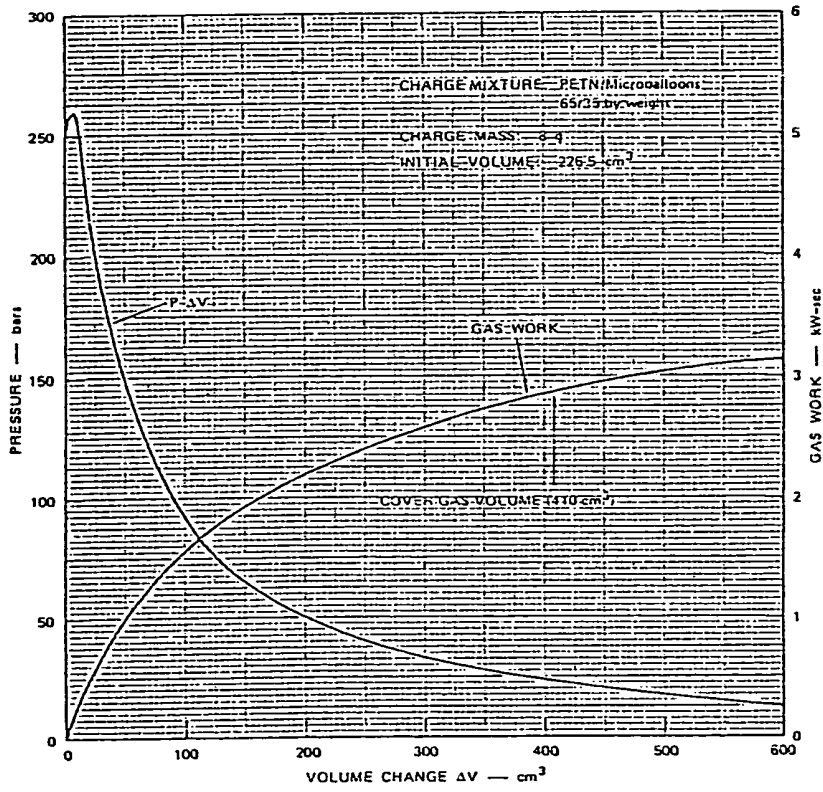


Fig. 3.2.2 Pressure-volume Change and Gas Work-Volume Change Relationships for Energy Source (3-2)

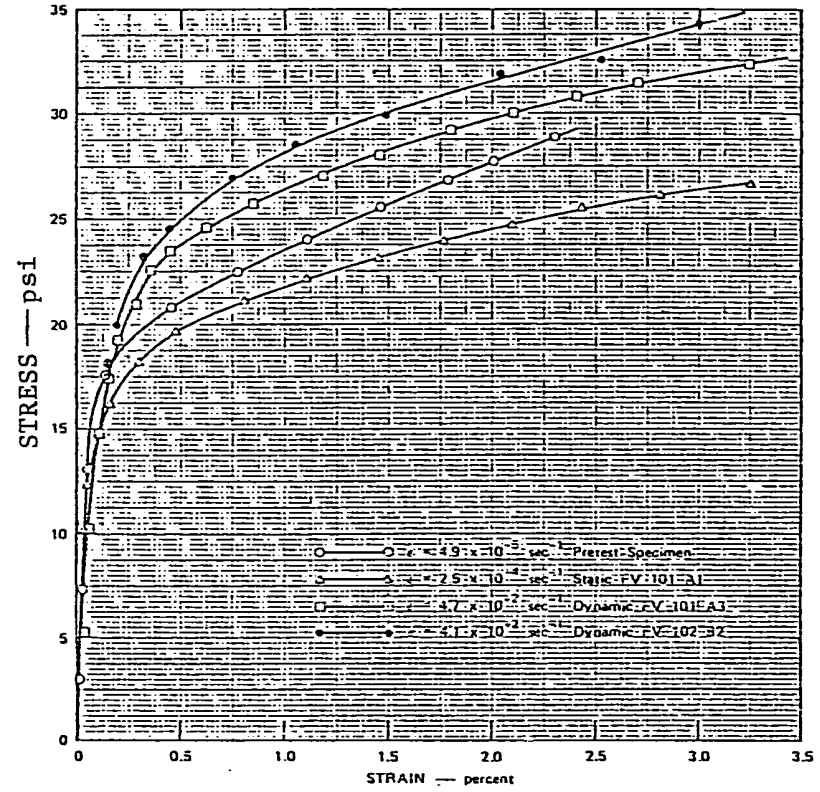


Fig. 3.2.3 Measured Stress-Strain Curves for Ni 200(3-2)

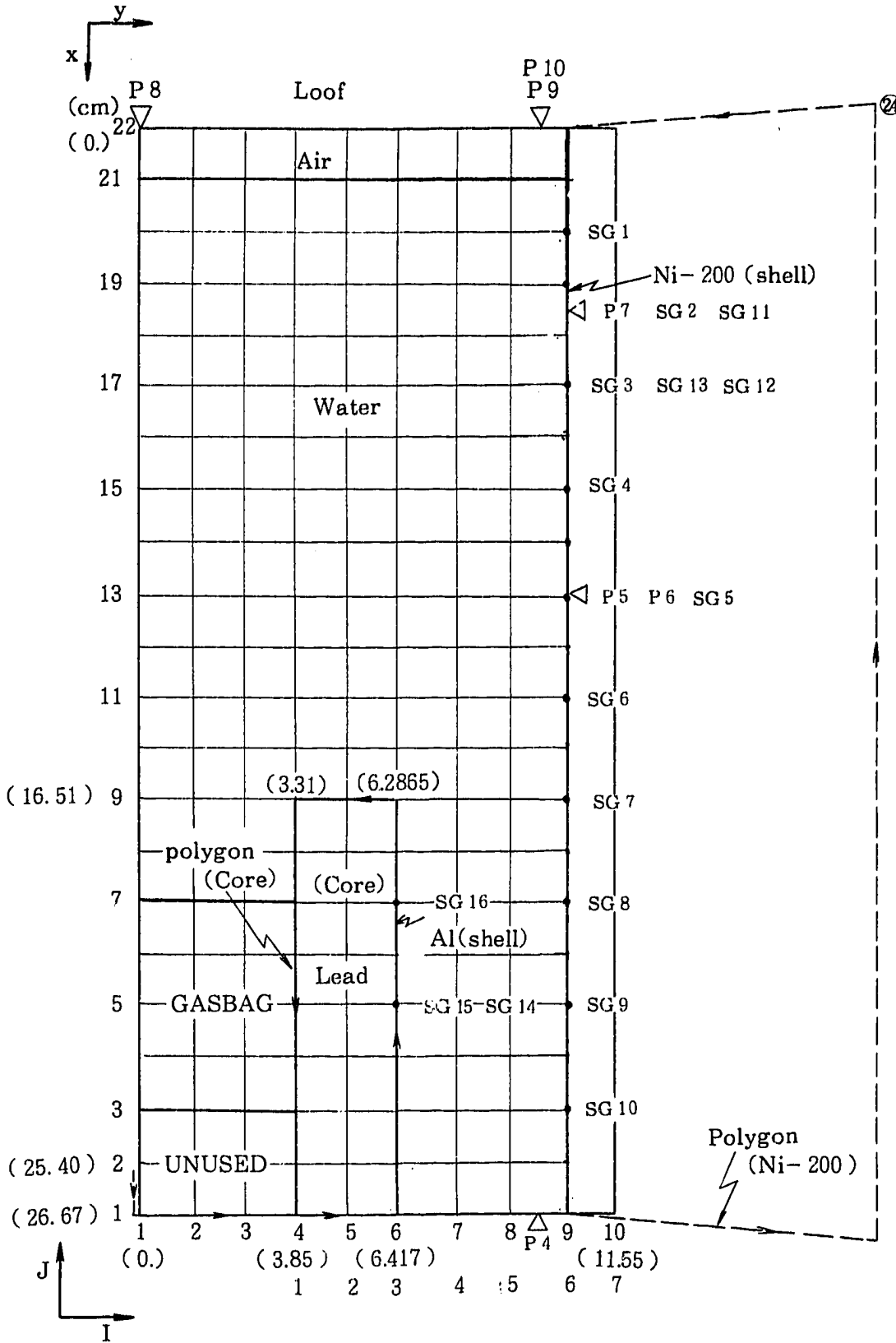


Fig. 3. 2. 4 Analytical Model of SRI Experiment FV 102 by PISCES-2 DELK

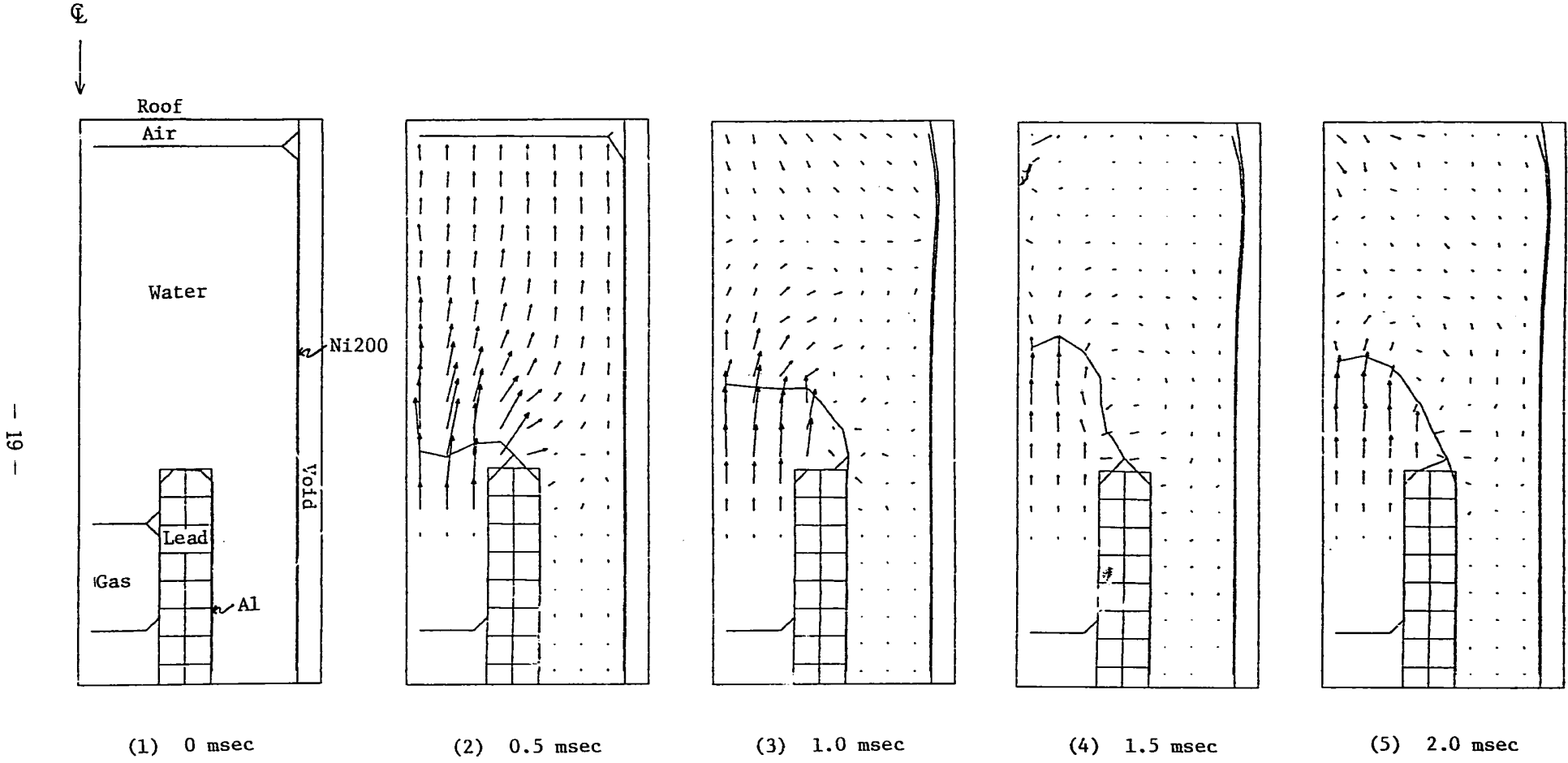
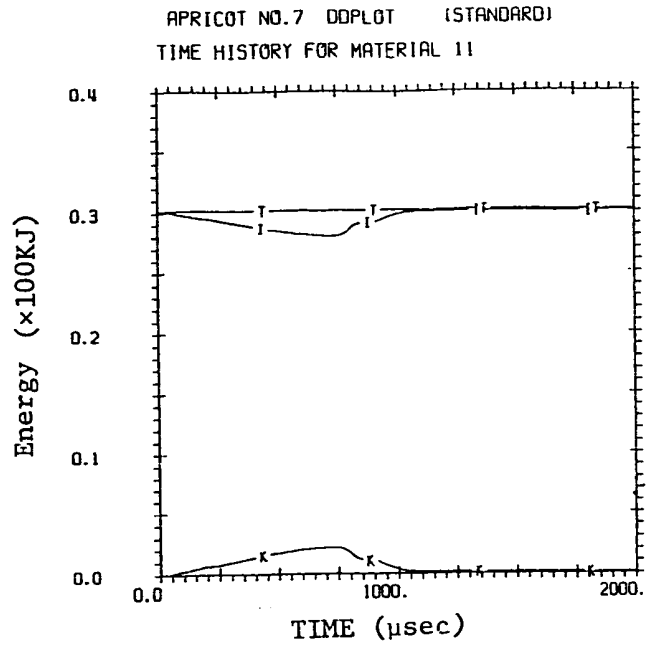


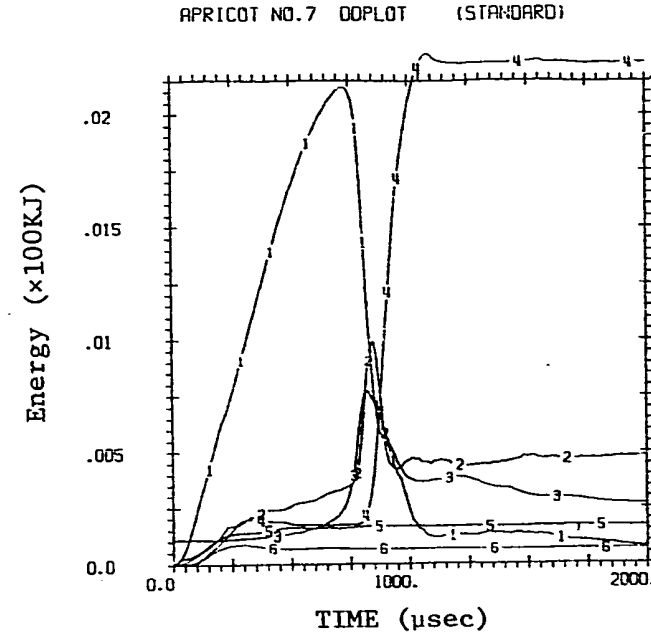
Fig. 3.2.5 Whole Configuration History by Analysis

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11 (All Material Sum)
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11 (")

1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Water)
 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Air)
 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (Ni200)
 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lead)
 6 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 6 (Al)



Total Energy History



Each Material Energy History

Fig. 3.2.6 Energy History by Analysis

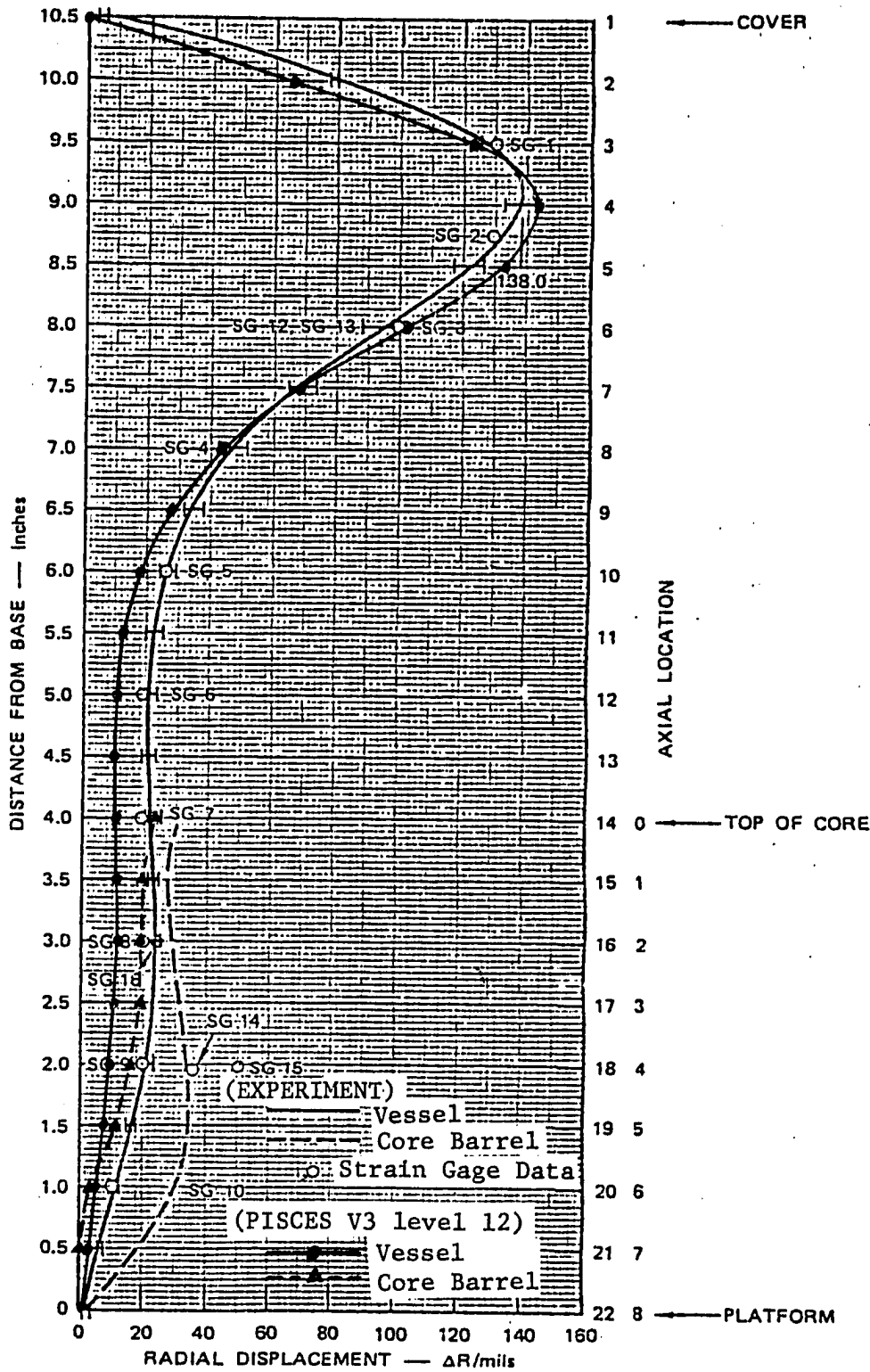
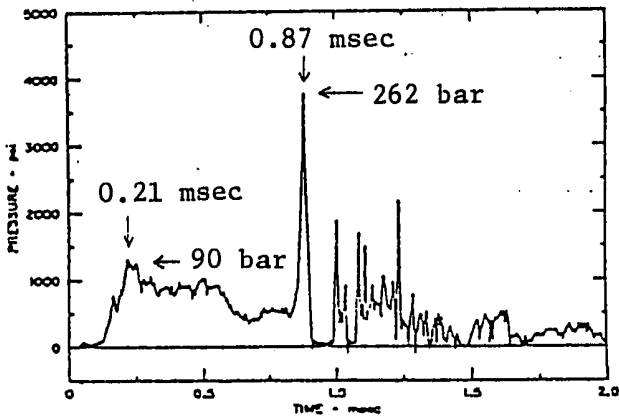
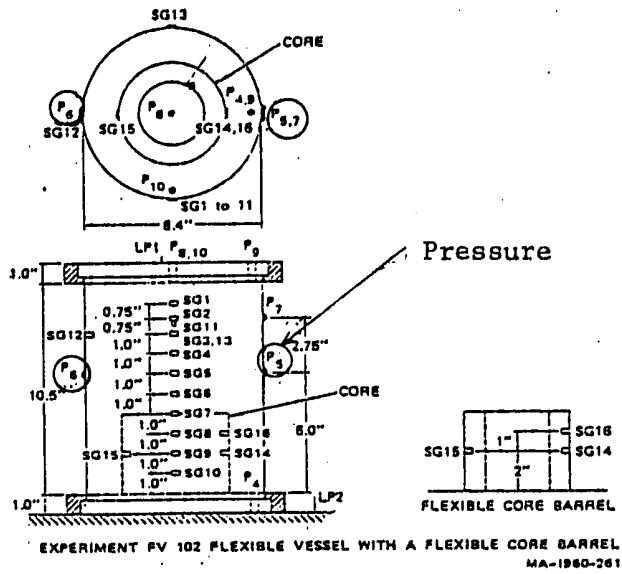
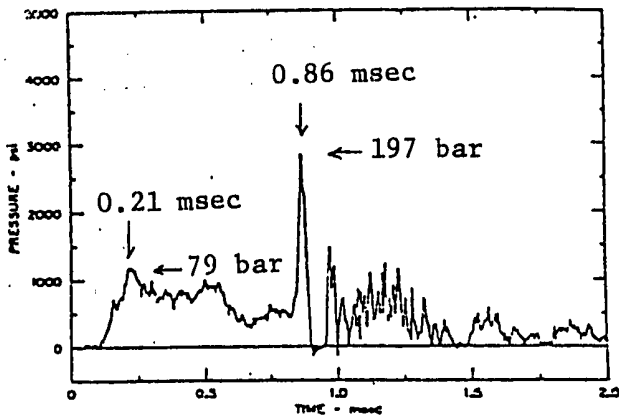


Fig. 3.2.7 Comparison of Final Deformed Shape in SRI Experiment FV102

* 1 psi = 0.0689476 bar



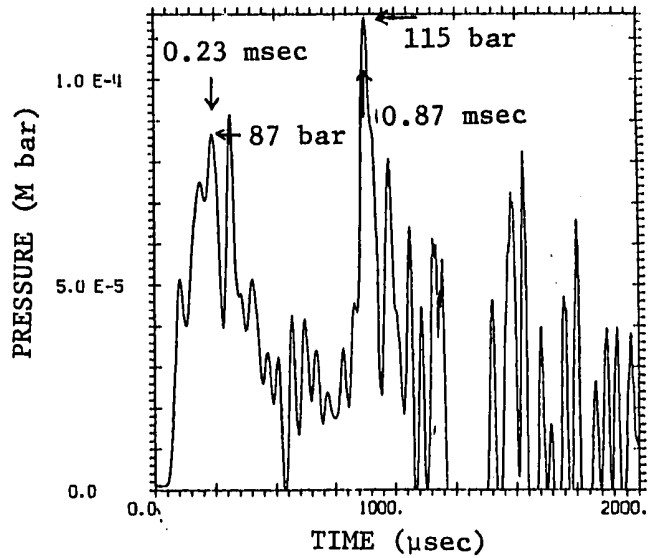
PRESSURE 5



PRESSURE 6

Experiment

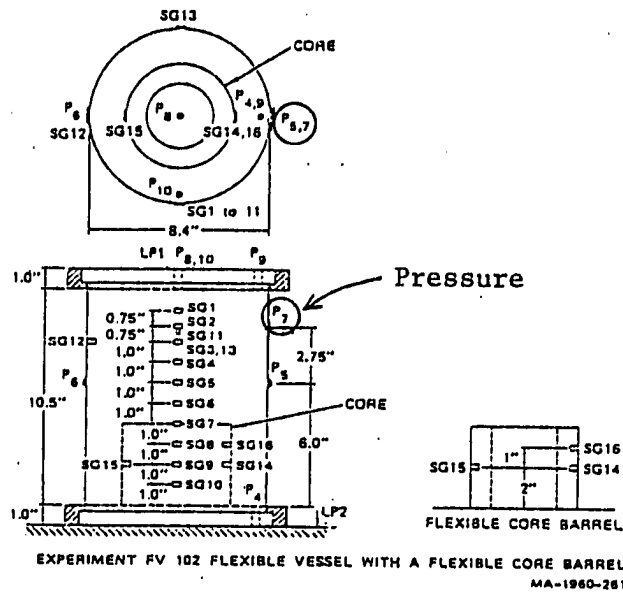
APRICOT NO.7 DDPL0T (STANDARD)
COLUMN 9 ROW 13 SUBGRID 1



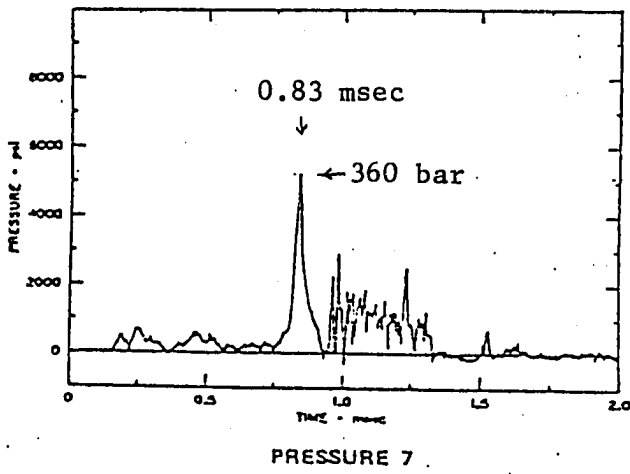
PRESSURE 5, 6

Calculation

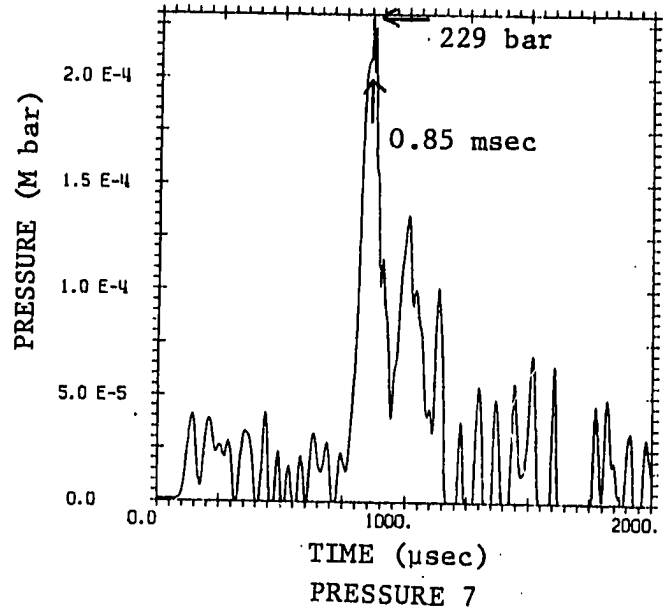
Fig. 3.2.8(a) Comparison of Pressure History in SRI Experiment FV102



APRICOT NO.7 DDPL0T (STANDARD)
COLUMN 9 ROW 19 SUBGRID 1

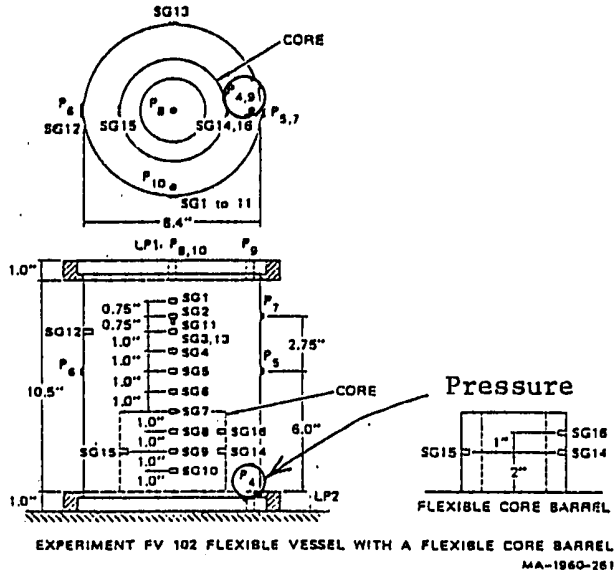


Experiment

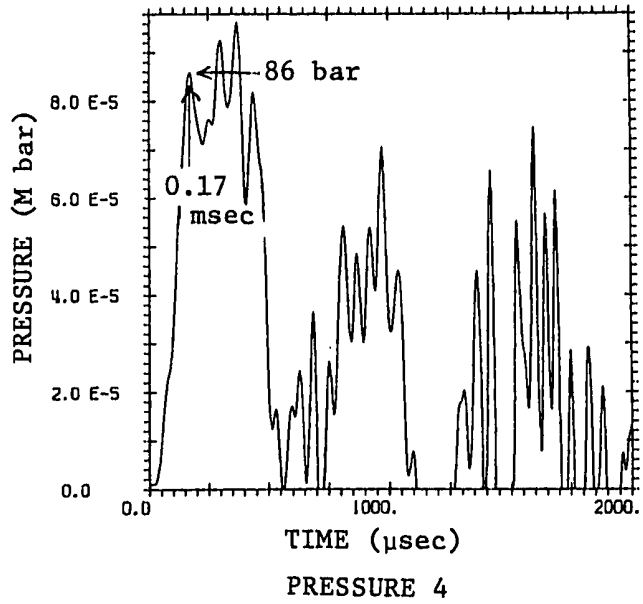
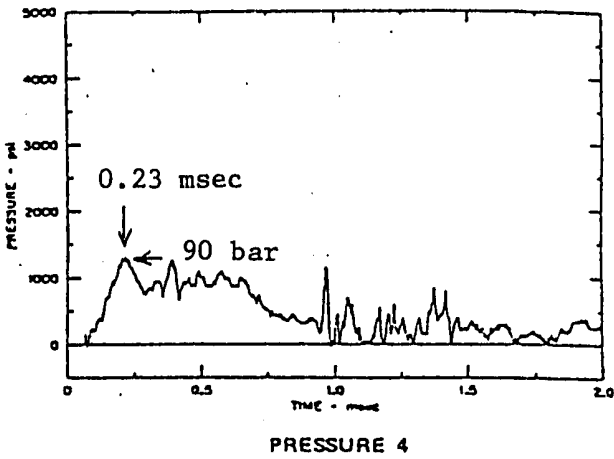


Calculation

Fig. 3.2.8(b) Cont'd.



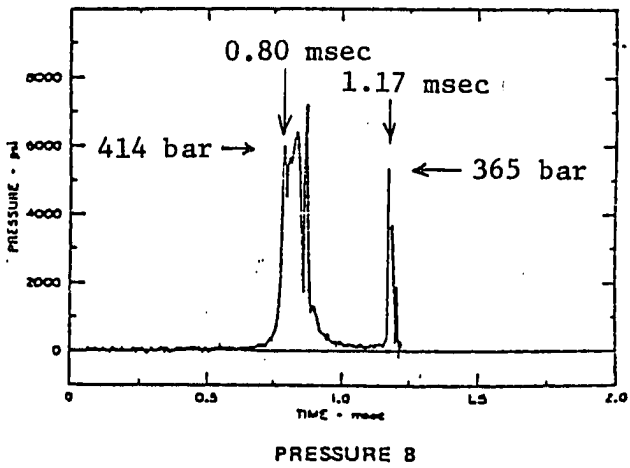
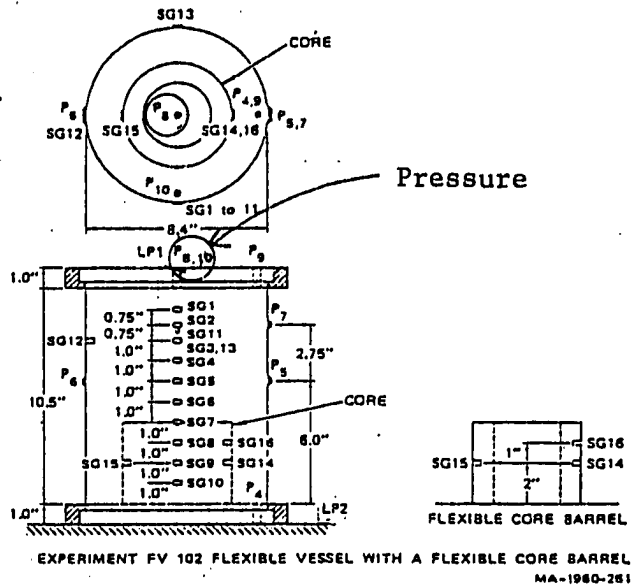
APRICOT NO.7 DDPLOT (STANDARD)
COLUMN 9 ROW 2 SUBGRID 1



Experiment

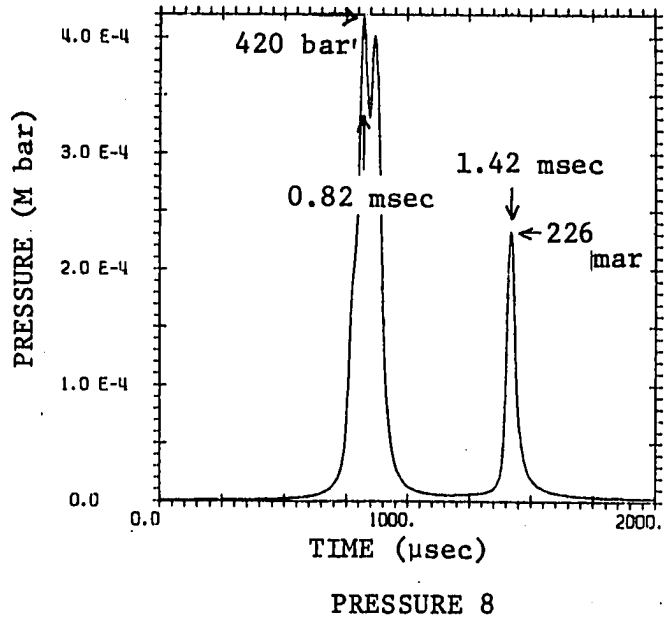
Calculation

Fig. 3.2.8(c) Cont'd.



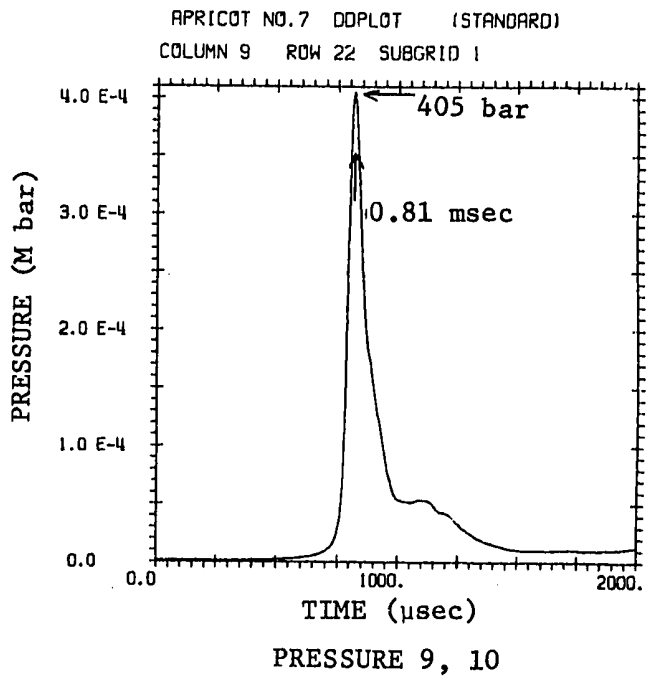
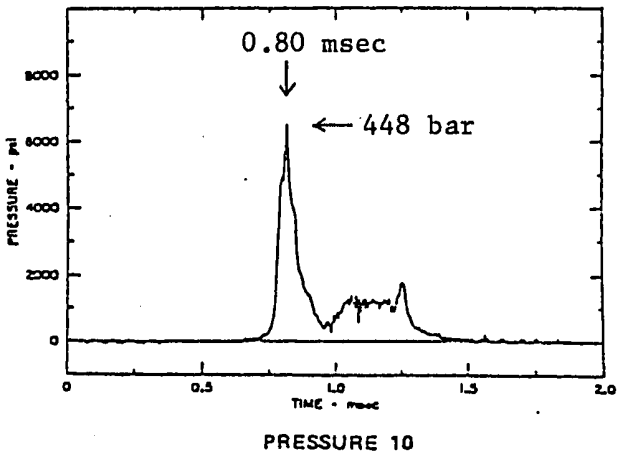
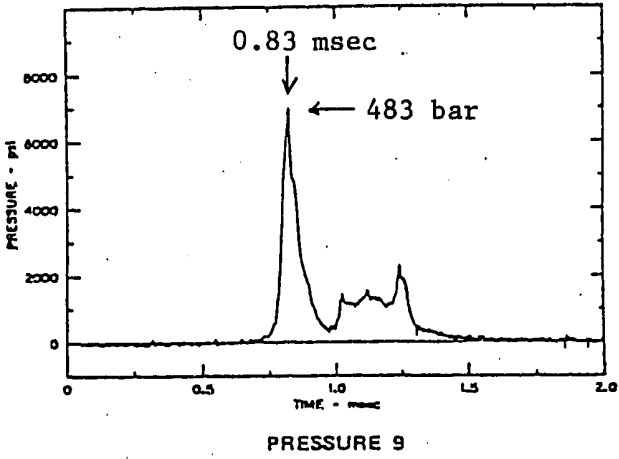
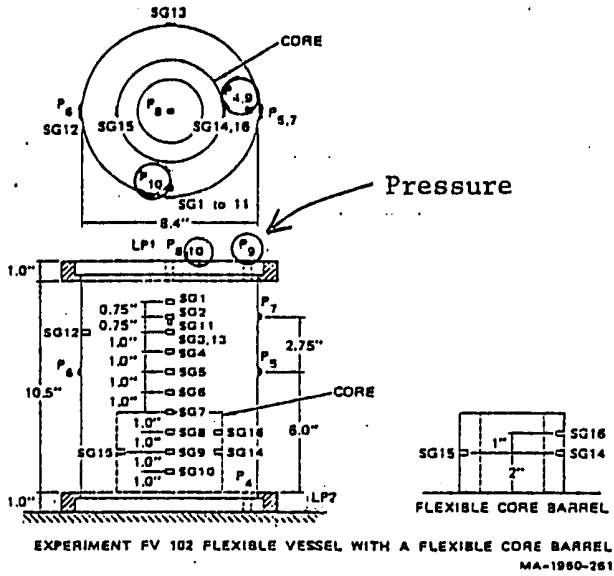
Experiment

APRICOT NO.7 DDPL0T (STANDARD)
COLUMN 2 ROW 22 SUBGRID 1



Calculation

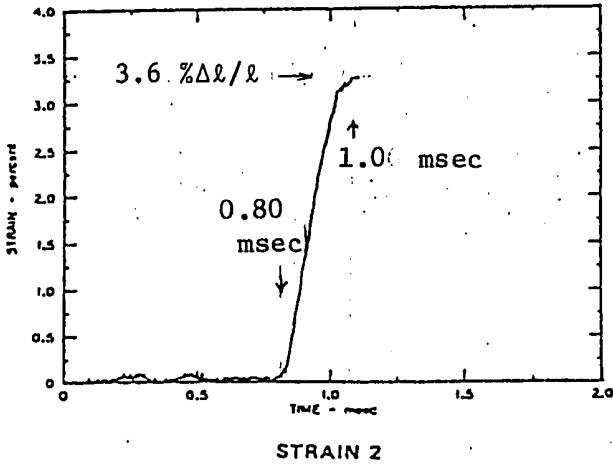
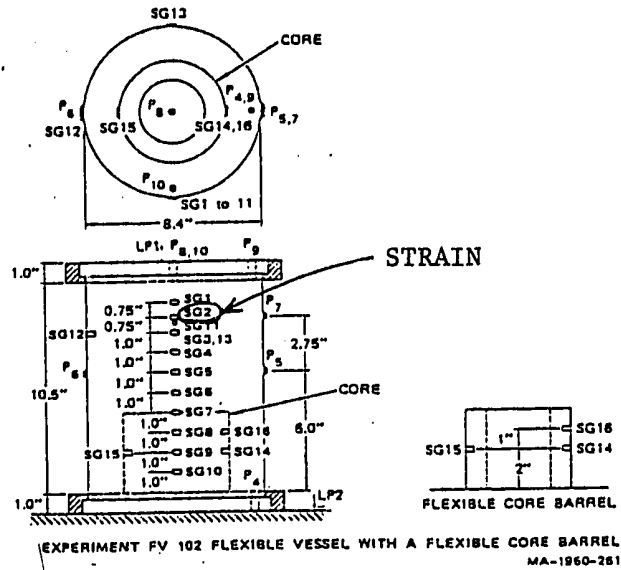
Fig. 3.2.8(d) Cont'd



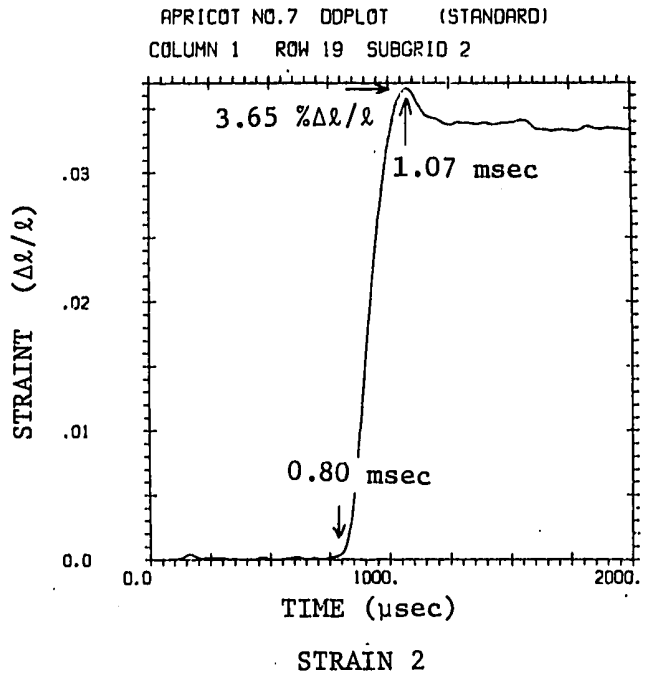
Calculation

Experiment

Fig. 3.2.8(e) Cont'd

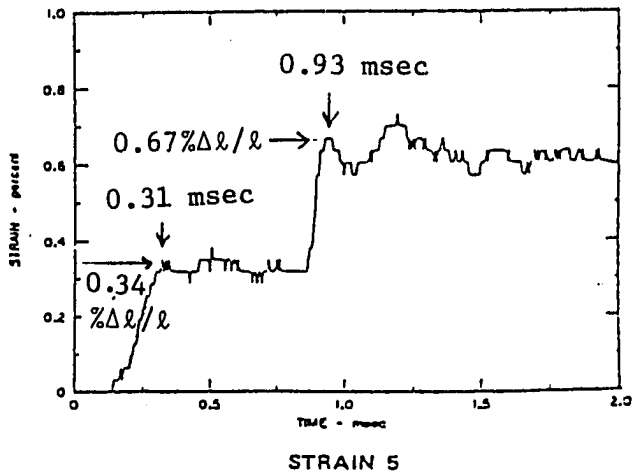
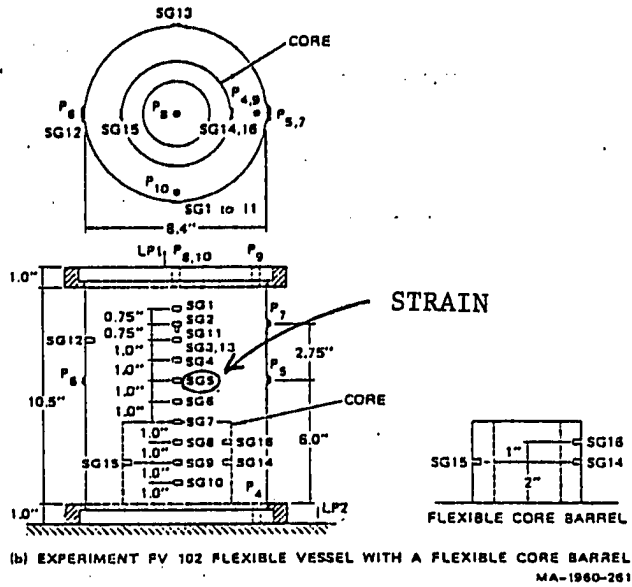


Experiment

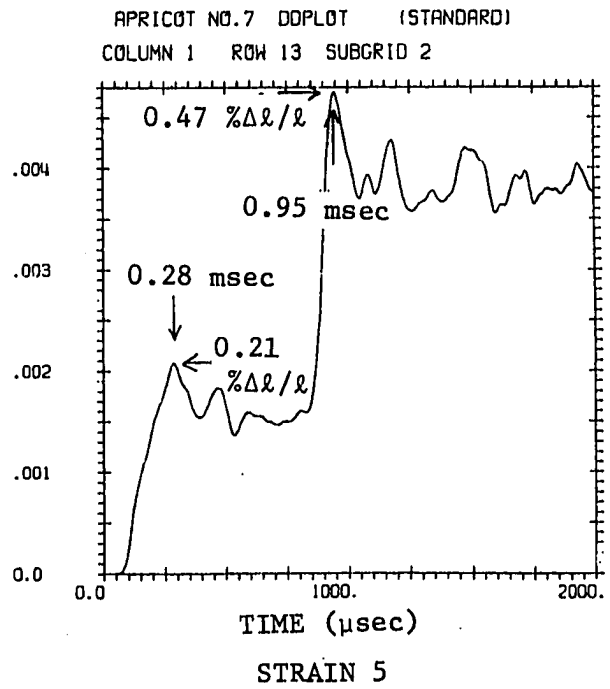


Calculation

Fig. 3.2.9(a) Comparison of Dynamic Strain History in SRI Experiment FV102

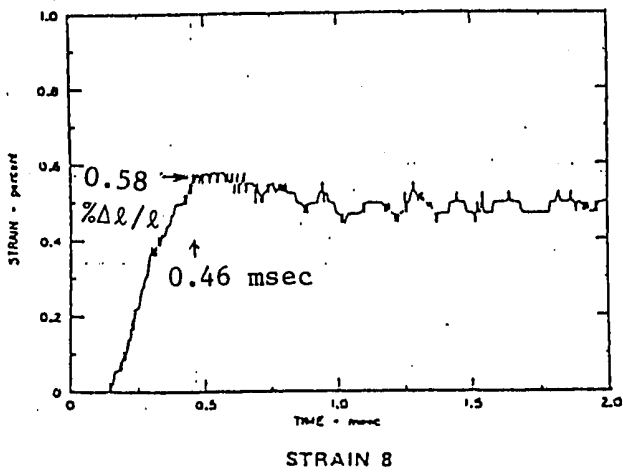
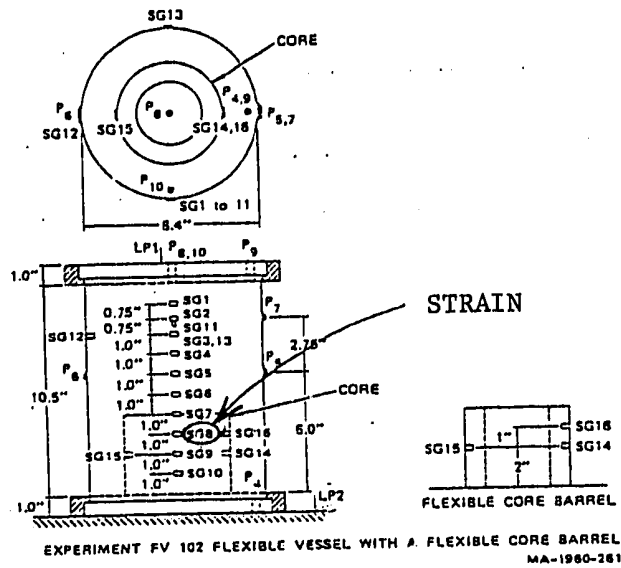


Experiment

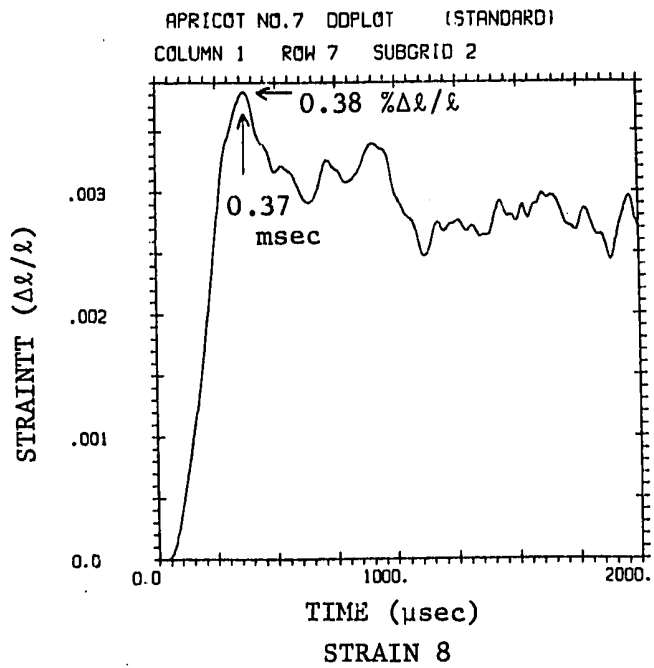


Calculation

Fig. 3.2.9(b) Cont'd.



Experiment

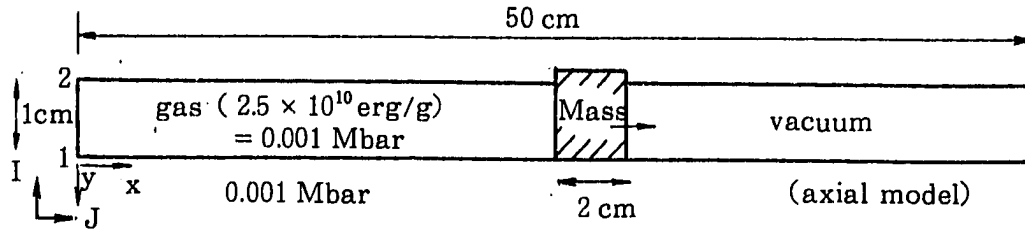


Calculation

Fig. 3.2.9(c) Cont'd.

3.3 ピストンの加速

体系の概要



上図に示すように、静止したピストンがガスにより加速される。移動は一次元であり、反対側は真空である。

理論解と PISCES による結果の比較

この体系では、左側の壁からの反射波がピストンに達するまでは、解析解が使える。⁽³⁻³⁾

図 3.3.1 に、ピストンの背圧と速度について、解析解と PISCES の結果の比較を示すが、その一致は極めて良好である。

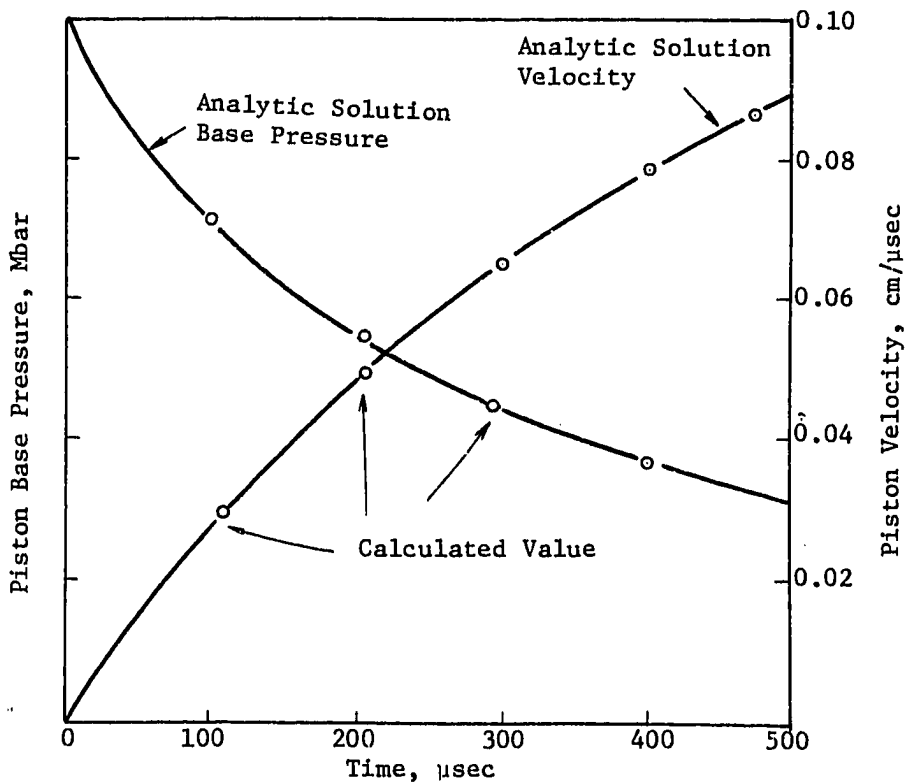
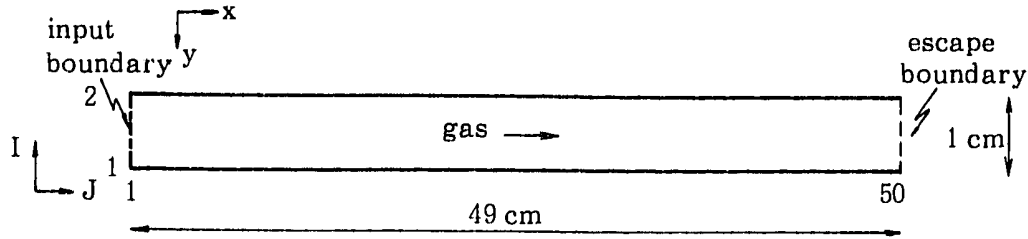


Fig. 3.3.1 Accelerating Piston

3.4 ガスの流入・流出

体系の概要



1 × 49 cm のガス管中で、左端に flow boundary が設定され、生じた衝撃波がガス中を伝わっていく。右端は、escape boundary に設定されている。

理論解と PISCES による結果の比較

衝撃波は input boundary で形成され、0.208 cm/μsec で escape boundary に向かって進行する。衝撃波フロントの後方では、全ての変数は input boundary の条件と同じであり、前方では初期条件のままである。

理想気体の音速：

$$C = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_s} = \sqrt{\gamma \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T} = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} \quad (3.4.1)$$

衝撃波の前面における伝播速度⁽³⁻⁴⁾：

$$v_1^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{\rho_1} \{(\gamma - 1) P_1 + (\gamma + 1) P_2\} \quad (3.4.2)$$

PISCES による結果は、図 3.4.1 を見ると伝播フロント部で若干の数値誤差があるが、概ね良好である。

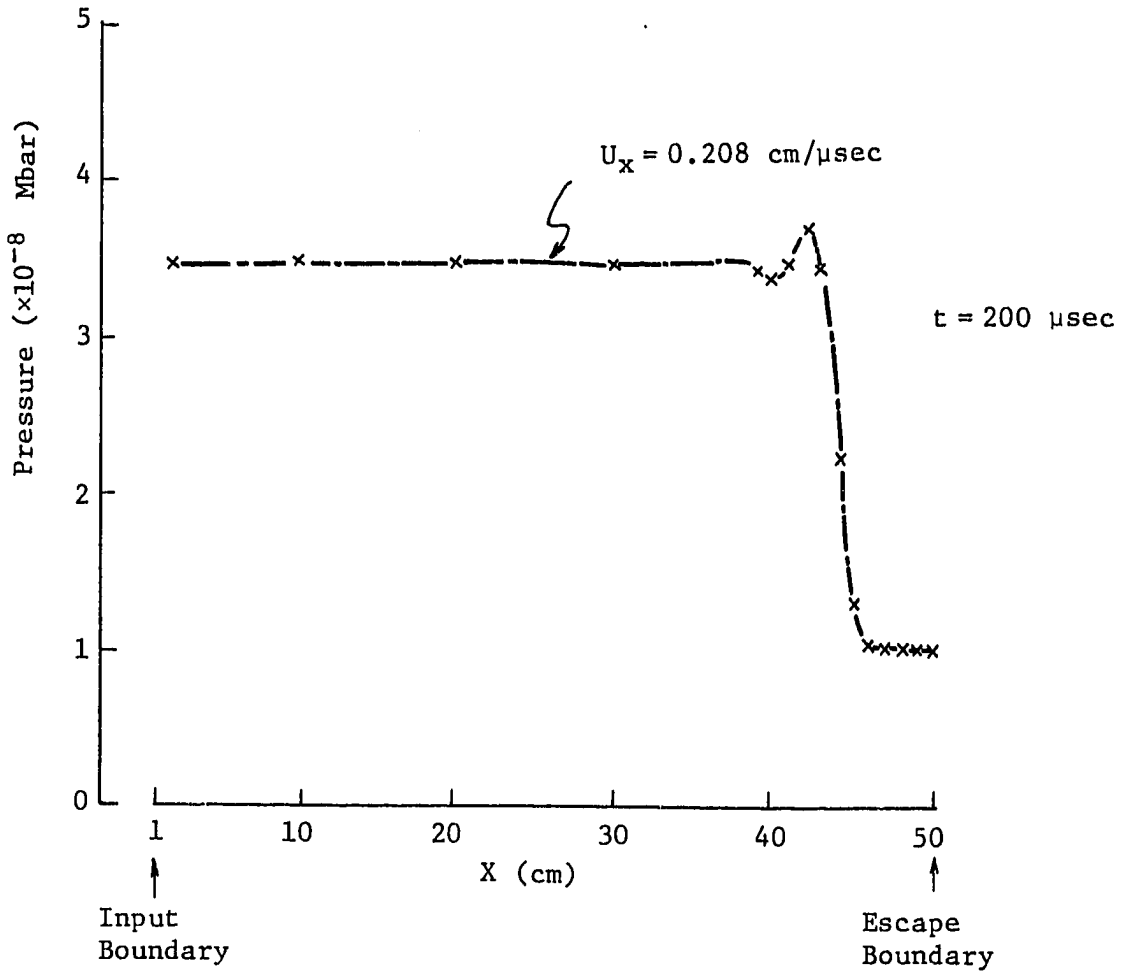
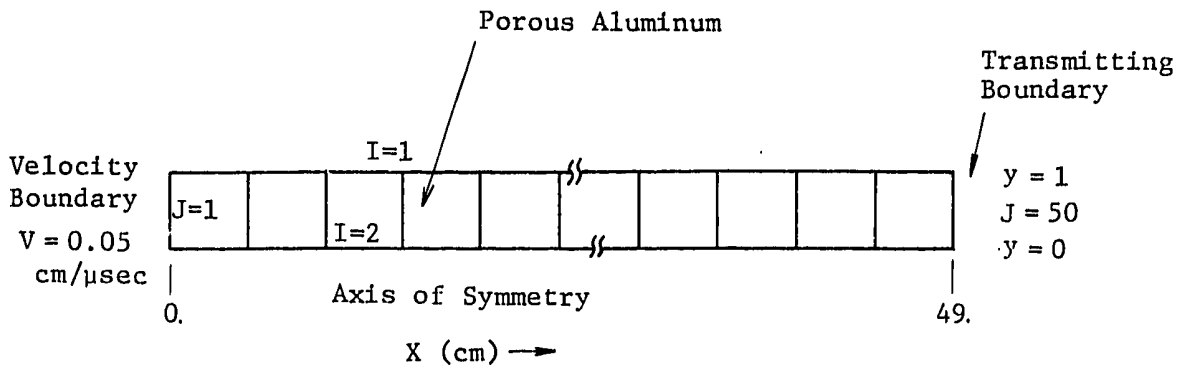


Fig. 3.4.1 Input and Escape Test

3.5 P-Alpha テスト (空孔性アルミニウム)

体系の概要

この問題は、W. Herman の P- α compaction モデル⁽³⁻⁵⁾⁽³⁻⁶⁾ をテストするためのもので空孔性材料の動的なコンパクションの様子を模擬する機能である。下に解析の体系を示す。空孔をもつアルミニウム (密度 (porous) = 2.0 g/cm³, 密度 (固体) = 2.7 g/cm³) の左端に 0.05 cm/ μ sec のステップ状の速度を加えることによりコンパクトさせる。



理論解と PISCES による結果との比較

Rankine - Hugoniot の関係より圧力 P, 衝撃波の速度 u_s , 物質の速度 u_p , 密度 ρ , の間に次の関係が成り立つ。(ただし初期状態, 密度 ρ_0 における初期圧力, 初期物質速度は零とする。)

$$P = \rho_0 u_s u_p \quad (3.5.1)$$

$$Px = \rho_0 u_p^2 \quad (3.5.2)$$

ここで $x \equiv 1 - \rho_0 / \rho = 1 - \alpha / \alpha_0$
 $\alpha \equiv \rho_s / \rho = v / v_s$ (空孔率)

(v : 比容積)

である。

従って初期条件 ρ_0 (すなわち初期 porosity α_0 と固体の密度) と物質の速度 u_p が与えられると, compaction shock wave の速度 u_s や圧力 P が求められる。

解析に用いた定数の 1 セットを以下に示す。

$$\begin{aligned}
 \rho_{SO} &= 2.7 \text{ g/cm}^3 \text{ (solid reference density)} \\
 \rho &= 2.0 \text{ g/cm}^3 \text{ (porous Al density)} \\
 \alpha_0 &= 1.35 = \rho_{SO}/\rho_0 \\
 c_0 &= 0.525 \text{ cm/}\mu\text{sec (solid sound speed)} \\
 c_{e0} &= 0.42 \text{ cm/}\mu\text{sec (porous sound speed)} \\
 h_0 &= c_{e0}/c_0 = 0.8 \\
 u_S &= c_0 + s u_p \text{ (shock wave equation of state)} \\
 s &= 1.3 \\
 \Gamma_0 &= 2.0 \text{ (Gruneisen; } \Gamma_0 \rho_0 = \Gamma \rho) \\
 P_e &= 0.5 \text{ Kbar (elastic limit pressure)} \\
 P_c &= 6.5 \text{ Kbar (compaction pressure)}
 \end{aligned}$$

PISCES による解析では, plastic compaction 曲線として Herrman の 2 次 $P-\alpha$ モデルを用いた。

図 3.5.1 にそれぞれ $t = 50.431 \mu\text{sec}$, $t = 100 \mu\text{sec}$ における圧力分布の理論解との比較を示す。図からわかるようになりによい一致がみられる。

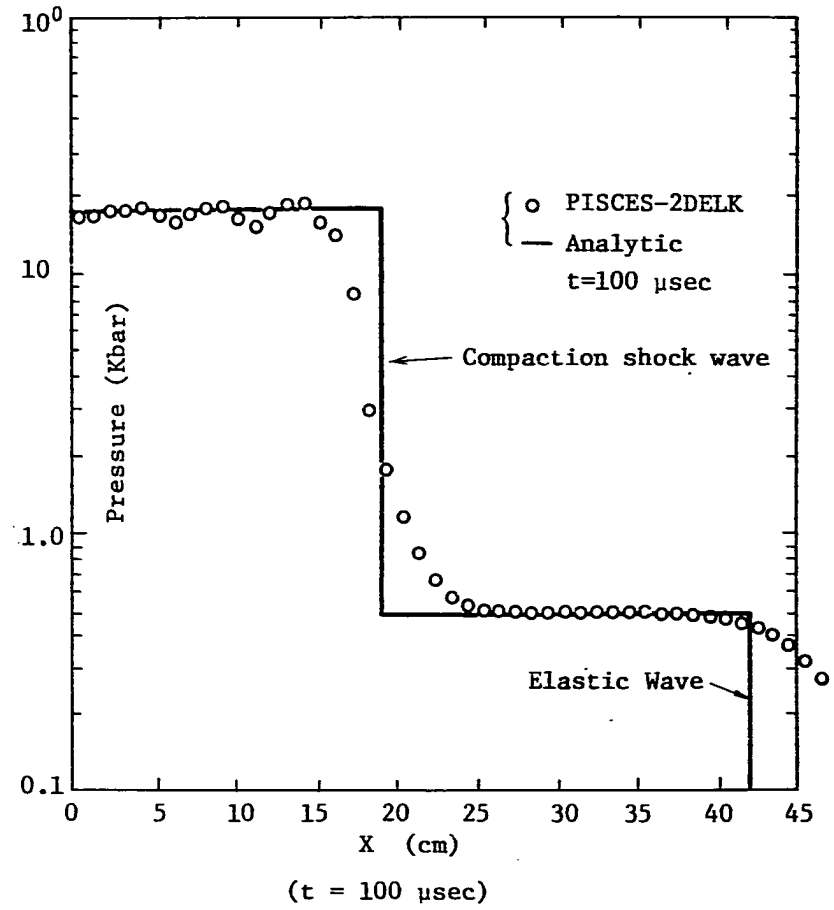
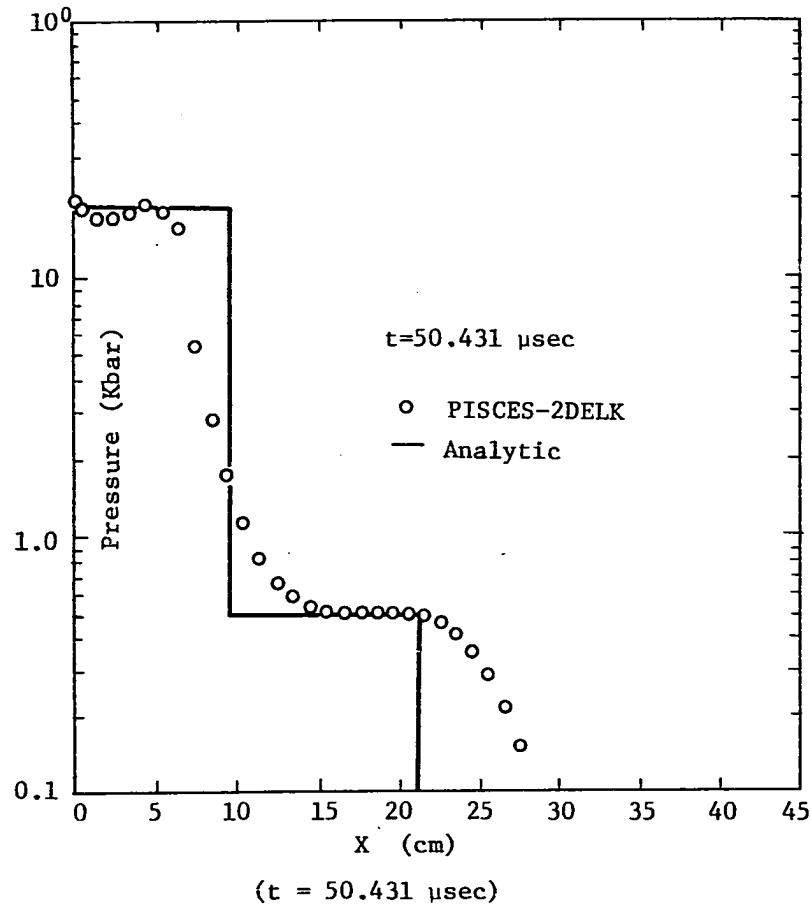
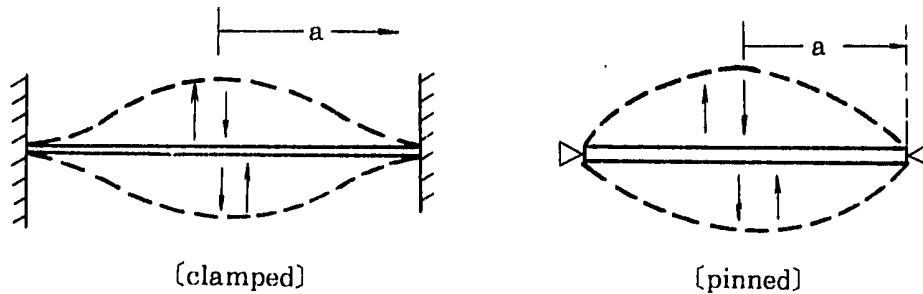


Fig. 3.5.1 Pressure Profile of P-Alpha Test

3.6 円板の振動

体系の概要



両端が clamp または pin 状態で固定されている円板に初速度を与え、その振動の様子を見る。⁽³⁻⁷⁾ 両体系の、物性値（ヤング率、ポアソン比、板厚、密度、半径）及び初速度は、その周期 T がどちらも $628.32 \mu\text{sec}$ ($\omega = 10^{-2} \text{sec}$) の単純正弦モードとなるように設定されている。これは、Shell プロセッサのテストである。

理論解と PISCES による解の比較

図 3.6.1 に、理論解と、PISCES による解を、clamped 体系と pinned 体系の両方について、 $1/4 T$ 、 $1/2 T$ 、 $3/4 T$ の時点における変位として示す。どちらの体系でも、2つの解は良く一致している。

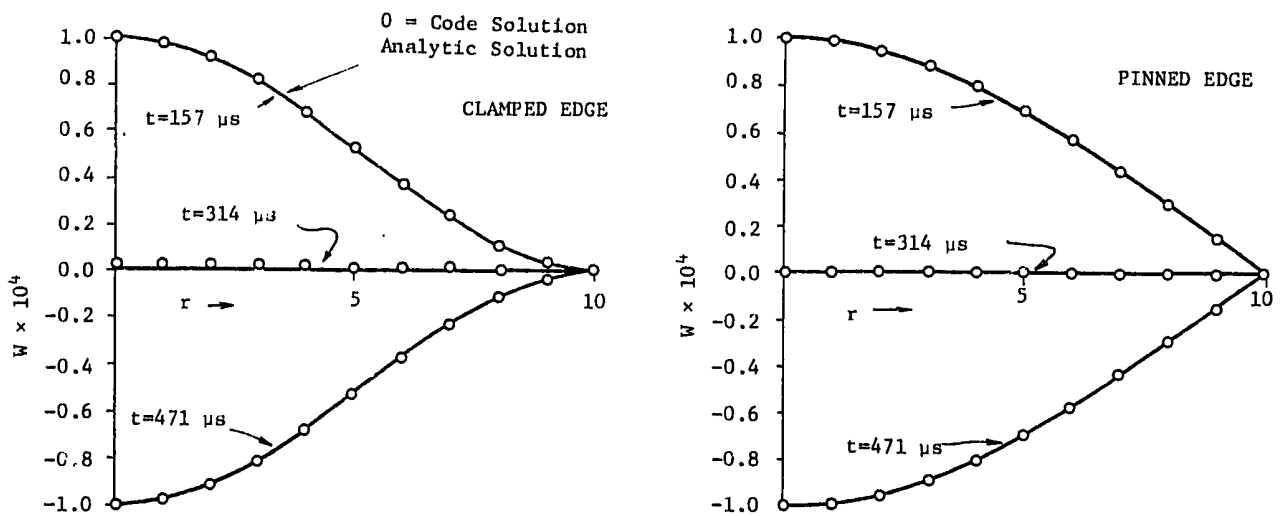
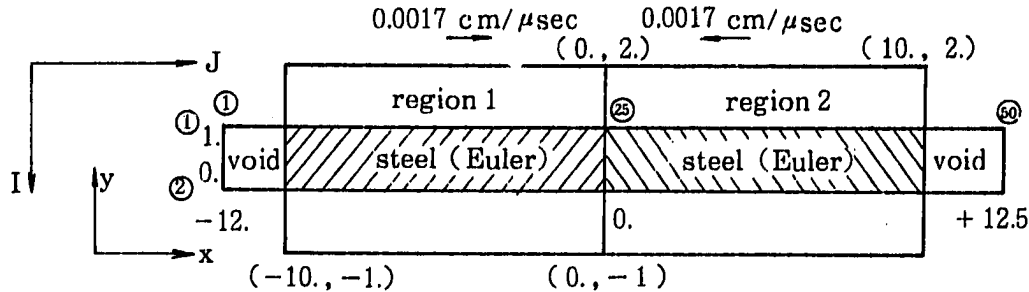


Fig. 3.6.1 Vibrating Circular Plate

3.7 鉄板の衝突

体系の概要



2領域の steel (材質同じ) が、一次的に、 $0.0017 \text{ cm}/\mu\text{sec}$ の速度で衝突する。本問題は、Euler プロセッサでの弾塑性計算のチェックのために設定された。

理論解と PISCES による解の比較

理論解は以下のようなになる。

- 弾性波の伝播速度 : $0.604 \text{ cm}/\mu\text{sec}$
- のマグニチュード : 0.00487 Mbar
- 塑性波の伝播速度 : $0.464 \text{ cm}/\mu\text{sec}$
- のマグニチュード : 0.0073 Mbar

図 3.7.1 に $15 \mu\text{sec}$ 時点での理論解と PISCES による結果を比較して示す。両者の一致は良好であると思われる。

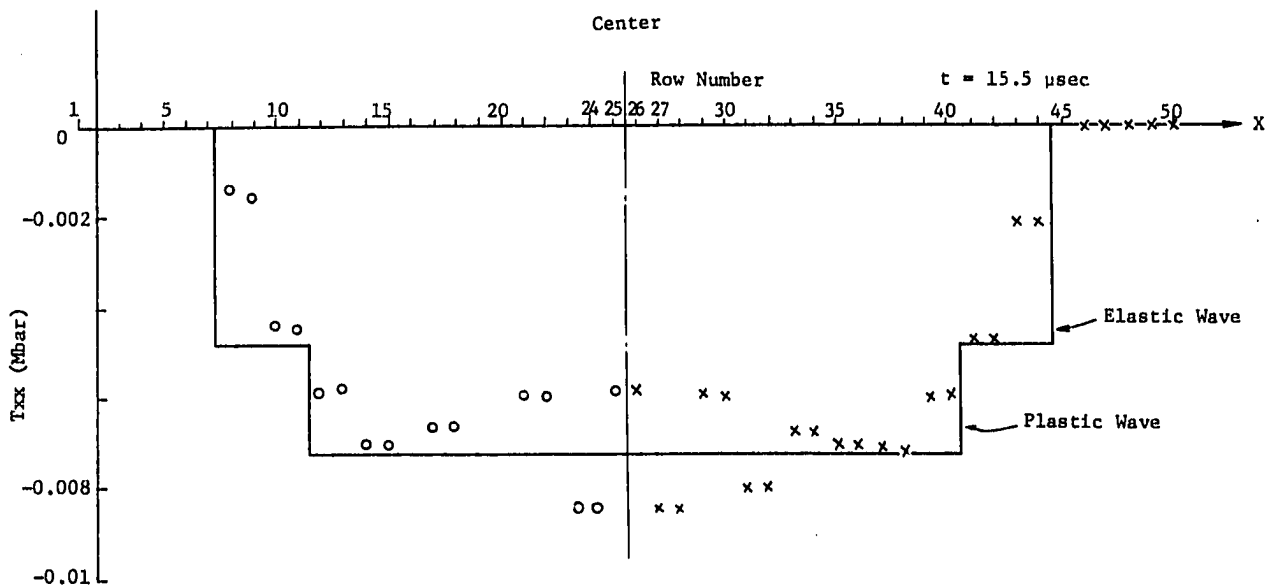
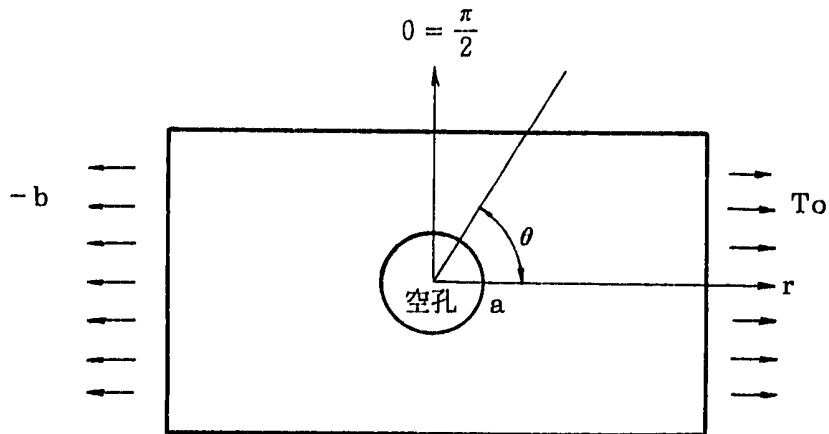


Fig. 3.7.1 Steel Slab Impact

3.8 空孔を持つ板の応力分布

体系の概要

中央に半径 a の空孔のある板に，両側から一様な張力 T_0 を作用させ，空孔のまわりの応力集中を見る。これは弾性計算であるが，静的な解を求めるために，velocity damping オプションを用いる。

理論解と PISCES による解の比較

(r, θ) 座標で， $\theta = \frac{\pi}{2}$ での tension 方向への応力分布は

$$\sigma_{\theta\theta}(r) = \frac{T_0}{2} \left(2 + \frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \quad (3.8.1)$$

となる。

図 3.8.1 に，この理論解と PISCES による解を比較した結果を示す。両者は，非常に良い一致を示した。

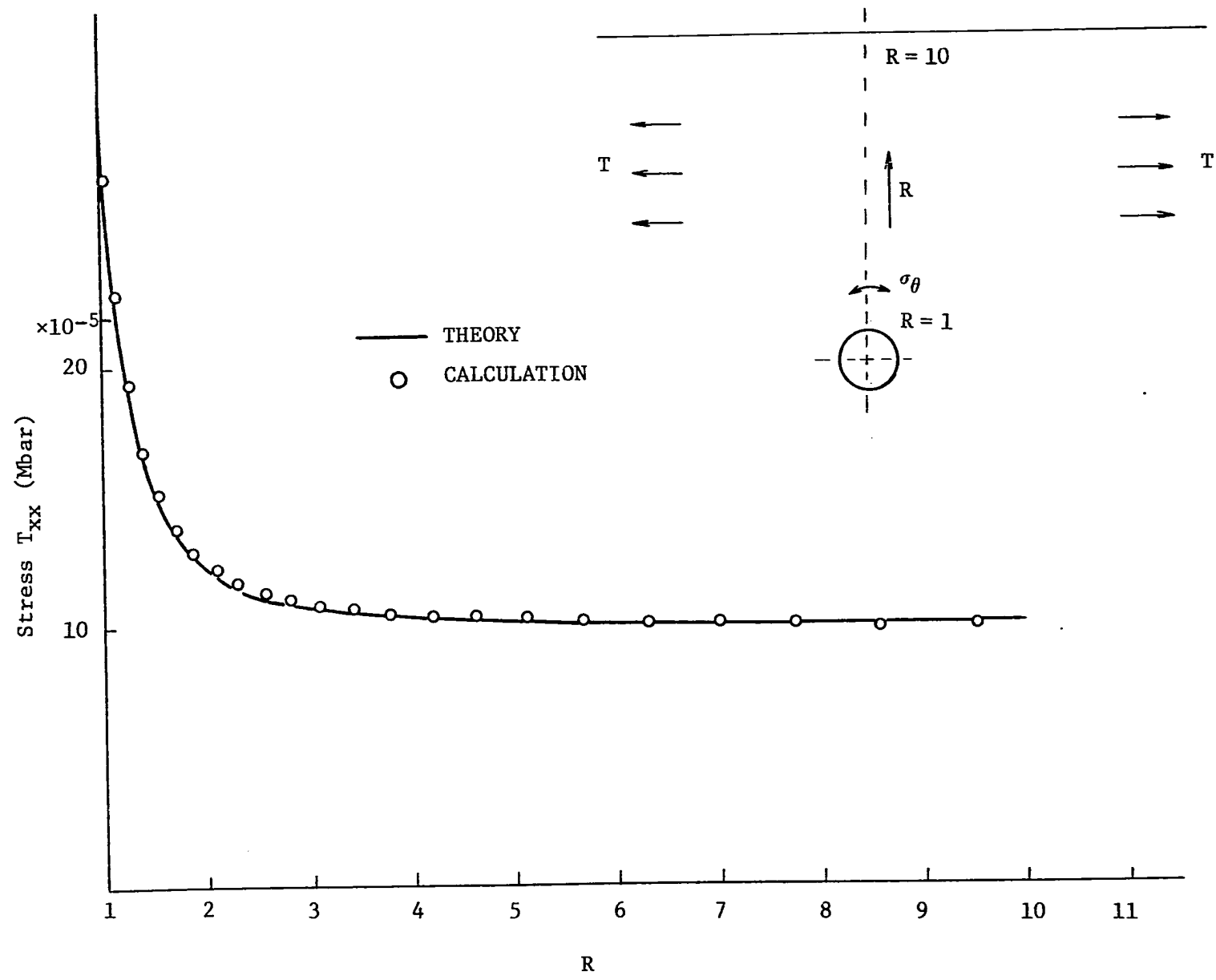
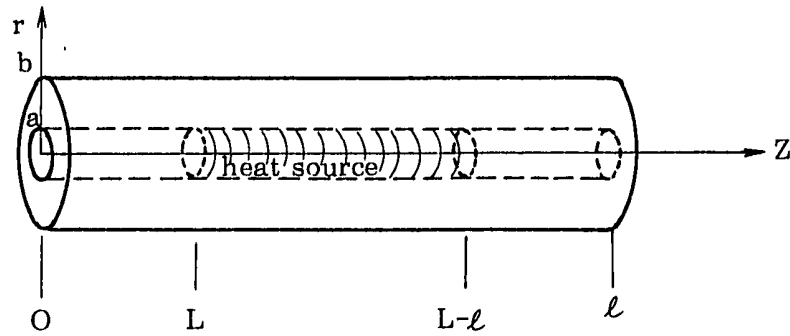


Fig. 3.8.1 Circular Hole in a Plate

3.9 円筒内の温度分布

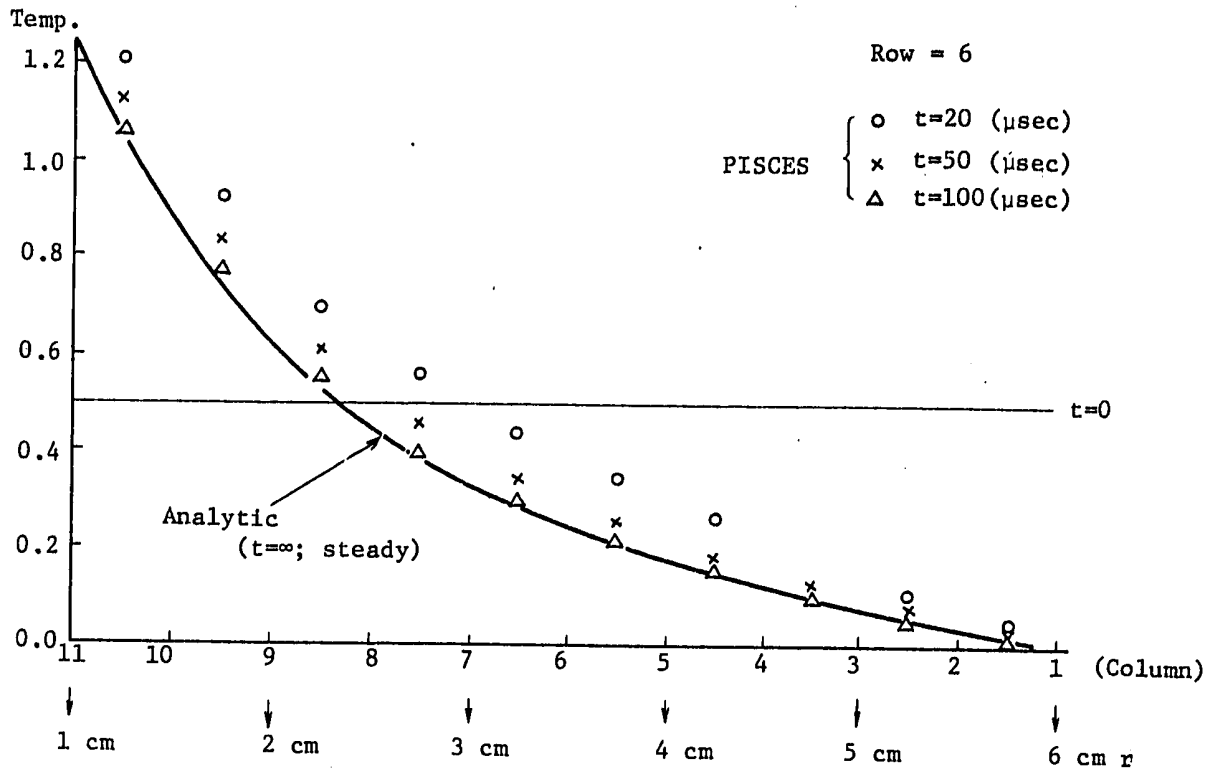
体系の概要



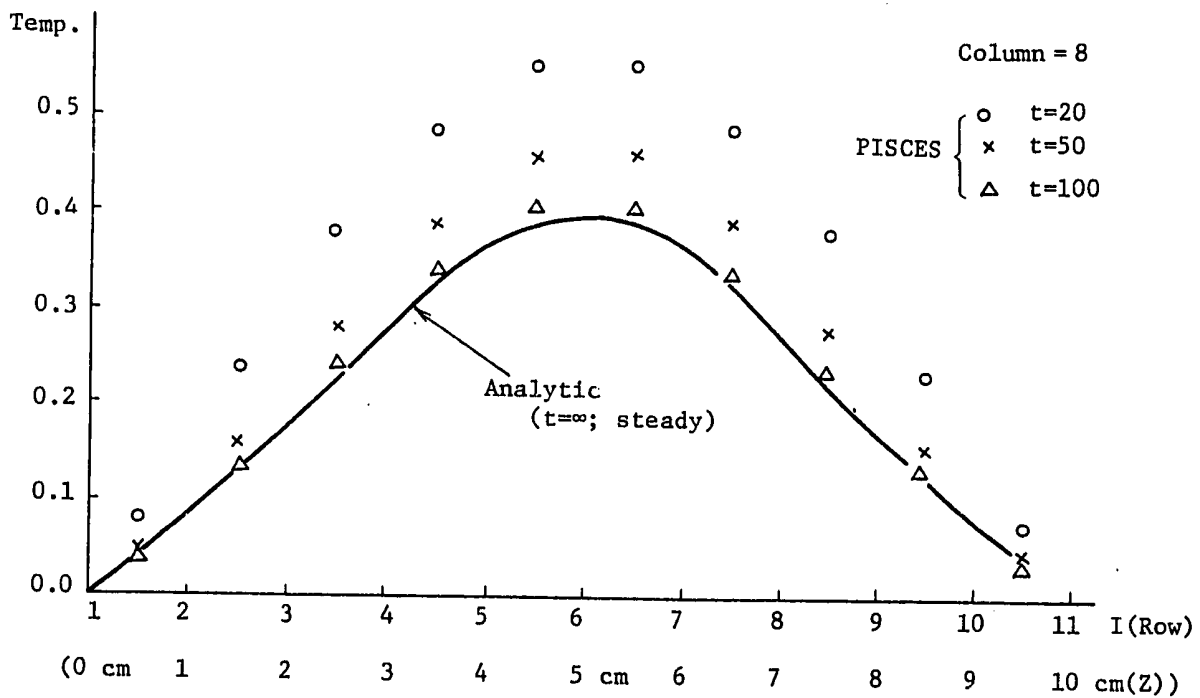
中空の有限円筒の中に、熱源がある場合の温度分布を計算する。境界条件として、中空円筒の内面と外面に各々温度分布を設定する。

理論解と PISCES による解の比較

図 3.9.1 に理論解と PISCES による解を比較して示す。両者は良く一致している。



(a) Temp. Profiles at Z=4.5 cm

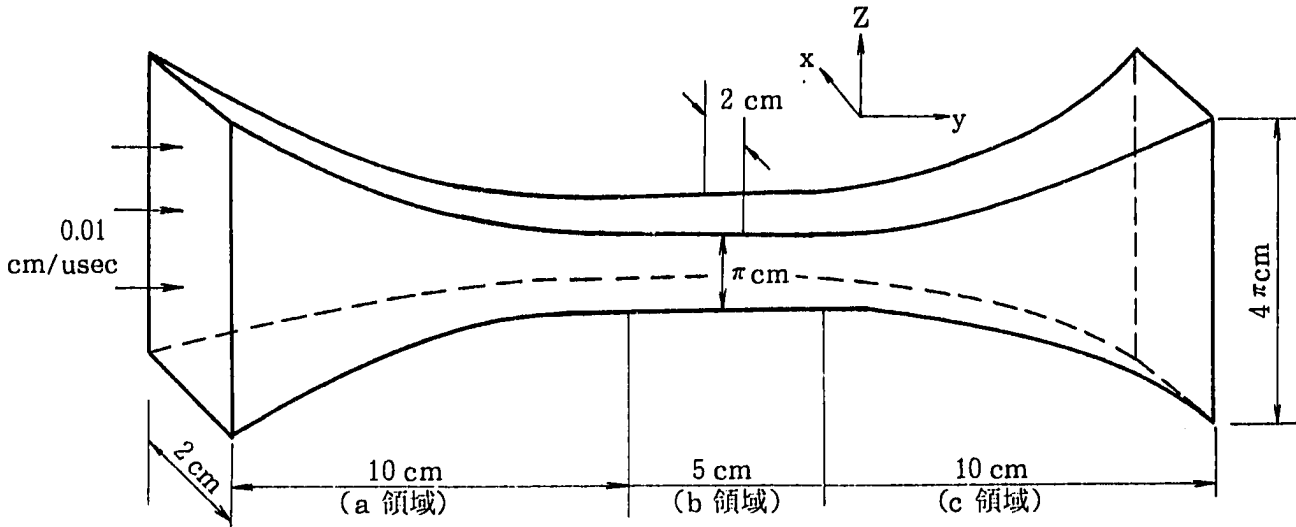


(b) Temp. Profiles of r=2.75 cm

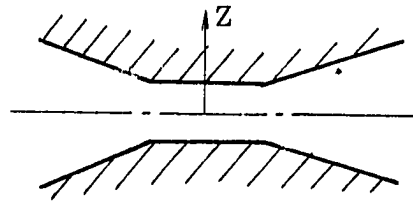
Fig. 3.9.1 Hollow Cylinder with Heat Flux Boundary

3.10 ノズル内の流れ

体系の概要



この問題は、流路断面が、縮小 → 拡大と変化するノズルでの1次元定常流を扱う。throatでの断面積は、出入口の断面積の1/4に絞られている。この問題はtwo-halved dimension オプションのテストとしても用いられていて、右図のようにZ方向のみ流路断面が変化をする。



理論解と PISCES による解の比較

一般に、非粘性ガスの定常・断熱（等エントロピー）状態でのノズル内の流れについては、管断面積 A とマッハ数 M の間に以下の関係式が成り立つ。(3-8)

$$\frac{dA}{A} = \frac{-(1-M^2)}{1 + \frac{\gamma-1}{2}M^2} \frac{dM}{M} \quad (3.10.1)$$

これを積分して、上流入口、下流出口での断面積、マッハ数を各々 A_1, A_2, M_1, M_2 とすると、

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{M_2}{M_1} \left\{ \frac{1 + (\gamma-1) \frac{M_1^2}{2}}{1 + (\gamma-1) \frac{M_2^2}{2}} \right\}^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (3.10.2)$$

となる。ガス流は、縮小管部（a領域）で亜音速（ $M < 1$ ）、throat部（b領域）で音速

($M=1$)，拡大管部（c領域）で超音速（ $M>1$ ）となる。

図3.10.1にノズルの各位置でのマッハ数を，管断面積（相対値）に対してプロットした結果を示す。理論解と PISCES による解は，縮小管部では良く一致しているが，拡大管部では若干の差が見られる。これは，ノズル出口での escape boundary の扱いが近似的であるためと考えられるが，その差は小さく，満足できるものと言える。

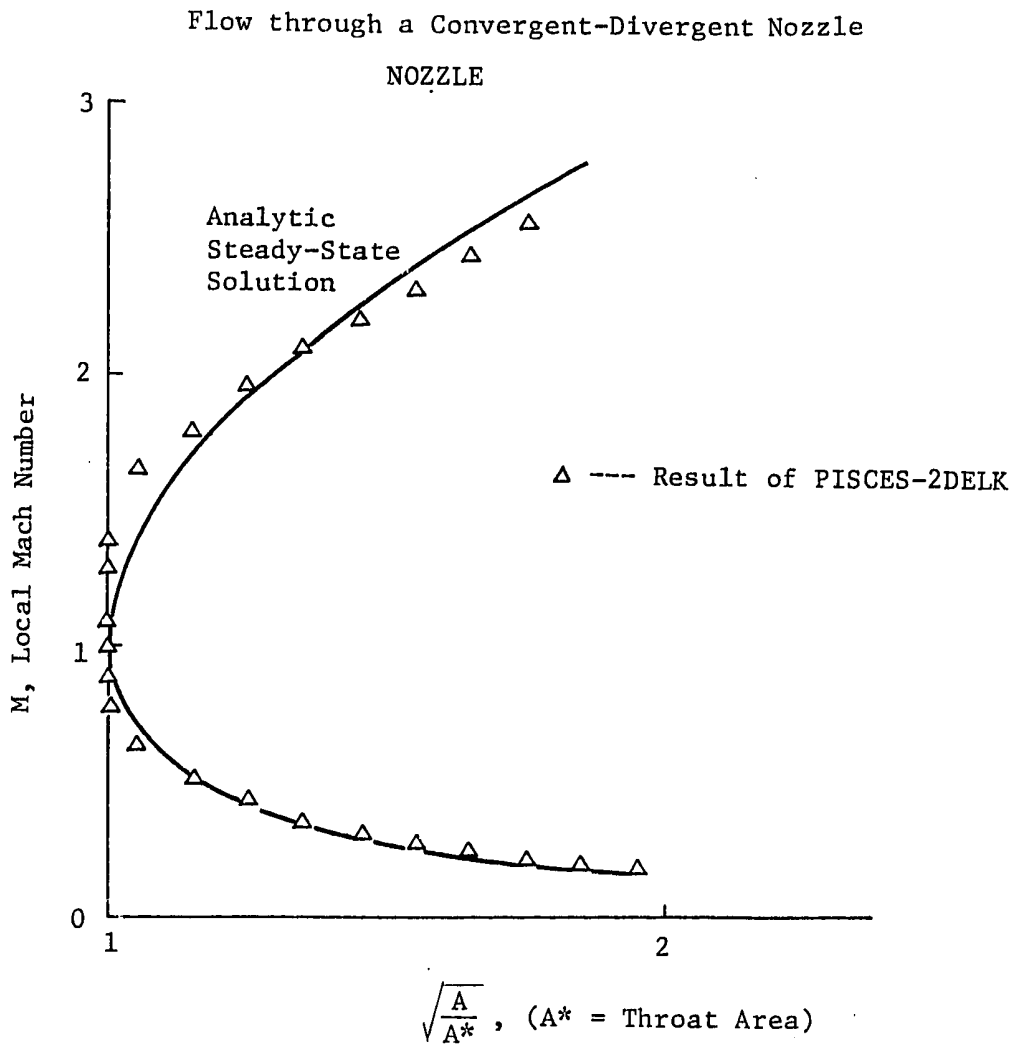


Fig. 3.10.1 Nozzle Test

3.11 ブローダウン実験

実験体系の概要

この問題は、Edwards と O'Brien が行ったブローダウン実験⁽³⁻⁹⁾の解析である。この実験は、軽水炉の LOCA (Loss of Coolant Accident) のブローダウン現象を解析する手法の評価のため米国エネルギー省が行った一連の研究の中の最初の実験である。実験体系を図 3.11.1 に示す。

長さ 13.44 feet (= 4.1 m), 内径 2.88 inches (= 7.3 cm) の直管の中に 1000 psig (= 69 bar) の高温水が閉じ込められており、管端のラプチャディスクを破壊させてブローダウンを起こさせる。管の各位置 (7 点, GS 1~7) において、ブローダウン中の圧力変化が計測された。

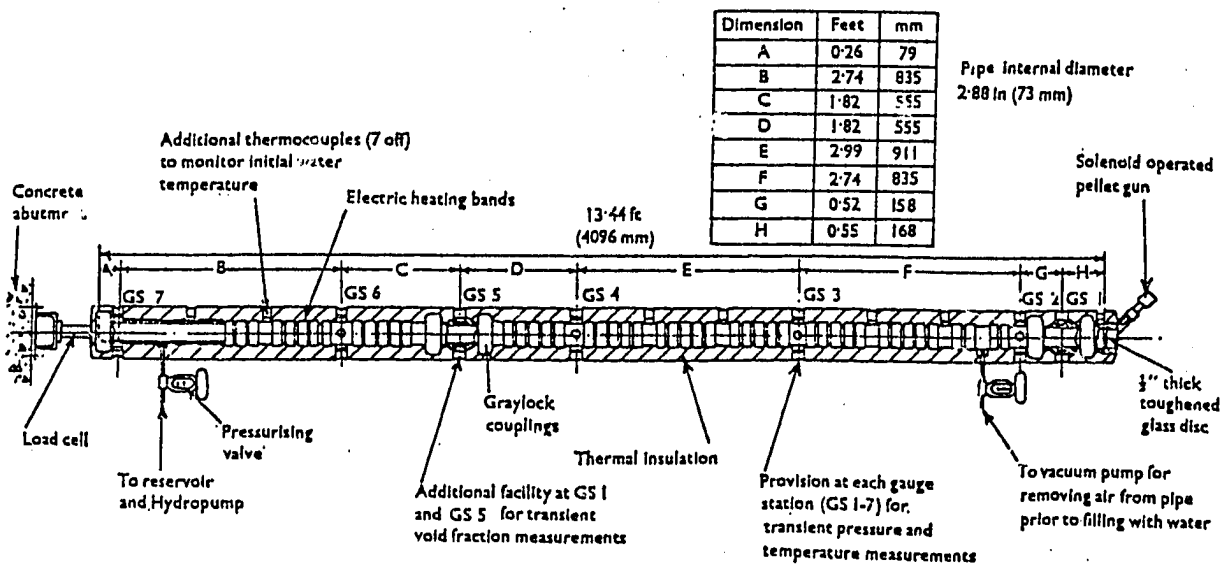


Fig. 3.11.1 General Arrangement of Blowdown Pipe⁽³⁻⁹⁾

実験結果と PISCES の結果の比較

図 3.11.2 に PISCES-2 DELK によって計算された管内の圧力分布を時間をパラメータとして示す。ラプチャディスクの破裂と同時に圧力低下のフロントが移動してゆくのがみられる。Blowdown 中の管内の圧力変化について、実験結果と PISCES の結果の比較を、図 3.11.3 (a)~(g) に示す。PISCES における 2 相流のモデルは熱的平衡モデルであるが、実験結果とよく一致していることがわかる。

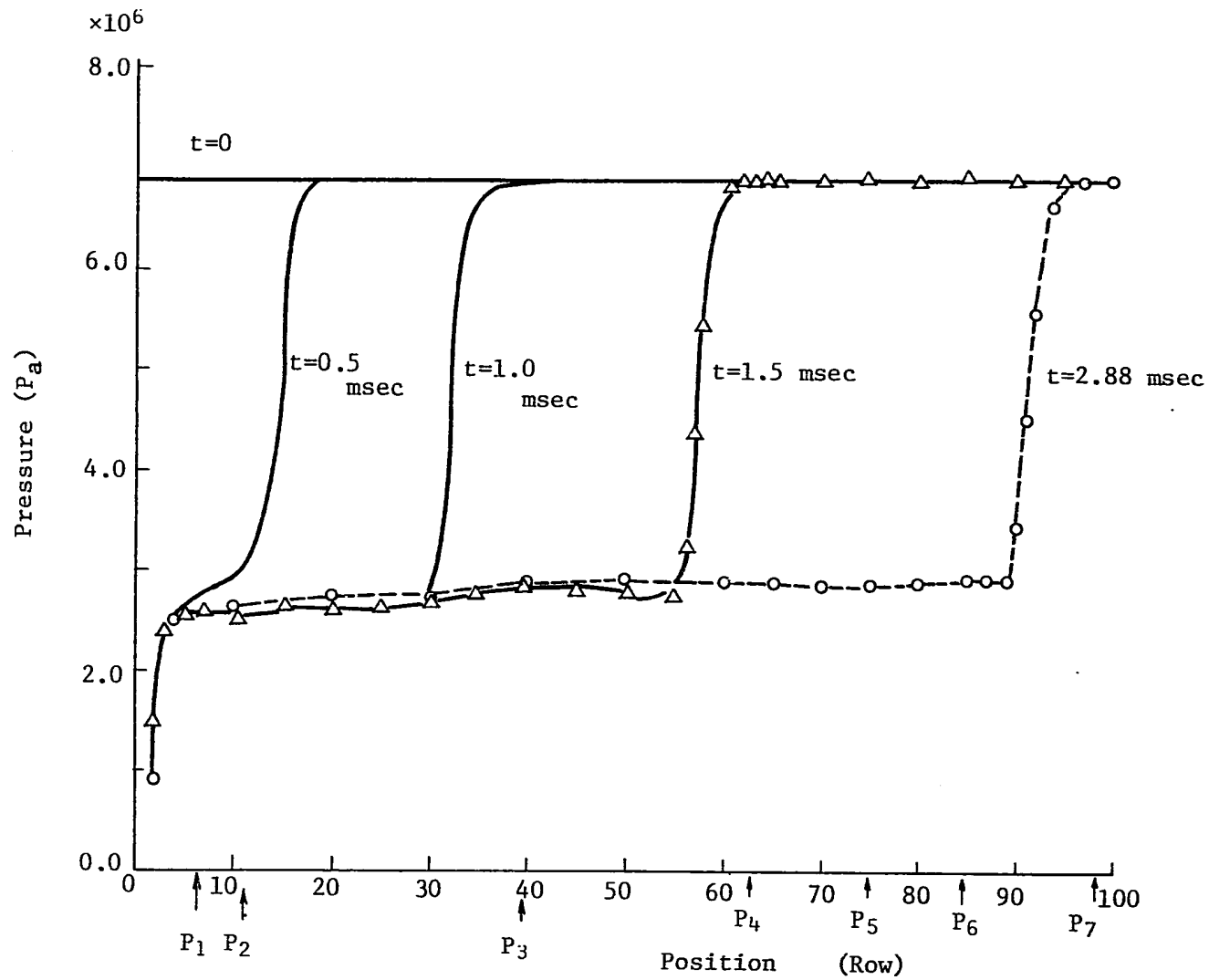
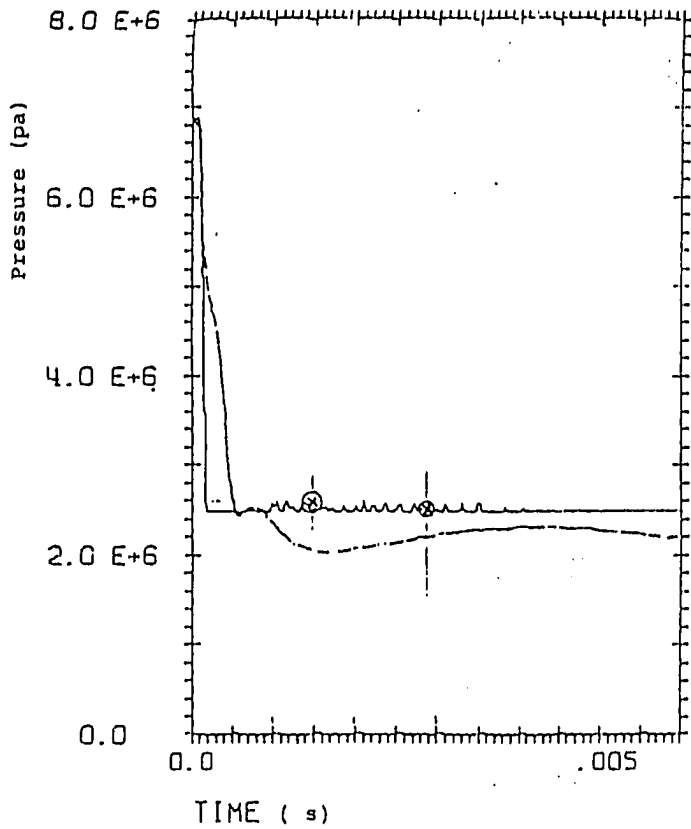
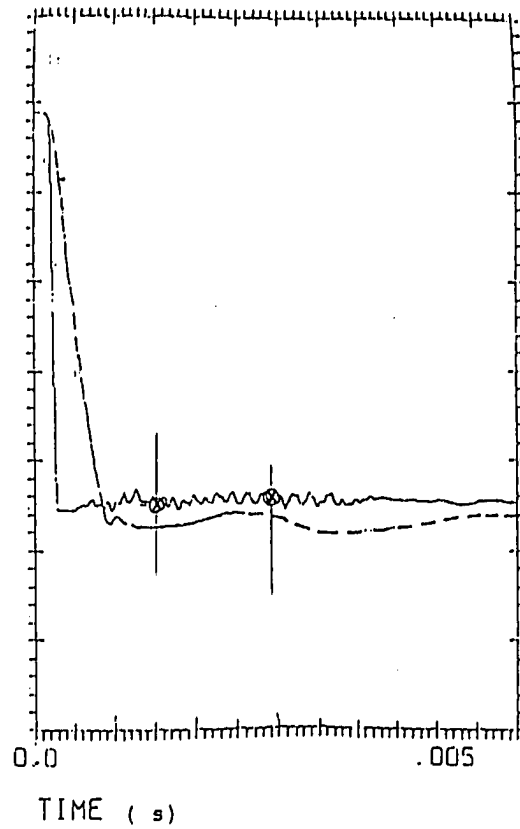


Fig. 3.11.2 Pressure Distribution in Blowdown Pipe by Analysis

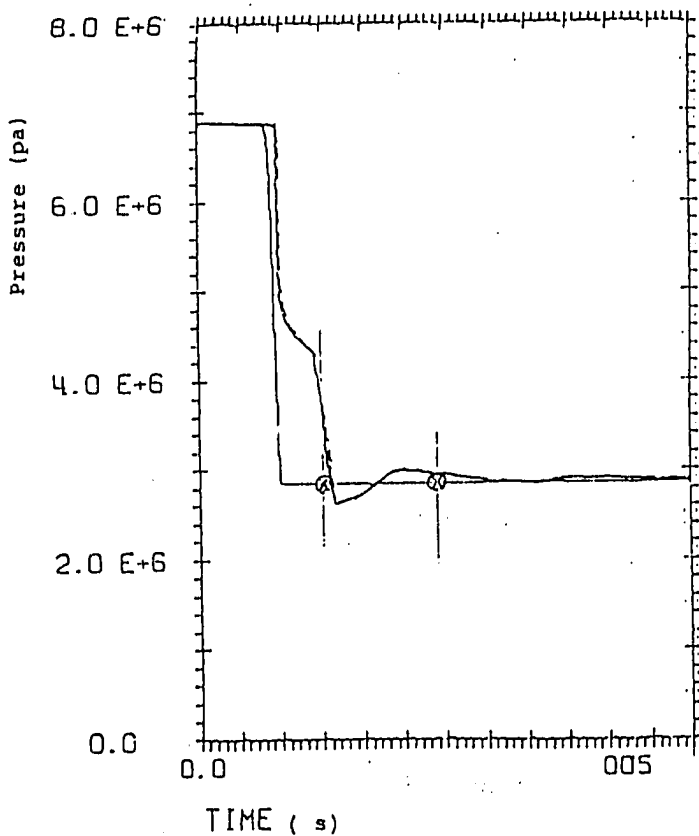
⊗ Result of PISCES-2DELK



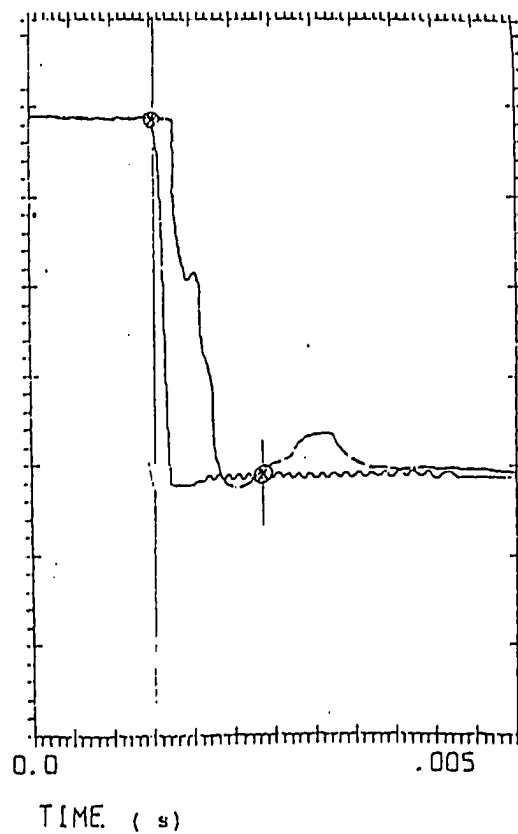
(a) GS1



(b) GS2



(c) GS3



(d) GS4

Fig. 3.11.3 Comparison of Pressure History in Blowdown Test

⊗ Results of PISCES-2DELK

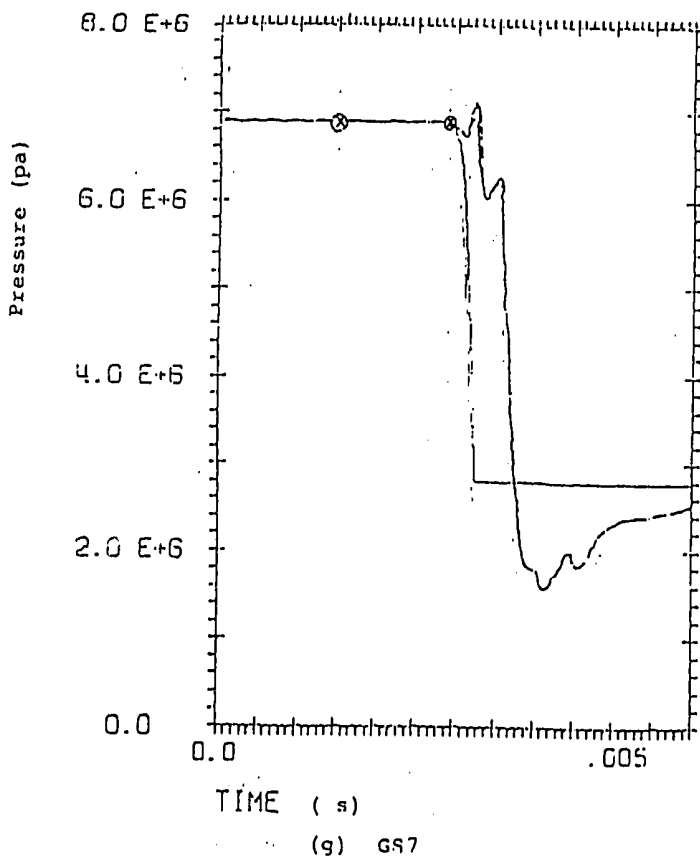
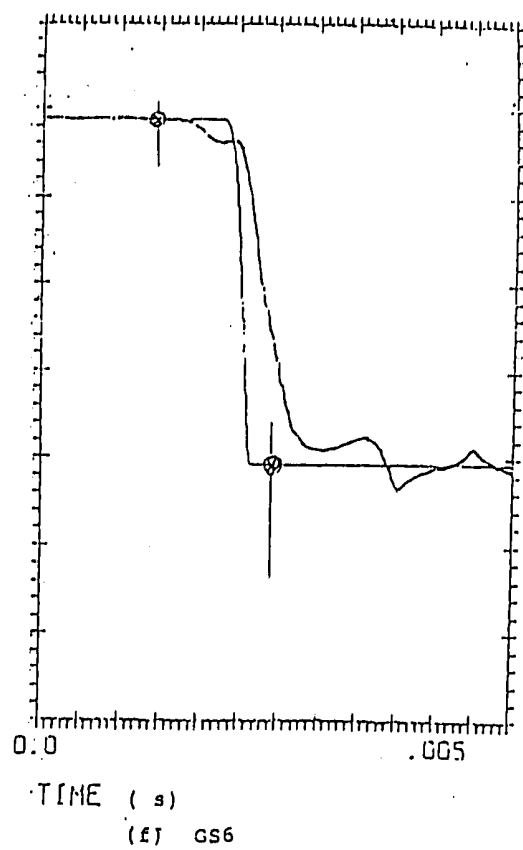
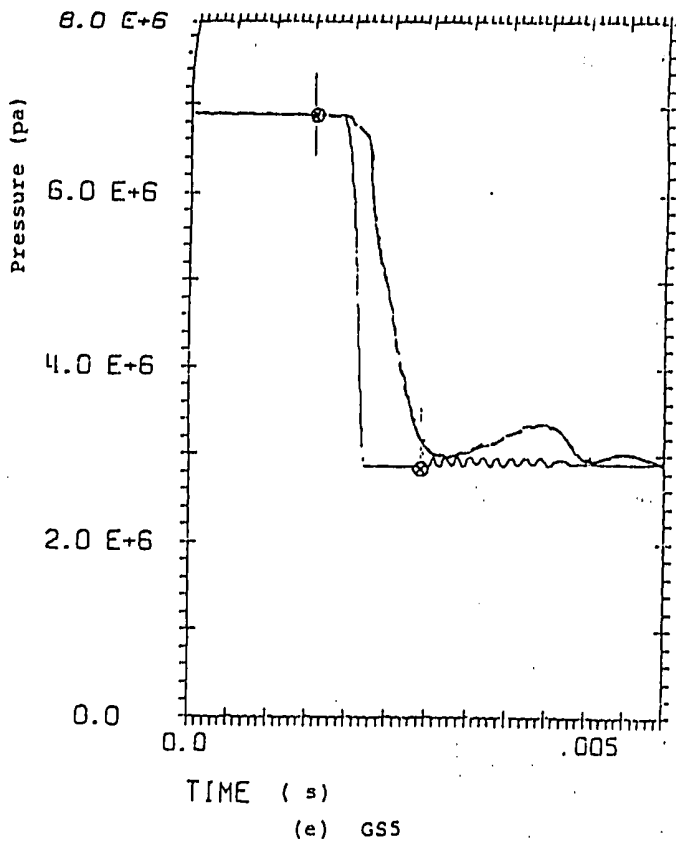
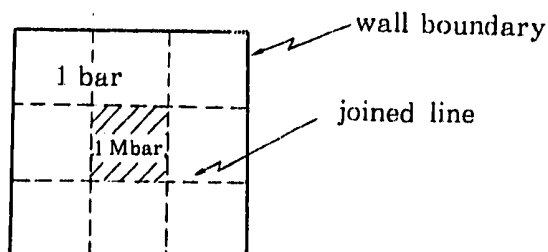


Fig. 3.11.3 (Cont'd)

3.12 Eulerプロセッサの結合

体系の概要



本問題は、PISCESの重要な機能のひとつである、複数の Euler サブグリッドを結合してひとつの連続サブグリッドとして扱う joined Euler 機能をテストするためのものである。図のように9ヶの Euler サブグリッドが結合されており、その中央サブグリッドに設定された高圧ガスが周辺に広がっていく。

結 果

結合機能のテストは、テスト問題と同じ体系を、結合操作をしてないひとつの Euler サブグリッドで作成し、両者の結果を比較する事によって行われた。比較の結果、両者の数値は完全に一致し、joined Euler 機能は正常に動作している事が確認された。

第 4 章 PISCES-2DELKコードの各種機能 の検討及び感度解析

第4章 PISCES - 2DELKコードの各種機能の検討及び感度解析

4.1 まえがき

PISCESコードで、耐衝撃体系をモデル化するには、コードに備わっている数多くのオプション機能から最適なものを選択しなければならない。第3章の11題の検証例題で、一応最低限のチェックは為されたが、耐衝撃体系をモデル化するための検討としては、未だ充分ではない。

耐衝撃体系のモデルを作成するために必要な機能の検討及び感度解析は、大きく以下の3種類に分類できる。

A. 数値解析手法に関する項目

time step safety factor, 擬似粘性係数などのように、数値解析の手法上最適な入力を選択を要求されるものがある。これらは、一応、推奨値としてデフォルト値が定まっているが、その値の妥当性については、ユーザーが責任を負わねばならない。方針としては、まずこれらの値をデフォルト値のまわりで感度解析を行ない、その感度が小さいものについては、デフォルト値を採用し、大きな感度をもち結果に重要な影響を与えるものについては、詳細な検討を別途行なうものとする。

B. 体系・材料のモデル化に関する項目

Shell プロセッサで記述する構造物のSublayer数、ナトリウムの状態方程式、ステンレス鋼の降伏モデルなどのように、解析対象の特徴に依存して、コードにあるオプションの中から適当なものを選択しなければならないものがある。これらは、物理的に、最適なものが前もってわかる場合もあるが、幾つかの優劣が不明な項目については、感度解析等を踏まえて、妥当な選択が為されねばならない。

C. PISCES - 2DELKの固有機能に関する項目

Porous Polygon, Boundary Include オプションの様に、PISCES に特有の機能で、耐衝撃体系のモデル化に必要なものがある。これらは、ほとんど、第3章の verification problem では検討されていないため、適当なモデルを用いてその特性を把握しておく必要がある。

これらのオプションの検討に使用する体系は、基本的に、SRI 実験 FV102体系(3.2節参照)とする。これは、Euler サブグリッド(10×22メッシュ)と2つのShell サブグリッドと1つのLagrange サブグリッドから構成されており、現象の終了までは2 msecである。この体系を採用した理由は、CRBRの $\frac{1}{60}$ 耐衝撃実験として、APRICOT プログラムでも採用されている事と、計算時間が約12分(by FACOM M200, optimization level 1)と手ごろな事による。

しかし、メッシュサイズ効果のように、スケール効果がききそうな項目、及びエネルギー源モデルのように、耐衝撃解析において非常に重要な項目については、次章においても同じく

機を簡素化した体系を作成し，詳細な検討を行なう。

また，本章の項目の中で，幾つかの特殊なオプションについては，その各々の目的に応じた簡単な体系を作成し，これを用いての検討も行なう。

表 4.1.1 に，PISCES の主要オプションの説明及び，検討を行なった節の一覧を示す。

注) 本章での解析の大部分は PISCES-2 DELK version 3 の level 12 で行なわれたが，一部 (82年1月～3月に計算したものは，level 11V2 を使用している。しかし，level 11V2 と level 12 の差は小さく，本章で検討した結論は変わらない。

Table 4.1.1 List of Main Options Examined

Input Card Name	Variable Name	Parameter Range (default)	Explanation	Referred Section
TSTEP	FLAT	0.1 ~ 1.0 (2/3)	Time step safety factor	(A) 4.2
MATERIAL BASIC	PMIN	(0.0)	Minimum pressure before spall	(B) 4.9
	CQ	0 ~ 2 (Lag=2, Eul=1)	Coefficient of quadratic viscosity	(A) 4.3
	CL	0 ~ 0.5 (0.1)	Coefficient of linear viscosity	(A) 4.3
MATERIAL EOSA, B	MODEOS	Poly, Gamma, Shock, GASBAG etc.	Equation of State P(ρ, e)	(B) 4.10
MATERIAL YIELD	MODYLD	Hydro, Von Mises, Coulomb, Bilinear, Piecewise, EXYLD	Yield stress for plastic yielding	(B) 4.11
MATERIAL COMPACT	MODALP	Power, Cubic, Exp, EXALF	P- α compaction model	(B) 4.13
POLYGON SETUP	PHIX,PHIY, PHIV	0 ~ 1 (0)	X, Y, Volumetric porosity	(C) 4.16
CUTOFF	FBLEND	0.1 ~ 0.9 (0.6)	Blend fraction used in interface calculation	(A) 4.4
	VELCUT	≥ 0 (10^{-8})	Velocity cutoff	(A) 4.5
OPTIONS	GRAVX, Y	(0)	Gravitational acceleration	(B) 4.15
	ETRANS	Total, Internal (Total)	Kind of Euler energy transport	(A) 4.8
	DAMP	0 ~ 1 (0)	Lagrange static damping constant	(A) 4.6
	EDAMP	0 ~ 0.1 (0)	Euler Velocity damping constant	(A) 4.7
SUBGRID SHELL	NSBLAY	1 ~ 10 (1)	Number of sublayers	(B) 4.14
	MCHSUB	1 ~ 6	Number of mechanical sublayers	(B) 4.12
BOUNDARY INCLUDE	—		Wrap a polygon of finite thickness around the subgrid	(C) 4.17
SUBOPT SHELL	MATLOC	MATLEFT, MATRIGHT, MIDPLANE (MIDPLANE)	Location of material (shell)	(B) 4.14

A. 数値解析手法に関する項目

4.2 タイムステップ

PISCES コードにおいて、各サイクルで用いられるタイムステップ (Δt) は、解析体系の各ゾーンでの安定なタイムステップの最小値よりも必ず小さくなるように、コード内で決定されている。

(1) Lagrange ゾーンでの安定タイムステップ

1 タイムステップの間に、圧力波があるメッシュを飛び越えてはならない⁽⁴⁻¹⁾。

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{\Delta R}{C} \quad (\text{Courant 条件}) \quad (4.2.1)$$

ΔR : メッシュ幅

C : 音速

また、von Neumann の 2 次衝撃波散逸係数 C_Q (quadratic Q) に対する安定性条件から、以下の条件も満足されねばならない^(注1)。

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{1}{16 \left| \frac{\dot{V}}{V} \right|} \quad (\text{if } \frac{\dot{V}}{V} < 0) \quad (4.2.2)$$

$\left| \frac{\dot{V}}{V} \right|$: 比体積の変化速度

(2) Euler ゾーンでの安定タイムステップ

同様の観点から、

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{\Delta x}{C + |u_x|} \quad (4.2.3)$$

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{\Delta y}{C + |u_y|} \quad (4.2.4)$$

u_x, u_y : 速度の x, y 成分

また、1 タイムステップの間で、あるメッシュから去る質量の方が、もとの質量よりも、少なければならぬという条件から、

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{1}{\vec{v} \cdot \vec{u}} \quad (\text{if } \vec{v} \cdot \vec{u} > 0) \quad (4.2.5)$$

$\vec{v} \cdot \vec{u}$: 運動の発散

また、von Neumann の quadratic Q の安定性条件から、

(注1) 実際は $\Delta t_{\text{stable}} < \frac{1}{4C_Q^2 \frac{\dot{V}}{V}}$ だが、 $C_Q \leq 2$ なのでこのようになる。

$$\Delta t_{\text{stable}} < \frac{1}{4 |\vec{v} \cdot \vec{u}|} \quad (\text{if } \vec{v} \cdot \vec{u} < 0) \quad (4.2.6)$$

(8) Time Step Safety Factor

上の条件を、全てのメッシュセルについて計算し、その中で最小のものを安定タイムステップとするが、PISCES コードでは更にその安定性を保証するため、time step safety factor (FRAT) をカード入力し、ユーザーがタイムステップを調整する事ができる。

$$\Delta t_{\text{cal}} = \text{FRAT} \cdot \Delta t_{\text{stable}} \quad (4.2.7)$$

FRAT は 0.1~1.0 の値をとる事が出来、コード内の推奨値 (デフォルト値) は 2/3 である。

感度解析結果

SRI 実験 FV 102 体系を用いて、time step safety factor (FRAT) を 1/3, 2/3 (デフォルト値), 1.0 の 3 通りに変えて、その感度を見た。

結果の一覧を、表 4.2.11 に示す。また 1.0 msec 時の、プロッター図を比較して、図 4.2.1 に示す。以下、結果の要約を記す。

- ① 計算時間は各タイムステップの比率に比例する。
- ② 容器壁変位は、首下部 (最大値) ではタイムステップの増加と共に減少し、コアバレル頂部位置 (腹部) ではタイムステップの増加と共に増加する傾向が見られる。これは、各々の位置での変形メカニズム (首下部では主に水柱の撃突、バレル頂部位置では衝撃波) の違いによるものかも知れない。
- ③ FRAT = 1.0 のケース (FRAT # 02) では、エネルギーバランスが +25 % と大きくくずれている。これは、4.2.1 に示すように、膨張ガス部での計算の安定性が悪化した事によるものである。計算の不安定性を示す simple blending 回数も (4.4 節参照) FRAT = 1/3, 2/3 のケースでは 0 回であるのに対して、FRAT = 1.0 のケースでは 1003 回も起こっている。
- ④ 総体的に見て、FRAT = 1/3 のケースと 2/3 のケースの差は小さく、CPU 時間が 2 倍になってしまうデメリットの方が大きい。従って、通常の計算では FRAT の値はデフォルト値の 2/3 で良いと考えられる。

但し、この結論は、計算が体系内での数値的エネルギー発散などを起こす事なく、安定に終了する場合についてであり、もし、何らかの原因で計算が不安定になった場合には、より小さな time step safety factor を用いる必要が生じる可能性はある。しかし、この FRAT はリスタートランでも変更可能であるので、計算が不安定になり始める直前に一旦計算を止め、FRAT を小さくしてリスタートランを行う事により計算時間の節約ができる。

Table 4.2.1 Sensitivity Study of Time Setp Safety Factor
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name		FRAT#01	STANDARD	FRAT#02	
Time Step Safety Factor (FRAT)		0.3333	0.6667 (=default)	1.0000	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.10 (0.73)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.2	+1.4	+25.7
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.56	3.54	3.46
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.258	0.290	0.314
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.22	2.23	2.21
	CPU Time by FACOM M200	min (cycles)	23.2 (3162)	11.6 (1582)	8.0 (1055)
	Simple Blending Number	-	0	0	1003

(注2) 最終エネルギーバランスは下式で算出した値を用いる。

$$\begin{aligned}
 \text{最終エネルギーバランス(\%)} &= \left(\frac{\text{計算終了時の膨張ガスの内部エネルギー} - \text{を除外の構成要素のエネルギーの和}}{\text{膨張ガスからの放出エネルギー}} - 1 \right) \times 100 \\
 &= \left(\frac{(\text{計算終了時の全エネルギー}) - (\text{計算終了時の膨張ガス内部エネルギー})}{(\text{計算開始時の全エネルギー}) - (\text{計算終了時の膨張ガス内部エネルギー})} - 1 \right) \times 100
 \end{aligned}$$

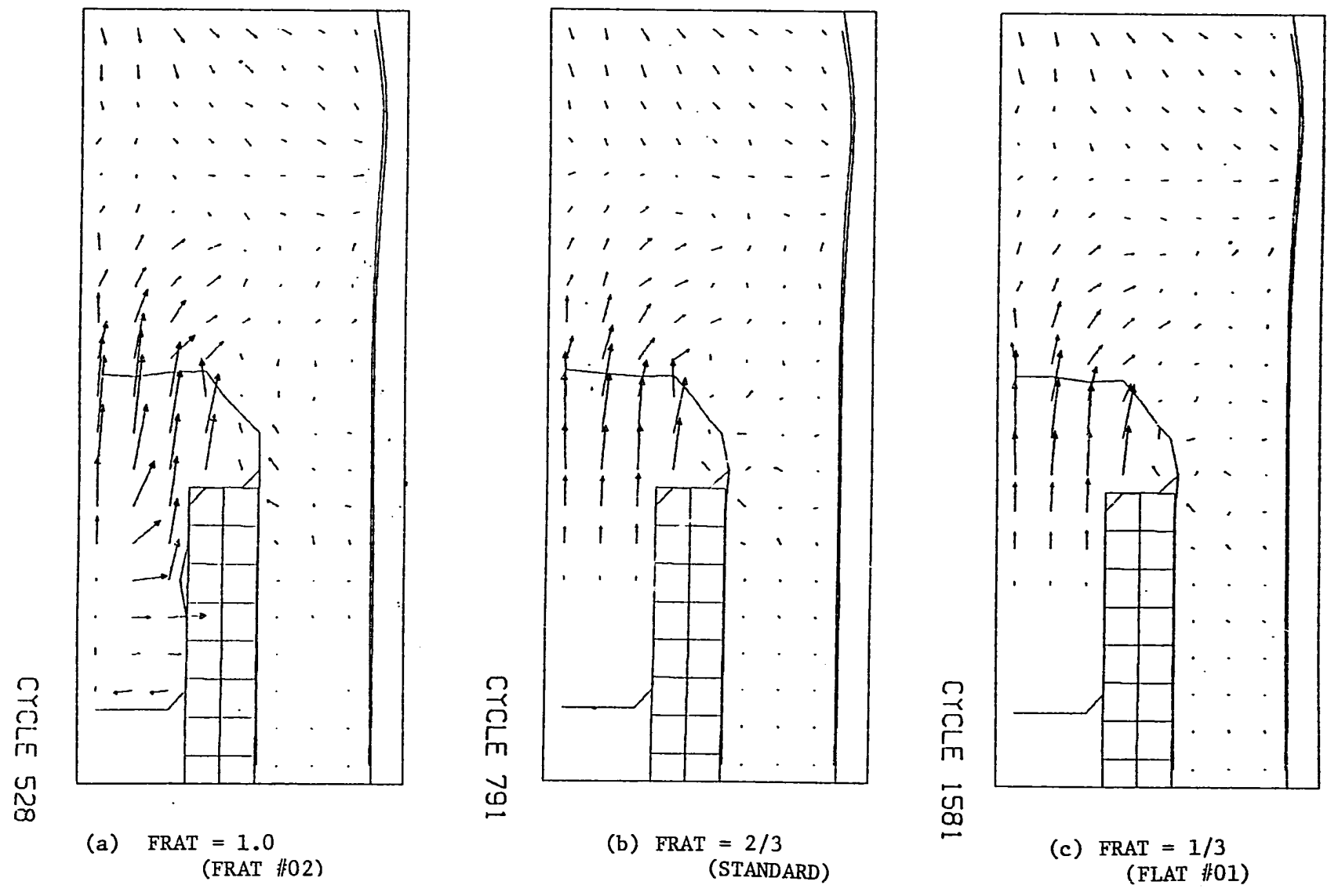


Fig. 4.2.1 Whole Configurations in Time Step Sensitivity Study (at 1 msec)

4.3 人工粘性

解析体系に衝撃波が発生する場合に生ずる数値的振動を防ぎ、急激な圧力勾配をやわらげるために、一般に、人工的な散逸項が取り入れられる⁽⁴⁻¹⁾。PISCES コードでは、この散逸項として、1次と2次の陽な人工粘性 (artificial viscosity) を用いている。

2次の人工粘性としては、von Neumannによって提唱された定式(Q)を圧力項の一部として導入している。

$$Q = -\rho C_Q^2 d^2 (\vec{v} \cdot \vec{u})^2 \quad \text{for } \vec{v} \cdot \vec{u} < 0$$

C_Q : Von Neumann 2次粘性係数

$0 \leq C_Q \leq 2$: for Lagrange processor

$0 \leq C_Q \leq 1$: for Euler processor

d : area / max ($\Delta x, \Delta y$)

ρ : density

この2次粘性では、拡散過程が速度の勾配の2乗で効いてくるために、この散逸が衝撃波のごく近傍でのみ起こり、他の領域に影響をおよぼさない特徴がある。 C_Q の厳密な値は、衝撃波の厚さと衝撃波の後方の振動が最小となるように、数値実験により決定されねばならないが、PISCES コードでは、 C_Q の値として、Lagrange プロセッサに対して2、Euler プロセッサに対して1をデフォルト値として推奨している。

1次の人工粘性としては、以下の定式(Q)を用いている。

$$Q = -\rho c_L d c (\vec{v} \cdot \vec{u}) \quad \text{for } \vec{v} \cdot \vec{u} \geq 0$$

c_L : 1次粘性係数

$0 \leq c_L < 0.5$

c : 音速

この1次粘性は、速度勾配に比例する形で効き、衝撃波が通過した後に発生する短い波長の振動を減衰させる。PISCES コード内では $c_L = 0.1$ をデフォルト値として推奨している。

感度解析結果

1次粘性係数 c_L 、2次粘性係数 c_Q を適用範囲内でパラメトリックに変化させ、その感度を見た。使用した体系はSRI 実験FV102体系であり、より重要と考えられる c_Q については、水・膨張ガス・炉容器壁の3者について各々パラメータサーベイを行なった。

項目	対象物質	Survey value		
c_L	水	0.0	0.1 (default)	0.49
	膨張ガス	0.0	0.5	1.0 (default)
c_Q	水	0.0	0.5	1.0 (default)
	炉容器壁	0.0	—	2.0 (default)

結果の概要を以下に記す。

- ① 1次粘性係数 c_L については、その値を変えても、計算結果の変化は全くなかった。
- ② 2次粘性係数 c_Q についてのサーベイ結果の一覧を表 4.3.1 に示す。 c_Q が変化した事による効果は、最大でも変器壁変位に対して -0.6% (相対値)、運動エネルギーの最大値に対して 0.02% であり、感度としては無視できる。

Table 4.3.1 Sensitivity Study of Artificial Quadratic Viscosity Value

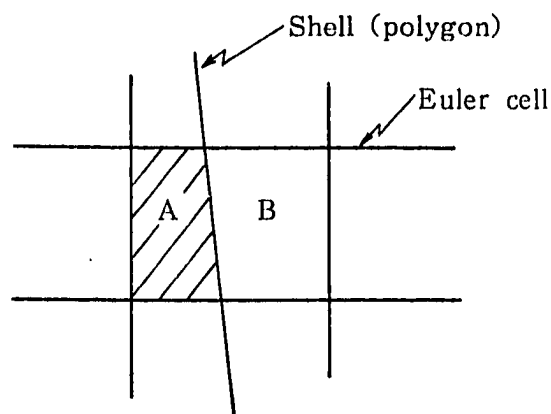
- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name		STANDARD	CQ #01	CQ #02	CQ #03	CQ #04	CQ #06	
Artificial Quadratic Viscosity Value (CQ)	Water	1.0	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0	
	Core Gas	1.0	1.0	1.0	0.0	0.5	1.0	
	Ni 200	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4	+1.3	+1.3	+0.6	+0.9	+1.4
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.54	3.54	3.52	3.54	3.53	3.54

4.4 ブレンディング

右図のように、ひとつの Euler セルが shell 等によって A・B 領域の 2 つに分けられている場合、これを interface cell と呼ぶ。この shell が移動して shell と相互作用する A 領域があまり小さくなりすぎると、それに応じてタイムステップも小さくなるため計算が続行できなくなる。これを避けるために、コード内で "blending" という操作が自動的に為される。



これは、元の Euler セルの面積に対する A 領域の面積の比がある値 (FBLEND) 以下になった時には、隣接する Euler セルの中で最も適当なものを選び出し、そのセルと領域 A の諸状態量を混合して、計算を続行する機能である。コード内では FBLEND のデフォルト値として、0.6 がセットされているが、入力カードにより変更可能 ($0.1 \leq \text{FBLEND} < 0.9$) である。

また、構造材の変形形状が複雑になって、最適な隣接セルを選ぶ事が不可能になった場合には、"simple blending" と呼ばれる粗い近似がなされる。これは、当該セルに対して、隣接するセルの中で最大のものの状態量をそのまま使用してしまうものであり、この操作により諸状態量は保存されなくなって、解析結果は、不正確なものとなる。従ってユーザーは、"simple blending" の回数があまりに多くなった場合には、結果を慎重に扱わねばならない。

感度解析結果

SRI 実験 FV102 体系を用いて、blend fraction (FBLEND) を 0.1, 0.6 (デフォルト値), 0.89 の 3 通りに変えてその効果を見た。

結果を表 4.4.1 に示す。

FV102 体系程度の炉容器変形形状では、simple blending の必要がなく、正常な blending のみが実行される。表を見ると、このような場合の FBLEND に対する感度は非常に小さい事がわかる。これは、正常な blending において、混合セルの状態量が混合前のものを良く保存している事を示していると考えられる。

Table 4.4.1 Sensitivity Study of Blend Fraction Value

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		FBLE#01	STANDARD	FBLE#02
Blend Fraction Value (FBLEND)		0.1	0.6 (default)	0.89
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	+1.3
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.51	3.53
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	% Δ l/l	0.268	0.271
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	2.23
	Simple Blending Number	-	0	0

4.5 数値カットオフ

PISCESコードでは、速度・音速・Euler密度について、不要な領域の計算を省略し、また、プリント出力等の煩雑さを避けるために、ある下限値を設定し、それ以下の値については、ゼロとセットするようになっている。

- (default 値)
- velocity cutoff = 10^{-8} cm/ μ sec
 - sound speed cutoff = 10^{-3} cm/ μ sec
 - Euler density cutoff = 10^{-6} gr/cm³

これらの操作は、計算効率を上げるために必要なものであるが、その下限設定値が適当でない場合は、round error (丸め誤差) が計算結果に影響を与える可能性がある。

感度解析結果

ここでは、velocity cutoff を対象とし、SRI 実験 FV102 体系を用いて、velocity cutoff 値を 10^{-10} 、 10^{-8} (デフォルト値)、 10^{-6} cm/ μ sec と 3 通りに変えて、その効果を見た。

結果を表 4.5.1 に示す。

- ① 定性的には、velocity cutoff 値を大きくすると、水柱の運動が小さくなり、水柱衝突時刻が遅れ、また、そのために容器壁腹部の歪が大きくなる。
- ② しかし、定量的にはその効果は小さく、デフォルト値を用いれば充分である事がわかった。
- ③ 計算機の演算時間は変わらなかった。

Table 4.5.1 Sensitivity Study of Velocity Cutoff Value

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		VELC#01	STANDARD	VELC#02	
Velocity Cutoff value (VELCUT)		10 ⁻¹⁰ cm/μsec	10 ⁻⁸ cm/μsec (default)	10 ⁻⁶ cm/μsec	
Maximum Total Kenitic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	2.12 (0.73)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	+1.3	+1.3
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.54	3.53	3.55
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.265	0.271	0.275
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	2.23	2.23
	CPU Time by M200	min	calculated by M190	11.84	11.85

4.6 Lagrange 静的ダンピング

Lagrange サブグリッド (Shell を含む) 体系において、静的な応力平衡状態の解を求めたい場合には、この Lagrange damping 定数 (DAMP) に 0 ~ 1 の有限な値を入力する。動的振動を最適に収斂させるためには、対象となるサブグリッドの最長振動周期を T として、

$$\text{DAMP} \leq \pi \frac{\Delta t}{T} \quad (\Delta t : \text{time step}) \quad (4.6.1)$$

とする事が推奨されている。

(3.8 節の例題がこの使用例である。)

この dynamic relaxation により、速度は以下のように算出される。

$$\dot{x}^{n-\frac{1}{2}} = (\omega - 1) \dot{x}^{n-\frac{3}{2}} + \frac{1}{2} \omega \ddot{x}^{n-1} \Delta t^{n-1} \quad (4.6.2)$$

ここで

$$\omega = \frac{2}{1 + \text{DAMP}} \quad (4.6.3)$$

DAMP = 0 のときは、fully dynamic となる。

感度解析

耐衝撃体系は動的な計算を行うので、当然 DAMP は 0 とすべきであるが、どのような効果を持つかを一応見るために、SRI 実験 FV 102 体系で感度解析を行なった。結果を表 4.6.1 に示す。DAMP に零以外の値を入れた場合、容器の歪は極端に減少し、膨張ガスの放出エネルギーはほとんど水の内部エネルギーに変換されており、全体としてのエネルギーバランスはくずれない。

Table 4.6.1 Sensitivity Study of Lagrange Static Damping Constant

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		STANDARD	DAMP#01	DAMP#02	
Lagrange Static Damping Constant (DAMP)		0.0 (default)	0.5	1.0	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.18 (0.74)	2.18 (0.73)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	-6.9	+0.3
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.53	0.108	0.050
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	% Δ l/l	0.271	0.050	0.041
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	0.05	0.02
	Internal Energy of Water	kJ	0.48	1.10	1.22

4.7 Euler速度ダンピング

Euler velocity damping 定数 (EDAMP) は, Euler grid での過大な振動が発生した場合, これを抑えるのに用いられるが, 使用に当っては充分用心しなければならない。値としては, 大部分のケースで, 0.05 で充分であり, 0.1 は極端すぎると考えられる⁽³⁻¹⁾。EDAMP = 0 がデフォルト値である。

感 度 解 析

EDAMP は, 流体の過剰振動により計算が途中で異常停止するような体系を無理やり最後まで計算終了させたいような, 極めて特殊な場合にのみ用いるものであると推定される。

我々の耐衝撃解析では EDAMP = 0 (デフォルト値) とするが, 一応 SRI 実験 FV 102 体系を用いて感度解析を行なった。

結果を表 4.7.1 に示す。

EDAMP = 0.05 で水柱の最大運動エネルギーは基準ケース (EDAMP = 0) の約 $\frac{1}{2}$ となる。容器の歪も極端に小さくなるが, 首下歪が約 $\frac{1}{20}$ であるのに対して, 腹部歪は 3 割の減少にとどまる。これは, Euler velocity damping 定数が衝撃波伝播にはあまり影響していないためと考えられる。また, エネルギーバランスはいずれも良好である。

Table 4.7.1 Sensitivity Study of Euler Velocity Damping Constant

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		STANDARD	EDAMP#01	EDAMP#02	
Euler Velocity Damping Constant (EDAMP)		0.0 (default)	0.05	0.1	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	1.02 (0.53)	0.79 (0.43)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	+1.2	+6.2
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.53	0.135	0.038
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.271	0.183	0.156
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	0.12	0.08
	Internal Energy of Water	kJ	0.48	1.53	1.75

4.8 Euler エネルギー輸送モデル

PISCES-2 DELK コードでは, Euler サブグリッドのエネルギー保存式として, 以下に示す total energy transport と internal energy transport のどちらかを選択することができる。(デフォルトは, total energy transport である。)

Total Energy Transport

$$\frac{d}{dt} TE = W - \oint \rho \omega (\vec{u} - \vec{v}) d\vec{S} \quad (4.8.1)$$

Internal Energy Transport

$$\frac{d}{dt} IE = \int (T_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}) dV - \oint \rho e (\vec{u} - \vec{v}) d\vec{S} \quad (4.8.2)$$

ここで,

$$T_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} = T_{zz} \dot{\epsilon}_{zz} + T_{rr} \dot{\epsilon}_{rr} + T_{\theta\theta} \dot{\epsilon}_{\theta\theta} + 2T_{rz} \dot{\epsilon}_{rz} \quad (4.8.3)$$

$$W = \oint u_z (T_{zz} dS_z + T_{rz} dS_r) + u_r (T_{rz} dS_z + T_{rr} dS_r) \quad (4.8.4)$$

ρ ; 密度

dV ; 体積要素 (axial symmetry では $2\pi r dr dz$)

\vec{u} ; 流体速度

\vec{v} ; 境界速度

$d\vec{S}$; 外向き法線ベクトル (axial symmetry では $2\pi r (dr, -dz)$)

$\dot{\epsilon}_{ij}$; 歪速度テンソル

T_{ij} = 応力テンソル

$$T_{zz} = -P - P_v + S_{zz} \quad (4.8.5)$$

$$T_{rr} = -P - P_v + S_{rr} \quad (4.8.6)$$

$$T_{\theta\theta} = -P - P_v + S_{\theta\theta} \quad (4.8.7)$$

$$T_{rz} = S_{rz} \quad (4.8.8)$$

ここで

$$P_v = -\mu_B \vec{\nabla} \cdot \vec{u} \quad (4.8.9)$$

$$S_{zz} = 2\mu_s \left(\dot{\epsilon}_{zz} - \frac{1}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{u} \right) \quad (4.8.10)$$

$$S_{rr} = 2\mu_s \left(\dot{\epsilon}_{rr} - \frac{1}{3} \vec{\nabla} \cdot \vec{u} \right) \quad (4.8.11)$$

$$S_{\theta\theta} = -S_{zz} - S_{rr} \quad (4.8.12)$$

$$S_{rz} = 2\mu_s \dot{\epsilon}_{rz} \quad (4.8.13)$$

S : 偏差応力 (hydraulic では全て0)

P : 圧力

P_v : 粘性圧力

μ_B : 体積粘性係数

μ_S : 剪断粘性係数

e : 比内部エネルギー

$$IE = \int \rho e dv$$

$$\omega = e + \frac{1}{2} \vec{u} \cdot \vec{u} \quad (4.8.14)$$

$$KE = \int \frac{1}{2} \rho (u_z^2 + u_r^2) dV \quad (4.8.15)$$

$$TE = IE + KE \quad (4.8.16)$$

この両者は、理論的には全く同一であるが、マニュアル⁽³⁻¹⁾によれば、通常の問題には total energy transport オプションを用いるのが良く、高いマッハ数のガス流体のように体系のエネルギーの大部分が運動エネルギーであるような問題は internal energy transport オプションとするのが良いとされている。

感度解析結果

上の基礎式からだけでは、両者の特性の差異が不明なので、SRI 実験 FV 102 体系を用いて、検討してみた。

結果を、表 4.8.1 にまとめる。また、各エネルギー成分の時間履歴を図 4.8.1 に示す。

結果の要約を以下に示す。

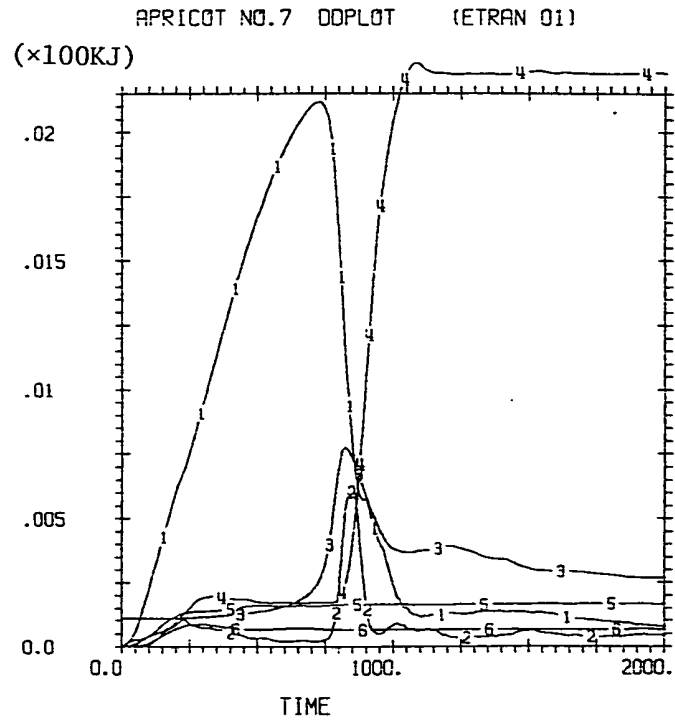
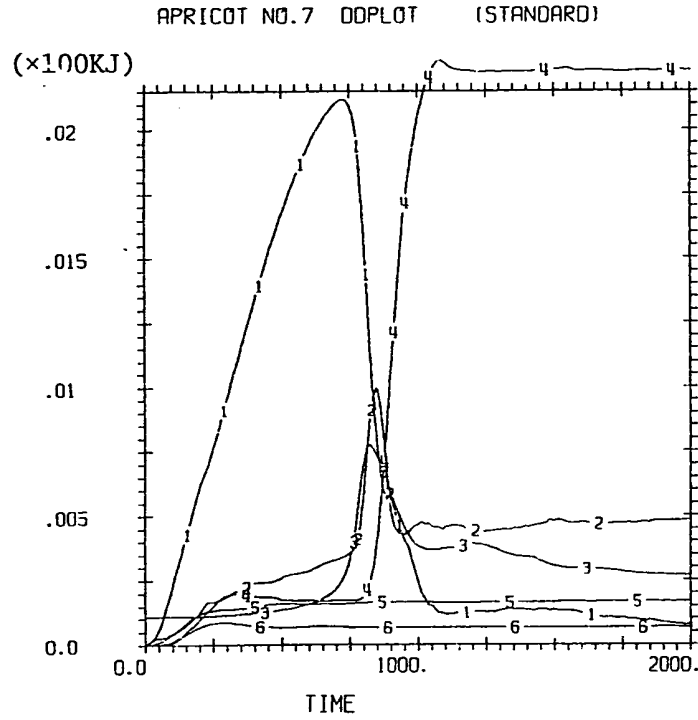
- ① 両者の大きな差は、水の内部エネルギーである。計算終了時点で比較すると、total energy transport オプションでは 0.48 KJ (全放出エネルギーの 15%) であるのに対して、internal energy transport オプションでは、0.04 KJ (全放出エネルギーの 1%) しかない。
- ② 興味深いのは、両者の間で、構造材の歪エネルギー・水の運動エネルギーには全く差がない事である。従って、internal energy transport オプションでは水の内部エネルギーが非常に小さいことが、全エネルギーバランスのくずれ (-12%) となって現われている。

このように、energy transport オプションにより、流体の内部エネルギーが非常に大きな影響を受けるが、PISCES における流体の内部エネルギーの意味も含め、5.6 節でさらに詳細な検討を行なう事とする。

Table 4.8.1 Comparison between Euler Energy Transport Options
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		STANDARD	ETRAN#01	
Euler Energy Transport Option		TOTAL (default)	INTERNAL	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	-12.3
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.53	3.53
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	% Δ l/l	0.271	0.266
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	2.23
	Internal Energy of Water	kJ	0.48	0.04

1 ---	EKIN	VS TIME	FOR MATERIAL 2 (Water)
2 ---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 2 (Water)
3 ---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 3 (Air)
4 ---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 4 (Ni-200)
5 ---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 5 (Lead)
6 ---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 6 (Al)



(a) Standard (Total Energy Transport)

(b) ETRAN#01 (Internal Energy Transport)

Fig. 4.8.1 Energy History in Energy Transport Options Survey

B. 体系・材料のモデル化に関する項目

4.9 最小圧力（キャビテーションモデル）

一般に、衝撃波が流体中を伝播して、自由表面等で反射する場合には、流体に引張り応力が作用し、その大きさがある程度以上になると、ボイド状態（spall）が発生する。PISCES では、このように、材料にある大きさ（PMIN）以上の負圧が発生した場合、そのゾーンを spall したもものとして、圧力を PMIN 値に保持する。その後、圧力が PMIN 値を超えた場合には、この spall は忘れられて、計算が続行される。

感度解析

現段階では、耐衝撃応答における流体キャビテーションの効果は必ずしも明確ではないが、ここでは、SRI 実験 FV102 体系を用いて、PMIN 値を 0 bar とした場合（STANDARD）、即ち、全く負圧を許さないケースと、PMIN を -1 Mbar とした場合（PMIN #01）、即ち、実際上無限大の負圧を許すケースの極端な 2 ケースを比較した。

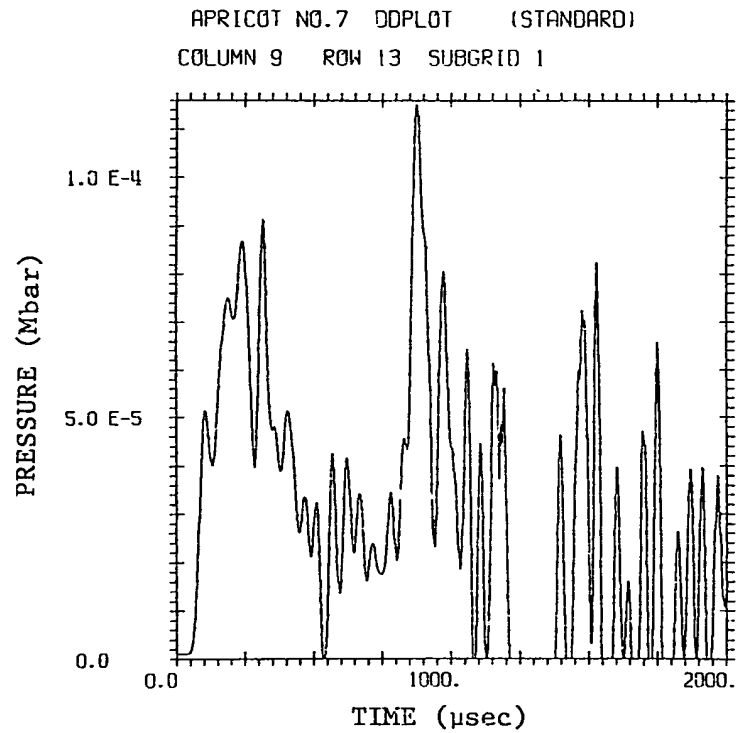
表 4.9.1 に結果の要約を示す。また、図 4.9.1 に、炉容器に接する液面付近の圧力履歴を、図 4.9.2 に、各成分毎のエネルギー履歴を示す。

以下に結果の要約を記す。

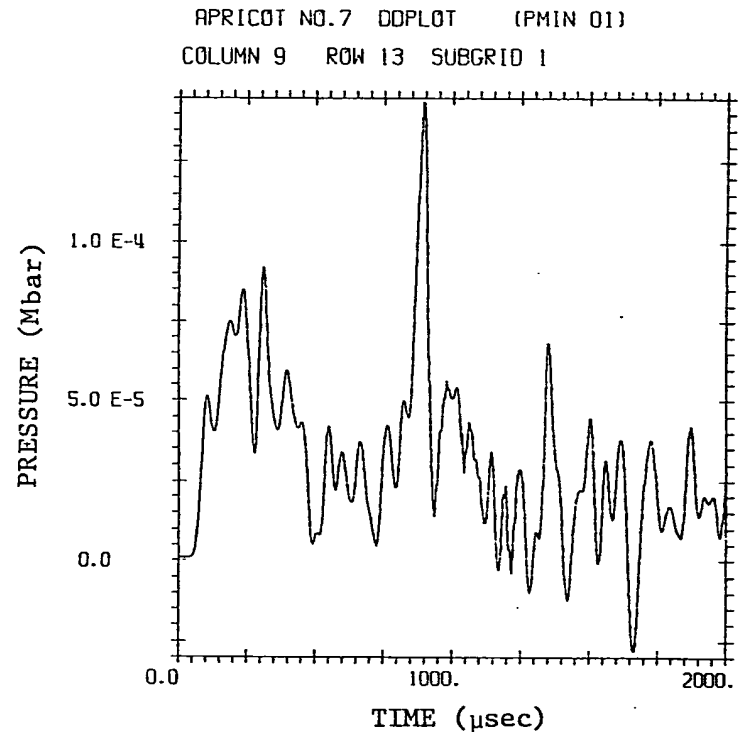
- ① 炉容器の歪エネルギー・最大歪値、水の運動エネルギー等に対する両者の差は殆どない。
- ② 圧力履歴は、特に水柱の撃突後に、PMIN #01 ケースで、数 10 bar の負圧が見られる。しかし、どちらかと言えば、全体的に圧力履歴はむしろ以通っている。
- ③ 各成分のエネルギー履歴では、水の運動エネルギーと内部エネルギーが PMIN #01 ケースでは小さな振動を示した。しかし、全体的には両者の差は見られない。

Table 4.9.1 Sensitivity Study of Minimum Pressure Value
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		STANDARD	PMIN#01
Minimum Pressure before Spall (PMIN)		0.0Mbar (default)	-1.0Mbar
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)
			2.12 (0.73)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.53
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.271
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23
			2.27



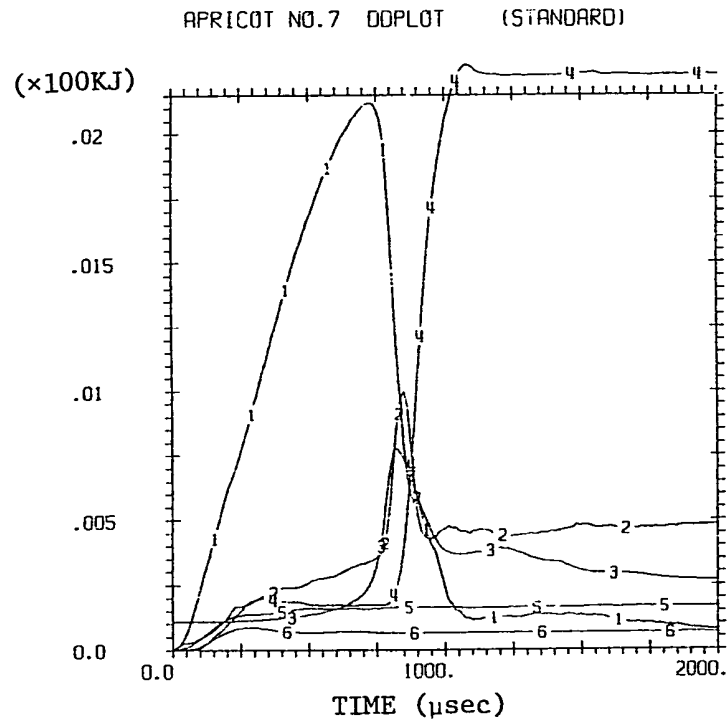
(a) Standard (PMIN=0 bar)



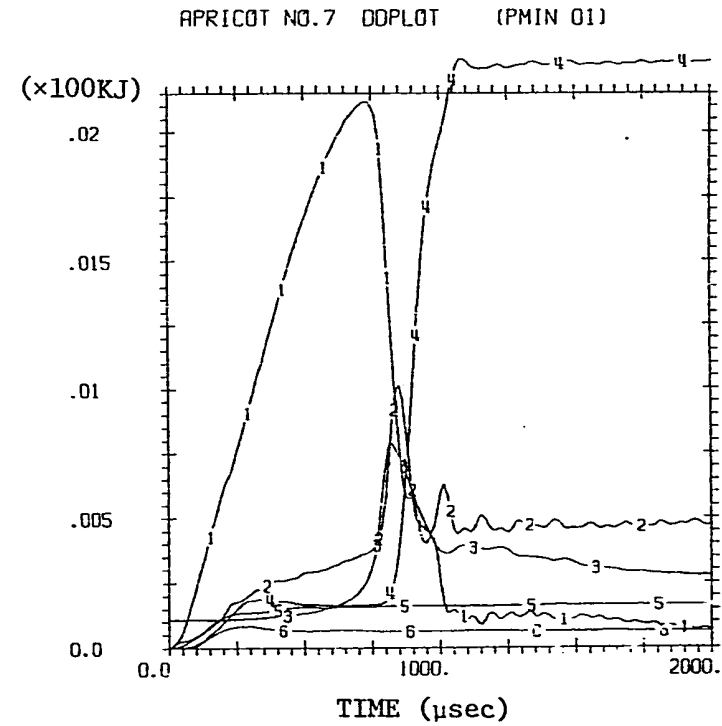
(b) PMIN#01 (PMIN=-1 Mbar)

Fig. 4.9.1 Pressure History in Minimum Pressure Survey

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Water)
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (Water)
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Air)
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (Ni-200)
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lead)
- 6 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 6 (Al)



(a) Standard (PMIN=0 bar)



(b) PMIN#01 (PMIN=-1 Mbar)

Fig. 4.9.2 Energy History in Minimum Pressure Survey

4.10 状態方程式

PISCES コードでは、材料の状態方程式 $P(\rho, e)$ として主に以下のものが用意されている。

(1) 多項式の状態方程式

密度と内部エネルギー密度の多項式として圧力を表わす最も一般的な形である。

(2) γ 則ガス状態方程式

理想気体の γ 則 $P = (\gamma - 1) \rho e$ である。

(3) 衝撃波状態方程式

衝撃波の生じる体系に用いられるもので、Rankine-Hugoniot の関係を衝撃波伝播速度と粒子速度の関係として表わすものである。

(4) Tillotson の状態方程式⁽⁴⁻²⁾

金属の高速衝突状態を表わすために用いるもので、衝撃波のモデル化だけではなく、その膨張と相転移を記述する事ができる。

(5) GASBAG 状態方程式

原子炉の耐衝撃解析のために特別に用意されたオプションで、圧力が膨張物質の全体積の関数としてのみ表わされる。膨張物質の内部の運動方程式を解かないため、圧力勾配はつかない。

(6) 外部サブルーチンによる状態方程式

利用者が、密度・内部エネルギー等を入力として、圧力を任意に決定するもので、full format と quick format の2種がある。

耐衝撃体系の作動流体（実機ではナトリウム、実験では水）に用いる状態方程式としては、多項式の状態方程式と衝撃波の状態方程式が候補として考えられるが、決定に際しては、両者の特性を比較しておく事が必要である。

多項式状態方程式と衝撃波状態方程式の比較

多項式状態方程式は下式で表わされる。

$\mu > 0$ (圧縮) の時

$$P = \sum_{n=1}^3 a_n \mu^n + \sum_{n=0}^4 b_n \mu^n \rho_0 e \quad (4.10.1)$$

$\mu \leq 0$ (膨張) の時

$$P = a_1 \mu + \sum_{n=0}^1 b_n \mu^n \rho_0 e \quad (4.10.2)$$

ここで、 ρ_0 : 初期密度

ρ : 密度

μ : $\frac{\rho}{\rho_0} - 1$

a_n, b_n : 係数

衝撃波状態方程式は下式で表わされる。

衝撃波伝播速度は、一般に

$$U_S = \begin{cases} U_{S1} = A_1 + A_2 U_P + A_3 U_P^2 & \text{for } V \geq V_B & (4.10.3) \\ U_{S2} = A_4 + A_5 U_P + A_6 U_P^2 & \text{for } V \leq V_E & (4.10.4) \\ U_{S1} + (U_{S2} - U_{S1}) \cdot \frac{V - V_B}{V_E - V_B} & \text{for } V_E < V < V_B & (4.10.5) \end{cases}$$

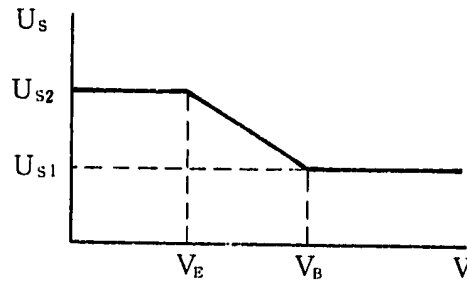
ここで、 U_P : 粒子 (流体) 速度

V : $\frac{\rho_0}{\rho}$ (比体積)

V_B, V_E : 初期比体積, 最終比体積

但し, 線形性を仮定すると,

$$U_S = A_1 + A_2 U_P \quad \text{となる。} \quad (4.10.6)$$



衝撃波の不連続条件から,

$$P_{11} = \rho_0 U_S U_P \quad (4.10.7)$$

$$\rho_0 U_P^2 = P_{11} \cdot x \quad \text{ここで } x = 1 - V \quad (4.10.8)$$

この2式から、 U_P を消去して、 $P_{11}(x)$ が求まる。Hugoniot 条件から拡張するために Mie - Gruneisen の状態方程式を用いると、圧力は

$$P = P_{11} + B \rho_0 (e - e_{11}) \quad \text{となる。} \quad (4.10.9)$$

$$\text{ここで, } \rho_0 e_{11} = \frac{1}{2} P_{11} \cdot x \quad (4.10.10)$$

$$B = B_0 + B_1 \mu \quad (4.10.11)$$

この2種の EOS を, SRI 実験 FV 102 体系を用いて比較した。流体は, 水である。

◦ polynomial EOS — H. Holtbecker の文献⁽⁴⁻³⁾ による値。但し, 内部エネルギーによる項を無視した。

$$P (\text{Mbar}) = 0.022 \mu + 0.067 \mu^2 \quad (4.10.12)$$

◦ shock wave EOS — PI 社によるサンプル入力の値をそのまま用いた。

$$A_1 = 0.1483, \quad A_2 = 2.1, \quad B_0 = 0.28 \quad (4.10.13)$$

その他の係数は 0

両者の計算結果の比較を表 4.10.1 に示す。また, 両者の $P - \mu$ 関係の比較を図 4.10.1 に示す。

容器の各位置での圧力の時間履歴を, 両者を比較して図 4.10.2 に示す。

P- μ 関係及び圧力履歴とも、多項式状態方程式を用いた場合と衝撃波状態方程式を用いた場合の差はほとんど無い。ゆえに、我々の解析対象である耐衝撃体系の作動流体に対する状態方程式としては、複雑な衝撃波状態方程式を用いる必要はなく、より単純な多項式状態方程式で良い事、及び、状態方程式のうち内部エネルギーに依存する項の寄与は無視できる事が結論づけられる。

感 度 解 析

SRI実験 FV 102 体系を用いて作動流体の状態方程式の感度解析を行なった。但し、ここでは衝撃波状態方程式は用いず、従来⁽⁴⁻⁴⁾、実機の解析で使用されてきたナトリウムの多項式状態方程式 (P (Mbar) = $0.04288 \mu + 0.05343 \mu^2$) を基準 (EOS #01) として、その係数を 0.8 倍 (EOS #04), 1.1 倍 (EOS #07) としその影響を見た。また参考として、Holtbecker によるナトリウムの状態方程式⁽⁴⁻³⁾も使用してみた (EOS #02)。

各ケースの P- μ 関係の比較を図 4.10.3 に、その主要計算結果を表 4.10.2 に示す。

結果を以下に要約する。

- ① 容器壁の全歪エネルギーは 4 者とも良く一致している。即ち、状態方程式の差は、ガス部の放出エネルギーには殆ど影響しない。(FV 102 体系では、ガスの放出エネルギーは大部分容器壁に吸収される。)
- ② しかし、状態方程式の差は、容器変形の形状にはある程度の影響を与える。首下部の最大変位は、基準ケースに比べ、0.8 倍ケースは約 10% (相対値) 小さくなったが、逆に容器腹部での変位 (約 $\frac{1}{2}$ がガス部からの直接の衝撃波の寄与による) は、0.8 倍ケースの方が約 7% 大きくなった。

Table 4.10.1 Comparison between Shock Wave EOS and Polynomial EOS
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name		STANDARD	PMIN#01
Equation of State of Water		Shock Wave EOS	Polynomial EOS
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	kJ (msec)
		2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.54
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	% Δ l/l	0.290
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23

Table 4.10.2 Sensitivity Study of Polynomial EOS

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name			EOS#04	EOS#01	EOS#02	EOS#07
Sodium Equation of State			EOS#01 × 0.8	Reference Case	Holtbecker's EOS	EOS#01 × 1.1
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.15 (0.65)	2.15 (0.65)	2.15 (0.65)	2.15 (0.65)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4	+1.5	+1.5	+1.2
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.25	3.57	3.56	3.55
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.302	0.282	0.262	0.265
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.25	2.25	2.24	2.24

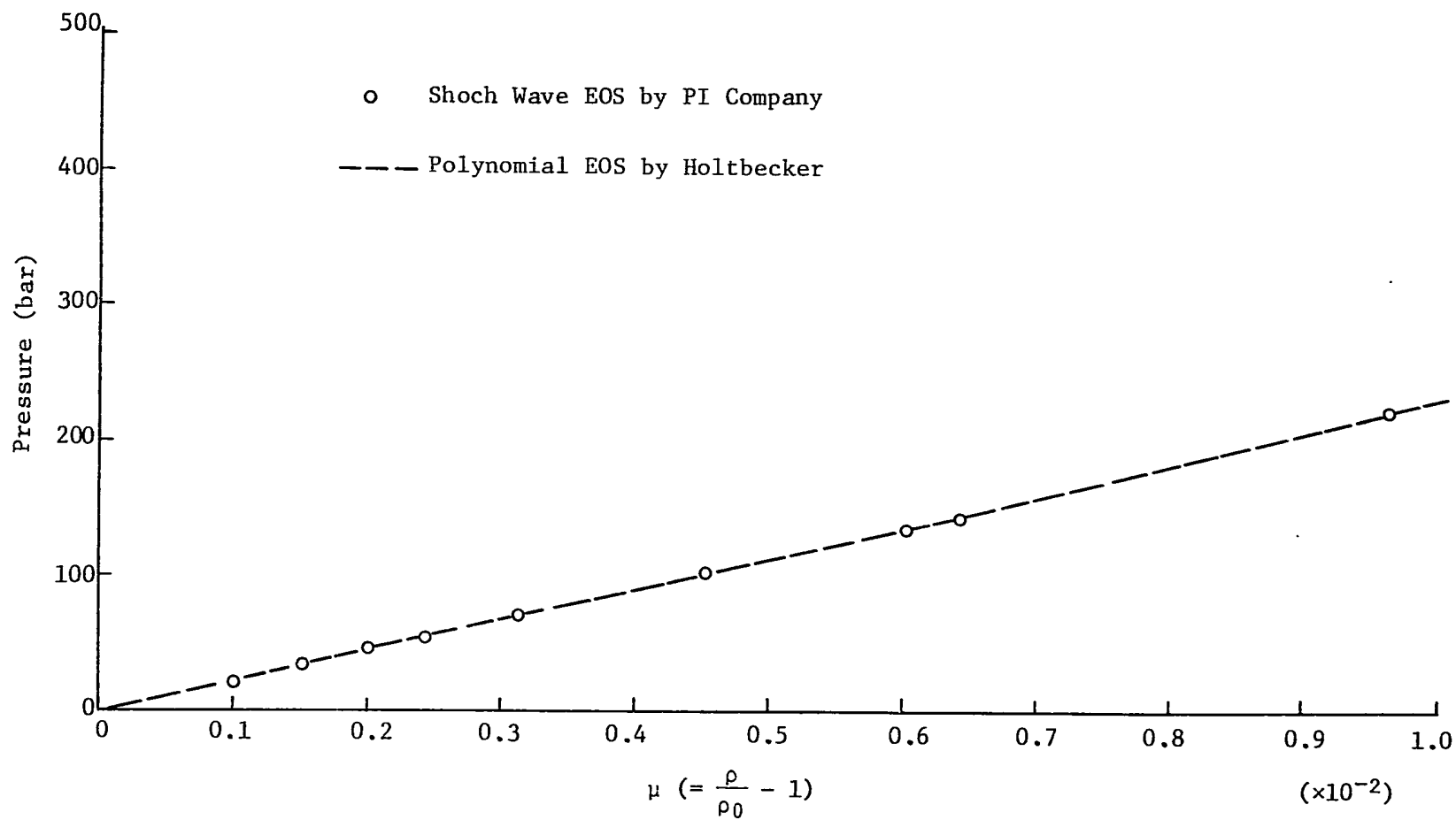
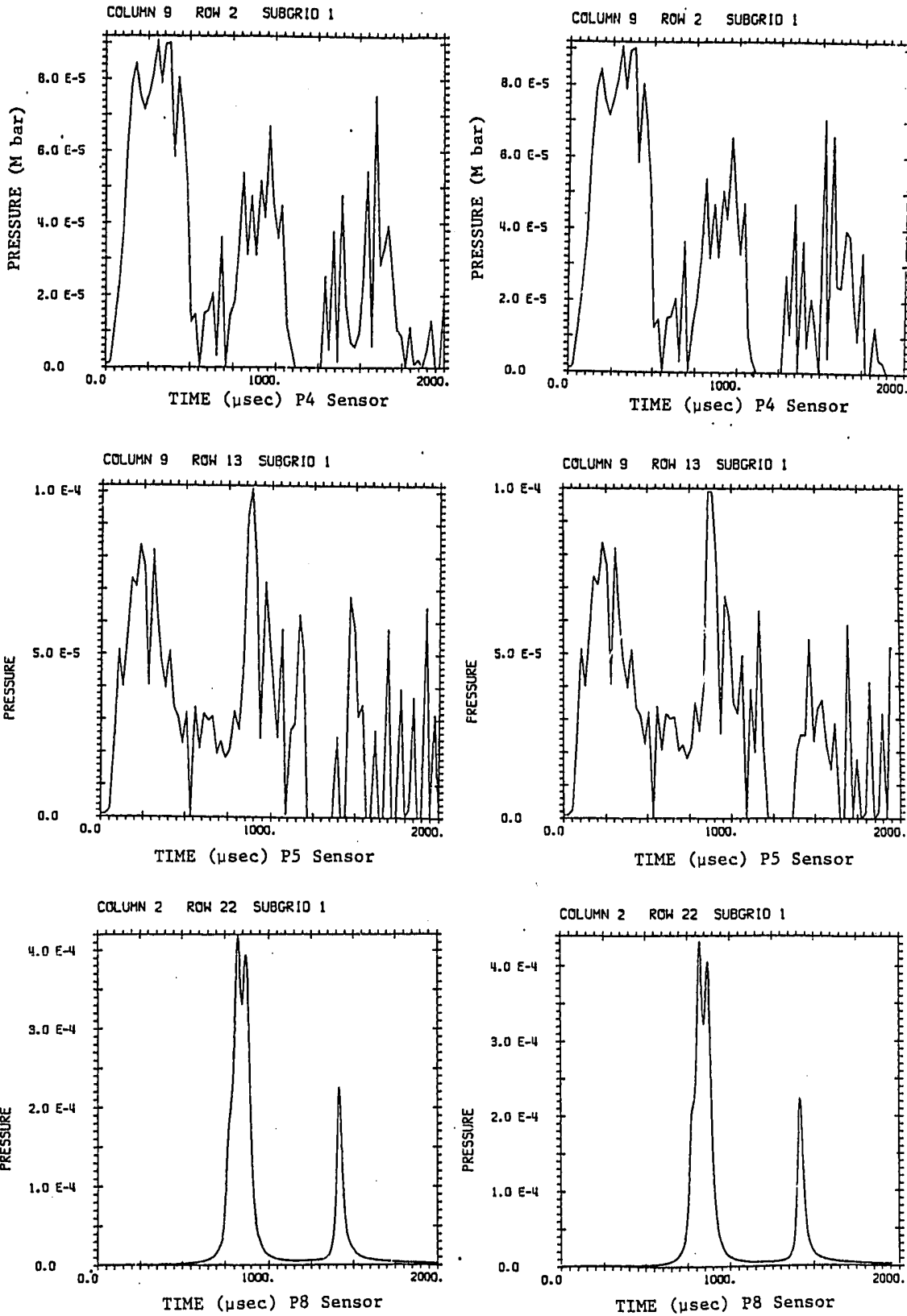


Fig. 4.10.1 Comparison of P- μ Relationship between Shock Wave EOS and Polynomial EOS



(a) Shock Wave EOS
Original Input

(b) Polynomial EOS
by H. Holtbecker

Fig. 4.10.2 Pressure History in Different EOS Form

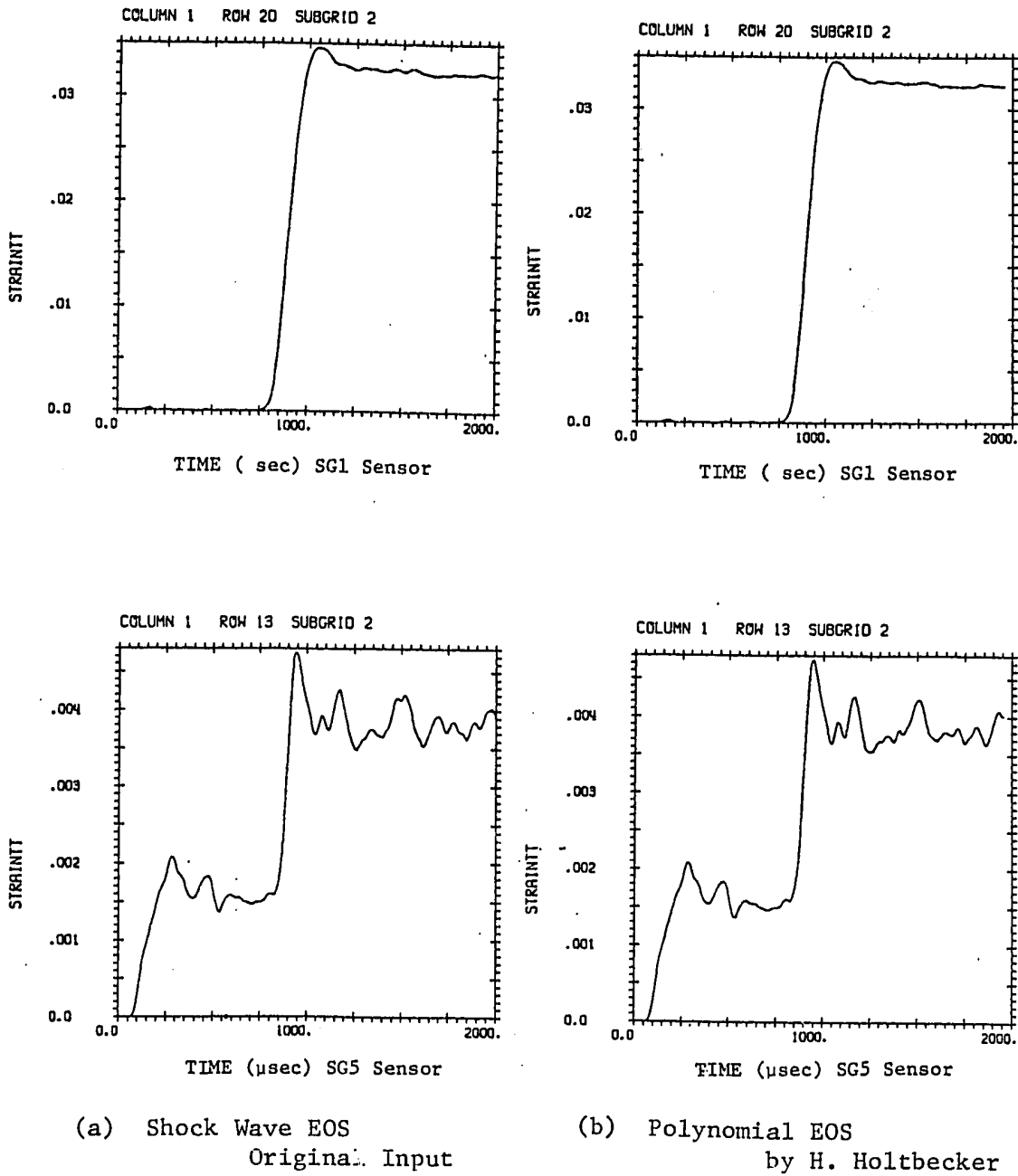


Fig. 4.10.2 (Cont'd) (2)

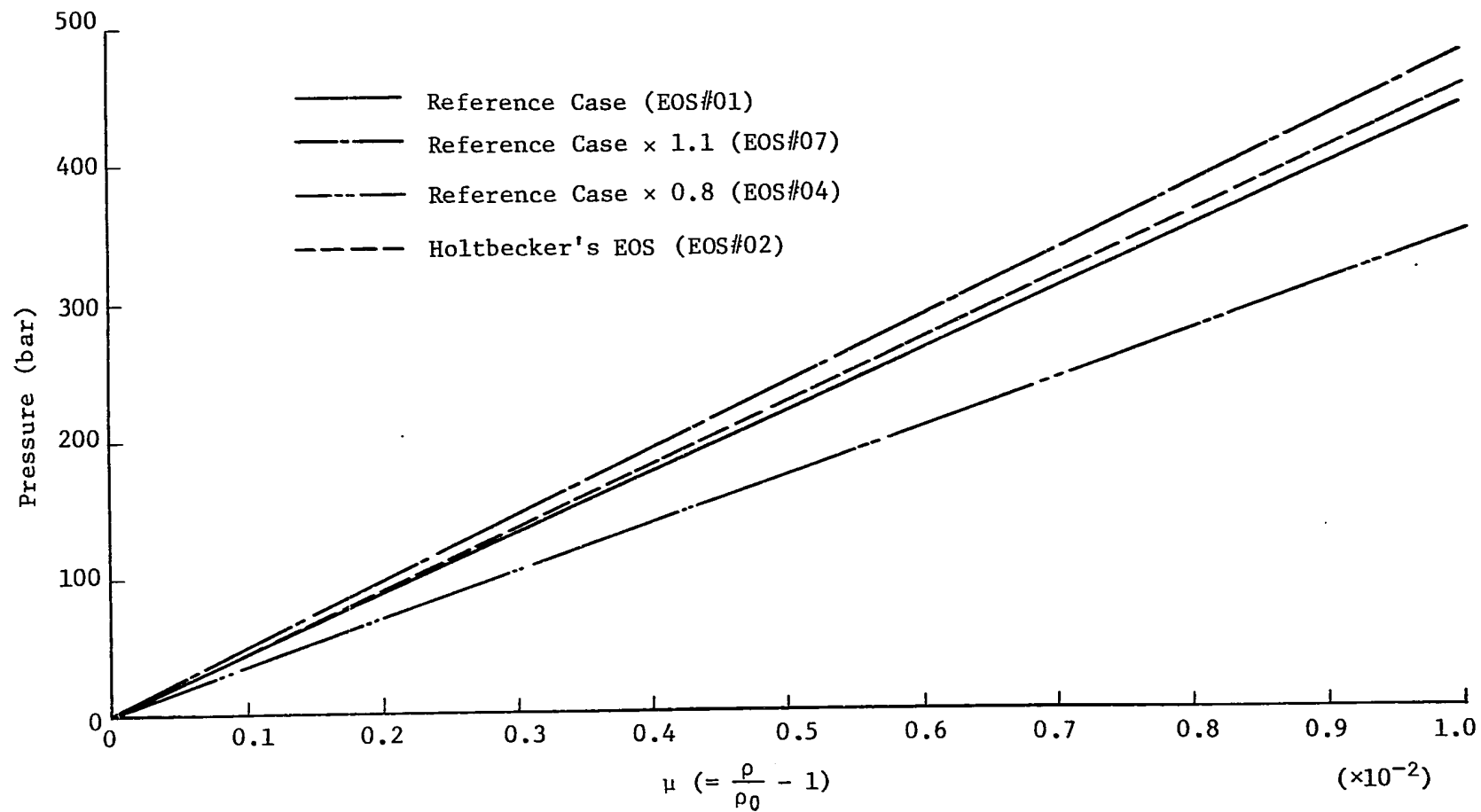


Fig. 4.10.3 Survey Cases of Polynomial EOS

4.11 材料の降伏モデル

塑性変形を経験していない多結晶金属は、多くの場合、等方体とみなすことができる。塑性変形を受けた材料でも、焼なまし処理を行えば、ほぼ等方性を回復していると考えてよい。その降伏曲面、即ち、初期降伏曲面は材料に固有なものであり、応力のみ関数と考える事ができる。

等方体の降伏条件としては、最大主応力説（Rankinの説）、最大せん断応力説（Trescaの説）、最大せん断歪エネルギー説（von Misesの説）などがあるが、延性材料に適合するのはTrescaの説、von Misesの説と言われている。

PISCESでは、降伏条件として、以下の von Misesの説を採用している。

$$\tau_{oct}^2 = \frac{2}{3} J_2 = k_M^2 \quad (4.11.1)$$

τ_{oct} : octahedral shear stress

$$\left(= \frac{1}{9} \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \} \right)$$

J_2 : deviatoric stress の 2nd invariant

$$\left(= \frac{1}{2} \sum S_{ij} S_{ij} \right)$$

k_M : $\frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_Y$ (σ_Y : 単軸引張時の降伏応力)

$$(\sigma_1 = \sigma_Y, \sigma_2 = \sigma_3 = 0)$$

この von Mises の説による材料の降伏条件を、stress deviator と降伏応力を用いて表わすと、

$$\frac{3}{2} (S_{XX}^2 + S_{YY}^2 + S_{ZZ}^2 + 2S_{XY}^2) \geq Y^2 \quad (4.11.2)$$

Y : 単軸引張時の降伏応力

となる。

PISCESでは、降伏モデルとして以下の6種の選択ができる。

(1) Hydrodynamic モデル

$$Y = 0。流体に用いる。 \quad (4.11.3)$$

(2) von Mises model

$$Y = Y_1。降伏応力は定数である。 \quad (4.11.4)$$

(3) Mohr - Coulomb モデル

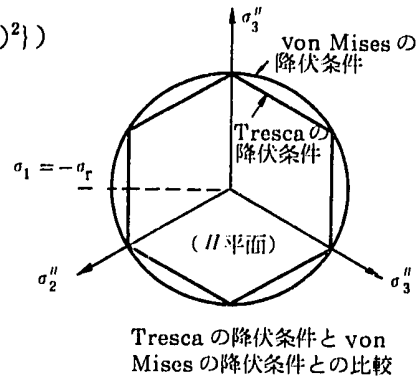
$$Y = \min (Y_1, Y_2 + Y_3 P)。 \quad (4.11.5)$$

降伏応力は、図 4.11.1(a)のような圧力の関数（垂直応力 σ_r ）である。

(4) Bilinear Strain Hardening モデル

$$Y = \min ((Y_1^2 + Y_2 \rho z)^{\frac{1}{2}}, Y_3)$$

降伏応力は、歪エネルギーの関数である。図 4.11.1(b)に引張試験での理想加工硬化の場合の



ラメータを示す。

$$Y_2 = \frac{3a}{1+\sigma} \quad (\sigma : \text{Poisson 比}) \quad (4.11.7)$$

(5) Piecewise Linear モデル

真応力-真歪線図又は、公称応力-公称歪線図を図 4.11.1(c)のように表の形で入力する。

σ_1 は、降伏応力である。

(6) 任意のモデル

外部サブルーチン EXYLD を用いる。

Plastic Yield モデルの比較

炉容器等の構造材の塑性降伏データは、そのほとんどが、材料の単軸引張り試験による応力-歪の連続曲線の形で得られている。そのために、PISCES コードで材料の降伏モデルを実験データを模擬して入力するためには、先に挙げたモデルの中で、piecewise linear モデルを用いるのが最も便利である。ここでは、この piecewise linear モデルの妥当性を検討するために、von Mises モデル及び bilinear strain hardening モデルとのクロスチェックを行なった。

使用した体系は SRI 実験 FV 102 体系である。但し、図 4.11.2 に示すように、容器壁の降伏データを、変更してある。

von Mises モデルと Piecewise モデルの比較のために $\sigma - \epsilon$ curve 1 の完全塑性モデルを用いた。(ケース名を各々、YIELD # 1, YIELD # 2 とする。)

bilinear モデルと piecewise モデルの比較のためには、 $\sigma - \epsilon$ curve 2 の歪硬化を含んだ塑性モデルを用いた。(ケース名を各々、YIELD # 3, YIELD # 4 とする。)

各々の比較計算結果を表 4.11.1 に示す。

piecewise モデルと von Mises モデルの差は全くなく、piecewise モデルと bilinear モデルの差も、最大変位で 1% 以下(相対値)であった。ゆえに、piecewise モデルとして引張り試験データを多点近似で入力する事で、塑性降伏モデル及び歪硬化モデルが正しく扱われていると考えてよい。(なお、歪硬化則については、次節で別途検討する。)

Picewise Linear モデルの感度解析

材料の歪-応力データの不確定性による影響を、SRI 実験 FV 102 体系を用いて調べた。yield model としては、piecewise linear モデルを用い、基準ケースの $\sigma - \epsilon$ 曲線に対して σ を 0.8 倍したケース (SS # 01) と σ を 1.2 倍したケース (SS # 0) を比較した。図 4.11.3 に、各ケースの $\sigma - \epsilon$ 曲線を示す。

表 4.11.2 に結果の一覧を示す。結果の要約を以下に示す。

- ① 3つのケースにおいて、容器壁の全歪エネルギーは±2%以内で殆ど変わらない。
- ② 容器壁最終変位の最大値は、0.8倍ケースが基準ケースの18%増、1.2倍ケースが14%減

であり、 $\sigma - \epsilon$ curve の変化とほぼ同じオーダーで容器変形も変化する。

- ③ 容器壁腹部での最終変位は、0.8倍ケースが49%増、1.2倍ケースが42%減であり、より影響が大きい。つまり、変形全体の形状が変化している。
- ④ 水の運動エネルギーは材料が硬いほど大きく、また、水柱の撃突時刻も早くなる傾向がある。これは、撃突以前の容器腹部でのエネルギー吸収が少ないため、ガス部から放出された gas work が作動流体の運動エネルギーにより多く変換されることによるものと考えられる。

Table 4.11.1 Comparison of Plastic Yield Models
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 12

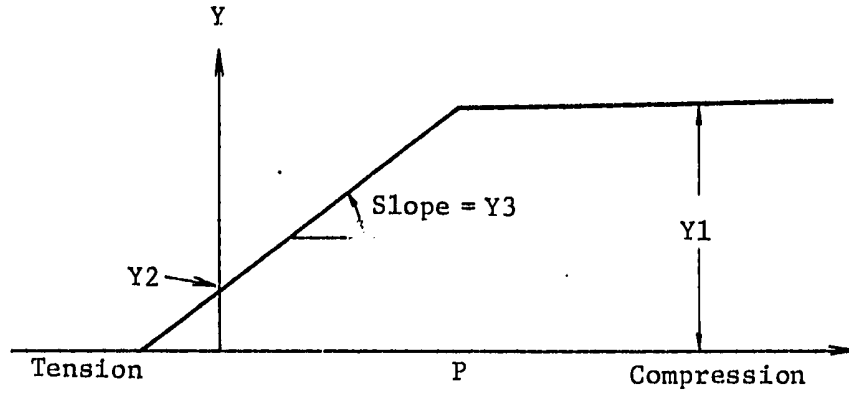
Case Name		YIELD#01	YIELD#02	YIELD#03	YIELD#04	
Material Yield Model of Vessel		PIECEWISE	VON-MISES	PIECEWISE	BILINEAR	
Used Stress-Strain Curve		Curve 1		Curve 2		
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.16 (0.72)	2.16 (0.72)	2.06 (0.74)	2.06 (0.74)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+0.5	+0.5	+1.4	+1.4
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.77	3.77	3.97	3.94
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.090	0.090	0.503	0.486
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.16	2.16	2.25	2.25

Table 4.11.2 Sensitivity Study of Stress-Strain Curve

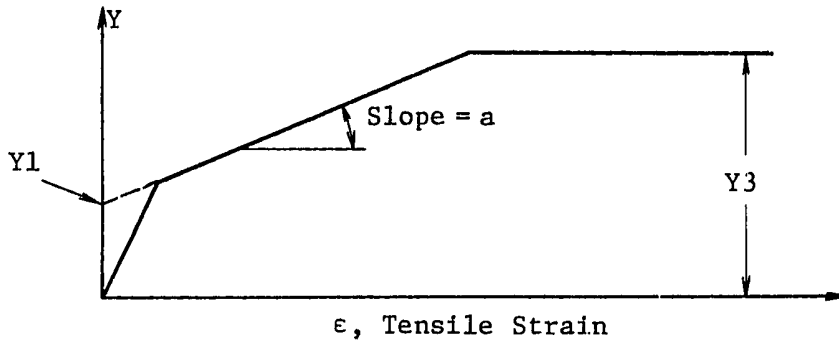
- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

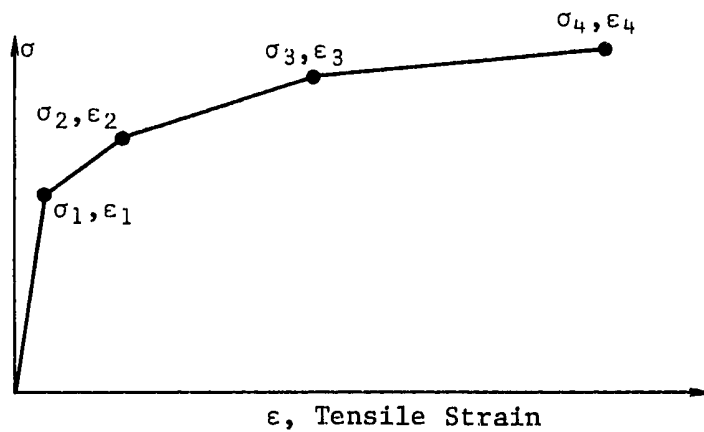
Case Name		SS#01	STANDARD	SS#02	
Stress - Strain Curve		Stress of Standard × 0.8	Standard Curve of N1200	Stress of Standard × 1.2	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.06 (0.74)	2.13 (0.72)	2.16 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4	+1.4	+1.2
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	4.17	3.54	3.04
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.433	0.290	0.167
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.27	2.23	2.17



(a) Mohr-Coulomb Model



(b) Bilinear Strain Hardening Model



(c) Piecewise Linear Model

Fig. 4.11.1 Some Material Yield Models

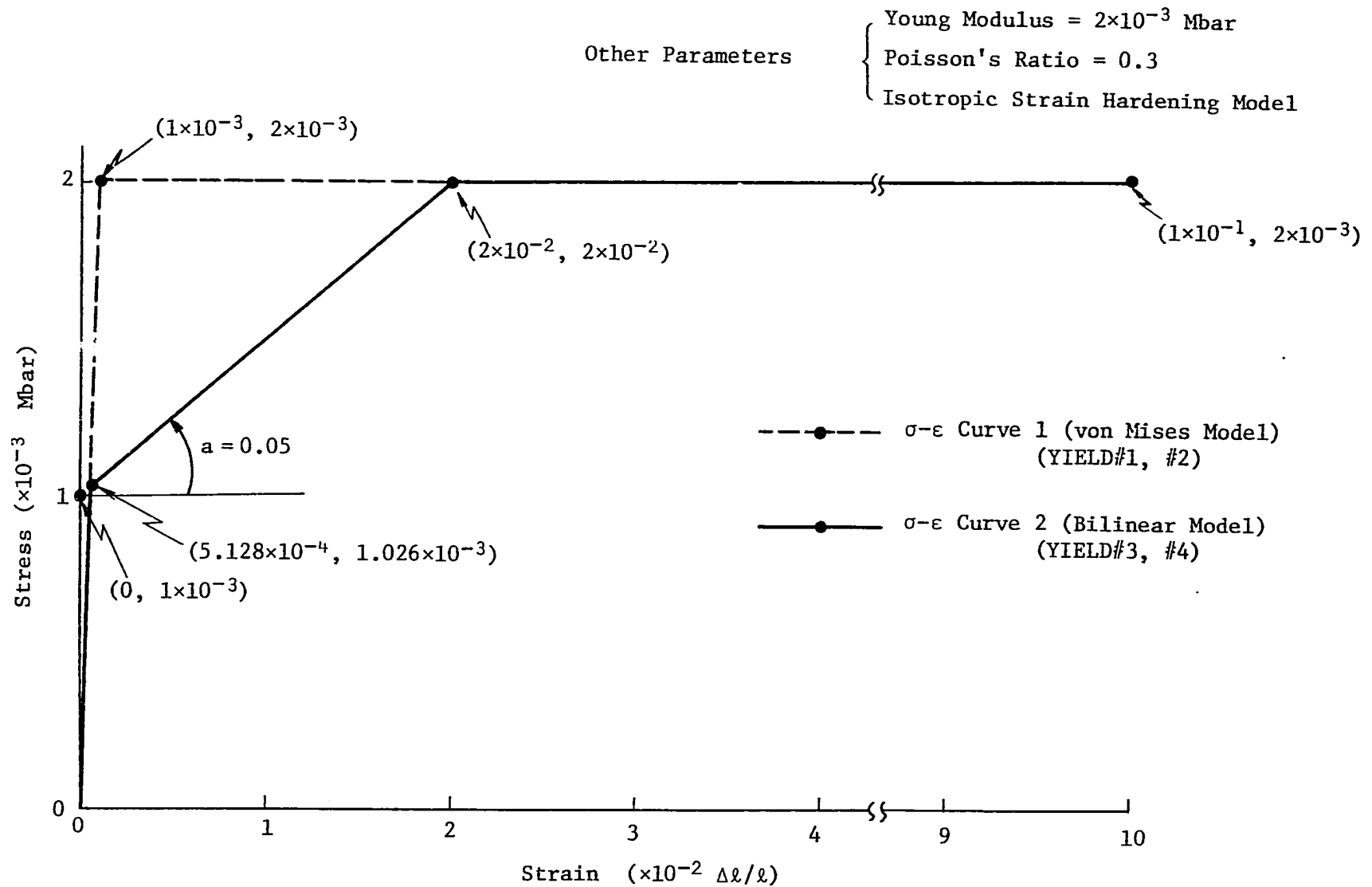


Fig. 4.11.2 Stress-Strain Curves for Material Yield Model Comparison

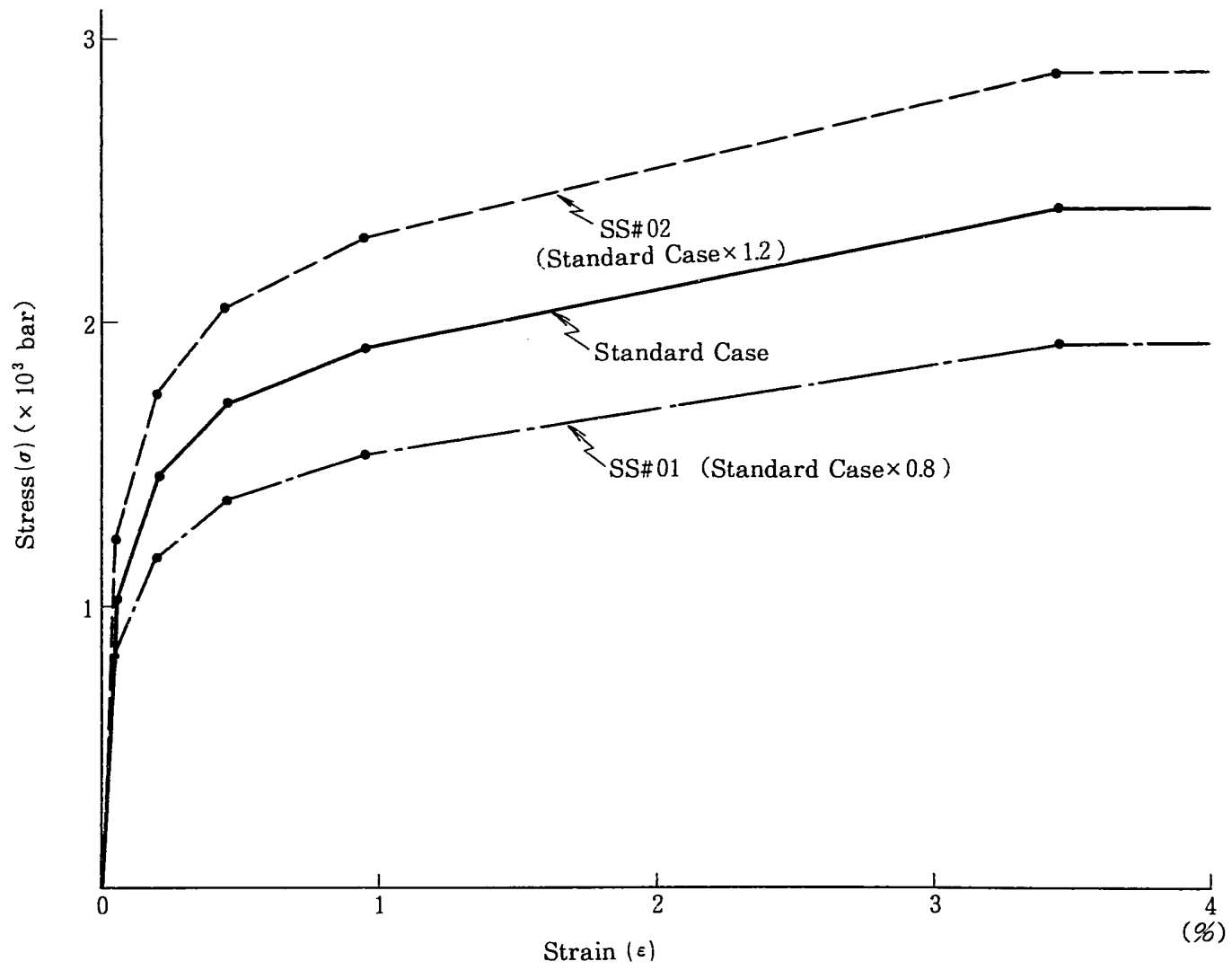


Fig. 4.11.3 Curves Used in Sensitivity Study of Stress-Strain Curve

4.12 歪硬化則

一般に、構造物の塑性解析のために下記のような歪硬化則が主に提案されている。

(1) 等方硬化則

図 4.12.1(a)に示すように、降伏曲面の等方拡大のみを考慮したものである。

$$f(\sigma_{ij}) = K$$

K : 塑性歪と温度の関数

このモデルは、Bauschinger 効果^(注1)を表現できない。

(2) 移動硬化則

図 4.12.1(b)に示すように、降伏曲面の移動のみを考慮したものであり、Bauschinger 効果を理想的に表現できる。

$$f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) = K$$

K : 温度の関数

α_{ij} : 降伏曲面の原点移動量

(3) Mechanical Sublayer モデル

このモデルでは、一つの要素は図 4.12.1(c)に示すように、n本の異なった降伏点をもつ完全弾塑性を示す平行配置された棒（部分要素）によって表わされる。それぞれの部分要素の降伏点及び断面積は、図 4.12.1(d)に示すように実際の応力-歪曲線をn本の直線で近似できるように定められる。

このモデルは、通常の等方硬化と移動硬化のいずれに対しても用いる事ができるが、ここでは、それぞれの部分要素の降伏曲面が剛体移動するものと仮定すると、多軸応力状態に対して負戻後の降伏曲面は図 4.12.1(e)のようになる。従って、このモデルは、Bauschinger 効果を表わす事ができる。

PISCESコードにおいては、isotropic strain hardeningモデルとmechanical kinetic strain hardeningモデルのどちらかを選択するようになっているが、コード上の制限としてShellサブグリッドにkinetic hardeningモデルを用いる場合は、必ずmechanical sublayerモデルを選択しなければならない。ここで、nは $1 \leq n \leq 6$ の範囲をとる。

文献4-4において、各種硬化則の比較検討を行っており、それによれば、「負荷反転のある場合はmechanical sublayerモデルが良好な結果を与え、負荷方向が変化する場合のみは等方硬化モデルが最も良好な結果を与える。」とされている。

(注1) 例えば、単軸引張試験において、材料に引張降伏を生じるに十分な荷重を与えて後、荷重の方向を逆にし、圧縮により新たな降伏を生じる点の応力値 Y_c (絶対値で表わす)を得たとすると、この時、 Y_c は、一般に荷重を反転した点における降伏応力値 Y に比較して小さくなる。この現象をBauschinger効果という。

下表に、各種硬化則の比較を要約して示す。

各種硬化則の比較⁽⁴⁻⁴⁾

	等方硬化則	移動硬化則	メカニカルサブ レイヤーモデル
概要	降伏曲面の等方拡大を考慮	降伏曲面の剛体移動を考慮	降伏点の異なる平行配置部分要素によりモデル化
必要な材料データ	単軸引張り応力-ひずみ曲線（関数表示または折れ線表示）	左に同じ	単軸引張り応力-ひずみ曲線（多直線表示）
Bauschinger 効果	表現しない	表現する	表現する
繰返し硬化・軟化	表現しない（移動硬化との組合せで表現可能）	表現しない（等方硬化との組合せで表現可能）	表現可能
使いやすさ	容易	容易	比較的容易
必要なメモリー N（平面応力の場合）	塑性ひずみ成分，相当応力，ひずみ硬化係数	塑性ひずみ成分，相当応力，歪硬化係数，相当塑性ひずみ，降伏曲面の移動量	各部分要素の塑性ひずみ N = 3 X (Xは部分要素の数)

等方硬化則と移動硬化則の比較

耐衝撃系において、strain hardening モデルの差がどの程度の影響を持つかを、SRI 実験 FV 102 体系を用いて調べた。比較したケースは、炉容器壁に対して、kinetic strain hardening モデル (= mechanical sublayer モデル) を適用したケース (STANDARD) と、isotropic strain hardening モデルを適用したケース (ISOTROP) の 2 つである。

表 4.12.1 に結果を示す。以下に、結果を要約すると、

- ① 耐衝撃体系のように、負荷反転のない場合には、両モデルによる差は殆どない（最大歪で約 1% (相対値)）。

Mechanical Sublayer 数 (MCHSUB) の感度解析結果

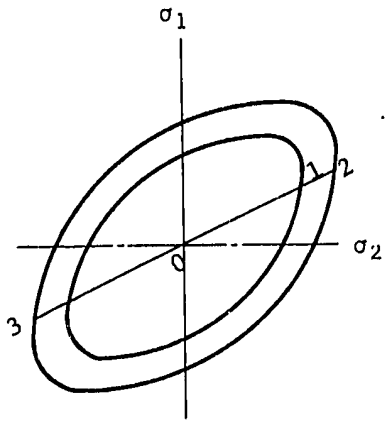
SRI 実験 FV 102 体系を用いて、Shell サブグリッドの mechanical sublayer 数の変化が結果に影響を与えるかどうかを検討した。コード内制限は $1 \leq \text{MCHSUB} \leq 6$ である。比較のために、MCHSUB を変化させても応力-歪関係自体は変わらないようにするため、図 4.12.2 のように $\sigma - \epsilon$ 曲線をモデル化し、MCHSUB = 3 のケース (MSUB # 01) と MCHSUB = 5 (MSUB # 02) の 2 ケースを計算した。

結果の一覧を表 4.12.2 に示す。以下に結論を要約する。

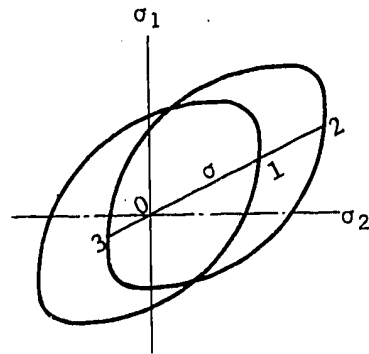
- ① 容器壁の変位差は約1% (相対値) であり, 無視できる。
また, 歪エネルギー等にも全く差は見られない。
- ② ゆえに, mechanical sublayer 数は, 材料データの $\sigma - \epsilon$ 線図を模擬するのに必要な折線数の最小値で良いと考えられる。

Table 4.12.1 Comparison between Strain Hardening Models
- SRI Experiment FV102
by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

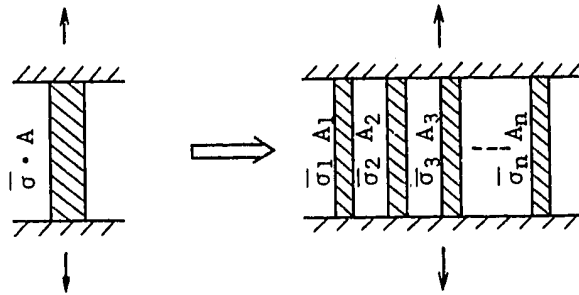
Case Name		STANDARD	ISOTROP	
Strain Hardening Model of Vessel		Kinetic Hardening	Isotropic Hardening	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4	+1.2
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	% Δ l/l	3.54	3.50
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	% Δ l/l	0.290	0.271
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23	2.22



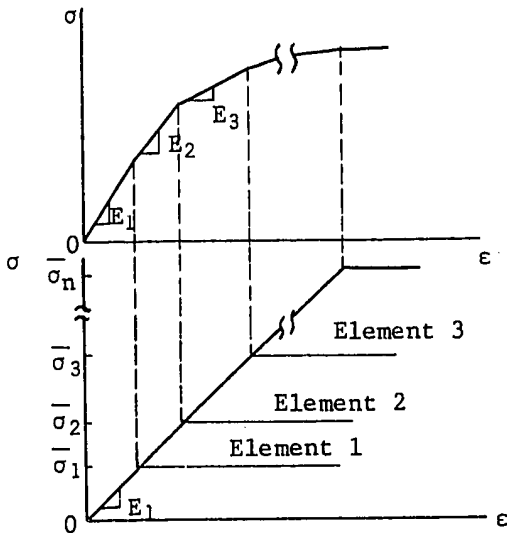
(a) Isotropic Strain Hardening Model



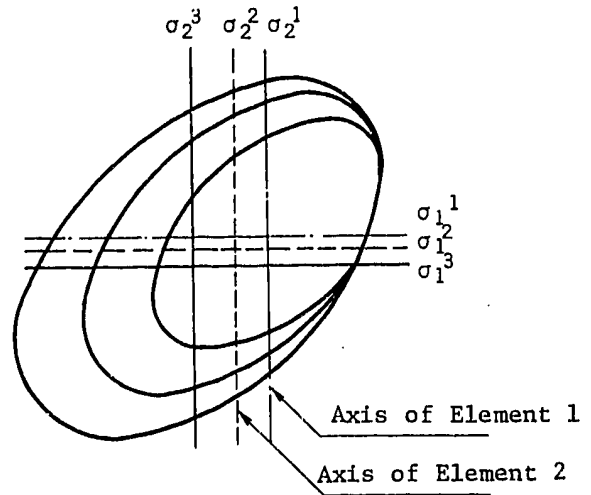
(b) Kinetic Strain Hardening Model



(c) Mechanical Sublayer Model



(d) Linear Approximation of Stress-Strain Curve in Mechanical Sublayer Model



(e) Yield Surface of Elements of Mechanical Sublayer Model

Fig. 4.12.1 Some Strain Hardening Models

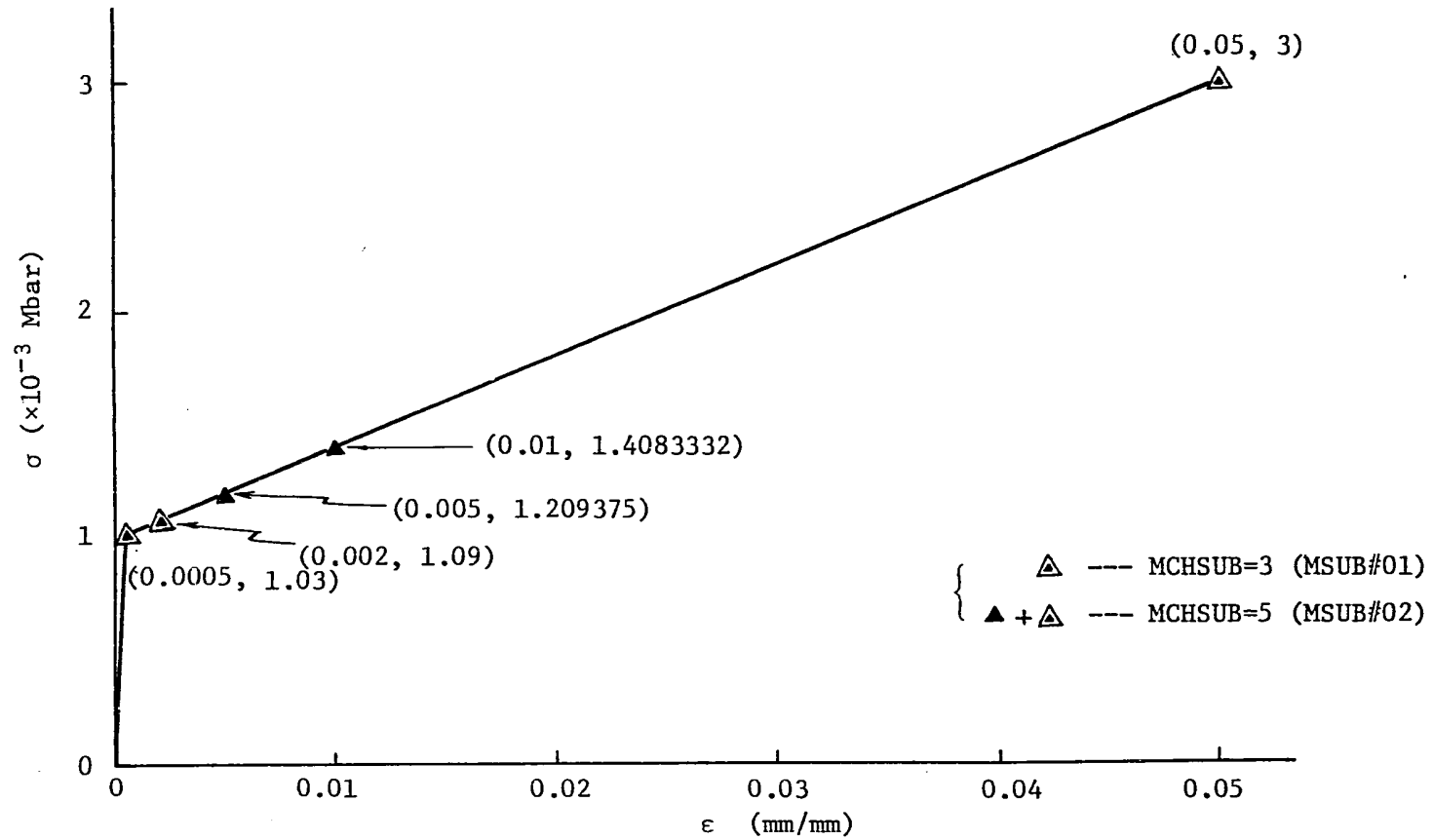


Fig. 4.12.2 Stress-Strain Curve used in Sensitivity Study of Mechanical Sublayer Number

4.13 P- α Compaction モデル

この P- α compaction model は例えば porous 材の hydrodynamic compaction の様子を模擬するもので、その妥当性の一例を 3.6 節に示した。ここでは PISCES で取扱えるモデルの概要の説明を行い、その応用例を 5.9 節に示す。

膨張した物質（例えば porous 材）の比容積を ν 、完全固体状態での比容積を ν_s とし、その膨張比 α を

$$\alpha \equiv \nu / \nu_s \quad (4.13.1)$$

と定義する。

ここでもし固体状態での状態方程式が次式で仮定できるとすると、

$$P = f(\nu_s, \epsilon) \quad \left(\begin{array}{l} P : \text{圧力} \\ \epsilon : \text{内部エネルギー} \end{array} \right) \quad (4.13.2)$$

膨張した状態での状態方程式は、同一関数 f を使って

$$P = f\left(\frac{\nu}{\alpha}, \epsilon\right) \quad (4.13.3)$$

と表わされる。

ここで膨張比 α を圧力 P のみの関数と仮定すると

$$\alpha = g(P) \quad (4.13.4)$$

と表わされ、ここで初期の膨張比を、 α_e (弾性限界) とすると

$$1 \leq \alpha \leq \alpha_e \quad (4.13.5)$$

となり、Porous 材が固体状態（完全に compaction した状態）では

$$\alpha = 1, P = P_s, \frac{d\alpha}{dp} = 0 \quad (4.13.6)$$

となる。

一方、圧力が P_s 以上でもそれ以上 compact しないので

$$P > P_s, \alpha = 1 \quad (4.13.7)$$

である。

弾性限界 α_e においては、

$$\alpha = \alpha_e, P = P_e, \frac{d\alpha}{dp} \equiv \alpha_e' \quad (4.13.8)$$

(圧力が P_e 以上で compaction を開始する)

となり、 α_e' は実験データより決定する。

$P_e < P < P_s$ では、 $d\alpha/dp < 0$ となる。また弾性限界以下 $P < P_e$ では α は一定値を保ち、compaction 途中での (初期の loading を含め) unloading, reloading では一定値の α を保持する。すなわち、

$$\frac{d\alpha}{dP} = 0 \quad (4.13.9)$$

とする。

また, compaction は, 不可逆で, 膨張比 α は決して増加しない。

$$\frac{d\alpha}{dP} \leq 0 \quad (4.13.10)$$

以上の様子を図示すると図 4.13.1 の様になる。

しかし一般には, 弾性領域で α は一定ではないので, この効果を考慮すると, 同様に, plastic 領域で

$$\alpha = g_p(P) \quad (4.13.11)$$

とし, 以下前述を少し修正して

$$P \geq P_S, \alpha = 1, \frac{d\alpha}{dP} = 0 \quad (4.13.12)$$

$$P_e < P < P_S, \alpha_p > \alpha > 1, \frac{d\alpha}{dP} < 0 \quad (4.13.13)$$

$$P = P_e, \alpha = \alpha_p, \frac{d\alpha}{dP} = \alpha_p' \quad (4.13.14)$$

さらに弾性領域で

$$\alpha = g_e(P) \quad (4.13.15)$$

$$P = 0, \alpha = \alpha_e, \frac{d\alpha}{dP} = \alpha_e' \quad (4.13.16)$$

また, 固体状態での elastic relief では α は一定に保ち

$$P = P_S, \alpha = 1, \frac{d\alpha}{dP} = 0 \quad (4.13.17)$$

とする。この様子を図 4.13.2 に示す。

PISCES では, 以下のようにモデル化されている。

弾性領域に対しては,

$$\begin{cases} d\alpha = \alpha^2 (h-1) d\rho / \rho_0 & (\rho = 1/\nu : \text{密度}) \\ h = 1 + (h_0 - 1) \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha_0 - 1} \right) \end{cases} \quad (4.13.18)$$

$h = C_0/C_S$ は, porous sound speed の solid sound speed に対する比である。(ただし添字 0 は初期値を示す。)

plastic 領域に対しては plastic compaction curve g_p に対し以下の 4 つのオプションがある。

(1) Power law compaction curve

$$g_p = 1 + (\alpha_0 - 1) \left(\frac{P_S - P}{P_S - P_e} \right)^n \quad (4.13.20)$$

n : 定数 ($n = 2$: Hermmann's, quadratic に匹敵する)

(2) Cubic law compaction curve

$$g_p = \left[3(\alpha_0 - 1) + n(P_s - P_e) \right] \left(\frac{P_s - P}{P_s - P_e} \right)^2 \quad (4.13.21)$$

$$- \left[2(\alpha_0 - 1) + n(P_s - P_e) \right] \left(\frac{P_s - P}{P_s - P_e} \right)^3 \quad (4.13.22)$$

ただしこの場合

$$n \equiv \left. \frac{dg_p}{dP} \right|_{P=P_e} \quad (4.13.23)$$

(3) Exponential law compaction curve

$$g_p = 1 + (\alpha_0 - 1) \exp\left(-\frac{(P - P_e)}{P_s}\right) \quad (4.13.24)$$

(4) User-supplied subroutine EXALP による方法

このうち option (1) の $n = 2$ のケースの検証例は 3.6 項で議論している。耐衝撃応答評価への応用例については 5.9 節に示す。

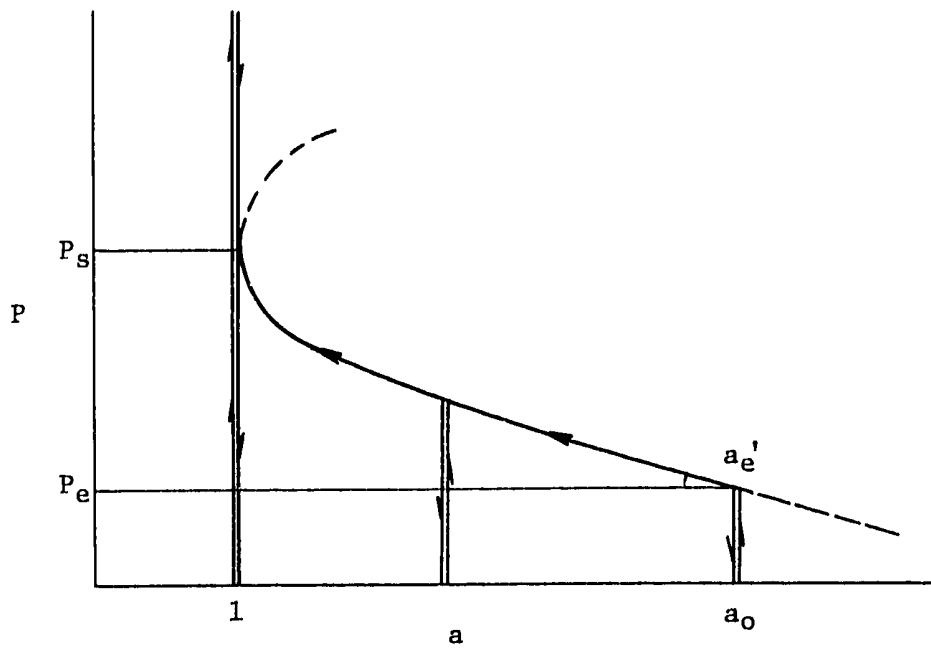


Fig. 4.13.1 p - α Curves for Constant α Elastic Description

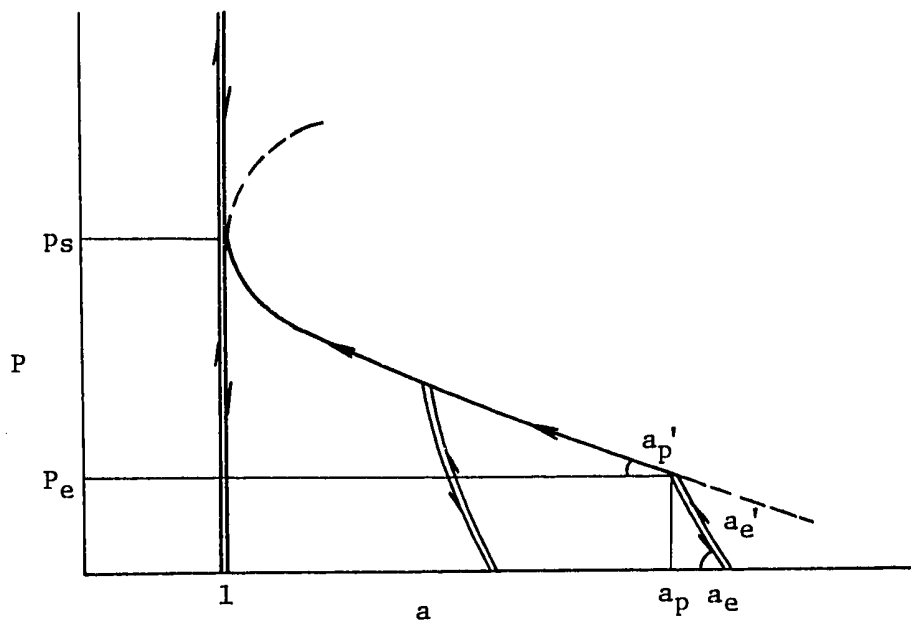


Fig. 4.13.2 p - α Curves for Variable α Elastic Description

4.14 Shellプロセッサ

一般に、構造材（固体）のモデル化には、物質とともに座標系が移動しその変形形状が明確になる事から、Lagrange プロセッサが用いられる。しかし、耐衝撃体系における炉容器の様に、その構造材が薄肉円筒形状である場合には、4.2節で記した Courant 条件から計算のタイムステップが小さくなりすぎ、Lagrange プロセッサを用いるのは現実的でない。PISCES-2 DELK では、このような薄肉構造材を扱うために、Shellプロセッサを備えている。

Shell の PISCES コード上での取扱いの主な特徴を、以下に示す。

- (1) 流体と相互作用する点は、Shell の座標点であり、厚さによる作用点の移動は無視される。
- (2) Shell 要素の体積・密度は一定である。
- (3) 面に垂直な応力成分は無視し、2軸応力状態として扱う。
- (4) 曲げモーメントは、厚さ方向に sublayer と呼ばれる層を考え、各 sublayer のモーメントを合計する (i.e. $M = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} zT(z) dz$) 事によって求められる。従って sublayer の数 (NSBLAY) を 1 とすると、Shell は膜応力のみが考慮され、曲げモーメントは無視される事になる。
- (5) 軸対称体系では、構造材が Shell 座標の内側にあるか外側にあるか、又は中央にあるかを指定できる。

Shell Sublayer 数 (NSBLAY) の感度解析結果

コード内での NSBLAY のとり得る範囲は $1 \leq \text{NSBLAY} \leq 10$ であるが、同時に、mechanical sublayer 数 (MCHSUB, 4.12 節参照) との関連で、 $\text{NSBLAY} \times (\text{MCHSUB} + 1) \leq 24$ という制限があるために、現実的には NSBLAY は 3~4 までしかとれない。この NSBLAY の感度解析を、SRI 実験 FV102 体系の炉容器壁 (Ni-200) を NSBLAY=1 (NSB #01), 2 (NSB #02), 3 (NSB #03), 4 (STANDARD) と 4 通りに変えて行なった。

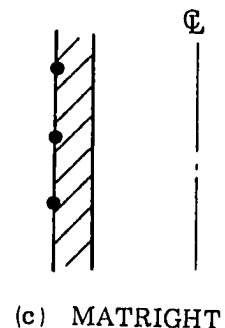
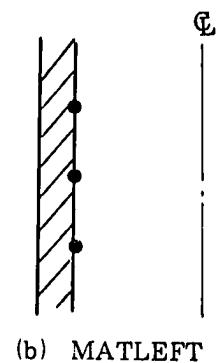
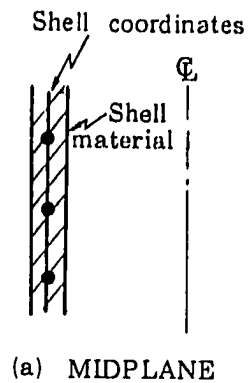
結果を表 4.14.1 に示す。以下に要約を示す。

- ① NSBLAY = 1 の場合は、曲げモーメントによる剛性が考慮できないため、容器変形が予想通り大きくなり、基準ケース (NSBLAY = 4) との歪差は、+6.5 %であった。
- ② NSBLAY が 2~4 の間では、殆ど差はなかった (0.1%以下)。
- ③ 計算機の演算時間は NSBLAY = 1 のケースの方が NSBLAY = 4 のケースに比べ約 3% 短い。

材料位置選択機能 (MATLOC)

PISCESには、Shell 座標に対して、構造材がどのように位置するかを右図のように、3通りの中から選択できる。この材料位置指定機能を調査した結果、以下の事が判明した。

- ① 軸対称体系では、右図のように、その位置指定に対応した体積・質量を持つ。
- ② しかし、流体との相互作用点は、構造材の表面ではなく、あくまで、Shell 座標上である。また、Shell に囲まれた、流体の体積にも変化はない。
- ③ ゆえに、2次元XY体系とか、軸対称体系における中心軸に垂直に位置するShellの場合には、MATLOCは意味を持たない。



Shell 要素の厚さの取扱いに関する検討

Shell 要素でモデル化する構造材の厚さが不連続に変化している場合、そのコード内での取扱いがPISCES-2 DELK version 3と version 2で異っている事が判明した。以下に、その差異の内容と、それに起因する解析結果への影響を、もんじゅ体系^(注)を用いて検討した結果を示す。

例として、炉容器首下部のYピース部を等価厚みとして炉容器に加えた場合 (SVESS) の厚さ配分を、図4.14.1に示す。炉容器の1~21メッシュ点と27~34メッシュ点では5 cm厚さ、21~27メッシュ点では7.39 cm厚さとして入力されている。version 2では、入力値通りに、第21メッシュ点と第27メッシュ点で不連続厚さとなっているが、version 3では、20~21メッシュ間のセグメントと、26~27メッシュ間のセグメントが、5 cmと7.39 cmの相加平均の厚さとなっている。

即ち、version 2では、各メッシュ点位置で不連続厚さが入力通りに表現できたが、version 3では、中間厚さのセグメントが介在し、完全な入力通りの不連続厚さとはならない。

このSVESS体系に対して、Yピース部上側の境界メッシュ点を第27メッシュから、ひとつ上の第28メッシュに移動した体系 (THICK 03) を version 3で計算してみた。図4.14.1から分るように、実機体系で模擬したいモデルは、この不連続厚さ点に関してSVESS ケースと THICK 03ケースの中間の強度を持つ事になる。

(注) ここで検討に使用した体系は、もんじゅ実機を簡易的にモデル化したケース (SBASE #1) をベースとしている。このもんじゅ簡易モデルの詳細については、5.2節を参照の事。

計算の結果、この不連続厚さ点付近での最大歪値は SVESS ケースが $8.66\% \Delta l/l$, THICK 03 ケースが $8.15\% \Delta l/l$ となり、その差は約 $0.5\% \Delta l/l$ であった。ゆえに、厚さが不連続に変化する Shell のモデル化による不確かさとしては、この差の約 $1/2$ 程度を見込めば良いと考えられる。

Table 4.14.1 Sensitivity Study of shell Sublayer Number

- SRI Experiment FV102

by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name		NSB#01	NSB#02	NSB#03	STANDARD	
Sublayer Number of Vessel (NSBLAY)		1	2	3	4	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.12 (0.73)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.3	+1.3	+1.3	+1.4
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δl/l	3.77	3.53	3.54	3.54
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δl/l	0.290	0.283	0.259	0.290
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.18	2.23	2.23	2.23
	Bending Moment at Maximum Strain Position (1.0 msec)	10 ⁷ dyne·cm	0.0	5.21	5.33	5.15

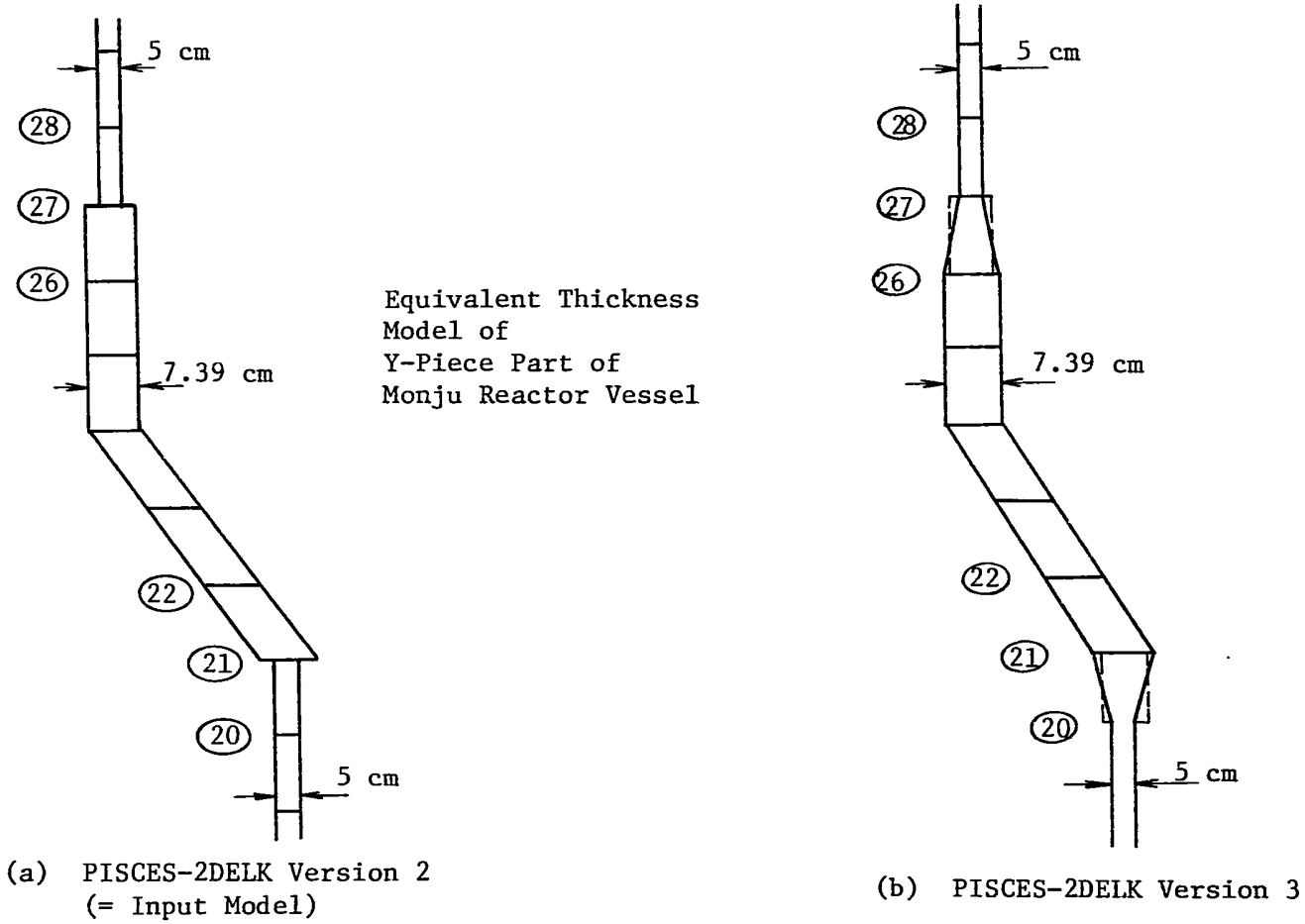


Fig. 4.14.1 Difference of Vessel Thickness Modeling in PISCES Code

4.15 重力の効果

PISCES コードでは、運動方程式に重力加速度項を取り入れる事ができる。SRI 実験 FV102 体系でその効果を調べた。比較したのは、重力加速度を無視したケース (STANDARD) と、重力加速度として 980 cm/sec^2 を入力したケース (GRAV #01) の 2 ケースである。

表 4.15.1 に結果を示す。以下に要約を記す。

- ① 予想通り、重力効果により、水の運動エネルギーは小さくなり、また、水柱の撃突は遅くなるが、その量は極めて小さく、この CRBR の $\frac{1}{10}$ モデル体系では無視できる。
- ② 容器壁最終変位の最大値も、重力効果により減少するが、その量は 1% (相対値) であり小さい。
- ③ 但し、重力効果は、体系の大きさによる影響がある事が考えられるので、実機サイズでの検討を別途を行なう必要がある。

Table 4.15.1 Sensitivity Study of Gravity Effect
 - SRI Experiment FV102
 by PISCES-2DELK version 3 level 11V2

Case Name		STANDARD	GRAV#01
Gravity Modeling		Neglected	$9.8 \times 10^{-10} \text{ cm}/\mu\text{sec}^2$
Maximum Total Kinetic Energy (time)		kJ (msec)	2.13 (0.72)
Final Results (at 2ms)	Energy Balance	%	+1.4
	Maximum Strain of Vessel near Initial Water Level	%Δ1/1	3.54
	Strain of Vessel at Charge Level (row=8)	%Δ1/1	0.290
	Distortion Energy of Vessel	kJ	2.23

C. PISCES-2 DELK の固有機能に関する項目

4.16 Boundary Include オプション

PISCES-2 DELK では、Boundary Include オプションを用いて、非常に薄い Shell や Lagrange サブグリッドの周囲に有限な厚さのポリゴンを巻くことによって Euler 物質とこれらの薄い物体とを適切に相互作用させることができる機能をもつ。この場合ポリゴンの各点に加わる力は Shell や Lagrange の各点に伝えられる。(図 4.16.1 参照)

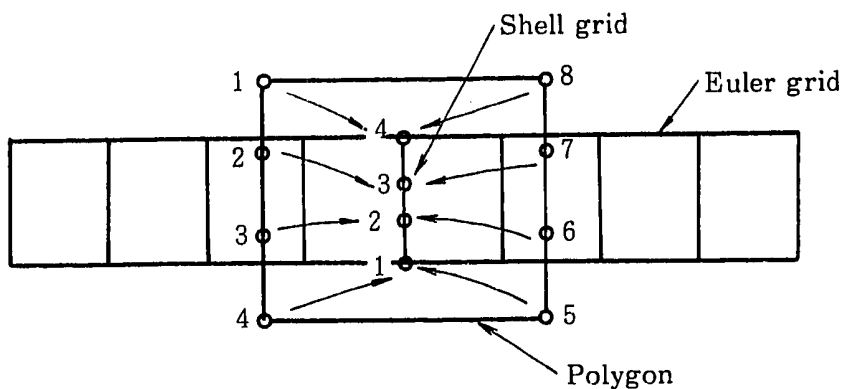


Fig.4. 16. 1 Boundary Include Option

この機能は、非常に薄い構造材の両面が流体に接し相互作用する場合に使用され、version 2C では 2つのポリゴンを図 4.16.2 に示すように設定しなければならなかったが、version 3 では構造材を囲む 1つのポリゴンでも足りるようになった。

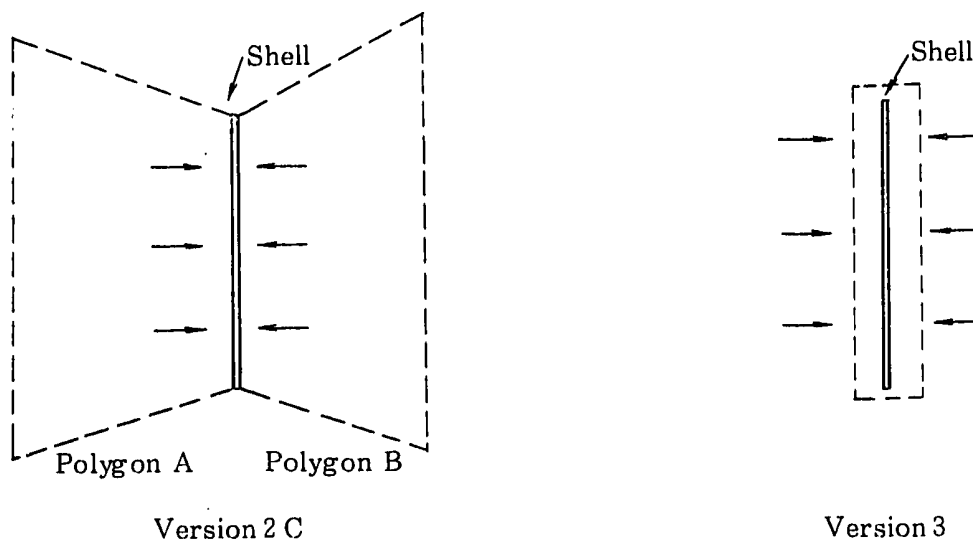


Fig. 4. 16. 2. Comparison of Polygon between Version 2 C and Version 3

この使用法は次のように行なう。Shell と同じ分割の Lagrange ゾーンを Shell ゾーンに重ね (ただし Lagrange ゾーンは UNUSED と宣言しておく), Lagrange の境界をポリゴンで囲む。" Boundary Include " によって力の作用点を定義し, このポリゴンの受ける力を Shell に伝える。

このように非常に薄い構造材が流体中に存在する場合, 1つのポリゴンによって相互作用を設定することが可能になったが, このとき Euler メッシュに対する Shell の位置, また UNUSED で定義して Shell に重ねる Lagrange の厚さの設定の仕方によっては, 相互作用を完全に起こさない場合がある。従って, ここでは以下に示す例題で(1) Euler メッシュに対する Shell の位置及び(2) Euler メッシュに対する UNUSED で定義される Lagrange の幅による Euler 物質との相互作用の様子を議論する。

設定された例題を図 4.16.3 に示す。シリンダーのほぼ中央に SHELL - 1 が Boundary Include によってポラス・ポリゴン (空孔率 = 0) で囲まれている。左側にはガスが満され, 一方右側には, もし SHELL - 1 とガスとの相互作用が不完全な場合, 漏れいガスと相互作用させるため, フリーな状態 (無固定) で通常のポリゴン設定法によって SHELL - 2 が置かれている。

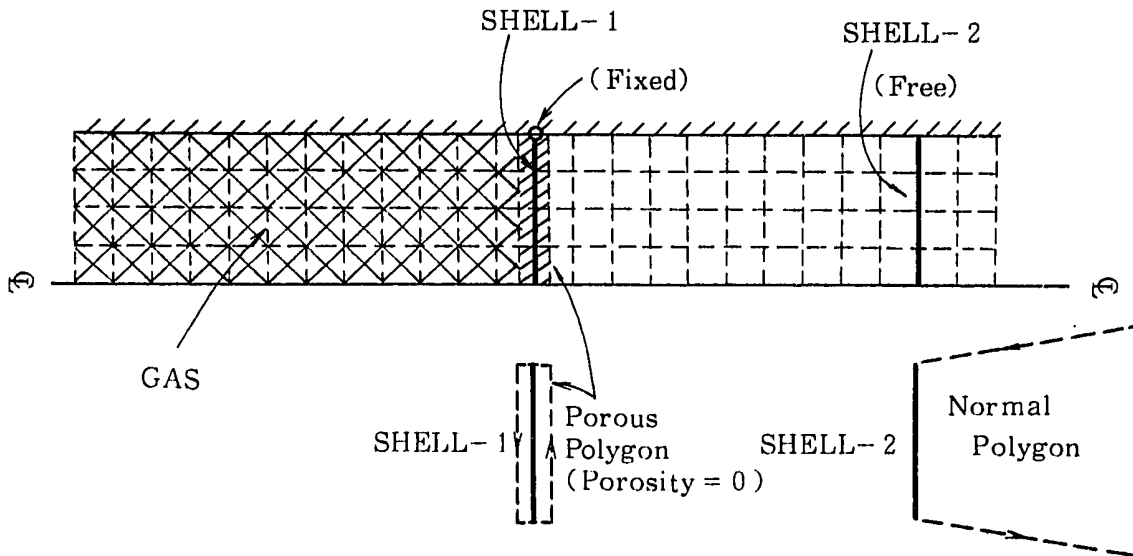


Fig. 4. 16. 3 Boundary Inclnde Test

テストケースを図 4.16.4 及び図 4.16.6 に示す。図 4.16.4 に示すケースでは, Euler メッシュ間に SHELL - 1 を設定し, UNUSED で定義する Lagrange ゾーン (斜線部) の厚みと Euler メッシュ幅による影響について調べた。一方, 図 4.16.6 では SHELL - 1 を Euler メッシュ上に設定しやはり UNUSED で定義する Lagrange (斜線部) の厚みと Euler メッシュ幅による影響について調べた。

相互作用させたい Shell を Euler メッシュの中間に設置した場合の各ケース ((a)~(d)) の結

果を図 4.16.5(a)~(d)に示す。図から明らかなように、まず UNUSED の Lagrange ゾーンが Shell と同一 Euler メッシュ内に存在する場合、Euler 物質は Shell と相互作用せず、完全に無視して通過する。(図 4.16.5(a)) これは同一 Euler メッシュ内での Euler 物質の各変数は、それぞれ 1 個しか定義されないため、同一 Euler メッシュ内の Lagrange ゾーン (UNUSED) の左側に流れこんできた Euler 物質は、その右側と等しく定義され何ら変化もなく、そのまま次の Euler メッシュへ流れこんでゆくためである。

次に Euler メッシュ幅に対する Lagrange ゾーンの幅を増加させていくと、Lagrange ゾーンが 2 個の Euler メッシュに完全にまたがって位置している間は Shell と Euler 物質とは完全に相互作用を行なっているが Shell の変形が徐々に大きくなり Lagrange ゾーンが 1 個の Euler メッシュ内に入ってしまうと、前述と同じ理由で、Euler 物質の漏えいが始まっている。(図 4.16.5(b), (c))

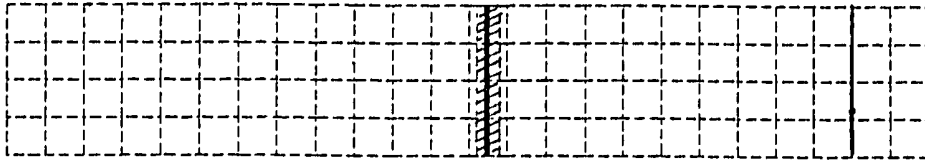
従って、図 4.16.5(d)に示すように Shell の変形に伴って Lagrange ゾーンが移動しても、1 個の Euler メッシュ内に入り込まない配慮が必要である。

相互作用をさせたい Shell の位置が Euler メッシュ上に存在する場合(図 6.16.6) もやはり前述と同様の議論が成立つ。

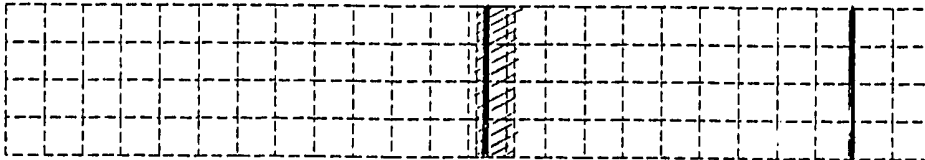
Test - 20 (図 4.16.17(a)) では Lagrange ゾーンの幅は狭いが、2 個の Euler ゾーンにまたがっているため、Shell が動かなければ(このケースでは、Shell 全体を完全固定している。) Euler 物質と、Shell は完全に相互作用をおこし、Euler 物質の漏えいはない。しかし、図 4.16.7(b)に示すように、もし Shell に対する完全固定の境界条件を取り除くと(上端のみ固定)、Shell の変形に伴って、Lagrange ゾーンが 1 個の Euler メッシュ内に入り込み、その場所から Euler 物質の漏えいが始まる。同様のことが、Lagrange ゾーンの厚みを増加させた場合でも起こる。しかし、この場合より大きな Shell の変形まで完全に相互作用を保つことが可能である。

従って、結論として、Shell で定義する構造材の変形が Euler メッシュ・サイズに比べ、小さい場合でも少なくとも UNUSED で定義する Lagrange ゾーンは、2 個の Euler メッシュにまたがって位置する必要がある。この場合、Shell を Euler メッシュ上に設定する方が UNUSED で定義する Lagrange ゾーン幅が小さくてすみ有利である。一方、Euler メッシュ幅に比べ構造材の大きな変形が予想される場合、Shell の変形に伴う Lagrange ゾーンの移動によって、Lagrange ゾーンが 1 個の Euler メッシュ内に入ってしまうよう考慮する必要がある。

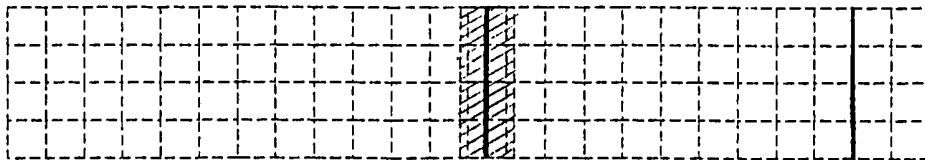
(a) BOUNDARY INCLUDE TEST-1



(b) BOUNDARY INCLUDE TEST-11



(c) BOUNDARY INCLUDE TEST-12



(d) BOUNDARY INCLUDE TEST-13

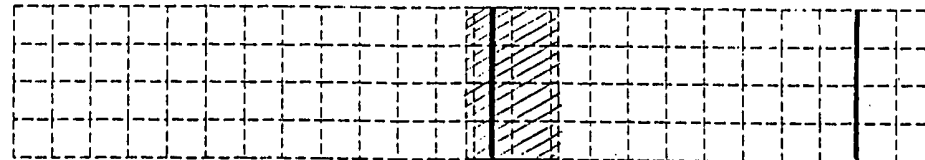
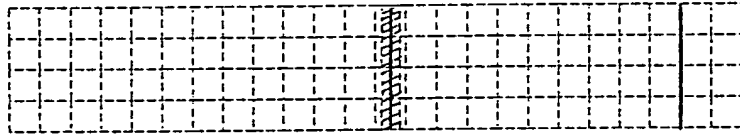


Fig. 4.16.4 Boundary Include Test Cases [I]

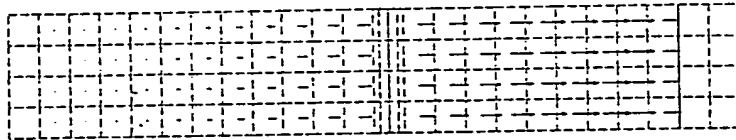
BOUNDARY INCLUDE TEST-1

TIME 0



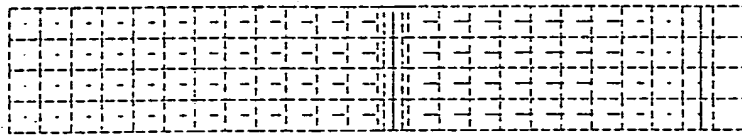
BOUNDARY INCLUDE TEST-1

TIME 20.32



BOUNDARY INCLUDE TEST-1

TIME 40.28



BOUNDARY INCLUDE TEST-1

TIME 60.73

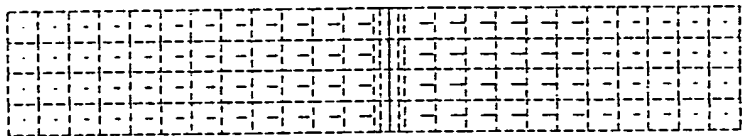
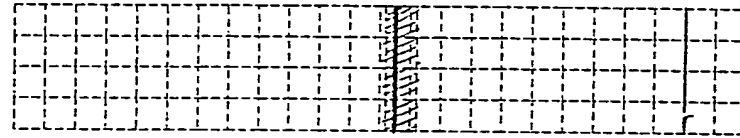


Fig. 4.16.5(a) Results of Boundary Include Test-1

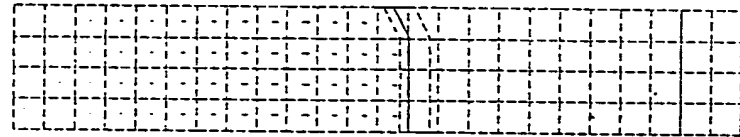
BOUNDARY INCLUDE TEST-11

TIME 0



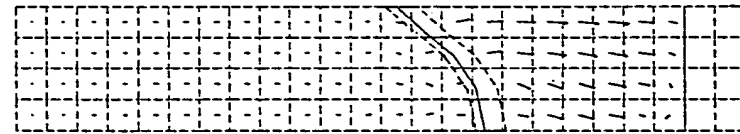
BOUNDARY INCLUDE TEST-11

TIME 20.35



BOUNDARY INCLUDE TEST-11

TIME 40.34



BOUNDARY INCLUDE TEST-11

TIME 60.08

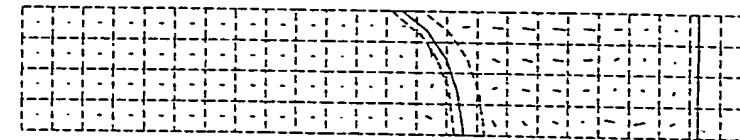


Fig. 4.16.5(b) Results of Boundary Include Test-11

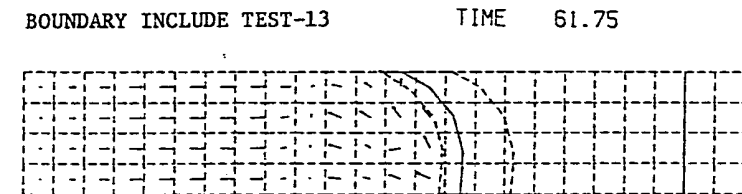
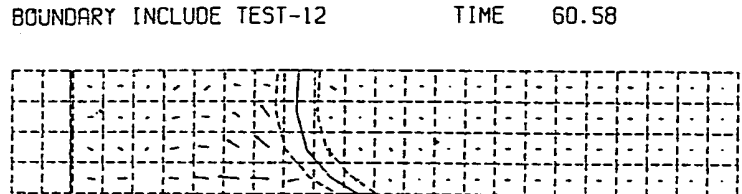
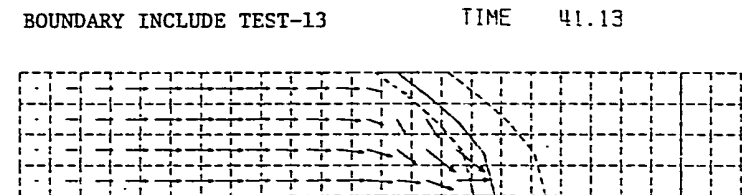
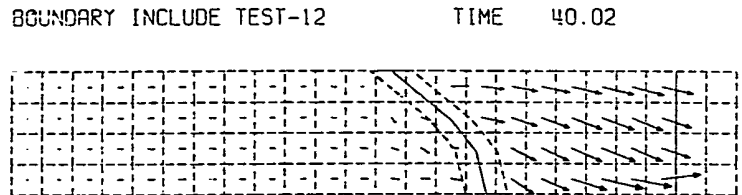
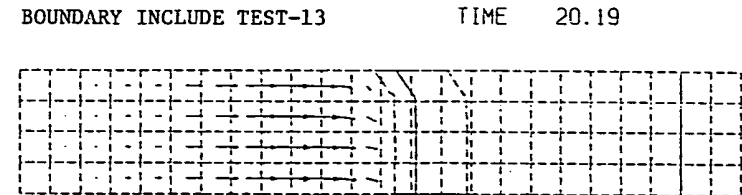
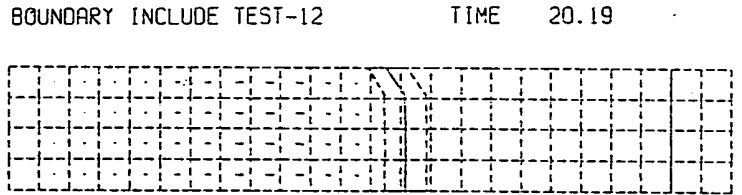
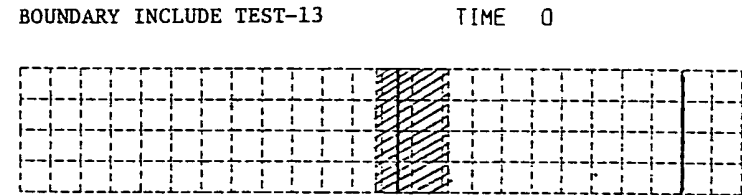
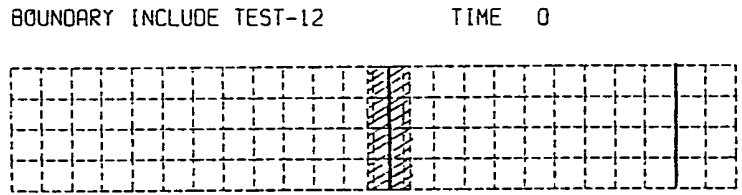
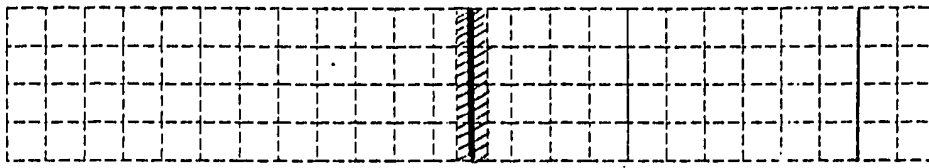


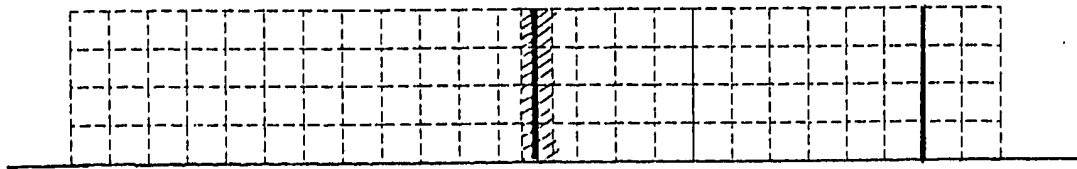
Fig. 4.16.5(c) Results of Boundary Include Test-12

Fig. 4.16.5(d) Results of Boundary Include Test-13

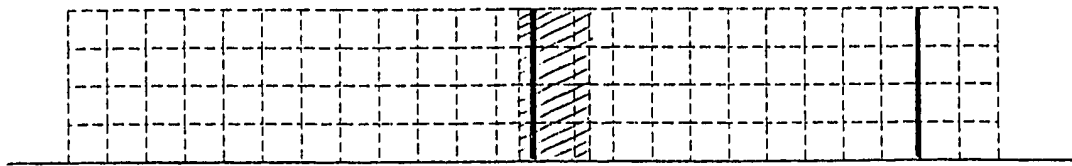
(a) BOUNDARY INCLUDE TEST-20



(b) BOUNDARY INCLUDE TEST-21



(c) BOUNDARY INCLUDE TEST-22



(d) BOUNDARY INCLUDE TEST-23

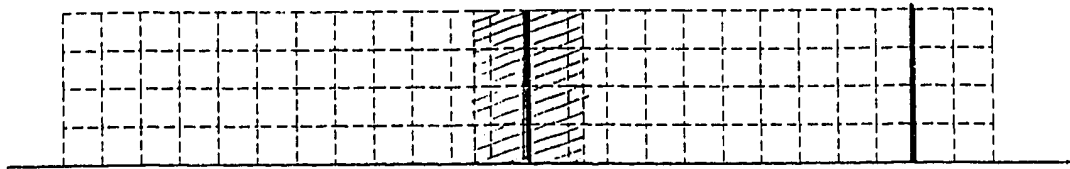
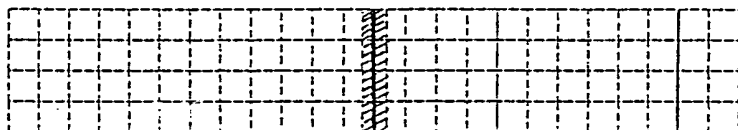


Fig. 4.16.6 Boundary Include Test Cases [II]

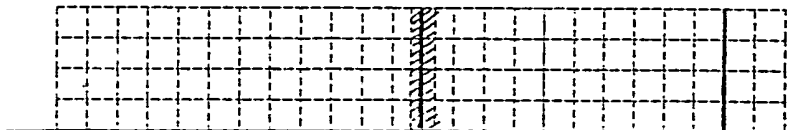
BOUNDARY INCLUDE TEST-20

TIME 0



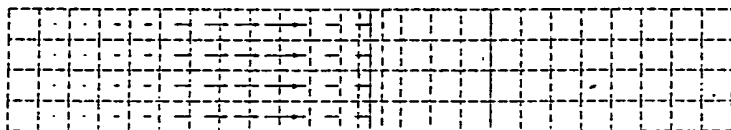
BOUNDARY INCLUDE TEST-21

TIME 0



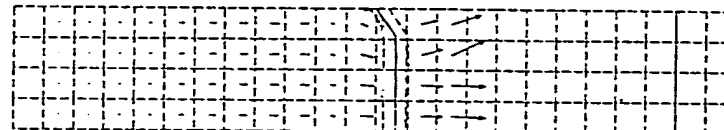
BOUNDARY INCLUDE TEST-20

TIME 20.31



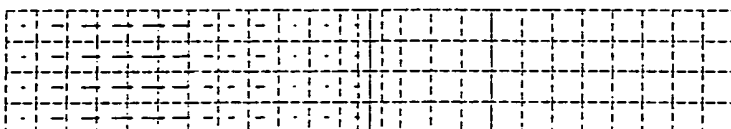
BOUNDARY INCLUDE TEST-21

TIME 20.43



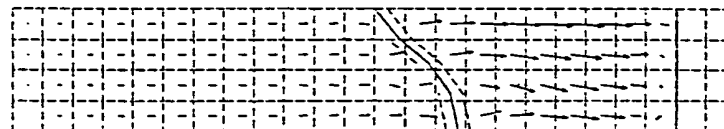
BOUNDARY INCLUDE TEST-20

TIME 41.76



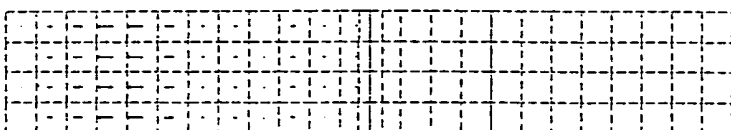
BOUNDARY INCLUDE TEST-21

TIME 40.56



BOUNDARY INCLUDE TEST-20

TIME 61.44



BOUNDARY INCLUDE TEST-21

TIME 60.33

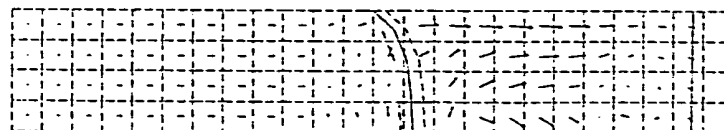
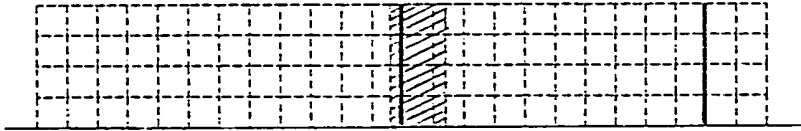


Fig. 4.16.7(a) Results of Boundary Include Test-20

Fig. 4.16.7(b) Results of Boundary Include Test-21

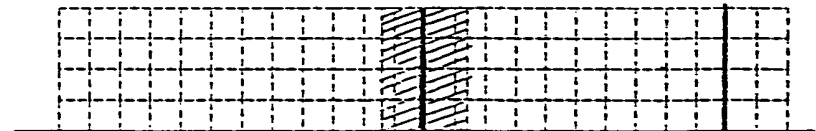
BOUNDARY INCLUDE TEST-22

TIME 0



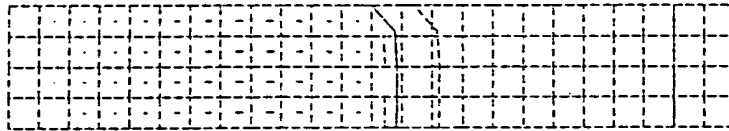
BOUNDARY INCLUDE TEST-23

TIME 0



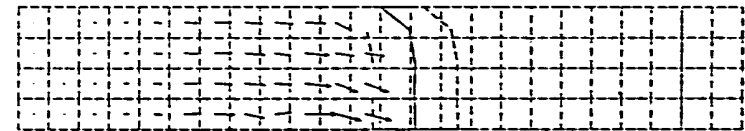
BOUNDARY INCLUDE TEST-22

TIME 21.26



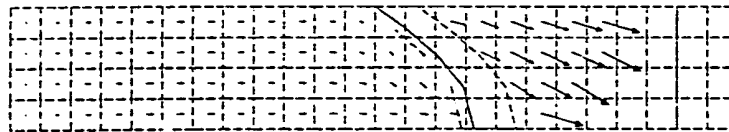
BOUNDARY INCLUDE TEST-23

TIME 21.11



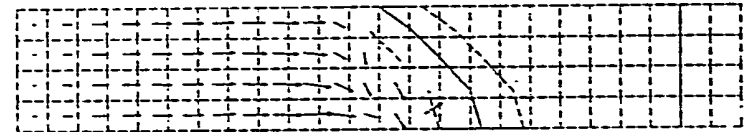
BOUNDARY INCLUDE TEST-22

TIME 40.32



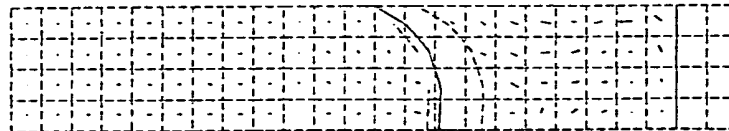
BOUNDARY INCLUDE TEST-23

TIME 40.85



BOUNDARY INCLUDE TEST-22

TIME 60.48



BOUNDARY INCLUDE TEST-23

TIME 61.58

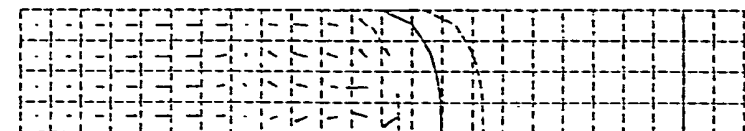


Fig. 4.16.7(c) Results of Boundary Include Test-22

Fig. 4.16.7(d) Results of Boundary Include Test-23

4.17 ポーラスポリゴン

PISCES - 2DELK の現有の version では、完全に気密が保持されない浸透性をもつ材料や、空孔をもつ仕切り板を通過する流体の挙動をモデル化することができる。この機能の使用法は、4.16の項で述べた Boundary Include を用い、UNUSED で定義する Lagrange ゾーンを囲むポリゴンに空孔率を定義することによって行なう。構造材の変形を考慮しない場合は Shell サブグリッドは定義しなくてもよい。(従って、Boundary Include を使用しないでもよい。)ここでは、図 4.17.1 に示すように浸透性をもつ材料の左側に気体を充満し(右側は真空)、時間 = 0 の瞬間に浸透が開始するケースについて、その空孔率による通過する流体の様子を調べてみた。

テストの結果を図 4.17.2(a) (空孔率 = 0% : 完全密封), (b) (空孔率 = 30%), (c) (空孔率 = 50%), (d) (空孔率 = 80%), (e) (空孔率 = 100% ; 完全開放) に示す。

空孔率 = 0% の完全密封の場合 (Case(a)), 前項で述べた様に気体は完全に遮断されて動かない。空孔率を与えると、気体は漏えいを開始し、空孔率の増加と共に明らかに流量の増加がみられる。もちろん空孔率 100% の完全開放では、浸透材の存在による影響はみられない。これらの結果からポーラスポリゴンは正常に機能していると推定できる。

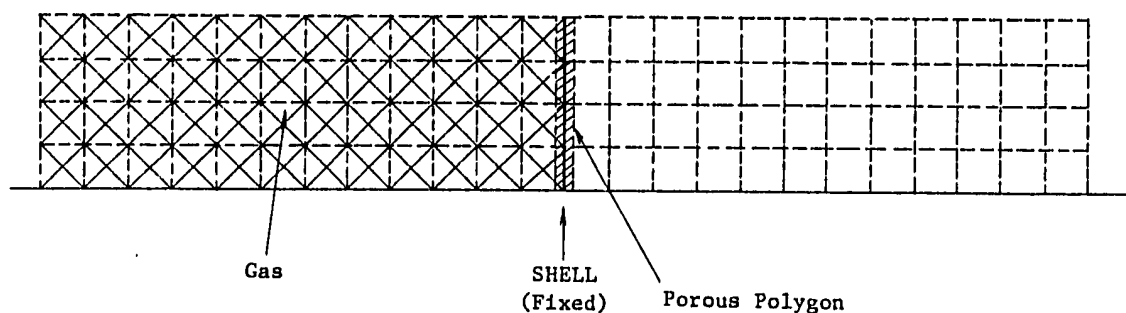


Fig. 4.17.1 Porous Polygon Test

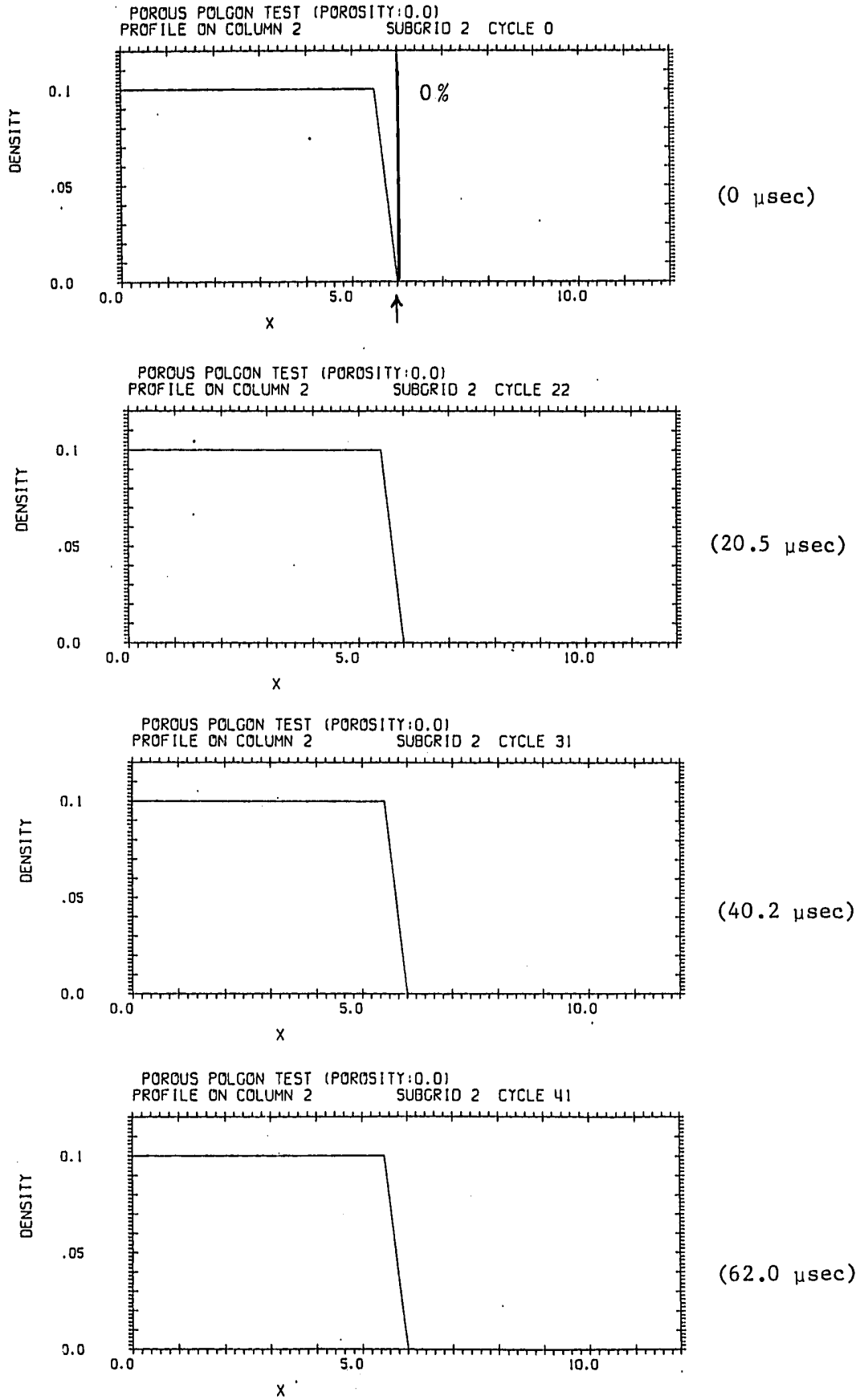


Fig. 4.17.2(a) Results of Porous Polygon Test (Porosity = 0 %)

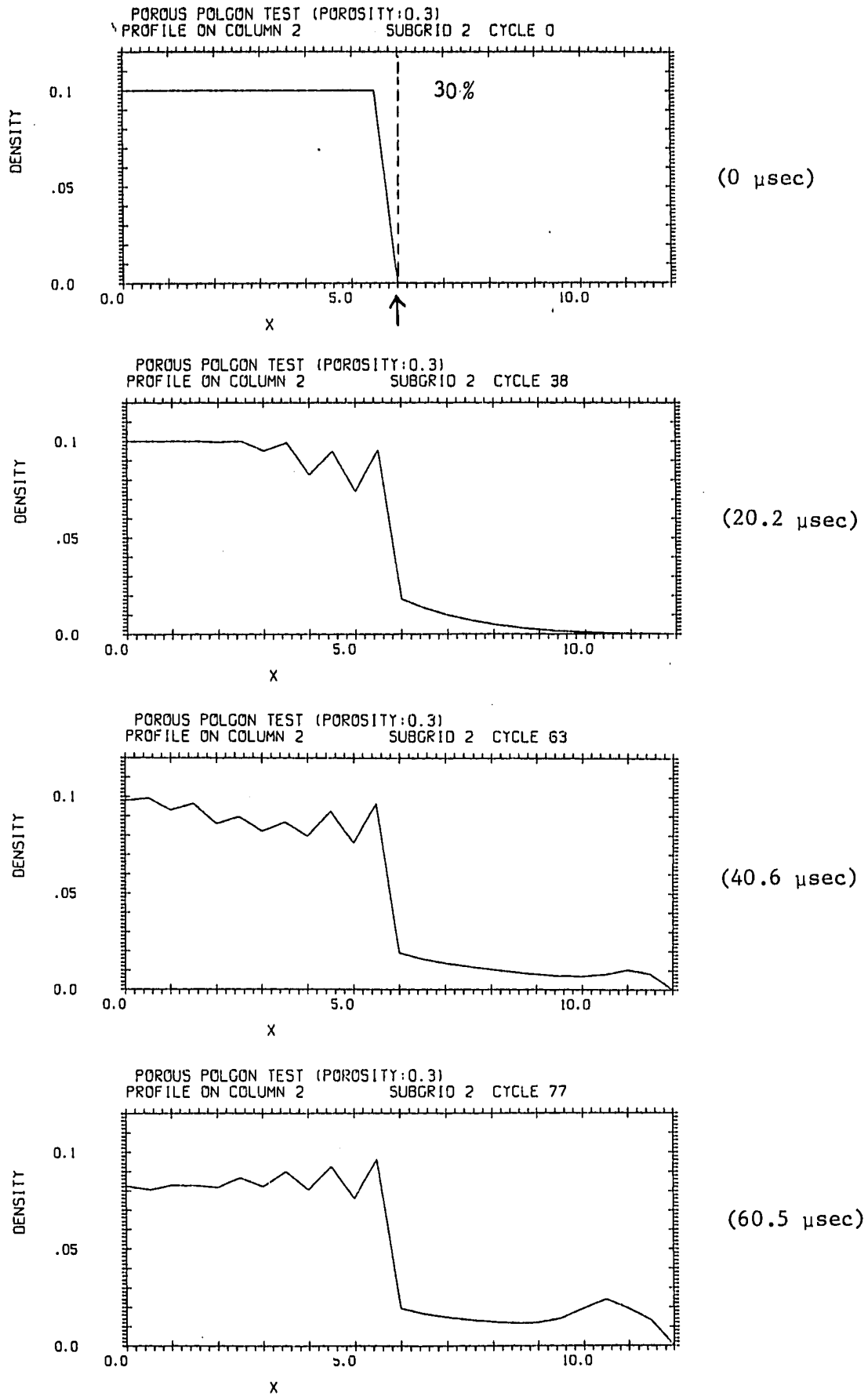


Fig. 4.17.2(b) Porous Polygon Test (Porosity = 30 %)

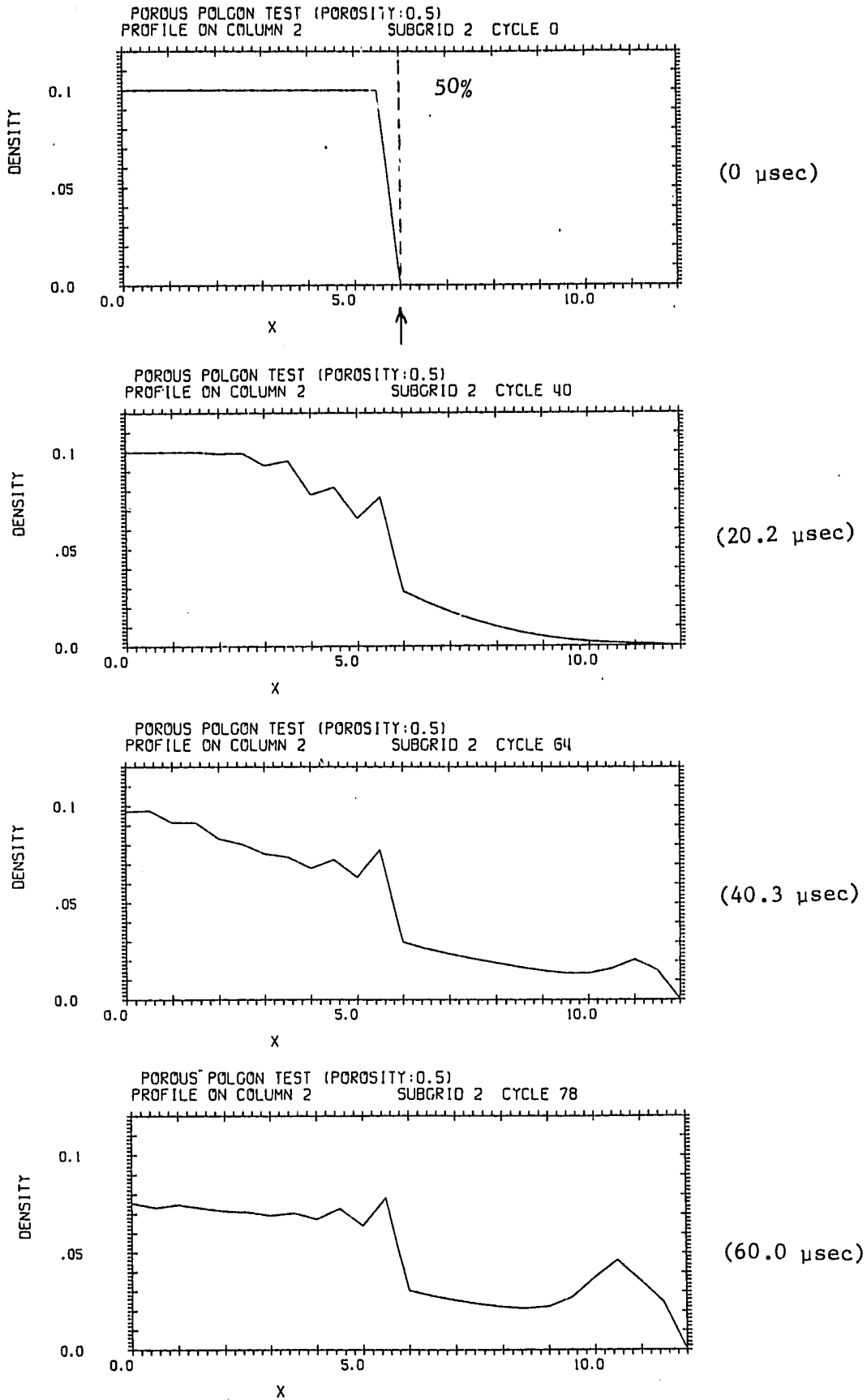


Fig. 4.17.2(c) Porous Polygon Test (Porosity = 50 %)

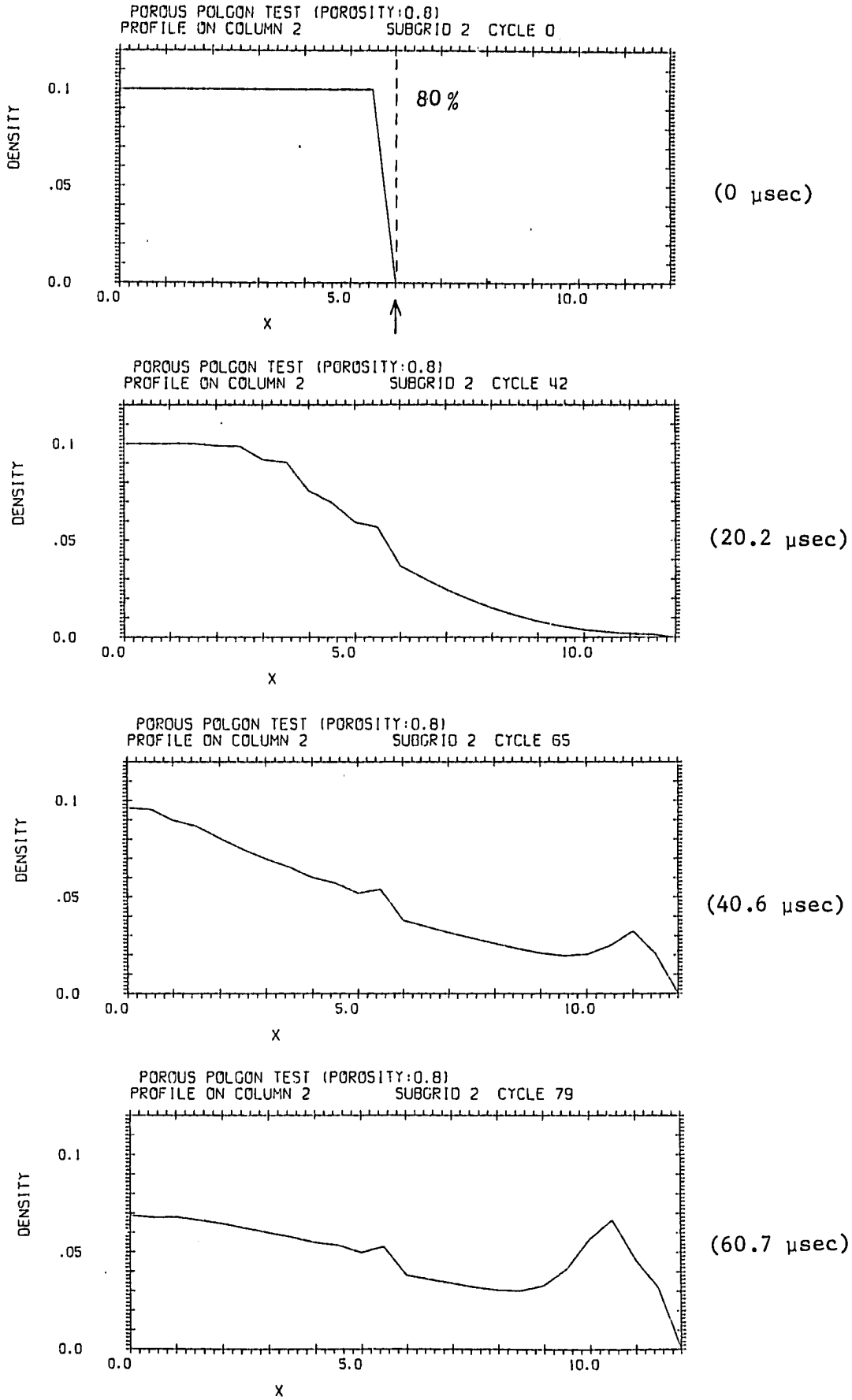


Fig. 4.17.2(d) Porous Polygon Test (Porosity = 80 %)

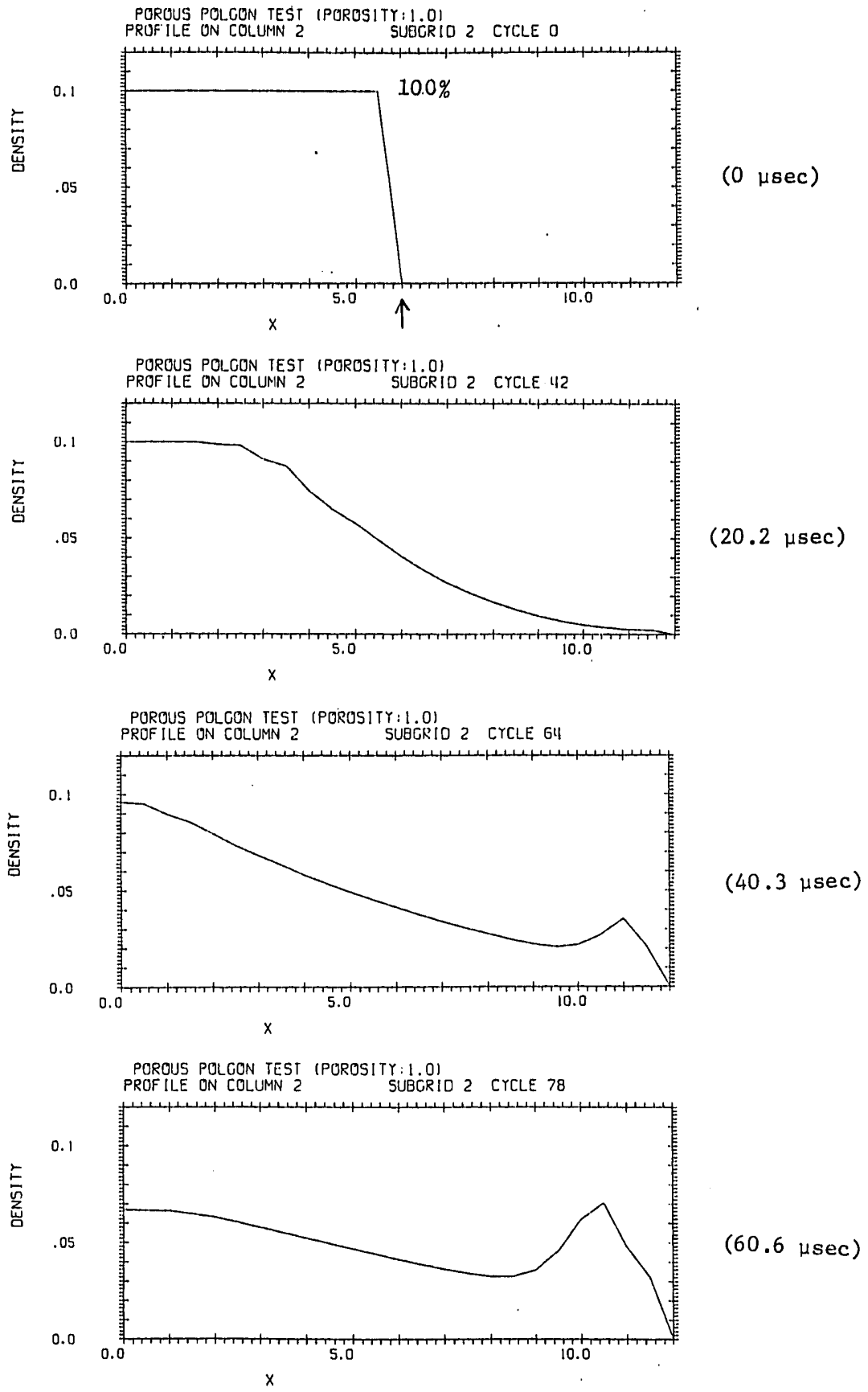


Fig. 4.17.2(e) Porous Polygon Test (Porosity = 100 %)

4.18 リゾーンテスト

この節では、PISCES の三つの実行形態、スタートラン、リスタートラン、リゾーンランのうちのリゾーンランについてテスト結果を述べる。

リゾーンランは、メッシュの数、メッシュのサイズ、メッシュ点の位置などの再構成の必要が生じた場合の再実行の形態である。例えば、メッシュどうしが重なって計算がストップしたり、メッシュが小さくなりすぎて計算時間がかかりすぎる場合、また、逆にメッシュサイズが大きくなりすぎて解析誤差が大きくなる可能性が生じる場合などに用いられる。リゾーンラン特有の機能としては以下の五つの機能がある。

- REPLASE : 固定された二点間にあるメッシュ点の位置や数を変更する。
- INSERT : 現在の行や列の間に新しい行や列を挿入する。
- ERASE : 現在の行や列の間の、行や列を取り除く。
- ADD : 現在の行や列の外側に新しい行や列を付加する。
- DROP : 現在の行や列の一番外側の行や列を取り除く。

以上五つの機能すべてにテストを実行した結果、Lagrange プロセッサについては、すべての機能は使用可能で結果も納得できるものとなった。

ただし、Shell プロセッサでは、すべての機能について、現在のレベル（PISCES-2 DELK version 3, level 12）では使用不可能であることが確認された。

4.19 リスタートラン

この節では、PISCES の三つの実行形態スタートラン、リスタートラン、リゾーンランのうちの、リスタートランについてテスト結果を述べる。

リスタートランは、計算時間が長くかかりすぎる等の理由で、1回の実行では、求めたいサイクルまで現象が達しない場合PISCESの実行を数回にわけて行なうために用いられる。

テストの結果、スタートランで0～200サイクルまで実行した結果と、スタートランで0～150サイクル、その後リスタートランで150～200サイクルまで実行した結果の最終サイクルでの値は完全に一致した。

しかし、リスタートサイクル(150サイクル)でのプリントされた値に下図のような差がみられた。

ただしこの差はリスタートサイクルのみで、他の出力リストの値は完全に一致したので問題はない。

スタートラン結果

NCYCLE	TIME	TOTAL-E	TOTAL-KE	DLTH	**** ZONE CONTROLLING TIME STEP FOR NEXT CYCLE ****					
150	1.03820+02	3.01070-01	1.42650-01	7.20810-01	I = 2	J = 17	H = 1	C = 5.4420-01	D = 5.8850-01	
151	1.04540+02	3.03230-01	1.43770-01	7.20740-01	I = 2	J = 16	H = 1	C = 5.4390-01	D = 5.8860-01	
152	1.05260+02	3.05380-01	1.44900-01	7.21180-01	I = 2	J = 16	H = 1	C = 5.4380-01	D = 5.8870-01	

リスタートラン結果

NCYCLE	TIME	TOTAL-E	TOTAL-KE	DLTH	**** ZONE CONTROLLING TIME STEP FOR NEXT CYCLE ****					
150	1.03820+02	3.01600-01	1.42650-01	7.20740-01						
151	1.04540+02	3.03230-01	1.43770-01	7.20740-01	I = 2	J = 16	H = 1	C = 5.4390-01	D = 5.8860-01	
152	1.05260+02	3.05380-01	1.44900-01	7.21180-01	I = 2	J = 16	H = 1	C = 5.4380-01	D = 5.8870-01	

第 5 章 原子炉耐衝撃解析のモデル化に 関わる基本オプションの詳細検討

第5章 原型炉耐衝撃解析のモデル化に関わる基本 オプションの詳細検討

5.1 まえがき

前章では、一般的に耐衝撃体系をモデル化する際に選択が必要な多くのオプションについて、主としてSRI実験体系(CRBRの1/30スケールモデル実験)を用いた包括的な検討を行なった。本章では、原型炉を対象として、その解析モデルを作成する際に、特に重要であると考えられる項目について、詳細な検討を行なう。

ここで、検討した結果を直接、実機の詳細解析に役立たせるために、本章では主として、原型炉の炉心支持板から上を簡易的にモデル化した体系を使用した。これによりスケール効果・原型炉固有の構造上の特徴をある程度含んだ形での検討を行なう事ができる。但し、ここで使用する体系はあくまでもパラメータ解析用簡易体系であり、原型炉の詳細部まで厳密に模擬したものであるのではない。従ってその解析結果を直接実機評価へ外挿する場合充分注意する必要がある。ここでは、むしろ計算結果の絶対値よりも実機規模でのモデル化の差異による相対変化が重要である。5.2節に、この簡易体系の基準ケース(SBASE # 1)について、そのモデルの説明及びPISCESによる解析結果の概略を示す。

本章で検討した項目を以下に示す。

- Euler プロセッサのメッシュサイズの変化による効果(5.3節)
- Shell プロセッサの " (5.4節)
- エネルギー源として、原子炉炉心部の状態方程式の設定法(5.5節)
- energy transport オプション(totalオプションあるいはinternalオプション)による特性の差異(5.6節)
- 内筒と炉容器とを合わせて1枚のShellとする「等価厚法」の検討(5.7節)
- HermannのP- α compactionモデルによるクラッシュャブルな構造物(回転プラグ熱遮蔽層・径ブランケット部等)のモデル化の可能性(5.8節)
- ポーラスポリゴンによる有孔性構造物(炉心上下部構造物等)のモデル化の可能性(5.9節)
- 衝撃波によるキャビテーションの問題(5.10節)

5.2 原型炉簡易体系基準ケース

5.2.1 モデル作成の基本方針

本節では、原型炉を対象とした耐衝撃解析のための種々のモデル化に関わる検討を行なうために、作成した簡易解析基準ケース(SBASE #1)について、その概要を述べる。

この簡易基準モデルを作成するにあたって採用した基本方針を以下に示す。

- (1) 実機の炉容器の耐衝撃性、特にプラグ下面へのナトリウムスラグ撃突により大きな変形を受ける炉容器首下部を検討対象の主眼とする。そのために、比較的影響の小さい炉心支持板より下の部分はこの簡易モデルには含めない。
- (2) 解析体系は、できるだけ実機寸法とし、解析に伴うスケール効果を排除するようにする。
- (3) 本章の目的は、実機規模における耐衝撃解析のための種々のモデル化の相違による結果への影響を明確に把握する事である。従って比較的重要でない炉内の個々のコンポーネントについては、その微細構造を無視する。
- (4) このモデルは、多数のパラメータ解析の基準とするため計算機の演算時間として30～40分(FACOM M 200)を目標とする。

5.2.2 モデルの概要

原型炉の構造・寸法の概要を図5.2.1に示す。これを基に作成した簡易体系基準モデル(SBASE #1)を図5.2.2に示す。

(1) 構造・寸法

SBASE #1モデルでは、炉容器上部での応答解析を目的としているため、モデル化は炉心支持板より上部の構造のみを対象としている。解析範囲にある構造物は、炉容器、炉上部機構(Upper Internal Structure: UIS)、炉心支持板、回転プラグ、炉心部周辺構造物などであるが、このうち、流体との相互作用により変形を受けるのは炉容器とUISのみとし、その他は剛体(Rigid)として取り扱うか、または無視している。

以下に、各構成要素の取扱いを簡単に記す。

- 炉容器については、板厚が5.0 cm一定のShell構造物として取扱い、内筒・プロテクションライナー・熱遮蔽層保護胴・炉心上部支持構造等の効果は無視する。
- UISは、横胴の板厚が6.0 cm、底板が7.0 cmの閉じた円筒とし、Shell構造物とする。
- 整流格子・軸方向ブランケット領域(ガスプレナム部を含む)は無視して、ナトリウムで置換える。また、エネルギー源となる炉心部は健全炉心領域(半径89.4 cm、高さ93.0 cm)をその初期体積とする。
- 径ブランケット部及びバレル部は内径89.4 cm、外径197.25 cmの剛体円筒とする。
- 下部支持板は剛体とする。
- 回転プラグは剛体とし、その底部がナトリウム液面から82.0 cm上部にあるものとする。

液面とプラグ底面の間はボイド（真空）領域とする。

(2) 材料

SBASE # 1 モデルで使用した材料モデルは以下の3つである。

- 炉心部 - 耐衝撃解析のエネルギー源であり、圧力-体積 ($P-V$) 関係を状態方程式 (GAS-BAG モデル, 5.5 節参照) として入力する。ここで使用した $P-V$ 曲線 (公称 500 MJ) を図 5.2.3 に示す。また、初期密度は、健全炉心を均質化した値とする。表 5.2.1 に初期物性値を示す。
- ナトリウム - 炉心部のエネルギーを構造材に伝える作動流体で圧縮性非粘性流体として扱われる。状態方程式は $P=P(\rho)$ (P : 圧力, ρ : 密度) の形で入力した。Na 温度は、全体系にわたって 530 °C (～ホットレグ運転温度) とする。表 5.2.2 に物性値を示す。
- S S 304 - 炉容器及び UIS に用いられる。寸法が常温時の値であるため、全体の質量を保存する観点から、初期密度も常温時の値とした。降伏モデルは、移動歪硬化を考慮した弾塑性体として扱った (piecewise モデル, 4.11 節参照)。また、ここでは温度の差による強度差を考慮している。炉容器については、内筒取付部より上を 530 °C, 下を 425 °C とした。UIS は横胴・底板とも 530 °C とした。表 5.2.3 に各温度での S S 304 物性値を示す。

(3) 境界条件

回転プラグ下面及び炉心支持板上面は、完全に剛 (wall boundary) である。炉容器・UIS とナトリウム間の相互作用は、ポリゴン境界を介して行なわれる。炉容器は上下端で、UIS は回転プラグ下面で、各々クランプ固定条件 (3.6 節参照) とした。

5.2.3 解析結果の要約

原型炉実機の簡易モデル標準ケース (SBASE # 1) の解析主要結果を表 5.2.4 に示す。計算時間は 100 msec までであり、この時点では、構造材の変形は完全に終了し、ナトリウムの運動エネルギーもほぼ零になっている。

全体的挙動

図 5.2.4 に流体及び構造材の全体的挙動を 10 msec 毎に示す。

- ① 炉心部に設定した高圧ガス (エネルギー源) は計算開始と共に膨張を開始し、ナトリウムを上方に押し上げる。

20 msec 時には、炉心部ガスは径ブランケット頂部高さを越え、30 msec 時には、UIS と径ブランケット頂部の間を通過して膨張する。この時点から、炉容器腹部が大きく歪み始める。

- ② ナトリウムは炉容器腹部を变形させながら上昇を続け、約 50 msec 時に回転プラグ下面（剛体）に激しく衝突する（slug impact）。
- この衝突により、プラグ下面近傍に大きな衝撃圧力が発生し、またナトリウムの運動方向が径方向（内向きと外向き）に転換されて、プラグ下面近傍の炉容器（首下部）と UIS を大きく歪ませる。
- ③ 80～100 msec で、構造材の变形は完全に終了し、また、ナトリウムもほとんど運動を停止して、体系は、平衡状態に落ち着く。

エネルギー履歴

図 5.2.5 に、各材料毎のエネルギー履歴を運動エネルギー(K)、内部エネルギー(I)及び全エネルギー(T)の形で示す。図中の番号は各材料と以下のように対応している。

- Material 11 ……全材料（体系全ての energy）
- Material 1 ……炉心部ガス
- Material 2 ……ナトリウム
- Material 3 ……530℃のSS304（炉容器の内筒取付部より上の部分）
- Material 4 ……530℃のSS304（UIS）
- Material 5 ……425℃のSS304（炉容器の内筒取付部より下の部分）

① 全エネルギーバランス（図 5.2.5 (a)）

体系の全エネルギーは、0～100 msec の計算時間を通して、非常に良く保存されている。全運動エネルギーはスラグインパクトの起こる 50 msec をピーク（約 141 MJ）として、計算終了時にはほぼ 0 になる。

② 炉心部ガス（図 5.2.5 (b)）

最初 500 MJ の内部エネルギーを持っていて、膨張して外部に仕事をした結果、計算終了時には約 160 MJ となる（放出エネルギー＝約 340 MJ）。

③ ナトリウム（図 5.2.5 (c)）

炉心部ガスにより加速され、運動エネルギーはスラグインパクト時（約 50 msec）のピーク約 135 MJ まで上昇し続ける。この間に、炉心部ガスが炉心部から外に出た 20 msec 時以後、運動エネルギーが急激に増加している特徴がある。スラグインパクト直後に運動エネルギーは大きく減少する。また、ナトリウムの内部エネルギーが計算開始時から、かなり大きく増加し続ける。スラグインパクト直前で、約 65 MJ に達し、スラグインパクト直後に不連続に約 85 MJ まで増加する。その後は漸増を続け、計算終了時には約 98 MJ に達する。

④ 炉容器（図 5.2.5 (d), (f)）

計算開始からスラグインパクトまでの間に、主に腹部の变形により歪エネルギーは約 90 MJ に達している。スラグインパクト後には、主に首下部の变形により合計 225 MJ まで増加するが、

この増加は、約 80 msec で飽和している。

⑤ UIS (図 5.2.5 (e))

スラグインパクト時に急激な歪エネルギーの立上りを示すが、計算終了時の全歪エネルギーは約 12 MJ であり、その寄与は小さい。

⑥ 各コンポーネントのエネルギー比較を図 5.2.5 (g) に示す。

炉心部ガスとナトリウムの体積履歴

図 5.2.6 に炉心部ガスとナトリウムについて、その体積変化の様子を示す。

① 炉心部ガス (図 5.2.6 (a))

炉心部ガスの初期体積は約 2.3 m^3 であり、計算開始と共に増大する。その膨張速度は、炉心部から外に出た約 20 msec 以後特に大きくなり、スラグインパクト以後次第に減少していった約 80 msec で平衡に達する。最終体積は約 100 m^3 である。

② ナトリウム (図 5.2.6 (b))

上方に上昇している間は、その圧縮率は平均 $-0.05\% \Delta V/V$ (約 20 bar) でほぼ一定であるが、スラグインパクトの瞬間、パルス的に $-0.25\% \Delta V/V$ に達する。この時の全ナトリウム平均圧力を状態方程式から算出すると、約 110 bar となる。

圧力履歴

図 5.2.7 に、ナトリウム各部での圧力の時間履歴を示す。

① PISCES-2 DELK は、explicit コードであるため、ナトリウム領域での圧力は、非常に鋭いパルス波となっている。

② 炉心部は、P-V 関係でのみ圧力が記述される GASBAG モデルを使用しているため、その変化は滑らかである。計算開始の 472 bar から、約 10 msec 後には 200 bar まで圧力は減衰し、50 msec のスラグインパクト時には約 20 bar まで圧力は低下しているが、それまでにはナトリウム加速の大部分を終えている。

炉心部のインパルス ($\int P dt$) の時間履歴を図 5.2.8 に示す。最初の数 10 msec で急激に立上がり、その後は漸増する。計算終了時には、 $6.4 \text{ bar} \cdot \text{sec}$ に達する。

③ スラグインパクト時に、プラグ下面でかなり大きい圧力が発生し、炉容器首下部を歪ませる駆動力となっている事がわかる。

ナトリウム上昇温度

初期液面位置でのナトリウムの上昇速度の履歴を、UIS 近傍部と炉容器近傍部について、図 5.2.9 に示す。

- ① ナトリウムの上昇速度は、静止状態からスラグインパクト時まで、ほぼ単調に増加し続ける。スラグインパクト直前の上昇速度は約 40 m/sec に達するが、スラグインパクトにより、急激に減少し、激しい上下動を繰り返しながら静止に向かう。
- ② ナトリウムの上昇は、炉容器近傍部よりも UIS 近傍部の方がわずかに早い傾向が見られる。

炉容器の変形挙動

図 5.2.10 に、炉容器の周方向歪の時間履歴を各部分（下胴部・中胴部・円錐部・上胴部）について示す。

図 5.2.11 に、炉容器の周方向歪分布を 20 msec 毎に示す。ここで原点（ $x = 0$ cm）は下部支持板上端位置である。図 5.2.12 に、変形終了時の炉容器の軸方向歪分布を示す。

- ① 炉容器の下胴部（初期炉心高さ）においては、周方向歪は、スラグインパクト（50 msec）までにはほぼピーク値に達し、その後は変化しない。最終値は約 $3.4\% \Delta \ell / \ell$ である。
- ② 炉容器の中胴部（炉心部出口高さ）においては、周方向歪はスラグインパクト時にピーク値（約 $7.4\% \Delta \ell / \ell$ ）に達するが、その後、炉容器上部が変形するのに伴って大きく減少し、最終値は約 $5.8\% \Delta \ell / \ell$ となる。
- ③ 炉容器の円錐部は、スラグインパクト以前から次第に歪み始めているが、スラグインパクトにより発生した高圧の伝播によりその増加率が急激になり、約 80 msec でピーク値（約 $11.4\% \Delta \ell / \ell$ ）となる。最終値は少し減少して約 $10.9\% \Delta \ell / \ell$ である。この基準ケースでは、この部分が歪の最大値となる。
- ④ 炉容器の上胴部（回転プラグ下面付近）では、スラグインパクト以前には殆んど変形はなく、インパクト時に急激に変形し、約 60 msec にはほぼ全ての変形が終わっている。最終歪は、約 $6.7\% \Delta \ell / \ell$ である。
- ⑤ 周方向歪の分布を見ると、スラグインパクト以前には、炉容器の腹部のみが変形し、インパクト以後に、回転プラグ付近から下方に向かって歪が次第に発達していく様子がわかる。
- ⑥ 軸方向歪の分布を見ると、炉容器胴部の下部と上部の 2ヶ所に圧縮歪のある複雑なパターンとなっている事がわかる。しかし、その絶対値は $-0.7 \sim +1.8\% \Delta \ell / \ell$ の間であり、周方向歪と比べて約 1桁小さい。

UIS の変形挙動

図 5.2.13 に UIS の歪時間履歴を、横胴の初期ナトリウム液面付近と、底板部について示す。

図 5.2.14 に、UIS 横胴の周方向歪の分布を 20 msec 毎に示す。

- ① UIS の回転プラグ下面近傍部は、スラグインパクトにより、かなり大きな圧縮歪（ピーク値 $= -9.8\% \Delta \ell / \ell$ ）を受けるが、UIS 内部のナトリウムのインパクト等により、 $-4.4\% \Delta \ell / \ell$ まで回復する。

- ② UISの下面は、当然軸方向歪の方が周方向歪よりも大きい。しかし、この基準ケースでは、底板のShellメッシュ数が少なすぎるため、相当に剛な構造となっており、ここでは変形の定量的議論はあまり意味がない（5.4節参照）。

Table 5.2.1 Initial Conditions of Core Region

Volume (cm)	2.3351 × 10 ⁶			
Density (g/cm ³)	5.438			
	Fuel	Clad	Sodium	Void
Density (g/cm ³)	9.4	8.0	0.825	~0
Volume Fraction (%)	33.4	24.6	40	~0
Pressure (bar)	472			
Initial Energy Density (J/g)	39.38			

Table 5.2.2 Properties of Sodium

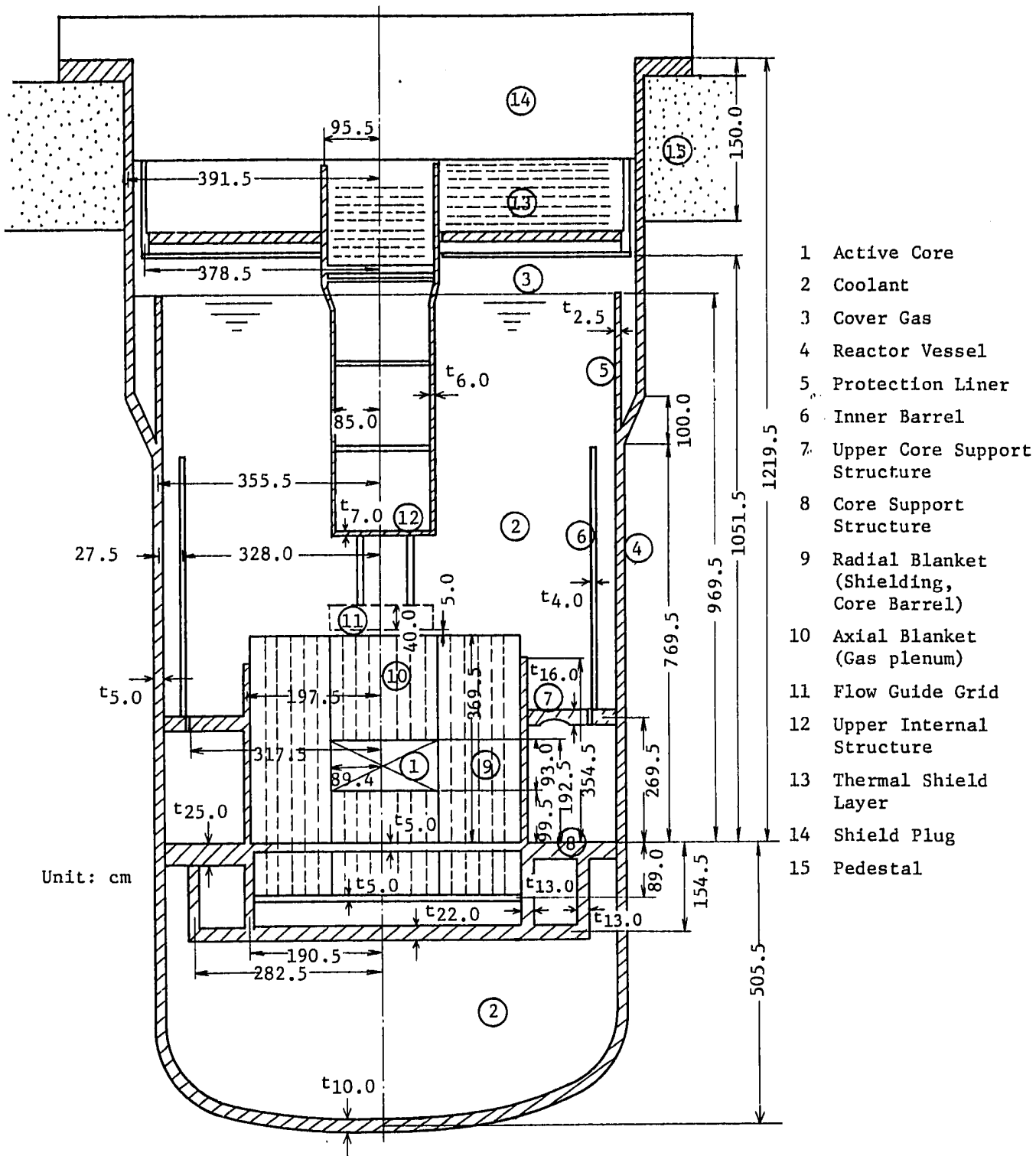
Temp. (C°)	530
Density (g/cm ³)	0.825
Eq. of State	$P(\text{Mbar}) = 0.04203 \mu + 0.4238 \mu^2 \quad (0 < \mu)$ <p>where</p> $\begin{cases} \mu = (\rho/\rho_0) - 1 \\ \rho : \text{Density} \\ \rho_0 : \text{Reference Density} \end{cases}$

Table 5.2.3 Properties of SS304

Structures Items	Reactor Vessel (Upper) Inner Barrel UIS		Core Barrel		Reactor Vessel (Middle)		Reactor Vessel (Lower) Core Support	
	Name in Input	SUS530S		SUS450S		SUS425S		SUS400S
Temperature (°C)	530		450		425		400	
Density (g/cm ³)	8.03		8.03		8.03		8.03	
Young's Modulus (Mbar)	1.559		1.638		1.663		1.688	
Poisson's Ratio	0.304		0.298		0.297		0.295	
True Strain ($\times 10^{-2}$) vs. True Stress ($\times 10^{-3}$ Mbar)	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress
	0.08601	1.341	0.08724	1.429	0.08761	1.457	0.08797	1.485
	5.012	2.481	5.015	2.540	4.985	2.550	5.000	2.569
	10.01	3.354	10.02	3.481	10.04	3.501	10.00	3.511
	15.03	4.070	14.97	4.256	14.99	4.276	15.01	4.295
	20.05	4.697	20.05	4.962	20.07	4.982	20.02	4.992

Table 5.2.4 Summary of Monju Simple Standard Model Analysis
by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		SBASE#1	
Monju Simple Standard Model			
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	141 (49.8)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	0.0
	Maximum Strain of Vessel (position)	% Δ l/l (cm)	10.9 (800)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% Δ l/l	4.7
	Reactor Core Release Energy	MJ	-340
	Kinetic Energy	MJ	1
	Sodium Kinetic Energy	MJ	3
	Internal Energy	MJ	98
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	225
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	12	



- 1 Active Core
- 2 Coolant
- 3 Cover Gas
- 4 Reactor Vessel
- 5 Protection Liner
- 6 Inner Barrel
- 7 Upper Core Support Structure
- 8 Core Support Structure
- 9 Radial Blanket (Shielding, Core Barrel)
- 10 Axial Blanket (Gas plenum)
- 11 Flow Guide Grid
- 12 Upper Internal Structure
- 13 Thermal Shield Layer
- 14 Shield Plug
- 15 Pedestal

Fig. 5.2.1 Brief Configuration of Prototype Fast Breeder Reactor "Monju"

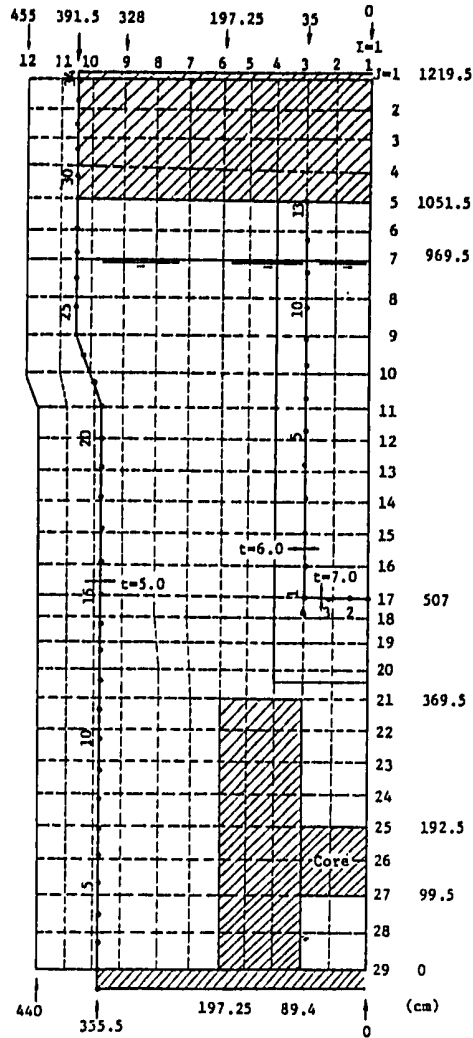


Fig. 5.2.2 Simplified Analytical Model of Monju (SBASE#1)

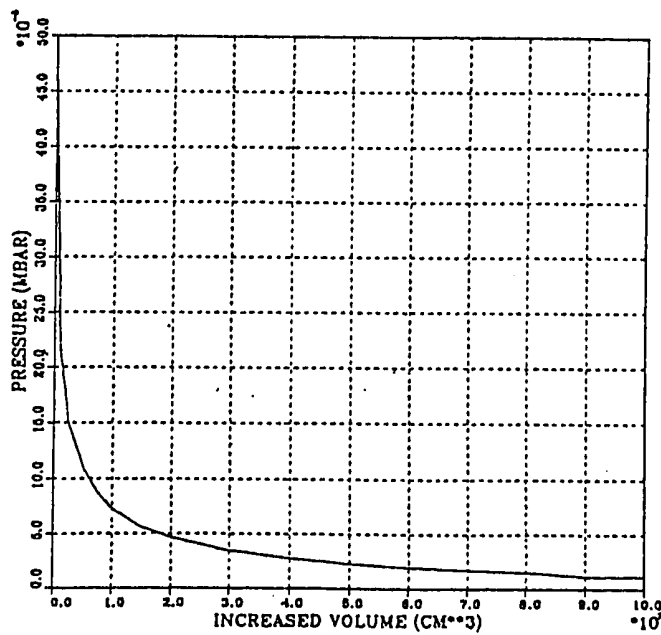


Fig. 5.2.3 Pressure-Volume Relationship of Core Bubble

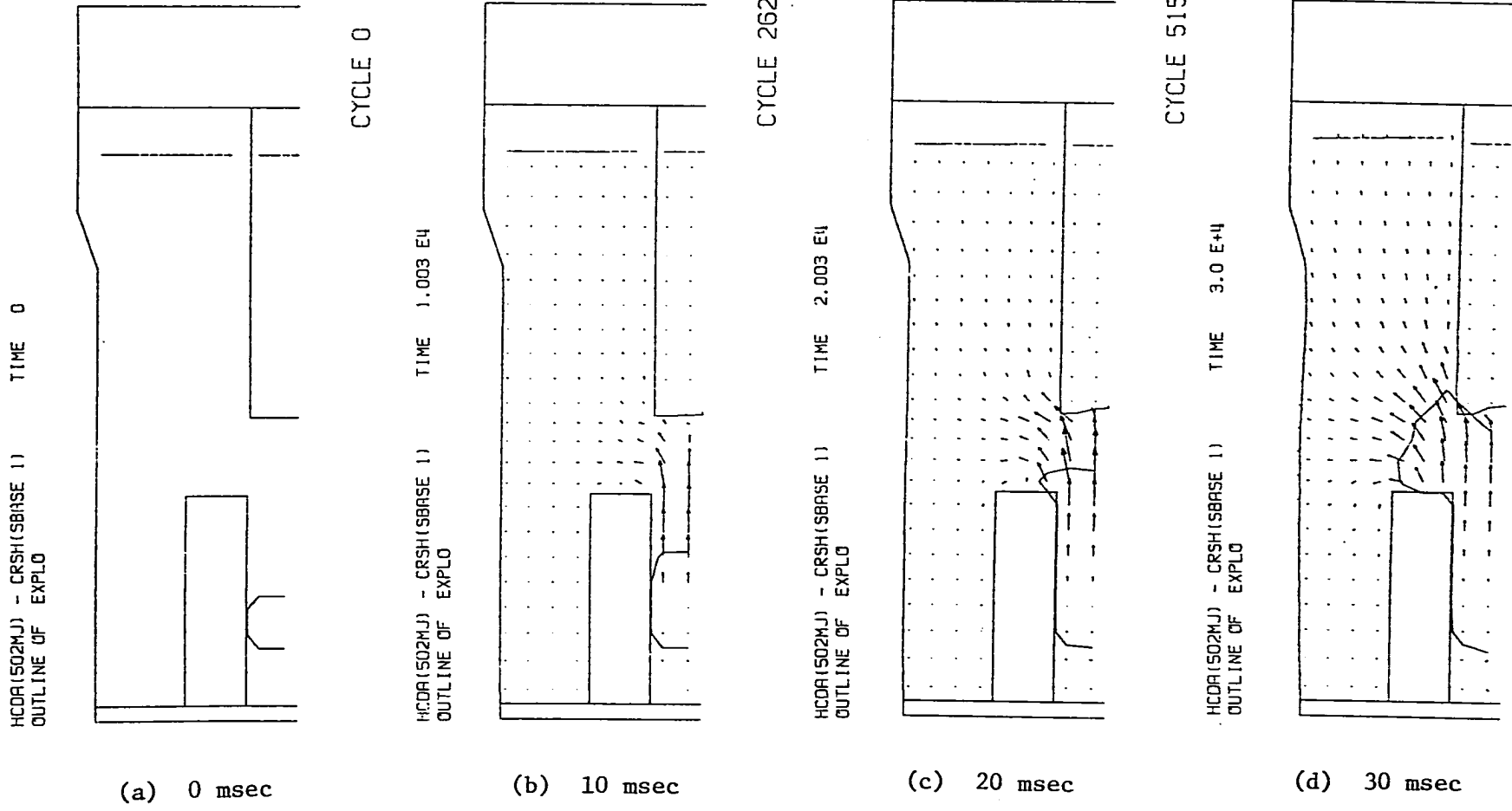


Fig. 5.2.4 Whole Configuration History - SBASE#1 Case -

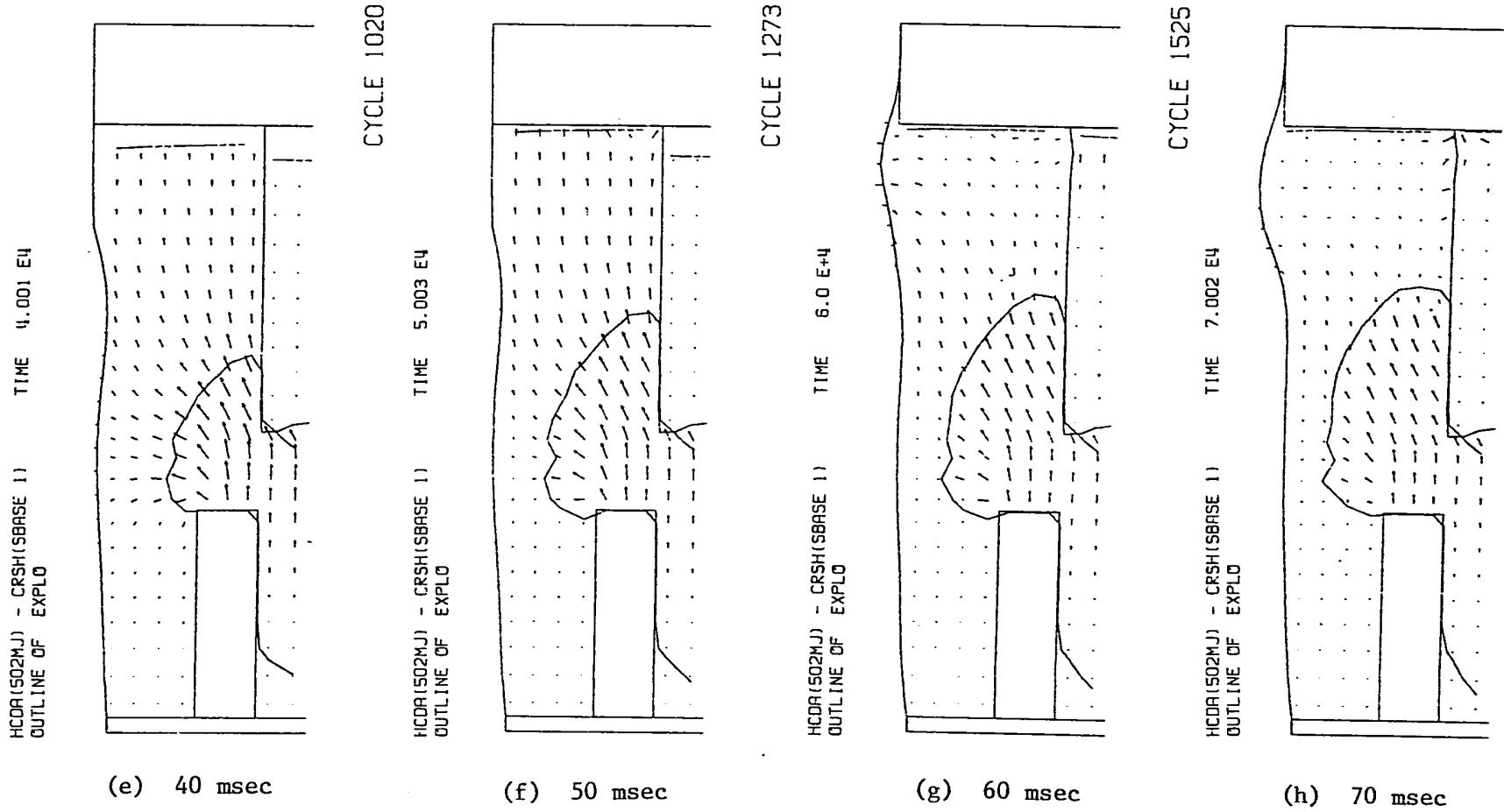
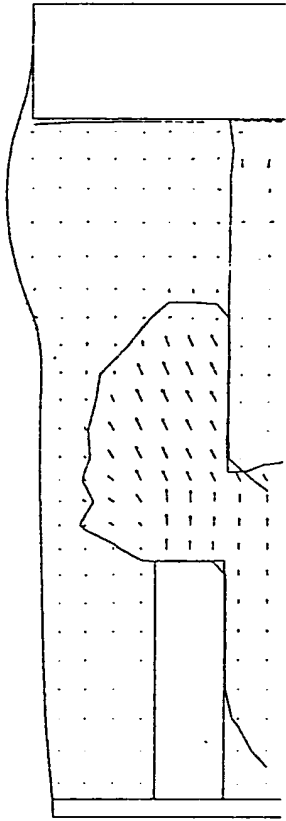


Fig. 5.2.4 (Cont'd)

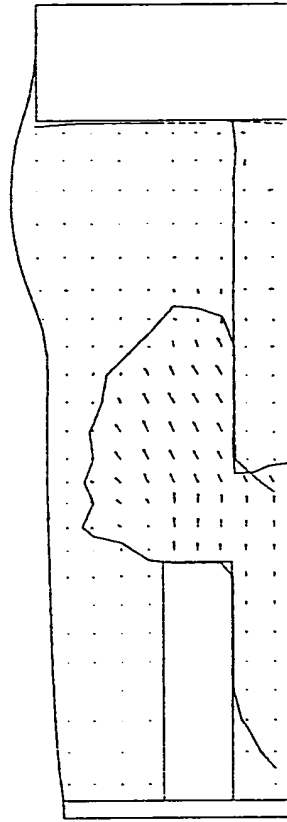
HCDR(502MJ) - CRSH(SBASE 1)
OUTLINE OF EXPLO TIME 8.0 E+4



(i) 80 msec

CYCLE 2030

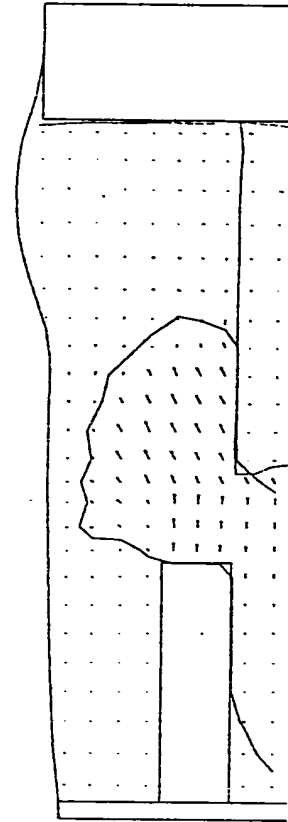
HCDR(502MJ) - CRSH(SBASE 1)
OUTLINE OF EXPLO TIME 9.002 E4



(j) 90 msec

CYCLE 2283

HCDR(502MJ) - CRSH(SBASE 1)
OUTLINE OF EXPLO TIME 1.0 E+5



(k) 100 msec

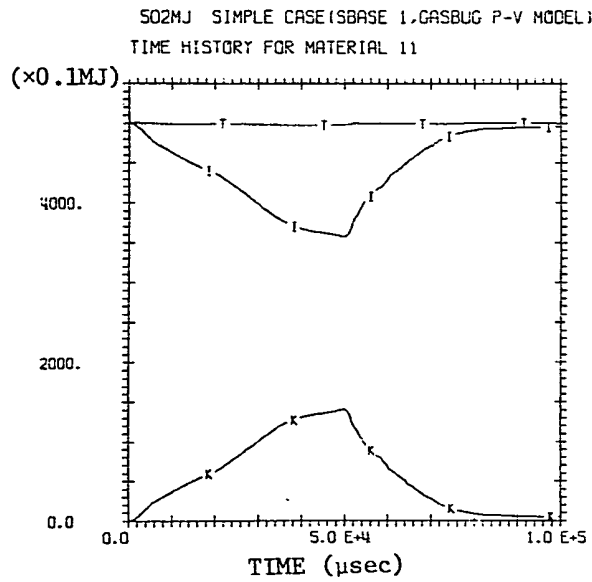
CYCLE 2536

Fig. 5.2.4 (Cont'd)

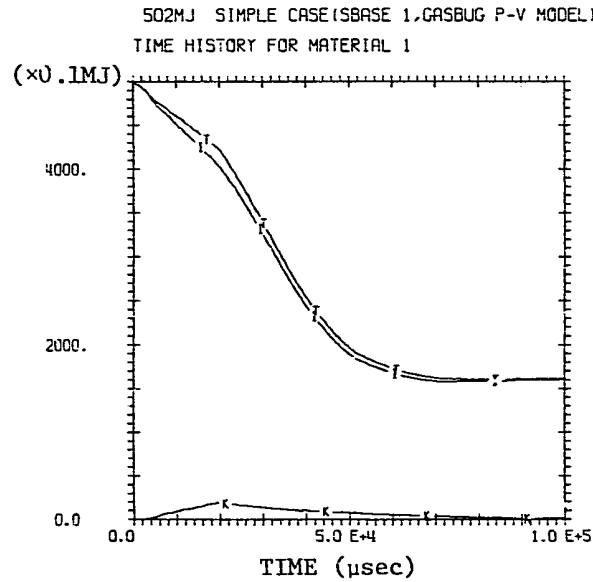
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 1
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 1
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 1

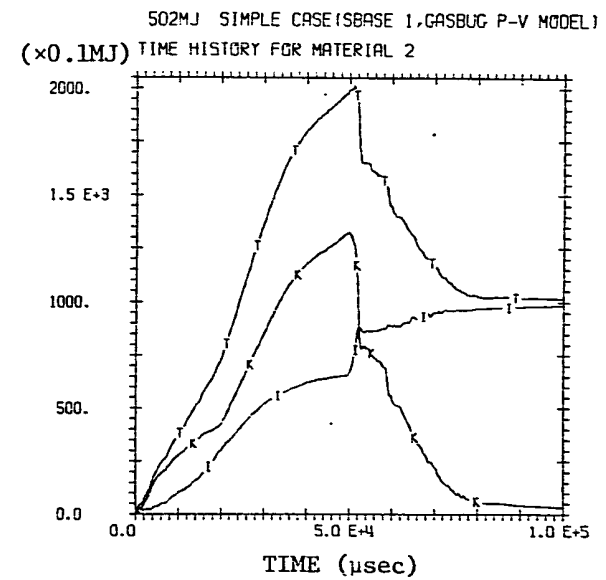
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 2
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2



(a) All Material



(b) Core Region



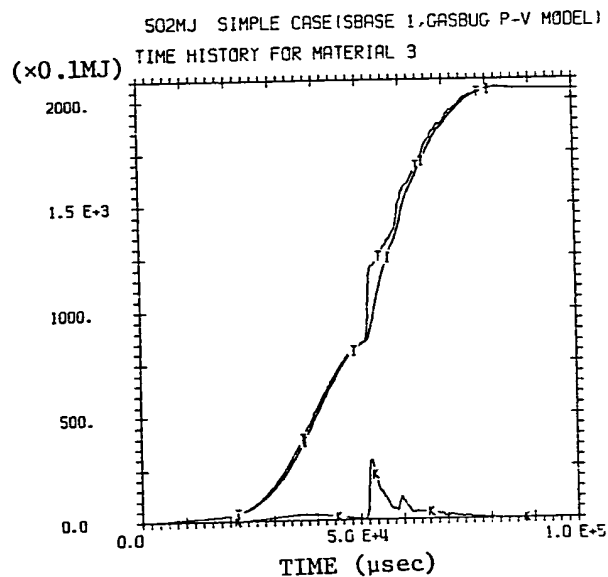
(c) Sodium

Fig. 5.2.5 Energy History - SBASE#1 Case -

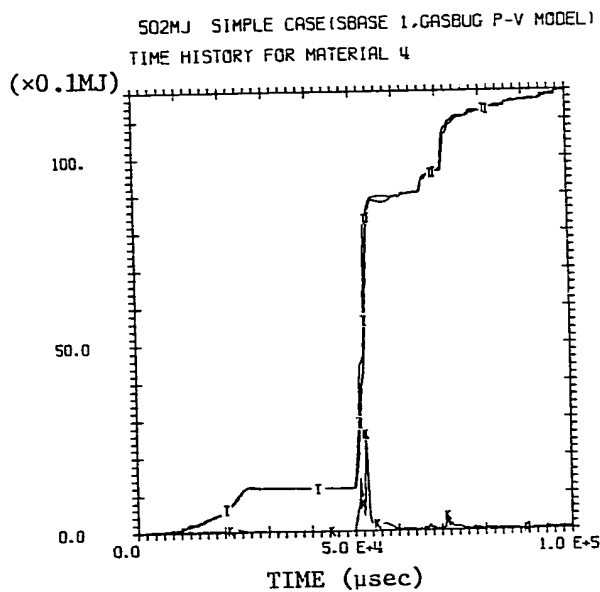
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 3
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 3
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 4
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 4
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4

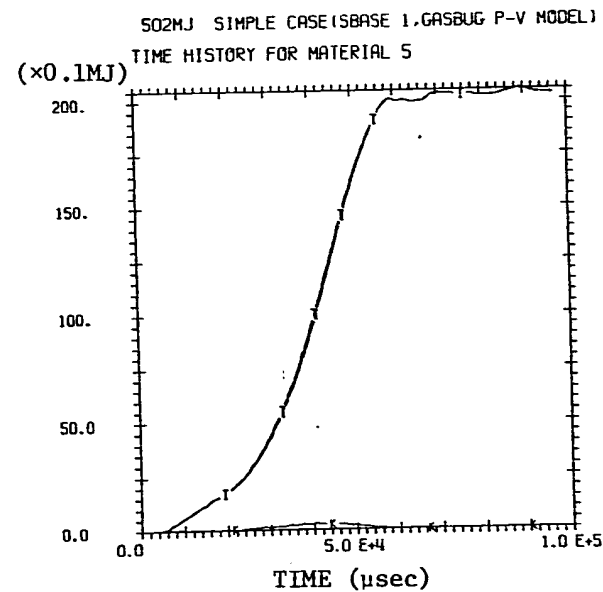
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 5
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 5
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5



(d) Upper Reactor Vessel



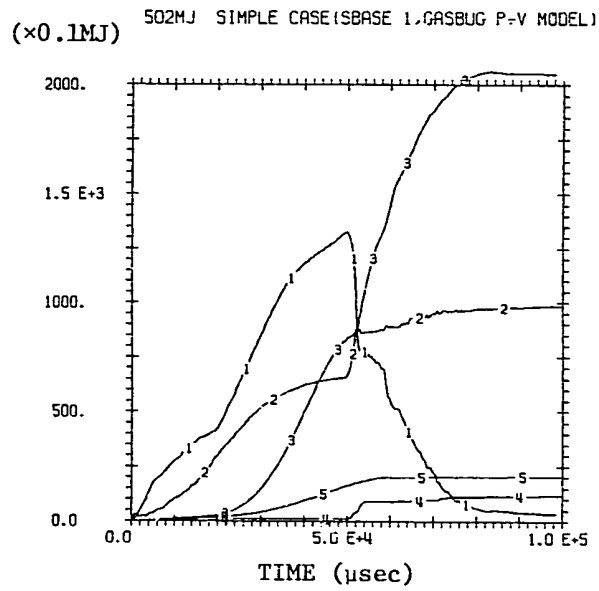
(e) UIS



(f) Lower Reactor Vessel

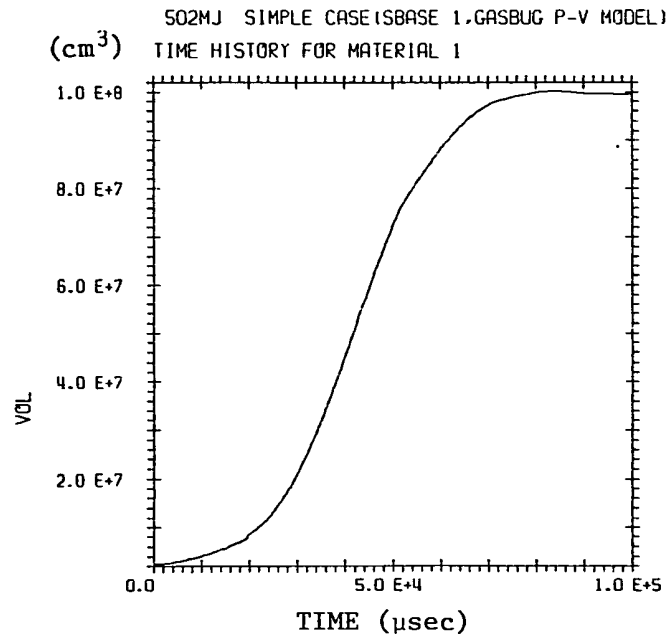
Fig. 5.2.5 (Cont'd)

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5

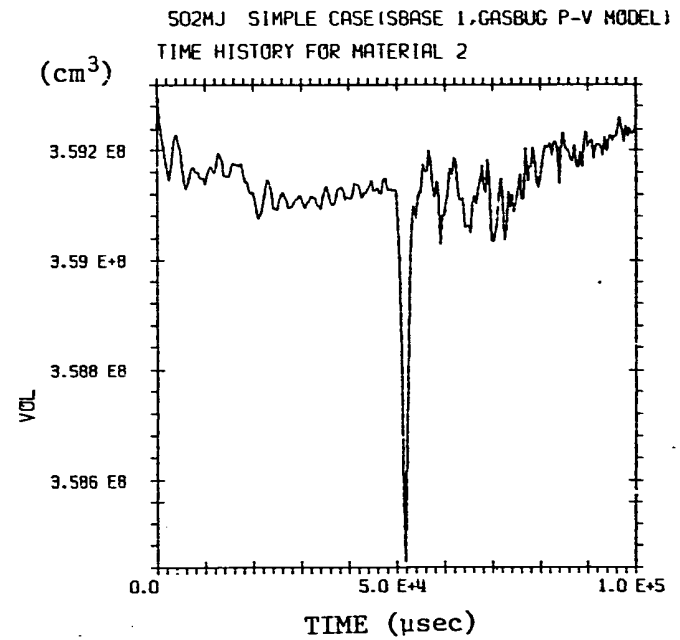


(g) Comparison of Each Material

Fig. 5.2.5 (Cont'd)



(a) Core Bubble



(h) Sodium

Fig. 5.2.6 Volume History - SBASE#1 Case -

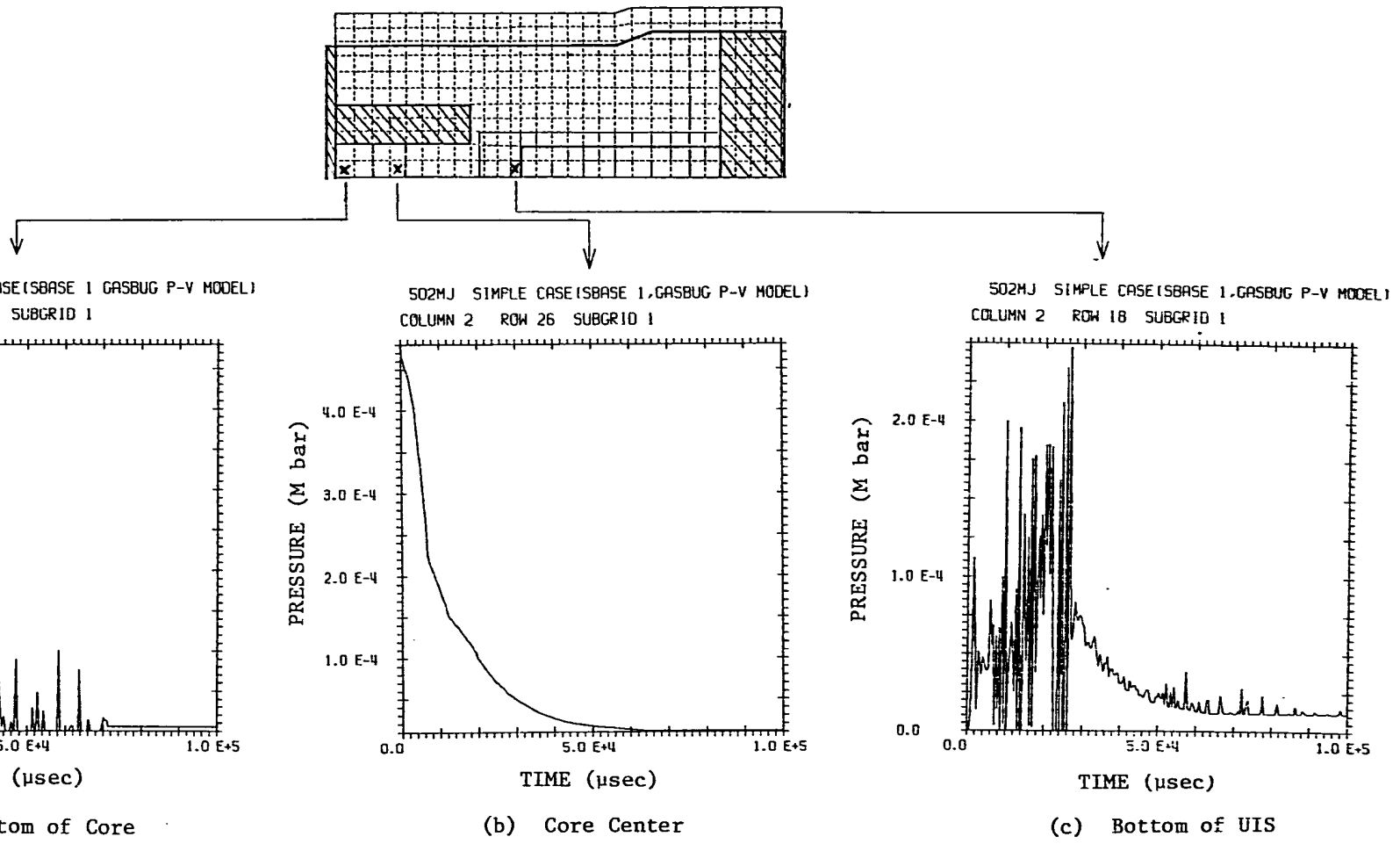
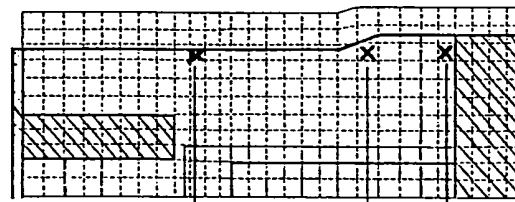
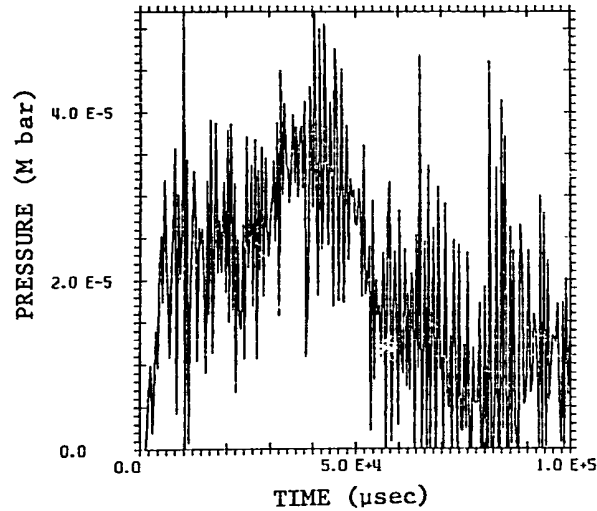


Fig. 5.2.7 Pressure History - SBASE#1 Case -

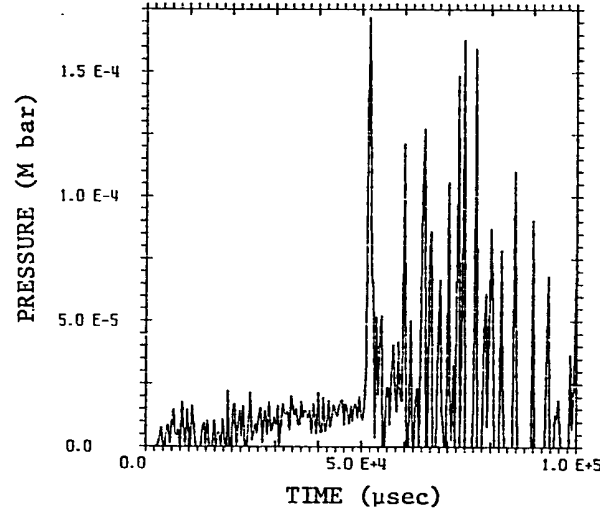


502MJ SIMPLE CASE(SBASE 1,GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 10 ROW 20 SUBGRID 1



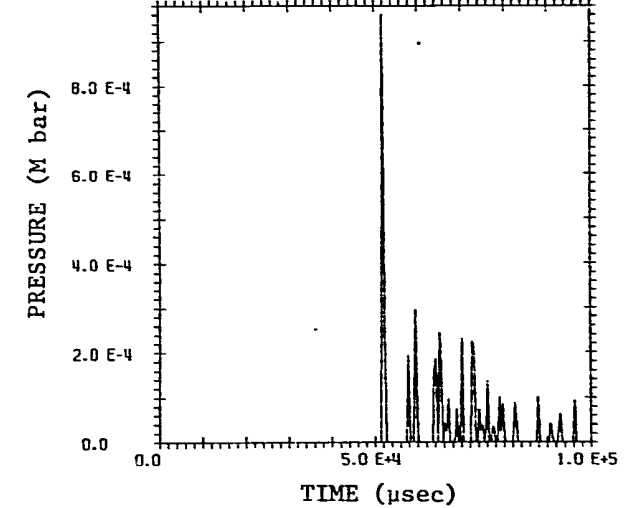
(d) Near Mid-vessel

502MJ SIMPLE CASE(SBASE 1,GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 10 ROW 10 SUBGRID 1



(e) Near Cone Part of Vessel

502MJ SIMPLE CASE(SBASE 1,GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 10 ROW 6 SUBGRID 1



(f) Near Plug Head

Fig. 5.2.7 (Cont'd)

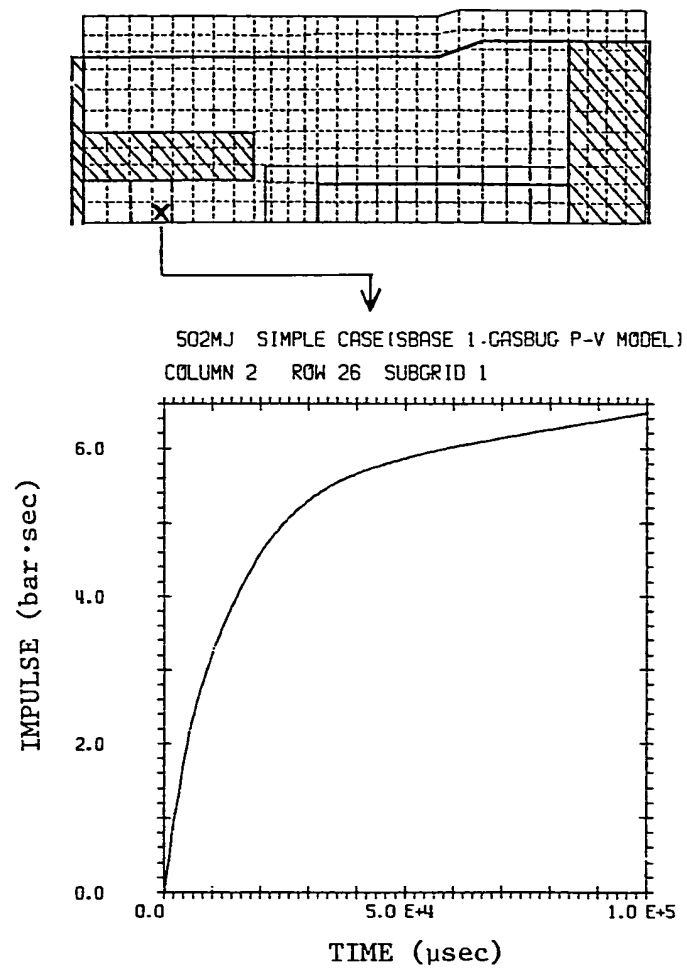
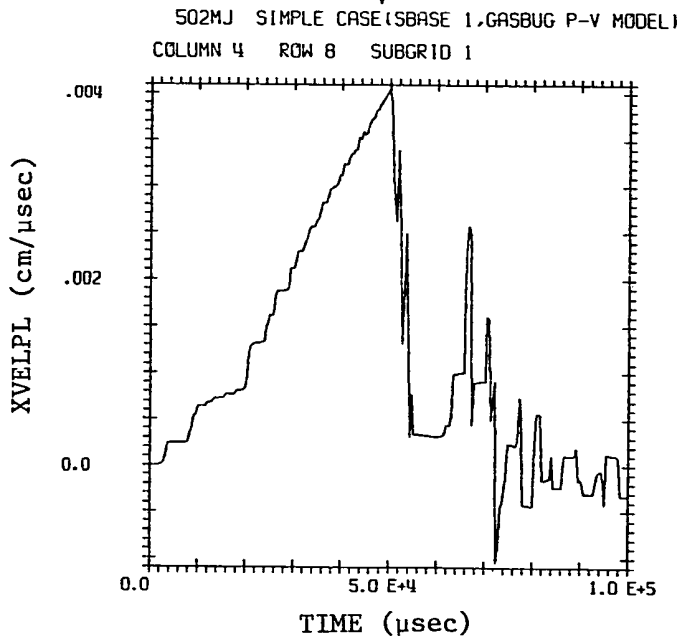
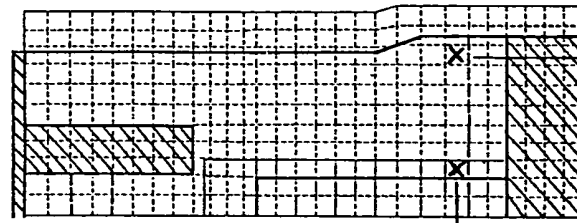
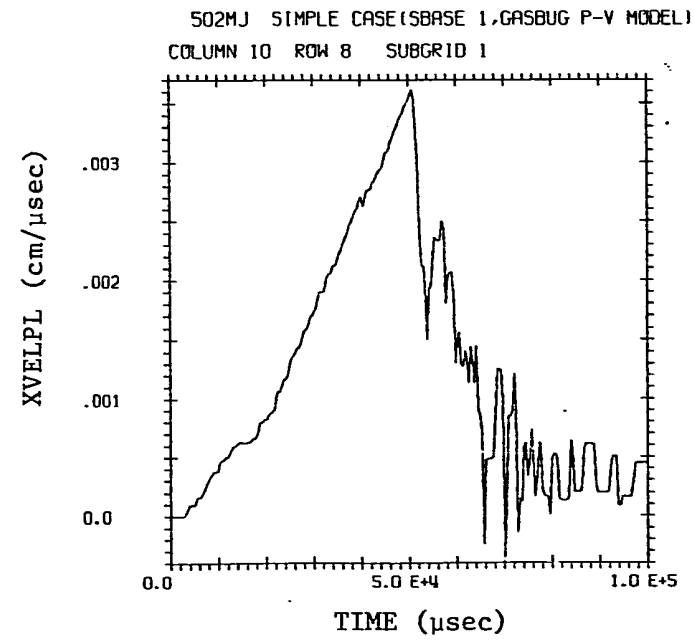


Fig. 5.2.8 Impulse History of Core Bubble
- SBASE#1 Case -

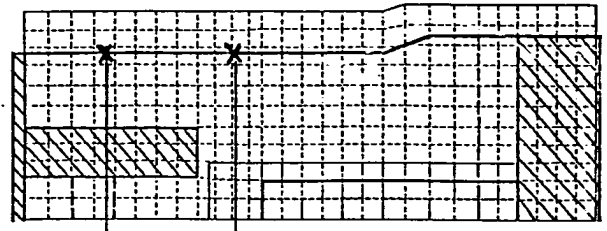


(a) Center of Initial Sodium Surface

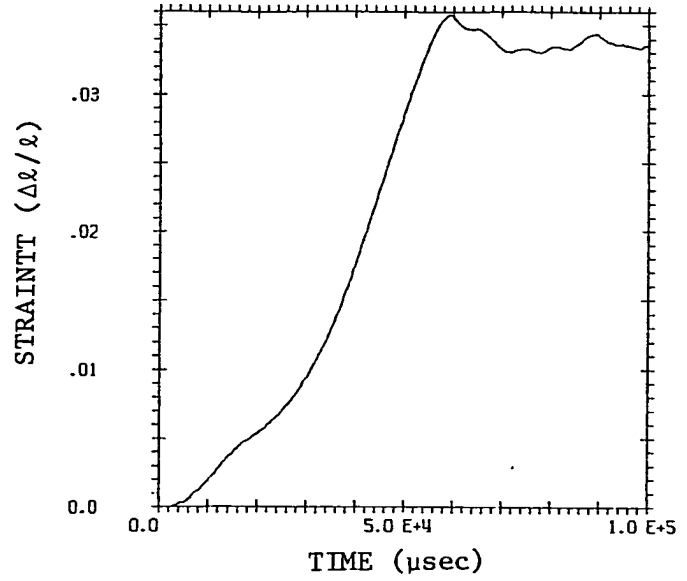


(b) Periphery of Initial Sodium Surface

Fig. 5.2.9 Sodium Velocity History - SBASE#1 Case -

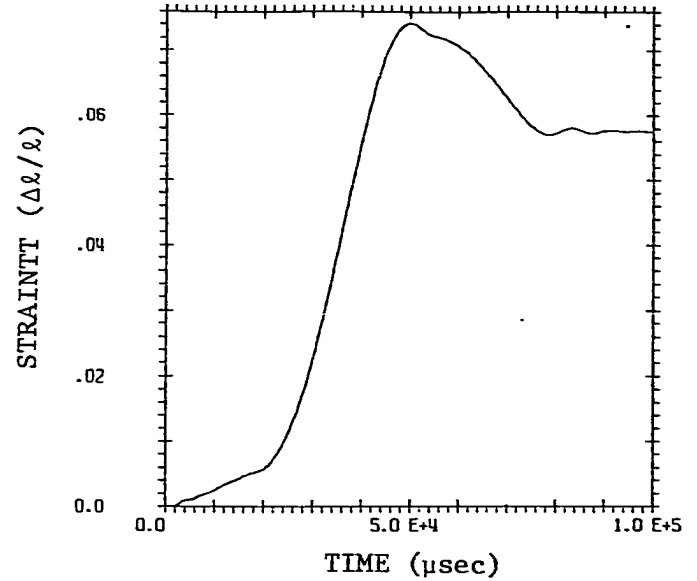


502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 1 ROW 6 SUBGRID 3



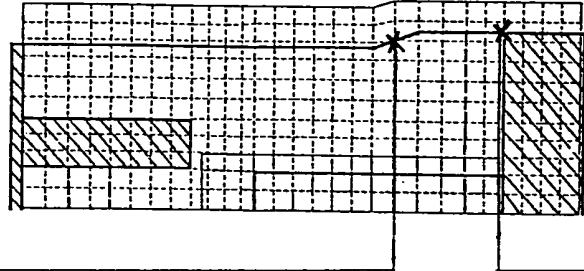
(a) Lower Part of Vessel

502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 1 ROW 13 SUBGRID 3

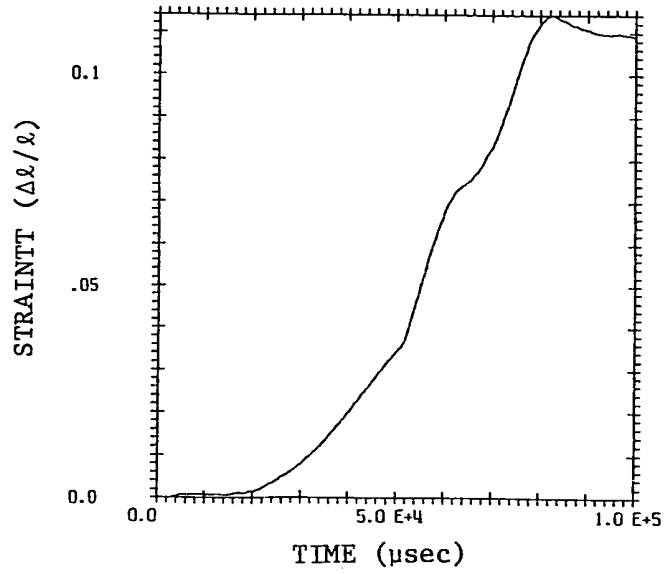


(b) Middle Part of Vessel

Fig. 5.2.10 Vessel Hoop Strain History - SBASE#1 Case -

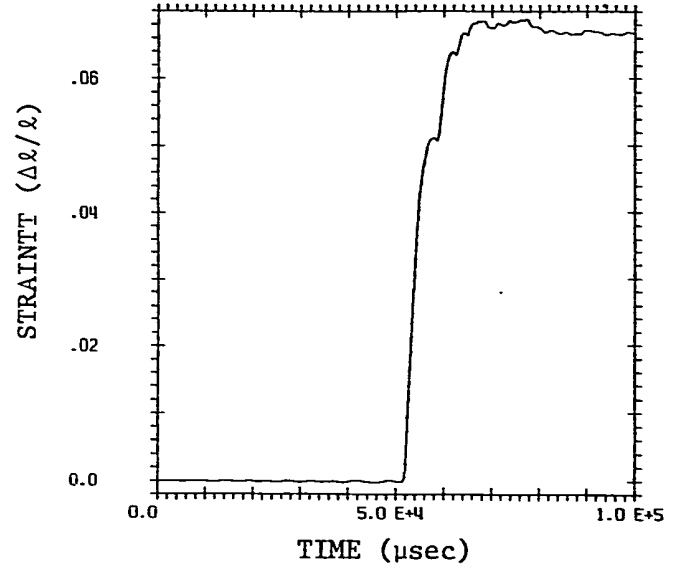


502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 1 ROW 22 SUBGRID 3



(c) Cone Part of Vessel

502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
COLUMN 1 ROW 29 SUBGRID 3



(d) Upper Part of Vessel

Fig. 5.2.10 (Cont'd)

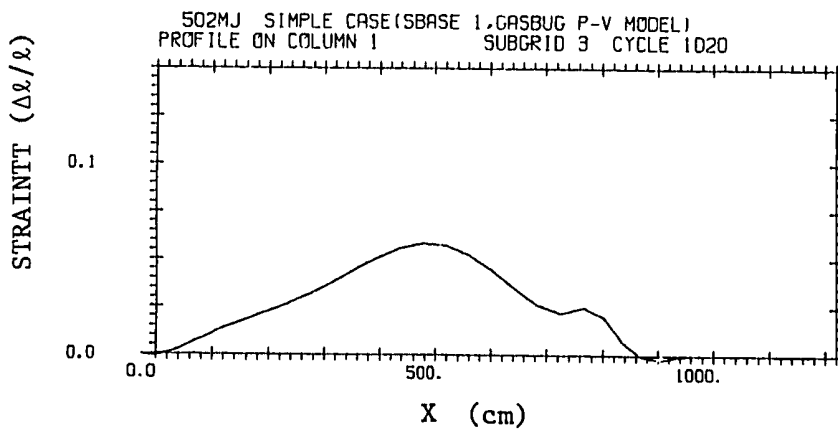
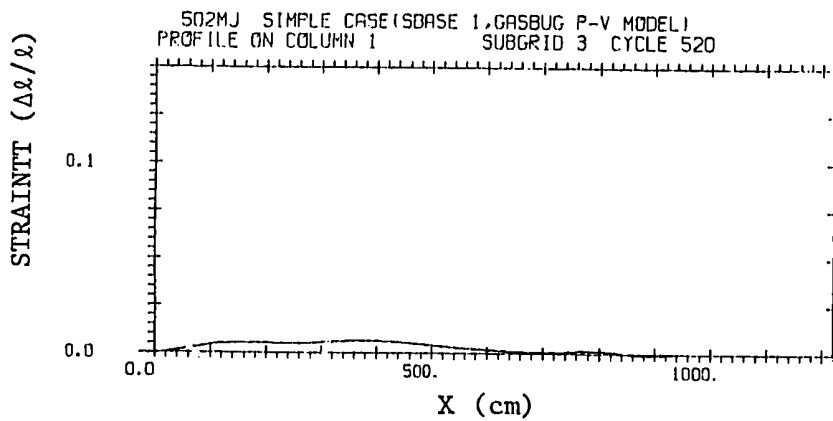
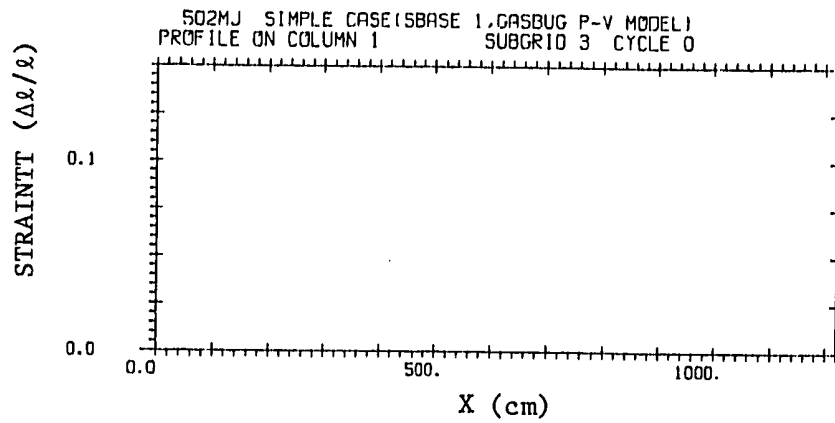
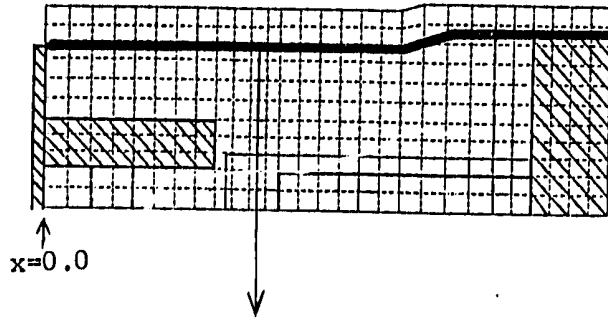


Fig. 5.2.11 Vessel Hoop Strain Profile - SBASE#1 Case -

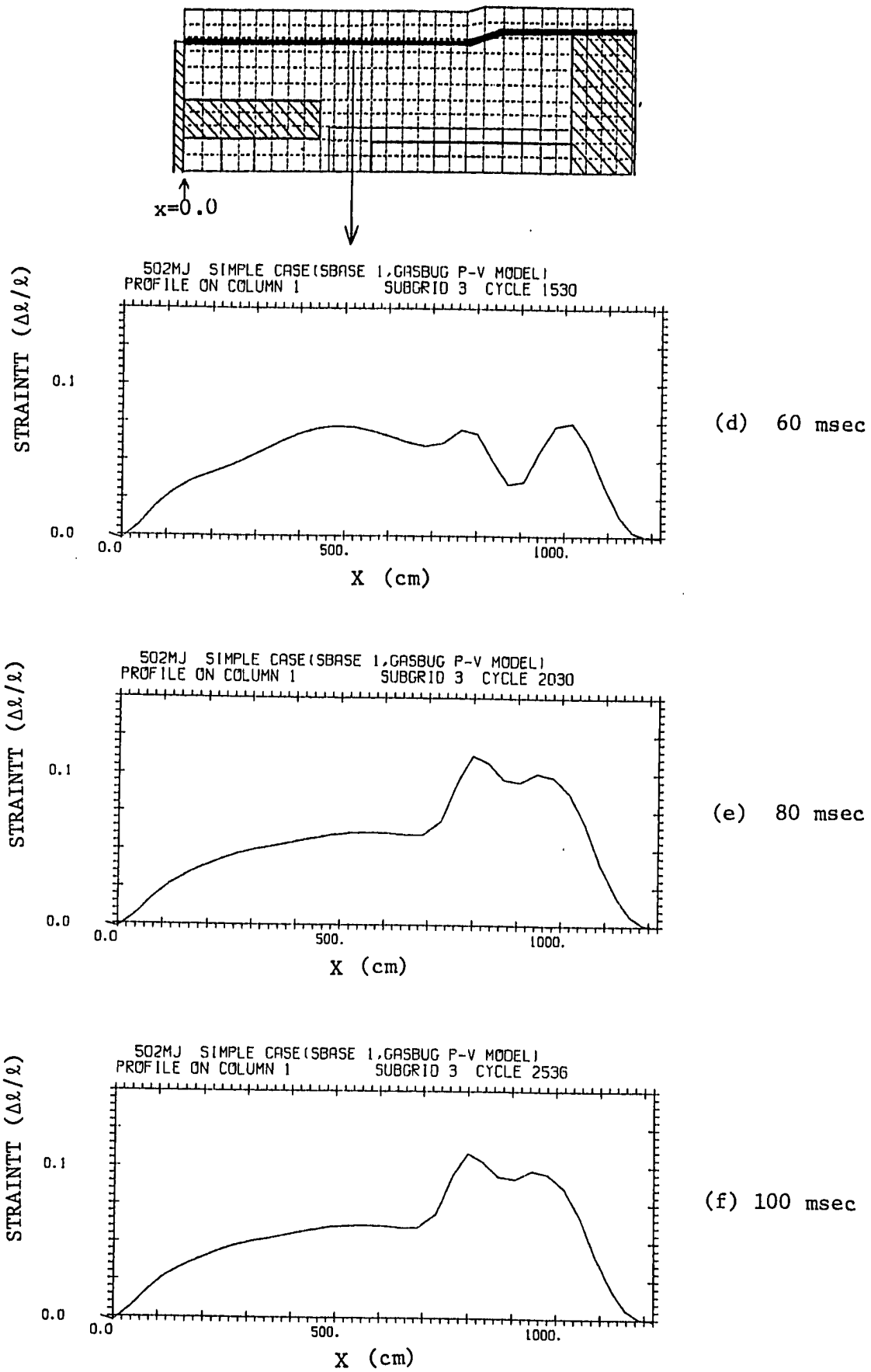


Fig. 5.2.11 (Cont'd)

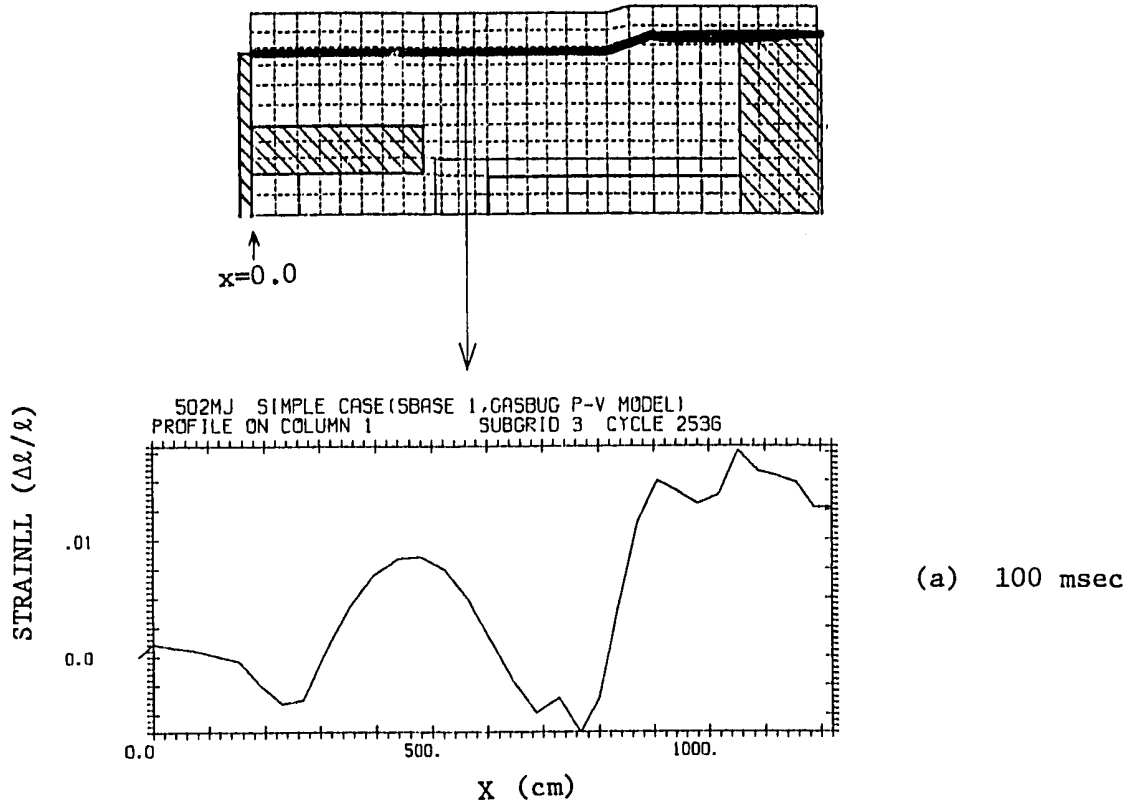
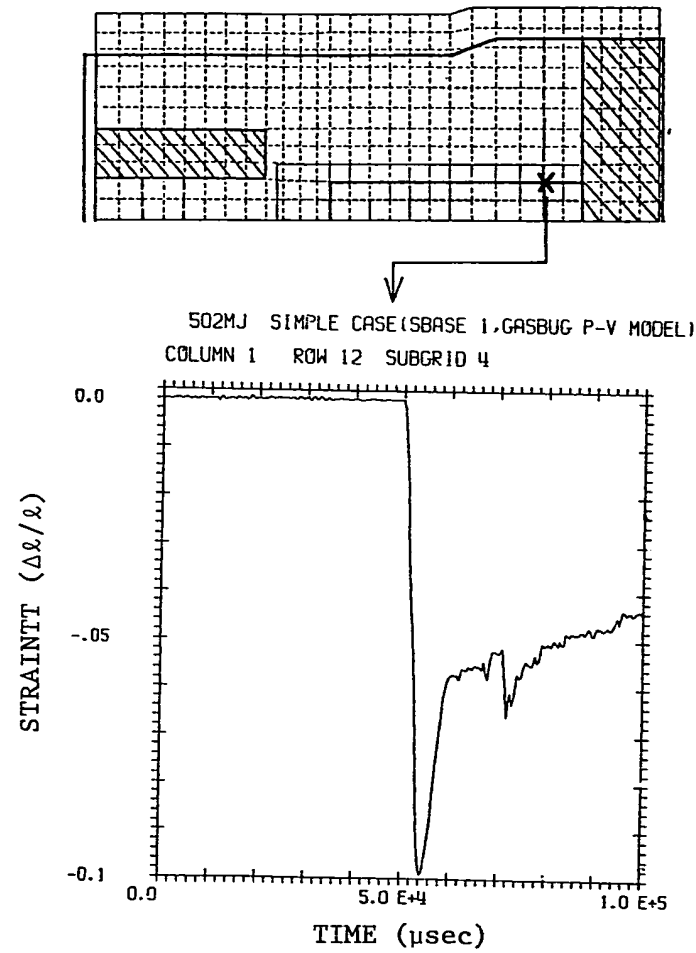
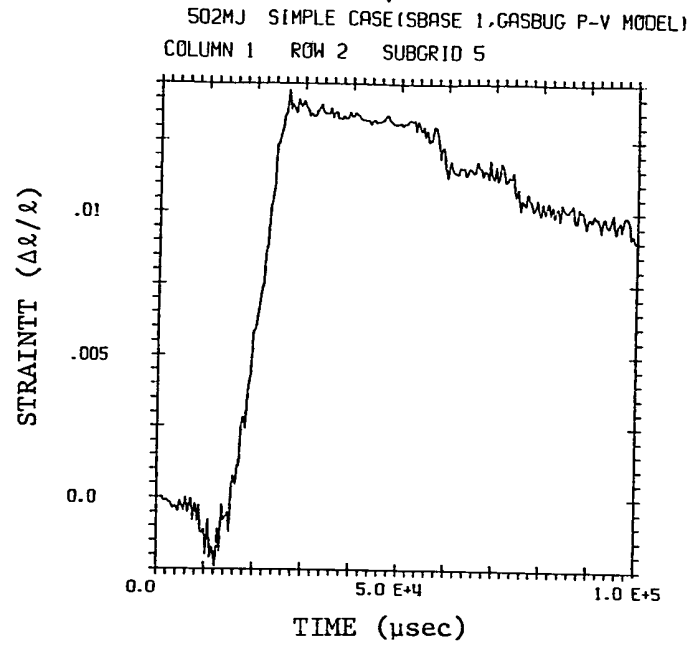
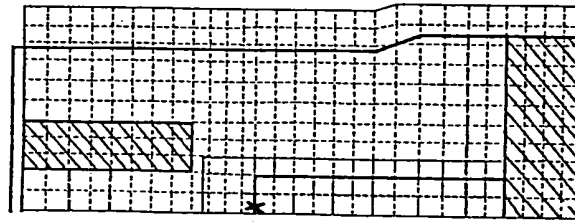


Fig. 5.2.12 Vessel Meridional Strain Profile
- SBASE#1 Case -

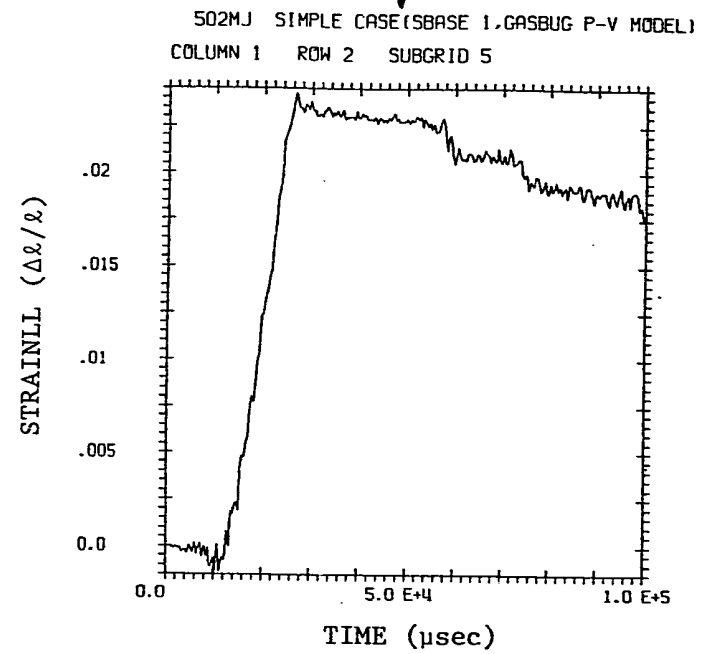


(a) Near Initial Sodium Surface

Fig. 5.2.13 UIS Hoop Strain History - SBASE#1 Case -



(b) Hoop Strain of Bottom



(c) Meridional Strain of Bottom

Fig. 5.2.13 (Cont'd)

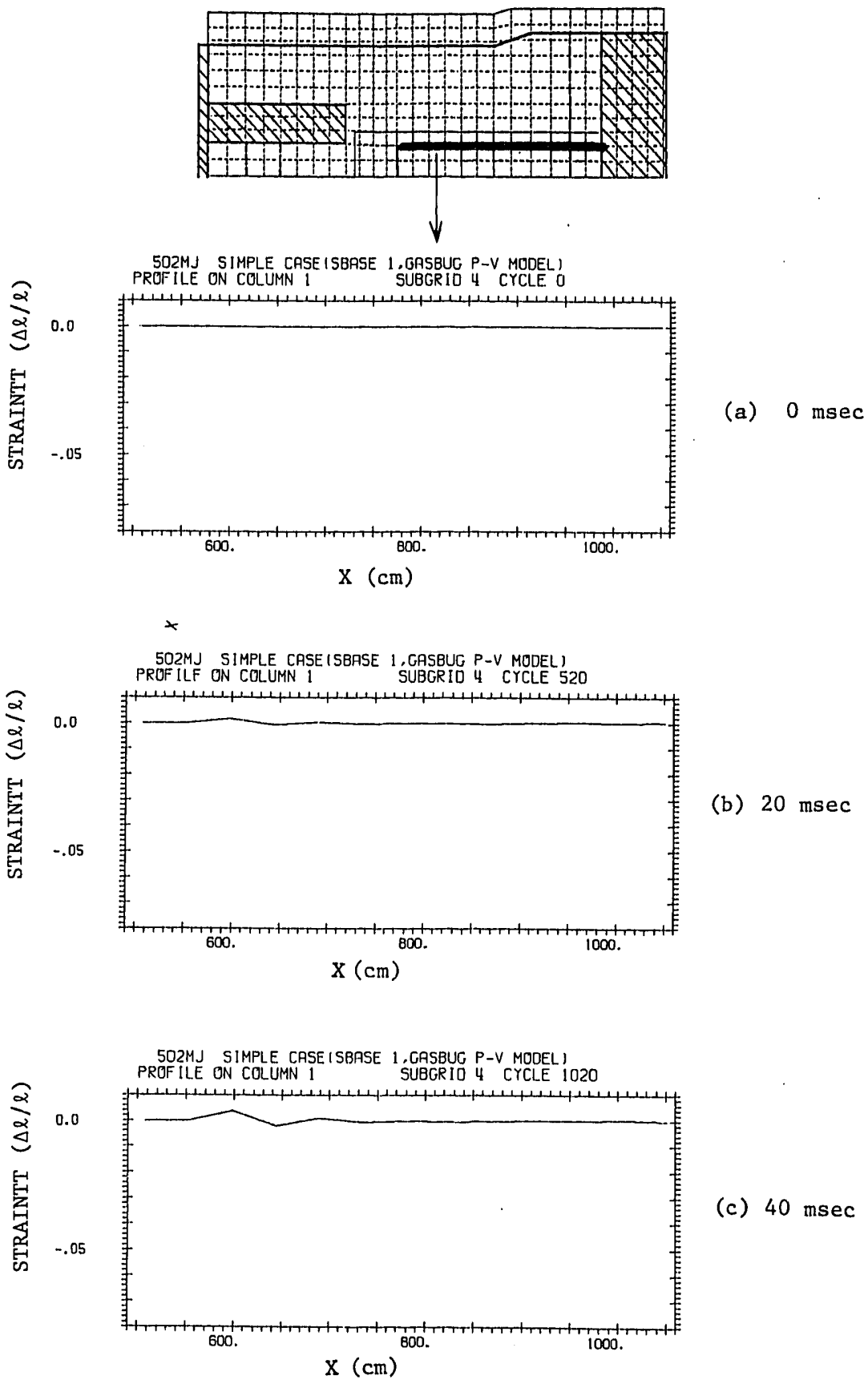
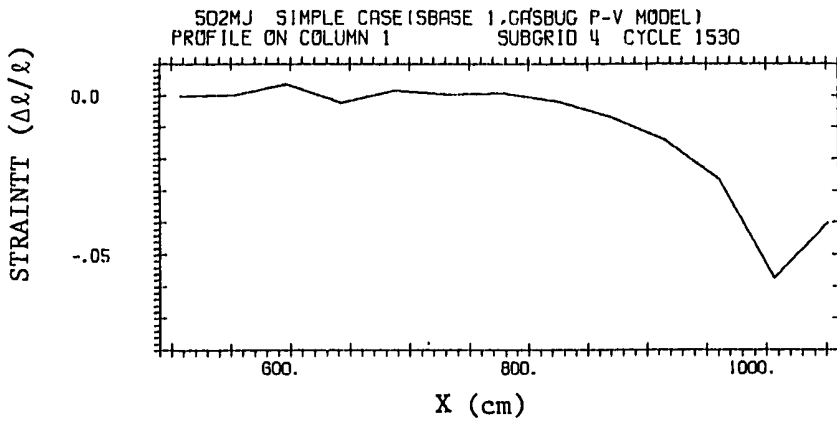
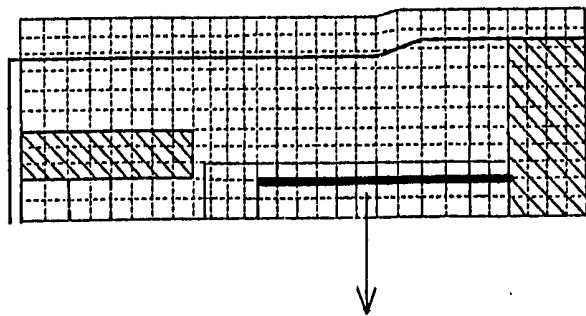
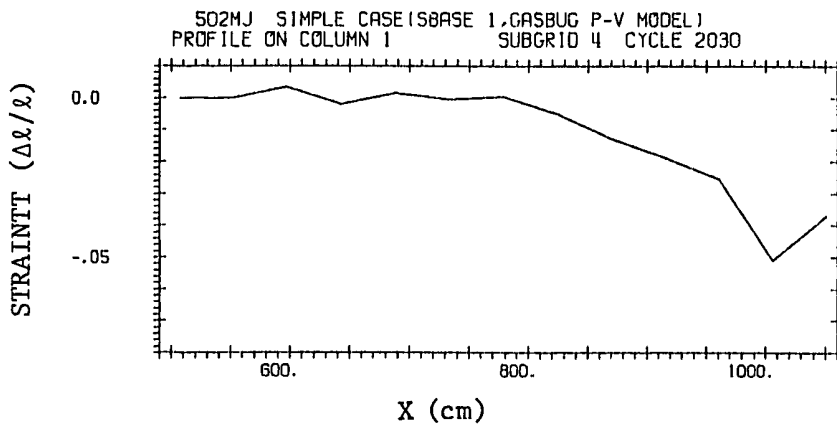


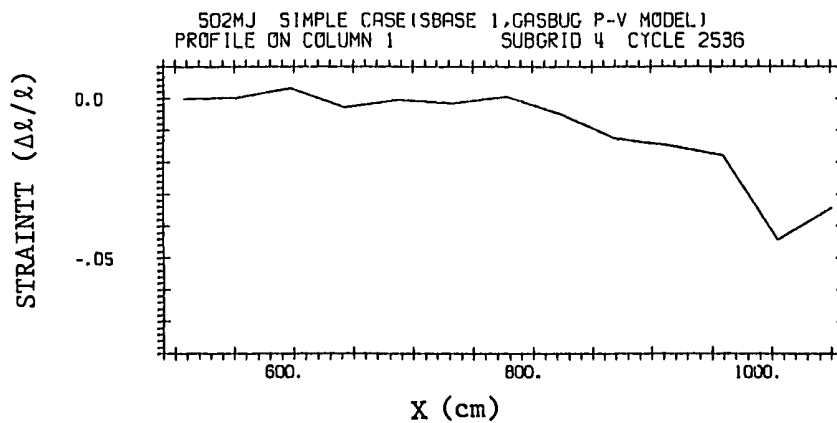
Fig. 5.2.14 UIS Hoop Strain Profile - SBASE#1 Case -



(d) 60 msec



(e) 80 msec



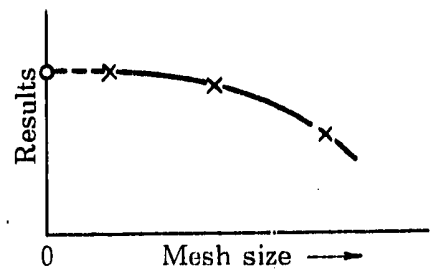
(f) 100 msec

X Fig. 5.2.14 (Cont'd)

5.3 Euler メッシュサイズ効果

5.3.1 目的

Euler グリッドのメッシュサイズを変えて、その効果を見る。右図に示すように、メッシュサイズがある程度以上小さくなれば、実用上結果に対する影響を気にしなくて良いと考えられるが、あまりに、小さくしすぎると、計算時間・領域の増大をきたし、また、エネルギーバランスの収束が悪化する恐れもある。ゆえに、最適なメッシュサイズを決定する必要があり、また、メッシュサイズの選択の任意性に対する解析結果の感度も定量的に把握しておかねばならない。



5.3.2 解析体系

図 5.3.1 に、解析した 3 ケースのオイラーメッシュサイズの比較を示す。標準メッシュ体系 MESH00^(注1) はメッシュサイズが 43 cm × 44 cm であり、それに対して、詳細メッシュ体系 MESH05B は 28 cm × 29 cm (標準メッシュ体系の約 2/3)^(注2)、粗メッシュ体系 MESH02 は 85 cm × 88 cm (標準メッシュ体系の約 2 倍) である。

ここで、標準材 (Shell プロセッサ) のメッシュサイズは 3 ケースとも同一である。

5.3.3 解析結果

主要な結果を表 5.3.1 に示す。

図 5.3.2 に、流体及び構造材の全体的挙動を 40 msec 時点で比較して示す。

図 5.3.3 ~ 4 に、体系全体と各構成要素毎のエネルギーの時刻履歴の比較を示す。

図 5.3.5 ~ 6 に、炉容器の腹部と上部での歪履歴の比較を示す。

図 5.3.7 に、炉容器の最終歪分布を比較して示す。

以下に、解析の結果をまとめる。

- ① Euler メッシュサイズが小さくなるほど、流体の動きが滑らかになり、ナトリウムスラグの上昇が早くなる傾向がある。スラグインパクト時刻は詳細メッシュ体系、標準メッシュ体系、粗メッシュ体系の順に、各々、50 msec、52 msec、54 msec であった。また、径方向への炉心バブルの成長も、同様で粗メッシュの方が早い。
- ② 粗メッシュ体系において、計算中に、約 4% のステップ的なエネルギーバランスのくずれ

注 1) メッシュサイズを切り替える際の取り扱いの都合から、標準メッシュ体系 MESH00 は、もんじゅ簡易基準体系 SBASE #1 から、炉心部寸法等に若干の修正が施されている。

注 2) 最初、詳細メッシュ体系として標準体系の約 1/2 サイズを計算したが、計算途中で原因不明のエネルギーの暴走が起こったため変更した。

が見られた。

- ③ 炉容器の歪エネルギーは炉容器上部，下部とも Euler メッシュが細くなるほど大きくなる。しかし，UIS の歪エネルギーは逆の傾向を示す。

	(詳細メッシュ)	(標準メッシュ)	(粗メッシュ)
炉容器上部歪エネルギー	220 MJ	210 MJ	190 MJ
" 下部 "	27 MJ	22 MJ	14 MJ
UIS "	10 MJ	12 MJ	19 MJ

- ④ 炉容器の変形量は，腹部は歪エネルギーと同様に，Euler メッシュが細くなるほど大きくなるが，上部の最大歪値（首下部）については必ずしも歪エネルギーの変化とは一致しない。また，腹部の歪履歴については，Euler メッシュが細くなるほどピーク到達後の戻りが大きくなる傾向がある。

	(詳細メッシュ)	(標準メッシュ)	(粗メッシュ)
炉容器腹部歪ピーク値	8.5% $\Delta l/l$	7.6% $\Delta l/l$	5.8% $\Delta l/l$
" 最終値	6.0% $\Delta l/l$	5.7% $\Delta l/l$	5.3% $\Delta l/l$
炉容器最大歪最終値	11.4% $\Delta l/l$	11.8% $\Delta l/l$	10.3% $\Delta l/l$

5.3.4 結論

- (1) 全体的にみて，Euler メッシュが細くなるほど流体（炉心ガス部及びナトリウム）は動きやすくなり，また衝撃波も伝播しやすくなる傾向がある。
- (2) これは結果としてエネルギー源（圧力源）の遠くにある構造材（炉容器）の歪エネルギーを増大させ，近くにある構造材（例えばUIS）の歪エネルギーを減少させる。
- (3) 但し，炉容器変形の最大値は必ずしも歪エネルギーには比例しない。これは，炉容器腹部の場合には，その歪分布形状が滑らかで衝撃波による単純な変形モードであるために，歪エネルギーと歪値はほぼ比例するが，スラグインパクトに起因する首不歪の場合には，その変形メカニズムがより複合していて，変形形状の微小な変化に敏感である事を示している。ゆえに，エネルギー配分の変化を最大歪値に外挿する時には慎重な取扱いが必要である。
- (4) 解析結果に対する Euler メッシュサイズの効果を定量的に見ると，ここで採用したメッシュサイズ範囲（28～85 cm）では，炉容器歪エネルギーに対して約 20%，最終歪値に対して，約 15% の大きな感度があった。しかし，ある程度以上メッシュサイズが細くなれば，Euler メッシュサイズ効果の影響は飽和していく傾向があると見られる。原型炉級の耐衝撃解析に対して，今回の標準メッシュサイズ（約 40 cm）程度を採用すれば，Euler メッシュサイズによる解析結果の不確かさは，炉容器の歪エネルギー・歪最大値の両方に対して約 5% 程度であろう。

Table 5.3.1 Summary of Euler Mesh Size Effect Survey

- Monju Simple Model

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name			MESH05B	MESH00	MESH02
Euler Mesh Size Ratio (size)			2/3 (28cm × 29cm)	1 (43cm × 44cm)	2 (85cm × 88cm)
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	149 (48.0)	149 (50.6)	144 (51.8)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	+1.7	0.0	+2.5
	Maximum Strain of Vessel (position)	%Δl/l (cm)	11.4 (802)	11.8 (801)	10.3 (801)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	%Δl/l	5.6	4.9	3.5
	Reactor Core Release Energy	MJ	-358	-349	-338
	Kinetic Energy	MJ	1	1	2
	Sodium Kinetic Energy	MJ	5	5	6
	Internal Energy	MJ	102	98	116
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	245	233	205
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	10	12	18	

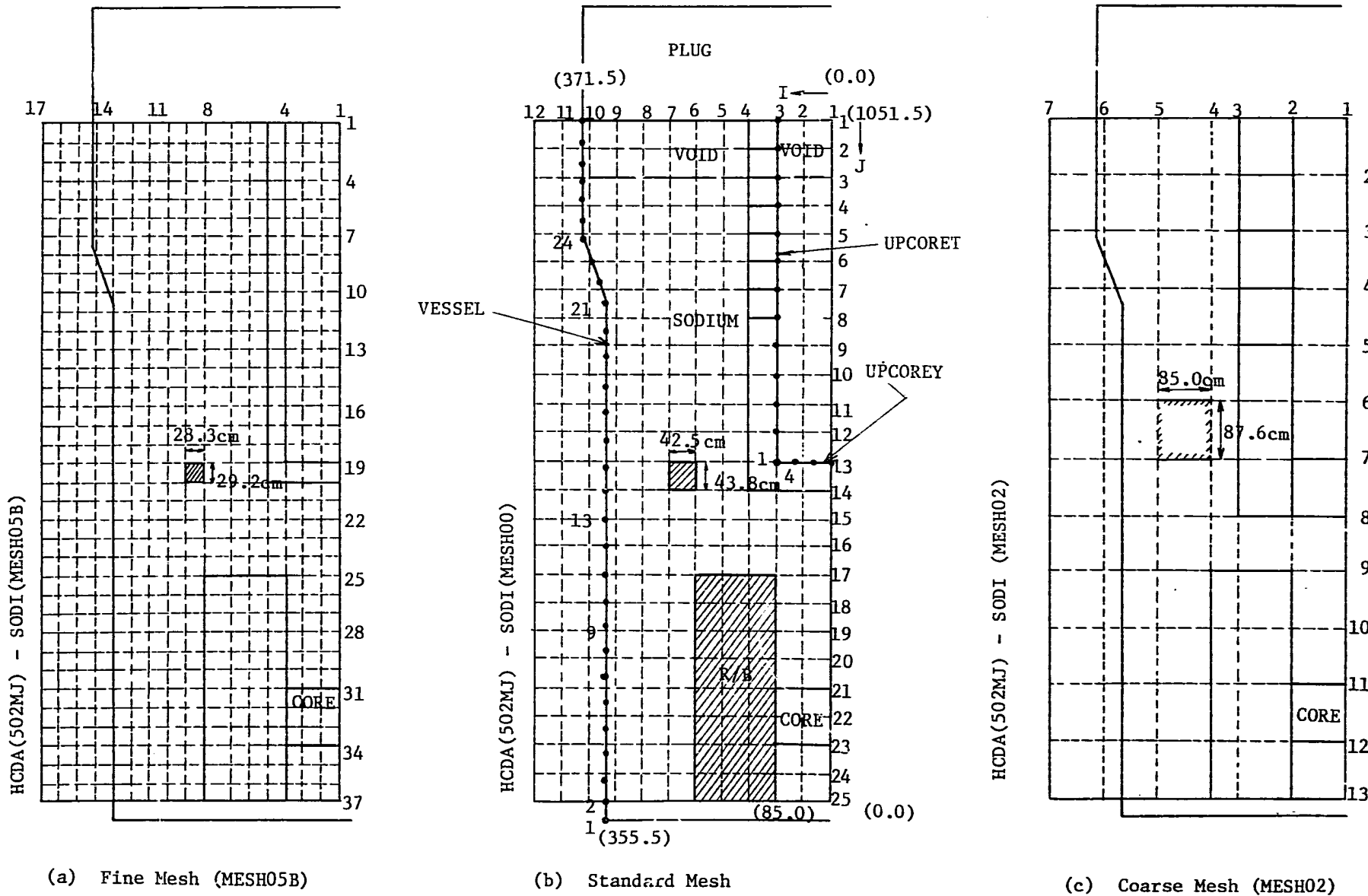


Fig. 5.3.1 Analytical Models for Euler Mesh Size Effect Survey

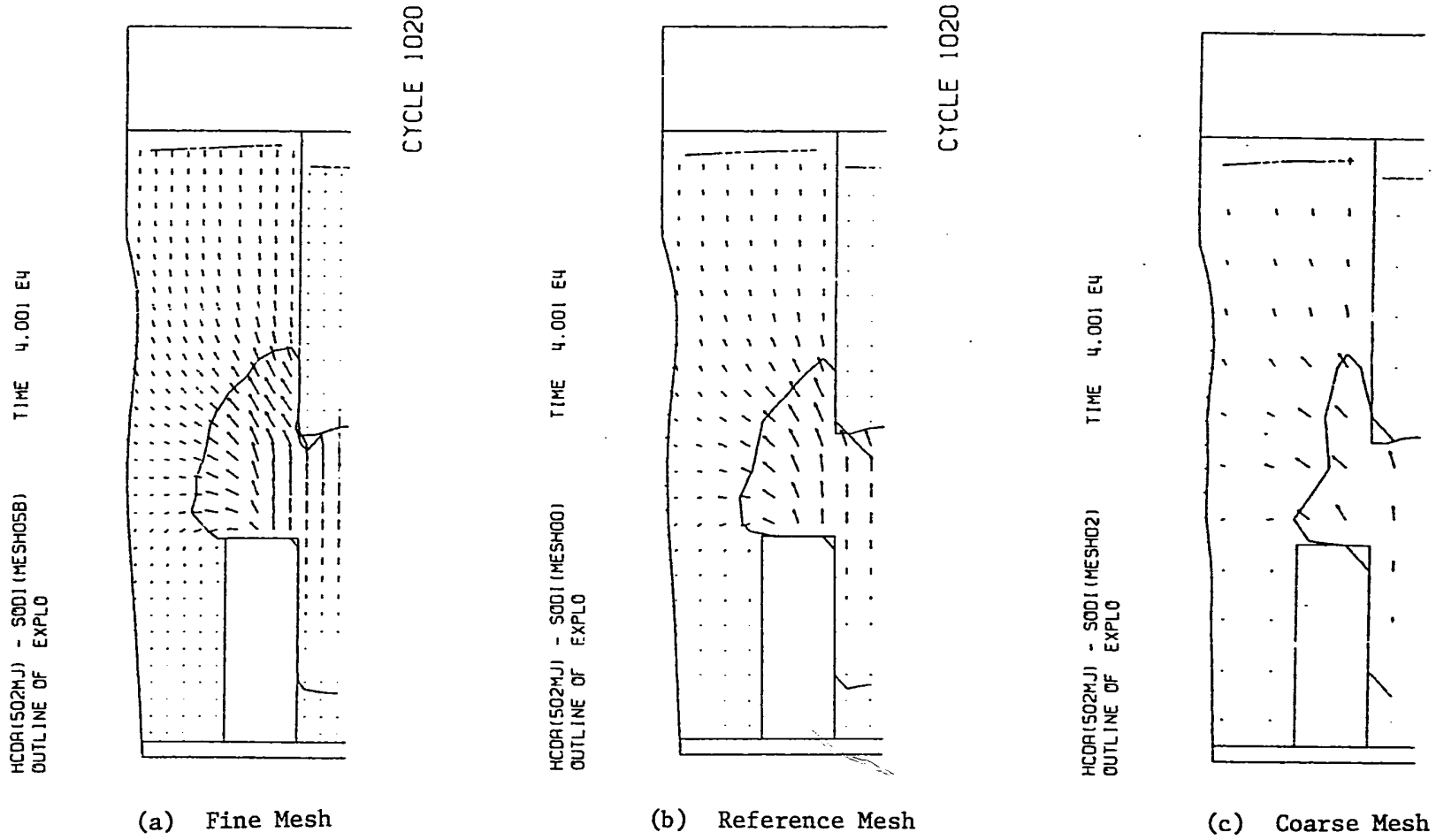
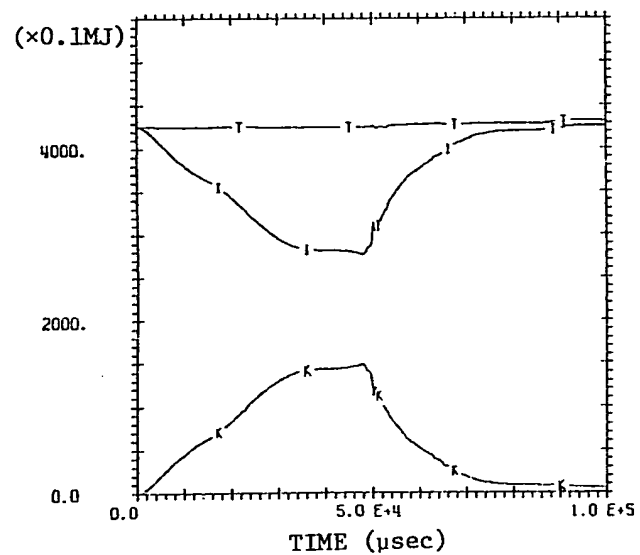


Fig. 5.3.2 Whole Configuration at 40 msec - Euler Mesh Size Effect -

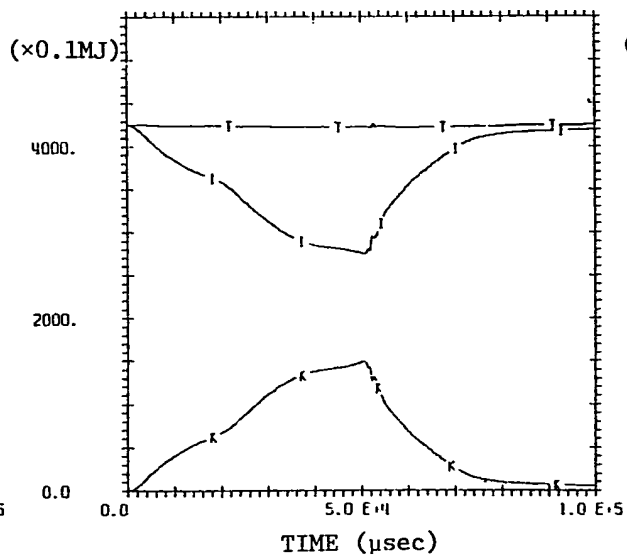
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11 (All material)
 K --- Ekin VS TIME FOR MATERIAL 11 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11 (")

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE (MESH05)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



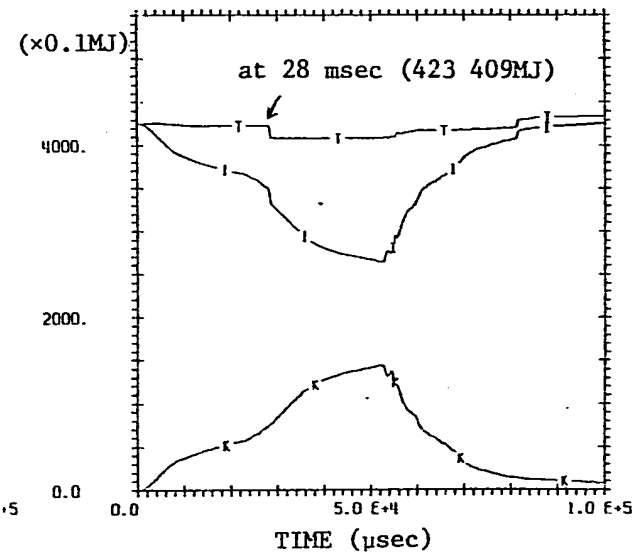
(a) Fine Mesh

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE (MESH00)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



(b) Reference Mesh

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE (MESH02)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



(c) Coarse Mesh

Fig. 5.3.3 Energy History of All Material Sum - Euler Mesh Size Effect -

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Upper Reactor Vessel)
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (UIS)
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lower Reactor Vessel)

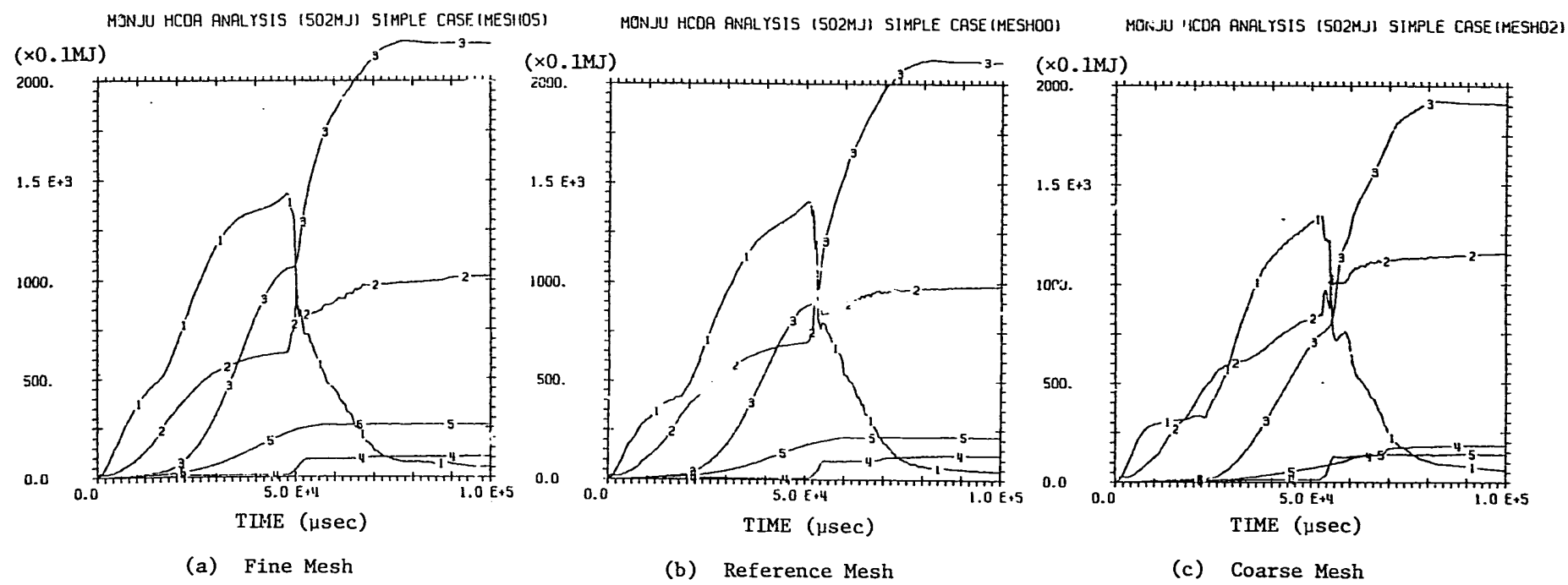


Fig. 5.3.4 Energy History of Each Material - Euler Mesh Size Effect -

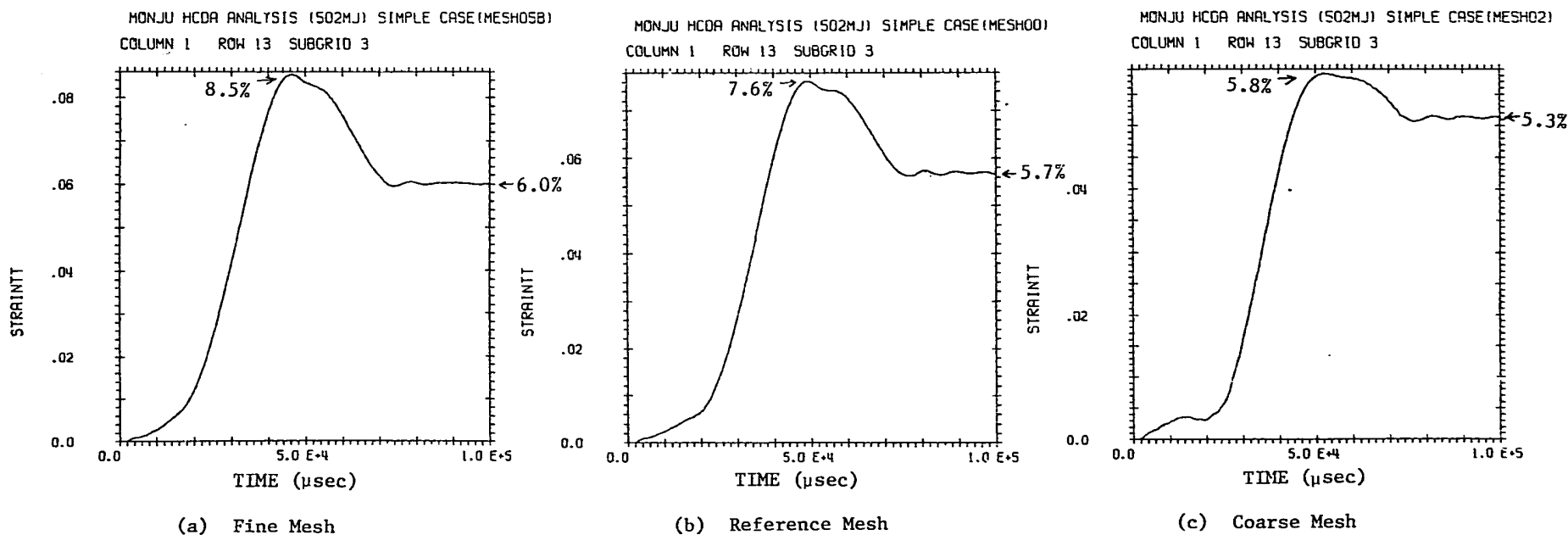
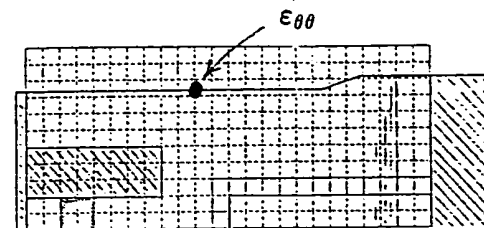
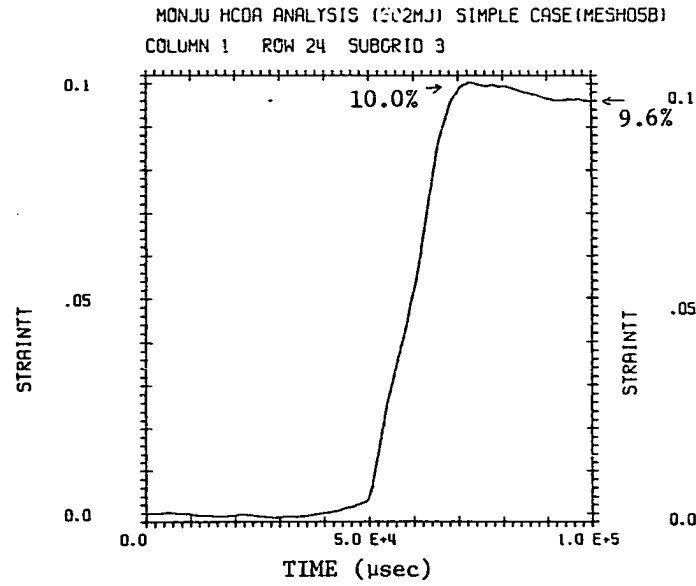
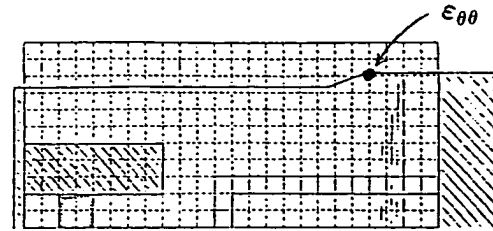
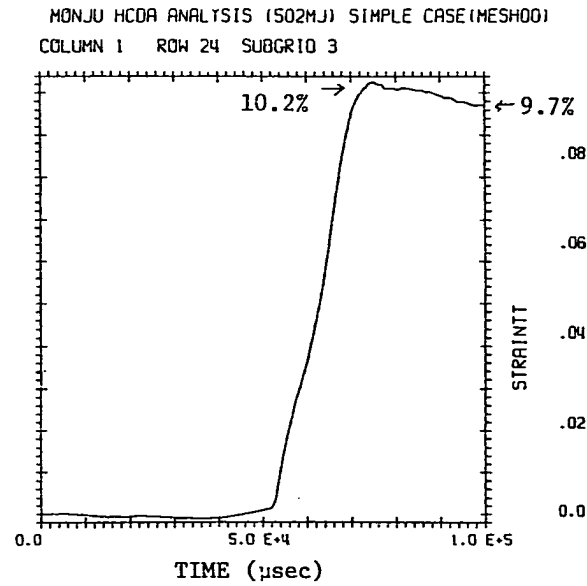


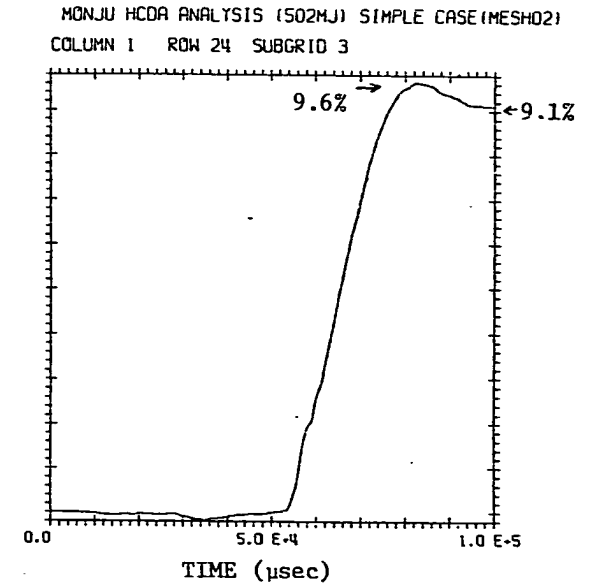
Fig. 5.3.5 Strain History of Middle Reactor Vessel - Euler Mesh Size Effect -



(a) Fine Mesh



(b) Reference Mesh



(c) Coarse Mesh

Fig. 5.3.6 Strain History of Upper Reactor Vessel - Euler Mesh Size Effect -

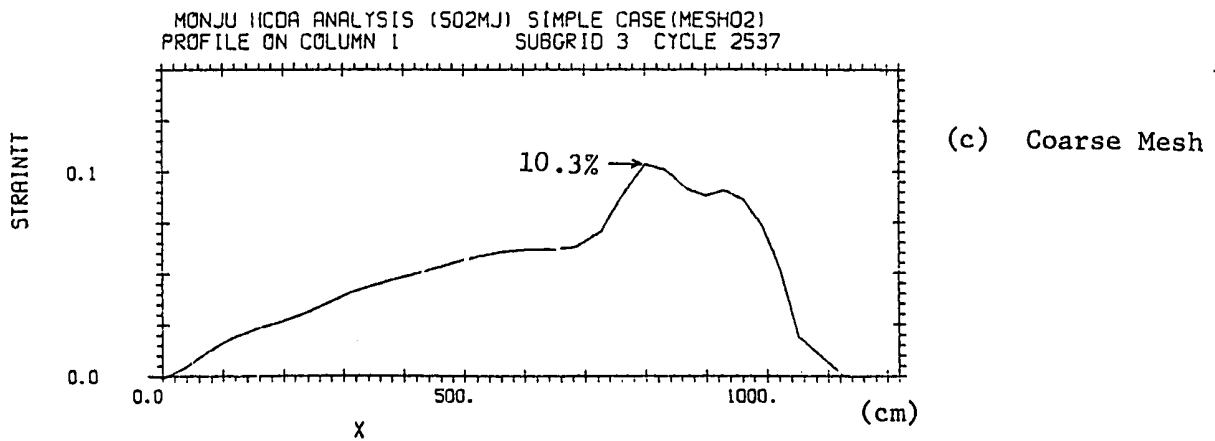
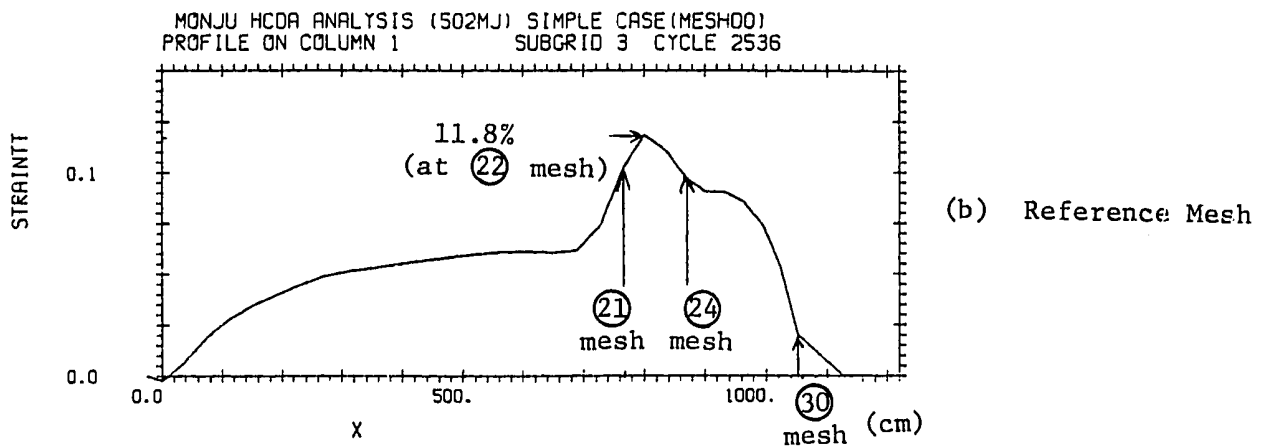
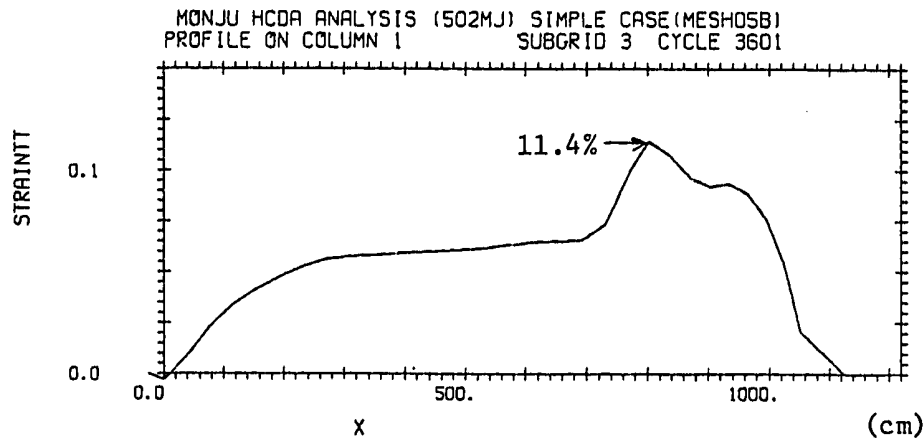
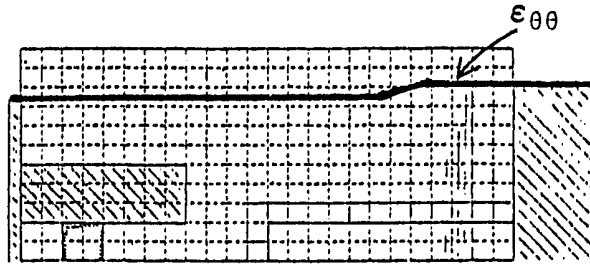


Fig. 5.3.7 Final Strain Profile of Reactor Vessel
 - Euler Mesh Size Effect -

5.4 Shell メッシュサイズ効果

5.4.1 目的

Shell プロセッサのメッシュサイズを変えてその効果を見る。Euler プロセッサの場合と同様に、計算時間と精度の観点から最適なメッシュサイズを決定し、その不確定性・感度を定量的に把握する。

5.4.2 解析体系

図 5.4.1 に解析した 3 つのケースの Shell メッシュサイズの比較を示す。標準体系 MESH 00^{注1)} は、炉容器メッシュ幅が約 30 cm, UIS 胴部が約 44 cm, UIS 底板部が約 28 cm であるのに対して、詳細メッシュ体系 MESH 03 はその約 $1/2$ ^{注2)}, 粗メッシュ体系 MESH 04 B はその約 2 倍にメッシュ幅を設定した。

ここで、Euler メッシュサイズは、3 ケースとも同一である。

注1) Euler メッシュサイズ効果の解析の標準ケースと同一である。

注2) 但し、1 つの Shell プロセッサについて、そのメッシュ総数が 50 以下というコード上の制限があるために、詳細メッシュ体系の炉容器はやむを得ず、胴部中央から下の部分を標準体系と同じサイズにした。従って、本節での解析からは、胴部中央から下の部分については評価できない。

5.4.3 解析結果

主要な結果を表 5.4.1 に示す。

図 5.4.2 に、流体及び構造材の全体的挙動を 40 msec 時点で比較して示す。

図 5.4.3 ~ 4 に、体系全体と各構成要素毎のエネルギーの時刻履歴の比較を示す。

図 5.4.5 に、炉容器の最終歪分布の比較を示す。

図 5.4.6 に、UIS 胴部の最終歪分布の比較を示す。

図 5.4.7 に、UIS 底板部の最終歪分布の比較を示す。

以下に解析の結果をまとめる。

- ① 流体の動きは、各ケースとも殆んど変わらないが、詳細に見ると粗メッシュ体系の方が炉心バブルの上方への成長がわずかに早く、UIS 内部のナトリウムの上昇が若干遅い。これは後述するように、UIS 底板部の変形が粗メッシュ体系ではほとんど無い事に起因する。スラグインパクト時刻は粗メッシュになるほどわずかに早くなるが、その差は 1 msec 以内であり小さい。
- ② 粗メッシュ体系において、スラグインパクト時に、約 4% のステップ的なエネルギーバランスのくずれが見られた。ナトリウムの内部エネルギーが、最後状態で、詳細メッシュ体

系・標準メッシュ体系・粗メッシュ体系の順に 105 MJ, 98 MJ, 111 MJ と奇妙な挙動を示しているのは、この粗メッシュ体系でのエネルギーバランスのくずれが原因である。

- ③ 炉容器上部の歪エネルギーは詳細メッシュになるほど小さくなる。これは詳細メッシュになるほどナトリウムの最大運動エネルギーが小さくなる事と対応しており、原因は UIS でのエネルギー吸収の寄与であると考えられる。
- ④ UIS での歪エネルギーは詳細メッシュになるほど大きくなる。これは特に UIS 底板部で顕著であり、この部分の歪を評価するためには粗メッシュ体系や標準メッシュ体系の 3 ～ 4 メッシュでは不十分であり、最低でも詳細メッシュ体系の 7 メッシュ以上は必要であると考えられる。
- ⑤ 炉容器の最終変形時の最大歪点は、いずれのケースでも首下円錐部（テーパ部）の下端であるが、その値はいずれも約 $118\% \Delta \ell / \ell$ でほぼ同一であり、炉容器歪エネルギーの系統的变化とは必ずしも対応していない。
- ⑥ UIS 胴部の変形においては、粗メッシュ体系（全 7 メッシュ）では変形挙動をほとんど表現できないし、また、標準メッシュ体系（全 13 メッシュ）でも胴部下側（底板の近く）の外側へのふくらみが全く現われない。UIS 胴部の変形挙動を問題とする場合は少なくとも詳細メッシュ体系（全 25 メッシュ）程度以上の細かさが必要であると考えられる。

5.4.4 結論

- (1) 原形炉体系の耐衝撃解析においては、全体的に見ると Shell のメッシュサイズ効果は Euler のそれに比べて、定量的により小さい。
- (2) 但し、これは流体の全体的動き及び炉容器の歪に着目した場合であり、UIS に関しては、Shell メッシュを粗から密に変化させた場合、約 5 割もの歪エネルギーの増加が見られた。
- (3) Shell メッシュの最低必要数は、メッシュ要素のサイズで定まるのではなく、ひとつの Shell 構造物に含まれるメッシュ要素の絶対数で決まると考えた方がよい。今回の解析結果から言えば、炉容器については、標準体系（約 30 cm × 30 メッシュ）のメッシュ分割で充分であるが、UIS 胴部及び底板部については、詳細メッシュ体系（約 22 cm × 25 メッシュ及び約 14 cm × 7 メッシュ）程度が最低必要である。当然、この必要メッシュ数は、各 Shell 構造物が受ける圧力履歴及びその結果としての変形モードに依存して上下する。

目安としては、構造物の変形モードが単純な場合は約 10 以上のメッシュ要素を、複雑な場合は約 20 以上のメッシュ要素を適用すれば良いと考えられる。

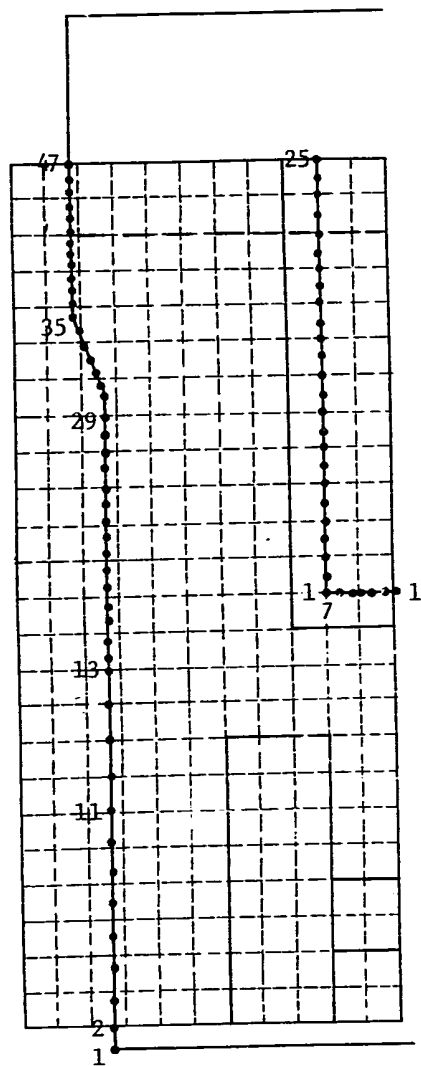
Table 5.4.1 Summary of Shell Mesh Size Effect Survey

- Monju Simple Model

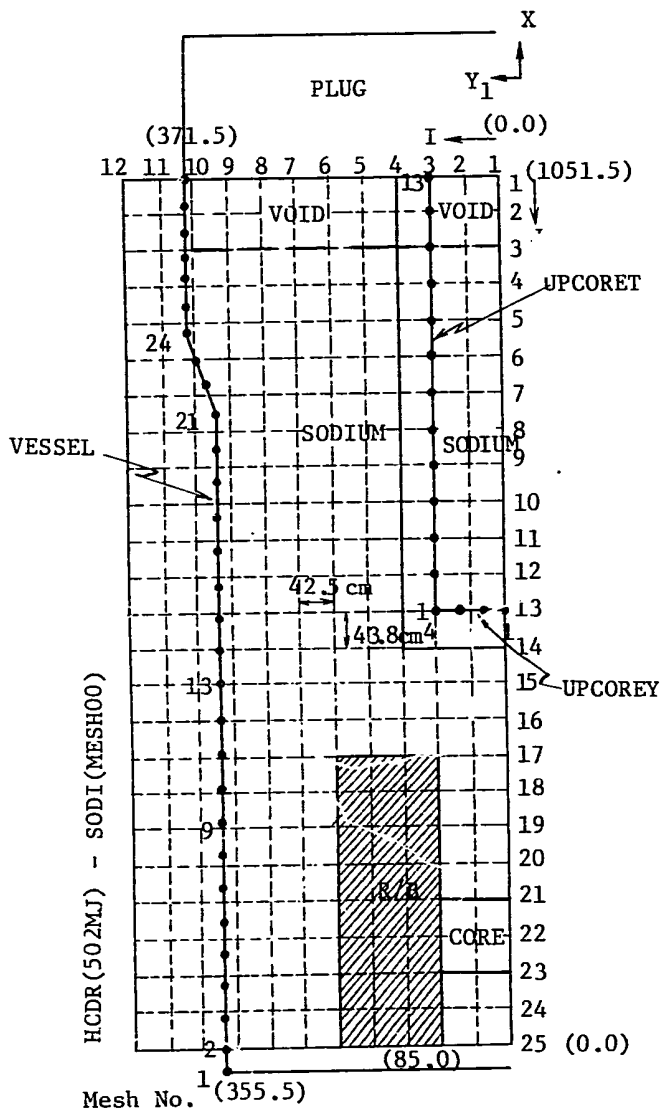
by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name			MESH03	MESH00	MESH04B
Shell Mesh Size Ratio (size)			1/2 (about 15cm)	1 (about 30cm)	2 (about 60cm)
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	146 (51.4)	149 (50.6)	152 (49.7)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	+0.4	0.0	+4.4
	Maximum Strain of Vessel (position)	% Δ l/l (cm)	11.9 (784)	11.8 (801)	11.7 (818)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% Δ l/l	4.8	4.9	4.5
	Reactor Core Release Energy	MJ	-350	349	350
	Kinetic Energy	MJ	1	1	1
	Sodium Kinetic Energy	MJ	4	5	6
	Internal Energy	MJ	105	98	111
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	226	233	237
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	15	12	10	

HCDR(502MJ) - SODI(MESH03)

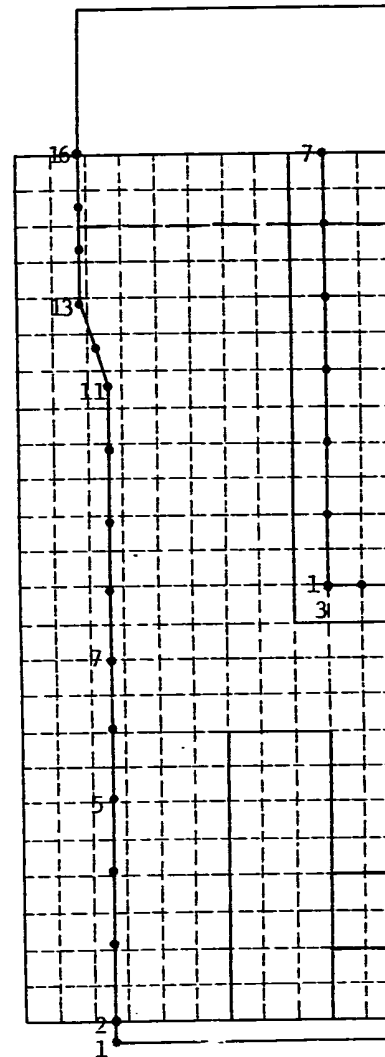


(a) Fine Mesh (MESH03)



(b) Reference Mesh (MESH00)

HCDR(502MJ) SODI(MESH04B)



(c) Coarse Mesh (MESH04B)

Fig. 5.4.1 Analytical Models for Shell Mesh Size Effect Survey

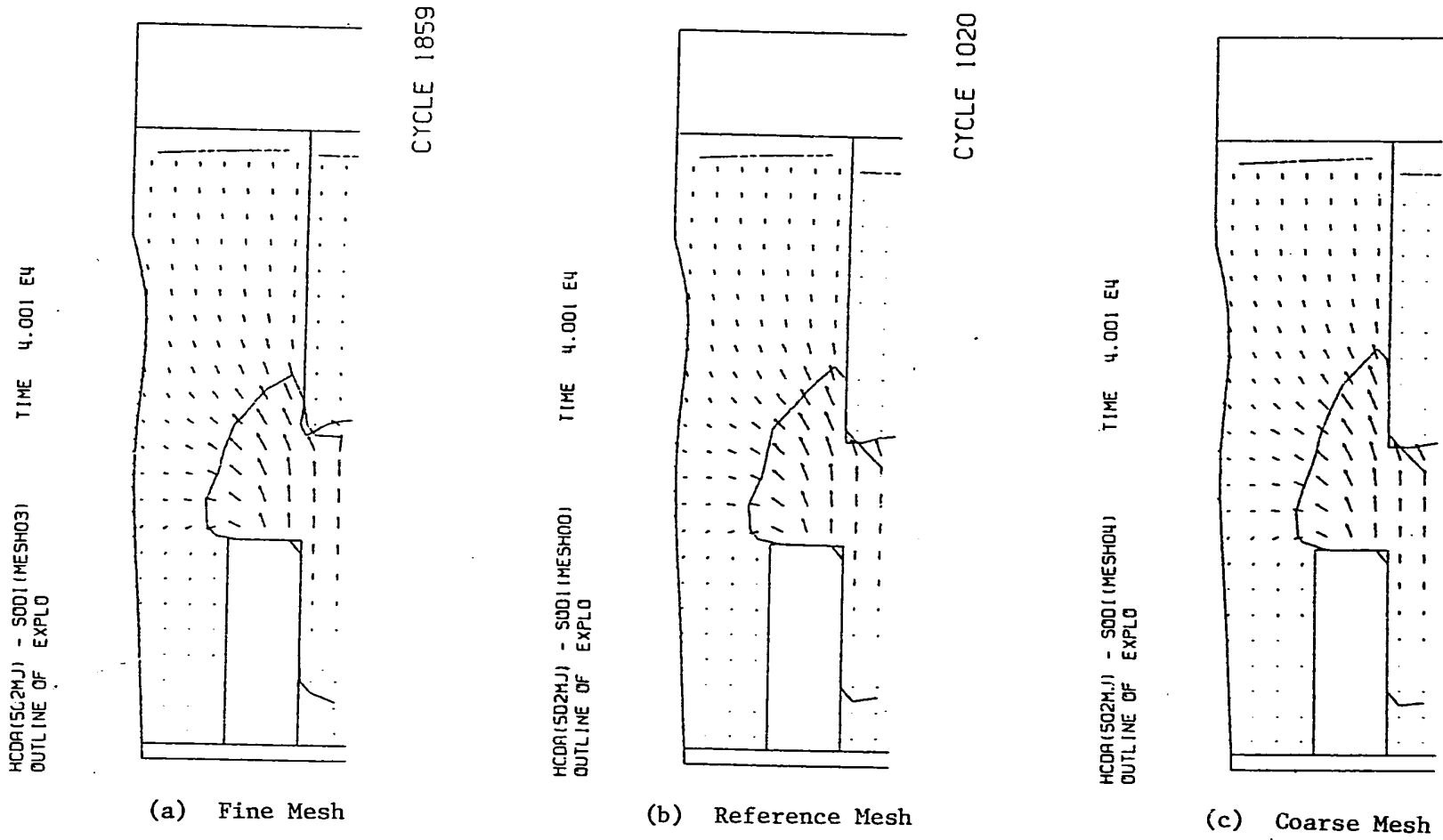
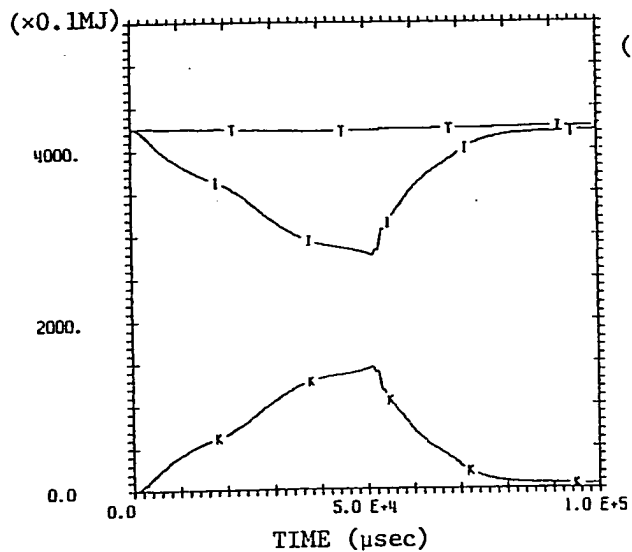


Fig. 5.4.2 Whole Configuration of 40 msec - Shell Mesh Size Effect -

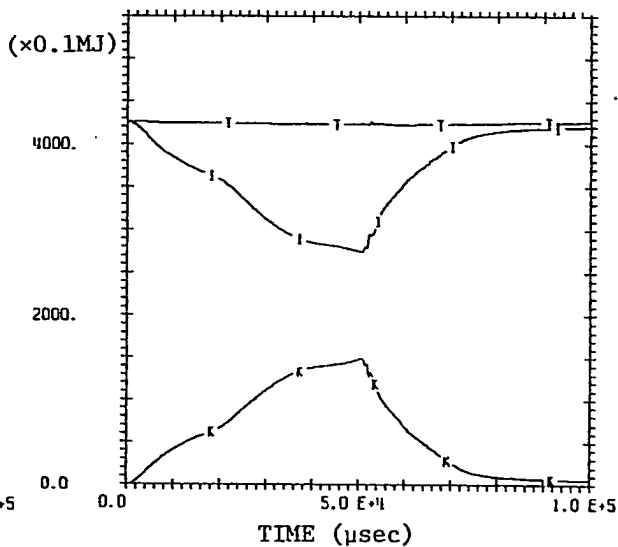
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11 (All material)
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11 (")

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE(MESH03)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



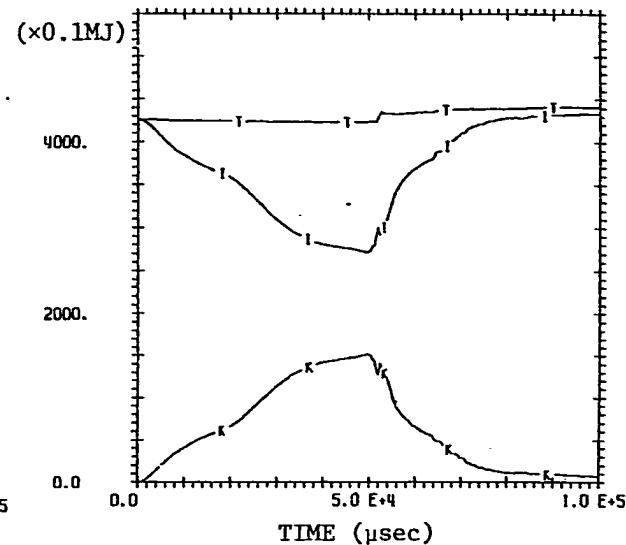
(a) Fine Mesh

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE(MESH00)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



(b) Reference Mesh

MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE(MESH04)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



(c) Coarse Mesh

Fig. 5.4.3 Energy History of All Material Sum - Shell Mesh Size Effect -

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Upper Reactor Vessel)
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (UIS)
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lower Reactor Vessel)

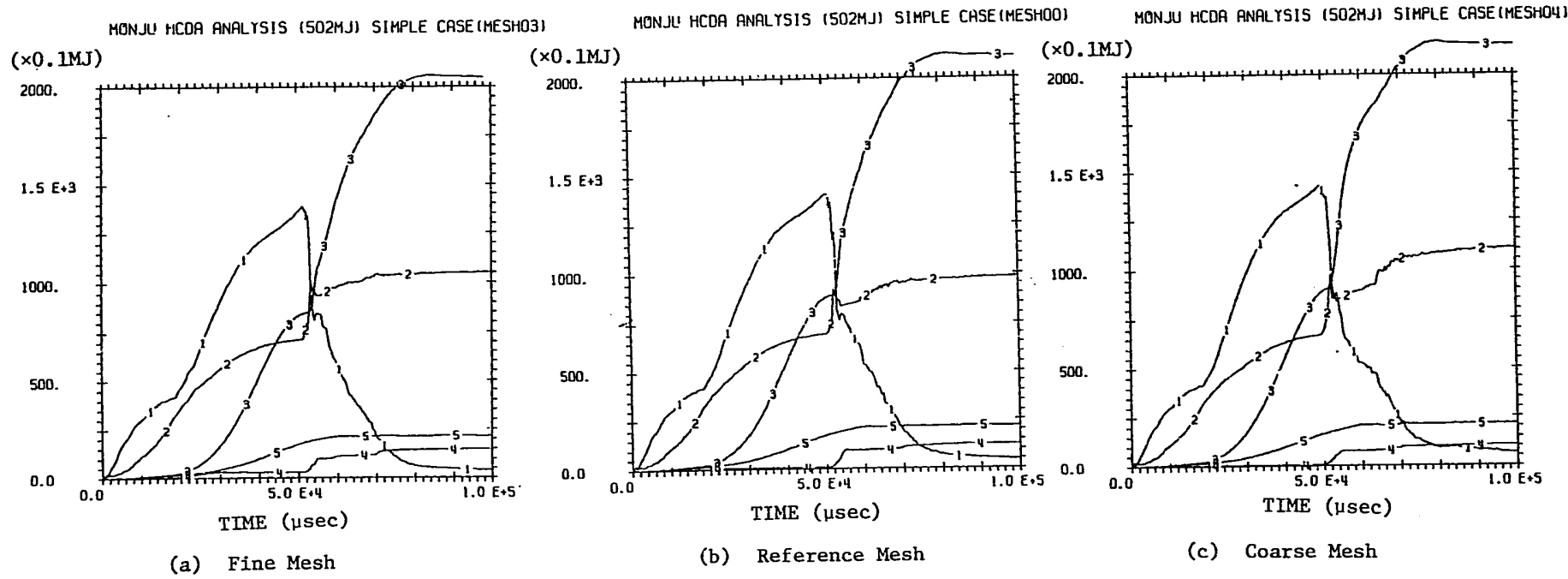


Fig. 5.4.4 Energy History of Each Material - Shell Mesh Size Effect -

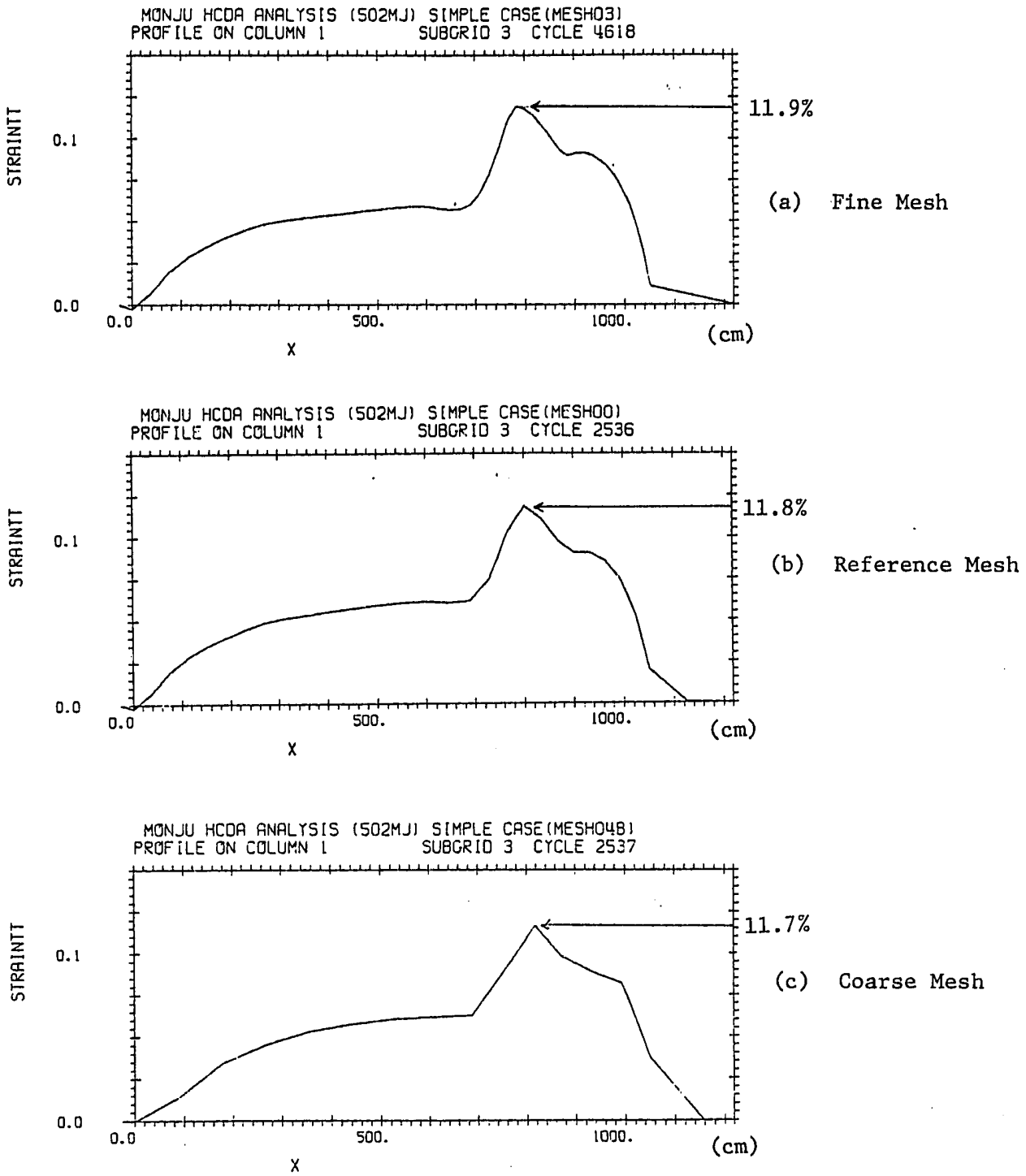


Fig. 5.4.5 Final Strain Profile of Reactor Vessel
- Shell Mesh Size Effect -

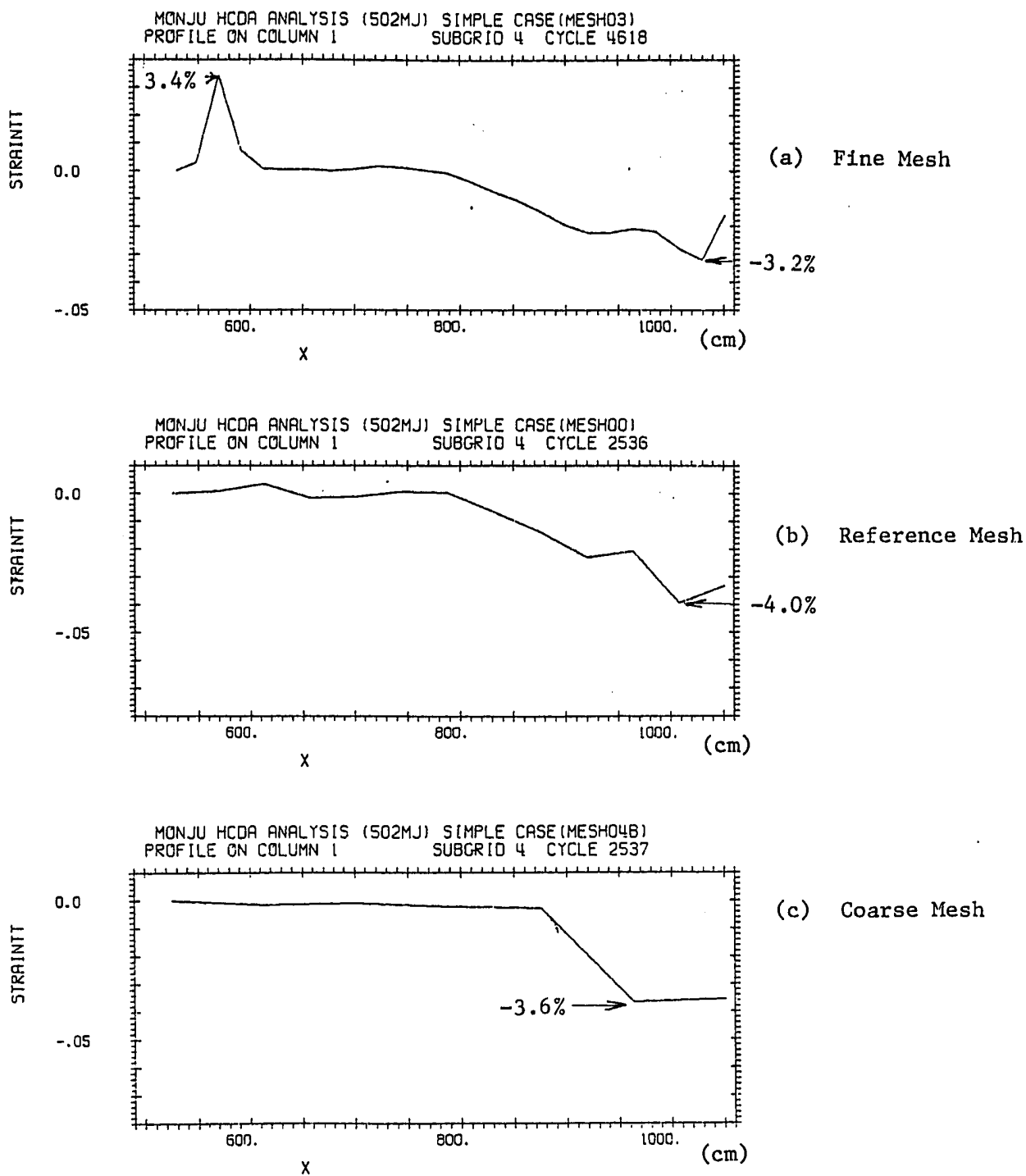


Fig. 5.4.6 Final Strain Profile of UIS Side Tube
 - Shell Mesh Size Effect -

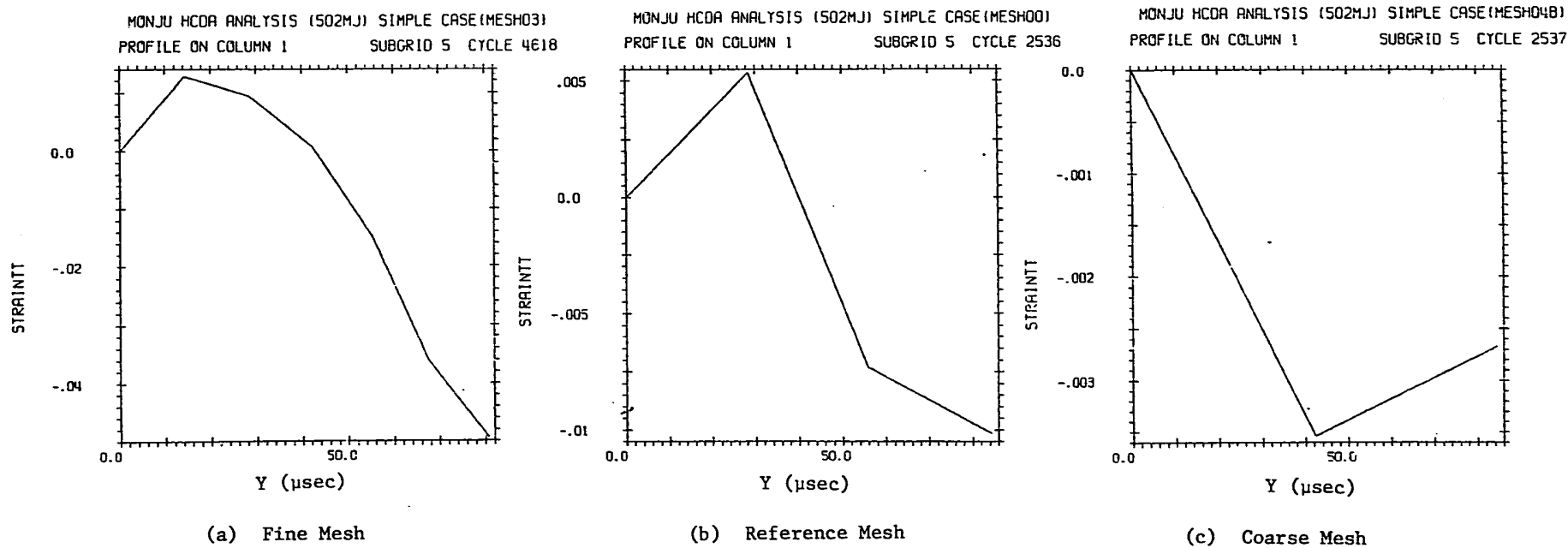


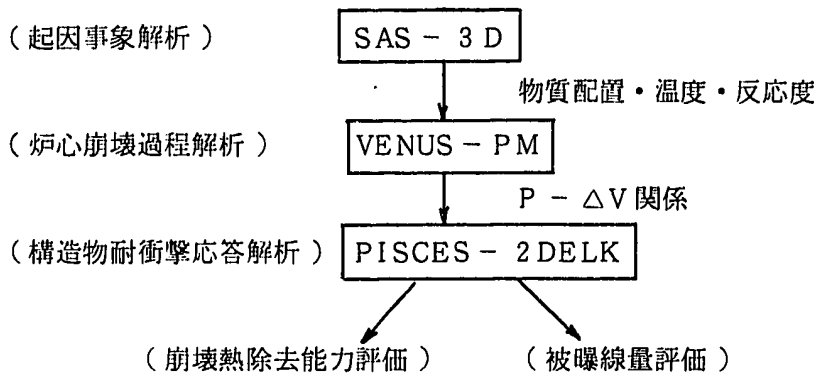
Fig. 5.4.7 Final Strain Profile of UIS Bottom Plate - Shell Mesh Size Effect -

5.5 エネルギー源のモデル化

5.5.1 背景

原子炉容器耐衝撃解析におけるエネルギー源は、炉心崩壊過程によって発生する原子炉炉心部での高温・高圧の燃料蒸気（あるいはナトリウム蒸気）である。この高圧蒸気が膨張することによって冷却材を介して炉容器等の構造物に仕事をこなう。

原型炉炉心崩壊事故解析において、核暴走終了時の炉心部の状態を決定するために従来使用されたのは炉心崩壊過程解析コード VENUS である。VENUS コードから構造物耐衝撃応答解析コード PISCES に入力として受け渡されるのは炉心部の圧力-体積増分 ($P - \Delta V$) 関係である。下に、この機械的炉心崩壊事故解析の流れを示す。



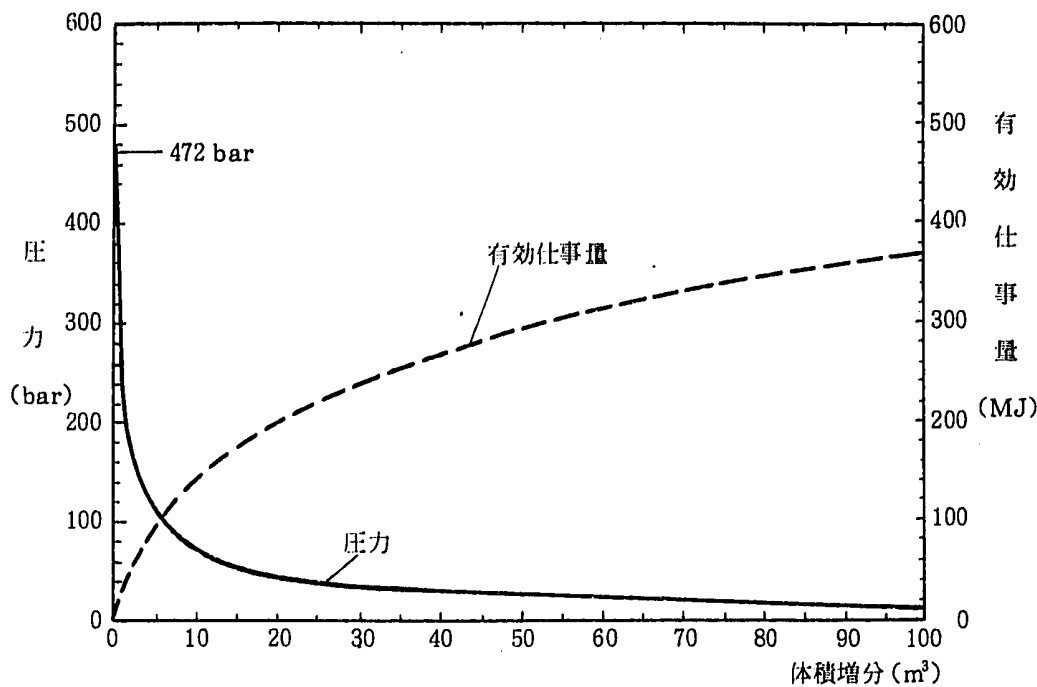
この PISCES に受渡される $P - \Delta V$ 曲線は、炉心崩壊過程が終了した状態での炉心の物質分布・温度分布から、各 mesh 毎に 2 相平衡状態のまま等エントロピー膨張させてこれを合成するいわゆる multi-packet 法により作成されたもので、通常の意味での状態方程式とは異なる。

次頁に、本章のもんじゅ簡易解析体系で一貫して用いた $P - \Delta V$ 曲線及び有効仕事量を示す。

この $P - \Delta V$ 曲線は、炉心体積の同じ初期圧を持つ理想ガスの断熱膨張曲線と比べると、非常に圧力の減少が急激である。

以下に、VENUS から PISCES に受渡される $P - \Delta V$ 曲線の特殊な性質をまとめる。

- (1) 膨張時に 2 相平衡を仮定しているために、膨張に伴って体系の質量が増大する、即ち質量非保存系である。
- (2) 初期体積 V_0 を定義する事ができず、体積の増分のみに意味がある。
- (3) この $P - \Delta V$ 関係は、各 mesh 毎の 2 相平衡等エントロピー膨張を全炉心にわたって合成したものであるため、通常の状態方程式のように、膨張空間の局所的な状態量を導く事はできない。



炉心部の圧力一体積増分関係と有効仕事量一体積増分関係

5.5.2 目的

本節は、上記の炉心崩壊事故解析の背景を踏まえて、耐衝撃評価におけるエネルギー源である HCDA 気泡のモデル化の検討を行なうことが目的である。検討する HCDA 気泡の状態方程式モデルは、圧力-体積増加関係を入力とする GASBAG 法と、これを圧力-密度の状態方程式と見なす方法（ここではこれを非 GASBAG 法と呼ぶ）の 2 種である。

5.3.3 解析体系及び各モデルの特徴

解析に用いた体系は、もんじゅ簡易体系の基準ケースである。

まず、ここで検討した GASBAG 法 (SBASE #1) と非 GASBAG 法 (SBAING) の 2 種について、各々の特徴を以下に示す。

GASBAG 法

PISCES コードの標準オプションであり、本章の基準ケースで使用している。圧力を炉心部ガス全体の体積の関数として入力する。炉心部ガス内では、運動方程式を解かないので、圧力は、密度・内部エネルギー等には依存せず、炉心部ガス全領域にわたって均一となる。

非 GASBAG 法

もんじゅの安全審査に採用した方法である。VENUS から与えられた $P-V$ 関係を初期体積 V_0 を仮定して、 $P - \frac{V}{V_0}$ 関係に置きかえ、全炉心の体積膨張率 $\frac{V}{V_0}$ を領域の局所的な密度

変化率 $\frac{\rho_0}{\rho}$ と読み替え、あたかも、通常の $P - \rho$ 関係を示す状態方程式と同等に見なして、各メッシュ毎の状態量を運動方程式を解いて算出する方法である。この方法によれば、炉心部領域内圧力は、均一とはならず、勾配を持ちながらナトリウムスラグを加速していく事になる。PISCES コード上では、各メッシュ毎にその密度を受け渡して、圧力を算出する外部サブルーチン EXEOSF を用いる。

以下に、両モデルの、物理的意味から見た長所及び短所をまとめる。

(1) VENUS からの $P - \Delta V$ 関係との関連

5.5.1 で記したように、VENUS から受け渡される $P - \Delta V$ 曲線は、あくまで熱力学的な最大仕事を算出するための仮想的なものであって、現実の高圧ガスの物理的膨張過程を表現するものではない。この意味からは、GASBAG 法は、作業流体としてのナトリウムを駆動する圧力源としてのみ炉心部を取り扱っているため、VENUS から得られる $P - \Delta V$ 曲線との物理的意味からの対応が明瞭である。

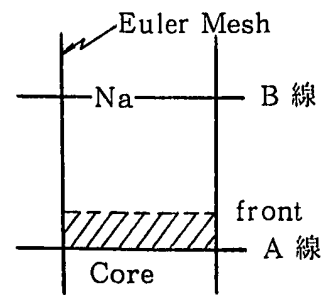
一方、非 GASBAG 法は、VENUS からの仮想的 $P - \Delta V$ 関係を強引に形だけは通常の状態方程式 ($P - \rho$ 関係) に置き換えている事にかかなりの無理がある。

(2) 初期体積・初期密度との関連

VENUS から受け渡される $P - \Delta V$ 関係は、2 相平衡状態を仮定して導出された (multi-packet 法) ものであるため、本質的に質量非保存であり、また PISCES 入力のための初期体積を設定する事が困難である。GASBAG 法では膨張過程での形状効果を除けば、その挙動は体積の増分のみに依存するため HCDA 気泡の初期条件による影響は本質的に少ないと考えられるが、非 GASBAG 法では本来不確定な初期体積・密度にその膨張過程が大きく依存する可能性がある。

(3) 膨張ガス内の圧力分布

高圧の炉心物質が急速に膨張していく場合には、気泡内でかなりの圧力勾配を持つ事が考えられ、この圧力分布の存在は、ナトリウムスラグの加速に影響を与える可能性がある。GASBAG 法では、膨張ガス内部の圧力分布を均一としているので、この点では不合理である。また、右図に示すように、あるメッシュ境界 (A 線) を超えた瞬間にその上部のセルは炉心部圧力と同一の圧力を持つために、スラグの加速作動点は、B 線に瞬時に移行し、このためナトリウムスラグの加速は常に過大評価される傾向にある。



一方、非 GASBAG 法では、膨張ガス内部の運動方程式を解いて圧力分布を算出し、かつ、ナトリウムと炉心物質の混合セルではその圧力平衡状態を計算しているため、状態方程式 ($P - \rho$ 関係) が合理的であるかどうかを別とすれば、ナトリウム加速に対する評価はより現実的であると考えられる。

本節の解析で共通に用いた炉心部パラメータは以下の通り。

- 初期体積 $V_0 = 2.335 \times 10^6 \text{ cm}^3$ (健全炉心の体積)
- 初期密度 $\rho_0 = 5.438 \text{ gr/cm}^3$ (健全炉心の平均密度)
- 初期内部エネルギー密度 $e_0 = 3.938 \times 10^{-4} \times 10^{12} \text{ erg/gr}$ (全炉心で合計 500 MJ。
しかし、計算上は相対変化のみに意味がある。)

5.5.4 解析結果

GASBAG法(SBASE #1)と非GASBAG法(SBA1NG)の主要な解析結果の比較を表

5.5.1に示す。

以下に、各項目についての比較結果を記す。

全体的挙動

図 5.5.1 に流体及び構造材の全体的挙動を 40 msec 時点で比較して示す。

- ① GASBAG法(以下G法と記す)に比べて非GASBAG法(以下非G法と記す)は、炉心部ガスの膨張が遅い。また、G法に比べて非G法は径方向への膨張が大きく抑制されている。
- ② 気泡の成長に対応して、G法の方が非G法よりもナトリウムスラグの上昇が早くなっている。
- ③ 非G法における炉容器腹部の変形が、G法と比べ極端に小さい。

HCDA 気泡内の圧力分布

図 5.5.2 に HCDA 気泡内の圧力分布の初期様子を 5 msec 毎に体系の中心軸に沿って示す。

ここで「混合メッシュ」と記してあるのは、このメッシュ点で HCDA 気泡とナトリウムが接触しており、2種の物質が共存している事を示す。その外側はナトリウム領域である。

- ① HCDA 気泡内の圧力は、非Gケースにおいて非常に大きな勾配を持っている。この圧力勾配は、特に膨張初期に顕著である。
- ② ナトリウムスラグへの加速力を決定する上側混合メッシュの圧力は、膨張初期において、G法の方が非G法よりもかなり高い。その後時刻と共に差が縮んできて、15 msec になると、スラグの加速圧力はわずかではあるが逆転している。これは、G法の方が早く膨張して内圧が減衰するのに対して、非G法の方は、膨張が押さえられているために、高い内圧を保っている事による。従って、同じ仕事量という観点で見れば、G法は非G法に比べて短時間でその放出を終える。即ち、G法の方が高爆速的であると言える。

この放出時間差は、後で記すように、非常に大きな影響を容器歪に与える。

炉心部ガスの膨張履歴

図 5.5.3 に、炉心部ガスの膨張履歴の比較を示す。

- ① 前項で述べた放出時間差は、同体積まで炉心部が膨張する時間差と同一である。例えば、初期体積 (2.3 m³) から 50 m³ までの期間を見ると G 法が 42 msec であるのに対して非 G 法は 54 msec であり、10 msec 以上の差がある。
- ② ここで重要なのは、最終到達膨張量にも大きな差がある事である。G 法は 100 m³ であるのに対して、非 G 法は 86 m³ である。これは、G 法の急速な初期炉心膨張が、炉容器の胴部を变形させ、炉容器の実効容積を大きくしている事による。

エネルギー履歴

図 5.5.4 に、各構成要素毎のエネルギー履歴を示す。

- ① スラグインパクト時刻は、G 法が 49.8 msec であるのに対して、非 G 法は 56.1 msec である。この差は、炉心部ガス膨張履歴の項で述べた同一体積膨張までの時間差 (~ 10 msec 以上) と比べると小さいが、これは、スラグインパクト以前までの炉容器胴部の膨張量の差 (~ 20 m³) のためである。
- ② スラグインパクト時には、炉心部は、初期 500 MJ の内部エネルギーのうち、G 法で 320 MJ、非 G 法で 210 MJ を放出している。その大まかな内訳を以下に示す。

Slug Impact 時		G 法 (50msec)	非G法(56msec)
Core	K. E.	10 MJ	30 MJ
	I. E.	180	290
Sodium	K. E.	130	110
	I. E.	80	40
炉容器	I. E.	100	30
合 計		500 MJ	500 MJ

このように、G 法では、炉容器に既に 100 MJ のエネルギーを与えているのに対し、非 G 法では 30 MJ しか与えていない。また、運動エネルギーについて、ナトリウムと炉心部を合わせた量は G 法・非 G 法とも 140 MJ であり、差がない事に注意すべきである。これは、これらの運動エネルギーがスラグインパクト後の炉容器の变形に使われることを考えると、インパクト後の炉容器の变形エネルギーの増分については、両者に大きな差がない事を暗示する。ここで、G 法の炉心部運動エネルギーが極端に小さいのは、G 法では内部の運動挙動を正確に解いていないためと考えられる。

- ③ スラグインパクト時から变形終了までの炉容器上部 (Material 3) の歪エネルギーの増加量は両者とも 120 MJ で差がない。これは、首下付近の歪量に、差があまり出ない事を意味する。

- ④ 変形終了時（100 msec）では、炉心部の初期 500 MJ の内部エネルギーの内、G法で 340 MJ、非G法で 250 MJ を放出している。その内訳を表 5.5.1 に示す。

先に示したスラグインパクト時のエネルギー配分との差から、両モデルとも、スラグインパクト時の全運動エネルギー 140 MJ（ナトリウム＋炉心部）が、炉容器部の歪エネルギーに約 130 MJ、UIS 部の歪エネルギーに約 10 MJ と配分された事がわかる。

- ⑤ さらに検討を要する項目として、ナトリウムの内部エネルギーがある。変形終了時ではG法は 100 MJ、非G法は 70 MJ と非常に大きい値を持っているが、このモデルによる差 30 MJ はもんじゅ耐衝撃解析では無視できない。これについては、5.6 節でさらに詳細に検討する。

炉容器の変形挙動

図 5.5.5 に炉容器胴部及び円錐部の歪履歴を示す。図 5.5.6 に 40 msec 及び 100 msec での炉容器の変形分布を示す。

- ① 胴部では、20 msec 以後（0.5% 歪以降）において、G法は大きく歪むのに対して、非G法は歪まない顕著な差がある事がわかる。0～20 msec で余り差がないのは、この間の歪は流体自身の動きによる動圧によるのではなく衝撃波によるものであるためと思われる。
- ② 円錐部では、G法はスラグインパクト以前にもある程度（～4%）歪んでいるのに対して、非G法はその 1/2 程度しか歪んでいない。ところが、スラグインパクト以降に非G法は大きく歪み、結局最終状態では、同程度の歪となる。これは、エネルギー履歴の項で述べた事と矛盾するようであるが、図 5.5.6 を見るとわかるように、G法に比べて非G法の首下部の歪は、より回転ブラグから遠い点で大きい。すなわち炉容器全体で受けた歪エネルギーは同じでも、非G法の場合はそれがより円錐部（最大歪位置）に局在する傾向がみられる。これは非G法においては、スラグインパクト時の全流体の運動エネルギー 140 MJ のうち 30 MJ が炉心部のそれである事と関係があるかも知れない。
- ③ 図 5.5.6 に見られるように、スラグインパクト以前に、炉容器胴部は、G法の方が非G法よりも非常に大きく歪む。これは、圧力分布履歴の項で記したように、初期の膨張速度の差による。初期の急速な膨張による放出エネルギーは、上方向にスラグを加速すると同時に、径方向への衝撃圧による仕事も行なう。非G法のような緩慢な膨張はその仕事の大部分をスラグ加速で費す。これは、丁度、高爆速火薬と低爆速火薬の差と同様である。
- ④ しかし、最終変形での歪最大値は、G法が $10.9\% \Delta l/l$ であるのに対して、非G法は $11.6\% \Delta l/l$ と逆に非G法の方が大きい。この理由は前に述べたが、この結果から見る限り、最大歪に関しては、必ずしも GASBAG 法の方が保守側であるとは言い切れない。

5.5.5 結論

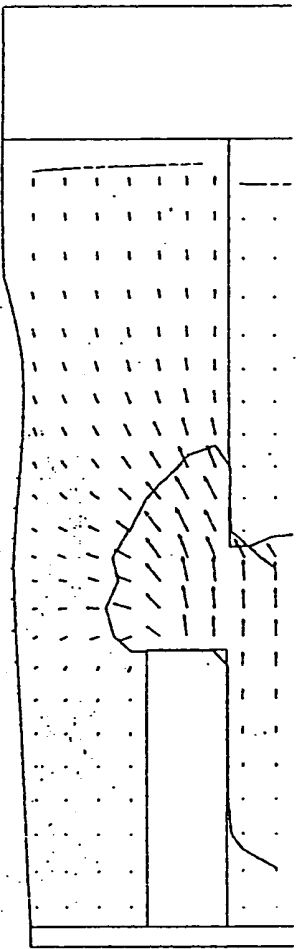
以上の検討より以下の結論が導かれる。

- (1) GASBAG法に比べて非GASBAG法は、炉心部ガス内の圧力勾配を考慮する事ができる。この圧力勾配は膨張初期に特に大きく、5 msec時点で見ると、ナトリウムスラグとの境界での圧力がG法では約330 barなのに対して、非G法では約220 barと大きく低下する。
- (2) このために、G法に比べて非G法では、炉心部ガスの膨張（即ち、エネルギーの放出）が相当に緩慢になる。これは単にスラグインパクト時刻を遅らせる（約6 msec）だけでなく、炉容器の胴部の歪を極端に小さく（約1/3）する。これは、丁度、高爆速火薬と低爆速火薬の差に似ている。
- (3) しかし、スラグインパクト時に系が持っている運動エネルギーは、両方法ともほぼ同じ140 MJである。これは、スラグインパクトによってその歪が起こる炉容器首下部については両者とも同程度である事を示す。
- 但し、詳細に見ると、系の運動エネルギーのうち、G法はその9割以上がナトリウムのそれであるのに対して、非G法では8割にすぎず、炉心部ガスの運動エネルギーが大きな比重を占める。もし、炉心部の運動を問題にする場合には、G法を用いてはならない。
- (4) どちらが保守的かという議論をする場合、その対象項目を明らかにしなければならない。もし、炉容器全体の歪エネルギーの大小を問題とするなら、明らかにG法の方が保守的である。しかし、炉容器の局所的な最大歪を問題にする場合には、今回の解析結果がそうであったように、G法の方が非保守的である可能性もある。また、非G法はエネルギーの放出が遅いため、高い圧力を長時間炉心部に保持しており、バレル・炉心支持板等の炉心近傍構造物の健全性を問題とする場合には、非G法の方が保守的であろう。
- (5) 物理的意味付けから考えれば、非G法は、元々炉心全体でしか取り扱えない $P - \Delta V$ 関係をあたかも局所的状態量によって表現される通常の状態方程式（ $P - \rho$ 関係）のように取り扱っている点で非常に飛躍がある。また、このように扱うと、炉心部の挙動・初期密度・初期体積等に大きく、その適用結果が影響を受けてしまう可能性がある。
- また、G法は本来存在しているはずの圧力勾配を考慮していない点及び炉心内部の運動をまともに解いていない点で問題があるが、逆に、このために本来VENUSからは受け渡されない初期密度・初期体積等に対して感度が鈍い「利点」がある。
- (6) 従って、どちらが保守的かという議論は別にすれば、G法の方が本来のVENUSからの $P - \Delta V$ 関係に含まれる意味（質量非保存・初期体積未定義）をより良く保存していて、しかも、不確定要素による効果が少ないと考えられる。

Table 5.5.1 Summary of Energy Source Modeling Survey
 - Monju Simple Model
 by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name			SBASE#1	SBAING
Energy Source Model			GASBAG Model	Non-GASBAG Model
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	141 (49.8)	138 (56.1)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	0.0	-0.5
	Maximum Strain of Vessel (position)	% Δ l/l (cm)	10.9 (800)	11.6 (798)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% Δ l/l	4.7	1.8
	Reactor Core Release Energy	MJ	-340	-254
	Kinetic Energy	MJ	1	8
	Sodium Kinetic Energy	MJ	3	5
	Internal Energy	MJ	98	67
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	225	162
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	12	11	

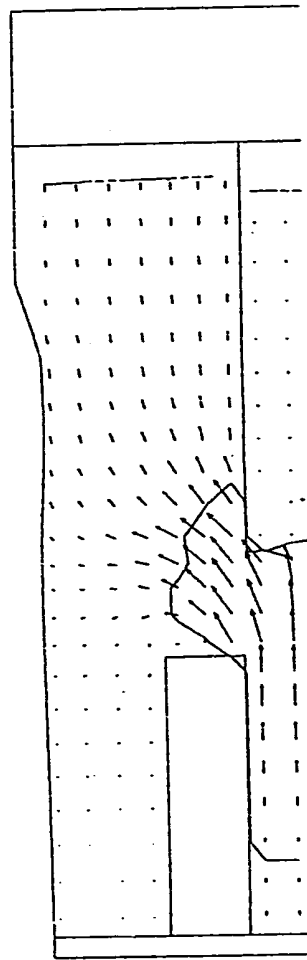
HCDR(S02MJ) - S001(SBASE 1)
OUTLINE OF EXPLO TIME 4.001 E4



CYCLE 1020

(a) GASBAG Model

HCDR(S02MJ) - S001(SBASE 1)
OUTLINE OF EXPLO TIME 4.001 E4



CYCLE 1020

(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.1 Whole Configuration at 40 msec - Energy Source Modeling Survey -

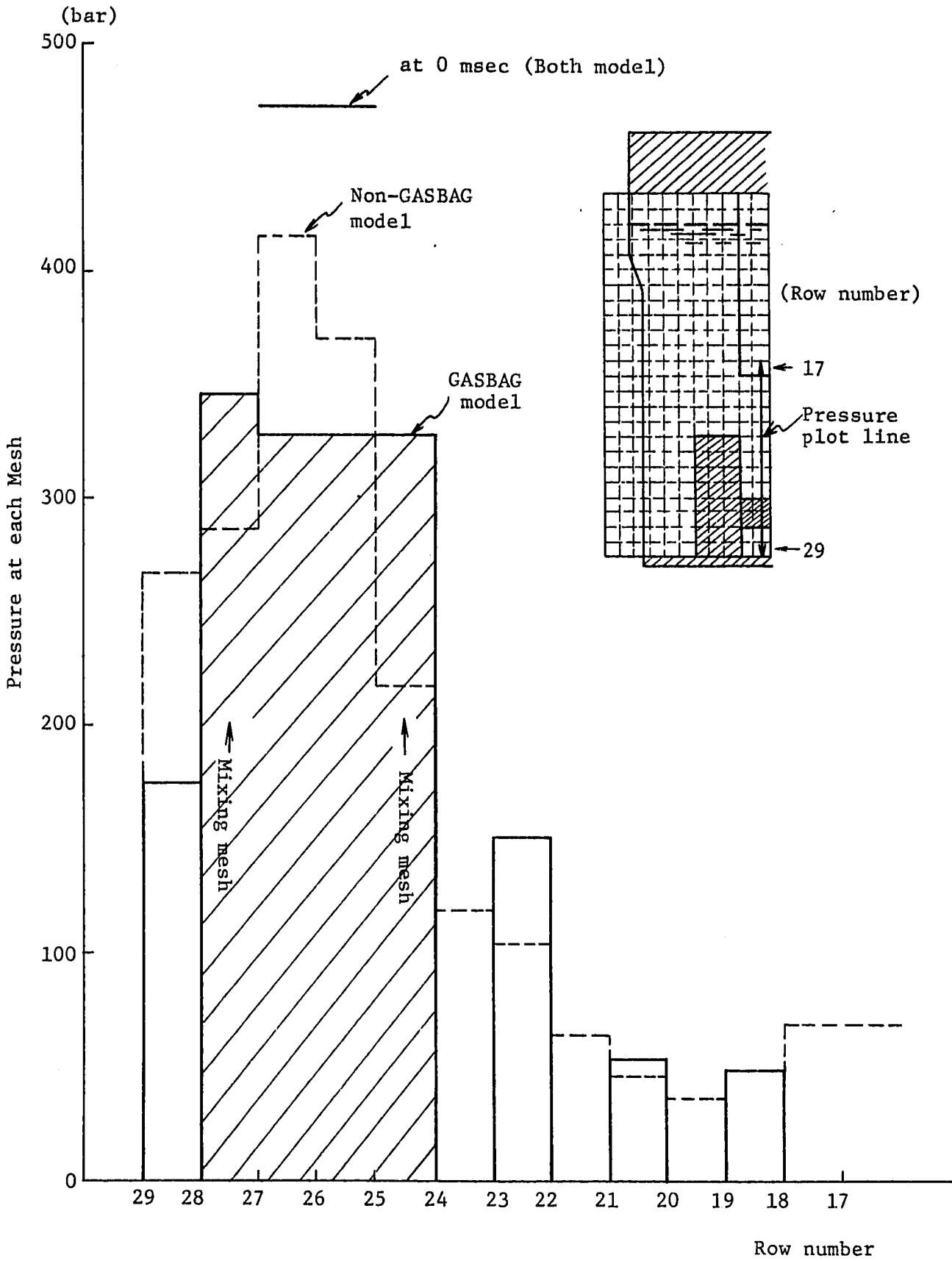


Fig. 5.5.2 Pressure Distribution along Center Column (at 5 msec)
 - Energy Source Modeling Survey -

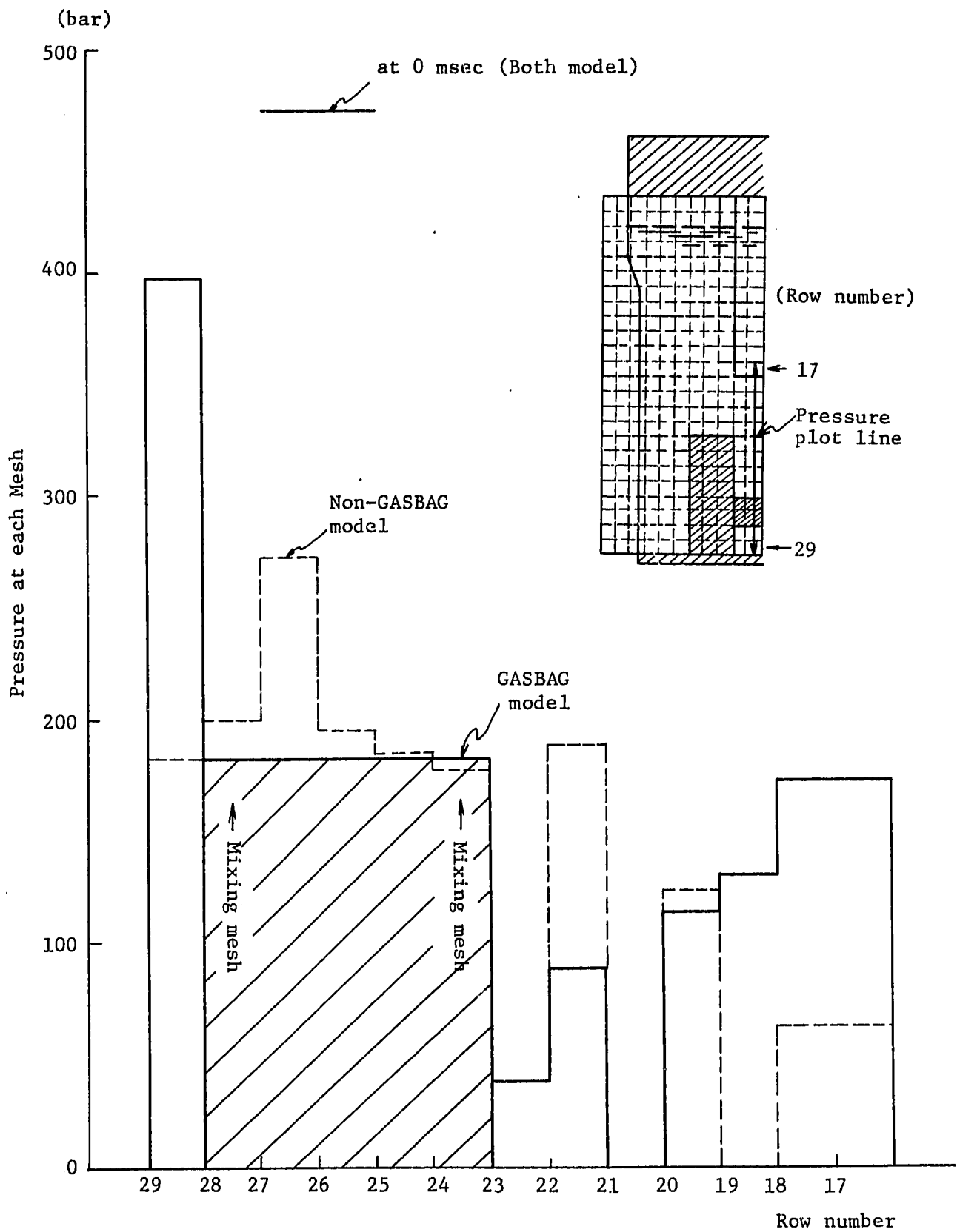


Fig. 5.5.2 Cont'd (at 10 msec)

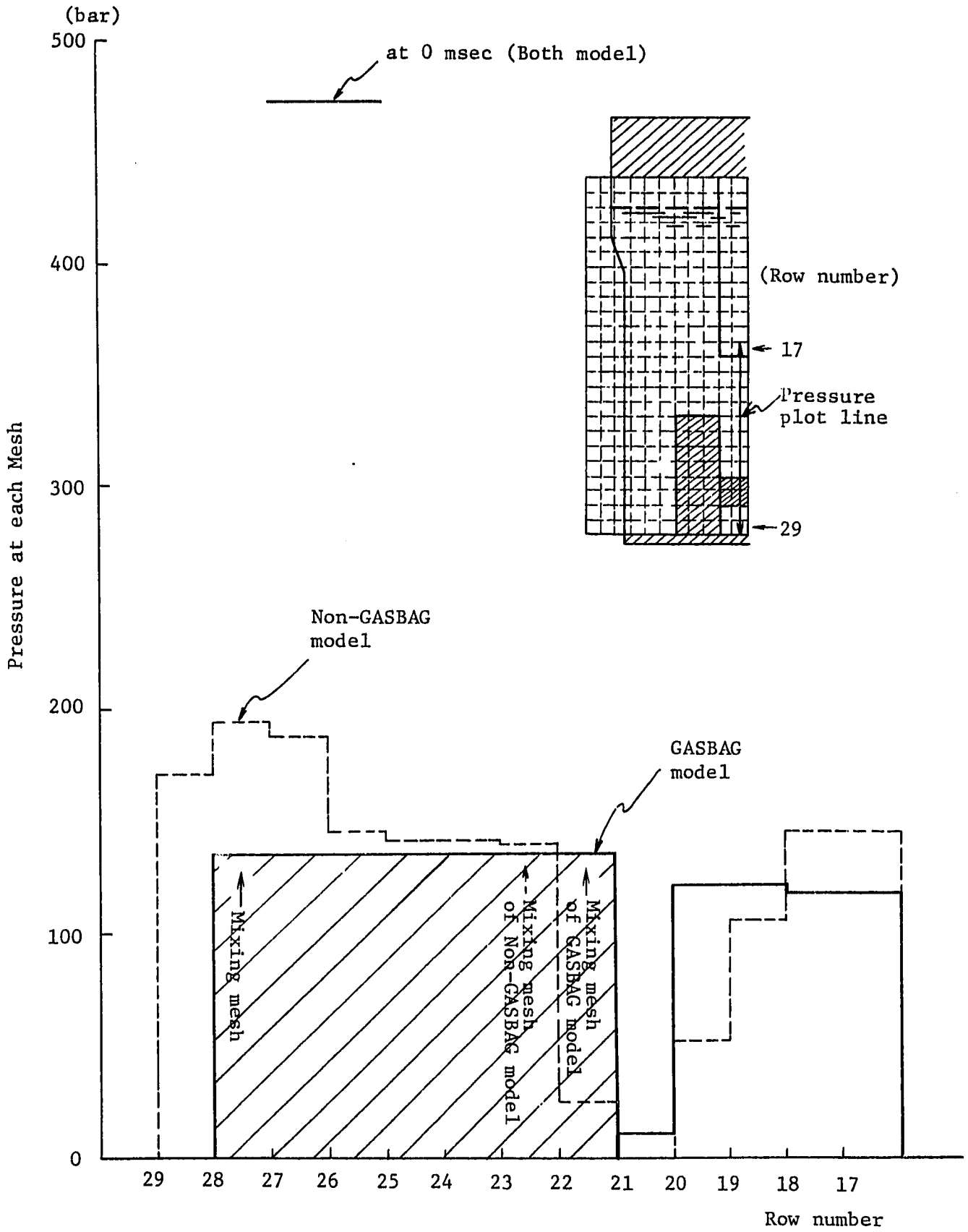


Fig. 5.5.2 Cont'd (at 15 msec)

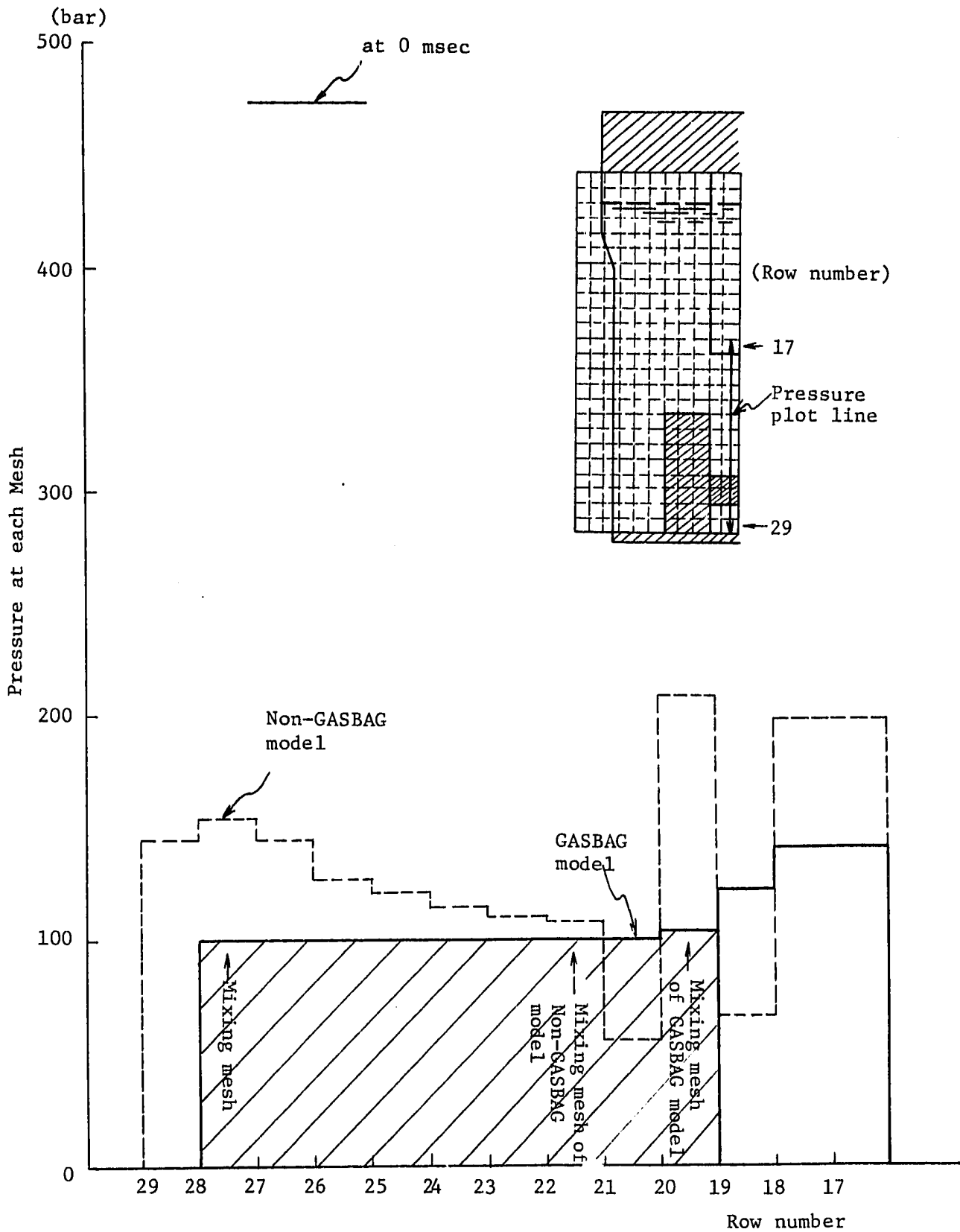
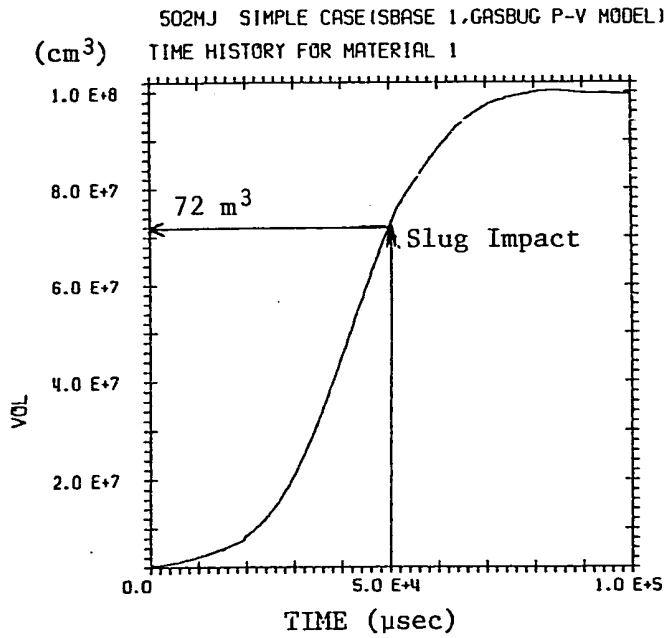
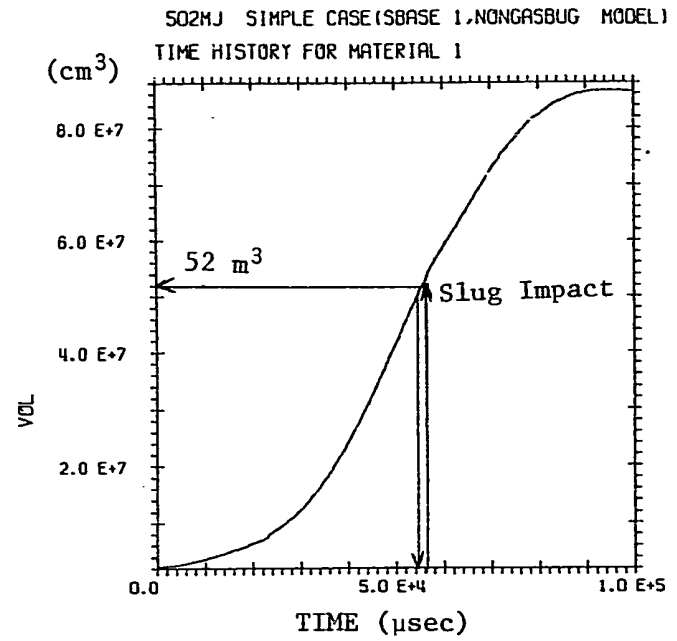


Fig. 5.5.2 Cont'd (at 20 msec)



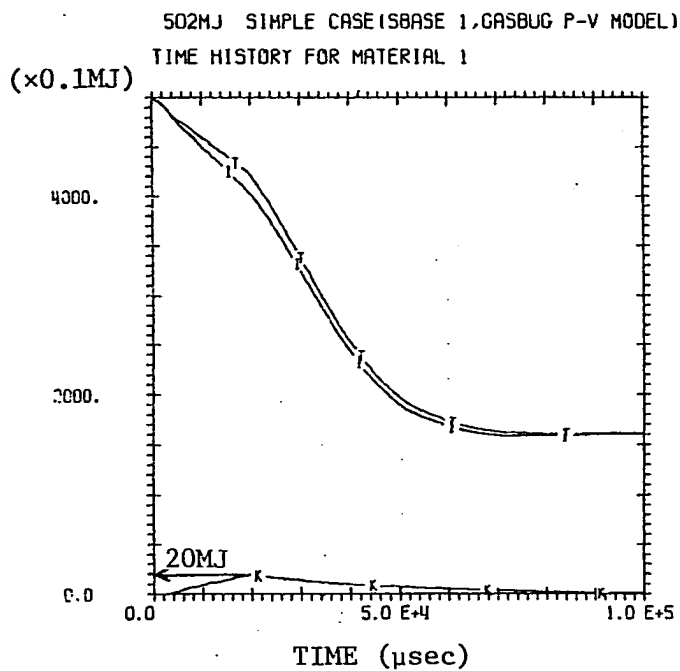
(a) GASBAG Model



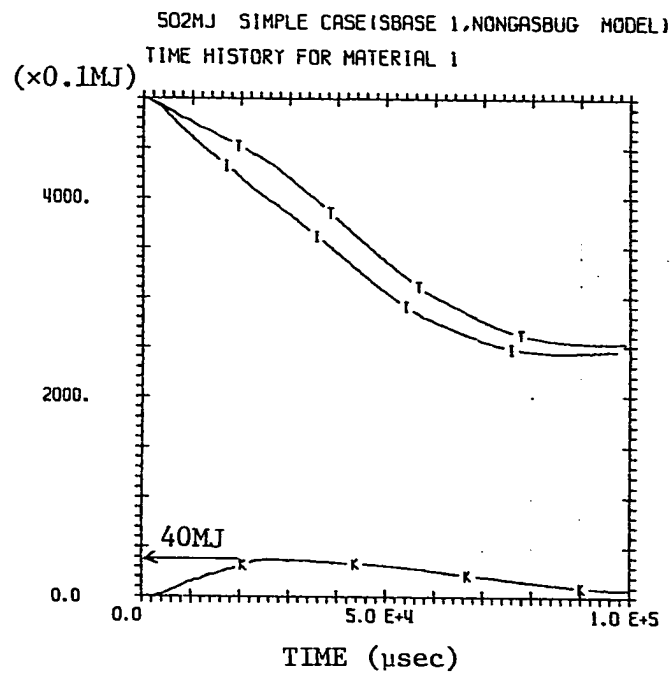
(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.3 Expansion History of Core Bubble
- Energy Source Modeling Survey -

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 1 (Core)
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 1 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 1 (")



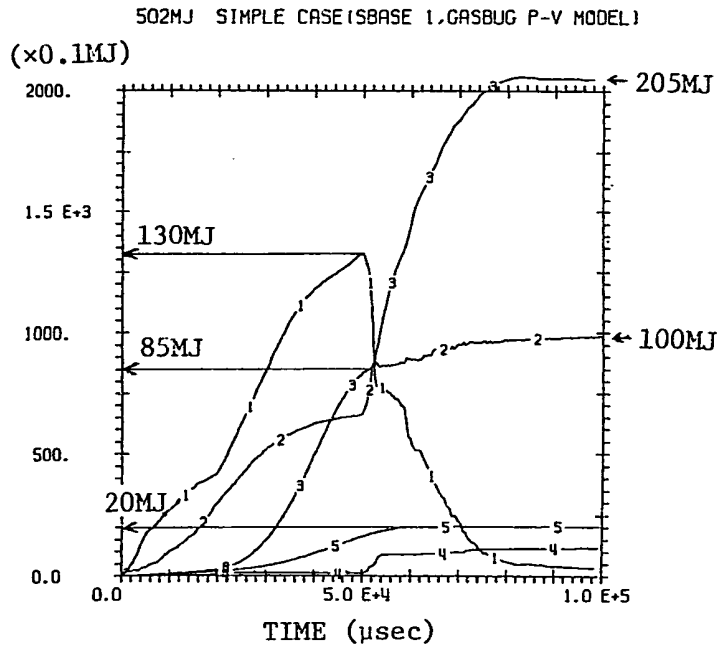
(a) GASBAG Model



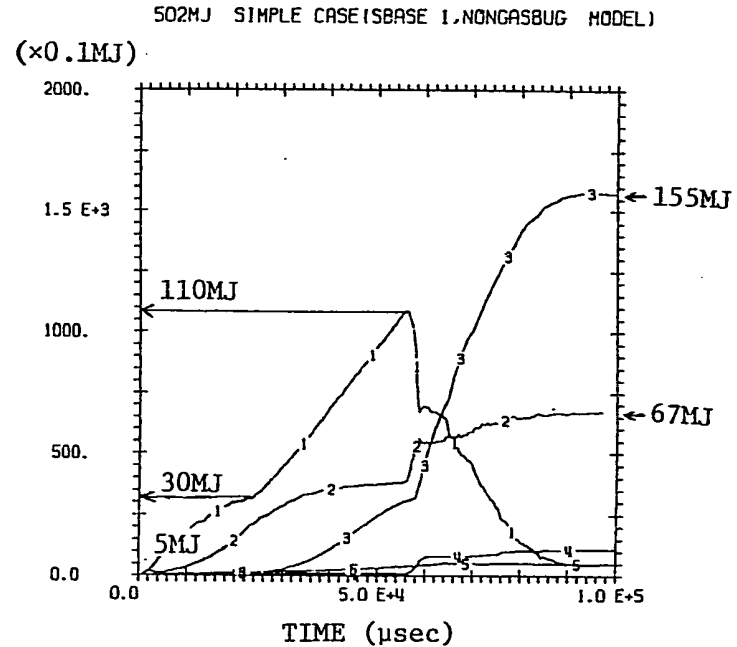
(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.4 Energy History of Each Material
 - Energy Source Modeling Survey -

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Upper Reactor Vessel)
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (UIS)
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lower Reactor Vessel)

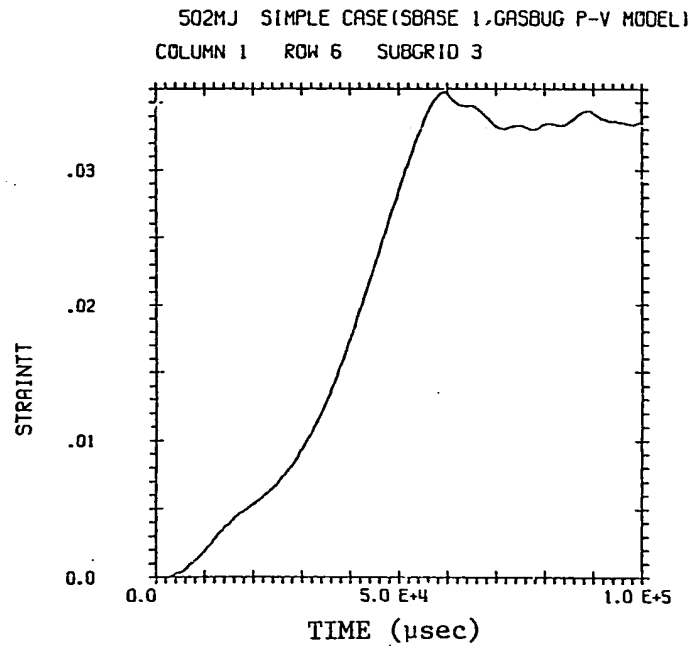


(a) GASBAG Model

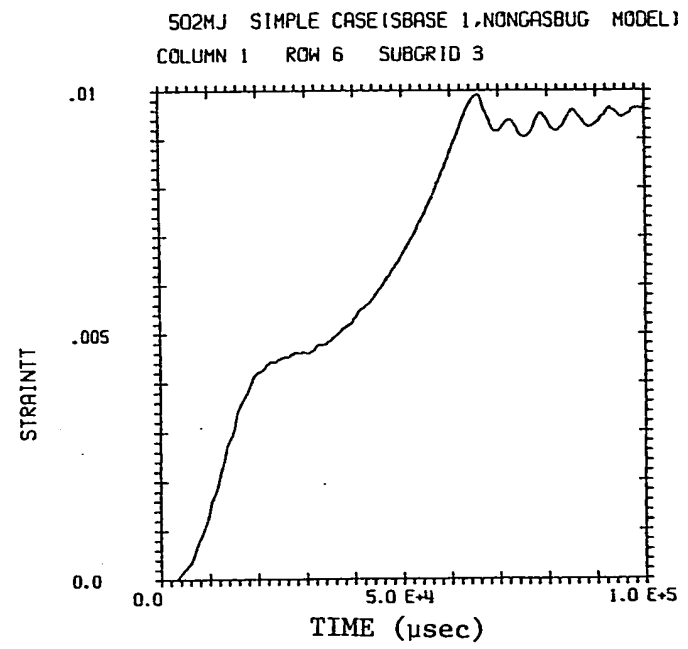


(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.4 (Cont'd)

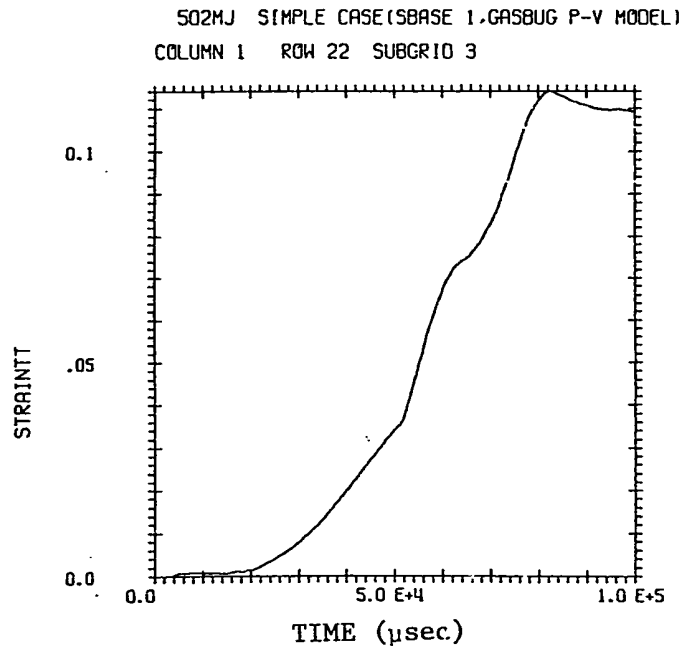


(a) GASBAG Model

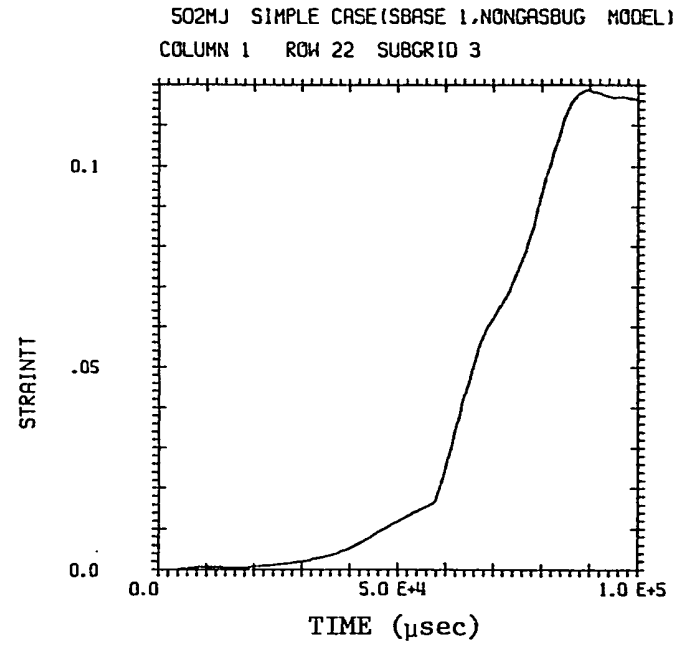


(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.5 Strain History of Reactor Vessel
(at Inner Barrel Lower Edge Position)
- Energy Source Modeling Survey -

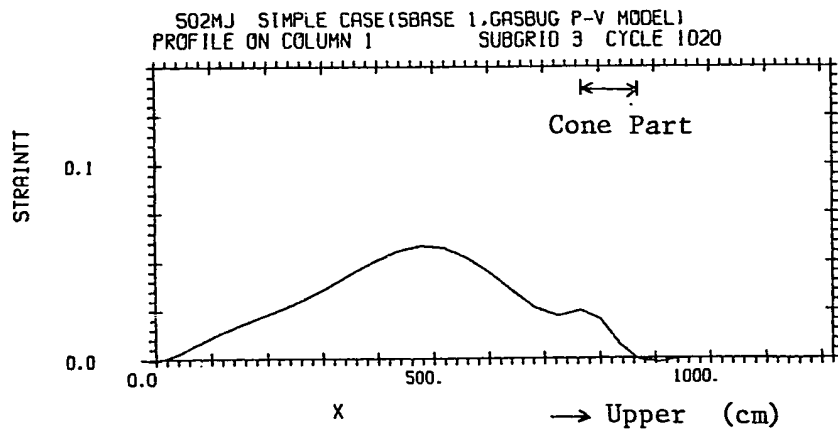


(a) GASBAG Model

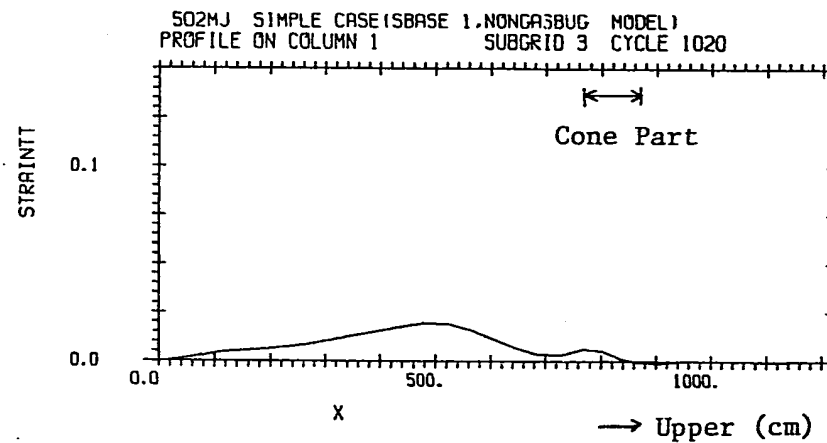


(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.5 Cont'd
(at Inner Barrel Upper Edge Position)

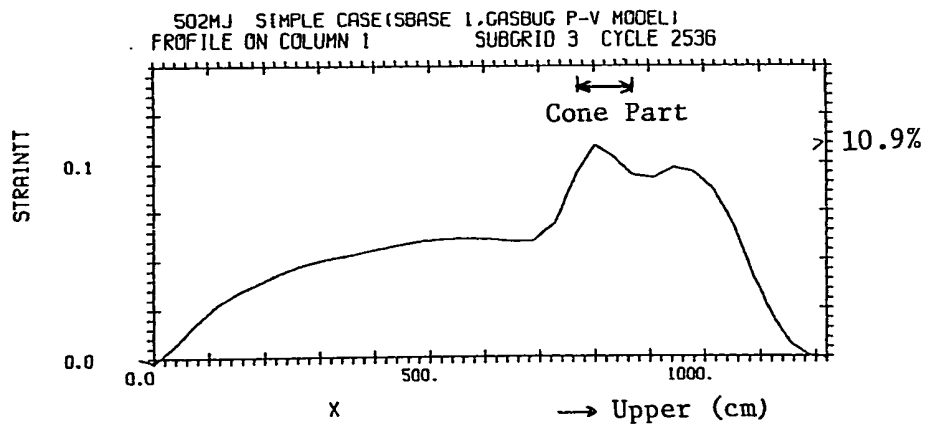


(a) GASBAG Model

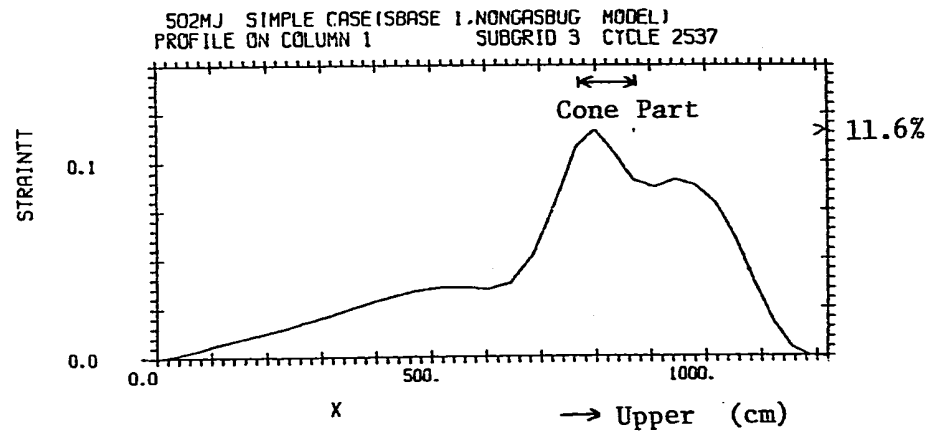


(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.6 Whole Deformed Shape of Reactor Vessel
 (at 40 msec)
 - Energy Source Modeling Survey -



(a) GASBAG Model



(b) Non-GASBAG Model

Fig. 5.5.6 Cont'd
 (at 100 msec)

5.6 エネルギー輸送モデル及び流体の内部エネルギー

5.6.1 目的

4.8 節で述べたように、PISCES-2 DELKには、エネルギー輸送モデルとして、total energy transport オプション（以下 total オプションと呼ぶ）internal energy transport オプション（以下 internal オプションと呼ぶ）の2種があるが、このどちらを解析に採用するかによって、流体の内部エネルギーの挙動が大きく異なる事が判明した。本節は、PISCES-2 DELK コード内における流体の内部エネルギーの意味を解明し、耐衝撃解析で使用すべきエネルギー輸送モデルはどちらかを決定する事を目的としている。手法としては、まず理論解のわかっている単純な体系での検討を行ない、その後、原型炉実機体系の簡易モデルでの解析を行なう。

5.6.2 拡大流・縮小流によるモデル解析

5.6.2.1 理論解

右図のように、管の断面積が不連続に変化しているような体系での流れを考える。流れが、管断面積の小さい方から大きい方に向かう拡大流の場合には、管の接合部のすみの所に渦流が生じ、そのためにエネルギーが失われる（圧力損失）。

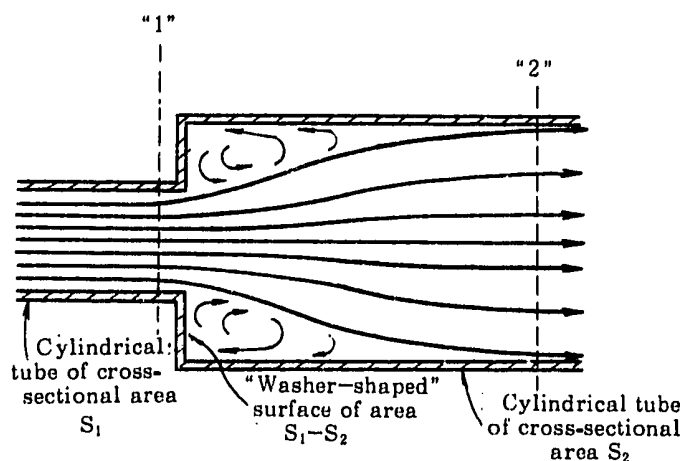


Fig. 5.6.1 Flow in a Sudden Enlargement

1) steady sudden expansion flow におけるエネルギー

散逸は以下のように見積る事ができる。⁽⁵⁻¹⁾ ⁽⁵⁻²⁾

(mass balance)

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 \quad (5.6.1)$$

ここで、 $\beta \equiv \frac{S_1}{S_2}$ 、 $\rho_1 = \rho_2$ とすると

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{\beta} \quad (5.6.2)$$

(moment balance)

図 5.6.1 の点線で囲まれた領域にかかる力Fを考える。

$$F = \rho v_1^2 S_1 - \rho v_2^2 S_2 + P_1 S_1 - P_2 S_2 \quad (5.6.3)$$

このFは、対象領域の左側での“washer-shaped surface”でのpressure forceに等しい。

$$F = -P_1 (S_2 - S_1) \quad (5.6.4)$$

(5.6.3)式と(5.6.4)式から

$$P_2 - P_1 = \rho v_2^2 \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right) \quad (5.6.5)$$

となる。

(energy dissipation)

非粘性流体での広義のBernoulli equationは下表で表わされる。

$$\frac{1}{2} v_1^2 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{1}{2} v_2^2 + \frac{P_2}{\rho} + E_v \quad (5.6.6)$$

ここで、 E_v : 散逸項 (dissipation energy rate per unit mass rate of flow)

(5.6.6)式に(5.6.2)・(5.6.5)式を代入すると

$$E_v = \frac{1}{2} v_2^2 \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)^2 \quad (5.6.7)$$

が得られる。

すなわち、steady sudden expansion flowでのfriction loss factor(f)を

$$f = \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)^2 \quad (5.6.8)$$

とすると

$$E_v = \frac{1}{2} v_2^2 f \quad (5.6.9)$$

となる。

(2) steady sudden contraction

flowの概念図を図5.6.2に示す。

理論的には、拡大流の場合と異って縮小流の場合には渦流が殆んどできない ($\omega \approx 0$, ω : 渦度)。従ってBernoulliの定理がここではほぼ成り立つ(A部)。

しかし、右図に示すように、流れは管の断面積のすぐ下流で実効断面積 S_0 が細管の断面積 S_1 よりも小さ

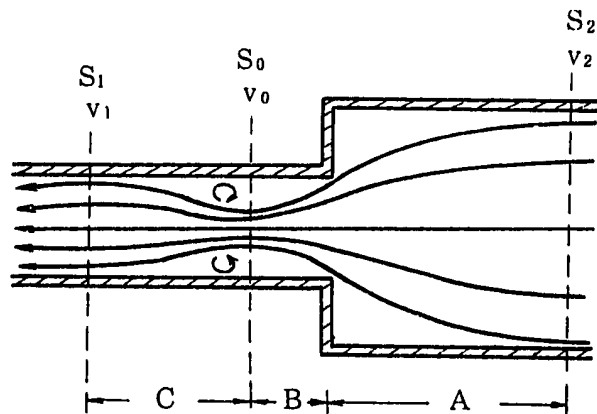


Fig. 5.6.2 Flow in a Sudden Contraction

くなる縮流を生じる (B 部)。その後流体は拡大して、細管の断面積 S_1 を満たす (C 部)。ここで、流路縮小部から縮流までの領域 (B 部) での圧力損失は無視できるほど小さいが、縮流部から流体が細管を満たすまでの間 (C 部) での拡大流において、圧力損失が生じる。⁽⁵⁻³⁾

実際には、縮流断面積 S_0 を知る事はできないので、friction loss factor (f) は管断面積 $\beta (= \frac{S_1}{S_2})$ を用いて下式のように表わす事が推奨されている。⁽⁵⁻¹⁾

$$f = 0.45 (1 - \beta) \dots\dots\dots (5.6.10)$$

とすると散逸項は

$$E_v = \frac{1}{2} v_1^2 f \dots\dots\dots (5.6.11)$$

となる。

5.6.2.2 モデル解析体系

図 5.6.3 に拡大流・縮小流を解析した体系を示す。体系は軸対称であり、細管の半径は 100 cm、太管の半径は 200 cm とする。流速は細管で 4000 cm/sec、太管で 1000 cm/sec とし、初期密度は 1 gr/cm³ とした。流れる方向は、拡大流の場合を左から右に、縮小流の場合右から左に向かう。これらの寸法・流速は、耐衝撃体系とほぼ同じ程度のスケールである。

この体系で初期遷移状態を過ぎてからの体系全体の内部エネルギーの増加速度 \dot{E}_I を friction loss factor を用いて各々算出すると以下の様になる。

(拡大流)

$$\text{mass flux: } \overline{\rho v S} = 13 \times 10^2 \text{ (gr/}\mu\text{sec)}$$

(5.6.7) 式から

$$\dot{E}_I = \frac{1}{2} v_2^2 \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right)^2 \overline{\rho v S} = 5.7 \times 10^{-2} \text{ (MJ/msec)}$$

(縮小流)

$$\text{mass flux: } \overline{\rho v S} = 13 \times 10^2 \text{ (gr/}\mu\text{sec)}$$

(5.6.11) 式から

$$\dot{E}_I = \frac{1}{2} v_1^2 \cdot 0.45 (1 - \beta) \overline{\rho v S} = 34 \times 10^{-2} \text{ (MJ/msec)}$$

5.6.2.3 モデル解析結果

計算したケースは、拡大流・縮小流と Total・Internal energy transport を組み合わせた以下の 4 ケースである。

(Case Name)	(Flow Pattern)	(Energy Transport Option)
INTE # 11	Expansion	Total
INTE # 12	Contraction	"
INTE # 13	Expansion	Internal
INTE # 14	Contraction	"

表 5.6.1 に 50 msec までの解析結果の要約を示す。図 5.6.4 に各ケースでの流れの様子を初期遷移状態を過ぎた 30 msec 時点で示す。図 5.6.5 に各ケースのエネルギー履歴を示す。

以下に結果の概要をまとめる。

① 拡大流のケースでは管断面変化部の下流の隅に渦流ができているのが観察できる。一方縮小流のケースでは、渦流は見られない。この流れの様子は total オプション・internal オプションとも全く同一であり、妥当である。

② 内部エネルギーの増加の様子を見ると、いずれのケースも最初の数 msec で急激に立ち上がり、その後、次第に落ち着いてくる。これは、初期条件の細管・太管一様速度から安定した状態の流れに移行する遷移状態のためである。従って、本節の検討対象としては、安定した流れになっていると見られる 20～50 msec の間をとる事にする。

③ 拡大流の total オプション (INTE # 11) では、20～50 msec の全エネルギーバランスは +3% と良好であり、この間の平均内部エネルギー増加率 ($\frac{\Delta E_I}{\Delta t}$) は 3.6×10^{-2} (MJ/msec) である。これは理論解 5.7×10^{-2} (MJ/msec) の約 6 割に当たる。

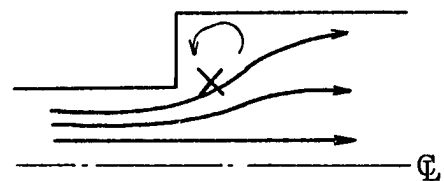
一方、拡大流の internal オプション (INTE # 13) では 20～50 msec の全エネルギーバランスは -10% とかなりくずれている。 $\frac{\Delta E_I}{\Delta t}$ も 3.6×10^{-3} (MJ/msec) と理論解の 1 割以下しかない。

④ 縮小流の total オプション (INTE # 12) では、20～50 msec の全エネルギーバランスは +1% と良好であり、この間の平均内部エネルギー増加率 ($\frac{\Delta E_I}{\Delta t}$) は 2.7×10^{-2} (MJ/msec) である。これは、理論解 3.4×10^{-2} (MJ/msec) の約 8 割に当たる。

一方、縮小流の internal オプション (INTE # 14) では、20～50 msec の全エネルギーバランスは -11% とかなりくずれており、 $\frac{\Delta E_I}{\Delta t}$ も -5.4×10^{-4} (MJ/msec) とほぼ零である。

⑤ 図 5.6.6 に、拡大流 (total オプション) での内部エネルギー分布を示す。

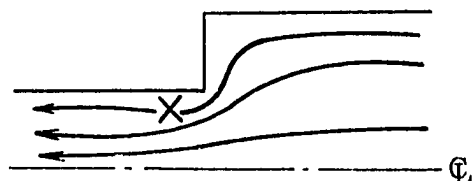
右図のように流れが不連続断面を出て拡大した直後で渦流と接触している付近 (×印) で内部エネルギーの最大発生があり、この結果は予想と一致する。



(* なお、細管上流側の内部エネルギーの大きい値は、定常流になるまでの遷移状態で発生したもので、ここでは関係がない。)

⑥ 図 5.6.7 に、縮小流 (total オプション) での内部エネルギー分布を示す。右図のよう

に流れが不連続断面を出て縮小した直後の細管付近 (×印) で内部エネルギーの最大発生があり、この結果も妥当である。



5.6.2.4 メッシュサイズのエネルギー輸送に与える影響

これまでの検討で、拡大流・縮小流での内部エネルギーの増加は、渦流の存在にその原因がある事が推定できる。もし、渦流が問題になるのであれば、メッシュサイズが粗い場合には、その微細な流れの様子を模擬できないため、内部エネルギーの評価に大きな影響が出る可能性がある。ここでは、この効果を定量的に見るため、今まで用いてきた拡大流・縮小流モデルの標準体系 (INTE #11～#14) に対して、メッシュサイズを2倍にした粗メッシュ体系 (INTE #31～#34)、メッシュサイズを1/2にした詳細メッシュ体系 (INTE #41～44) の計算を行ない比較した。

粗メッシュ体系に対する結果の要約を表 5.6.2 に、詳細メッシュ体系の要約を表 5.6.3 に示す。また、図 5.6.8～9 に、各々の流れの様子を total オプションについて示す。

- ① 拡大流の場合、詳細メッシュ体系では、管の接合部の隅の所にはっきりと渦流が認められるが、メッシュが粗くなるに従って次第に不明瞭になっていく。全エネルギーバランスは total オプションにおいては、詳細メッシュ体系 (INTE #41) 及び標準メッシュ体系 (INTE #11) では約+2%と良好であるが、粗メッシュ体系 (INTE #31) では+6%とややくずれている。内部エネルギーの増加率 ($\frac{\Delta E_I}{\Delta t}$) も詳細メッシュ体系及び標準メッシュ体系では約 $3 \times 10^{-2} \text{MJ/msec}$ と良く一致しているのに対して、粗メッシュ体系では $6 \times 10^{-2} \text{MJ/msec}$ とかなり違っている。

運動エネルギーについては、3 ケースともあまり差はない (5.9～5.3 MJ at 50 msec) がより詳細に見るとメッシュが細くなるほど運動エネルギーは大きくなる。即ち、5.2 節で結論されたように、より「動きやすく」なる。

- ② 縮小流の total オプションにおいては、3 ケースとも全エネルギーバランスは約+1%と良好で、内部エネルギーの増加率も約 $3 \times 10^{-2} \text{MJ/msec}$ であまり差はなかった。
- ③ internal オプションでは拡大流・縮小流とも全エネルギーバランスが大きく (約-20%) くずれており、その分内部エネルギーの増加がない。運動エネルギー及び流れの様子は total オプションの結果と全く同一である。

以上の事から、エネルギーバランスが大きくくずれない限り、エネルギー輸送に対するメッシュサイズの影響はむしろ小さいと言える。

5.6.3 原型炉簡易体系による解析

もんじゅ実機の簡易解析モデルを用いて、エネルギー輸送モデルが計算結果に与える影響を見た。

解析ケースは、total energy transport モデル (SBASE #1) と、internal energy transport モデル (TRAN #01) の2 ケースで、両者ともその幾何体系・材料構成等は、全く同一である。

表 5.6.4 に、主要計算結果の比較を示す。

図 5.6.10 に、系の全エネルギー履歴の比較を示す。

図 5.6.11 に、炉心部ガスのエネルギー履歴の比較を示す。

図 5.6.12 に、各構成要素のエネルギー履歴の比較を示す。

図 5.6.13 に、ナトリウムの体積履歴の比較を示す。

図 5.6.14 に、total モデルでの内部エネルギーの分布を 20 msec 時点で示す。

以下に、両モデルによる比較結果をまとめる。

- (1) total energy transport モデルでは、系の全エネルギーのバランスは非常に良好であるのに対して、internal energy transport モデルでは、計算終了時まで約 105 MJ (全放出エネルギーの 29%) のエネルギーが体系から喪失している。
- (2) 両者のエネルギー配分のうち、機械的エネルギー(ナトリウムの運動エネルギー及び構造材の歪エネルギー)については、その値は完全に一致している。
- (3) 両者のエネルギーバランスの差は、Euler material (ナトリウム部及び炉心部) の内部エネルギーで発生している。105 MJ の差の内訳は、ナトリウムが 85 MJ、炉心部が 20 MJ であり、いずれも total モデルの方がより大きい内部エネルギー発生となっている。
- (4) スラグインパクト時のナトリウムの最大圧縮率は両ケースとも 0.21% dV/V であり、これを $\int Pdv$ によってナトリウムの状態方程式から最大圧縮エネルギーを求めると約 3.4 MJ となる。

一方、ナトリウムのスラグインパクト時の内部エネルギーの立上りは、両者とも約 20 MJ となっており、可逆的な圧縮の他に、非可逆的なエネルギーの散逸が発生したと考えられる。ここで注目されるのは、internal モデルでは、スラグインパクト直後に約 5 MJ の内部エネルギーの減少(圧縮エネルギーの解放)が見られるのに対して、total モデルでは殆んどそのような現象がない事である。

- (5) ナトリウムの内部エネルギー履歴を見ると、計算開始時からスラグインパクト時(0~50 msec)の間に、total モデルでは 65 MJ の内部エネルギー増加があるのに対して、internal モデルでは殆んど増加していないという顕著な差がある。total モデルでの 20 msec 時点での内部エネルギー分布を示したものが図 5.6.14 である。これから、スラグインパクト前までのナトリウム内部エネルギーの増加は、その大部分が径ブランケット部と UIS の間を通してナトリウムが拡大流となる場所で発生している事がわかる。

5.6.4 人工粘性の影響

4.3 節で記したように、PISCES コードでは、衝撃波を人工的に散逸させるために、1 次と 2 次の人工粘性 (C_L, C_Q) による圧力項 Q を用いている。この Q を含んだ内部エネルギーの算出式を次に示す。

$$e^n = e^{n-1} - \left(\frac{p^{n-1} + p^n}{2} + Q \right) \frac{(\vec{v} \cdot \vec{u}) \Delta t}{\rho^n} + \Delta z$$

Δz : other Viscosity (PISCES では 0)

この散逸項が、流体の内部エネルギーの挙動に悪影響を及ぼしていない事を確認するために、ナトリウムの一次人工粘性係数 C_L をデフォルト値 (= 0.1) から 0.0 に変えたケース (CL # 01)、二次人工粘性係数 C_Q をデフォルト値 (= 1.0) から 0.0 に変えたケース (CQ # 01) を計算し、その結果を基準ケース (SBASE # 1) と比較した。エネルギー輸送モデルは全て total energy transport オプションである。

結果を表 5.6.5 に示す。

- ① 1次人工粘性係数 C_L の変化による影響は全くない。
 - ② 2次人工粘性係数 C_Q を変化した事により、わずかな効果が見られるが、その値は有効数字の4桁目程度であり、無視できる。
- 従って、今問題となっている内部エネルギーの挙動に関しては、人工粘性は無関係である。

5.6.5 初期内部エネルギーの影響

本章で用いている原型炉実機の簡易体系では、HCDA気泡の初期条件として、大気圧まで膨張する時に外部になす仕事量を炉心部の内部エネルギーの形で入力している。しかし、炉心部ガスの外部に対するエネルギー源としての特性は、GASBAG法におけるP-V関係のみで規定されており、またナトリウムの状態方程式も本来は $P = P(\rho, e)$ として定義されるがここでは $P = P(\rho)$ として内部エネルギーには依存しない状態方程式としている事から、PISCESの解析結果には、初期内部エネルギーの値は全く無関係なのではないかという疑問があった。

この推定を確認するために、P-V関係その他は一切変更せずに、炉心部内部エネルギーの初期値を $1/2$ (= 250 MJ) として、total energy transport オプション (TRAN # 03) 及び internal energy transport オプション (TRAN # 02) で各々計算してみた。

結果を表 5.6.6 に示す。

予想通り、どちらのケースでも、構造材歪・ナトリウム運動エネルギー等には全く変化は見られず、単に炉心部の内部エネルギーがすべての時刻において 250 MJ 減じられている (平行移動している) だけである事が判明した。即ち、耐衝撃体系においては、内部エネルギーはその相対変化のみに意味があると言える。

5.6.6 PISCES - 2 DL と PISCES - 2 DELK の比較

1980年の委託研究⁽⁵⁻⁴⁾で、SRI実験FV101体系を対象として、LagrangianコードであるPISCES-2 DLと、LagrangianとEulerianのカップリングであるPJSCES-2 DELK

の計算を比較した業果が報告されている。本章の内部エネルギー問題が、PISCES-2 DELK に特有なものなのか、また、他のLagrangianコードでも起こる事なのかを知るために、図 5.6.15 に、作業流体(water)のエネルギー履歴を両者を比較して示す。

- (1) PISCES-2 DL では、スラグインパクト時点までは、内部エネルギーは殆んど零のまま一定である。スラグインパクト時に立ち上がるが、その後すぐに減少する。但し、完全に零までは下がってはず、その後少しずつ増加している。この傾向は2 DELKの internal energy transport オプションの結果に類似している。
- (2) PISCES-2 DELK では、スラグインパクト以前にも、内部エネルギーは相当に増加し続けており、インパクト後もゆるやかではあるが増え続けている。これは、本節での total energy transport オプションの傾向を再現している。

5.6.7 結論

これまでの検討結果から、PISCES-2 DELK コードにおける内部エネルギー及びエネルギー輸送モデルについて以下の事項が結論できる。

1. PISCES-2 DELK の total energy transport オプションは、渦流の発生による運動エネルギーの散逸(即ち、流体の内部エネルギーの増加)をある程度模擬する事ができる。
2. しかし、定量的には、エネルギー散逸量を理論値より2~4割程度過小評価している可能性がある。しかし、耐衝撃解析の面から見れば、このエネルギー散逸の過小評価は機械的エネルギーの過大評価となり、保守側の結果を生じると考えられる。
3. internal energy transport オプションは、エネルギー散逸過程を流体の内部エネルギーの増加という形でとり入れる事ができず、散逸エネルギーはそのまま体系から消滅してしまう。そのため、系全体のエネルギーバランスが大きくくずれるが、機械的エネルギーの評価はtotal energy transport オプションと完全に同一である。
4. 原型炉実機簡易解析体系においては、全放出エネルギー約340 MJの約100 MJがナトリウムエネルギー散逸で吸収されるが、この大部分は炉心部出口での拡大流効果であり、スラグインパクトによる散逸は約3割程度しか占めない。
5. このエネルギー散逸効果は、 $\vec{v} \times \vec{\omega}$ で表わされる渦の効果のため、体系(流路)が複雑になるほど、また流速が速くなるほど、その効果が大きくなる。即ち、炉容器歪などの機械的エネルギーに対しては、一種の「緩衝効果」の役割を持つ。
6. 流体の内部エネルギーはその相対変化にのみ意味があり、初期値には全く意味がない。
7. 人工粘性項によるエネルギー散逸は殆んど無視できる。
8. PISCES-2 DL において、流体の内部エネルギーがさほど増加していないのは、Lagrangianコードである本質的特性によると思われる。即ち、Lagrange座標は物質と共に座標が移動するために、渦流等の激しい流体挙動を模擬する事ができず、その結果としてエネルギー散逸の評価が不十分になっていると推定される。

Table 5.6.1 Summary of Energy Transport Option Test (1)

- Standard mesh -

Case Name			INTE#11	INTE#12	INTE#13	INTE#14
Model	Energy Transport Option		Total		Internal	
	Flow pattern		Sudden Expansion	Sudden Contraction	Sudden Expansion	Sudden Contraction
Initial State	Total Energy (= all kinetic)	MJ	7.85	7.85	7.85	7.85
	0 - 50 msec	%	+12.4%	+2.8%	-16.2%	-22.2%
	20 - 50 msec	%	+2.6%	+1.3%	-10.2%	-10.6%
Average $\Delta E_I / \Delta T$ in 20 - 50 msec		MJ/msec	3.6×10^{-2}	2.7×10^{-2}	3.6×10^{-3}	-5.4×10^{-4}
Final Results (at 50 msec)	Internal Energy	MJ	3.23	2.47	0.98	0.50
	Kinetic Energy	MJ	5.60	5.61	5.60	5.61

Table 5.6.2 Summary of Energy Transport Option Test (2)

- Coarse mesh -

Case			INTE#31	INTE#32	INTE#33	INTE#34	
Model	Energy Transport Option		Total		Internal		
	Flow pattern		Sudden Expansion	Sudden Contraction	Sudden Expansion	Sudden Contraction	
Initial State	Total Energy (=all kinetic)		MJ	7.85	7.85	7.85	7.85
Energy Balance	0 - 50 msec		%	+26.7%	+7.5%	-10.8%	-19.9%
	20 - 50 msec		%	+6.5%	+1.0%	-9.8%	-10.6%
Average $\Delta E_I / \Delta T$ in 20 - 50 msec			MJ/msec	5.6×10^{-2}	3.0×10^{-2}	1.1×10^{-2}	2.2×10^{-2}
Final Results (at 50 msec)	Internal Energy		MJ	4.65	3.10	1.71	0.95
	Kinetic Energy		MJ	5.30	5.34	5.30	5.34

Table 5.6.3 Summary of Energy Transport Option Test (3)

- Fine mesh -

Case Name			INTE#41	INTE#42	INTE#43	INTE#44	
Model	Energy Transport Option		Total		Internal		
	Flow		Sudden Expansion	Sudden Contraction	Sudden Expansion	Sudden Contraction	
Initial State	Total Energy (=all kinetic)		MJ	7.85	7.85	7.85	7.85
Energy Balance	0 - 50 msec		%	+6.2%	+2.3%	-16.1%	-19.5%
	20 - 50 msec		%	+2.1%	+0.6%	-9.1%	-9.8%
Average $\Delta E_T / \Delta T$ in 20 - 50 msec			MJ/msec	3.3×10^{-2}	2.7×10^{-2}	5.5×10^{-3}	2.5×10^{-3}
Final Results (at 50 msec)	Internal Energy		MJ	2.46	2.14	0.70	0.42
	Kinetic Energy		MJ	5.88	5.90	5.88	5.90

Table 5.6.4 Summary of Energy Transport Option Effect
 - Monju Simple Model
 by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		SBASE#1	TRAN#01	
Energy Transport Model		Total	Internal	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	141 (49.8)	141 (49.8)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	0.0	-29.2
	Maximum Strain of Vessel (position)	% Δ l/l (cm)	10.9 (800)	10.9 (800)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% Δ l/l	4.7	4.7
	Reactor Core Release Energy	MJ	-340	-360
	Kinetic Energy	MJ	1	1
	Sodium Kinetic Energy	MJ	3	3
	Internal Energy	MJ	98	13
Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	225	225	
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	12	12	

Table 5.6.5 Summary of Artificial Viscosity Effect

- Monju Simple Model

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name		SBASE#1	CL#01	CQ#01	
Artificial Viscosity Coefficient Value		$C_L = 0.1$ $C_Q = 1.0$	$C_L = 0.0$ $C_Q = 1.0$	$C_L = 0.1$ $C_Q = 0.0$	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	141 (49.8)	141 (49.8)	
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	0.0	0.0	+0.2
	Maximum Strain of Vessel (position)	% $\Delta l/l$ (cm)	10.9 (800)	10.9 (800)	10.8 (800)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% $\Delta l/l$	4.7	4.7	4.7
	Reactor Core Release Energy	MJ	-340	-340	-338
	Kinetic Energy	MJ	1	1	1
	Sodium Kinetic Energy	MJ	3	3	3
	Internal Energy	MJ	98	98	98
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	225	225	225
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	12	12	11	

Table 5.6.6 Summary of Initial Internal Energy Effect

- Monju Simple Model

by PISCES-2DELK version 3 level 12

Case Name			SBASE#1	TRAN#03	TRAN#01	TRAN#02	
Model	Energy Transport Option		Total		Internal		
	Initial Core Internal Energy		500 MJ	250 MJ	500 MJ	250 MJ	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	141 (49.8)	141 (49.8)	141 (49.8)	141 (49.8)	
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance		%	0.0	0.0	-29.2	-29.2
	Maximum Strain of Vessel (position)		%Δl/l (cm)	10.9 (800)	10.9 (800)	10.9 (800)	10.9 (800)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)		%Δl/l	4.7	4.7	4.7	4.7
	Reactor Core	Release Energy	MJ	-340	-340	-360	-360
		Kinetic Energy	MJ	1	1	1	1
	Sodium	Kinetic Energy	MJ	3	3	3	3
		Internal Energy	MJ	98	98	13	13
Reactor Vessel Distortion Energy		MJ	225	225	225	225	
Upper Internal Structure Distortion Energy		MJ	12	12	12	12	

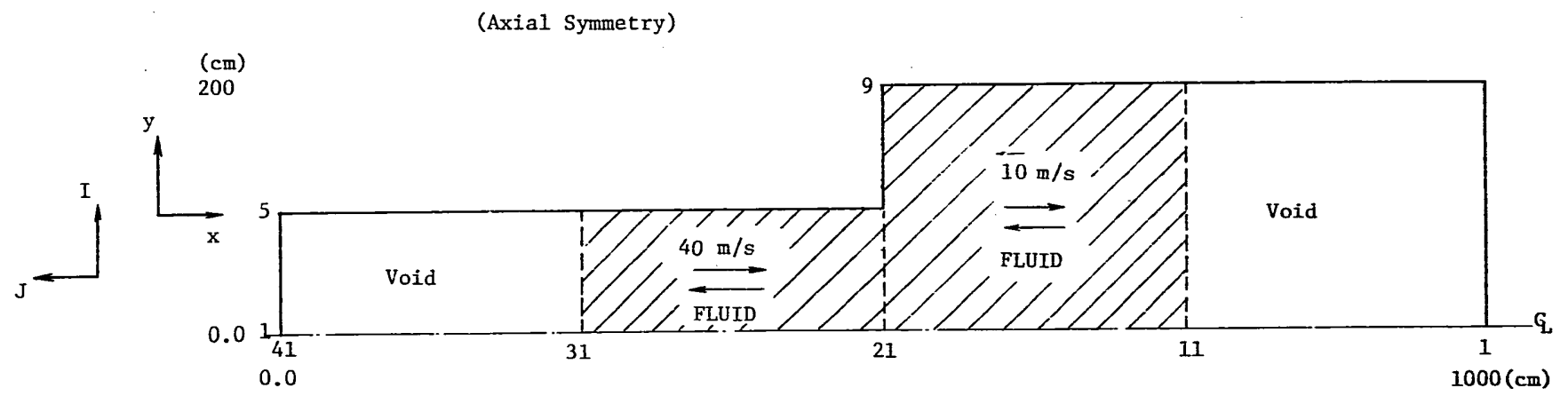
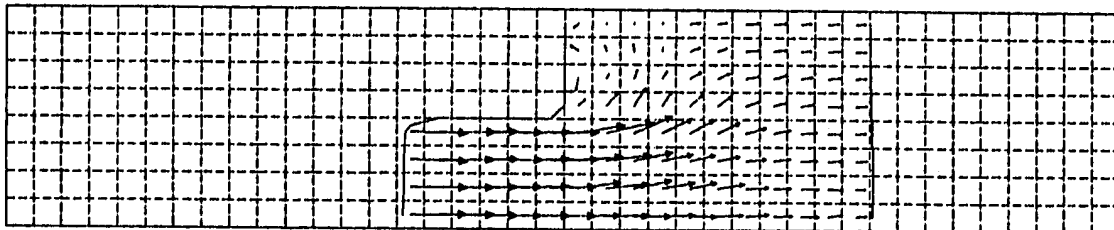


Fig. 5.6.3 Analytical Model of Energy Transport Option Test

PI.MODEL (INTE 11)

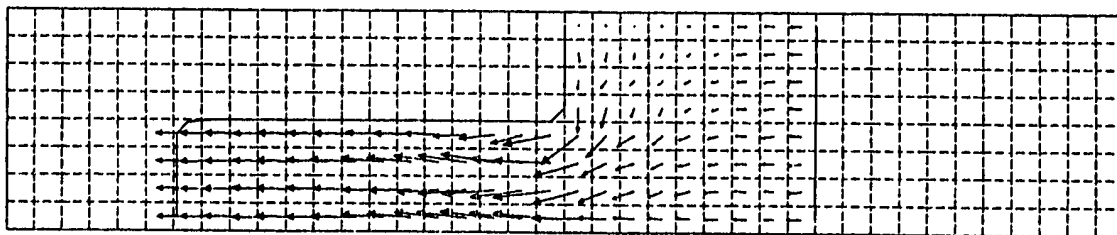
TIME 3.003 E4 (μ sec)



(a) Sudden Expansion (INTE#11)

PI.MODEL (INTE 12)

TIME 3.005 E4 (μ sec)

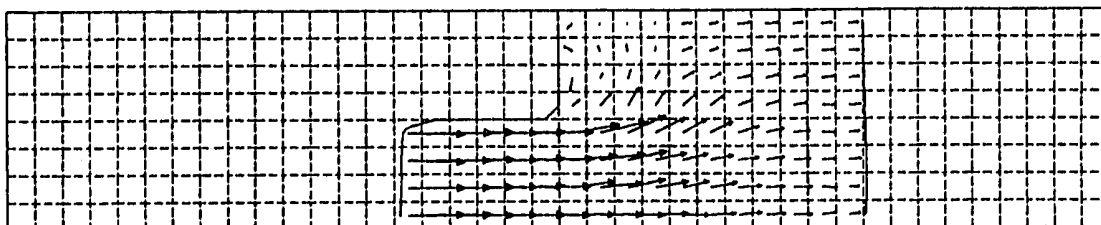


(b) Sudden Contraction (INTE#12)

Fig. 5.6.4 Flow Patterns of Energy Transport Option Test
- Total Option -

PI.MODEL (INTE 13)

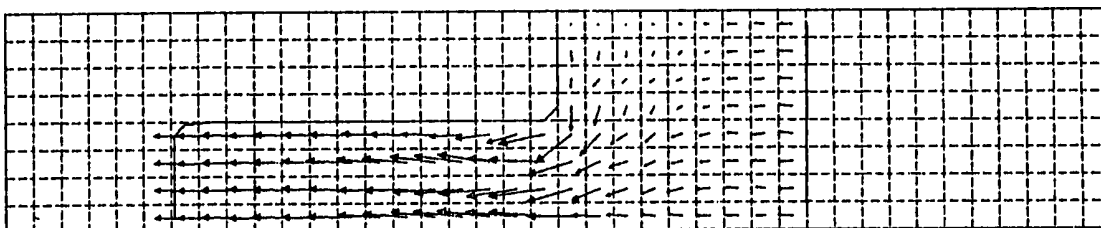
TIME 3.003 E4 (μ sec)



(c) Sudden Expansion (NTE#13)

PI.MODEL (INTE 14)

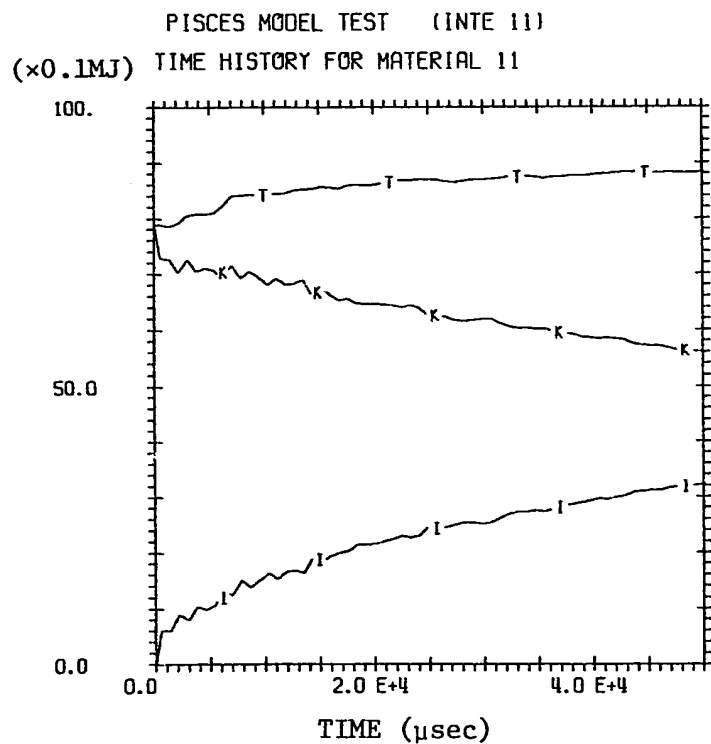
TIME 3.005 E4 (μ sec)



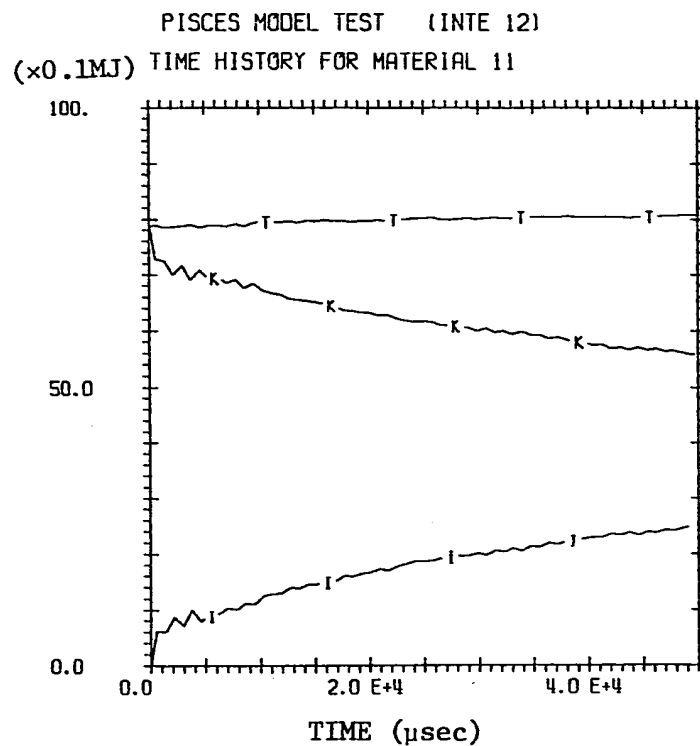
(d) Sudden Contraction (INTE#14)

Fig. 5.6.4 (Cont'd) - Internal Option -

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11



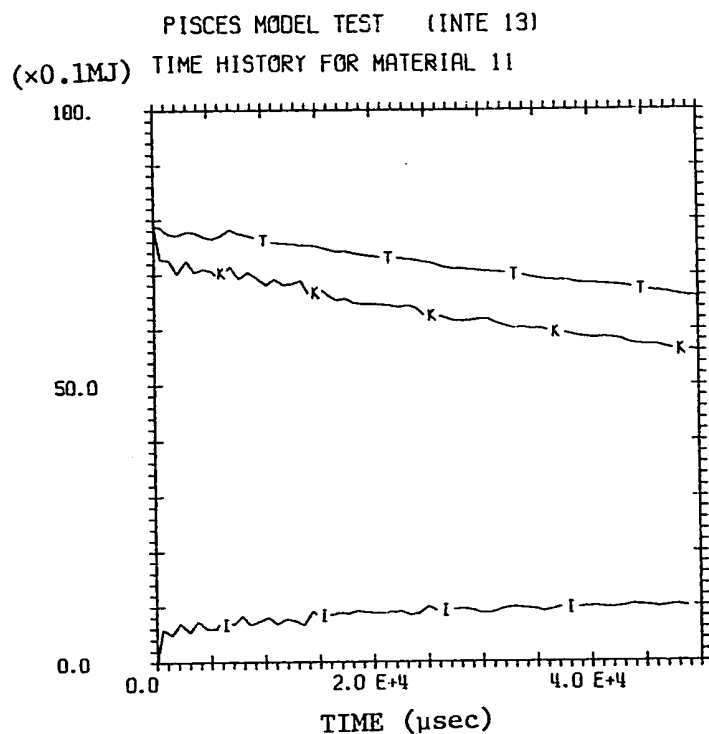
(a) Sudden Expansion (INTE#11)



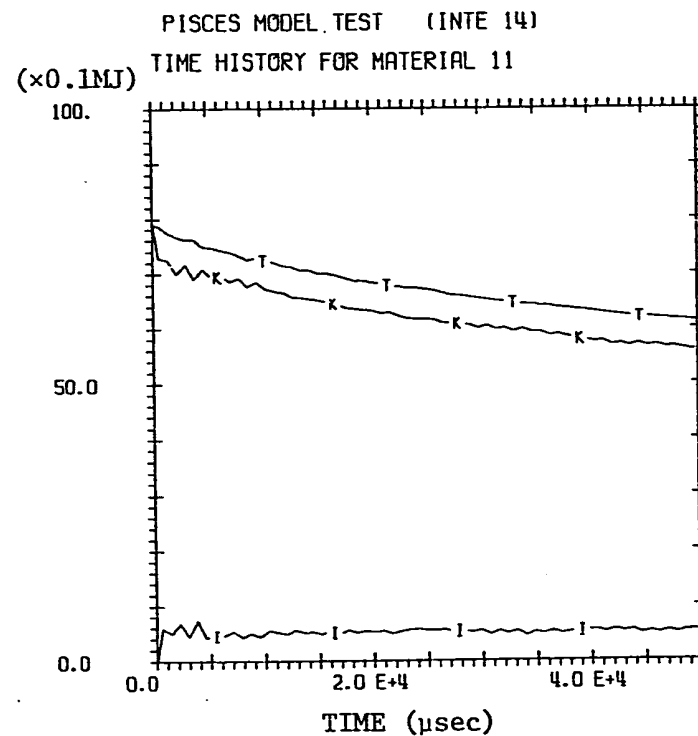
(b) Sudden Contraction (INTE#12)

Fig. 5.6.5 Energy History of Energy Transport Option Test - Total Option -

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11

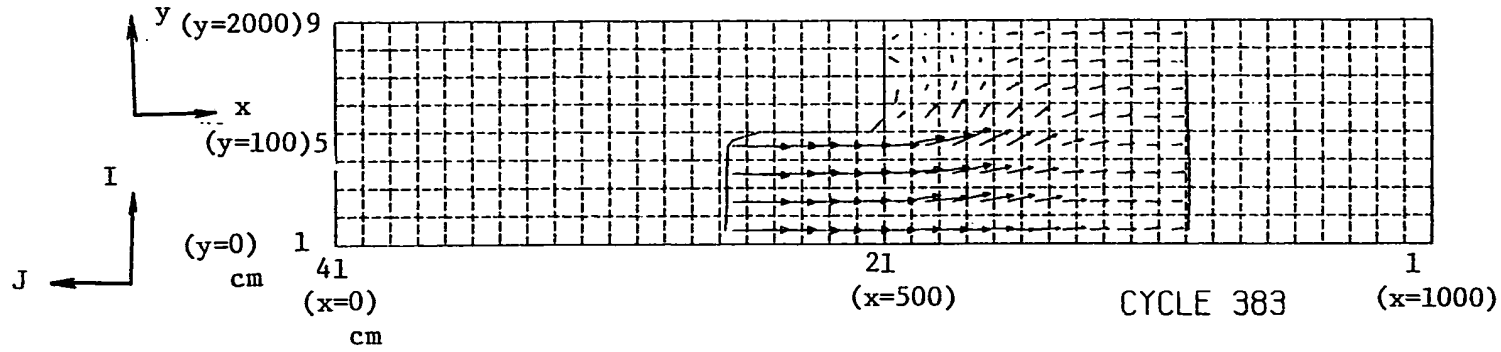


(c) Sudden Expansion (INTE#13)

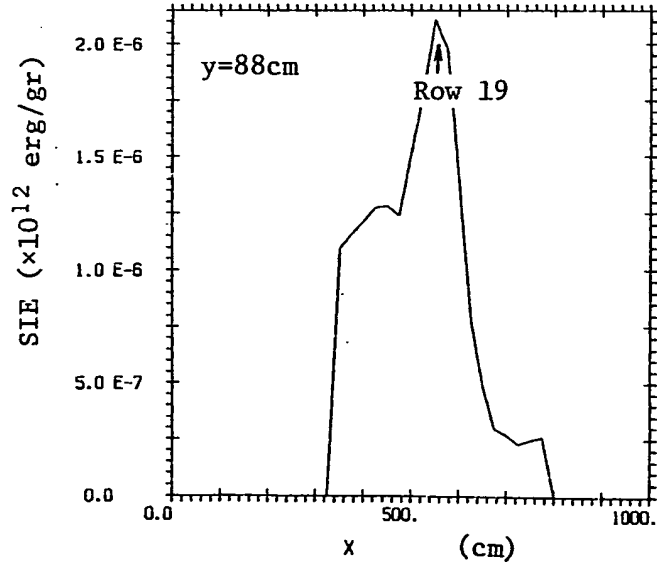


(d) Sudden Contraction (INTE#14)

Fig. 5.6.5 (Cont'd) - Internal Option -



PISCES MODEL TEST (INTE 11)
PROFILE ON COLUMN 5 SUBGRID 1 CYCLE 380



PISCES MODEL TEST (INTE 11)
PROFILE ON ROW 21 SUBGRID 1 CYCLE 380

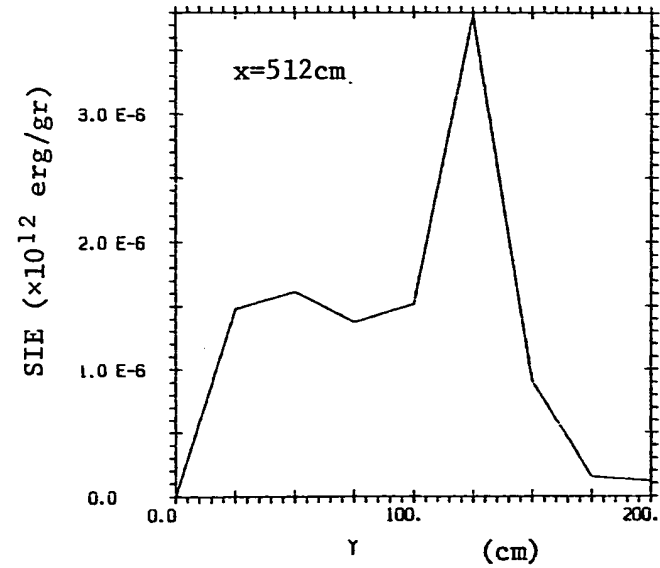
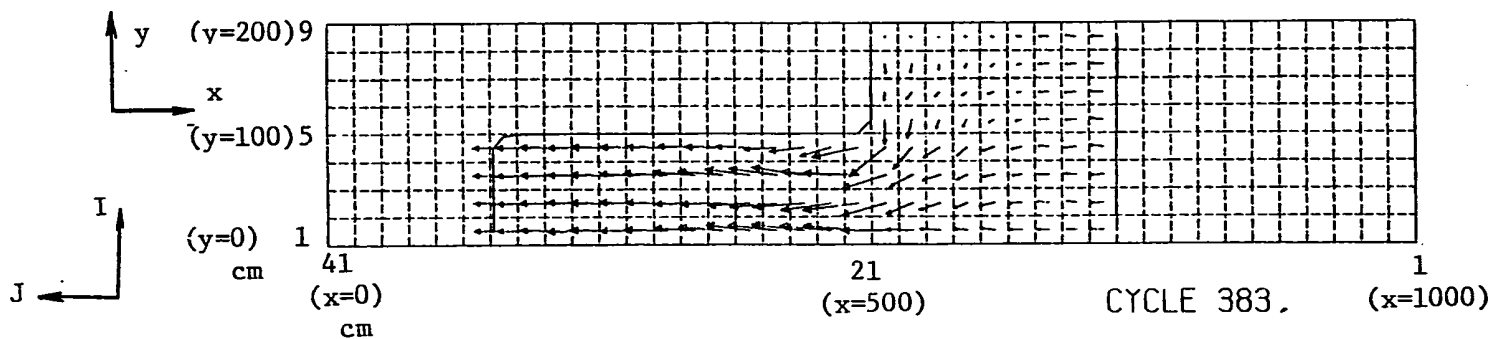


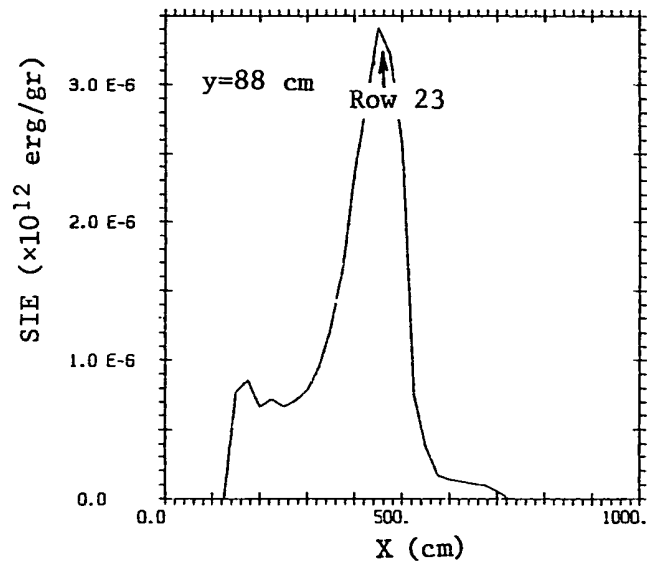
Fig. 5.6.6 Internal Energy Distribution in Sudden Expansion Flow
(at 30 msec, Total Option)

PI.MODEL (INTE 12)

TIME 3.005 E4



PISCES MODEL TEST (INTE 12)
PROFILE ON COLUMN 5 SUBGRID 1 CYCLE 380



PISCES MODEL TEST (INTE 12)
PROFILE ON ROW 22 SUBGRID 1 CYCLE 380

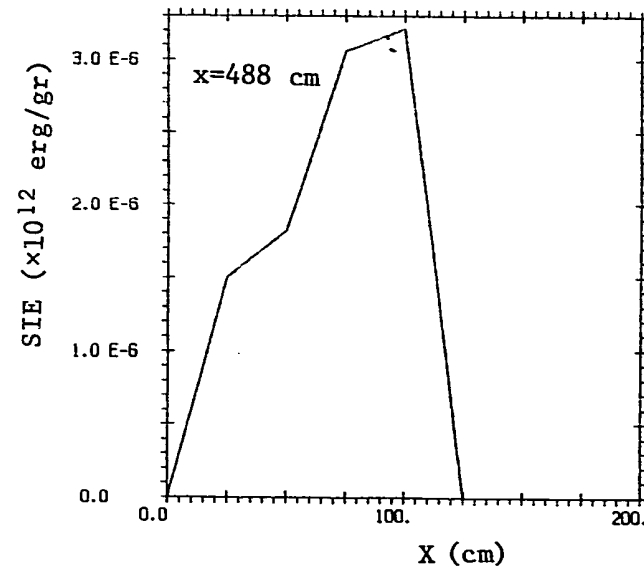
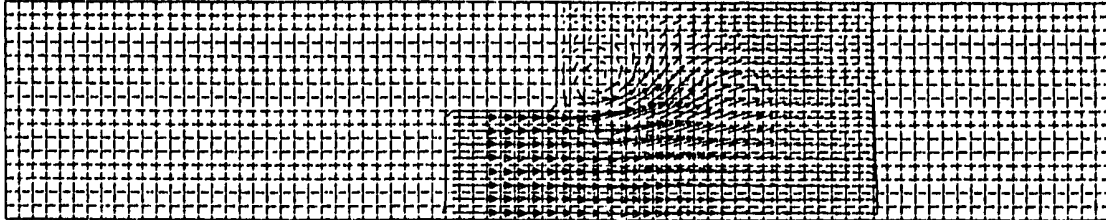


Fig. 5.6.7 Internal Energy Distribution in Sudden Contraction Flow
(at 30 msec, Total Option)

PI.MODEL (INTE 41)

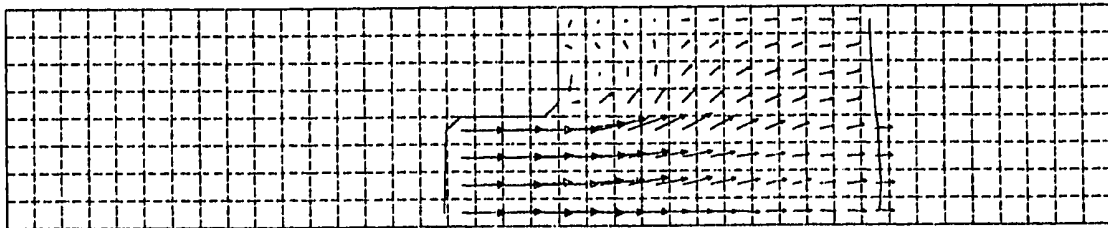
TIME 4.0 E+4 (μ sec)



(a) Fine Mesh

PI.MODEL (INTE 11)

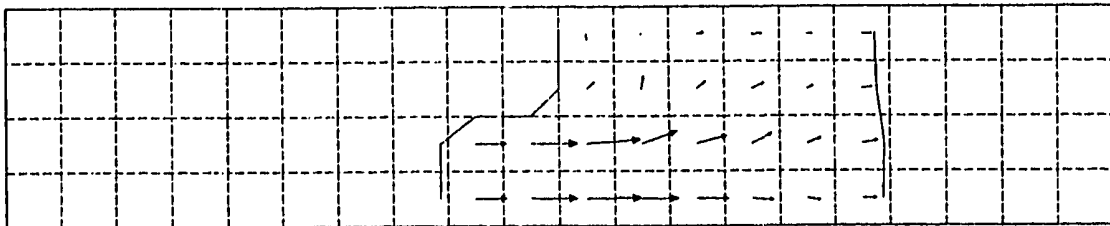
TIME 4.006 E4 (μ sec)



(b) Standard Mesh

PI.MODEL (INTE 31)

TIME 4.001 E4 (μ sec)

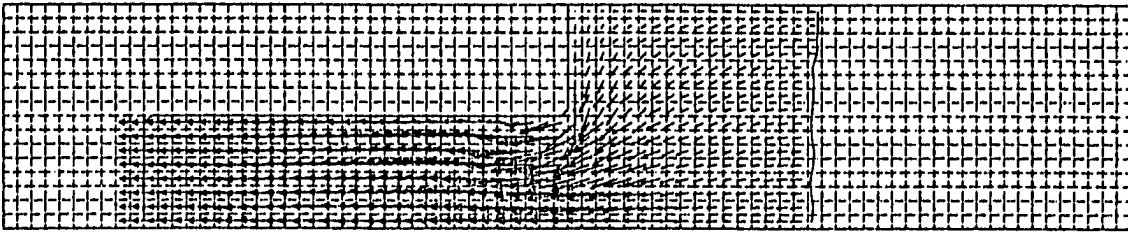


(c) Coarse Mesh

Fig. 5.6.8 Mesh Size Effect in Sudden Expansion Flow
(Total Option)

PI.MODEL (INTE 42)

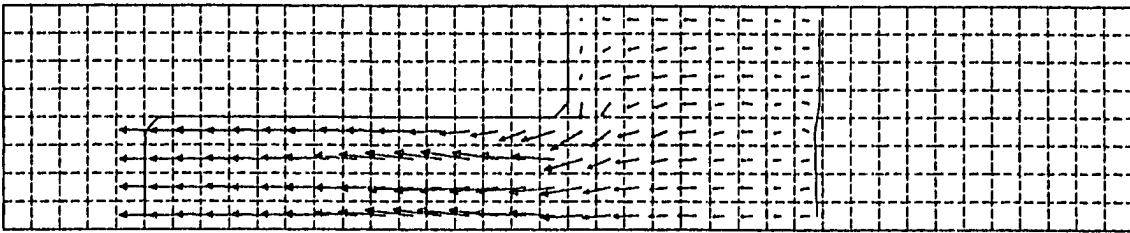
TIME 4.0 E+4 (μsec)



(a) Fine Mesh

PI.MODEL (INTE 12)

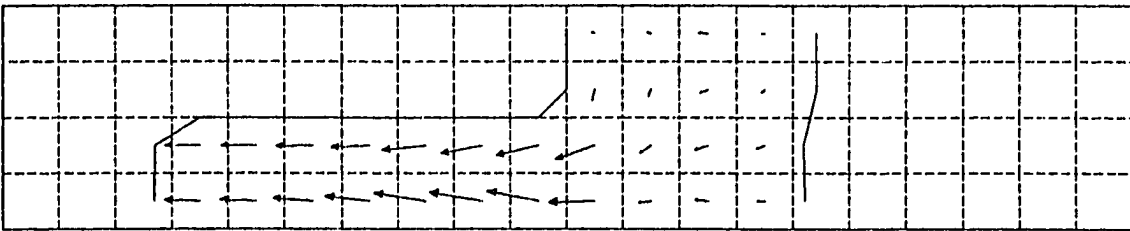
TIME 4.002 E4 (μsec)



(b) Standard Mesh

PI.MODEL (INTE 32)

TIME 4.004 E4 (μsec)



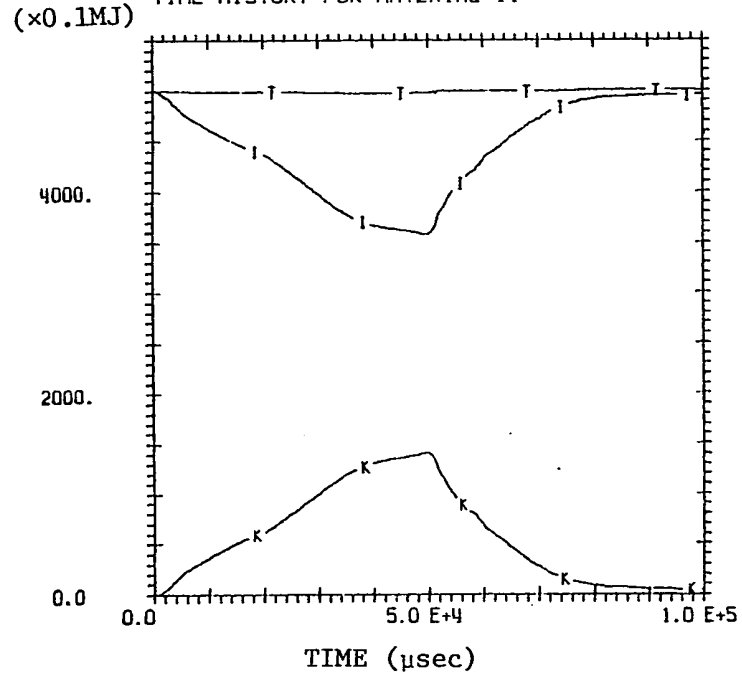
(c) Coarse Mesh

Fig. 5.6.9 Mesh Size Effect in Sudden Contraction Flow (Total Option)

T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 11 (All material)
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 11 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 11 (")

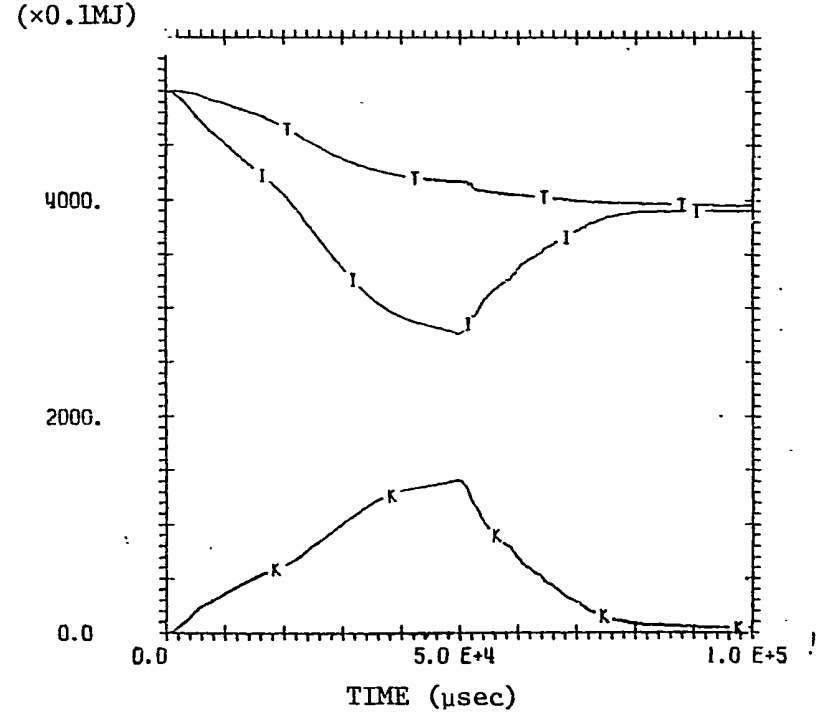
MONJU HCDA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE (TRAN 01)

502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 11



(a) Total Energy Transport (SBASE#1)

TIME HISTORY FOR MATERIAL 11

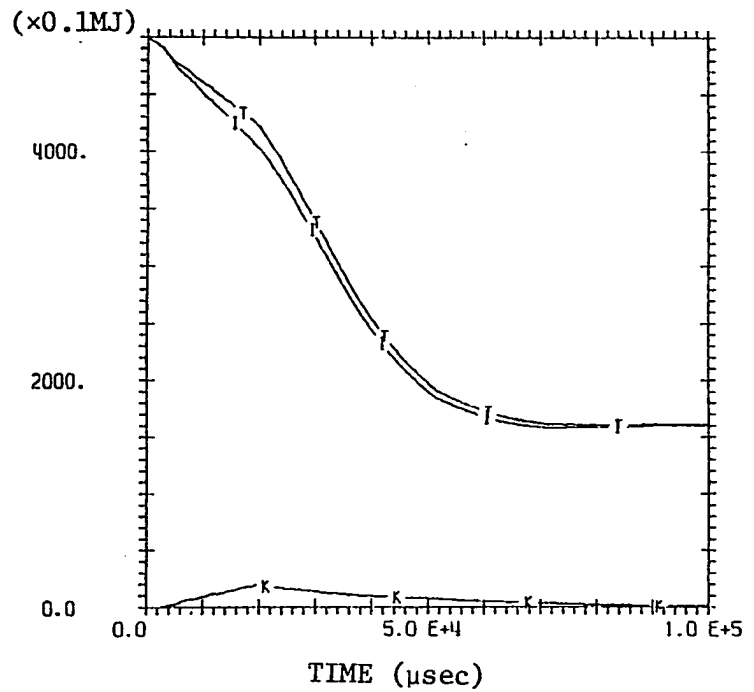


(b) Internal Energy Transport (TRAN#01)

Fig. 5.6.10 Energy History of All Material Sum - Energy Transport Model Effect -

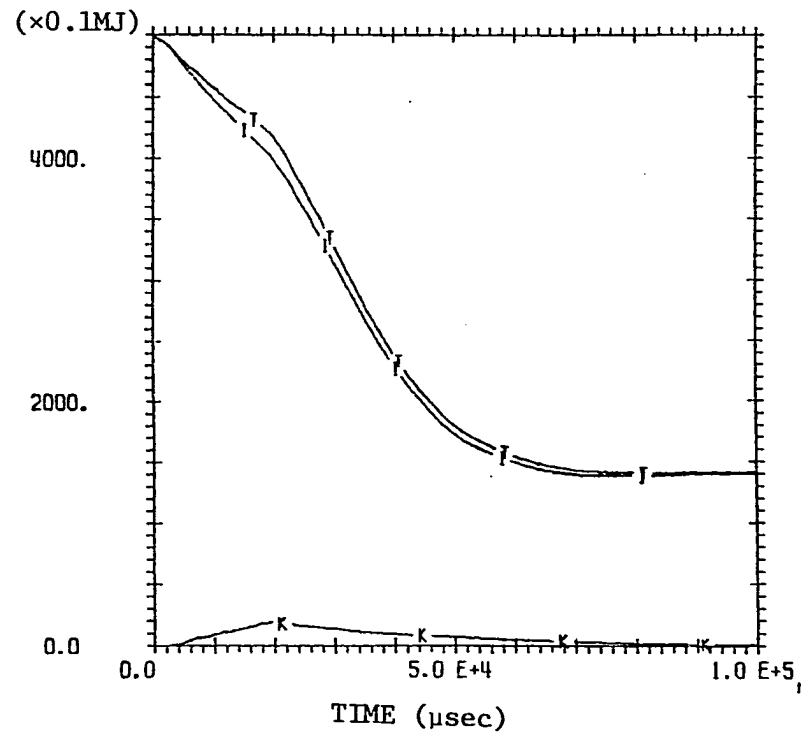
T --- ETOT VS TIME FOR MATERIAL 1 (Core)
 K --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 1 (")
 I --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 1 (")

502MJ SIMPLE CASE (SBASE 1, GASBUG P-V MODEL)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 1



(a) Total Case (SBASE#1)

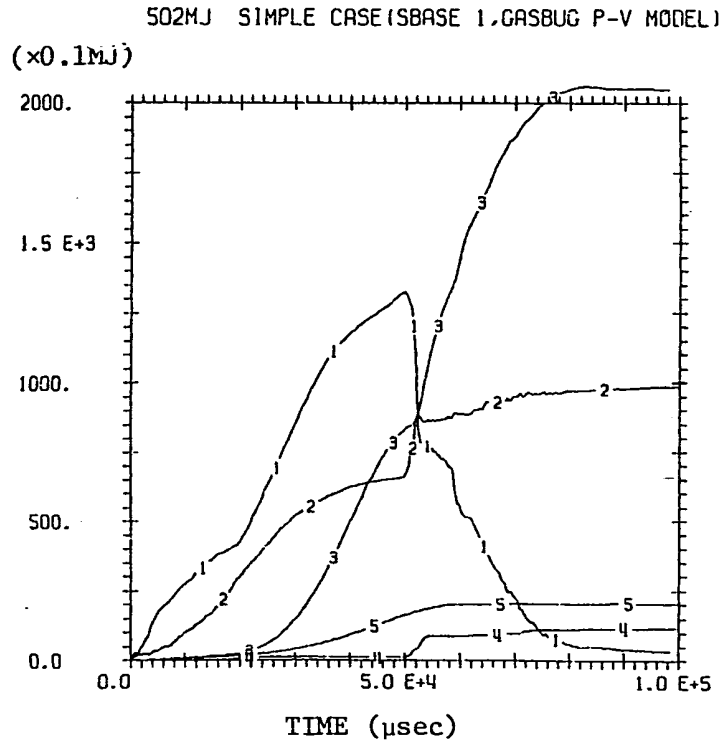
MONJU HCOA ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE (TRAN 01)
 TIME HISTORY FOR MATERIAL 1



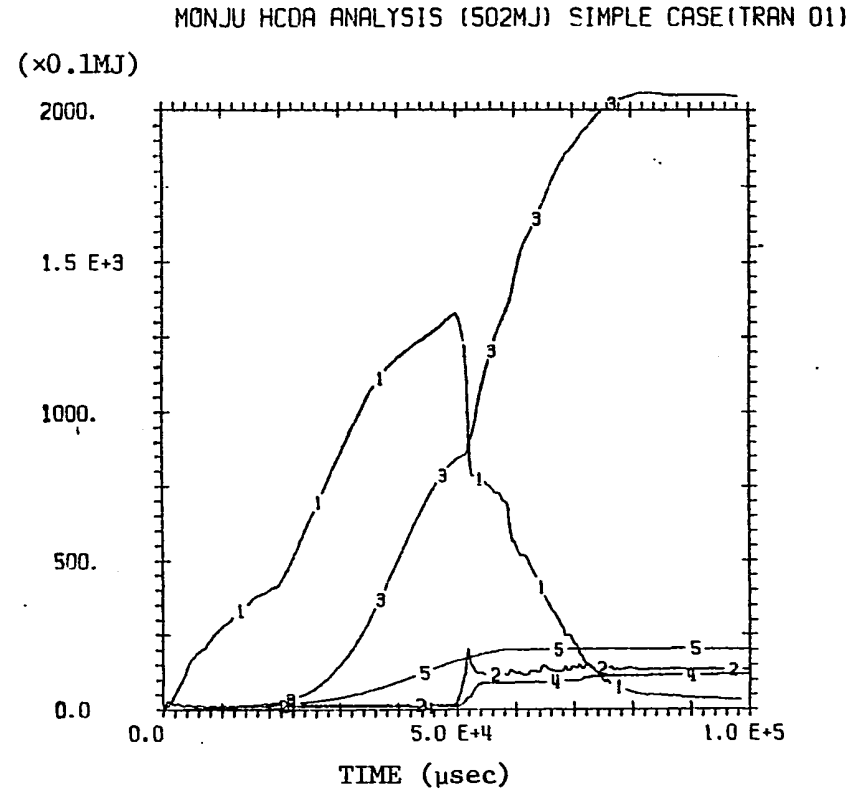
(b) Internal Case (TRAN#01)

Fig. 5.6.11 Energy History of Core Material - Energy Transport Model Effect -

- 1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
- 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
- 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (Upper Reactor Vessel)
- 4 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 4 (UIS)
- 5 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 5 (Lower Reactor Vessel)

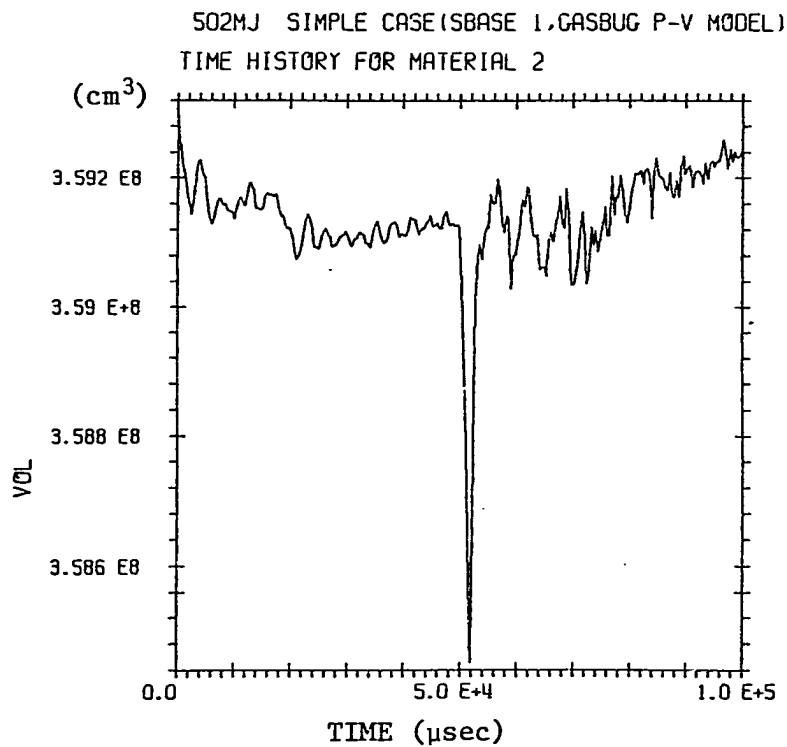


(a) Total Case (SBASE#1)

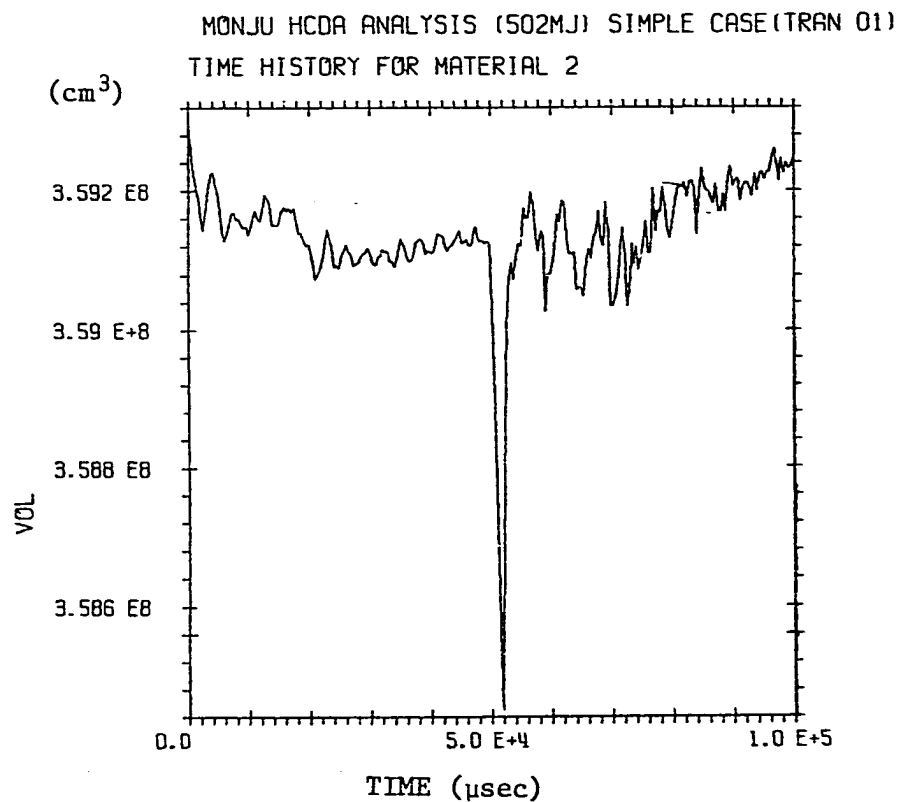


(b) Internal Case (TRAN#01)

Fig. 5.6.12 Energy History of Each Material - Energy Transport Model Effect -

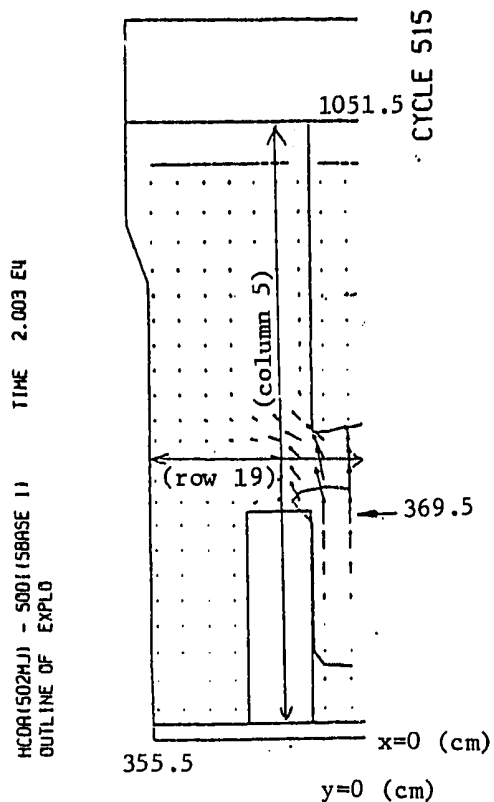


(a) Total Case (SBASE#01)

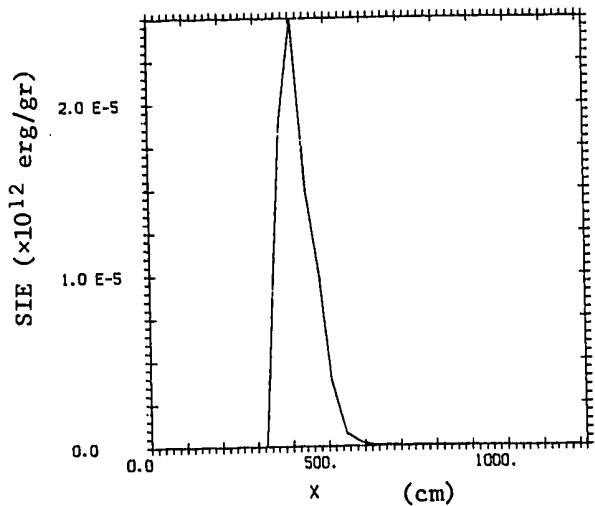


(b) Internal Case (TRAN#01)

Fig. 5.6.13 Volume History of Sodium - Energy Transport Model Effect -



MONJU HCDR ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE(SBASE 1)
 PROFILE ON COLUMN 5 SUBGRID 1 CYCLE 520



MONJU HCDR ANALYSIS (502MJ) SIMPLE CASE(SBASE 1)
 PROFILE ON ROW 19 SUBGRID 1 CYCLE 520

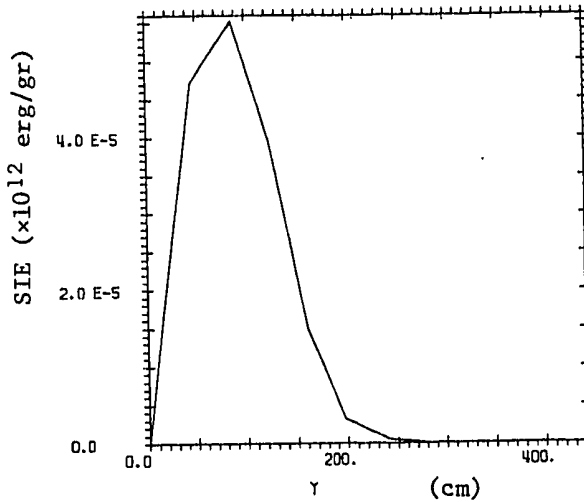
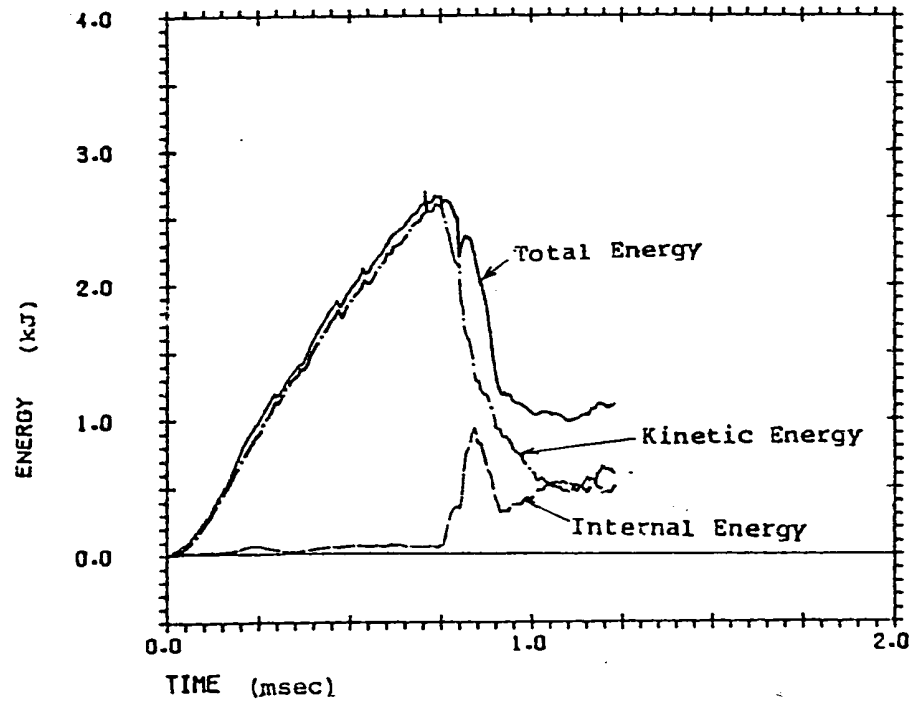
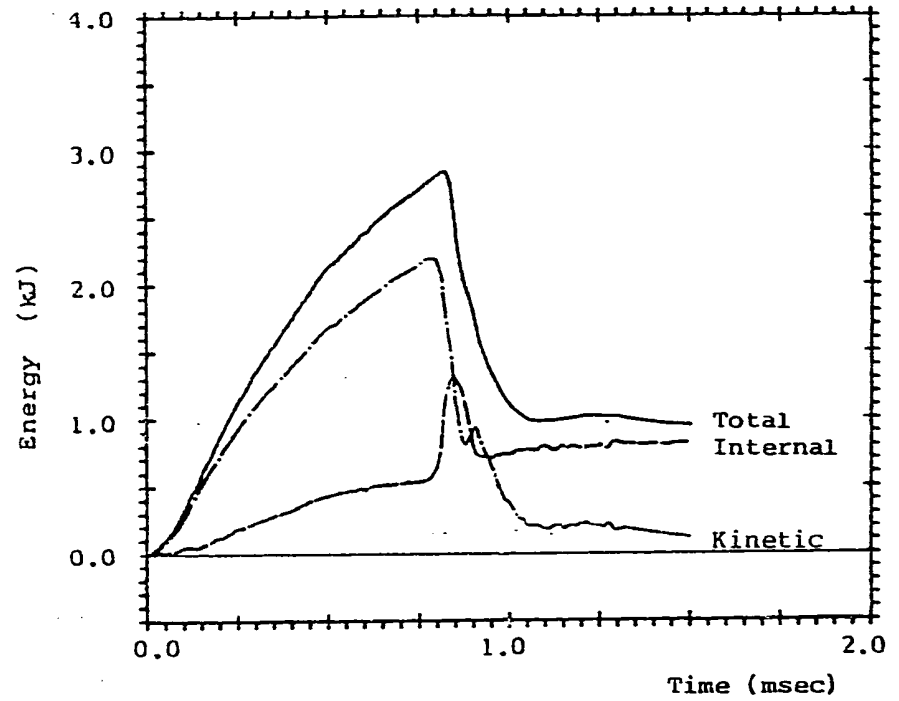


Fig. 5.6.14 Distribution of Sodium Internal Energy at 20 msec
 - Total Model -



(a) Energy Partitioning Histories of Water by PISCES-2DL



(b) Energy Partitioning Histories of Water by PISCES-2DELK

Fig. 5.6.15 Energy History of Water in SRI Experiment FV101 Analysis (APRICOT6)
 - Comparison between PISCES-2DL and PISCES-2DELK -

5.7 等価厚法による二重 Shell のモデル化

5.7.1 目的

原型炉実機体系（図 5.2.1 参照）には、炉容器の内側に内筒・プロテクションライナ（Y ピース部）・固定遮蔽プラグ胴などの円筒構造が存在する。従来の耐衝撃解析においては、これらの構造物と炉容器による二重円筒効果を取り入れるために、「等価厚法」と呼ばれる方法で、炉容器の厚みを仮想的に増加させ、炉容器のみの一重の円筒にモデル化していた。PISC-ES コードでは必ずしもこれらの二重円筒が模擬できない訳ではないが、等価モデルを用いる利点は、体系を単純化する事ができ polygon 境界や joined Euler を用いる煩雑さを避けられる事にある。また、これは計算を安定に実行させるためにも有効である。

炉容器の内側に、内筒状の構造物がある場合、これを炉容器のみの等価厚みに換算する従来の方法を以下に示す。

内筒が有る場合の無い場合に対する容器歪の低減率 ϕ_1 ($\equiv \frac{\epsilon'}{\epsilon}$) として、実験⁽⁵⁻⁶⁾から下式のような歪エネルギー保存式を仮定する。

$$\phi_1 = \frac{R_1 \times t_1}{R_1 \times t_1 + R_2 \times t_2} \quad (5.7.1)$$

ここで、 R_2 : 容器の半径
 t_1 : 容器の板厚
 R_1 : 内筒の半径
 t_2 : 内筒の板厚

すなわち、

$$\frac{\epsilon'}{\epsilon} = \frac{t_1}{t_1 + \frac{R_2}{R_1} t_2} \quad (5.7.2)$$

ここで、 ϵ : 内筒が無い場合の容器歪

ϵ' : 内筒が有る場合の容器歪

一方、内筒が無い構造で容器の板厚が変わった場合、容器の歪は板厚にほぼ反比例すると考えられる。

$$\frac{\epsilon''}{\epsilon} = \frac{t_1}{t_1''} \quad (5.7.3)$$

ここで、 ϵ : 板厚 t_1 の場合の容器歪

ϵ'' : 板厚 t_1'' の場合の容器歪

以上から、内筒が有る構造を容器の等価板厚で表わすためには、 $\epsilon' = \epsilon''$ となるような容器の板厚を求めればよいので、容器の等価板厚 t_1'' は

$$t_1'' = t_1 + \frac{R_2}{R_1} t_2 \quad (5.7.4)$$

となる。

本節は、この等価厚法が、二重円筒を直接モデル化した場合と、定量的にどの程度異なるかを評価し、その妥当性を検討する事をその目的としている。

5.7.2 アプローチの方法

原型炉実機体系で、等価厚法を使用する可能性があるのは、主に内筒・プロテクションライナ・固定遮蔽プラグ胴の3つの炉内構造物であるが、本節では、内筒を対象として検討を行なう。この内筒に対する検討結果は、ある程度はプロテクションライナ・固定遮蔽プラグ胴にも適用できるものとする。

ここでは、検討の手順として、以下の2つのステップを踏んだ。

step 1

もんじゅ実機体系の内筒高さ部のみをできるだけ単純化してモデル化し、炉容器と内筒を二重円筒とした場合と、等価厚法により一重とした場合の結果を比較して内筒効果に対する基本的知見を得る。ここで、着目したのは、①炉容器と内筒の間の流体が上下境界から自由に流れ出る境界条件を与えた場合と、上下端が完全に閉じている場合とで、等価厚法によりどのような差が見られるか、②実機では内筒は炉容器の一部を覆うのみであるが、内筒に覆われていない部分の変形が二重円筒部の変形にどのような影響を与えるか、の2点である。

step 2

原型炉実機体系の簡易モデル(SBASE #1)に、内筒を独立した構造物として加えた場合と、等価厚法を用いて炉容器の内筒高さ相当部分の厚さを増した場合の結果を比較し、定量的な検討を行なう。

5.7.3 二重円筒のモデル解析

5.7.3.1 モデル解析体系

内筒と炉容器のみをモデル化した体系であり、境界条件として以下の3ケースを考え、その各々について2重円筒モデルと等価厚モデルを作成した。

図 5.7.1 に、各ケースの解析モデルを示す。

Case 1: Closed Model

内筒を独立の構造物とした二重円筒ケース(TOKATE 1)では、炉容器の厚さは5 cm,

内筒の厚さは4 cmであり、その間のナトリウムは両端のwall境界条件により閉じ込められている。等価厚ケース(TOKAAT1)では、炉容器の厚さを $8.69 \text{ cm} (= 5.0 \text{ cm} + \frac{328.0}{355.5} \times 4.0 \text{ cm})$ とした一重円筒となっている。

Case 2 : Long Vessel Model

二重円筒ケース(TOKATE 2)では、内筒の高さはCase 1と同じ500 cmであるが、炉容器全長は865 cmと上下に延長されている。内筒と炉容器の間のナトリウムは上下端から自由に入出力できる。等価厚ケース(TOKAAT 2)では、炉容器の内筒相当高さ部分の厚さは8.69 cmであり、その上下部分の厚さは5 cmである。

Case 3 : Open Model

体系はCase 1と同一であるが、二重円筒ケース(TOKATE 3)では、炉容器と内筒の間のナトリウムが上下境界から自由に流出できる点が異なっている。等価厚ケース(TOKAAT 3)はCase 1のTOKAAT 1と体系は同一である。但し、エネルギーバランスの都合上、エネルギー源のP-V曲線がCase 3においてはCase 1・2のそれより小さくなっている点異なる。

図5.7.2に、ここでの解析で使用したエネルギー源のP-V曲線を示す。

また、全ての体系において、Shellの境界条件は、Shellの両端が上下方向には移動せず径方向にのみ可動となっている。

5.7.3.2 モデル解析結果

表5.7.1に、3つのケースの解析結果の要約を示す。

Case 1 : Closed Model

図5.7.3に、計算終了時(at 30 msec)の全体形状を二重円筒モデルと、等価厚モデルを比較して示す。

図5.7.4に、各構成要素のエネルギー履歴を示す。

図5.7.5に、計算終了時の炉容器の歪分布を示す。

- ① エネルギーバランスは、両方のモデルとも良好であるが、どちらかといえば二重円筒モデル(TOKATE 1)の方がやや不安定である(+3.5%)。
- ② 構造材の全歪エネルギーは両モデルとも49 MJであり良く一致している。また、内訳においても、全歪エネルギーに対する内筒歪の割合が、二重円筒モデルでは43%であるのに対して、等価厚モデル(TOKAAT 1)では、42%(体積比)と極めて良好である。
- ③ しかし、炉容器の最大歪を見ると、二重円筒モデルが3.3% $\Delta l/l$ であるのに対して、等価厚モデルは3.6% $\Delta l/l$ と約1割ほど大きくなっている。これは、図5.7.5から

わかるように、二重円筒モデルでは歪プロフィールがむしろ平坦なのに対して、等価厚モデルは中央が大きく歪むためである。これは、このケースの場合、二重円筒モデルの炉容器と内筒の間に閉じ込められているナトリウムが、炉容器への圧力を均一化する働きをしているためと思われる。

Case 2 : Long Vessel Model

図 5.7.6 に、計算終了時 (at 30 msec) の全体形状を示す。

図 5.7.7 に、各構成要素のエネルギー履歴を示す。

図 5.7.8 に、計算終了時の炉容器の歪分布を示す。

- ① エネルギーバランスは、二重円筒モデル (TOKATE 2) において、ややくずれている (+ 5.6 %) が許容範囲である。
- ② 構造材の全歪エネルギーは、二重円筒モデルが 54 MJ , 等価厚モデル (TOKAAT 2) が 55 MJ で良く一致している。内訳については、このケースでは、歪の相当部分が円筒高さ以外の炉容器上下部 (厚さ 5 cm の所) で起きているため、両モデルの単純な比較はできない。
- ③ このケースで、非常に特徴的なのは両モデルにおける炉容器の歪分布の違いである。内筒高さ相当部分の歪分布を比べると (図 5.7.8 参照) , 二重円筒モデルではほぼ平坦な歪分布を示すのに対して、等価厚モデルでは、上下端の歪がかなり小さくなっている。これは二重内筒モデルでは、内筒の上下端を廻り込んで炉容器に作用する流体の流れがあるのに対して、等価厚モデルでは、このような廻り込みが模擬できないため、内筒相当部の両端から、より変形しやすい薄肉の炉容器部に歪が移動してしまう事による。ゆえに、等価厚モデルでは、内筒相当部の炉容器変形を過少評価して、その代わりに、その近傍の薄肉炉容器部の変形を過大評価する事になる。定量的に見ると、このケースでは、最大歪は、炉容器上下の薄肉部で発生し、二重円筒モデルでは $3.0 \% \Delta l / l$ であるのに対して、等価厚モデルでは $3.4 \% \Delta l / l$ と約 1 割の過大評価になっている。

しかし、この過大評価の量は、体系の構造にかなり依存すると考えられるので、他の体系での見積りは慎重に行なう必要がある。

Case 3 : Open Model

図 5.7.9 に、計算終了時 (at 30 msec) の全体形状を示す。

図 5.7.10 に、各構成要素のエネルギー履歴を示す。

図 5.7.11 に、計算終了時の炉容器の歪分布を示す。

- ① エネルギーバランスは、これまでのケースと同様に二重円筒モデル (TOKATE 3) の方がやや不安定である (+ 2.3 %) 。

- ② 構造材の全歪エネルギーは両モデルとも 22～23 MJ で良く一致している。二重円筒モデルにおける内筒歪エネルギーの割合は 48 % で、体積比の 42 % から少しずれているが、その差は小さい。
- ③ 炉容器の最大歪は、二重円筒モデルが 1.5 % $\Delta l/l$ 、等価厚モデルが 1.8 % $\Delta l/l$ で、約 2 割ほど等価厚モデルの方が大きい。この傾向は、Case 1 と同じであり、二重円筒モデルの方が、歪分布が平坦である（図 5.7.11 参照）。これは、炉容器と内筒の間のナトリウムの体系外への流出により、炉容器への作用圧力が小さくなるためと考えられる。

5.7.4 原型炉実機解析

原型炉実機の簡易解析基準モデル（SBASE # 1）は、内筒の存在を無視しており、炉容器は全長にわたって 5.0 cm の一定厚さとなっている。ここでは、この基準モデルに、内筒を実機構造のように二重円筒としてモデル化に加えたケース（NONAIT # 1）と、炉容器の内筒高さ相当部分の厚さを増す等価厚法によりモデル化したケース（NONAIT # 2）の 2 ケースの解析を行い、両者の結果を比較した。

5.7.4.1 解析体系

図 5.7.12 に両ケースの解析モデルを示す。

二重円筒ケース（NONAIT # 1）

5.2 節の図 5.2.1 に示したように、実機の内筒は内径 328 cm（炉容器は 355.5 cm）、高さ 500 cm の厚さ 4 cm の円筒である。このケースでは、これをそのままモデル化しており、内筒は内側と外側の両方のナトリウムと相互作用を行なう。内筒の上下端は、上下方向には動かず、径方向にのみ動き得るように境界条件を与えた。また、炉容器と内筒の間のナトリウムは上下端から自由に流出・流入できる。これらの境界条件は、実機構造を完全には模擬していない。

等価厚ケース（NONAIT # 2）

炉容器の内筒高さ相当部分（高さ 500 cm）の厚さを、内筒の厚さを加えた等価厚 8.69 cm とした。但し、4.14 節の Shell プロセッサの所で述べたように、PISCES-2 DELK version 3 では、shell 厚さが不連続に変化するような体系を完全には模擬してせず、約半メッシュ分だけ厚さ変化領域がずれてしまう。

5.7.4.2 解析結果

表 5.7.2 に、両ケースの解析結果の要約を示す。参考のために、内筒のない簡易解析基準ケース（SBASE # 1）の結果も併せて記した。

図 5.7.13 に、スラグインパクト後（at 70 msec）の全体形状を示す。

図 5.7.14 に、各構成要素のエネルギー履歴を示す。

図 5.7.15 に、計算終了時 (at 90 msec) での炉容器の歪の分布形を示す。

以下に結果をまとめる。

- ① 二重円筒モデルは、ややエネルギーバランスがくずれの傾向が見られるが、その量は +3.2% と小さく、許容範囲である。等価厚モデルのエネルギーバランスは良好である。
- ② スラグインパクト時刻は、両方のケースとも標準ケースと比べると約 3 msec ほど早くなっている。これは、炉容器の腹部がより剛になっていたために、炉心部ガスからの機械的エネルギーがよりスラグの加速に消費されたためである。スラグインパクト時のナトリウムの運動エネルギーも両ケースとも約 150 MJ であり、標準ケースと比べて 15 MJ ほど大きい。これは、炉容器首下部の変形をより大きくする。
- ③ 炉心部からの放出エネルギーは、腹部の変形が少ない分だけ膨張自由空間が減った事により、両ケースとも約 10 MJ 標準ケースより少なくなっている。
- ④ 二重円筒ケースにおいては、内筒の上下端付近で、ナトリウムの流れの廻り込みが見られる。等価厚ケースでは、もちろんこのような流れは発生しない。この内筒の存在による流れの廻り込みは、以下の効果をもたらしている。
 - 1) 流れが内筒の端を廻るために、いわゆる「sharp edge」でのエネルギー散逸が発生する。これは約 20 MJ のナトリウムの内部エネルギーの増加となる (5.6 節参照)。
 - 2) 流路が複雑になったために、① で述べたように、エネルギーバランスがくずれやすくなっている。
 - 3) 流れが廻り込んでいるために、内筒の上下端付近では、外側の炉容器に直接作用し、その付近の炉容器の変形を大きくする。従って、等価厚モデルでは、この付近の歪を過小評価している事になる。
- ⑤ 全構造材の歪エネルギーは、両ケースとも炉容器が標準ケースより剛になっている事により、約 20 MJ 減少している。
- ⑥ 最大歪については、標準ケースからの変化を見ると、両ケースで増減傾向が逆になった。二重内筒ケースの最大歪は $11.5\% \Delta l/l$ で、標準ケースより $+0.6\% \Delta l/l$ の増加、等価厚ケースの最大歪は $10.4\% \Delta l/l$ で $-0.5\% \Delta l/l$ の減少である。この原因については、以下のように考えられる。簡易解析モデルでは、最大歪が発生する場所は、炉容器円錐部の下側、すなわち内筒上端の高さレベルのすぐ上にある。② で述べたように、等価厚ケース、二重円筒ケースとも炉内器腹部が剛になり変形しにくくなった事は、スラグの運動エネルギーを増大させ、これは炉容器首下部全体としてみれば、歪を大きくすると考えられるが、その反映の仕方が、二重内筒ケースと等価厚ケースでは異なる。二重円筒ケースでは円錐部に流体から力が作用した場合には、内筒と直接つながっていないので内筒の影響はなく、ピーク歪は、標準ケースに比べて増大する事になるが、等価厚ケースでは炉

容器と内筒が一体化しているために、円錐部は等価厚み部からの拘束を受け歪みにくく、スラグインパクトによる放出エネルギーはより弱い炉容器上胴部の変形を促進する事により消費される。これが、等価厚ケースでは、ピーク歪が標準ケースよりも小さくなった原因である。図 5.7.15 の歪プロファイルを見ると、等価厚ケースでは、炉容器上胴部での歪が円錐部のピーク歪とほぼ同じ程度まで増大している事がわかる。

5.7.5 結論

これまでのモデル解析及び原型炉実機簡易解析での検討から、二重円筒を持つ体系を、等価厚によるひとつの円筒に置き換える方法について、以下の評価ができる。

(1) 流体が円筒の内側から垂直に作用するような単純な体系においては、等価厚法はある程度満足すべき結果を与える。

但し、この場合でも、歪の分布形は少し変化する可能性があり、ピーク歪で約 1 割程度の誤差は見込まねばならない。しかし、このような体系では、等価厚法は二重円筒モデルよりも外側円筒のピーク歪を大きい方向に評価するので、その部分での歪の評価としては保守的であると言えるかも知れない。

(2) (1)の結論は、二重円筒の間にある流体が閉じ込められているか、または上下端から自由に流入できるかにはあまり依存しない。

(3) 等価厚モデルの最大の難点は、内側の円筒を廻り込む流れがあるか、または上下端において斜め方向からの力の作用があるような場合に、外側の円筒の歪をかなり過小評価する事である。これは、耐衝撃体系のように外側の円筒に着目していて、二重円筒の付近に最大歪があるような場合は、非保守的な評価となる。この効果は、また、歪の分布形も大きく変え、時にはピーク歪の位置さえも移動させる。定量的な評価は各々の体系に依存するが、大まかにいって約 1 割程度であろうと見積られる。ゆえに、耐衝撃解析で等価厚法を採用する時には、かなり慎重でなければならない。

(4) また、二重円筒モデルにおける sharp edge でのエネルギー散逸を、等価厚モデルは模擬できないが、これは炉容器歪に対して保守側の評価となっていると考えられる。しかし、このエネルギー散逸による不確定性の定量的な値は体系に依存し、一般的に見積るのは難しい。

Table 5.7.1 Summary of Equivalent Thickness Model Test

Case Name			TOKATE1	TOKAAT1	TOKATE2	TOKAAT2	TOKATE3	TOKAAT3	
Model			Closed Model		Long Vessel Model		Open Model		
			Double Cylinders	Equivalent Single Cylinders	Double Cylinders	Equivalent Single Cylinders	Double Cylinders	Equivalent Single Cylinders	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	22.9 (2.7)	23.7 (3.0)	25.3 (4.0)	26.2 (3.8)	11.3 (3.2)	11.7 (3.3)	
Final Results (at 30 msec)	Energy Balance		%	+3.5	+0.4	+5.6	+0.2	+2.3	+0.7
	Maximum Strain	Vessel	%Δl/l	3.3	3.6	3.0	3.4	1.5	1.8
		Inner Shell	%Δl/l	3.4	/	1.3	/	1.7	/
	Distortion Energy	Vessel	MJ	28.0	49.2	47.3	54.9	11.5	22.7
		Inner Shell	MJ	21.4	/	6.7	/	10.8	/
	Sodium Internal Energy		MJ	9.7	9.1	13.5	11.7	3.8	3.8

Table 5.7.2 Summary of Equivalent Thickness Effect

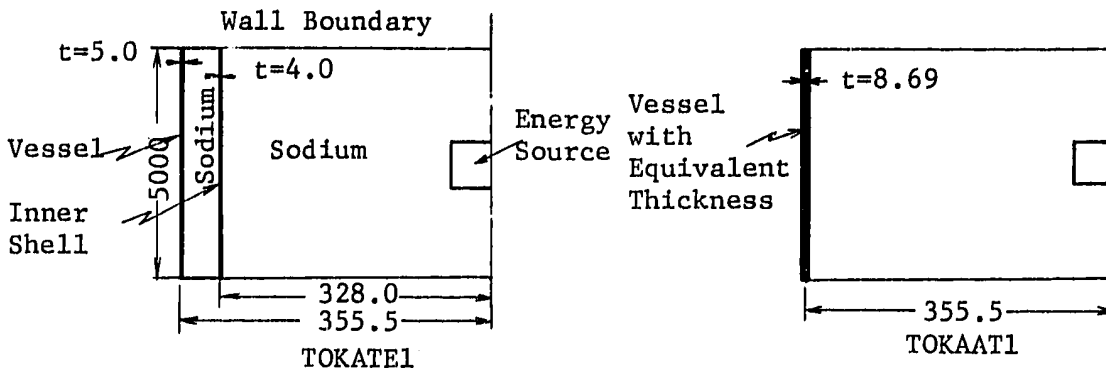
- Monju Simple Model

by PISCES-2DELK version 3 level 12

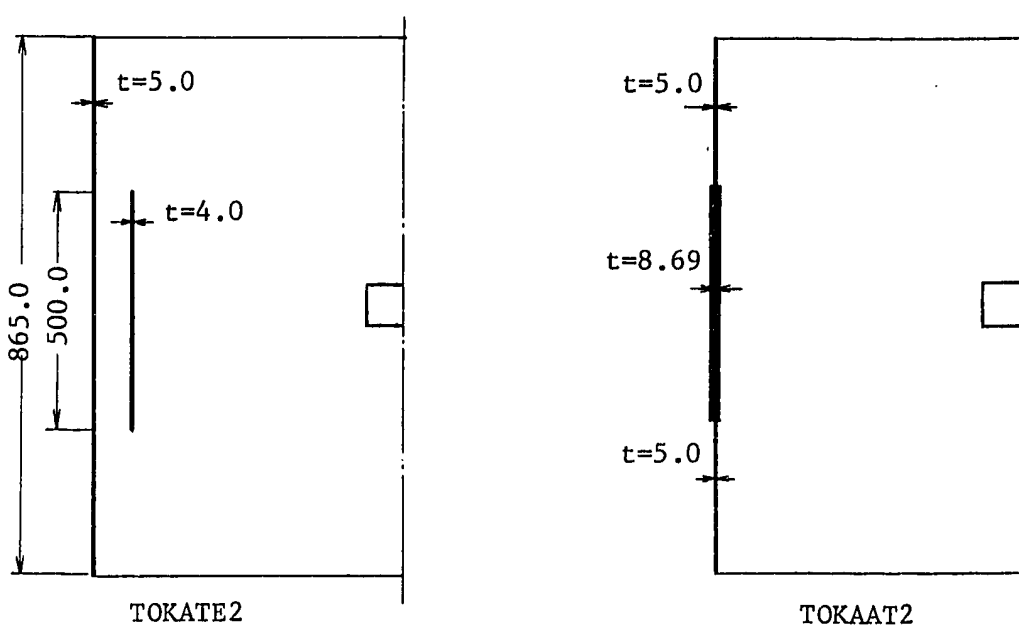
Case Name		NONAIT#1	NONAIT#2	SBASE#1	
Method of Inner Barrel Modeling		Double Shell Model	Equivalent Thickness Model	No Inner Barrel (reference)	
Maximum Total Kinetic Energy (time)		MJ (msec)	158 (46.7)	159 (47.2)	141 (49.8)
Final Results (at 100 msec)	Energy Balance	%	+3.2	0.0	0.0
	Maximum Strain of Vessel (position)	% $\Delta l/l$ (cm)	11.5 (797)	10.4 (795)	10.9 (800)
	Strain of Vessel at Reactor Core Level (270 cm)	% $\Delta l/l$	3.8	3.2	4.7
	Reactor Core Release Energy	MJ	-332	327	-340
	Kinetic Energy	MJ	2	1	1
	Sodium Kinetic Energy	MJ	10	4	3
	Internal Energy	MJ	121	101	98
	Reactor Vessel Distortion Energy	MJ	185	205	225
Inner Barrel Distortion Energy	MJ	13			
Upper Internal Structure Distortion Energy	MJ	12	15	12	

Case 1 : Closed Model

(Unit: cm)



Case 2 : Long Vessel Model



Case 3 : Open Model

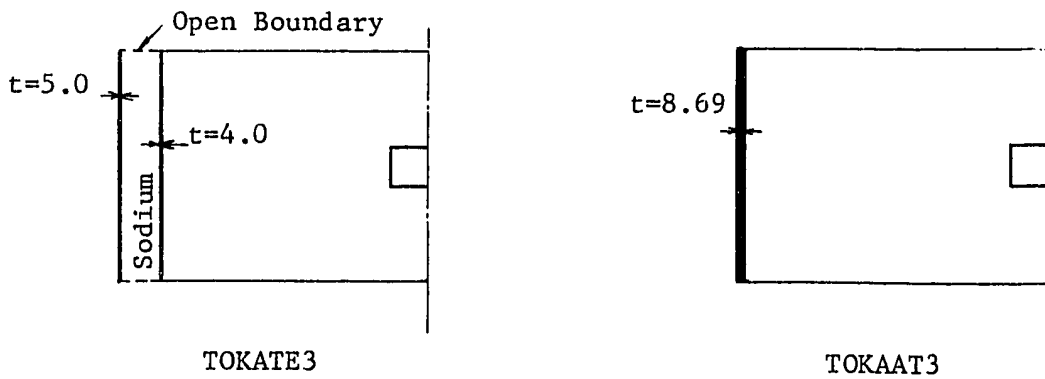


Fig. 5.7.1 Analytical Models for Equivalent Thickness Effect

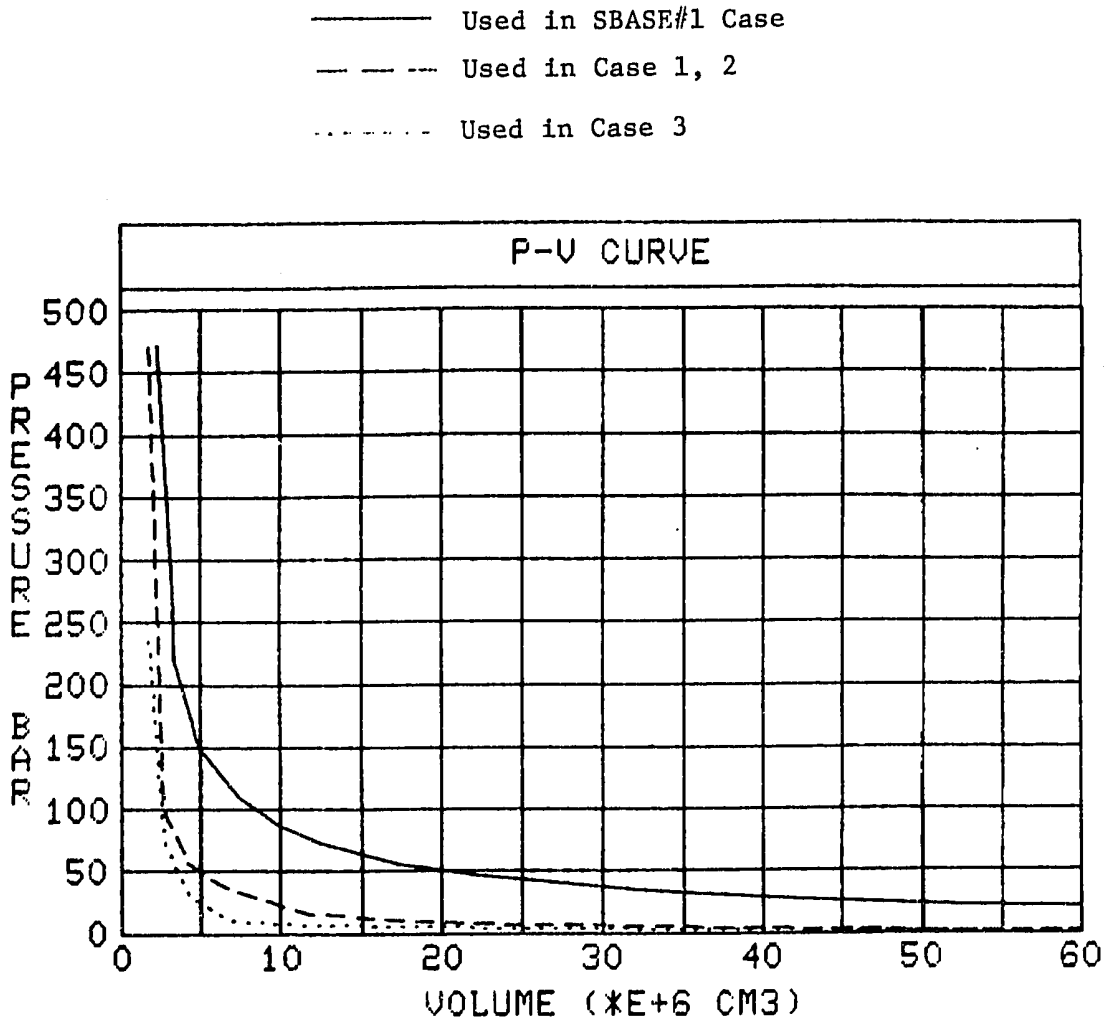
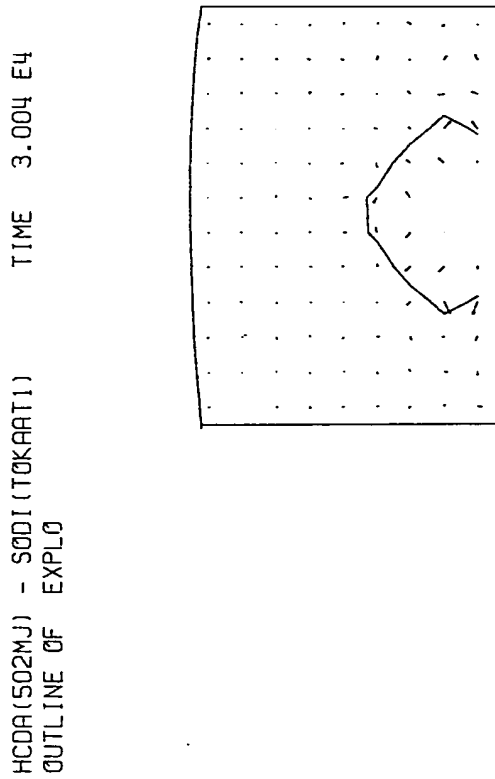


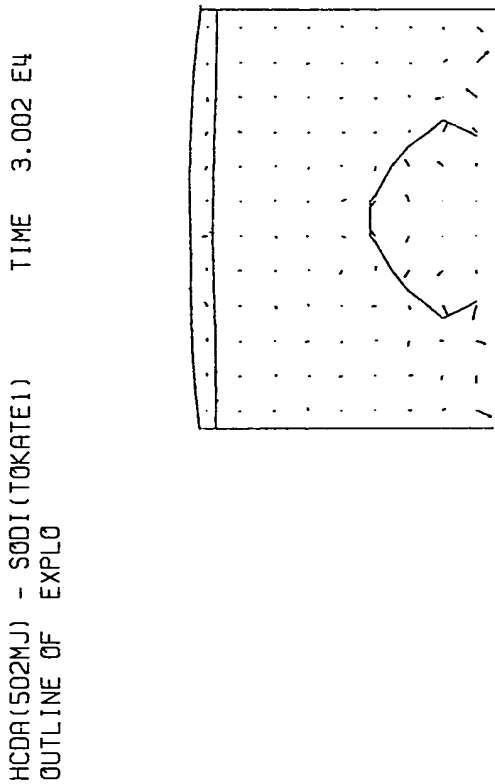
Fig. 5.7.2 Pressure-Volume Relationship used in Equivalent Thickness Model Analysis

487
CYCLE 487



(b) Equivalent Thickness Model

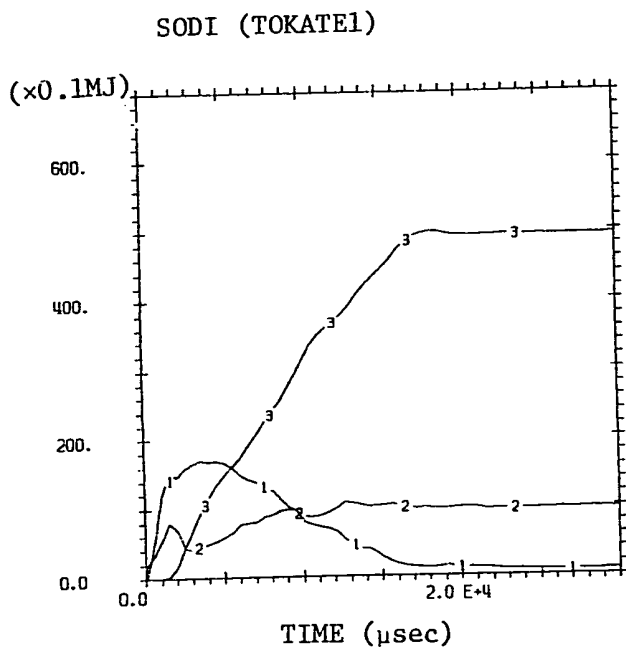
509
CYCLE 605



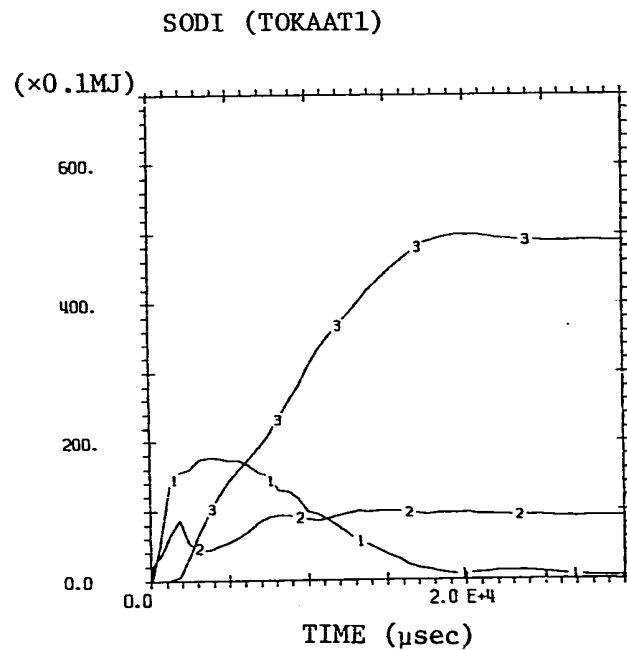
(a) Double Shell Model

Fig. 5.7.3 Whole Configuration at Final State - Case 1: Closed Model -

1 --- E_{KIN} VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
 2 --- E_{INT} VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
 3 --- E_{INT} VS TIME FOR MATERIAL 3 (SUS304)

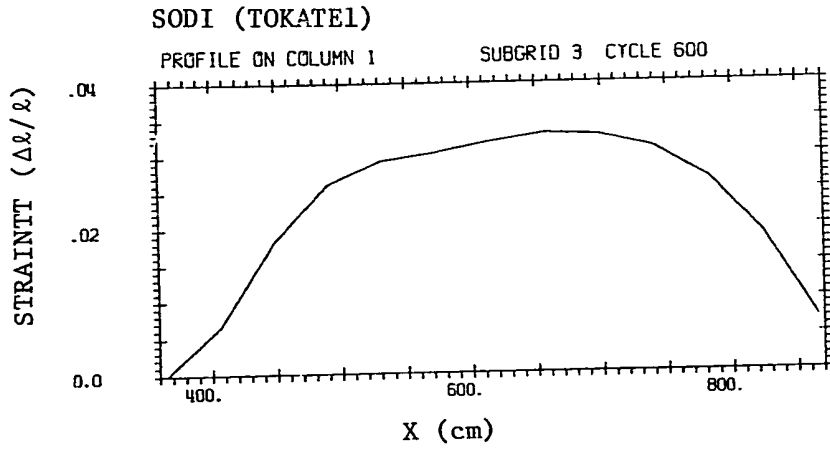


(a) Double Shell Model

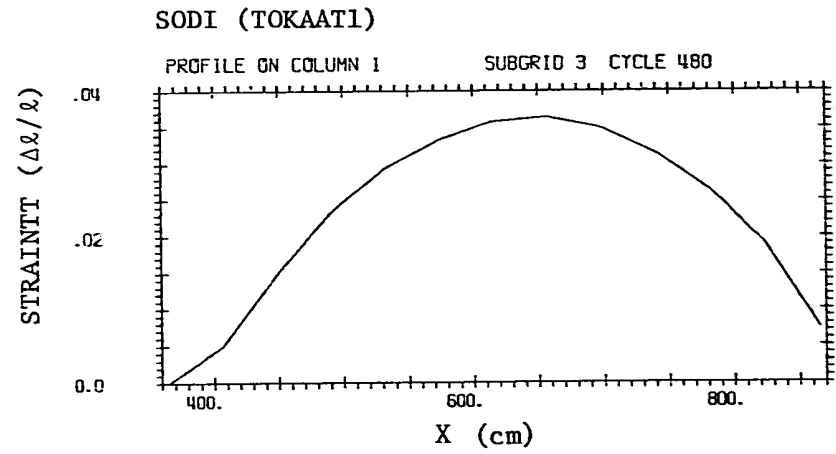


(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.4 Energy History - Case 1: Closed Model -



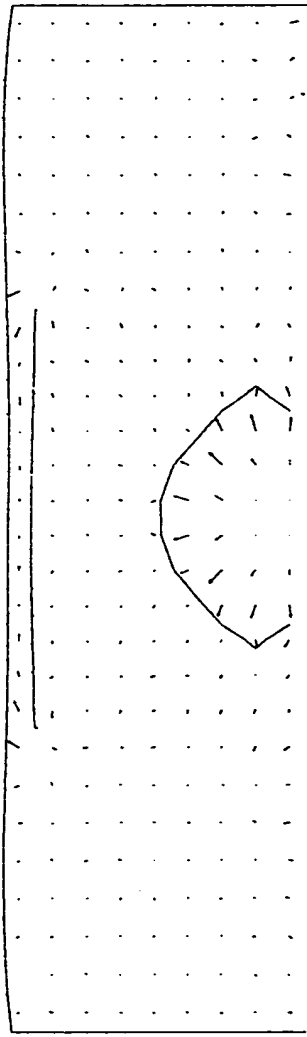
(a) Double Shell Model



(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.5 Final Vessel Strain Profile - Case 1: Closed Model -

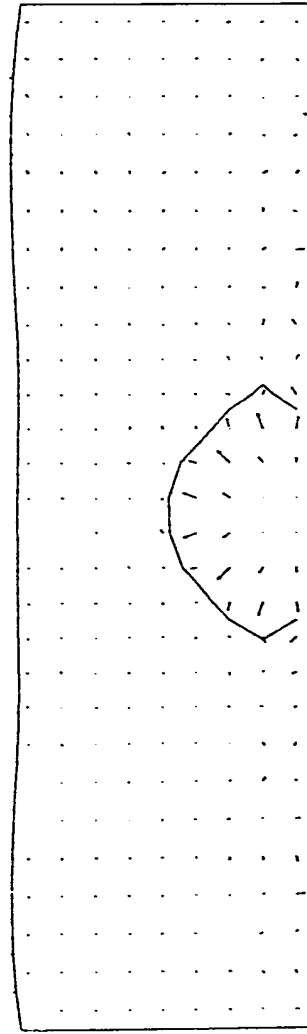
HCDR(502MJ) - SDDI(TOKATE2) TIME 3.002 E4
OUTLINE OF EXPL0



CYCLE 605

(a) Double Shell Model

HCDR(502MJ) - SDDI(TOKATE2) TIME 3.002 E4
OUTLINE OF EXPL0

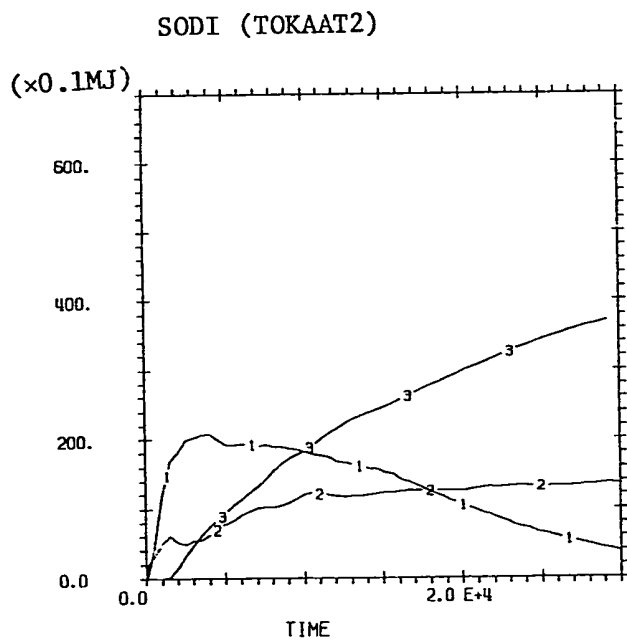


CYCLE 488

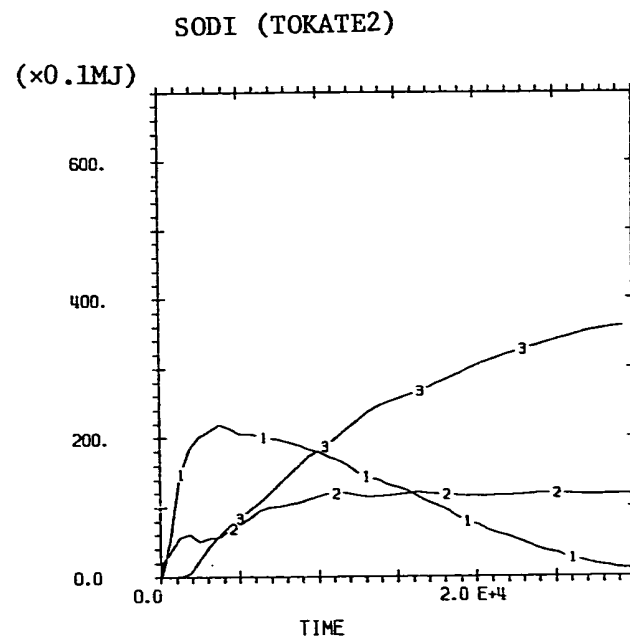
(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.6 Whole Configuration at Final State - Case 2: Long Vessel Model -

1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (SUS304)

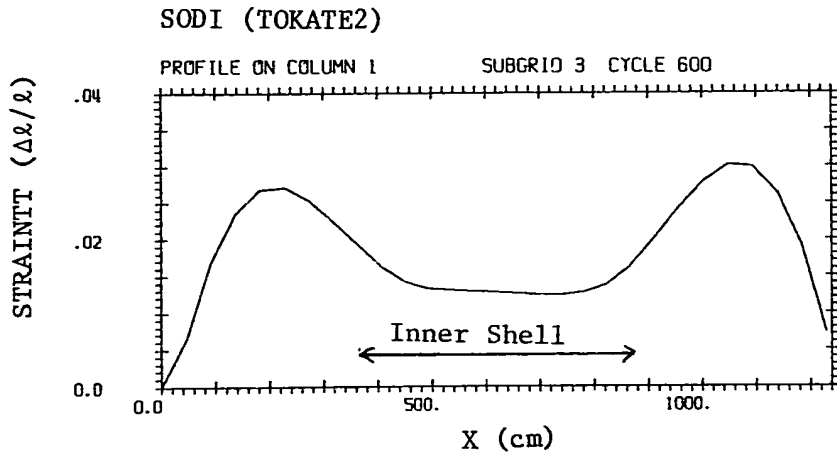


(a) Double Shell Model

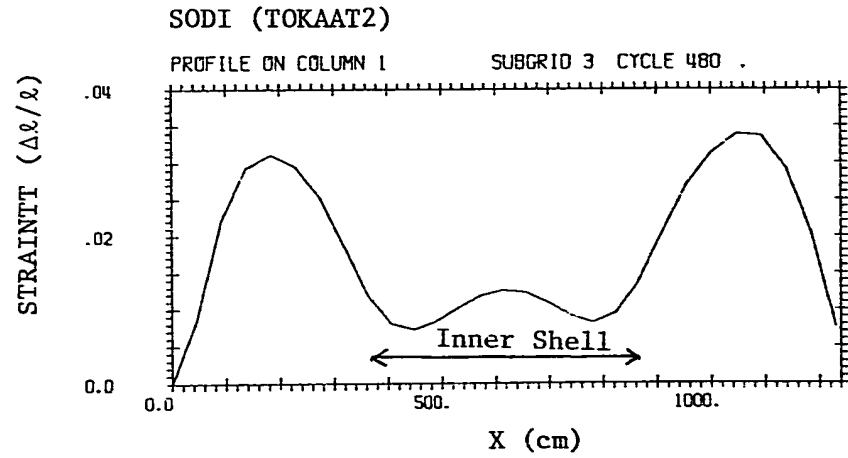


(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.7 Energy History - Case 2: Long Vessel Model -



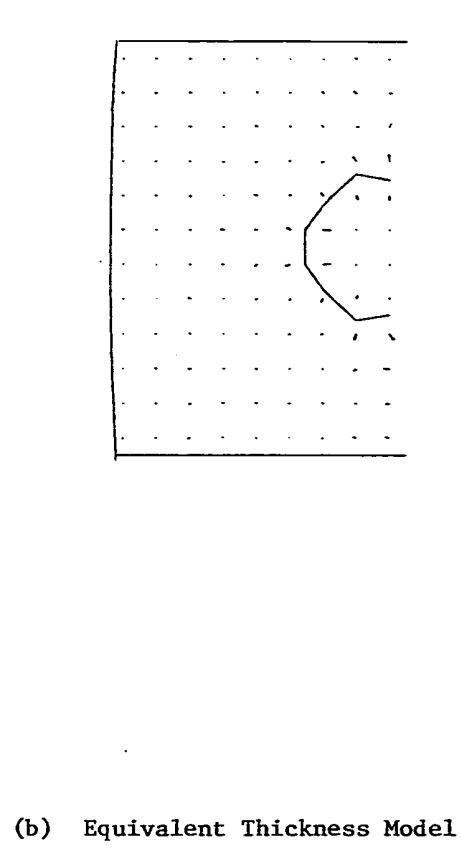
(a) Double Shell Model



(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.8 Final Vessel Strain Profile - Case 2: Long Vessel Model -

487 37313



509 37313

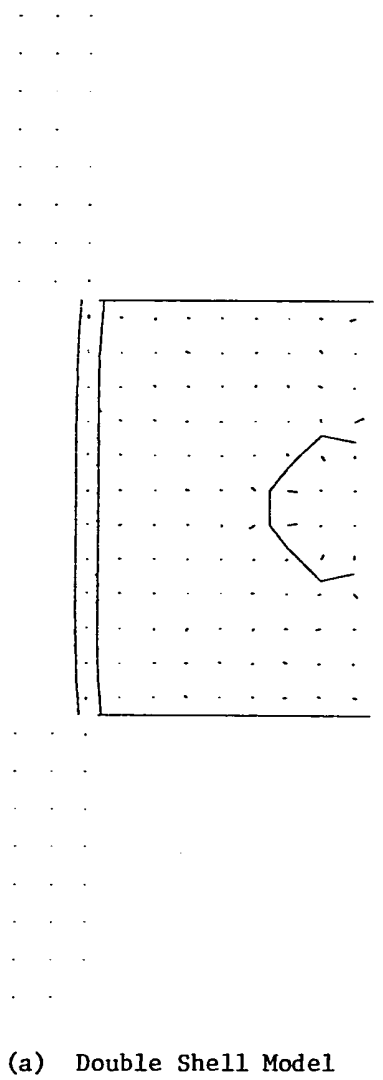


Fig. 5.7.9 Whole Configuration at Final State - Case 3: Open Model -

1 --- EKIN VS TIME FOR MATERIAL 2 (Sodium)
 2 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 2 (")
 3 --- EINT VS TIME FOR MATERIAL 3 (SUS304)

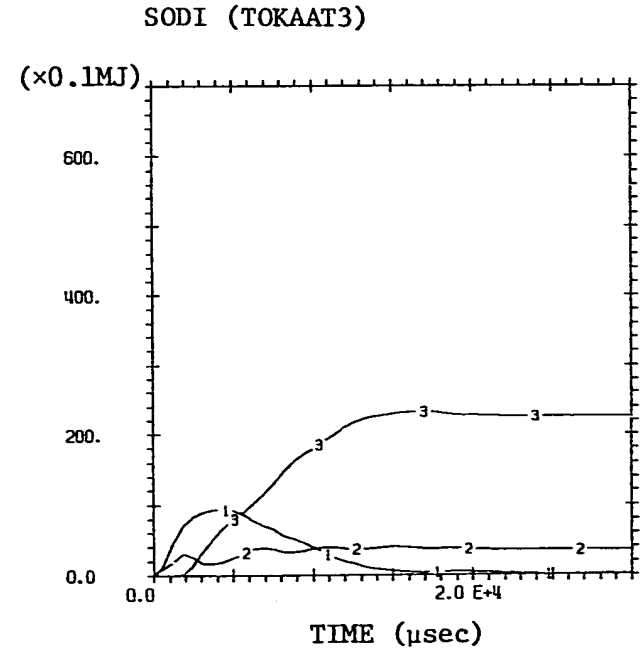
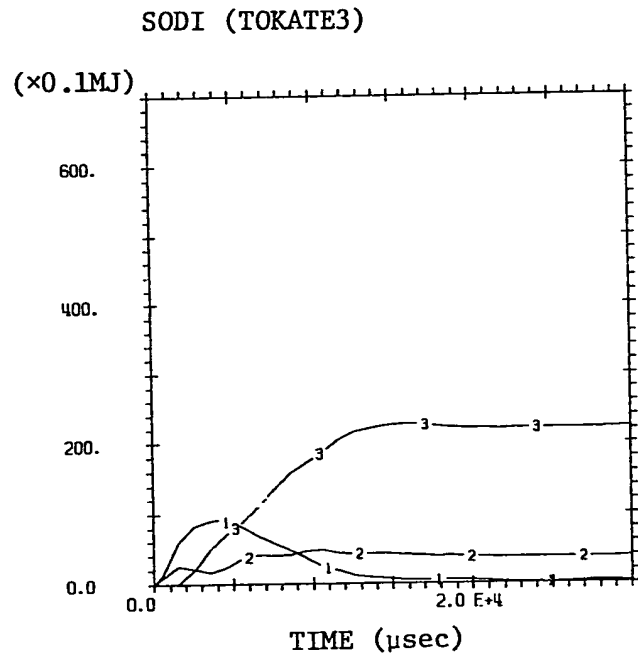
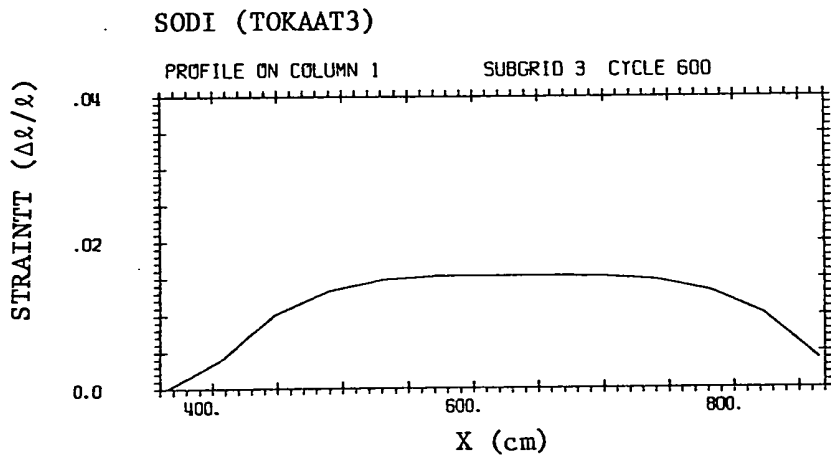
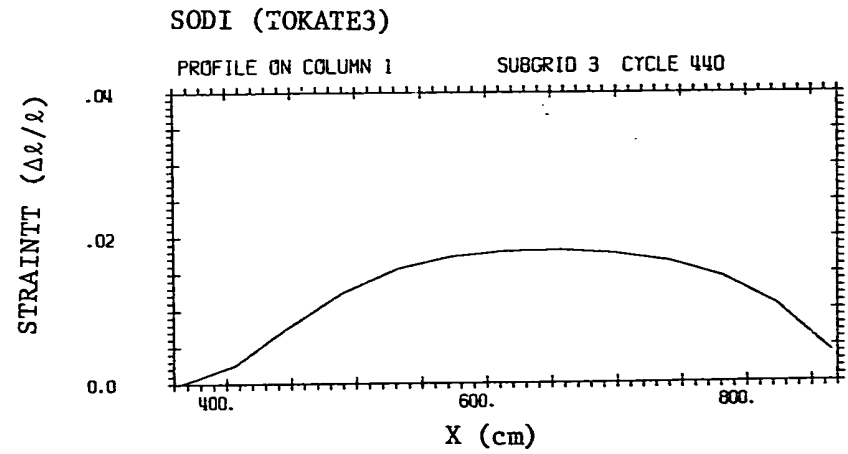


Fig. 5.7.10 Energy History - Case 3: Open Model -

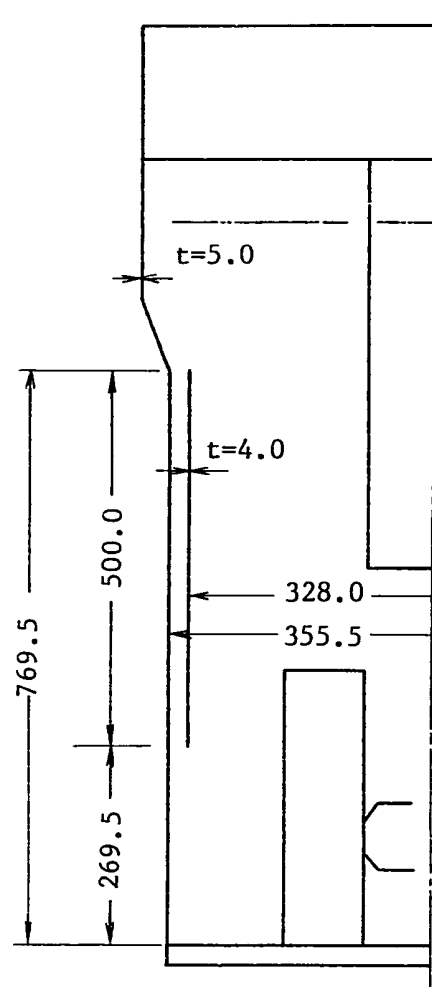


(a) Double Shell Model

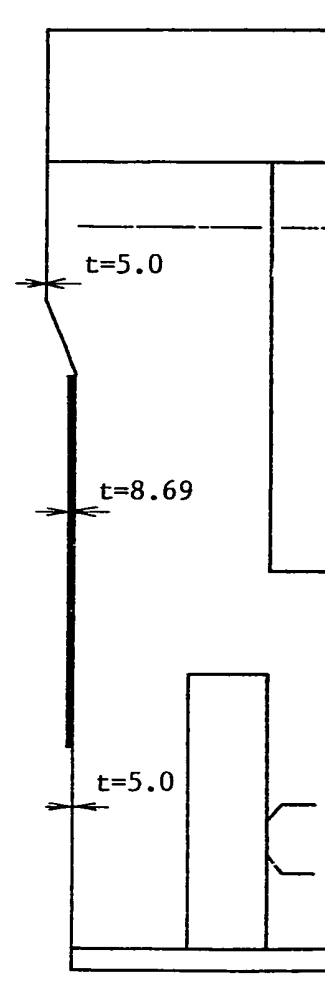


(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.11 Final Vessel Strain Profile - Case 3: Open Model -



(a) Double Shell Model



(b) Equivalent Thickness Model

(Unit: cm)

Fig. 5.7.12 Analytical Models of Shell Equivalent Thickness Effect in SBASE#1 Case

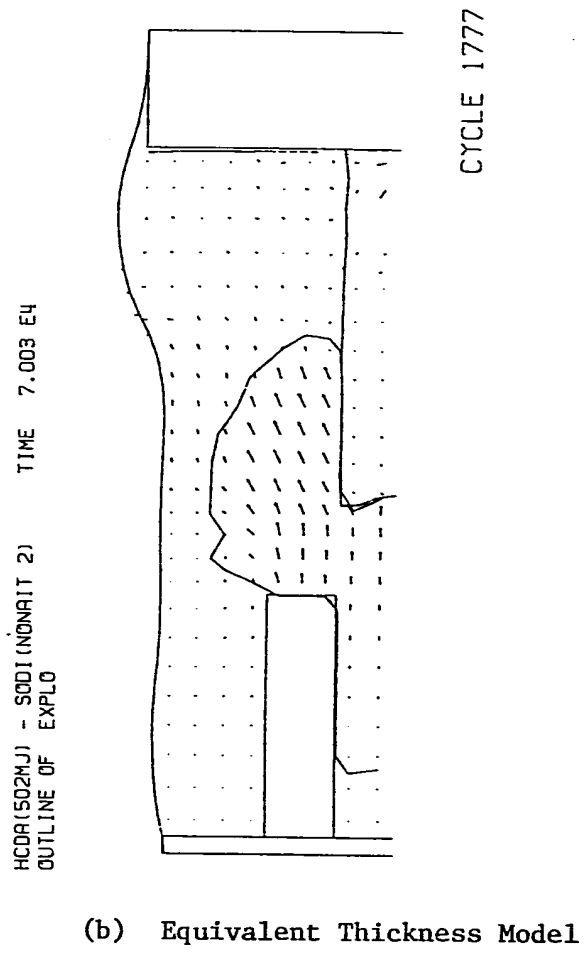
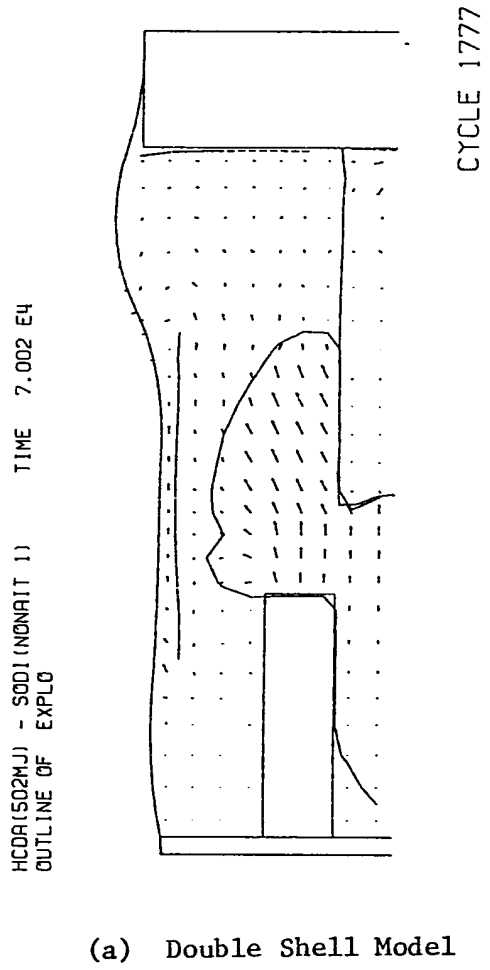
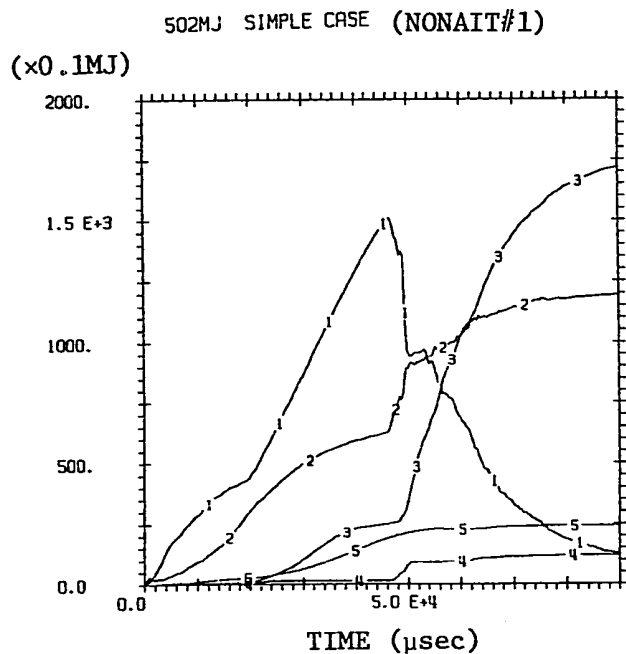
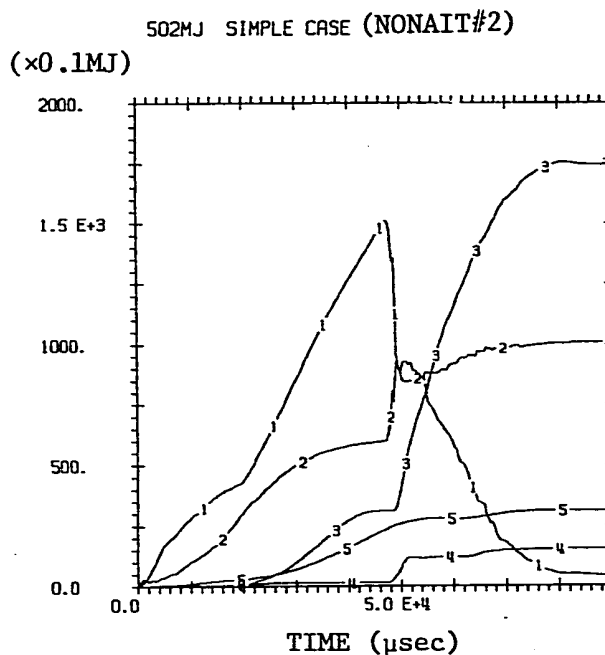


Fig. 5.7.13 Whole Configuration at 70 msec
- Shell Equivalent Thickness Effect -

1	---	EKIN	VS TIME	FOR MATERIAL 2 (Sodium)
2	---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 2 (")
3	---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 3 (Upper Reactor Vessel)
4	---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 4 (UIS)
5	---	EINT	VS TIME	FOR MATERIAL 5 (Lower Reactor Vessel)

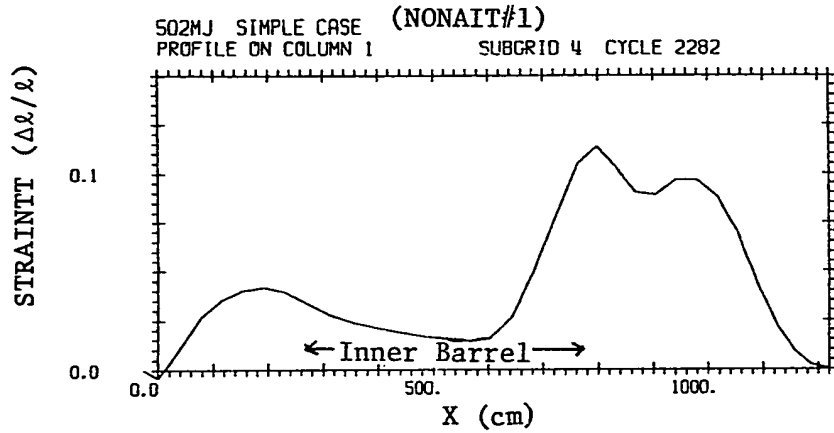


(a) Double Shell Model

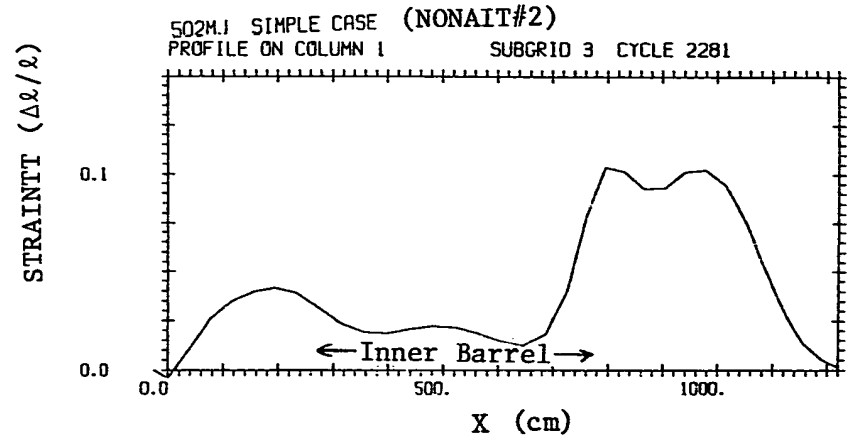


(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.14 Energy History of Each Material
 - Shell Equivalent Thickness Effect -



(a) Double Shell Model



(b) Equivalent Thickness Model

Fig. 5.7.15 Final Strain Profile of Reactor Vessel
 - Shell Equivalent Thickness Effect -

5.8 P- α Compaction法によるクラッシュャブル構造のモデル化

5.8.1 まえがき

PISCES コードにはクラッシュャブル材のモデル化法としてP- α compaction 法がある。その機能の検証例およびモデルの概要については、すでに3.5節及び4.13節で述べた。ここではこのP- α のcompactionモデルの応用例について述べる。

原子炉内で事故時に発生する(核暴走による蒸気爆発)機械的エネルギーに対し、原子炉内には、自ら破損しながらそのエネルギーの一部を効果的に吸収するクラッシュャブル構造がいくつ也存在する。このクラッシュャブル構造による機械的エネルギーの吸収は、原子炉容器耐衝撃評価上非常に重要な意味をもつ。例えば、炉心の燃料集合体は、核暴走や炉心内での熔融燃料-冷却材相互作用によって生ずる機械的エネルギーを効率よく吸収する構造をもっているし、また、プラグヘッド下面下に取り付けられている多数の熱遮蔽板層は、蒸気爆発や核暴走によって生じる蒸気泡によって急激に上方に加速される上部プレナムの冷却材スラグのプラグヘッドへの衝突を自ら変形破損することによって柔らげ、冷却材スラグの衝突による炉容器首下部の変形を抑えるという重要な効果をもつ。

ここではP- α モデルの応用例として冷却材スラグが衝突する際のクラッシュャブルプラグヘッドのエネルギー吸収効果について議論する。

5.8.2 解析モデル

解析モデル図5.8.1(a)に解析体系を示す。激突する冷却材スラグ(半径3.5m長さ5.8m)はEulerで、管壁(肉厚5cm)はShellで表わし、クラッシュャブルプラグヘッドはLagrangeとし、P- α compaction法でモデル化する。P- α compaction材としては、前述の3.5節でP- α compaction機能の検証の際に使用したものをを用いる。その諸定数は3.5節に示されている。(これをAL-1モデルとする。)

図5.8.1(b)にEulerサブグリッド、Shellサブグリッドの構成を示す。冷却材ナトリウムの諸特性は5.2節、表5.2.2に示す値を用い、管壁材料特性は表5.2.3中のSUS 530Sの値を用いる。

計算は、冷却材スラグがプラグヘッド下面に激突する直前を $t=0$ とし、その激突するスラグの速度をパラメータとして数ケース行なった。解析ケースを表5.8.1に示す。

Table 5.8.1 P- α Compaction Test Cases

Case	Slug Velocity (m/sec)	Crushable
VEL-20	20	No (Rigid)
VEL-30	30	No (Rigid)
VEL-40	40	No (Rigid)
VEL-50	50	No (Rigid)
V30AL1	30	P- α Model (AL-1 Model)
V40AL1	40	P- α Model (AL-1 Model)
V50AL1	50	P- α Model (AL-1 Model)

5.8.3 解析結果及び検討

剛体プラグ構造の場合と、クラッシュブルプラグ構造の場合の衝突する液体スラグ挙動及び管壁の変形の様子を図 5.8.2 に示す。クラッシュブル構造の場合、スラグの衝突エネルギーの一部を吸収し自ら変形することによって発生する衝撃波を緩和するため流体中に発生するキャビテーションも小さい^(*)。管壁の変形の様子を図 5.8.3 にさらに詳しく比較している。明らかに衝突による管壁の最大変形量は、クラッシュブル効果により低下していることがわかる。図 5.8.4 に変形終了時の管壁の歪エネルギー (E_{s2}) 及びクラッシュブル材に吸収された変形エネルギー (E_{c2}) をスラグの衝突運動エネルギー (KE_1) に対して示している。又図 5.8.5 にスラグの衝突運動エネルギーに対する構造材へのエネルギー変換率を示す。プラグヘッドが剛体の場合、スラグ衝突運動エネルギーのうち 80~90% が管壁の歪エネルギーとして吸収されていることがわかる。また、クラッシュブル構造モデル AL-1 では約 10% 程度のエネルギーがクラッシュブル構造の変形エネルギーとして吸収されているが、管壁の歪エネルギーは数% 低下しただけである。これは衝突時の衝撃波の緩和によって流体中で消費されるエネルギー損失が低下したためと考えられる。図 5.8.6 にエネルギー分配の様子を示す。図 5.8.7 は、スラグの衝突によって生ずる管壁の最大周方向歪 ϵ_m をスラグの衝突速度 V_0 に対して図示したものである。管壁の最大周方向歪 ϵ_m は、冷却材スラグの衝突速度 V_0 に比例して増加していることがわかる。図 5.8.8 に示すように最大周方向歪 ϵ_m へのプラグヘッドのクラッシュブル構造の効果は、スラグ衝突運動エネルギーの約 10% 程度のエネルギー吸収で、約 5% (相対値) の最大周方向歪の低下としてあらわれている。最後に、スラグ衝突運動エネルギー (KE_1) からクラッシュブルプラグヘッド構造によって吸収されたエネルギー (E_{c2}) を差し引いた管壁への実効的な負荷エネルギーに対する、管壁の最大周方向歪を図 5.8.9 に示す。

(*) キャビテーションについては 5.10 節参照

この図より、クラッシュブル構造による効果はあたかもスラグの衝突運動エネルギーを減じた効果として振舞っていることがわかる。

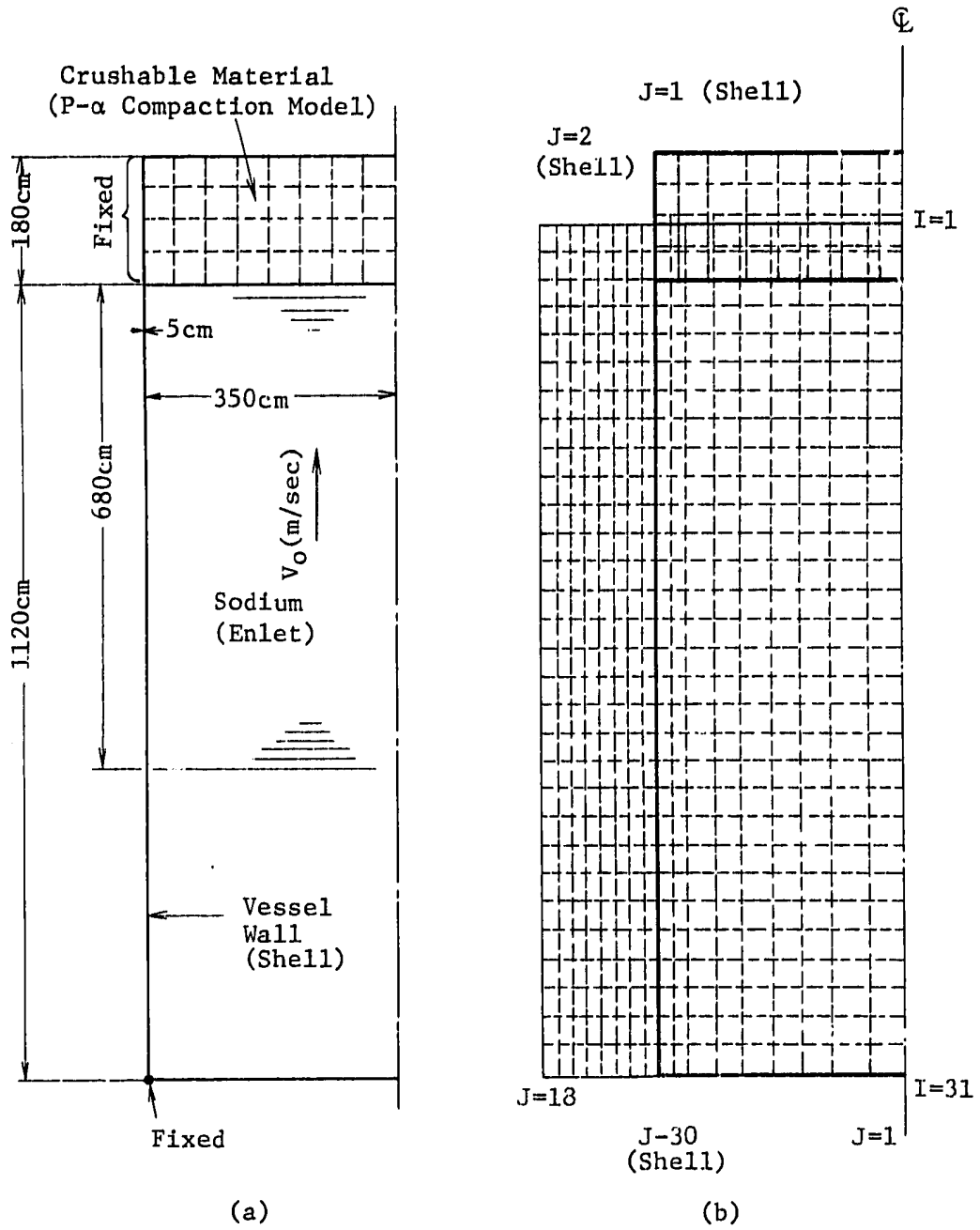


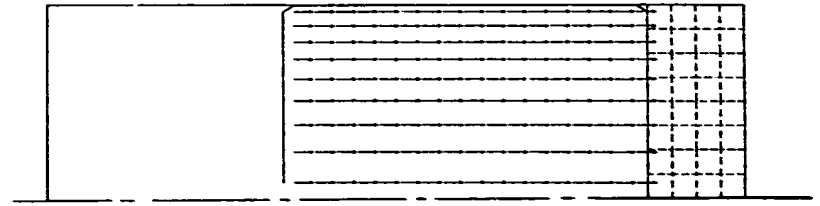
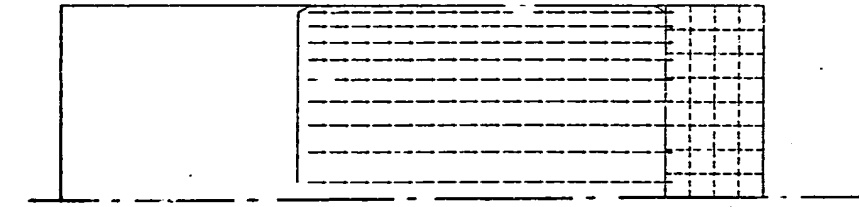
Fig. 5.8.1 Modeling for P- α Compaction Test

PTEST(VEL50)-SLUG IMPACT TEST

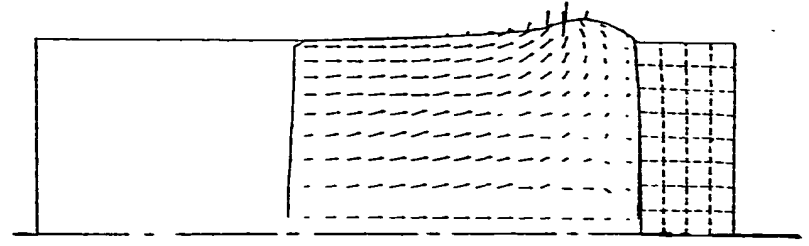
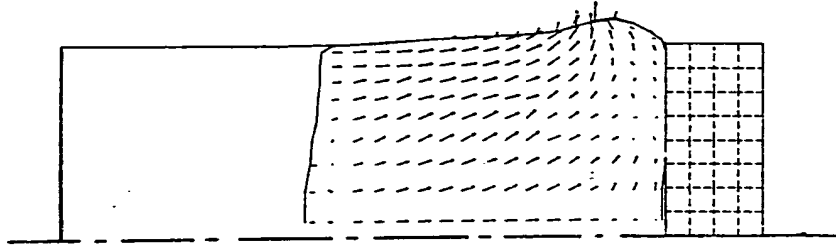
PTEST(V50AL1)-SLUG IMPACT TEST

PNC TN941 84-16

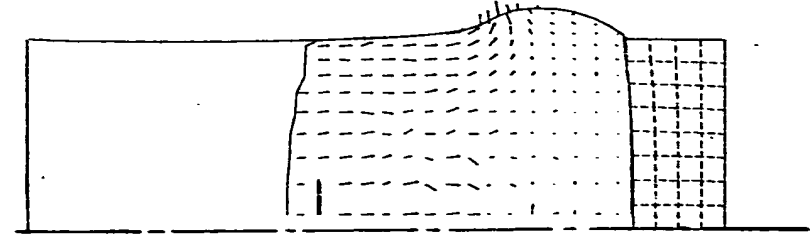
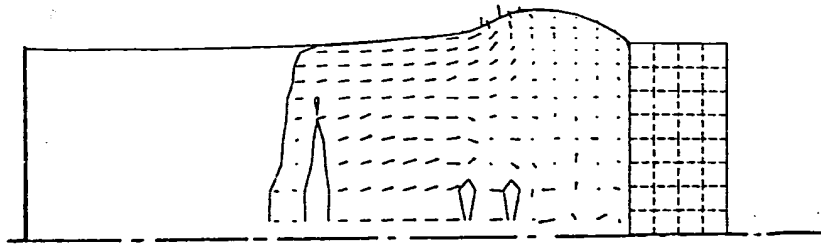
- 254 -



$t=0$ msec



$t=10$ msec



$t=20$ msec

(a) Rigid Plug Head

(b) Crushable Plug Head
(AL-1 Model)

Fig. 5.8.2 Behaviors of Slug Impact ($V_0 = 50$ m/sec)

PTEST(VEL50)-SLUG IMPACT TEST

PTEST(V50AL1)-SLUG IMPACT TEST

t=30 msec

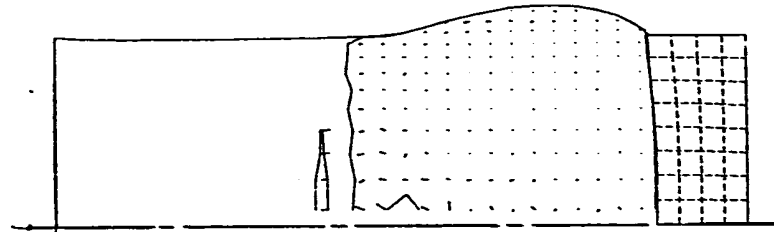
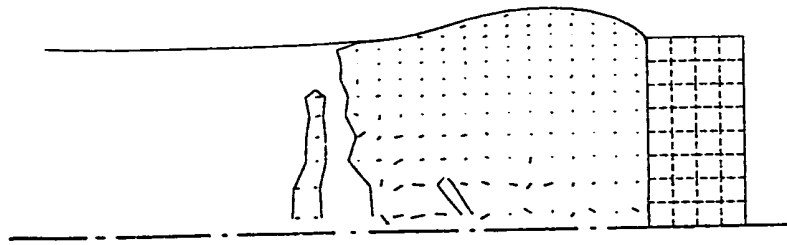
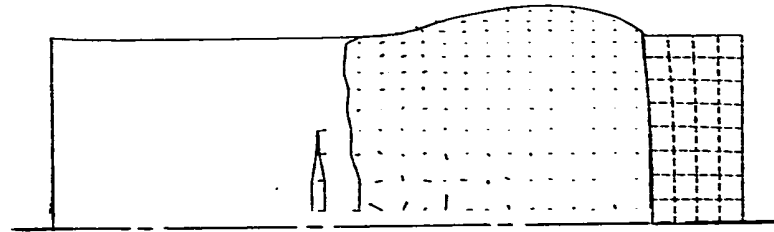
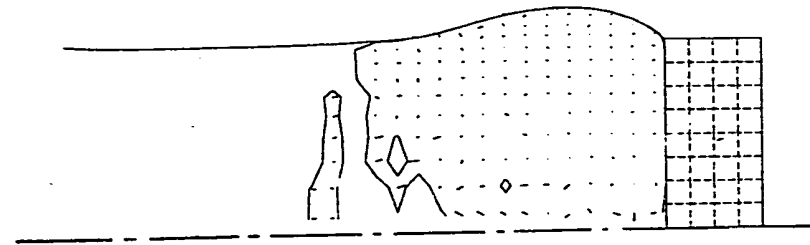
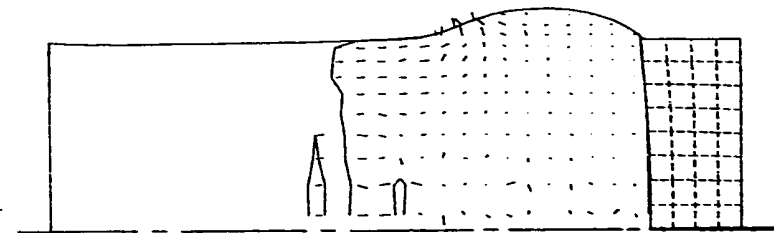
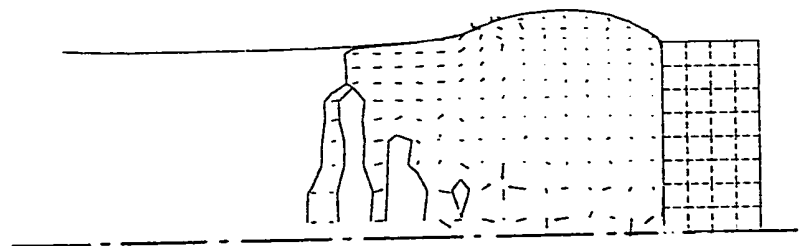
t=40 msec

t=50 msec

(a) Rigid Plug Head

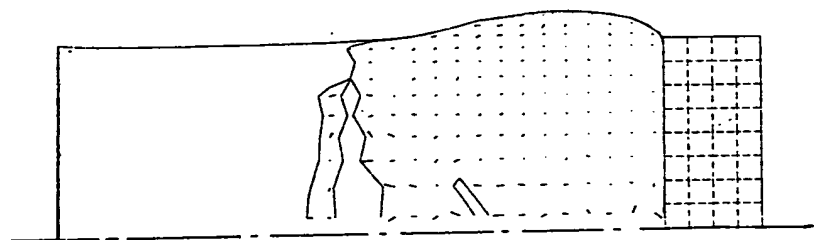
(b) Crushable Plug Head
(AL-1 Model)

Fig. 5.8.2 (Cont'd)

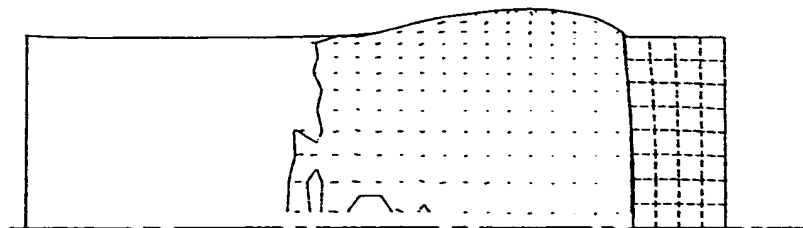


PTEST(VEL50)-SLUG IMPACT TEST

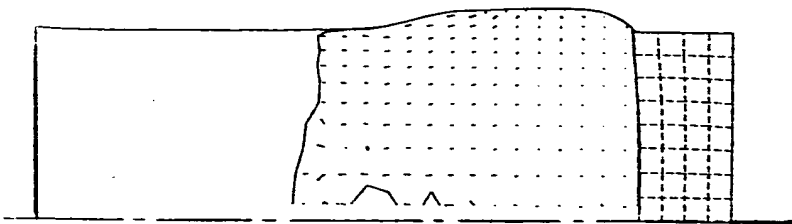
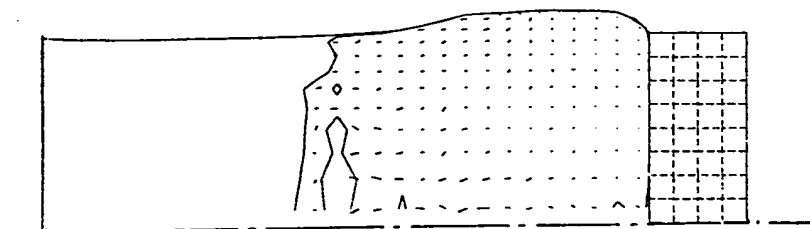
PTEST(V50AL1)-SLUG IMPACT TEST



t=60 msec



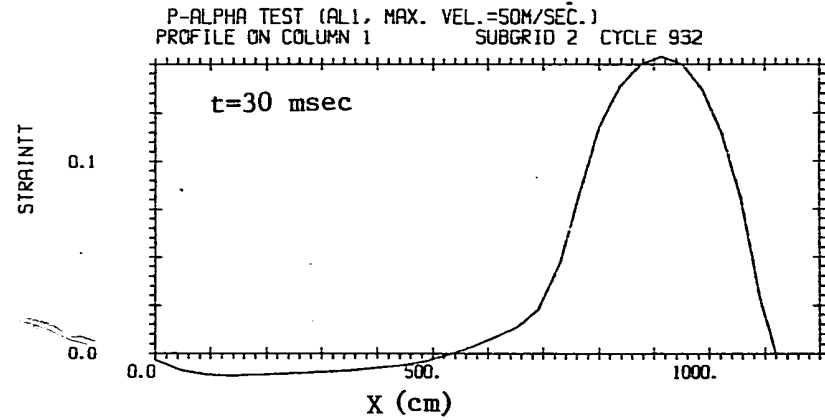
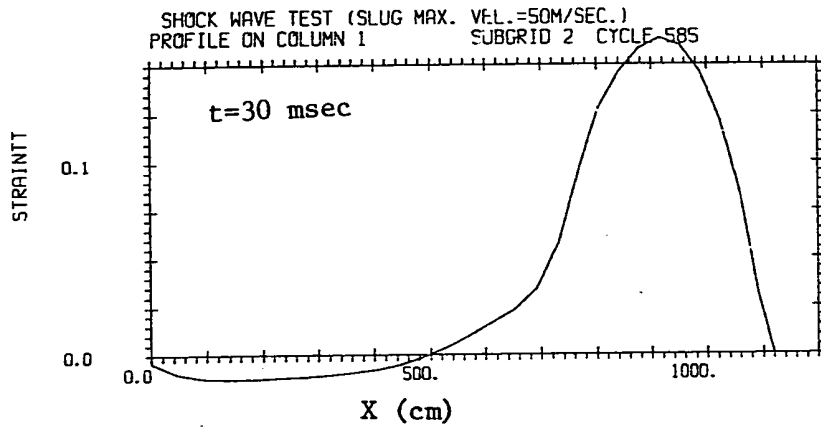
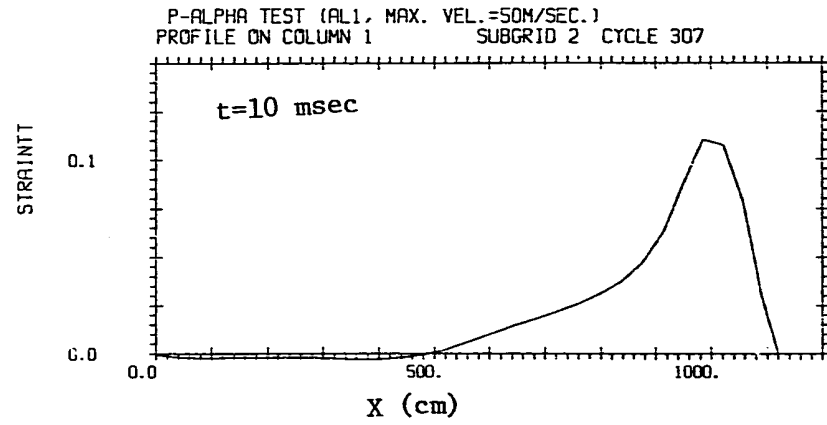
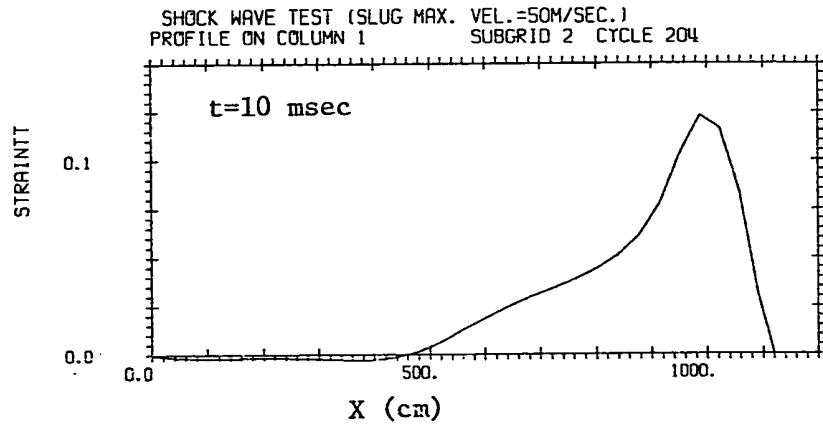
t=70 msec



(a) Rigid Plug Head

(b) Crushable Plug Head
(Al-1 Model)

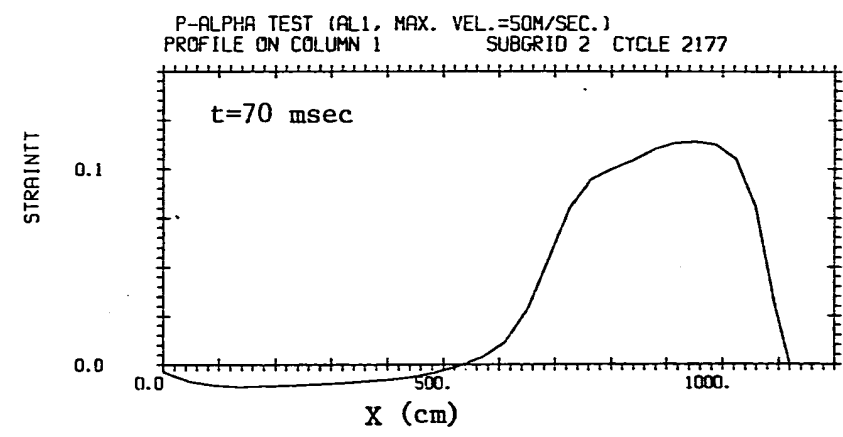
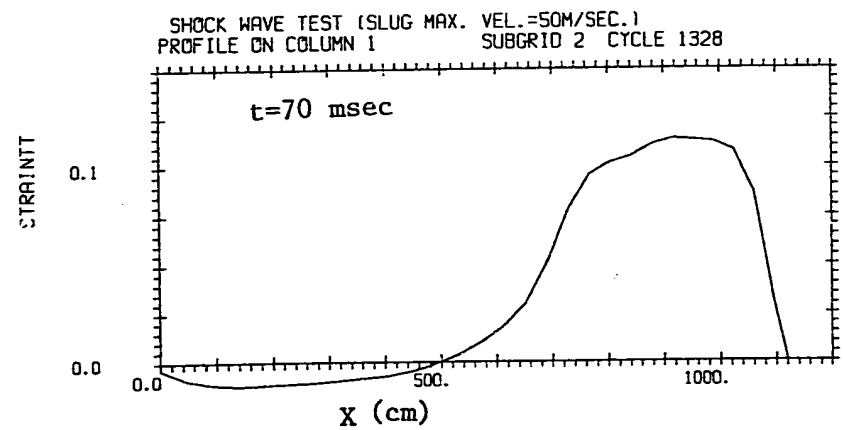
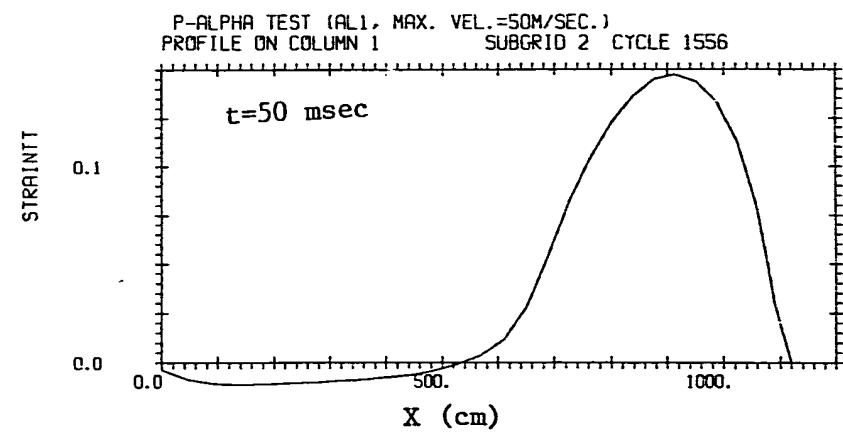
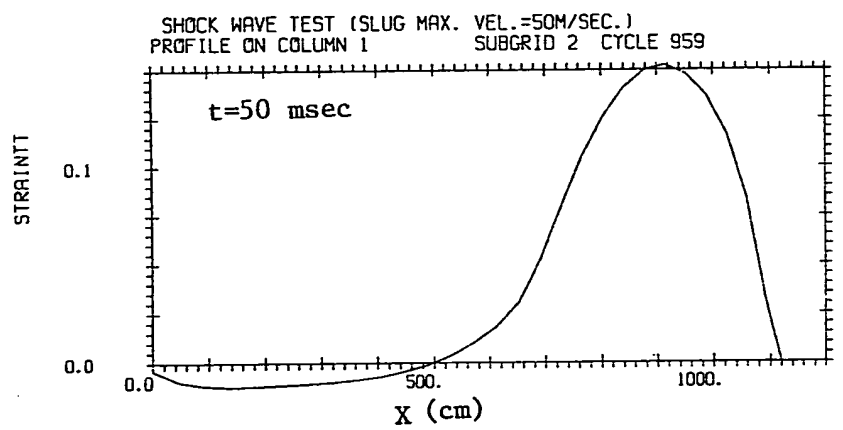
Fig. 5.8.2 (Cont'd)



(a) Rigid Plug Head

(b) Crushable Plug Head
 (AL-1 Model)

Fig. 5.8.3 Behavior of Hoop Strain of Vessel Wall ($V_0 = 50$ m/sec)



(a) Rigid Plug Head

(b) Crushable Plug Head
(AL-1 Model)

Fig. 5.8.3 (Cont'd)

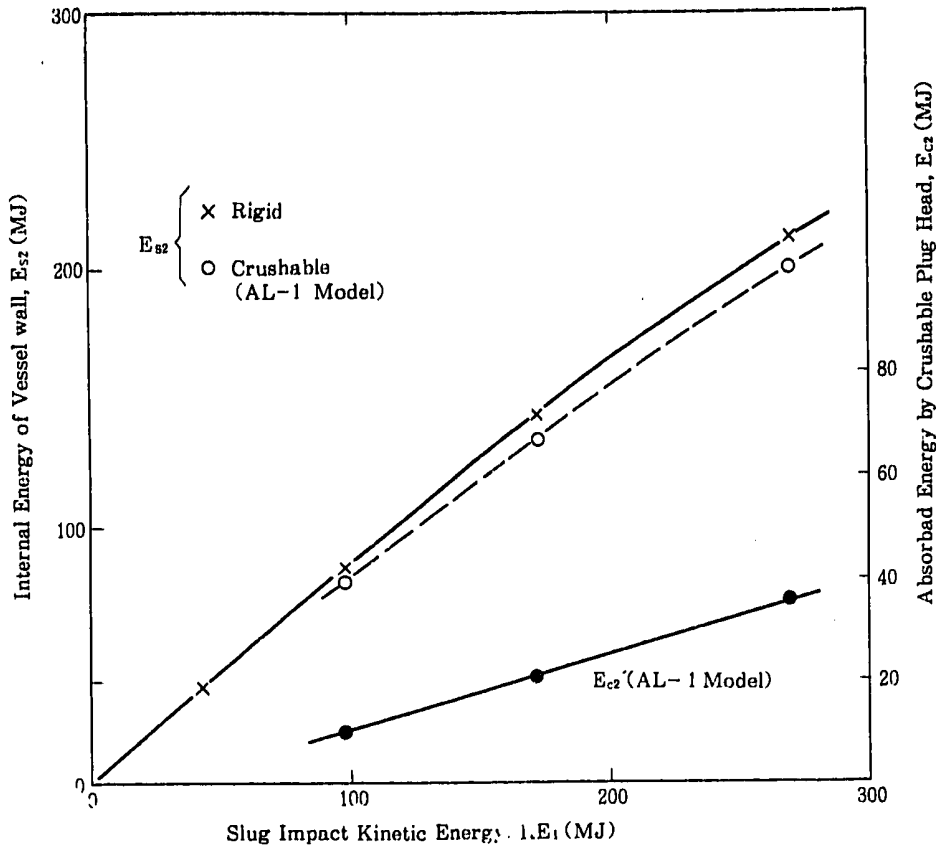


Fig. 5.8.4 Final Energy Absorbed by Structures.

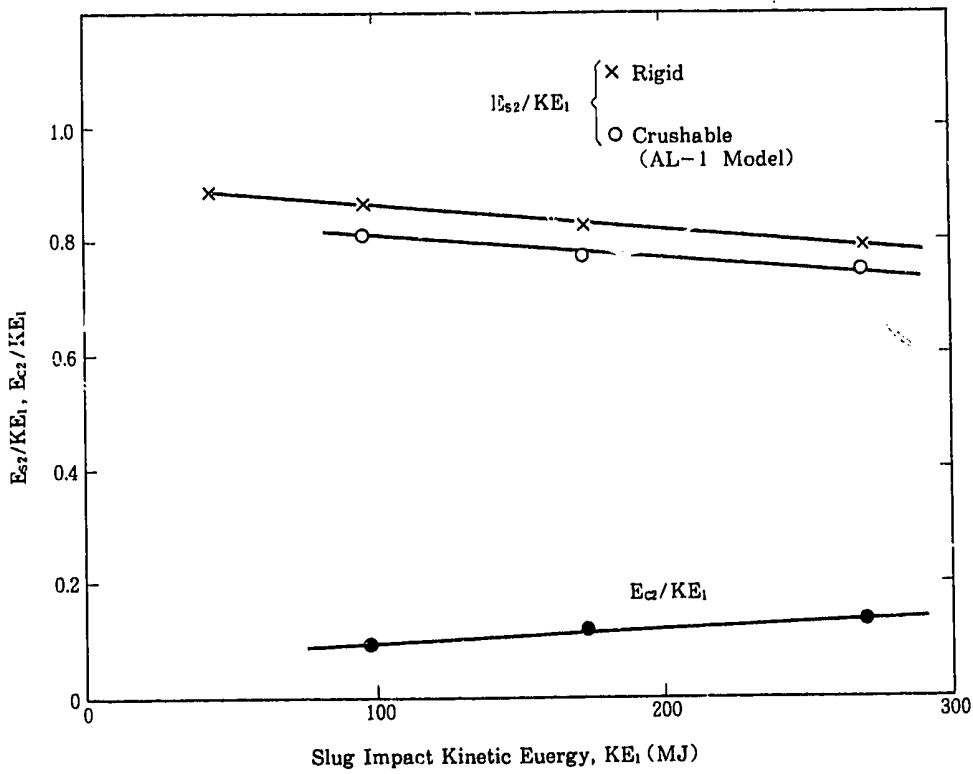
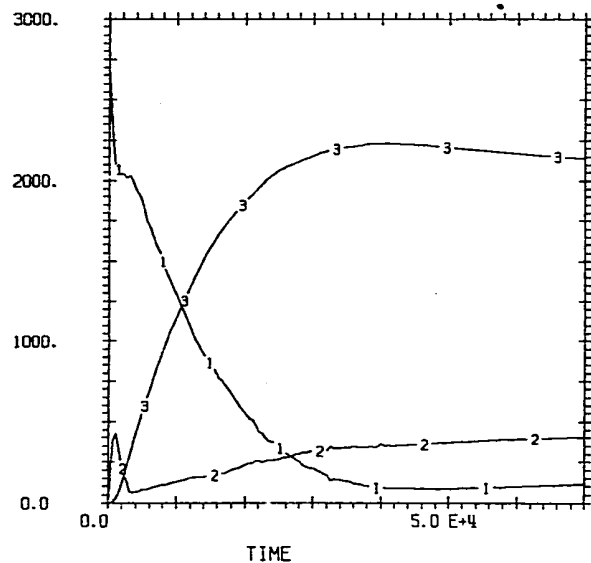
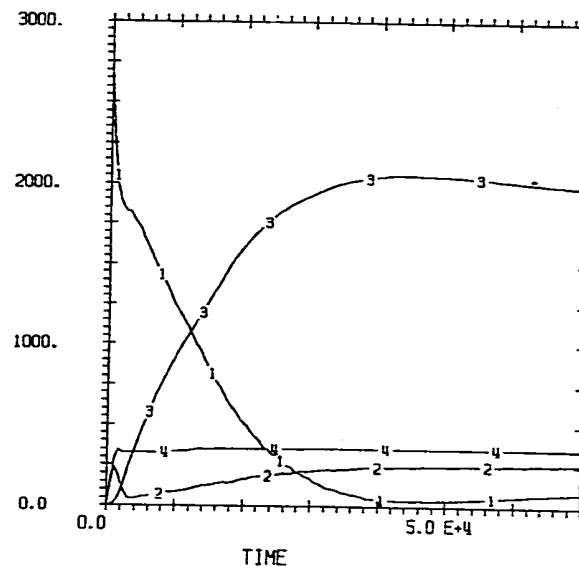


Fig. 5.8.5 Energy Conversion Ratio

SHOCK WAVE TEST (SLUG MAX. VEL.=50M/SEC.)



P-ALPHA TEST (AL1, MAX. VEL.=50M/SEC.)



(1: Sodium Kinetic Energy (KE), 2: Sodium Internal Energy (IE)
 (3: Vessel Wall Internal Energy(E_S), 4: Plug Head Internal Energy (E_C))

(a) Rigid Plug Head

(b) Crushable Plug Head
 (AL-1 Model)

Fig. 5.8.6 Energy Partition

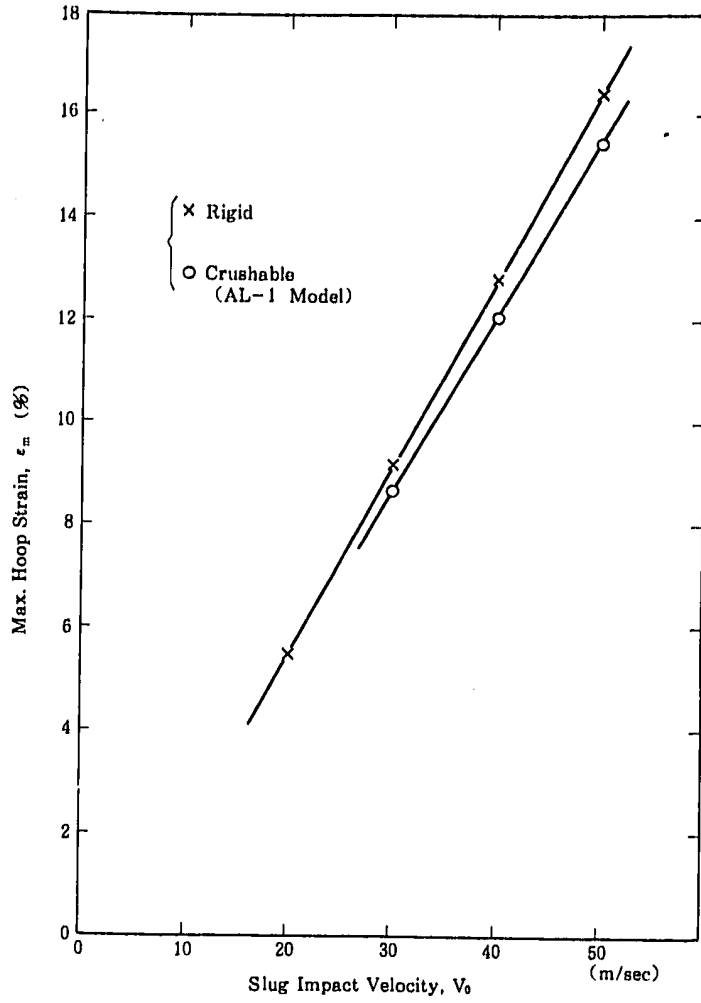


Fig. 5.8.7 Maximum Hoop Strain

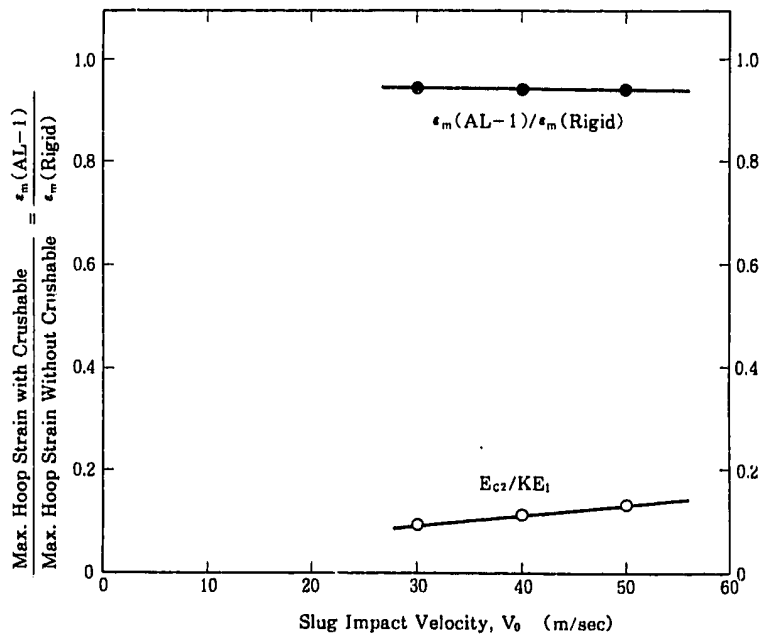


Fig. 5.8.8 Crushable Effect on Maximum Hoop Strain of Vessel Wall [I]

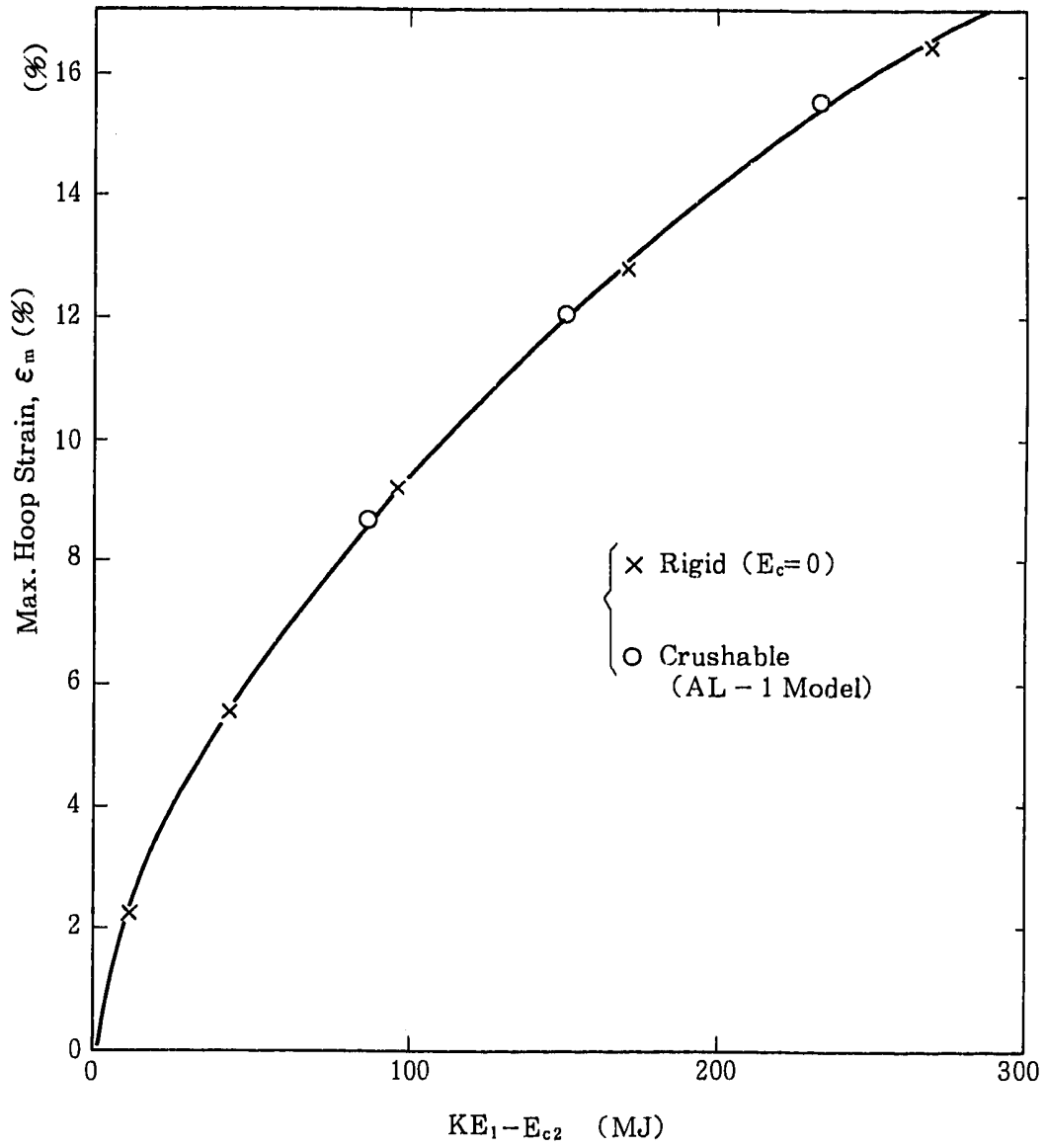


Fig. 5.8.9 Crushable Effect on Max. Hoop Strain of Vessel Wall (II)

5.9 ポーラス・ポリゴンによる空孔性構造物のモデル化

5.9.1 まえがき

4.17節において、完全に気密が保持されない浸透性をもつ材料や、空孔をもつ仕切り板をもつ構造物のポーラス・ポリゴンによるモデル化及びその基本的な機能についてテスト結果を基に議論した。本節では、そのポーラス・ポリゴンの応用例として、炉心上部構造物（ピン構造）の仮想的炉心崩壊事故（HCDA）時のHCDA気泡の動きを拘束する効果について議論する。

図5.9.1は仮想的炉心崩壊事故（HCDA）の一次核暴走（あるいは再臨界）時におけるHCDA気泡によって放出される主なエネルギーの流れを示したものである。核暴走によって瞬時に炉心に貯えられた熱エネルギーは高温高圧の炉心物質の蒸気泡を発生させ、炉心近傍の構造物を変形・破損しながら膨張し、上部プレナム中の冷却材を加速する。加速された冷却材スラグは最高運動エネルギー（ KE_1 ）でもってプラグヘッドに衝突し衝撃波を発生させながら運動エネルギーを放出し、プラグヘッド近傍の炉容器を変形させる。この高速の冷却材スラグのプラグヘッドへの衝突と容器の変形の様子については、すでに5.8節で議論した。明らかに衝突時の冷却材スラグの運動エネルギーとプラグヘッド近傍の容器の最大変形量に相関があり、衝突する冷却材スラグの運動エネルギーが大きい程その最大変形量は大きくなる。しかしこのことは逆に、もし炉心上部構造物が幾分HCDA気泡の動きを拘束した場合、冷却材の加速を低減して冷却材スラグの運動エネルギーを低下させ、その結果、炉容器の最大変形量を低下させることを意味する。従ってここでは炉心上部構造物（ピン構造）の空孔率をパラメータとしてその効果について議論をする。ただし、ここではHCDA時の炉心上部構造物の変形、破損の様子については議論の対象外とする。又、炉心上部構造物による熱的損失効果についても議論に含めない。

5.9.2 解析モデル

解析体系は原型炉に近い体系を選び図5.9.2に示す。炉内器の内径350cm、肉厚は5cmで炉心支持板（固定）から1120cmの位置にプラグヘッド（剛体固定）を設定し冷却材（ナトリウム）とプラグヘッド間空隙は80cmとする。炉心（内径約1m、高さ80cm）の周囲の径方向ブランケット部は現象を単純化するため、剛体（固定）とする。炉心上部構造物のピン構造を通気性（空孔をもつ）の構造物（剛体固定）をポーラス・ポリゴン機能で模擬する。炉内のナトリウムはEuler物質とし、その諸特性は5.2節、表5.2.2に示す値を用いる。一方炉容器はShellとして取扱いその材料特性として同じく5.2節、表5.2.3中のSUS530Sの値を用いる。HCDA気泡（Euler物質）は表5.9.1に示す諸特性をもつ気体で模擬する。図5.9.3に各サブクリッドの構成を示す。

5.9.3 解析結果及び検討

図 5.9.4 に炉心上部構造物の空孔率 100%, 40% の場合, 冷却材運動エネルギー (KE) 及び内部エネルギー (IE), 炉容器歪エネルギー (E_S) の時間履歴の比較を示す。空孔率 100% の場合, 冷却材スラッグは約 50 msec でプラグヘッドに衝突するのに対し, 空孔率 40% の場合は約 55 msec で衝突している。また, 図 5.9.5 に空孔率 100%, 40% の場合の炉容器の歪 (周方向) 分布の様子と各時刻 $t = 0, 20, 40, 60, 80, 100$ msec に対して比較している。これらの図より, 明らかに炉容器は冷却材スラッグ衝突後に大きく変形していることがわかる。

図 5.9.6 に, 冷却材スラッグのプラグヘッド衝突直前の運動エネルギー (KE_1), 炉容器の冷却材スラッグ衝突による歪エネルギー増加 (ΔE_S), および炉容器周方向最大歪 (ϵ_m) をそれぞれ炉心上部構造物の空孔率に対して示す。空孔率が小さくなるにしたがって, 冷却材のプラグヘッドに衝突直前の運動エネルギーは低下しそのため, 前節で議論したように衝突による炉容器の歪エネルギー及び炉容器の最大周方向歪も低下していることがわかる。それらの相関関係を図 5.9.7 及び図 5.9.8 に示す。しかしここで注意すべきことはいずれの場合も衝突後の炉容器の歪エネルギーの増加量 ΔE_S が冷却材スラッグの衝突時の運動エネルギーよりも大きい点である。これは後に示すように冷却材スラッグがプラグヘッドへ衝突した後も, 炉心部の HCDA 気泡は炉容器の変形終了までエネルギーを放出し, 膨張しつづけるためである。これについて, 以下図 5.9.9 に示したエネルギーの流れに沿ってもう少し詳しく検討する。

図 5.9.9 に, 冷却材スラッグがプラグヘッドに衝突する直前までに HCDA 気泡が放出した膨張エネルギー (E_{01}) と, 衝突後炉容器の変形終了時まで放出したエネルギー (E_{02}) を炉心上部構造物の空孔率に対して図示している。又, 図 5.9.10 に同じく冷却材スラッグ衝突直前の炉容器の歪エネルギー (E_{S1}) と衝突後炉容器変形終了時の炉容器の歪エネルギー (E_{S2}) の様子を示す。炉心上部構造物の空孔率により, 炉心気泡の放出エネルギー, 炉容器の歪エネルギーは大きく影響を受けていることがわかる。また, 図 5.9.11 に示すように炉容器変形終了時の値に対する冷却材スラッグ衝突直前の値の割合はそれぞれ気泡の放出エネルギーについては約 90 ~ 95%, 炉容器の歪エネルギーについては約 10 ~ 20% で, 炉心上部構造物の空孔率にはあまり大きく影響されていない。いずれの場合も HCDA 気泡はその放出エネルギーの大部分を冷却材スラッグがプラグヘッドに衝突するまでに放出しており, 一方, 炉容器は, スラッグの衝突後大きく変形していることがわかる。

冷却材スラッグがプラグヘッドに衝突する直前までに炉心部から放出されたエネルギー E_{01} の冷却材スラッグの加速に使用されたエネルギー (冷却材の衝突直前の運動エネルギー) KE_1 への変換の様子を図 5.9.12 及び図 5.9.13 に示す。約 50% の気泡の膨張エネルギーが冷却材スラッグの運動エネルギーに変換され, その変換率の炉心上部構造物の空孔率依存性はほとんど見られない。この冷却材の衝突時の運動エネルギーが, 炉容器の変形に大きく寄与していることは確かであるが, しかし前述のようにそれだけでは, 冷却材衝突後の炉容器の歪エネルギー

の増加量 ΔE_s を説明することはできない。図 5.9.14 および図 5.9.13 に衝突時の冷却材の運動エネルギーと衝突後炉心が炉容器変形終了時まで放出するエネルギー ΔE_{21} ($\Delta E_{21} \equiv E_{02} - E_{01}$) の和と ΔE_s の関係を示す。図より冷却材衝突後の炉容器の歪エネルギーの増加は、衝突時の冷却材運動エネルギーのみならず、衝突後の炉心気泡の膨張エネルギーも寄与していることがわかる。図 5.9.15 に $KE_1 + \Delta E_{21}$ に対する、炉容器最高歪の関係を示す。

Table 5.9.1 Properties of Bubble

Initial Conditions	
Volume (cm ³)	2.9618 × 10 ⁶
Density (g/cm ³)	5.0
Pressure (bar)	500
Internal Energy Density (J/g)	25
<u>Eq. of State</u> γ-low (γ = 1.4) $\left(\begin{array}{l} P = (\gamma - 1)\rho e \\ P : \text{Pressure} \\ \rho : \text{Density} \\ e : \text{Internal Energy Density} \end{array} \right)$	

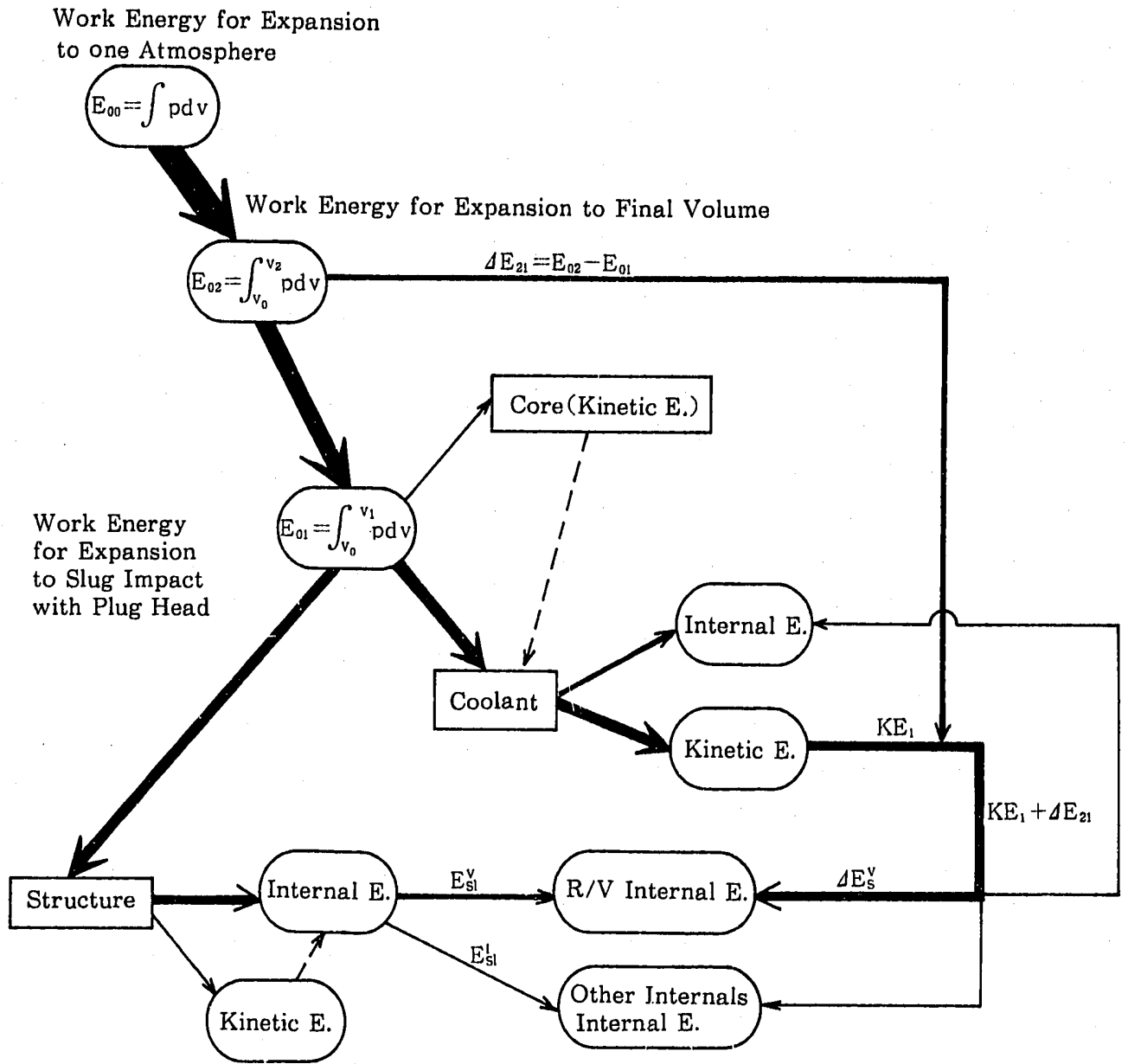


Fig 5. 9. 1 Energy Flow Diagram

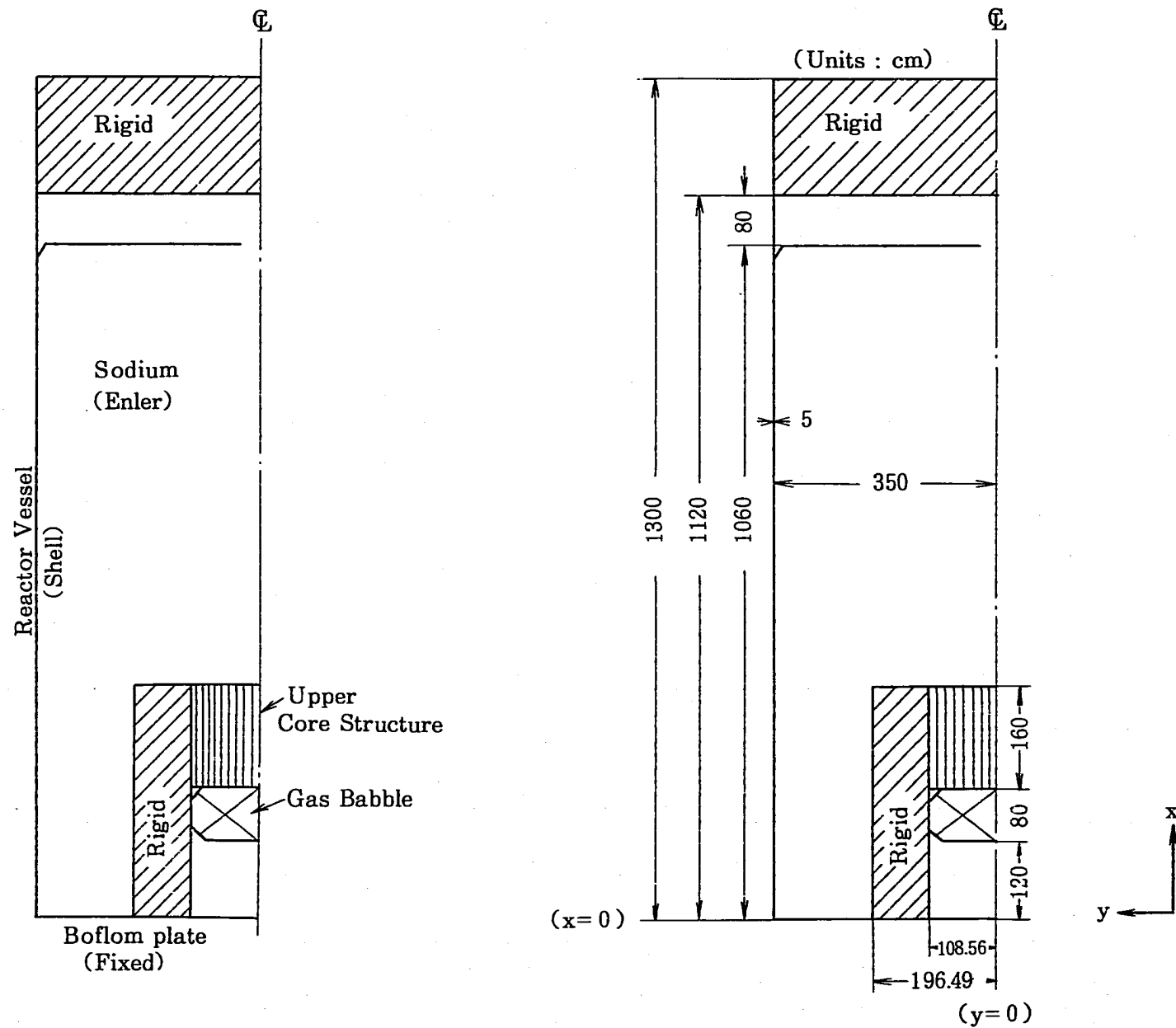


Fig 5. 9. 2 Modeling for Porous Polygon Test.

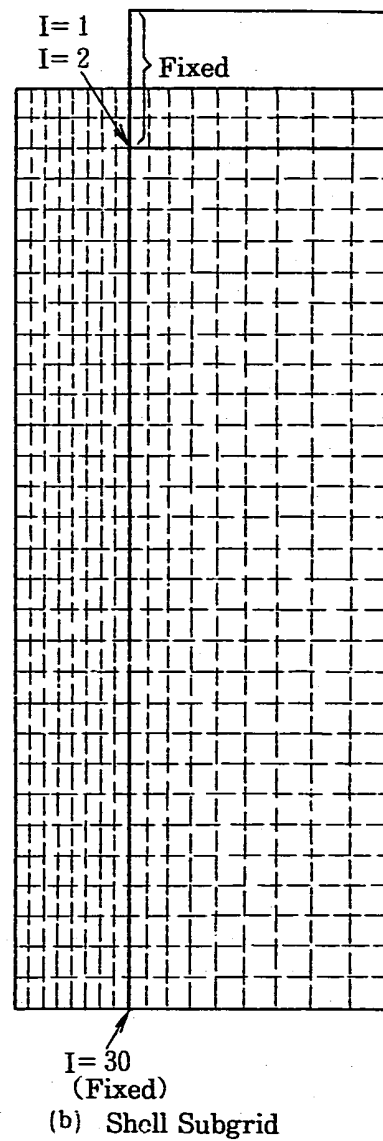
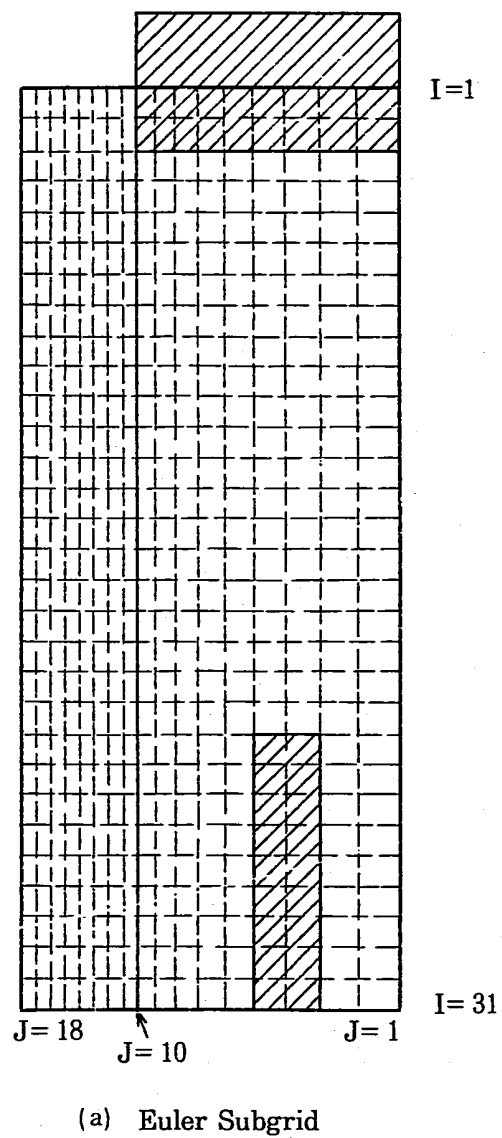
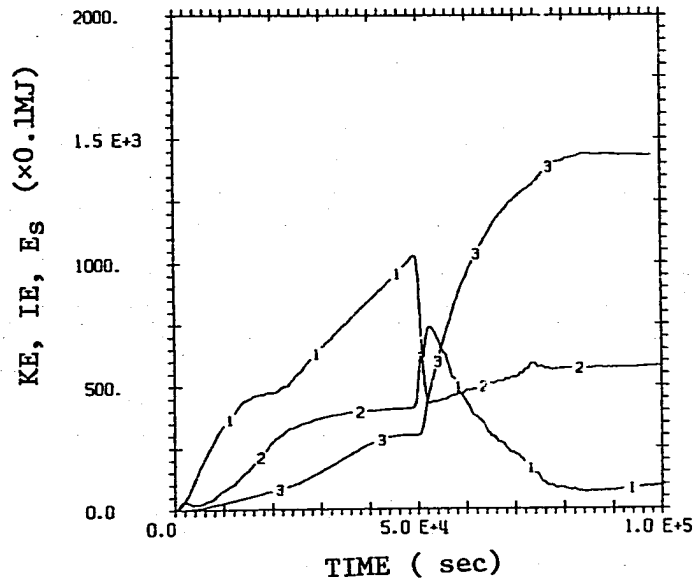
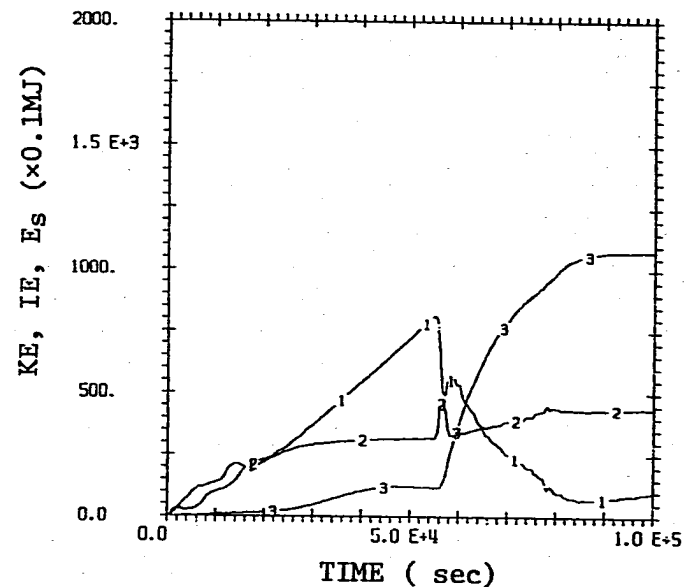


Fig. 5.9.3 Euler and Shell Subgrids

POROUS POLYGON EFFECT (POR. 100 , PMAX.500)



POROUS POLYGON EFFECT (POR. 40 , PMAX.500)

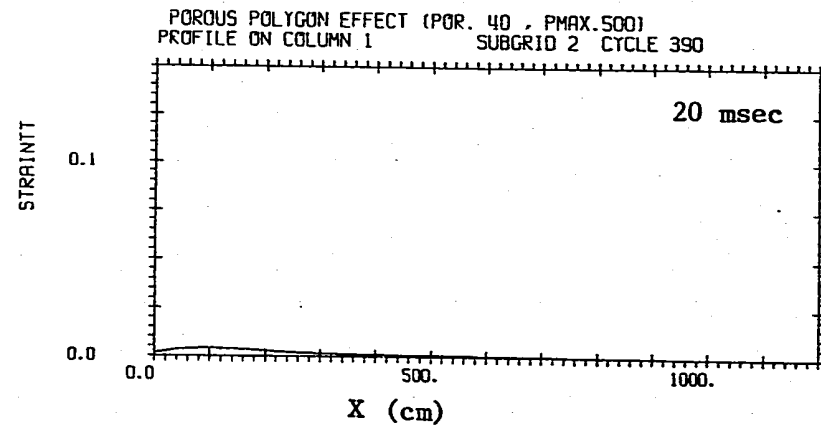
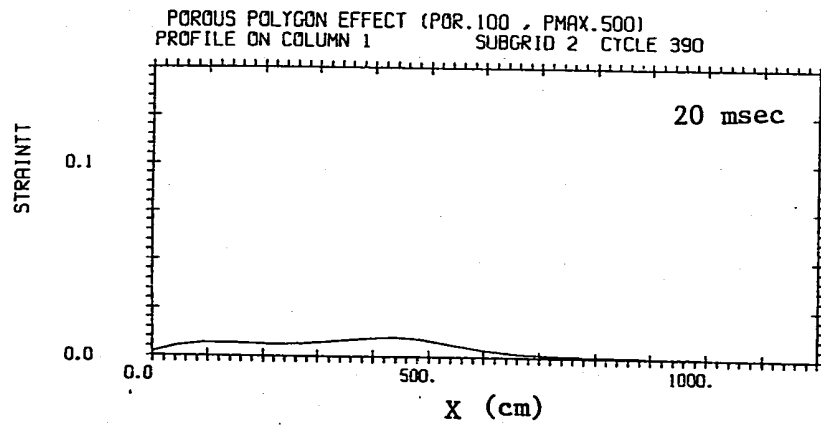
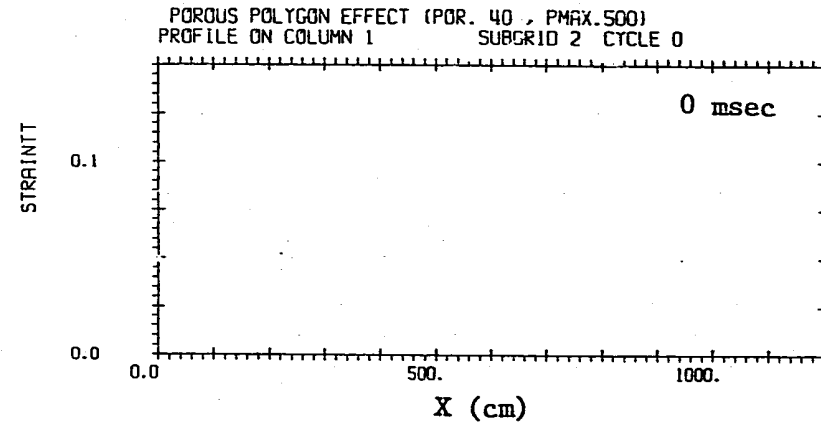
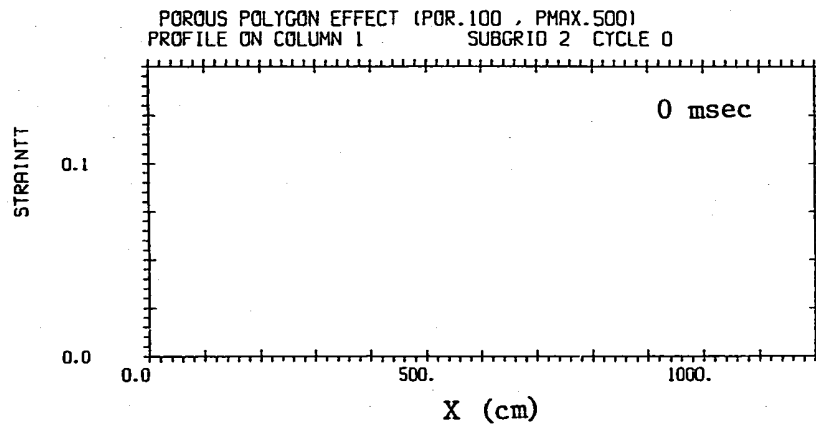


- 1: Sodium Kinetic Energy (KE)
- 2: Sodium Internal Energy (IE)
- 3: Vessel Internal Energy (E_s)

(a) Porosity 100 %

(b) Porosity 40 %

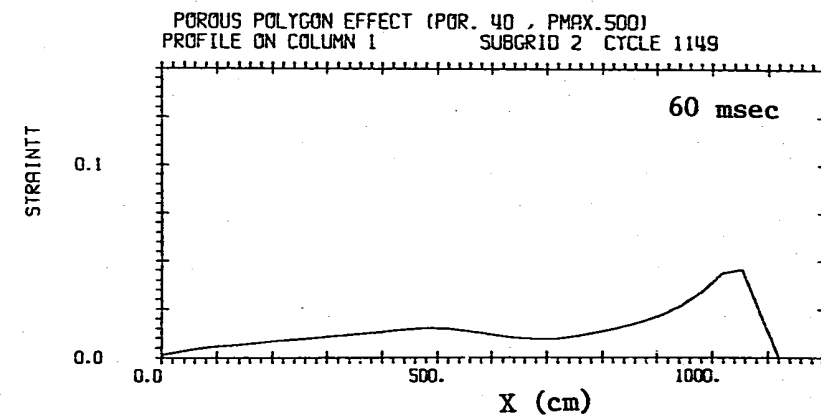
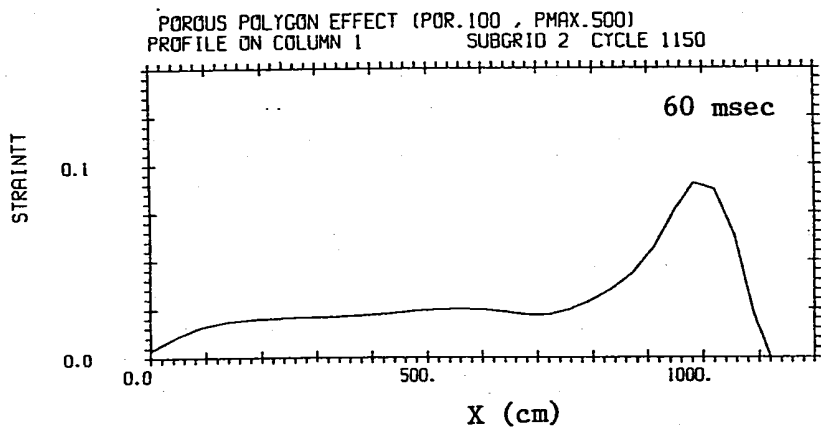
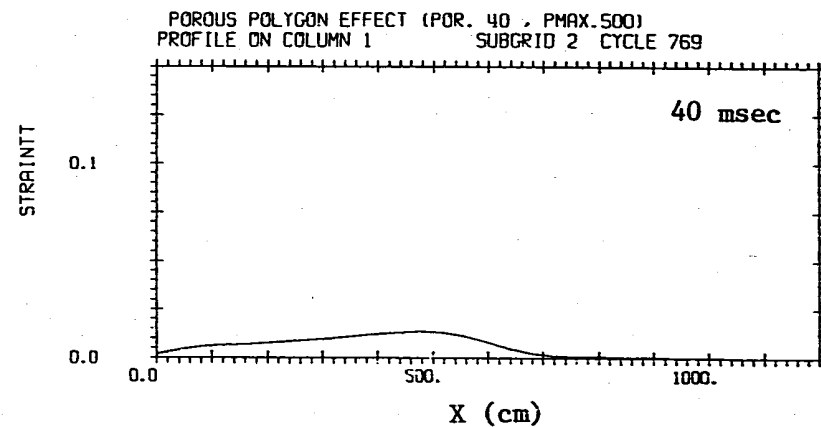
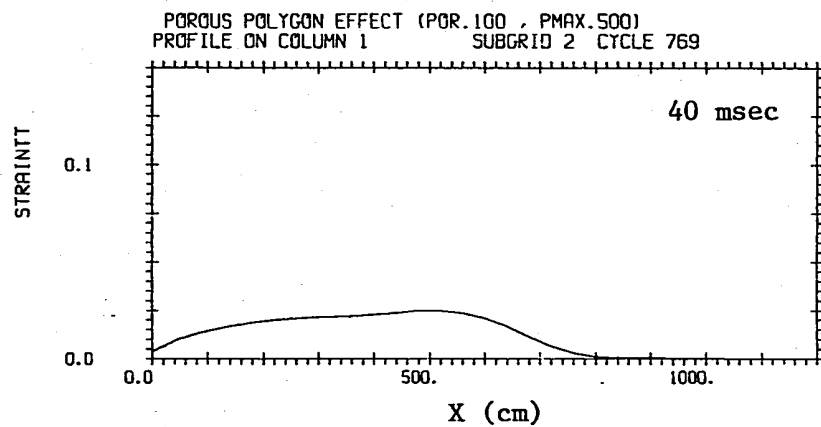
Fig. 5.9.4 Sodium Kinetic Energy, Sodium Internal Energy and Vessel Internal Energy



(a) Porosity 100 %

(b) Porosity 40 %

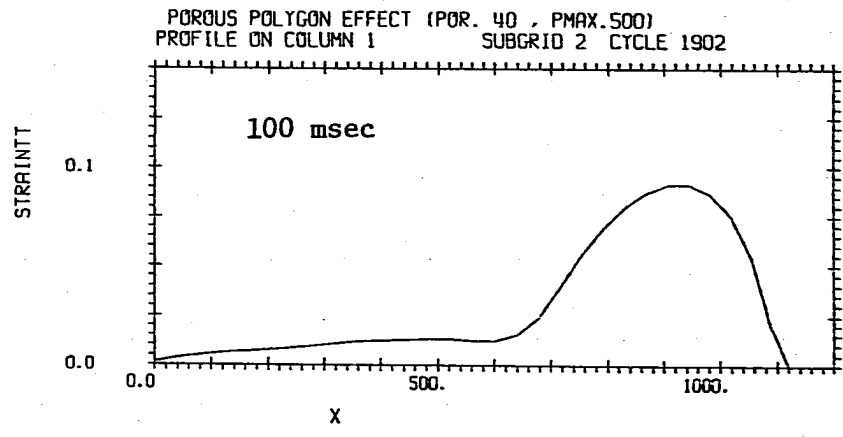
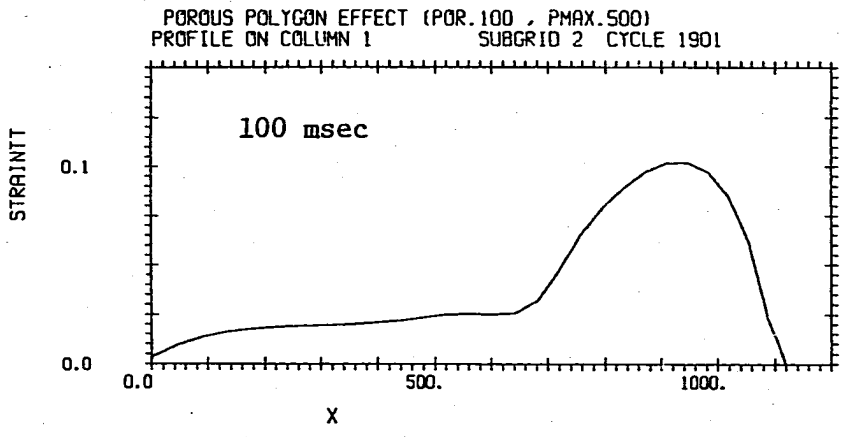
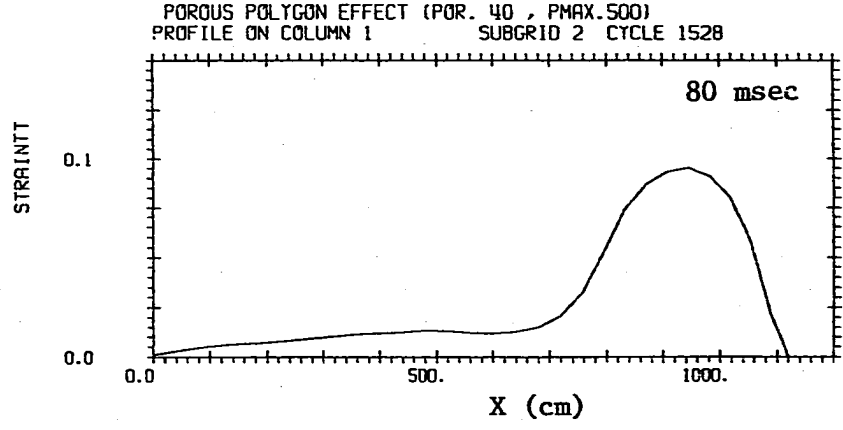
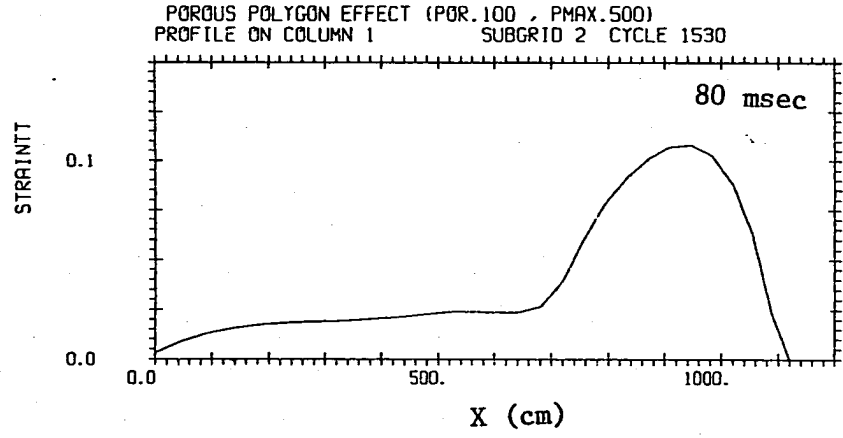
Fig. 5.9.5 Hoop Strain of Reactor Vessel



(a) Porosity 100 %

(b) Porosity 40 %

Fig. 5.9.5 (Cont'd)



(a) Porosity 100 %

(b) Porosity 40 %

Fig. 5.9.5 (Cont'd)

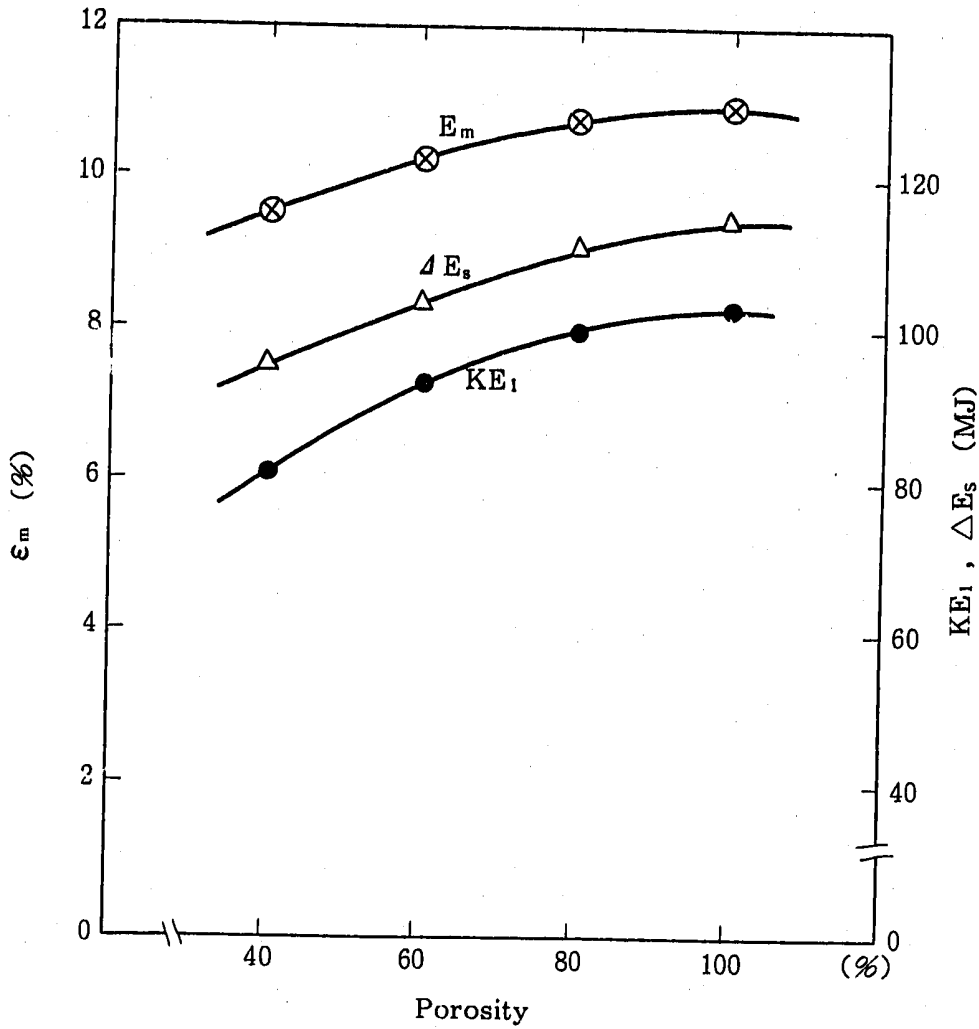


Fig. 5.9.6 Effects of UCS Porosity on Max. Slug Kinetic Energy (KE_1), Increase of Vessel Internal Energy after Slug Impact (ΔE_s) and Max. Vessel Hoop Strain (ϵ_m)

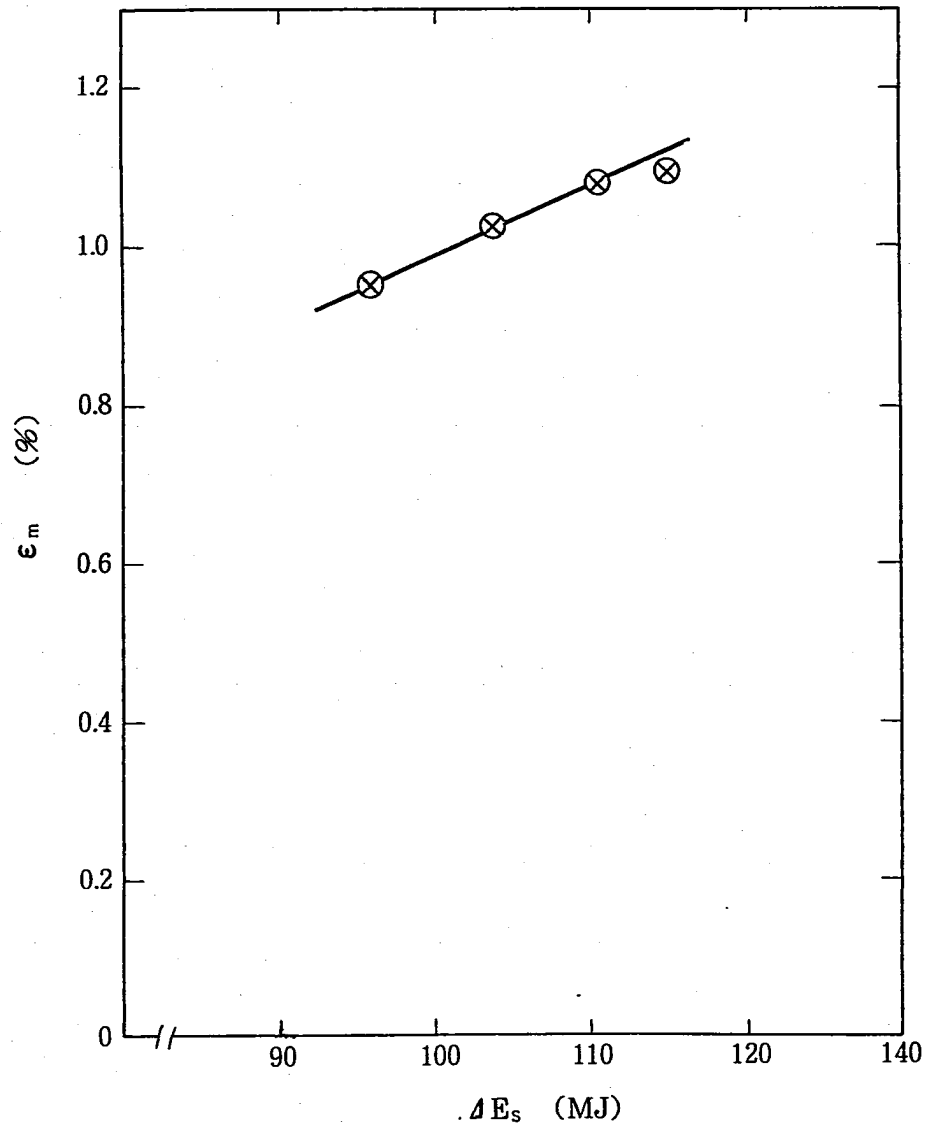


Fig. 5.9.7 Max Vessel Hoop Strain (ϵ_m) vs. ΔE_s

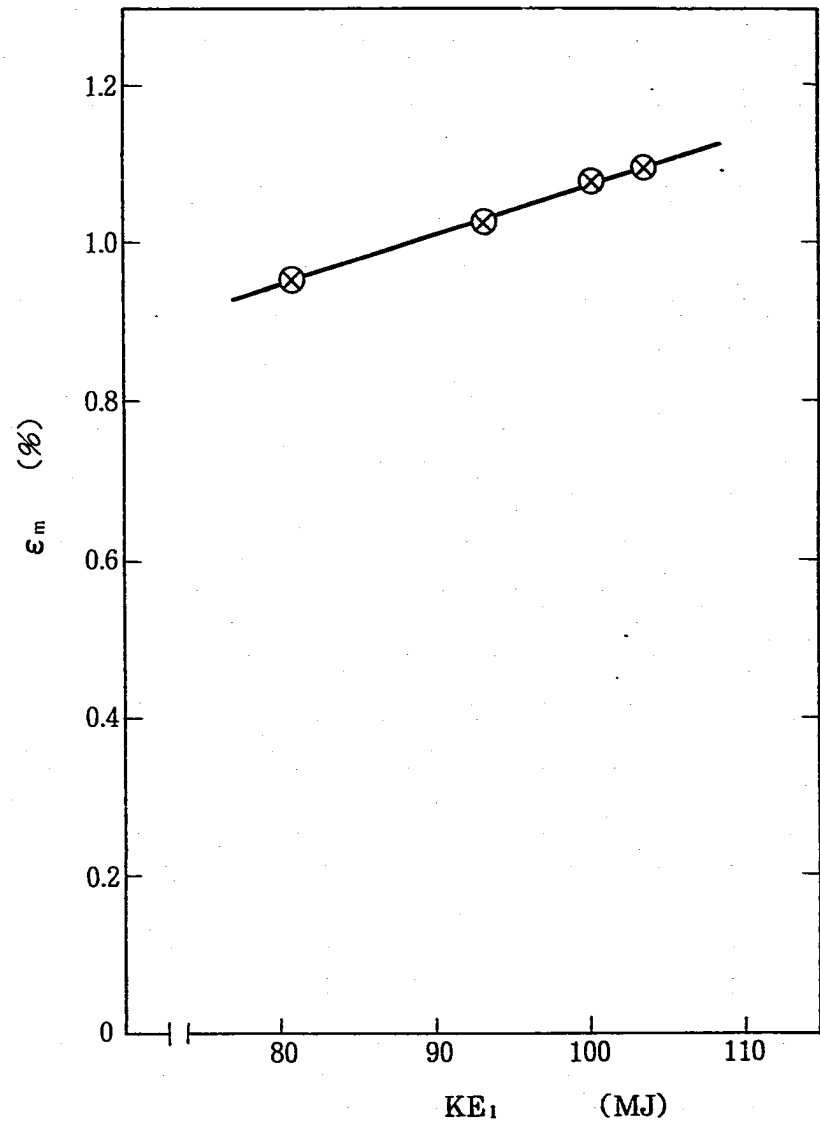


Fig. 5.9.8 Max Vessel Hoop Strain (ϵ_m) vs. ΔKE_1

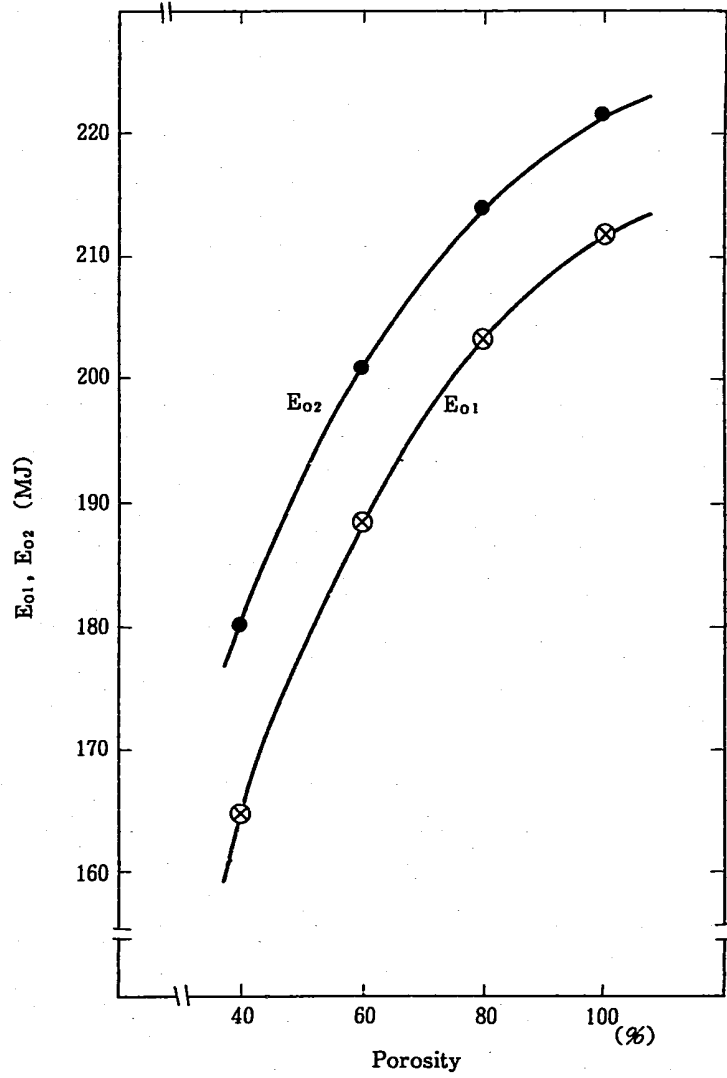


Fig. 5. 9. 9 Effects of UCS Porosity on CDA Bubble Energies for the Expansion to the Slug Impact (E_{O1}) and to the Final Stage (E_{O2})

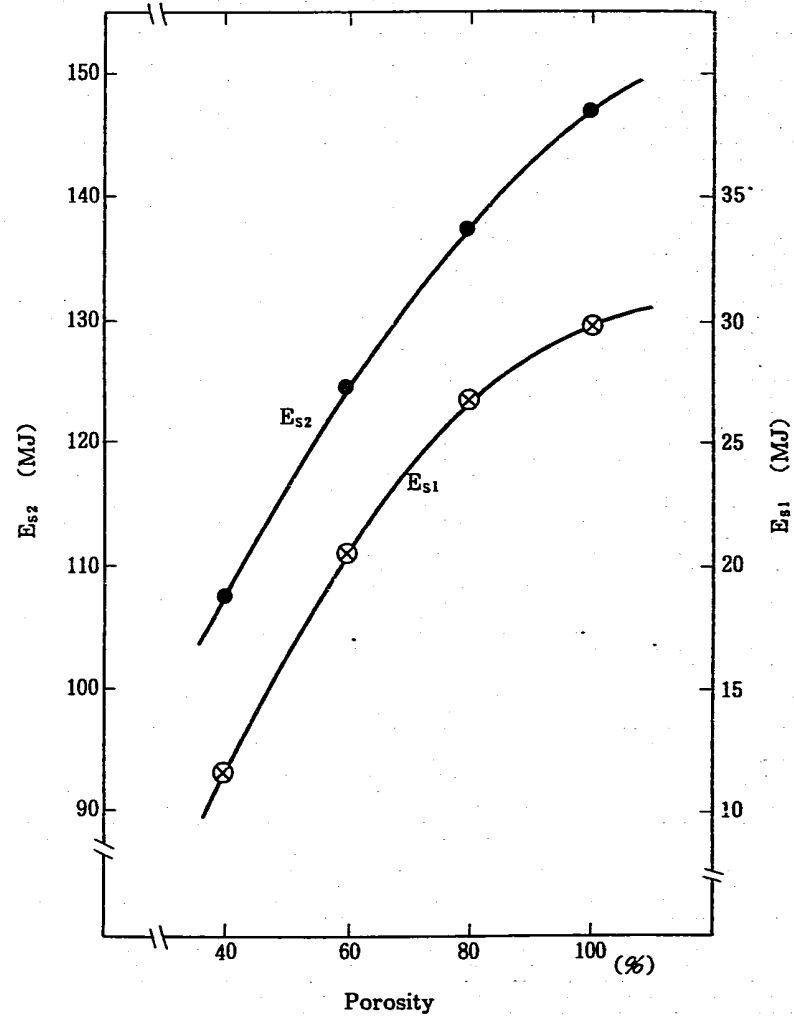


Fig. 5. 9. 10 Effects of UCS Porosity on Energies Absorbed by Vessel Wall before Slug Impact (E_{S1}) and until Final Stage (E_{S2})

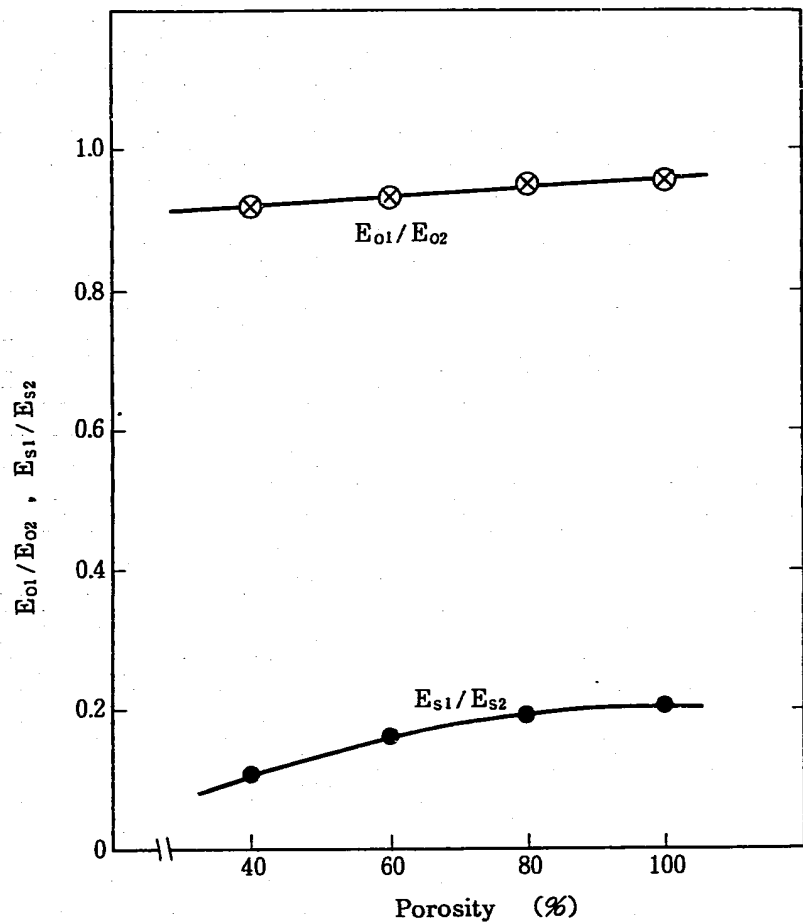


Fig. 5. 9. 11 Energy Partitions before and after Slug Impact

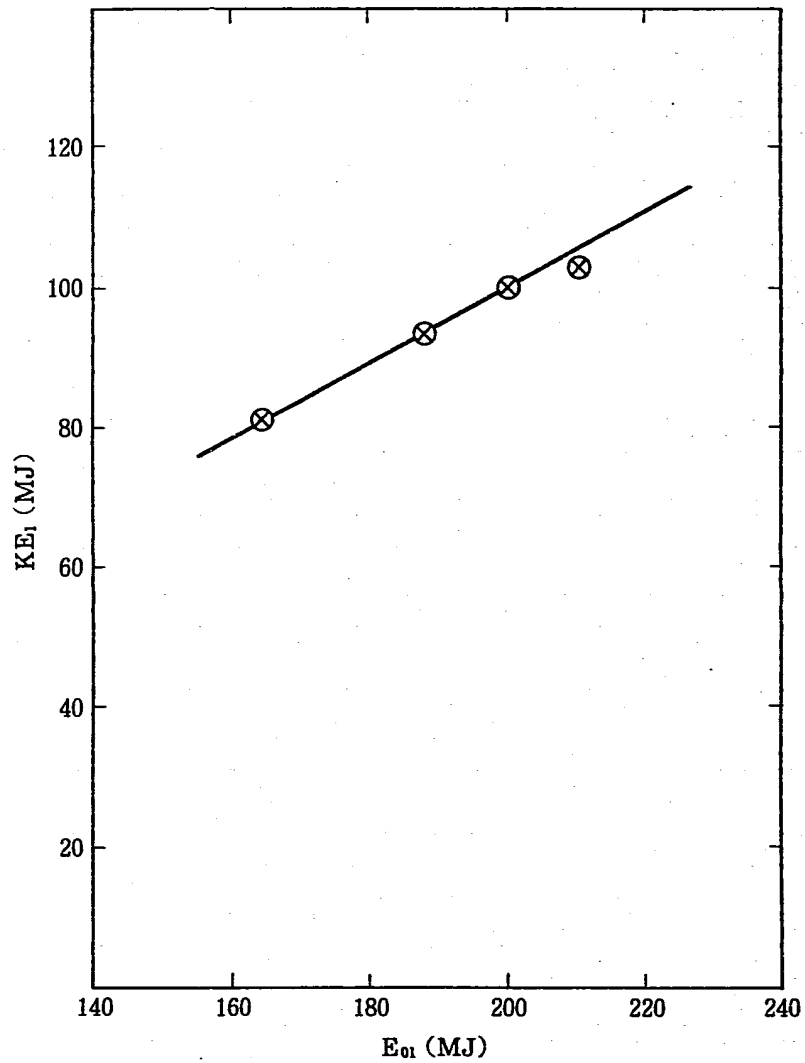


Fig. 5. 9. 12 Correlation between CDA Bubble Energy Expansion to the Slug Impact (E_{o1}) and Slug Maximum Kinetic Energy (KE_1)

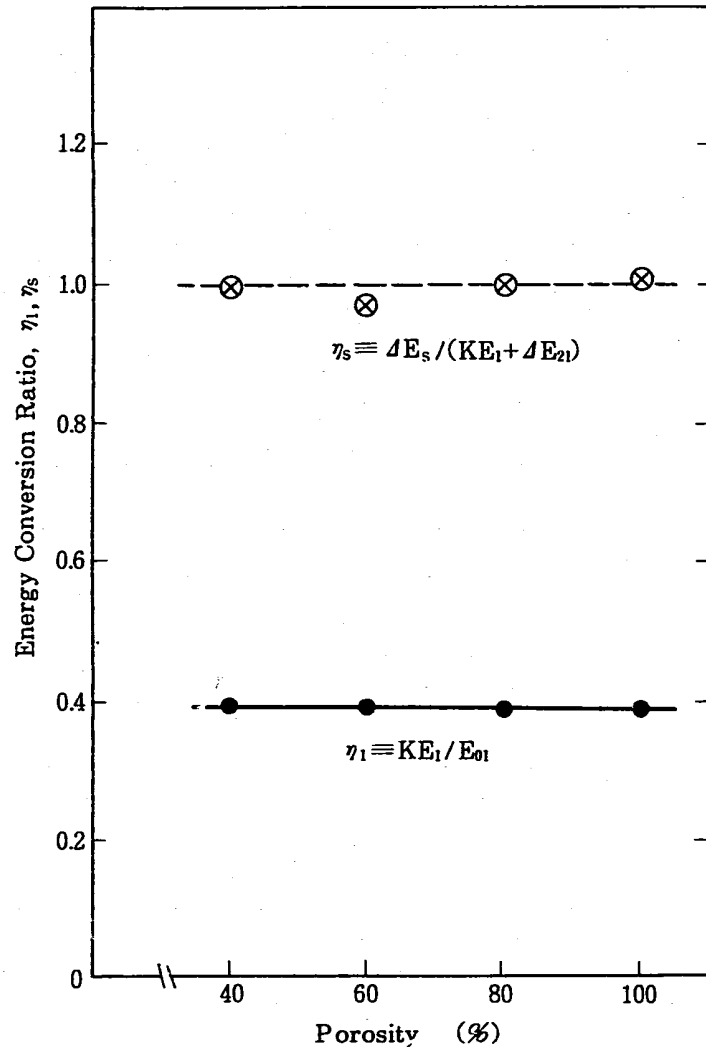


Fig. 5. 9. 13 Energy Conversion Ratios

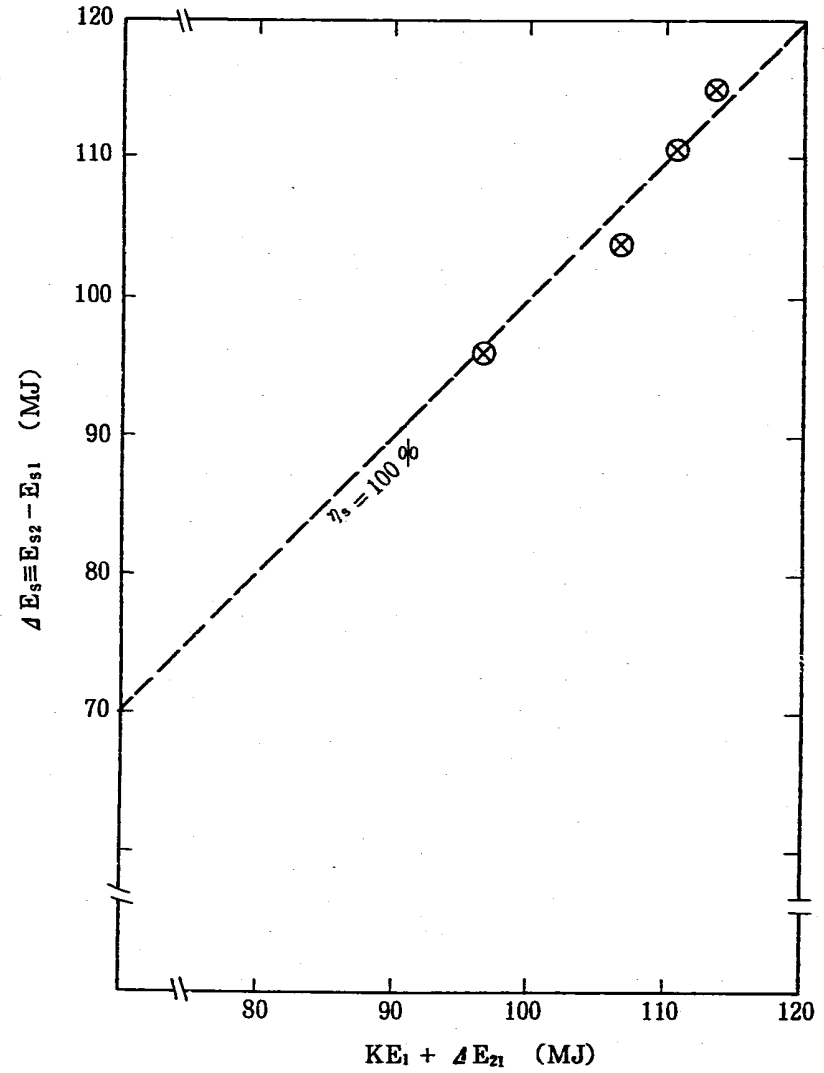


Fig. 5. 9. 14 ΔE_s vs. $(KE_1 + \Delta E_{21})$

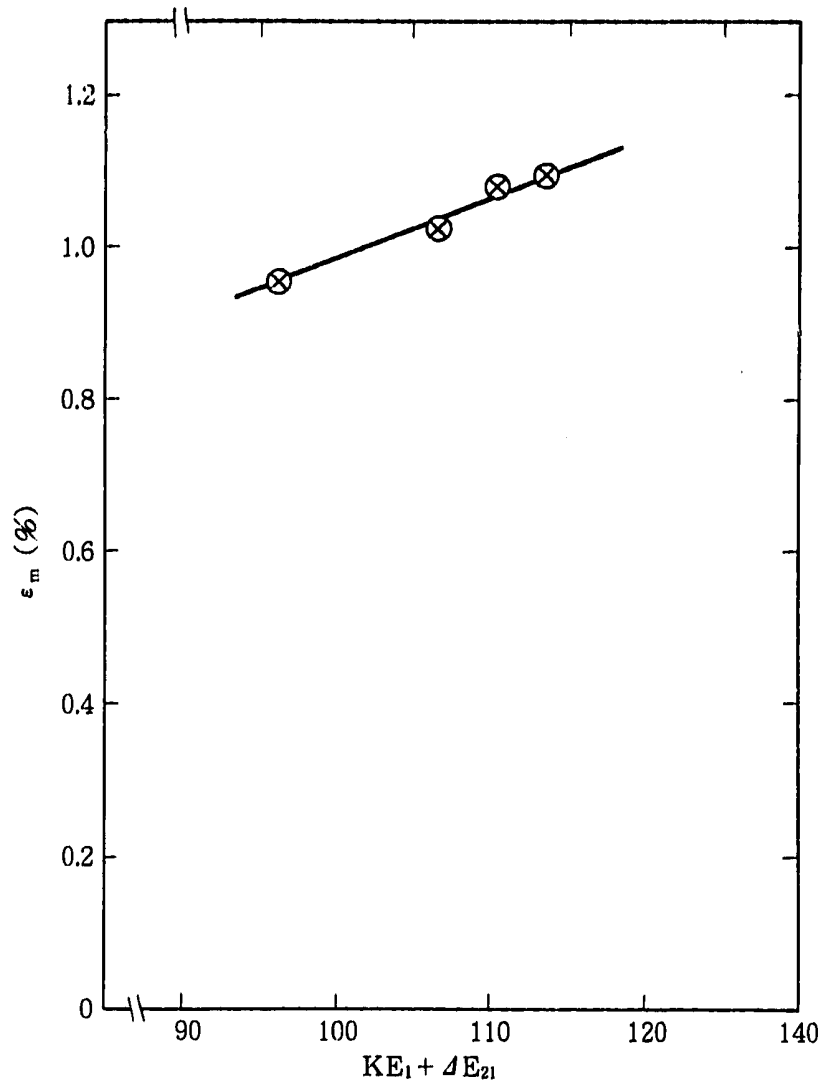


Fig. 5.9.15 Max. Vessel Hoop Strain vs.
($KE_1 + \Delta E_{21}$)

5.10 キャビテーション

5.10.1 まえがき

核暴走（再臨界を含む）によって機械的に崩壊する炉心から放出されるエネルギーは、まず衝撃波として放出された冷却材を介して伝播し、冷却材と接している重要な炉内構造物や炉容器と相互作用して、変形破損させる。一方、少しおくれでこの圧力波は上部プレナム中の冷却材を上方向に加速し、前節で示したように、この加速された冷却材スラッグはプラグヘッドに衝突し新たな衝撃波を発生させる。炉心近傍の構造材の変形破損は主に最初の衝撃波によって生ずるが、炉容器やプラグヘッドの変形破損は加速された冷却材スラッグのプラグヘッドへの衝突によって起こる。しかし冷却材を伝播する圧力波は冷却材を伝播する間にそのエネルギーの一部を冷却材中に消滅させることがある。その機構の1つに、自由液面や変形する構造材での反射による膨張波が圧縮波を押えることによって生じるキャビテーション効果が挙げられる。

本節においては、キャビテーションの発生メカニズム、キャビテーションによるエネルギー損失メカニズム、およびPminモデルにおけるキャビテーション閾値の影響について議論する。

5.10.2 キャビテーションの発生メカニズム及びエネルギー吸収メカニズム

ほとんどすべての液体は大きな圧縮に容易に耐える力をもっているが、引張力にはきわめて敏感である。例えば、液体中を音波が通過する場合、希薄化位相において液中に非常に多くの微小な気泡の破裂が生じる。一般には、ガスや不純物の粒子などでその強さが弱められたところで破れると考えられているが、このキャビテーションの核と名付けられている弱い部分の性質は、未だ十分に明らかにされていないのが現状である。Briggsら⁽⁵⁻⁶⁾らの実験によると、非常に高い純度の水は静圧条件下で250気圧以上の引張力には耐えられないことを示しているが、一方、Sirotyuk⁽⁵⁻⁷⁾によると蒸留水のキャビテーションの閾値は2 bar以下であるとも言われている。又、ある仮説によると、キャビテーション核は宇宙線や自然放射能によってできると言われている。これは水を電離放射能で電離するとキャビテーション閾値が低下する実験事実によるものであるが、しかしこれが唯一の原因であるかは未だ実証されていない⁽⁵⁻⁸⁾。

もしキャビテーションによる多数の気泡をもつ液体中に圧力波が進入すれば、圧力波の伝播スピードは急激に減少するであろうし、又キャビテーションによって生じた気泡を破崩するとき圧力波のエネルギーの一部を消費してしまう。このエネルギー消費メカニズムは図5.10.1に示す液体の状態方程式のもつ履歴によって説明される。

液体中を膨張波が通過するとき、その引張力がキャビテーション閾値(P_{cav})より大きくなると、前述の様に液体中の弱いところに破裂が生じ、多数のキャビテーションが発生し、急激にその気泡が生成することによって体積増加をまかない引張力を緩和させる。図中点Cにおい

て体積は再び減少を開始し、気泡は徐々に減衰しD点にもどる。この履歴をもつループによって囲まれる面積がキャビテーション気泡の成長・消滅による液体中へのエネルギー損失を表わす。

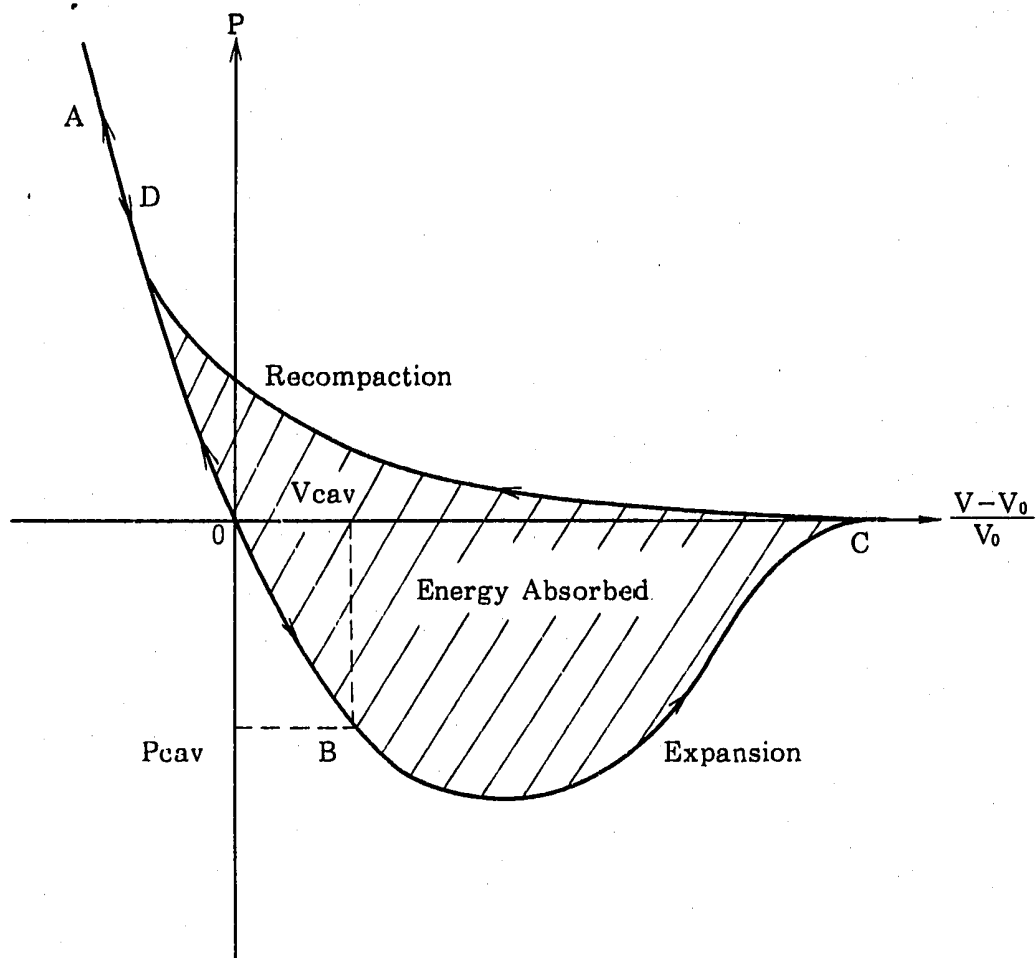


Fig. 5. 10. 1 Energy Absorption during Cavitation and Recompactation

現在多くの耐衝撃解析用コードは、圧力・液体の密度（あるいは比容積）と内部エネルギー密度の関係を示す状態方程式を有し、これと質量・運動量・エネルギーの三保存則と組み合わせて動的挙動を解く。一般に圧縮時の液体の状態方程式は良く知られているが、張力時の状態方程式はあまり良く知られていない。従って、張力時の状態方程式は図 5. 10. 2 に示すように、圧縮時の状態方程式をあらかじめ設定したキャビテーション閾値（ P_{min} ）まで延長して用いられ、計算された液体の圧力がこの値に達した時点で、体積は再び気泡が収縮するまで圧力に関係なく増加する。（圧力は P_{min} を保つ）モデルが一般によく使用されている。このモデルは“ P_{min} モデル”と呼ばれ、現在の PISCES コードでもこのモデルが組み込まれているが、このモデルでは状態方程式の履歴ループをもたないため、キャビテーションによるエネルギー

吸収メカニズムは取り扱えない。現在、さらにより現実的なキャビテーションモデルが開発されつつあり、炉容器の耐衝撃応答に対するキャビテーション効果の感度解析⁽⁵⁻⁹⁾や実験によるモデルの検証が行われている⁽⁵⁻¹⁰⁾。

5.10.3 Pminモデルにおけるキャビテーション閾値の影響

解析体系は、前節 5.9 に示す、炉心上部構造物を無視したケースを用いキャビテーション閾値として $P_{min} = 0$ (PISCES コードのデフォルト値) の場合と $P_{min} = -10^4$ bar の場合について解析を行いその結果の比較を行なう。

図 5.10.3 に、冷却材がプラグ下面に衝突したときの圧力及びそのインパルスの比較を示す。又図 5.10.4 に冷却材ナトリウムの体積変化の様子を示す。 $P_{min} \ll 0$ bar のケース(b)の場合圧力は正負に大きく変動しているが、そのインパルスは最終的に共に約 $2 \text{ bar} \cdot \text{sec}$ となり大差はみられない。

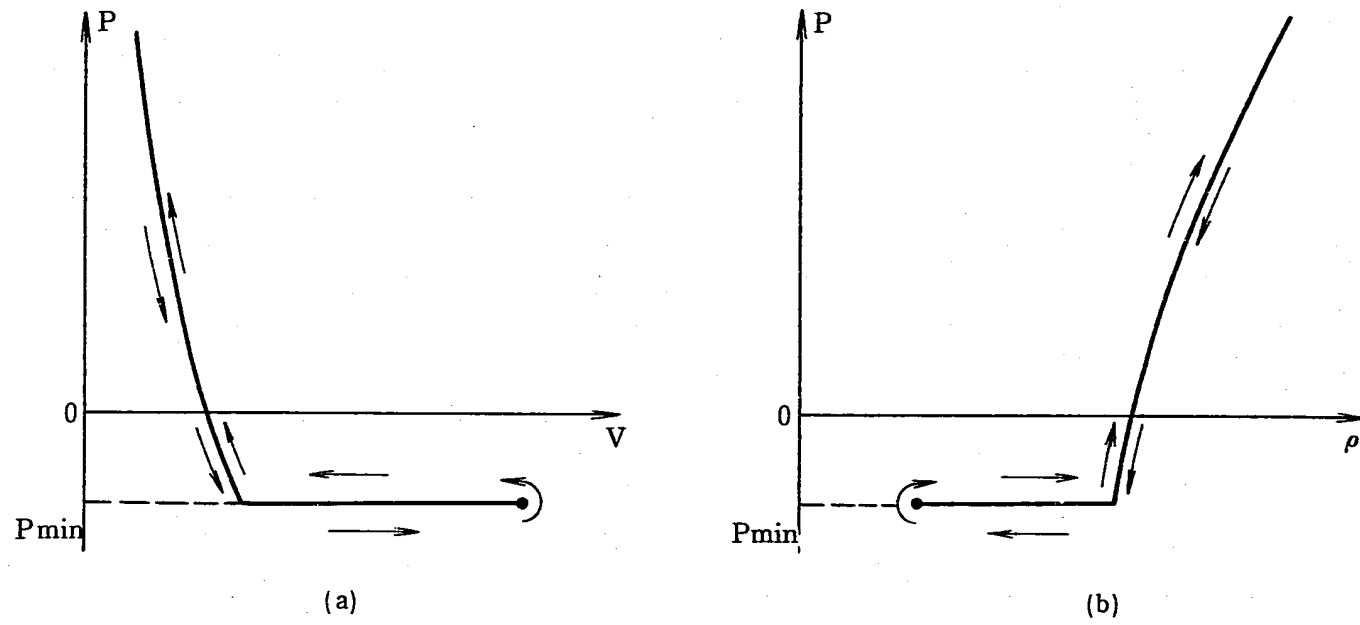
図 5.10.5 にエネルギー分配の時間履歴、また表 5.10.1 に解析結果を比較しているが、共に冷却材スラグのプラグ下面への衝突直前の運動エネルギー (KE_1) は約 100 MJ でそれまでの炉心放出エネルギー (E_{01})、さらに炉容器の変形エネルギー (E_{S1})、冷却材最大速度 (V_{max}) に特に差はみられない。また、炉容器変形終了時においても冷却材ナトリウムの内部エネルギー (IE_2) に少し差がみられるだけで炉容器最大周方向歪 (ϵ_m) も大差はない。又、エネルギーバランスは、 $P_{min} = 0$ bar の方が良好である。(E_{00} : 初期全体系エネルギー, E_{00}' : 炉容器変形終了時の全体系エネルギー)

結論として、 P_{min} モデルにおける P_{min} 設定値による炉容器耐衝撃応答への感度は非常に鈍い。従って、以後の解析における P_{min} の設定には特に注意を払う必要はなくデフォルト値で充分であると言えよう。また、今後キャビテーションによるエネルギー消費メカニズムをより現実的に取扱うモデルの開発及びその実験的検証が望まれる。

Table 5.10.1 Comparison of the Results between
 $P_{\min} = 0$ bar and $P_{\min} = -10^4$ bar

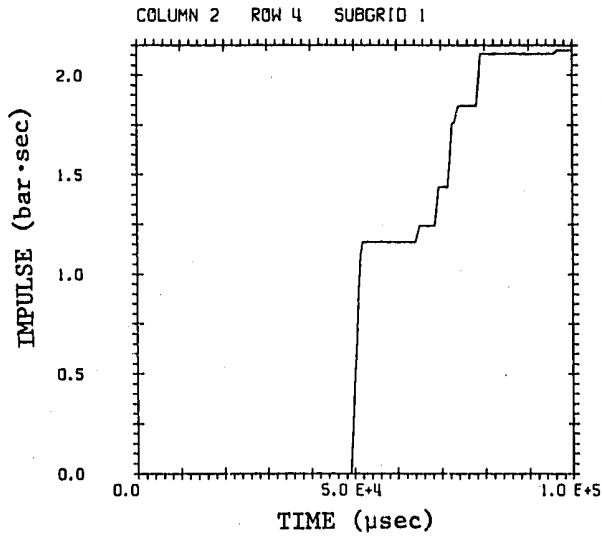
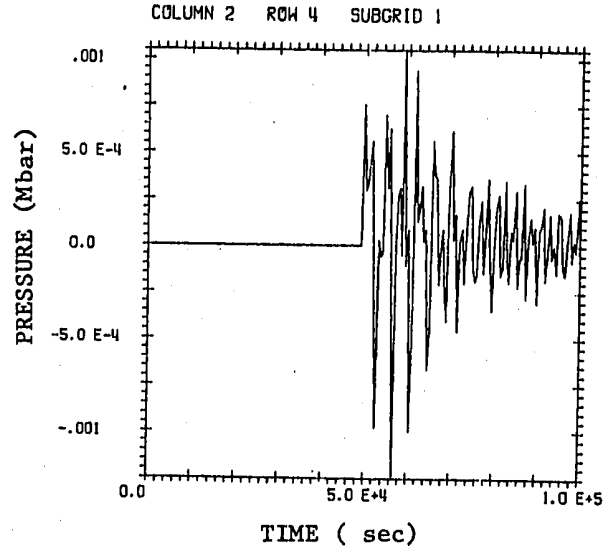
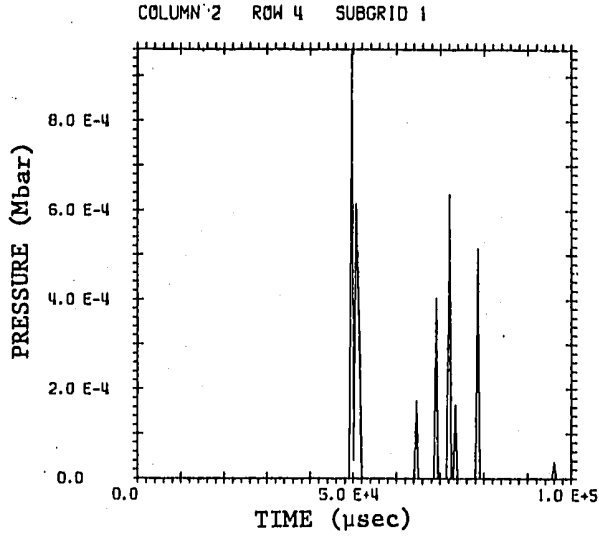
	Ⓐ $P_{\min}=0$ (bar)	Ⓑ $P_{\min}=-10^4$ (Mbar)	Ⓑ - Ⓐ
E_{01} (MJ)	211.5	212.2	+0.7
KE_1 (MJ)	103.3	102.1	-1.2
V_{\max} (m/s)	38.7	36.5	-2.2
E_{S1} (MJ)	29.76	29.39	-0.37
E_{02} (MJ)	220.8	223.2	+2.4
E_{S2} (MJ)	143.1	151.5	+8.4
E_{00}' (MJ) ($\Delta E = E_{00}' - E_{00}$)	364.8 (-5.4)	387.4 (+17.2)	+22.6
$\Delta E/E_{02}$ (%)	-2.45	+7.7	
IE_2 (MJ)	57.73	72.61	+14.88
ϵ_m (%)	10.95	11.03	+0.08 (%)

$$E_{00} = 370.23 \text{ MJ}$$

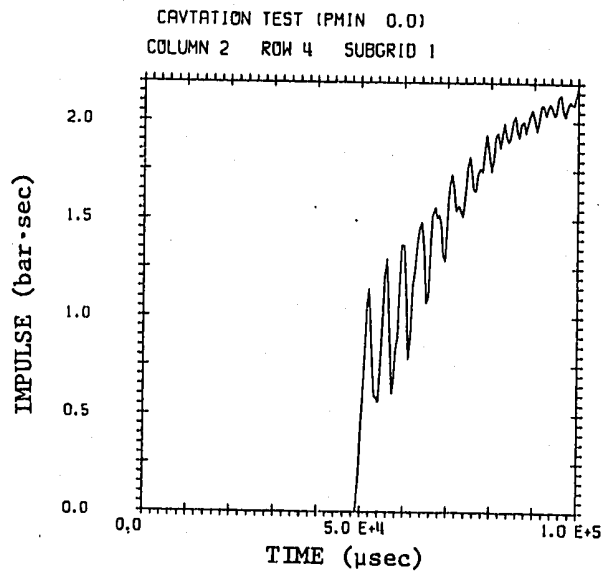


$P_{min} = \text{Cutoff Pressure}$

Fig. 5.10.2 Conventional Equation of State for Cavitating Fluid.

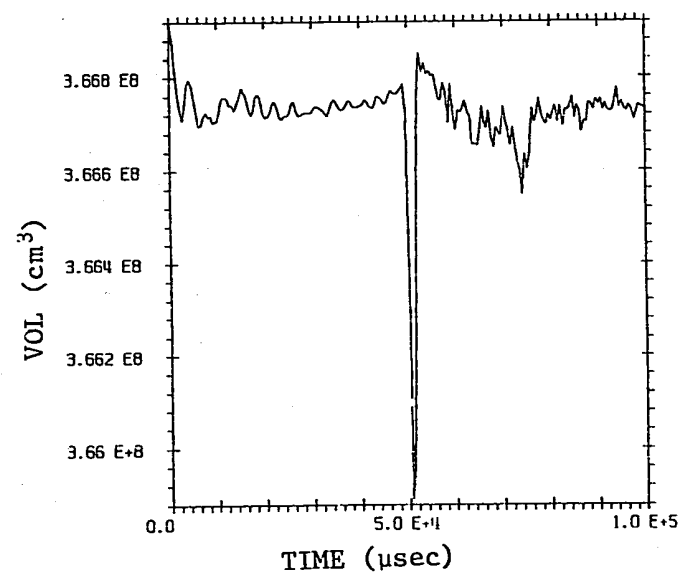


(a) $P_{min} = 0$ bar

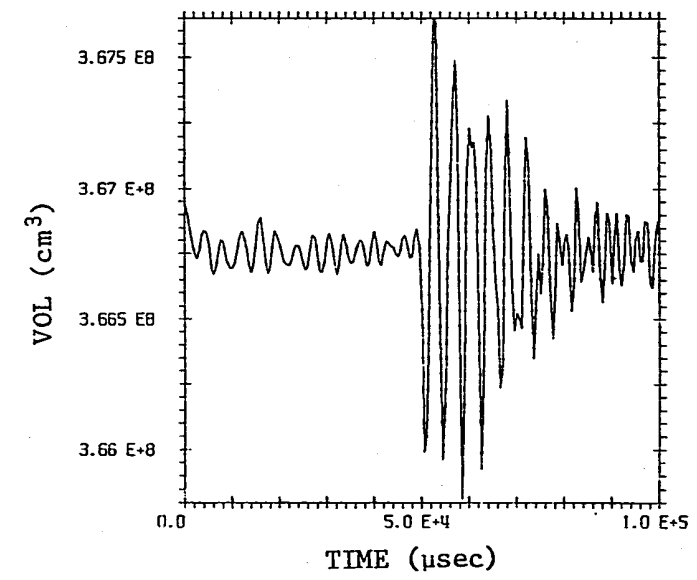


(b) $P_{min} = 10^4$ bar

Fig. 5.10.3 Slug Impact Pressure and Its Impulse

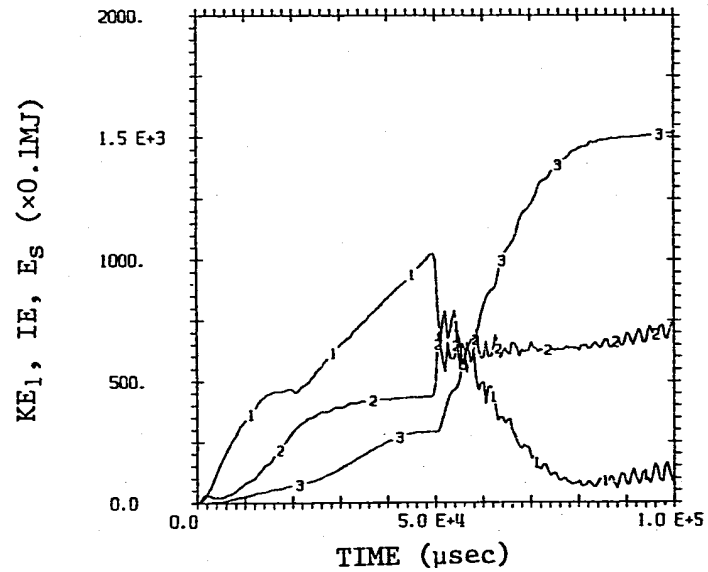
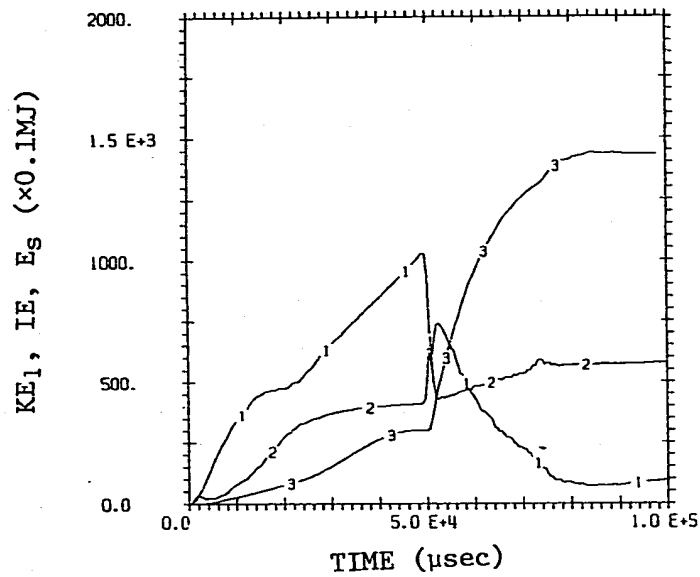


(a) $P_{min} = 0$ bar



(b) $P_{min} = -10^4$ bar

Fig. 5.10.4 Coolant Volume Time History



(1: Sodium Kinetic Energy (KE_1)
2: Sodium Internal Energy (IE)
3: Vessel Internal Energy (E_s))

(a) $P_{\min} = 0$ bar

(b) $P_{\min} = -10^4$ bar

Fig. 5.10.5 Sodium Kinetic Energy, Sodium Internal Energy and Vessel Internal Energy

第 6 章 結 言

第 6 章 結 言

本報告書は、原型炉「もんじゅ」の仮想的炉心崩壊事故時の原子炉容器耐衝撃応答を評価するために、流体-固体の非線形大変形挙動解析コード PISCES-2DELK を適用する手法を、基礎的な面から開発する事をその目的としている。ここでは、「もんじゅ」固有の詳細な構造に関わる諸問題には立入らずに、一般的な原型炉クラスの耐衝撃解析という観点からその検討項目を選択しており、従って本報告書で得られた結論は極めて汎用的なもので耐衝撃解析に広く応用することができる。

解析手法の検討方法として、本報告書は、3つの段階的なアプローチを採用した。以下に、各々のステップ毎にそこで得られた結論を簡潔に要約する。

第1のステップ(第3章)では、PISCES-2DELKコードの導入と共に送られてきた幾つかの基本例題の解析結果をまとめた。これらは理論解または実験解を持つ一般的な流体解析・構造解析の問題であり、これらによってPISCESコードの持つほぼ全機能の一応のチェックができた。

(1.1) これらの問題の中で、単純な体系での、ガスと構造材の相互作用・衝撃波の伝播・空孔性材料中での圧力波の伝播・Shell構造材の弾性振動・Eulerプロセッサ内での弾塑性波の伝播・構造材中の応力分布・ガスのノズル中での流れなどが扱われ、いずれも理論解と良好な一致を示した。

(1.2) 総合実験による検証として特にCRBRの1/30スケールモデル耐衝撃試験(SRI実験FV102)の解析を実施した。容器壁最終歪分布・各点での圧力履歴・動的歪履歴は実験と解析でかなり良く一致した。

第2のステップ(第4章)では、一般の耐衝撃問題を解析するために必要なPISCESコードの機能の検討及び感度解析を行なった。内容は、数値解析手法に関する項目、体系・材料のモデル化に関する項目、PISCES-2DELKコードの固有機能に関する項目に大きく分けられる。解析に使用した体系は主に、CRBRの1/30スケール耐衝撃実験(SRI実験FV102)であり、更に、幾つかの特殊なオプション機能の検討のために、その各々の目的に応じたモデル解析も併せて実施した。

(2.1) タイムステップ幅、人工粘性係数、ブレンディング係数、数値カットオフ係数については、いずれもその解析結果に与える感度は小さく、コード内のデフォルト値を使用して良い。Lagrange damping係数、Euler damping係数は耐衝撃解析では使用しないが、その機能は正常に作動する事が確認できた。

(2.2) 耐衝撃体系の作動流体(水またはナトリウム)に対する状態方程式は、簡単な多項式状態方程式を使用して良い。また係数に対する感度は、容器壁の変形形状には若干の影響が

あるものの、全体としてはむしろ小さいと言える。

- (2.3) 構造材の塑性降伏モデルは、piecewise linear モデルが最も適当である。この強度データが結果に与える影響は非常に大きいため、十分な材料データの収集・選択が必要である。また歪硬化則については、耐衝撃体系では大きな負荷の反転がないため、等硬化則と移動硬化則の間に差はほとんど見られない。
- (2.4) Shellプロセッサの曲げモーメントをモデル化するには、Sublayer数を2以上にすれば良い。また、Shell厚さが不連続に変化する体系のモデル化には、コードバージョンによる違いがあり注意が必要である。
- (2.5) 重力の効果はCRBR1/30スケール程度の体系では小さい。
- (2.6) Boundary Includeオプションは流体中に存在する薄い構造材と作動流体との相互作用をモデル化する方法として有用であるが、その適用に際しては、Lagrangeゾーンが必ず2つ以上のEulerメッシュにまたがっていなければならない事に充分注意する必要がある。このオプションと併わせて用いられるポーラスポリゴンは、その機能が正常である事が確認できた。
- (2.7) 計算の途中で構造物のメッシュ構成を変更するリゾーンランについては、Lagrangeプロセッサではその機能が正常に作動する事が確認できたが、Shellプロセッサでは使用不可能である事が判明した。
- (2.8) リスタートランはlevel 10バージョンでは欠陥が発見されたが、level 12バージョンでは正常に動作する。

第3のステップ（第5章）では、原型炉を対象としてその耐衝撃解析モデルを作成する際に重要な幾つかの項目について詳細な検討を行なった。解析に使用した体系は、原型炉の炉心支持板から上部を簡易的にモデル化したものであり、ここで得られた結論は、定量的にも実機詳細解析に反映する事ができる。

- (3.1) 原型炉簡易体系基準ケース（SBASE#1）について結果の詳細な検討を行ない、その全体的挙動・エネルギー配分・各部の圧力履歴・炉容器の変形挙動について基本的な知見を把握した。
- (3.2) Eulerメッシュサイズの効果について、メッシュを細かくするほど作動流体は動きやすくなり、炉容器の歪も大きくなる傾向がある。しかし、基準ケース（約40 cm×40 cmメッシュ）程度の細かさ確保していれば、Eulerメッシュサイズが炉容器歪エネルギー・歪最大値などの結果に与える不確定性は約5%程度であろう。
- (3.3) Shellメッシュサイズについては、ある程度の細かさを持っていれば、それ以上細かくしても結果に与える影響は小さい。最低必要なメッシュ数は、構造物の変形モードに依存し、単純な変形モードで10以上、複雑なモードで20以上程度以上を目安とすれば良い。
- (3.4) 耐衝撃評価のエネルギー源であるHCDA気泡のモデル化の方法として、圧力-体積増加

関係を入力とする GASBAG 法と、これを圧力-密度の状態方程式と見なす非 GASBAG 法の 2 種を比較検討した。その結果、非 GASBAG 法では、GASBAG 法に比べ、炉心部ガスの膨張速度、即ち機械的エネルギーの放出が遅くなる傾向を持ち（低爆速的傾向）、炉容器腹部の歪を極端に小さく（約 $1/3$ ）見積る事が判明した。また、圧力-体積増加関係から圧力-密度関係の状態方程式に変換する非 GASBAG 法には、耐衝撃解析の前段である炉心崩壊過程解析との理論的整合性がとれない難点がある。

- (3.5) PISCES コードには、Euler プロセッサのエネルギー保存式として、全エネルギー輸送モデルと内部エネルギー輸送モデルの 2 種がある。モデル解析の結果、全エネルギー輸送モデルは渦流の発生による運動エネルギーの散逸、即ち流体の内部エネルギーの増加をある程度模擬する事ができ妥当と考えられるが、内部エネルギー輸送モデルはこの運動エネルギーの散逸がそのままエネルギーバランスのくずれとなってしまう事が判明した。耐衝撃解析のためには全エネルギー輸送モデルを使用すべきである。
- (3.6) 原型炉における炉容器と内筒のような二重円筒構造を、等価厚さによるひとつの円筒におき替える方法は、流体と構造材の相互作用が単純な形状の場合には、ある程度満足すべき結果を与える。しかし、炉容器首下部のように内側の円筒を廻り込む流れがある場合には、等価厚法は外側円筒の歪をかなり過小評価するので、耐衝撃解析に等価厚法を適用する場合には慎重でなければならない。
- (3.7) 原型炉の遮蔽プラグ下面の熱遮蔽層のようにナトリウムスラグの運動エネルギーを吸収すると考えられる構造物の効果を Hermann の $P-\alpha$ コンパクションモデルを用いて検討し、遮蔽プラグ下面のクラッシュブル構造物による炉容器首下部変形の低減の寄与が非常に大きい事を確認した。しかし、原型炉解析に $P-\alpha$ コンパクションモデルを適用するには、等価物性値の決定が困難と考えられる。
- (3.8) ポーラスポリゴンを用いて炉心上部構造物のピン構造をモデル化し、そのエネルギー低減効果が非常に重要である事を確認した。原型炉実機への適用のためには、実効的空孔率の決定が今後必要となろう。
- (3.9) PISCES コードではキャビテーション現象を模擬するために、キャビテーション閾値を入力する P_{min} モデルを採用している。この P_{min} （最小圧力）値に対する感度解析を行なった結果、その効果は非常に小さい事が判明した。しかし、この P_{min} モデルはキャビテーション現象を十分に表現しているとは言えず、今後の研究が必要である。

最終的な結論として、本報告書での検討により、原型炉の原子炉容器の耐衝撃応答を PISCES-2DELK コードを用いて評価するための基礎的な手法を確立する事ができた。ここで得られた結論は次に行う予定である原型炉「もんじゅ」炉容器の耐衝撃詳細解析に充分反映されるであろう。

参 考 文 献

参 考 文 献

- 2-1 S.L. Hancock, "Finite Difference Equations for PISCES 2DELK, A Coupled Euler-Lagrange Continuum Mechanics Computer Program," Physics International Co. Technical Memorandum TCAM 76-2 (1976)
- 2-2 M.S. Cowler, S.L. Hancock, "Dynamic Fluid-Structure Analysis of Shells using the PISCES 2DELK Computer Code," 5th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, B1/6, Berlin (1979)
- 2-3 M. Trigg, S. Hancock, P. Kavalier and H. Hancock, "PISCES 2DELK User's Manual," Physics International Company (1981) Revised)
- 2-4 中井良大他, "高速増殖炉の安全解析に用いる計算コードについて", PNC N 241 81-28 (1981)
- 3-1 "PISCES 2DELK - Verification Manual," Physics International Co. (1981 Revised)
- 3-2 D.J. Cagliostro and C.M. Romander, "Experiments on the Response of Rigid and Flexible Reactor Vessel Models to a Simulated Hypothetical Core Disruptive Accident," 5th Interim Report to Contract 31-109-38-2655, Stanford Research Institute (1979)
- 3-3 Francis Harlow, "Dynamics of Compressive Fluids," LA-2412, Los Alamos Scientific Laboratory (1960)
- 3-4 エリ・ランダウ, イェ・リフシッツ, "流体力学", 竹内均訳, 東京図書 (1971)
- 3-5 W. Hermann, "Constitutive Equation for the Dynamic Compaction of Ductile Porous Materials," J. Appl. Phys. 40, 2490-2499 (1969)
- 3-6 W. Hermann, "On the Elastic Compression of Crushable Distended Materials," SC-DR-68-321, Sandia Laboratory (1968)
- 3-7 R.S. Weiner, "Forced Axisymmetric Motion of Circular Elastic Plates," J. Appl. Mech. 32 (1965)
- 3-8 原田幸夫, "流体の力学", 槇書店 (1959)
- 3-9 A.R. Edwards and O'Bvien, "Studies of Phenomena Connected with the Depressurization of Water Reactors," J. British Nucl. Energy Soc. (1970)
- 4-1 パトリック・J. ローチェ, "コンピュータによる流体力学(上・下)", 高橋亮一他訳, 構造計画研究所 (1978)

- 4-2 J.H. Tillotson, "Metallic Equations of State for Hypervelocity Impact," GA-3216, General Atomic (1962)
- 4-3 H. Holtbecker, "Testing Philosophy and Simulation Techniques," Ispra, Nuclear Engineering and Design 42 (1977)
- 4-4 "非弾性構造解析法の実用化に関する研究I)", PNC J 254 78-01, 日本機械学会 (1977)
- 5-1 R.B. Bird et al., "Transport Phenomena," John Wiley & Sons (1960)
- 5-2 C.J.L. Florie and M.J.v.d. Hoek, "Irreversible Energy Losses of Flow Through Porous and Perforated Plates," Nuclear Engineering and Design 68 (1981)
- 5-3 M.M. El-Wakil (西原英晃訳), "原子炉の熱工学", 同文書院 (1971)
- 5-4 "原型炉耐衝撃詳細解析法の開発(II)", PNC SJ 206 80-28, 三菱原子力工業(株) (1980)
- 5-5 "高速実験炉耐衝撃構造試験研究I)", PNC J 214 72-02, 原子力安全研究協会 (1972)
- 5-6 L.J. Briggs, "J. Appl. Phys.," 21, 721 (1950)
- 5-7 M.G. Sirotjuk, "Soviet Physics-Acoustics," 11, 318-322 (1966)
- 5-8 エリ・デ・ローゼンベルグ, "超音波入門", (上田光隆訳) 東京図書
- 5-9 A.V. Jones, "Cavitation Effects in LMFBR Containment Loading - Sensitivity Study," 6th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, E4/1 (1982)
- 5-10 A.V. Jones, "Validation of A Cavitation Model and Its Application to Containment Loading Experiments," 5th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, E2/6 (1979)

謝 辭

謝 辞

大洗工学センター炉心安全工学室において、これまで全く経験・手段を持っていなかった HCDA 時の耐衝撃解析に対し、PISCES-2DELK を導入して、その研究を進める体制を整える事ができたのは、本社FBR 安全ブロックリーダー渡辺 章主任研究員、現日本原子力事業(株)小松一郎氏（当時炉心安全工学室長）及び高橋克郎炉心安全工学室長代理のこの間の絶え間ない精力的なバックアップによるものであります。

川崎重工(株)吉江伸二氏（当時本社FBR 安全ブロック）、本社原型炉建設部原子炉課寺田和道副主任研究員には耐衝撃分野の先輩としてコードの導入時点から懇切丁寧な援助をいただき、本社FBR 安全ブロック相澤清人副主任研究員には解析の方向づけ、解析結果の検討において多くの有益な助言をいただきました。

また、PISCES-2DELK コードを大洗工学センターの計算機にインストールして今日の運用しやすいシステムに作り上げる事ができたのは、計算資料室佐藤一雄主査、三菱総合研究所(株)浅原 健氏（当時、炉心安全工学室駐在）、斉藤 寛氏、渡辺正明氏の献身的な御協力によるものであります。

また、解析にあたって、プラント安全工学室三宅 収研究員、ニュークリアデータ(株)向後寿太郎氏とは、共にPISCES-2DELK コードを使用して解析する仲間として、多くの有益な情報交換をする事ができました。

さらに同じ居室に机をならべてHCDAを各面から研究している炉心安全工学室諸氏には、実に頻繁に熱心に議論に参加していただきました。

もし、こういった数多くの方々の御協力がなければこの研究はその第一歩から踏み出すことはできなかったでしょう。本報告書をまとめるにあたり、改めてこれらの方々に深く感謝の意を表します。

Appendix A

PISCES-2DELK コードの実行環境

Appendix A PISCES - 2DELKコードの実行環境

A.1 まえがき

この Appendix では、PISCESを実際に運用する場合についての具体的な方法について説明する。

この Appendix は以下3つの節に分かれている。第2節は、オブジェクトモジュールで送られてきた PISCES 本体、その他付属機能の動燃大洗計算センター（OSIV/F4, M-190, 200 CLMP '83.6現在）へのインストールの方法を説明する。（ロードモジュールで送られてきた場合は、この節に準じて適切な対処をおこなう。）当センターには、特有のライブラリ、特有の図形処理システムがあり、それらのシステムを使用するためのインストールの説明である。

第3節では、実際の PISCES 本体の実行、付属システムの実行の方法について説明している。先にも述べたように、特有の図形処理システムがあるので、それらのシステムの PISCES での使用方法などについても説明した。以上2, 3節では、必要な JCL を添付した。

第4節では、3節で説明したような処理を行う場合に JCL を知らなくても実行できるようにコマンドプロシジャを用意しているが、それらのプロシジャについて説明した。

A.2 PISCES 本体の動燃大洗計算機システムへの Installation

この節では、PISCES 本体及び周辺プログラムを現在の動燃大洗の計算機システム（M190-M200 LCMP, OSIV/F4）で動作させるためのロードモジュールの作成方法を説明する。

A.2.1 入力されたオブジェクトモジュールと出力されたロードモジュールについて

A.2.1.1 オブジェクトモジュール

PISCES について、PI 社より提供されるものは、PISCES 本体、周辺プログラムのオブジェクトモジュールである。それらのオブジェクトモジュールのデータセット名、メンバ名、機能の簡単な説明を下表に示す。

提供オブジェクトモジュール

データセット名	メンバ名	機能
T 202 H. PISCES. LEVEL 12.OPT 1 Y 8204. OBJ	DELK 2D	PISCES 本体のオブジェクトモジュール、AUTODBL で COMPILE してある。
	ELK 2D	PISCES 本体のオブジェクトモジュール、AUTODBL は使用していない。

T 202 H. PISCES. LEVEL 12. OPT 1. Y 8204. OBJ	DDPLOT	図形データファイル（アーカイブファイル）編集用のプログラム。ここで編集したデータをわたすと PILOT が作図する。
	PILOT	図形処理プログラム。 DDPLOT, PISCES本体から出力されたデータを処理し図形を出力する。
	PRPLOT	プリンタ用プロットプログラム ラインプリンタへの図形出力を行う。
	WTSTGR	<u>WRITE TEST GRID DATA</u> PILOTの FT87 F 001 へのテスト入力データ作成プログラム。
	WTSTXY	<u>WRITE TEST XY DATA</u> PILOTの FT 86 F 001 へのテスト入力データ作成プログラム。

A.2.1.2 ロードモジュール

上記の提供オブジェクトモジュールから下記のロードモジュールを作成した。それらのデータセット名、メンバ名、簡単な機能の説明を行なう。

作成ロードモジュール

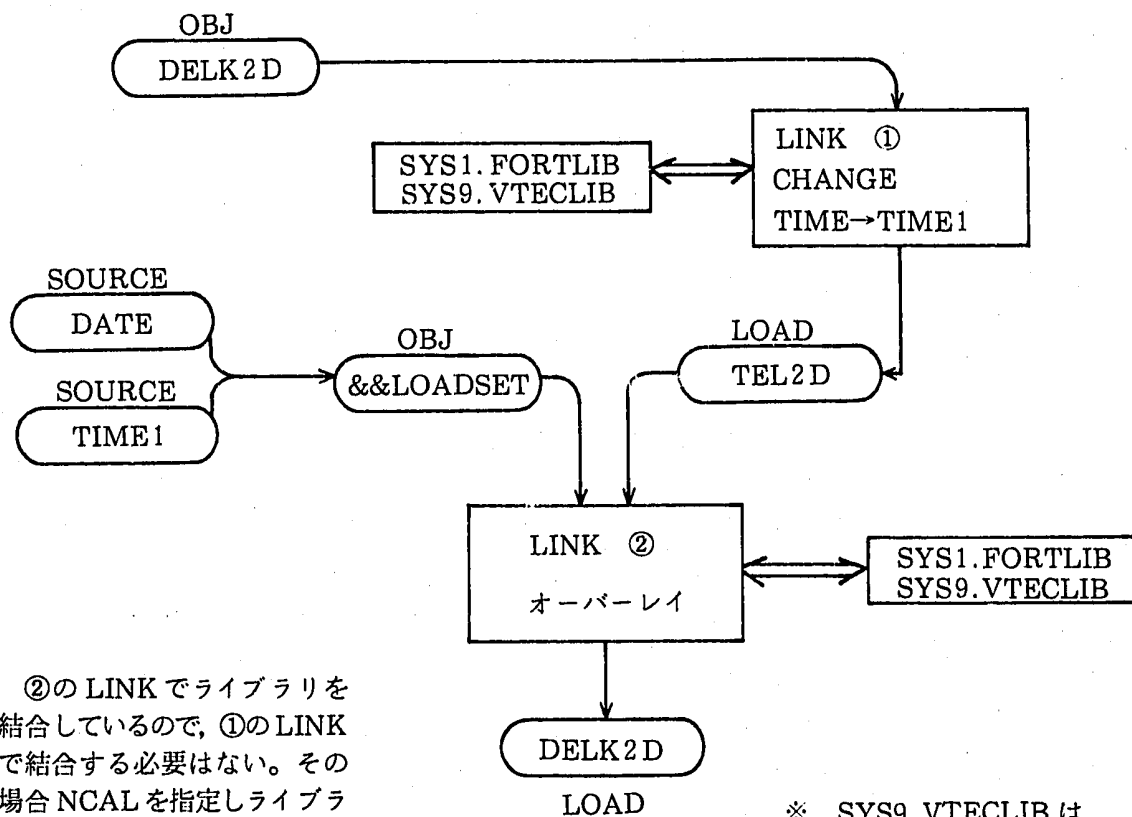
データセット名	メンバ名	機能
T 202 H. PISCES. LEVEL 12. OPT 1. Y 8204. LOAD	DELK2D	PISCES本体の倍精度バージョン。 (小体系の計算用, 大体系を計算すると, はみだしたメモリー上の領域のかわりに WORK ファイルが使用される。
	DDPLOT	図形データファイル（アーカイブ ^{データ} ）編集用プログラム。
	HCDA 1	PISCES本体の倍精度バージョン。(大体系計算用)
	PILOT	バーサテック用図形処理プログラム。
	PITTY	テクトロ用図形処理プログラム。
	PILOTG	GCOM用図形処理プログラム。
	NLPLOT 2	NLP(日本語ラインプリンタ)用図形処理プログラム。
	PRPLOT	ラインプリンタ用図形処理プログラム。
	WTSTGR	図形処理プログラム (PILOT他) の FT87F001 へのテスト入力データ作成プログラム。
WTSTXY	図形処理プログラム (PILOT他) の FT86F001 へのテスト入力データ作成プログラム。	

A.2.2 各ロードモジュールの作成手順

A.2.1.2 に示した各ロードモジュールの作成手順を入力と出力データセット名をあわせて説明する。

A.2.2.1 DELK2D

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (DELK 2D)	O	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (DELK 2D)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (DATE)	S		
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (TIME 1)	S		



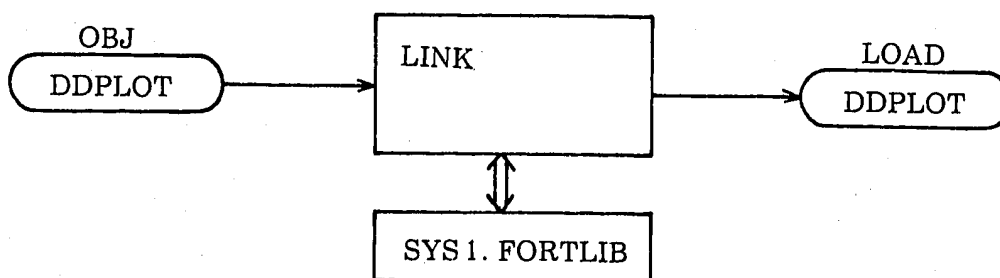
※ ②のLINKでライブラリを結合しているので、①のLINKで結合する必要はない。その場合NCALを指定しライブラリをはずせばよい。

※ SYS9.VTECLIBはつけなくてもよい。

オブジェクトモジュール DELK2D は TIME というルーチンを CALL しているが、それは FORTRAN ライブラリ中の TIME を意味していない。これだけの理由なら、TIME → TIME 1 の CHANGE を行なう必要はないが、TIME 1 の中で FORTRAN ライブラリの TIME を使用するので CHANGE を行なう。DATE, TIME 1 については SOURCE を添付する。また、ここであげたものと別の方法も考えられる。

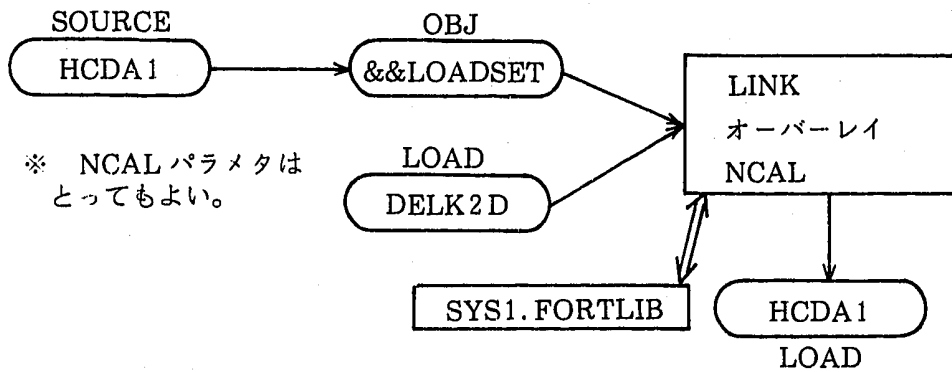
A.2.2.2 DDPLOT

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (DDPLOT)	O	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (DDPLOT)	L



A.2.2.3 HCDA1

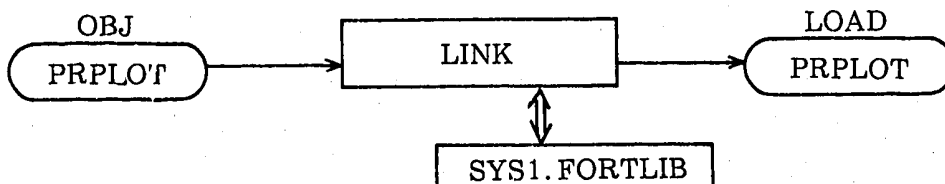
入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (HCDA 1)	S	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (HCDA 1)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (DELK 2D)			



HCDA1 の SOURCE についてはリストを添付する。

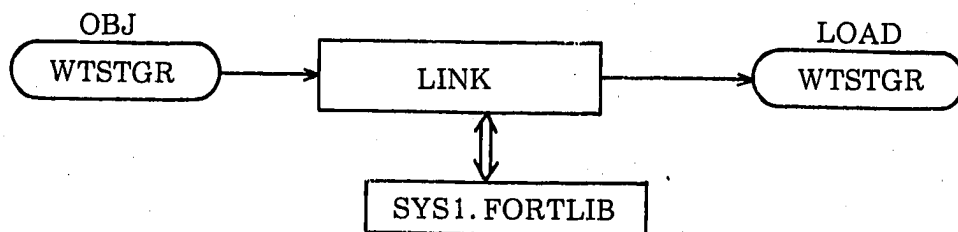
A.2.2.4 PRPLOT

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (PRPLOT)	O	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (PRPLOT)	L



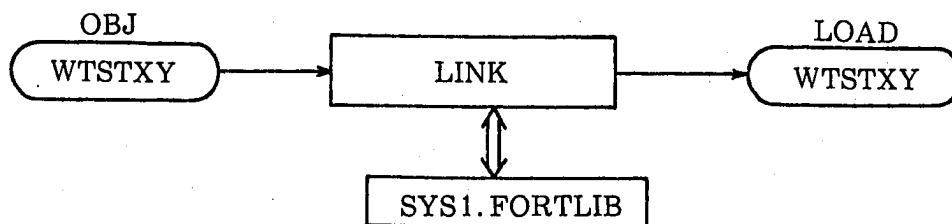
A.2.2.5 WTSTGR

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (WTSTGR)	O	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (WTSTGR)	L



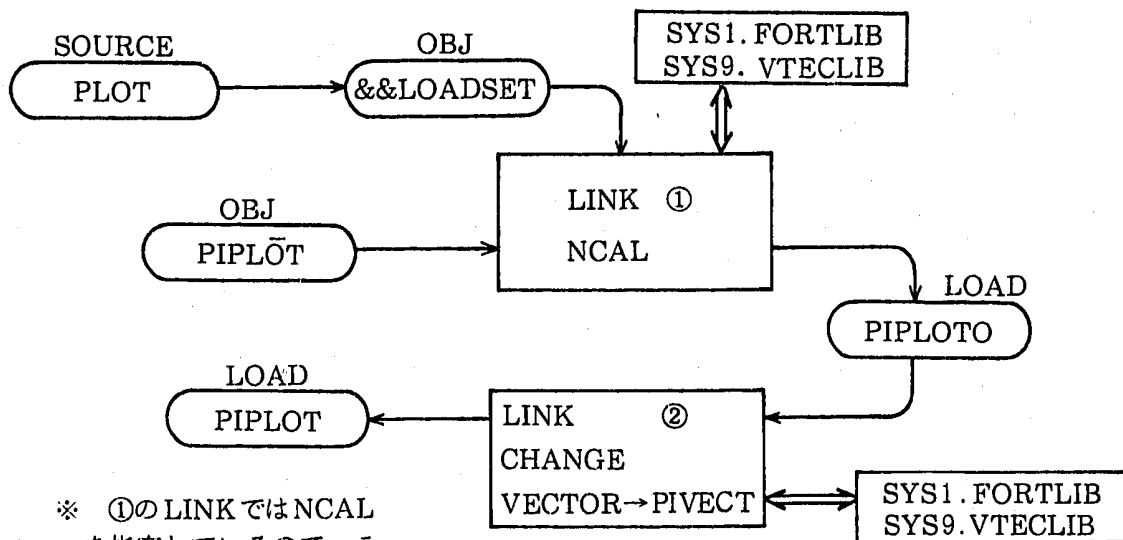
A.2.2.6 WTSTXY

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (WTSTXY)	O	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (WTSTXY)	L



A.2.2.7 PILOT

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (PLOT)	S	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (PIPLOT)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (PIPLOT)	O		

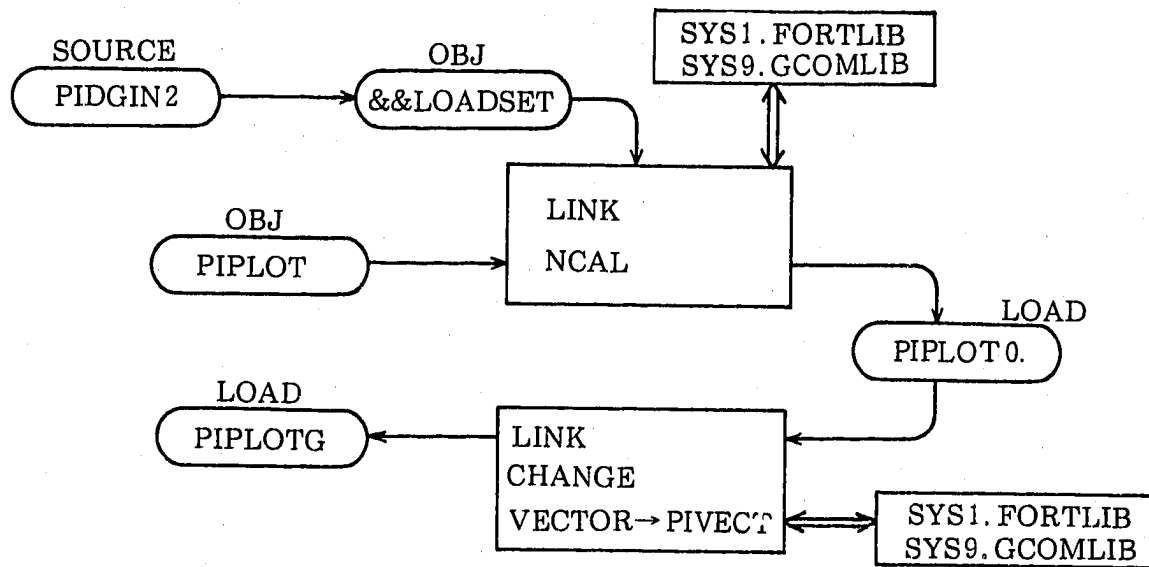


※ ①のLINKではNCALを指定しているので、ライブラリを結合する必要はない。

オブジェクトモジュールPIPLOTは、VECTORというモジュールをもっている。またVTECLIBもVECTORという名前のモジュールをもっているため、通常のコンパイル・リンクを行った場合、VTECLIB中のVECTORをCALLに行った時、PIPLOT中のVECTORをもってきてしまう。したがって一度NCALでLINKしたあと、PIPLOT中のVECTORの名前を変更する必要がある。FORTRANソースPLOTについてはリストを添付する。またここであげたものと別の方法も考えられる。

A.2.2.8 PILOTG

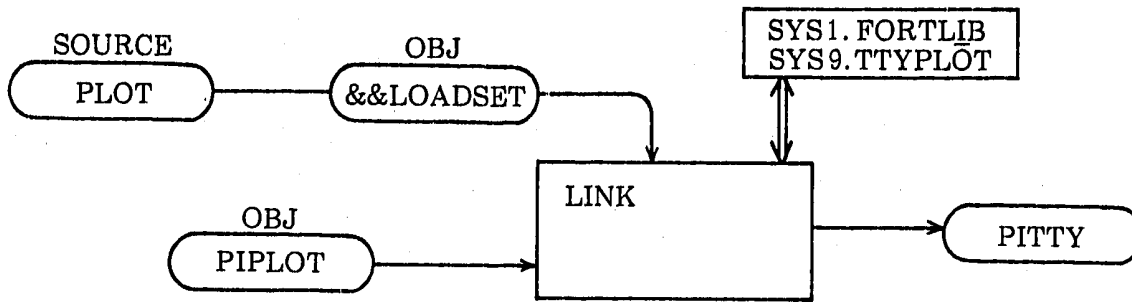
入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (PIDGIN 2)	S	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (PILOTG)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (PILOT)	O		



A.2.2.7のようにSYS9.GCOMLIB中にVECTOR というモジュールはないので、このような方法をとる必要はない。PIDGIN2についてはリストを添付する。

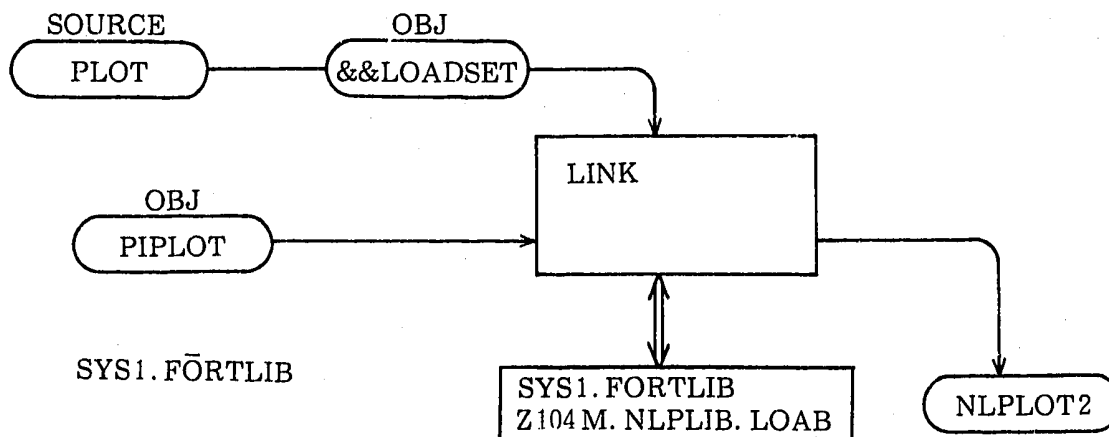
A.2.2.9 PITYY

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (PLOT)	S	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (PITYY)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (PILOT)	O		



A.2.2.10 NLPLOT 2

入力データセット名 (メンバ名)	内容	出力データセット名 (メンバ名)	内容
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. FORT (PLOT)	S	T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. LOAD (NLPLOT 2)	L
T 202H. PISCES. LEVEL 12. OPT1. Y 8204. OBJ (PIPLOT)	O		



この方法は、JEF 中の PSPCONV II を使用するもので、現在 ('83.6.30) は大洗計算センターは正式にサポートしていない。ここでリンクするライブラリ Z104 M・NLPLIB・LOAD を SYS9・NLPLIB に変更すれば、正式にサポートされているソフトウェアを使うことができる。

参考資料(1) JCL

A.2.2で説明した作業手順のJCLを添付する。ただし、このJCLは現在('83.6)のシステムで使用可能なものである。したがって、これらを使用する場合は、システムの変更点に伴う修正を施し使用すること。

Table A.2.2.1 Sample JCL to create the DELK2D Load Module

```

//T202J   JOB (   ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
//        NOTIFY=T202J,
//        ATTR=(TO,C2,W2)
//LKED   EXEC PGM=JQAL,
//        PARM='LET,HAP,LIST,SIZE=220K'
//***** CHANGE TIME TO TIME1
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//ADDLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD *
//        CHANGE TIME(TIME1)
//        INCLUDE ADDLMOD(DELK2D)
//        ENTRY ELK2D
//        NAME TELK2D(R)
/*
//
//T202J   JOB (   ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
//        NOTIFY=T202J,
//        ATTR=(TO,C2,W2)
//FORT   EXEC PGM=JHEAHH,
//        PARM='GOSTMT,OPT(1),AUTOOBL(35237),NOIL,ALC'
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSTEM DD DUMMY
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(3465,(3,3)),DCB=BLKSIZE=3465
//SYSUT2 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(5048,(10,10))
//SYSPUNCH DD DUMMY
//SYSLIN DD DSN=*&&LOADSET,DISP=(NEW,PASS),UNIT=SYSSQ,
//        SPACE=(3200,(40,100)),DCB=BLKSIZE=3200
//SYSIN   DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(1)
//        DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(TIME1)
//LKED   EXEC PGM=JQAL,COND=(12,LT,FORT),
//        PARM='LET,HAP,OVLY,LIST,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//        DD DISP=SHR,DSN=SYS9.VTECLIB
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//ADDLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//OVERLAY DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCESX.CNTL
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=*&&LOADSET
//        DD *
//        INCLUDE ADDLMOD(TELK2D)
//        INCLUDE OVERLAY(OV2DELK)
//        ENTRY ELK2D
//        NAME DELK2D(R)
/*
//

```

Table A.2.2.2 Sample JCL to create the PRPLOT, WTSTGR, WTSTXY, and DDPLLOT Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
//LKED EXEC PGM=JQAL,
// PARM='LET,MAP,LIST,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//*
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//OBJECT DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD *
    INCLUDE OBJECT(PRPLOT)
    ENTRY PRPLOT
    NAME PRPLOT
    INCLUDE OBJECT(WTSTGR)
    ENTRY WTSTGR
    NAME WTSTGR
    INCLUDE OBJECT(WTSTXY)
    ENTRY WTSTXY
    NAME WTSTXY
    INCLUDE OBJECT(DDPLOT)
    ENTRY DDPLOT
    NAME DDPLOT
/*
//

```

Table A.2.2.3 Sample JCL to create the HCDA1 Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
// EXEC FORTXCL,
// PARM.FORT='AUTODBL(35237),NODECK,NOLIST,OPT(1)',
// PARM.LKED='NCAL,LET,MAP,LIST,OVLY,SIZE=220K'
//FORT.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//FORT.SYSIN DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(HCDA1)
//LKED.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//LKED.SYSLMOD DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(HCDA1)
//LKED.OVERLAY DD DSN=T202H.PISCESX.CNTL,DISP=SHR
//LKED.ADDLMOD DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//LKED.SYSIN DD *
    INCLUDE ADDLMOD(DELK2D)
    INCLUDE OVERLAY(OV2DELK)
    ENTRY MAIN
    NAME HCDA1(R)
/*
//

```

Table A.2.2.4 Sample JCL to create PILOT Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
// EXEC FORTXCL,
// PARM.FORT='NODECK;NOLIST,OPT(0)',
// PARM.LKED='NCAL,LET,MAP,LIST'
//FORT.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//FORT.SYSIN DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(PLOT)
//LKED.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//LKED.SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.VTECLIB
// DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//LKED.SYSLMOD DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//OBJECT DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ
//LKED.SYSIN DD *
INCLUDE OBJECT(PILOT)
ENTRY PILOT
NAME PIPLOTO(R)
/*
//LKED EXEC PGM=JQAL,
// PARM='LET,MAP,LIST,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.VTECLIB
// DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD *
CHANGE VECTOR(PIVECT)
INCLUDE SYSLMOD(PIPLOTO)
ENTRY PILOT
NAME PIPLOT(R)
/*
//

```

Table A.2.2.5 Sample JCL to create PITTY Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
//FORT EXEC PGM=JMEAMH,
// PARM='GOSTMT,PRINT,SOURCE'
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSTEM DD DUMMY
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(3465,(3,3)),DCB=BLKSIZE=3465
//SYSUT2 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(5048,(10,10))
//SYSPUNCH DD DUMMY
//SYSLIN DD DSN=&&LOADSET,DISP=(NEW,PASS),UNIT=SYSSQ,
// SPACE=(3200,(40,100)),DCB=BLKSIZE=3200
//SYSIN DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(PLOT)
//LKED EXEC PGM=JQAL,COND=(12,LT,FORT),
// PARM='LET,MAP,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
// DD DISP=SHR,DSN=SYS9.TTYPLOT
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//PILOT DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&&LOADSET
// DD *
INCLUDE PILOT(PILOT)
ENTRY PILOT
NAME PITTY(R)
/*
//

```


Table A.2.2.6 Sample JCL to create the PILOTG Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
// EXEC FORTXCL,
// PARM.FORT='NODECK,NOLIST,OPT(0)',
// PARM.LKED='NCAL,LET,HAP,LIST'
//FORT.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//FORT.SYSIN DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(PIGIN2)
//LKED.SYSPRINT DD SYSOUT=*
//LKED.SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.GCOMLIB
// DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//LKED.SYSLMOD DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//OBJECT DD DISP=SHR,
// DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ
//LKED.SYSIN DD *
INCLUDE OBJECT(PILOT)
ENTRY PILOT
NAME PILOTO(R)
/*
//LKED EXEC PGM=JQAL,
// PARM='LET,HAP,LIST,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.GCOMLIB
// DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD *
CHANGE VECTOR(PIVECT)
INCLUDE SYSLMOD(PILOTO)
ENTRY PILOT
NAME PILOTG(R)
/*
//

```

Table A.2.2.7 Sample JCL to create the NLPLLOT2 Load Module

```

//T202J JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=A,
// NOTIFY=T202J,
// ATTR=(TO,C2,W2)
//FORT EXEC PGM=JMEAHM,
// PARM='GOSTMT,PRINT,SOURCE'
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//SYSTEM DD DUMMY
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(3465,(3,3)),DCB=BLKSIZE=3465
//SYSUT2 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(5048,(10,10))
//SYSPUNCH DD DUMMY
//SYSLIN DD DSN=%%LOADSET,DISP=(NEW,PASS),UNIT=SYSSQ,
// SPACE=(3200,(40,100)),DCB=BLKSIZE=3200
//SYSIN DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.FORT(PLGT)
//LKED EXEC PGM=JQAL,COND=(12,LT,FORT),
// PARM='LET,HAP,SIZE=220K'
//SYSLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS1.FORTLIB
// DD DISP=SHR,DSN=Z104N.NLPLIB.LOAD
//SYSUT1 DD UNIT=SYSSQ,SPACE=(1024,(200,20))
//SYSPRINT DD SYSOUT=*
//PILOT DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.OBJ(PILOT)
//SYSLMOD DD DISP=SHR,DSN=T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD
//SYSLIN DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=%%LOADSET
// DD *
INCLUDE PILOT
ENTRY PILOT
NAME NLPLLOT2(R)
/*
//

```

参考資料(2) Fortran Source

A.2.2 で使用した FORTRAN ソースを添付する。

Table A.2.2.8 Fortran Source of DATE

簡単なので説明略

	INTEGER FUNCTION JDATE(DUMMY)	00000100
C		00000200
	INTEGER*4 ID(2)	00000300
C		00000400
	CALL DATE(ID)	00000500
C		00000600
	DECODE(8,101,1D) I1	00000700
101	FORMAT(12)	00000800
	DECODE(8,102,1D) I2	00000900
102	FORMAT(3X,12)	00001000
	DECODE(8,103,1D) I3	00001100
103	FORMAT(6X,12)	00001200
C		00001300
C		00001400
	I11 = I3	00001500
	IF(I2 .LT. 2) GOTO 200	00001600
	I11 = I11 + 31	00001700
	IF(I2 .LT. 3) GOTO 200	00001800
	I28 = 28	00001900
	IF(I1/4 .EQ. 0) I28 = 29	00002000
	I11 = I11 + I28	00002100
	IF(I2 .LT. 4) GOTO 200	00002200
	I11 = I11 + 31	00002300
	IF(I2 .LT. 5) GOTO 200	00002400
	I11 = I11 + 30	00002500
	IF(I2 .LT. 6) GOTO 200	00002600
	I11 = I11 + 31	00002700
	IF(I2 .LT. 7) GOTO 200	00002800
	I11 = I11 + 30	00002900
	IF(I2 .LT. 8) GOTO 200	00003000
	I11 = I11 + 31	00003100
	IF(I2 .LT. 9) GOTO 200	00003200
	I11 = I11 + 31	00003300
	IF(I2 .LT.10) GOTO 200	00003400
	I11 = I11 + 30	00003500
	IF(I2 .LT.11) GOTO 200	00003600
	I11 = I11 + 31	00003700
	IF(I2 .LT.12) GOTO 200	00003800
	I11 = I11 + 30	00003900
200	IDATE= I11 + I1*1000	00004000
C		00004100
	JDATE = IDATE	00004200
C		00004300
	RETURN	00004400
	END	00004500

Table A.2.2.9 Fortran Source of TIME

簡単なので説明略

	SUBROUTINE TIME1(NTIME)	00000100
	DIMENSION NTIME(1)	00000200
C		00000300
	CALL TIME (ITIME)	00000400
C		00000500
	ITIME = ITIME/1000	00000600
	WRITE(6,10) ITIME	00000700
10	FORMAT(1H0, 110)	00000800
C		00000900
	NTIME(3) = MOD(ITIME,60)	00001000
	NTIME(1) = ITIME/3600	00001100
	NTIME(2) = (ITIME-NTIME(3)-NTIME(1)*3600)/60	00001200
	RETURN	00001300
	END	00001400

Table A.2.2.10 Fortran Source of HCDAL

	COMMON/MEMORY/LENCEN,LENEXT,GRID(22000)	00000100	
	COMMON/CORE/ LIMCOR,CORE(22000)	00000200	} ↓ ここまでは大体系を計算する場合のMAINプログラム
	LENCEN=22000	00000300	
	LIMCOR=22000	00000400	
	LENEXT=0	00000500	
	CALL CODE	00000600	
	STOP	00000700	
	END	00000800	
	SUBROUTINE EXEDIT(NCOL,NBC)	00000900	
	COMMON / CORE / LIMCOR,COLBUF(22000)	00001000	
	COMMON /NCYVAR/ NCYCLE, TIME, OLTH, DLTE, DLTMIN, ITSTEP, DDSTEP,	00001100	
	1 NSWRAP, NSEXLT, TIMB, DLTB, DLTFE,MTSTEP, JTSTEP, SSSTEP,	00001200	
	2 NUMWAG, NUMPLT	00001300	
	COMMON /MSGVAR/ MSG, IMAX, NBCMAX, DTMIN, ITMIN, DOMIN, IDSTOP,	00001400	
	1 NZCYC, IDMAX, JMAX, JLIMIT, MTPRO, JTMIN, SSMIN, LIHSIG,	00001500	
	2 NSBLAY,EINTG, E KING, EDISG, XHOMG, YHOMG, ZHMSG, NUMSIG,	00001600	
	3 MCHSUB,MASCAL	00001700	
	COMMON /LOCNAT/ MODCON, MPN,CL, CQ, CH, PM, PHOI,	00001800	
	1 MODSHR, G1, G2, G3, G4, G5, G6,	00001900	
	2 MODYLD, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, HVL,	00002000	
	3 MODEOS, A1, A2, A3, A4, A5, A6,	00002100	
	4 BO, B1, B2, B3, B4, B5, B6, BCJ, BFT,	00002200	
	5 MODALP, P1, P2, P3, P4, P5, P6	00002300	
	DIMENSION VOLMAS(50,5),ERG2(50,5),EXEUL1(50,5),TPRES(28),GV(28)	00002400	
	DIMENSION TPREP(28),GP(28)	00002500	
	EQUIVALENCE (VOLMAS,COLBUF(1501)),(ERG2,COLBUF(4751))	00002600	
	EQUIVALENCE (EXEUL1,COLBUF(8751))	00002700	
	DATA PCONV,GCONV/1.E-6,1.E06/	00002800	
	DATA NPDV/28/,GVOLE/2.3351E06/	00002900	
	DATA GP /2.3351,2.3369,2.3450,2.3616,2.3889,2.4123,2.4880,	00003000	
	1 2.6160,2.7316,2.9114,3.1741,3.4686,3.8361,4.4986,	00003100	
	2 5.1978,6.5382,8.2287,11.584,15.260,19.729,27.355,	00003200	
	3 36.058,46.028,63.019,77.414,106.21,159.87,900./	00003300	
	C PRESSURE DATA UNIT = BAR	00003400	
	DATA TPREP /499.85,442.12,392.17,345.02,299.28,272.75,236.07,	00003500	
	1 195.90,173.52,149.85,127.73,112.27,100.29,85.721,	00003600	
	2 75.269,62.486,52.220,39.962,32.134,26.153,20.075,	00003700	
	3 16.009,13.027,10.089,8.5244,6.5895,4.7095,1./	00003800	
	IF(MSG.EQ.1.OR.MSG.EQ.2) GO TO 1	00003900	
	RETURN	00004000	
	1 CONTINUE	00004100	
	DO 10 I1=1,28	00004200	
	TPRES(I1)=TPREP(I1)*PCONV	00004300	
	10 GV(I1)=GP(I1)*GCONV	00004400	
	C	00004500	
	DO 20 J=1,JMAX	00004600	
	20 GVOL=GVOL+VOLMAS(J,NBC)*ERG2(J,NBC)	00004700	
	IF(MSG.EQ.1.AND.NCOL.LE.8) RETURN	00004800	
	IF(MSG.EQ.2.AND.NCOL.LE.6) RETURN	00004900	
	GVOLP=GVOLE	00005000	
	GVOLE=GVOL	00005100	
	DVOL=GVOLE-GVOLP	00005200	
	C	00005300	
	POLD=PNEW	00005400	
	IF(GVOLE.LT.2.3351234E06) GO TO 300	00005500	
	IF(GVOLE.GE.GV(NPDV)) GO TO 400	00005600	
	DO 100 NVP=2,NPDV	00005700	
	NVQ=NVP	00005800	
	IF(GVOLE.LE.GV(NVP)) GO TO 200	00005900	
	100 CONTINUE	00006000	
	GO TO 400	00006100	
	200 CONTINUE	00006200	
	NA=NVP	00006300	
	NB=NVP-1	00006400	
	DPDV=(TPRES(NA)-TPRES(NB))/(GV(NA)-GV(NB))	00006500	
	PNEW=DPDV*(GVOLE-GV(NB))+TPRES(NB)	00006600	
	GO TO 500	00006700	
	300 CONTINUE	00006800	
	PNEW=TPRES(1)	00006900	
	GO TO 500	00007000	
	400 CONTINUE	00007100	
	PNEW=TPRES(NPDV)	00007200	
	500 CONTINUE	00007300	
	GWORK=GWORK+POLD*DVOL	00007400	
	EXEUL1(2,NBC)=GWORK*0.1	00007500	
	EXEUL1(3,NBC)=PNEW	00007600	
	EXEUL1(4,NBC)=GVOLE	00007700	
	C IF(MOD(NCYCLE,10).EQ.0) PRINT 1000,GVOLE,PNEW	00007800	
	C1000 FORMAT(* GVOLE,PNEW*,1P2E15.6)	00007900	
	GVOL=0.	00008000	
	DVOL = 0.	00008100	
	RETURN	00008200	
	END	00008300	

ここからはPAGESの外部サブルーチン

Table A.2.2.11 Fortran Source of PLOT

```

SUBROUTINE PIDGIN(X,Y,IPEN)
C
C PIDGIN IS THE INTERFACE BETWEEN PILOT AND HARDWARE DEPENDENT ROUTINES. IT IS ALSO THE INTERFACE WITH PINIT AND PASSL FOR INITIALIZATION. THE SIX FUNCTIONS ARE --
C
C A) INITIALIZATION.....CALL PIDGIN(0,0,20)
C     IT IS ASSUMED THAT TAPE20 IS EQUIVALENCED TO THE PLOT FILE.
C
C B) PEN DROP.....CALL PIDGIN(0,0,9)
C
C C) PEN LIFT.....CALL PIDGIN(0,0,8)
C
C D) MOVE PEN
C     WITH CURRENT STATUS.CALL PIDGIN(X,Y,1)
C     WITH DROP.....CALL PIDGIN(X,Y,2)
C     WITH LIFT.....CALL PIDGIN(X,Y,3)
C
C E) NEW FRAME.....CALL PIDGIN(X,Y,-3)
C
C F) TERMINATION.....CALL PIDGIN(X,Y,999)
C
C THIS COMMON BLOCK IS EXTENDED USING THE DUMMY VARIABLE LPPPB TO THE MINIMUM LENGTH REQUIRED BY PINIT.
C COMMON /CORE/ LENCOR, LPPPB(4546)
C * , FRINIT, IFRAME, NUMX, XARY(110), NOTEX(110), LINE, LIMLAB
C * , DEFALT, LOGOPT, NUMY, YARY(110), NOTEY(110), HAL
C * , ARBIT , NUMREF, LABELS(2000), RAT, PAPER, NTHOUT
C LOGICAL FRINIT, DEFALT
C
C COMMON /INSDEP/ JOBNAM(2), MIDHMS, MONDAY, INKPIN, RESNAM(2,2)
C * , PLUNNM(2), PLSPUN, PLUNPL, PLPAPR, RESTOL(2)
C
C LOGICAL NAMING
C DATA NAMING/.TRUE./, XOLD/0.0/, YOLD/0.0/
C *****
C *
C *   C A L C O M P   I N C R E M E N T A L   V E R S I O N
C *
C *****
C
C     TEST FOR CONTROL ENTRY.
C IF(IPEN.GE.8) GO TO 20
C     NORMAL CALLS - PEN MOTION
C IF(IPEN.NE.1) JPEN = IPEN
C CALL PLOT(2.54*X,2.54*Y,JPEN)
C     ACCUMULATE UNITS FOR ANY PEN MOVEMENT, UP OR DOWN,
C     ONCE JOB NAME IS DRAWN AND FIRST PLOT BEGUN
C N21 = N21+INT(1000.*SQRT((X-XOLD)**2+(Y-YOLD)**2))
C XOLD = X
C YOLD = Y
C     REPORT ONLY ONCE PER FRAME
C IF(IPEN.NE.-3) RETURN
CCC DEBUG WRITE
WRITE (6,5)
5 FORMAT(' PILOT IPEN = -3 ')
CCC
CALL PLOT(0.,0.,-999)
XOLD = 0.
YOLD = 0.
IF(NAMING) N21 = 0
CALL PINIT(3,21,N21)
NAMING = .FALSE.
RETURN

```

```

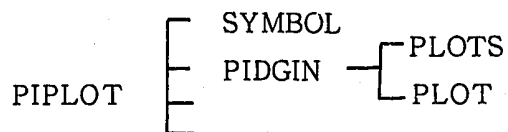
PIDGIN 2
PIDGIN 3
PIDGIN 4
PIDGIN 5
PIDGIN 6
PIDGIN 7
PIDGIN 8
PIDGIN 9
PIDGIN10
PIDGIN11
PIDGIN12
PIDGIN13
PIDGIN14
PIDGIN15
PIDGIN16
PIDGIN17
PIDGIN18
PIDGIN19
PIDGIN20
PIDGIN21
PIDGIN22
PIDGIN23
P/CORE 2
P/CORE 3
P/CORE 4
P/CORE 5
P/CORE 6
P/CORE 7
P/CORE 8
P/CORE 9
*/INSDE2
*/INSDE3
*/INSDE4
*/KEYD12
PIDGIN27
PIDGIN28
*****PIDGIN29
*PIDGIN30
*PIDGIN31
*PIDGIN32
*****PIDGIN33
PIDGIN34
PIDGIN35
PIDGIN36
PIDGIN37
PIDGIN38
PIDGIN39
PIDGIN40
PIDGIN41
PIDGIN42
PIDGIN43
PIDGIN44
PIDGIN45
PIDGIN46
PIDGIN47
PIDGIN48
PIDGIN49
PIDGIN50
PIDGIN51
PIDGIN52

```

Table A.2.2.11 Cont'd

C		PEN LIFT	PIDGIN53
	20	IF(IPEN.EQ.8) JPEN = 3	PIDGIN54
C		PEN DROP	PIDGIN55
		IF(IPEN.EQ.9) JPEN = 2	PIDGIN56
C		INITIALIZATION	PIDGIN57
		IF(IPEN.NE.20) GO TO 50	PIDGIN58
C		INITIAL ACCOUNTING ENTRY	PIDGIN59
C		CALL PINIT(1,20,KEY)	¥/KEYSE2
			PIDGIN61
C		ZERO ACCOUNTING UNITS	¥/KEYCH2
C			PIDGIN63
		N21 = 0	PIDGIN64
C		START WITH PEN UP	PIDGIN65
		JPEN = 3	PIDGIN66
C		SET VARIABLES IN /INSDEP/	PIDGIN67
		PLSPUN = 100.	PIDGIN68
		PLUNPI = 1.	PIDGIN69
		PLPAPR = 11.	PIDGIN70
		DATA PLUNM1, PLUNM2/4H IN,4HCH /	PIDGIN71
		PLUNNM(1) = PLUNM1	PIDGIN72
		PLUNNM(2) = PLUNM2	PIDGIN73
C		SET VARIABLES IN /CORE/	PIDGIN74
		PAPER = 0.01*PLSPUN*PLPAPR	PIDGIN75
		HAL = 0.01*PLSPUN*0.125	PIDGIN76
		NTHOUT = 1000	PIDGIN77
C		INITIALISE PLOT FILE	PIDGIN78
		CALL PLOTS(X,Y,99)	PIDGIN79
C		READY ACCOUNTING	PIDGIN80
		CALL PINIT(2,20,N21)	PIDGIN81
		RETURN	PIDGIN82
C		TERMINATION	PIDGIN83
	50	IF(IPEN.NE.999) RETURN	PIDGIN84
C		TERMINATE PLOT FILE	PIDGIN85
		CALL PLOT(X,Y,999)	PIDGIN86
C		FLUSH ACCOUNTING UNITS AND CLOSE FILE	PIDGIN87
		CALL PINIT(4,21,N21)	PIDGIN88
		N21 = 0	PIDGIN89
		RETURN	PIDGIN90
		END	PIDGIN91

PIPLOT は、種々のハードを使用可能にするために、使っているカルコンプのベーシックルーチンは、PLOT, PLOTS, SYMBOL の3つだけであり、それらも下のような関係になっている。



したがってPIDGINの内容をかえることにより、種々のハードに対応したPLOTS, PLOT ルーチンが使えるようになっている。

このソースは、 $\left\{ \begin{array}{l} \text{バーサク用} \\ \text{NLP 用} \\ \text{テクトロ用} \end{array} \right\}$ のソースである。

Table A.2.2.12 Fortran Source of PIDGIN2

```

SUBROUTINE PIDGIN(X,Y,IPEN)
C
C PIDGIN IS THE INTERFACE BETWEEN PILOT AND HARDWARE DEPENDENT ROUTINES. IT IS ALSO THE INTERFACE WITH PINIT AND PASSL FOR INITIALIZATION. THE SIX FUNCTIONS ARE --
C
C A) INITIALIZATION.....CALL PIDGIN(0,0,20)
C     IT IS ASSUMED THAT TAPE20 IS EQUIVALENCED TO THE PLOT FILE.
C
C B) PEN DROP.....CALL PIDGIN(0,0,9)
C
C C) PEN LIFT.....CALL PIDGIN(0,0,0)
C
C D) MOVE PEN
C     WITH CURRENT STATUS.CALL PIDGIN(X,Y,1)
C     WITH DROP.....CALL PIDGIN(X,Y,2)
C     WITH LIFT.....CALL PIDGIN(X,Y,3)
C
C E) NEW FRAME.....CALL PIDGIN(X,Y,-3)
C
C F) TERMINATION.....CALL PIDGIN(X,Y,999)
C
C THIS COMMON BLOCK IS EXTENDED USING THE DUMMY VARIABLE LPPPB TO THE MINIMUM LENGTH REQUIRED BY PINIT.
C COMMON /CORE/ LENCOR, LPPPB(4546)
C * , FRINIT, IFRAME, NUMX, XARY(110), NOTEX(110), LINE, LINLAB
C * , DEFALT, LOGOPT, NUMY, YARY(110), NOTEY(110), HAL
C * , ARBIT, NUMRFF, LABELS(2000), RAT, PAPER, NTHOUT
C LOGICAL FRINIT, DEFALT
C
C COMMON /INSDEF/ JOBNAM(2), MIDHMS, MONDAY, INKPIN, RESNAM(2,2)
C * , PLUNNM(2), PLSPUN, PLUNPI, PLPAPR, RESTOL(2)
C
C LOGICAL NAMING
C DATA NAMING/.TRUE./, XOLD/O.O/, YOLD/O.O/
C *****
C * CALCOMP INCREMENTAL VERSION *
C *****
C ***** MODIFIED FOR GRAPHIC COM (82.02.04) BY MRW *****
C DIMENSION MAINTL(5), ISUBTL(18)
C *****
C     TEST FOR CONTROL ENTRY.
C IF(IPEN.GE.8) GO TO 20
C     NORMAL CALLS - PEN MOTION
C IF(IPEN.NE.1) JPEN = IPEN
C SCALING FACTOR,XORG,YORG INPUT ..... 82.2.16 ISK
C XXXX=SFAC*X+XORG
C YYYY=SFAC*Y+YORG
C YYMO = -Y*SFAC+SFAC*XPARA
C IF( JPEN .EQ. -3 ) CALL PLOT(XXXX,YYYY,JPEN)
C IF( ROTIND .LE. 0) GOTO 200
C IF( JPEN .NE.-3) CALL PLOT(YYMO,XXXX,JPEN)
C GOTO 210
C 200 CALL PLOT(XXXX,YYYY,JPEN)
C 210 CONTINUE

```

PIDGIN 2
 PIDGIN 3
 PIDGIN 4
 PIDGIN 5
 PIDGIN 6
 PIDGIN 7
 PIDGIN 8
 PIDGIN 9
 PIDGIN10
 PIDGIN11
 PIDGIN12
 PIDGIN13
 PIDGIN14
 PIDGIN15
 PIDGIN16
 PIDGIN17
 PIDGIN18
 PIDGIN19
 PIDGIN20
 PIDGIN21
 PIDGIN22
 PIDGIN23
 P/CORE 2
 P/CORE 3
 P/CORE 4
 P/CORE 5
 P/CORE 6
 P/CORE 7
 P/CORE 8
 P/CORE 9
 Y/INSDE2
 Y/INSDE3
 Y/INSDE4
 Y/KEYD12
 PIDGIN27
 PIDGIN28
 *****PIDGIN29
 *PIDGIN30
 *PIDGIN31
 *PIDGIN32
 *****PIDGIN33
 PIDGIN34

 PIDGIN35
 PIDGIN36
 PIDGIN37
 PIDGIN38

Table A.2.2.12 Cont'd

```

WRITE(6,105) MAINTL
105 FORMAT(1H0,10X,'MAIN TITLE'1H ,12X,5A4)
READ(IRFIL,120) ISUBTL
READ(IRFIL,100) NCHR2
WRITE(6,106) ISUBTL
106 FORMAT(1H0,10X,'SUB TITLE'1H ,12X,18A4)
120 FORMAT(18A4)
C SCALING FACTOR READ (? CM PER INCH)... 82.2.16
READ(IRFIL,121) SFAC,XORG,YORG
121 FORMAT(3F10.0)
WRITE(6,107) SFAC,XORG,YORG
107 FORMAT(1H0,15X,'SCALING FACTOR (CM PER INCH) -----',F8.3//
2 15X,'X ORIGINAL POINT (CM) -----',F8.3//
3 15X,'Y ORIGINAL POINT (CM) -----',F8.3)
C AFTER ROTATING
READ(IRFIL,122)SFAC1,XPARA,ROTIND
122 FORMAT(3F10.0)
WRITE(6,108)SFAC1,XPARA
108 FORMAT(1H0,15X,'SCALING FACTOR (AFT. ROT.) -----',F8.3//
2 15X,'TRANSLATION WIDTH X COORD. -----',F8.3)
C IF (ROTIND .GT. 0. ) SFAC = SFAC1
IF (ROTIND .GT. 0. ) WRITE(6,109)
109 FORMAT(1H0,10X,' ***** ROTATION WILL BE EXECUTED. *****')
C CALL PLOTS(IFILM,Y,IPEN)
CALL TITLES(MAINTL,NCHR1,ISUBTL,NCHR2)
C***** FOR GRAPHIC COM (82.02.09) BY MRW *****
C CALL PLOTS(X,Y,IPEN) ***** COMMENT STATEMENT FOR GRAPHIC COM *****PIDGIN79
C READY ACCOUNTING
CALL PINIT(2,20,N21)
RETURN
C TERMINATION
50 IF(IPEN.NE.999) RETURN
C TERMINATE PLOT FILE
CALL PLOT(X,Y,999)
C FLUSH ACCOUNTING UNITS AND CLOSE FILE
CALL PINIT(4,21,N21)
N21 = 0
RETURN
END
C CALL PLOT(2.54*X,2.54*Y,JPEN)
C ACCUMULATE UNITS FOR ANY PEN MOVEMENT, UP OR DOWN,
C ONCE JOB NAME IS DRAWN AND FIRST PLOT BEGUN
N21 = N21+INT(1000.*SQRT((X-XOLD)**2+(Y-YOLD)**2))
XOLD = X
YOLD = Y
C REPORT ONLY ONCE PER FRAME
IF(IPEN.NE.-3) RETURN
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
CALL REPEAT(NADRS,NUM)
C MOVE.... 82.2.16 ISK
CALL PLOT(0.,0.,-999)
CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
XOLD = 0.
YOLD = 0.
IF(NAMING) N21 = 0
CALL PINIT(3,21,N21)
C ***** 82.2.17 ISK *****
IF(NAMING) GO TO 80
GO TO 81
80 CONTINUE
XORG2=-1.*XORG
YORG2=-1.*YORG
CALL PLOT(XORG2,YORG2,-3)
81 CONTINUE
C *****

```


Table A.2.2.12 Cont'd

```

NAMING = .FALSE.
RETURN
C      PEN LIFT
20 IF(IPEN.EQ.8) JPEN = 3
C      PEN DROP
      IF(IPEN.EQ.9) JPEN = 2
C      INITIALIZATION
      IF(IPEN.NE.20) GO TO 50
C      INITIAL ACCOUNTING ENTRY
C
      CALL PINIT(1,20,KEY)
C
      ZERO ACCOUNTING UNITS
      N21 = 0
C      START WITH PEN UP
      JPEN= 3
C      SET VARIABLES IN /INSDEP/
      PLSPUN = 100.
      PLUNPI = 1.
      PLPAPR = 11.
      DATA PLUNH1, PLUNH2/4H IN,4HCH /
      PLUNNM(1) = PLUNH1
      PLUNNM(2) = PLUNH2
C      SET VARIABLES IN /CORE/
      PAPER = 0.01*PLSPUN*PLPAPR
      HAL   = 0.01*PLSPUN*0.125
      NTHOUT= 1000
C      INITIALISE PLOT FILE
C***** FOR GRAPHIC COM BY MRW (82.02.04) *****
C***** FOR GRAPHIC COM (82.02.04) BY MRW **
C
      WRITE(6,101)
101 FORMAT(1H1/////10X,'INPUT DATA OF CONTROLLING GRAPHIC COM DEVICE',
- , ' FROM FILE NUMBER 13')
      IRFIL = 13
      READ(IRFIL,99) NADRS
99 FORMAT(11)
      WRITE(6,102) NADRS
102 FORMAT(1H0,'2X','FOR SUBROUTINE REPEAT(NARDS,NUM)'
- /1H ,15X,'STARTING ADRESS OF DRAWING ----- ',13)
      NARDS=0
      READ(IRFIL,99) NUM
      WRITE(6,103) NUM
103 FORMAT(1H ,15X,'RECYCLING NUMBER -----',13)
C*****
      READ(IRFIL,99) IFILM
100 FORMAT(12)
      WRITE(6,104) IFILM
104 FORMAT(1H0,15X,'LENSE SIZE INDICATER -----',13)
      READ(IRFIL,110) MAINTL
110 FORMAT(5A4)
      READ(IRFIL,100) NCHR1

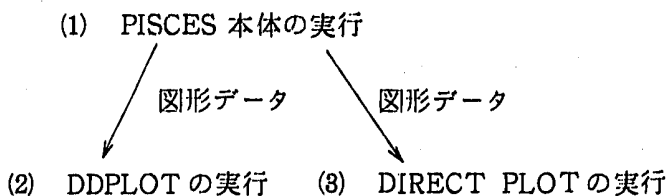
```

PIDGIN51
PIDGIN52
PIDGIN53
PIDGIN54
PIDGIN55
PIDGIN56
PIDGIN57
PIDGIN58
PIDGIN59
Y/KEYSE2
PIDGIN61
Y/KEYCH2
PIDGIN63
PIDGIN64
PIDGIN65
PIDGIN66
PIDGIN67
PIDGIN68
PIDGIN69
PIDGIN70
PIDGIN71
PIDGIN72
PIDGIN73
PIDGIN74
PIDGIN75
PIDGIN76
PIDGIN77
PIDGIN78

A.3 PISCES の処理の流れ

この節では、PISCESの処理の流れにそって、各処理で必要なファイルの説明、処理の説明、使用するJCLについての説明を行なう。

処理の流れは以下のようになっている。



“DDPLOTの実行”は2つのフェーズに分かれており、1つは“PISCES本体の実行”で作成された図形データファイルを検索・編集し必要なグラフのデータを作成するフェーズである。このフェーズを受け持つのが、「DDPLOT」というプログラムである。

次のフェーズは、第1のフェーズで作成されたグラフデータを用い実際にプロットするフェーズである。ここを受け持つのが「PIPLOT」というプログラムである。“DDPLOTの実行”でできるのは、任意の2変数間のグラフ、物質ごとの変数の和の時間変化のグラフ、任意のサイクルでのメッシュの形状・速度等の図形などの出力である。“DIRECT PLOTの実行”は、上記の“DDPLOTの実行”のうちの最後の“任意のサイクルでの……等の図形”をDDPLOTの制御データを与えることなく、PISCES本体から出力された図形データを直接使い、簡単に出力するものである。ここを受け持つのが、先にも述べた「PIPLOT」というプログラムである。この節では、A.3.1で(1)のPISCES本体の実行を説明し、A.3.2で(2)のDDPLOTの実行、A.3.3でDIRECT PLOTの実行を説明する。

A.3.1 PISCES 本体の実行

A.3.1.1 PISCES 本体の処理

PISCES 本体は、与えられたinputにより計算を行ない、以下のようなファイルを出力する。

- (1) リスタートに関するファイル
- (2) 結果を見るためのファイル
- (3) 図形出力に関するファイル

特に(3)については、PISCESの処理の流れで前述したようにDDPLOTとDIRECT PLOT用の2種類の図形データファイルを出力する。

- ① ARC ファイル：任意のサイクルでのすべての subgrid (体系要素) のすべての変数の値。(inputによりすべてではなく限定することもできる) このファイルを“DDPLOTのRUN”で処理することにより種々の図形、グラフが

出力される。

- ② GRP ファイル：任意のサイクルでの subgrid のすべてのメッシュの形状・速度ベクトル、歪テンソル、各スカラー変数の等高線等の情報をもったファイル。このファイルを "DIRECT PLOT の RUN" で処理することにより、上記の情報のある組合せのもとで図形出力できる。（例えば、形状と速度ベクトルなど）

以上が PISCES 本体の処理である。

A.3.1.2 PISCES 本体で使用するファイル

PISCES 本体で使用するファイルについて名称（以下の説明をスムーズにするために各ファイルに名称をつけた。^{注)}）、論理機番、入出力の別、input マニュアルとの関連、内容等について説明する。

(1) CARD INPUT ファイル

ファイル名	<u>INPUT</u> OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
INPUTデータファイル	INPUT	05	FB	80	80×n

これらのうちレコードフォーマット、レコード長、ブロックサイズについては、レコード長が80バイト以上になるように選べば、適当な変更を加えてもよい。

内容は、PISCES 本体への input データであり、このファイルは必ず存在しなければならない。

(2) RESTART INPUT ファイル

ファイル名	<u>INPUT</u> OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
ORST ファイル	INPUT	10	VS	X	6160

このファイルは PISCES の restart run を行う時必要なファイルであり、restart 開始時に必要な前 cycle までの変数の値が格納されている。input データの「ALLGRID」カードで「RUNTYP」を「RESTART」と指定した場合、必要である。（ブロックサイズは任意）

注)

番号のあとの名前は PISCES input マニュアル上の名前であり、表中の名前は今回 PISCES を運用した際に使用した名前である。

(8) PRINTED OUTPUT ファイル(1)

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
OUT ファイル	OUTPUT	06	FBA	133	133×n

このファイルは、PISCES の output で、どのような場合も必ずこの論理機番に ファイルを割り当てる必要がある。(ただし、DUMMY は可)、GLOBAL インプットの「ALLEDIT」カードで、「EDTYPE」を「PRINT」または、「EDTYPE」を各種「SUMMARY」、「NFILE」を「デフォルト」で使用した場合、または、LOCAL インプットの「EDIT」カードで、「EDTYPE」を「PRINT」で指定し「NFILE」を「デフォルト」で使用した場合の情報もここに出力される。

(4) PRINTED OUTPUT ファイル(2)

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
OUT2 ファイル	OUTPUT	08	FBA	133	133×n

このファイルは、INPUT で次の①～③までのいくつかを指定した場合の情報が出力されるファイルである。

```

GLOBAL インプット
{ ALLEDIT PRINT      8      .....①
  (EDTYPE) (NFILE)
  ALLEDIT  SUM    8      .....②
  (EDTYPE) (NFILE)

LOCAL インプット
{ EDIT PRINT        8      .....③
  (EDTYPE) (NFILE)

```

通常 OUT ファイルでみられない詳細な情報を見るのに使用するが、①～③の指定をしない場合は、このファイルは必要でない。

(5) PLOT OUTPUT ファイル

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
GRP ファイル	OUTPUT	87	VS	X	6160

このファイルは、図形処理プログラム PIPLOTへ入力するための図形データファイルである。
LOCAL インプットの「EDIT」カードで「各種 PLOT」を指定した場合必要となる。

(6) ARCHIVE OUTPUT ファイル

ファイル名	<u>INPUT</u> OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
ARC ファイル	OUTPUT	03	VS	X	6160

このファイルは、図形データ編集プログラム DDLOT へ入力するための数値データファイルである。GLOBAL インプットの「ALLEDIT」カードで「ARCHIVE」を指定した場合、LOCAL インプットの「EDIT」カードで「ARCHIVE」を指定した場合必要となる。

(ただし、(5)、(6)共にブロックサイズは任意)

(7) RESTART OUTPUT ファイル

ファイル名	<u>INPUT</u> OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
RST ファイル	OUTPUT	04	VS	X	6160

このファイルは、restart をするための各変数の値を格納しておくためのファイルである。
GLOBAL インプットの「ALLEDIT」カードで「RESTART」を指定した場合、LOCAL
インプットの「EDIT」カードで「RESTART」を指定した場合必要となる。

(ブロックサイズは任意)

(8) 他のファイル

次の3つの論理機番には WORK データセットを割りあてる。その際 DCB はそれぞれの論理
機番のデフォルト値でよい。

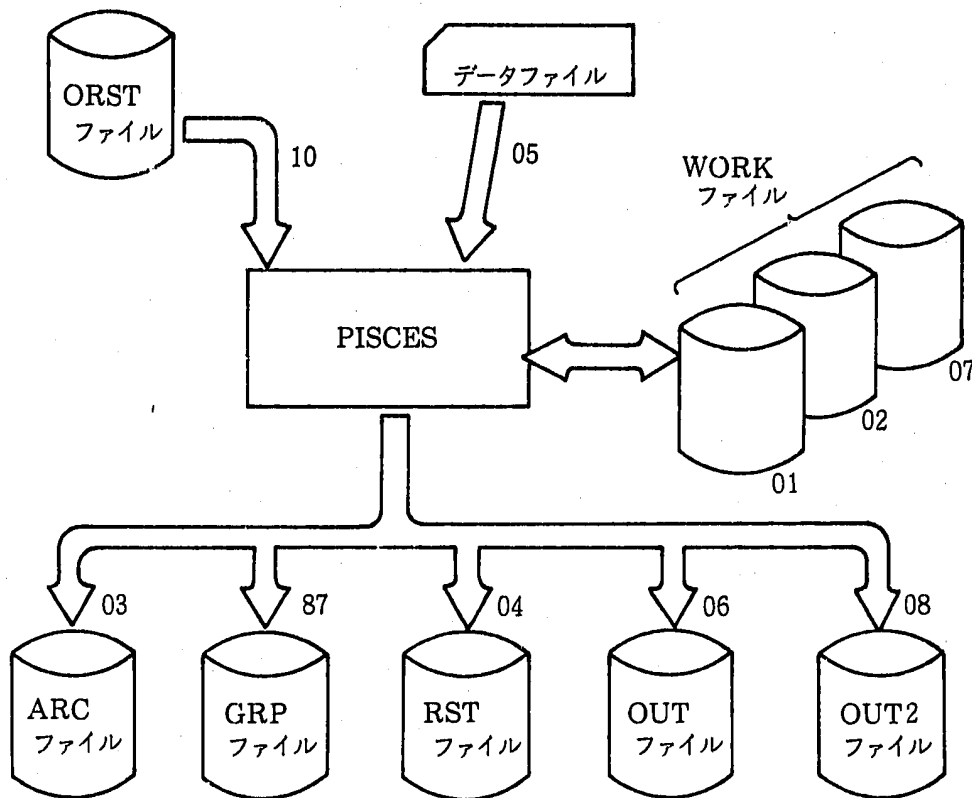
01 Grid storage and for Backup restart

02 "

07 Rezone and plot strage

(9) ファイル関係図

(1)~(8)までのファイルの関係図を示す。



A.3.1.3 PISCESの実行のためのJCL

Table A.3.1.1 Sample JCL for the Execution of PISCES

```

//T202JPIS JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=P,
//          NOTIFY=T202J,
//          ATTR=(TB,C4,W4)
/**          STANDARD ATTR = (TB,C4,W2) .....
/**          CPU LIMIT = 45 MIN .....
/**ROUTE PRINT 06077
//PI2DELK PROC LMNAME=HCDA1,
//          STLID='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD',
//          FT06DD=SYSPRINT,CU=10,INPUT=NULLFILE,
//          SO='(P,RUR40),DCB=(RECFM=VA,BLKSIZE=142)',
//          SO2='(P,RUR40),DCB=(RECFM=VA,BLKSIZE=142)',
//          ARC=NULLFILE,RST=NULLFILE,ORST=NULLFILE,GRP=NULLFILE,
//          OUT=NULLFILE,ARCDIS='OLD,KEEP',RSTDIS='OLD,KEEP',
//          OUT2=NULLFILE,OUTDIS2='OLD,KEEP',FT08DD=SYSPRIN2,
//          GRPDIS='OLD,KEEP',OUTDIS='OLD,KEEP'
//GO EXEC PGM=&LMNAME
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//DCBSET DD DUMMY,DCB=(RECFM=VS,LRECL=X,BLKSIZE=6160)
//FT05F001 DD DISP=SHR,DSN=&INPUT,LABEL=(,,,IN)
//FT06F001 DD DDNAME=&FT06DD
//FT08F001 DD DDNAME=&FT08DD
//SYSPRINT DD SYSOUT=&SO
//SYSPRIN2 DD SYSOUT=&SO2
//OUT DD DISP=(&OUTDIS),SPACE=(CYL,(&CU,&CU),RLSE),
//          DCB=(RECFM=FBA,LRECL=133,BLKSIZE=6118),
//          DSN=&OUT
//OUT2 DD DISP=(&OUTDIS2),SPACE=(CYL,(&CU,&CU),RLSE),
//          DCB=(RECFM=FBA,LRECL=133,BLKSIZE=6118),
//          DSN=&OUT2
//FT01F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(CYL,(&CU,&CU))
//FT02F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(CYL,(&CU,&CU))
//FT03F001 DD DISP=(&ARCDIS),SPACE=(CYL,(&CU,&CU),RLSE),
//          DCB=*.DCBSET,DSN=&ARC
//FT04F001 DD DISP=(&RSTDIS),SPACE=(CYL,(&CU,&CU),RLSE),
//          DCB=*.DCBSET,DSN=&RST
//FT07F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(CYL,(&CU,&CU))
//FT10F001 DD DISP=SHR,DSN=&ORST,LABEL=(,,,IN)
//FT87F001 DD DISP=(&GRPDIS),SPACE=(CYL,(&CU,&CU),RLSE),
//          DCB=*.DCBSET,DSN=&GRP
//*****
//FT60F001 DD DUMMY ——> 外部サブルーチンでつけた WRITE 文の機番。無視してよい
//*****
// PEND
// EXEC PI2DELK,CU=10,
//          LMNAME='DELK2D',
//          ARC='T202J.PI.SOD1.SBASENA.ARC',
//          OUT='T202J.PI.SOD1.SBASENA.OUT',FT06DD=OUT,
//          OUT2='T202J.PI.SOD1.SBASENA.OUT2',FT08DD=OUT2,
//          GRP='T202J.PI.SOD1.SBASENA.GRP',
//          RST='T202J.PI.SOD1.SBASENA.RST',
//          ORST='T202J.PI.MEXP.N.REZONET2.RST',
//          INPUT='T202J.PI.SOD1.DATA(SBASENA)'
//

```

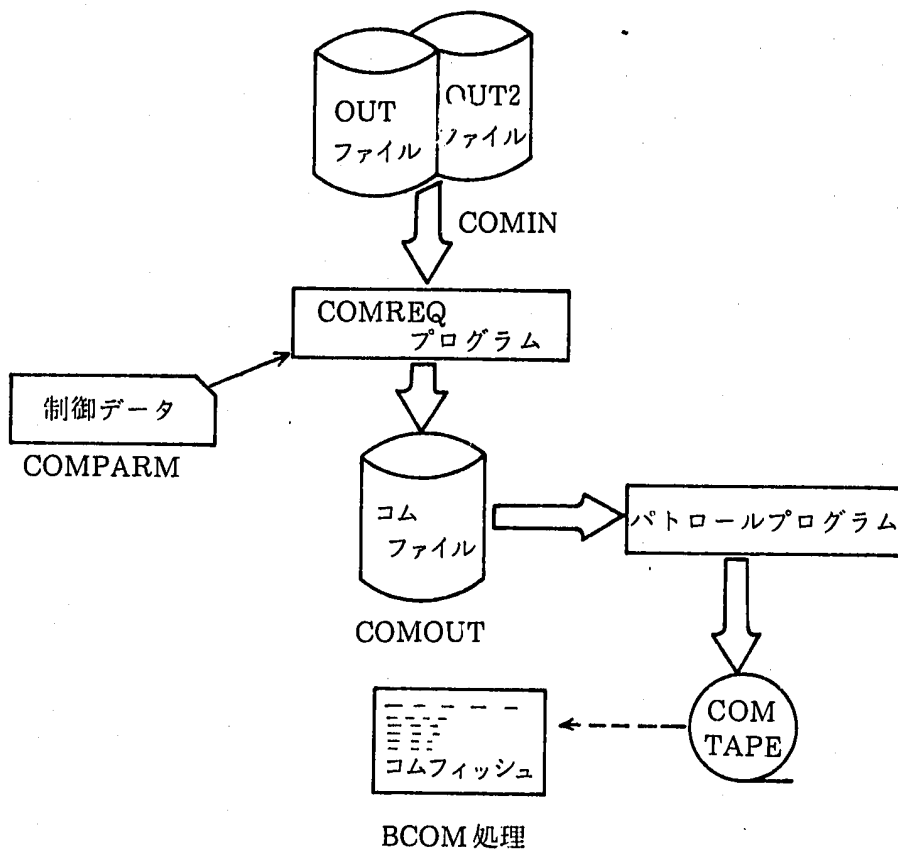
インストリーム
プロシジャ

呼出し部

このJCLは、PI2DELK というインストリームプロシジャを呼び出すようになっている。この際、ARC、GRP、RST の各ファイル名をパラメータとして入力しないと、NULLFILE が割り当てられる。また、OUT、OUT2 の各ファイル名をパラメータとして入力しないと、指定されたSYSOUT クラスが割り当てられることになる。

A.3.1.4 PISCES システムの付属処理

PISCES の付属処理として、OUTファイル、OUT2 ファイルをマイクロフィッシュに落とすことができる。(BCOM処理) その処理について下図に示す。



COMREQ プログラムは、OUT、OUT2 ファイルを入力とし、COMPARM からの制御データ (タイトル、インデックスの制御等) の指示を受け、COMOUT へ COM ファイルを作成する。それをパトロールプログラムが検索し、COMテープを作る。それをBCOMのハードにかけることによりBCOMフィッシュを作成する。このJCLを添付する。

Table A. 3. 1. 2 Sample JCL for the Execution of COMREQ

```

//T202JCOM JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=P,
//      NOTIFY=T202J,
//      ATTR=(TO,C2,W5)
// EXEC COMREQ
//COMREQ.COMIN DD DISP=SHR,UNIT=,
//      DSN='T202J.P1.MEXP.N.CRUSH#1.OUT' → OUT ファイル
//COMREQ.COMPARM DD *
LINE=2,COL=1, → インデックスを作るための座標指定
MAIN='EXPERIMENT 1/15', → メインタイトル
SUB1='MEXP.N.CRUSH#1', }
SUB2='CRUSHABLE PLATE ' } → サブタイトル
/*
// EXEC COMREQ
//COMREQ.COMIN DD DISP=SHR,UNIT=,
//      DSN='T202J.P1.MEXP.N.CRUSH#1.OUT2'
//COMREQ.COMPARM DD *
LINE=2,COL=1, → OUT 2ファイル
MAIN='EXPERIMENT 1/15',
SUB1='MEXP.N.CRUSH#1',
SUB2='CRUSHABLE PLATE
/*
//

```

} → COMPARMのパラメータ

*くわしくはセンターマニュアルを参照

A.3.2 DD PLOT の実行

DDPLOT は、PISCES より作成された、すべての subgrid のすべての変数値をもつファイル（ARC ファイル）を与えられた制御データに基づき編集して、PIPLOT へ渡す図形データファイルを作成する。

図形データファイルは、次の 2 種類作成される。

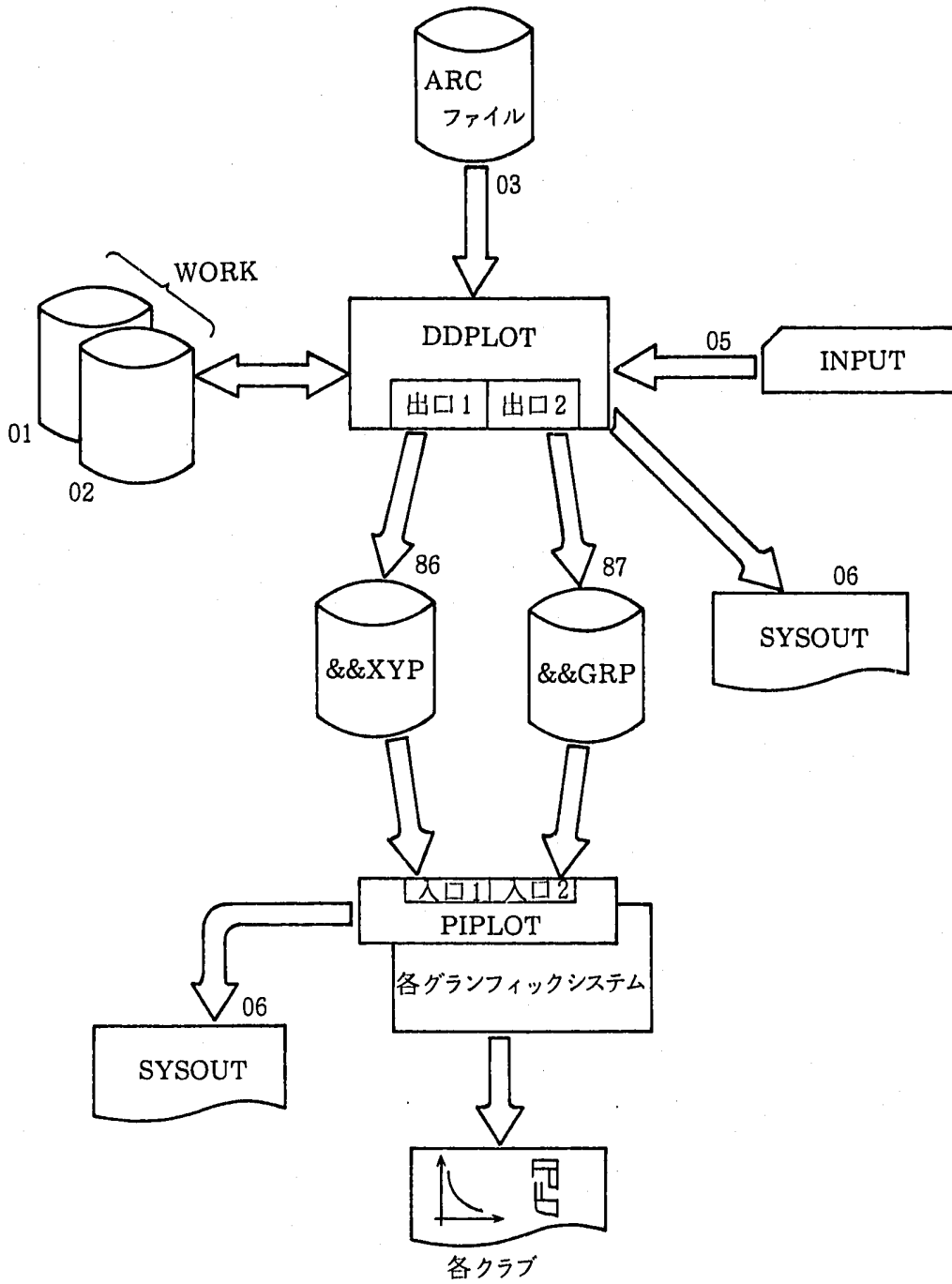
① XY プロット用ファイル

これは、任意の 2 変数間の関係をプロットするような制御データが入力された場合作成される。制御データについては、DDPLOT のマニュアル参照。

② GRID プロット用ファイル

SUBGRID の形状、速度ベクトル、歪テンソル、スカラー変数の等高線等のプロットをするような制御データが入力された場合作成される。このファイルは先の A.3.1.1 で説明した、GRP ファイルと同等のファイルである。PISCES 本体より直接出力されるファイルを、ARC ファイルから DDPLOT を通して作成できることになる。

PIPLOT はこれら 2 つのファイルを読み込み、実際にプロットする。これらの関係を次ページに示す。



DDPLOT, PILOT システム構成図

A.3.2.1 DDLOT, PILOTで使用するファイル

(1) ARCHIVE ファイル

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
ARC ファイル	INPUT	03	VS	X	6160

これは A.3.1.2-(6)で説明したものと同一である。内容は、PISCES より出力された変数の値が格納されている数値データファイルである。必ず存在しなければならない。

(2) INPUT DATA ファイル

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
INPUT データファイル	INPUT	05	FB	80	80×n

これは、DDLOT への入力データで、出力したい図形についての制御を行なう。

上記の表のうち、レコードフォーマット、レコード長、ブロックサイズについては、レコード長が80バイト以上になるように選べば、適当な変更を加えてもよい。

(3) その他のファイル

次の4つの論理機番には、WORK データセットを割り当てる。その際DCBは、その論理機番のデフォルト値でよい。

- 01 } 処理のための中間ファイル
- 02 }
- 86 出力された図形データファイル
(XYプロット用ファイル)
- 87 出力された図形データファイル
(GRIDプロット用ファイル)

機番86については、(2)のINPUT DATA ファイルにTYPE 11~TYPE 19 が使われている場合に割り当てる必要がある。

機番87については、(2)のINPUT DATA ファイルにTYPE 31~TYPE 40 が使われている場合に割り当てる必要がある。

この機番87のファイルは、A.3.1.2で説明したPISCES 本体から出力されるGRPファイルと同じものである。

A.3.2.2 各グラフィックシステムの概要

A.3.2のシステム構成図を見るとわかるように、PIPLOTと結合する形でいろいろなグラフィックシステムを使用することができる。そこで大洗で使用可能なグラフィックシステムについて説明する。

A.3.2のシステムは、バッチとフォアグラウンドの両方で実行することができる。バッチで実行すると、グラフを出力する媒体として次の3種類を使用することができる。

- ① バーサテック
- ② NLP (日本語ラインプリンタ)
- ③ GCOM (グラフィックコム)

フォアグラウンドで実行すると、次の媒体を使用することができる。

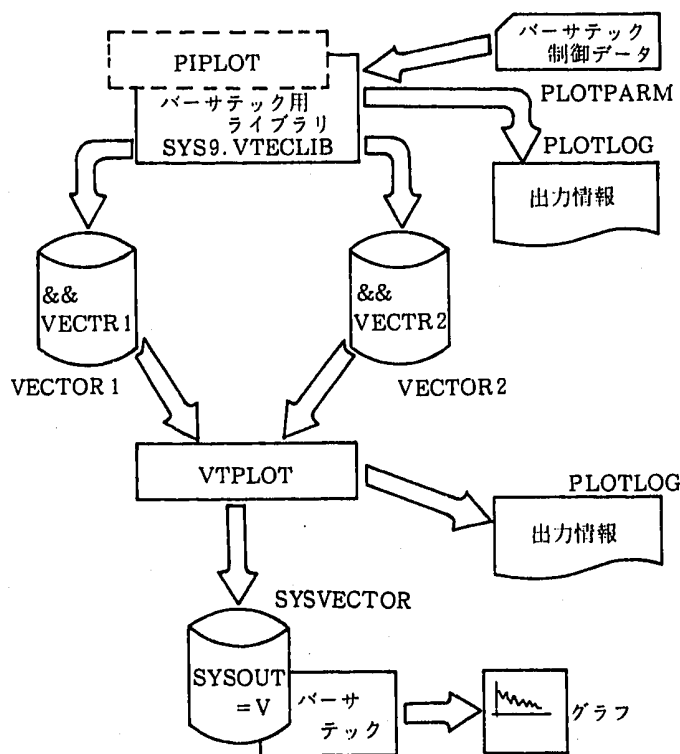
- ① テクトロ

ここでは上記の4種類について説明する。

そのあとに実際のJCLを添付する。

(1) バーサテック

正式名称は、バーサテック静電式プリンタプロッタ、モデル1200Aと云う。これは、カルコンペンプロッタのように、ペンで線を描いていくのではなく、作画面を一行ずつスキャンしていくプロッタであるので、カルコンペンプロッタに比べ処理速度が速い。以下にバーサテックの概念図を示す。



バーサテック概念図の説明をする。PIPLOTに組込まれた、バーサテックライブラリは、PLOTARMからバーサテックの制御情報を読み込み、次ステップへ渡すデータを VECTOR 1, VECTOR 2 へ書き出す。また PLOTLOG へ出力情報を書き出す。

以下にこれらの DD 名の役割りを記す。

PLOTARM : バーサテックのプロットパラメータの入力場所。パラメータには、プロットモデル、プロット単位 Scale factor, プロット領域サイズ, プロット開始ページ位置, メッセージレベル等がある。(くわしくはマニュアル参照。)

PLOTLOG : 出力情報。(くわしくはマニュアル参照。)

VECTOR 1 : 制御情報を受渡すためのデータセット。

VECTOR 2 : プロットデータ (ランダムベクトル) を受渡すためのデータセット。

SYSVECTOR : VTPLOT がランダムベクトルを読み込み、処理したあと出力するオーダーベクトルファイル。SYSOUT=V で指定する。

※ランダムベクトル, オーダードベクトルについては, くわしくは, 計算室提供のマニュアルを参照のこと。

(2) NLP (日本語ラインプリンタ)

これは、レーザープリンターであるので、出力リスト、図形を同一のハードウェアから出力できるというメリットをもつ。また処理速度もバーサテックより速く、グラフも鮮明である。

NLP を使用する場合、次の 2 通りの方法がある。

① SYS 9. NLPLIB を使用する方法

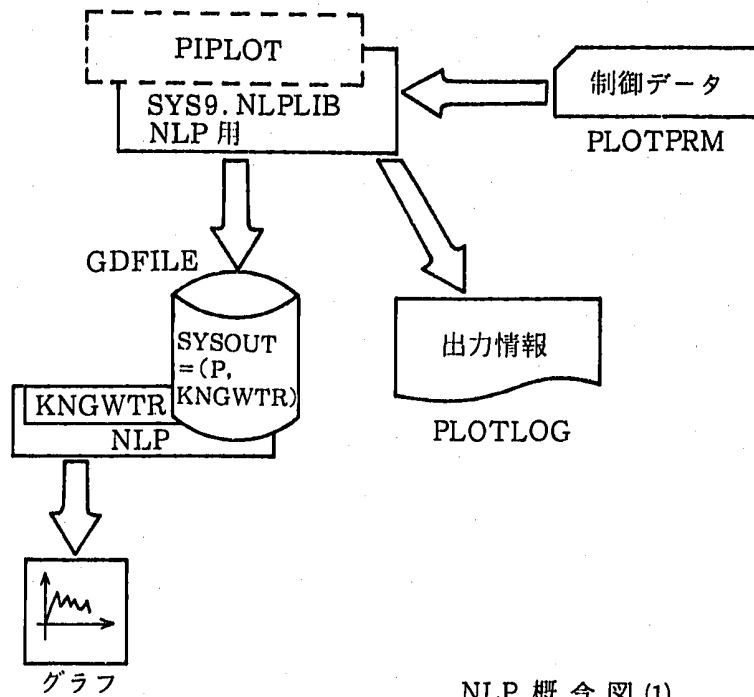
② PSPCNV 2 を使用する方法

①の方法は、カルコンプ、バーサテック用に作られたプログラムなら基本的に変更なしに NLP を使用することができる。またこの方法は正式にセンターサポートされている。②の方法も同様基本的に変更なしに NLP を使用できる。またこの方法だと、種々の制御 (線の太さを変える、タイトルをつける、縮小、拡大 etc.) が簡単におこなえる。この方法は正式なセンターサポートは受けていない。

次にこれらの方法について概要を説明する。

① SYS 9. NLPLIB を使用する方法

この方法で NLP に出力するためのロードモジュールを作成するためには、A.2.2.10 で述べたように、ライブラリ「Z 104 M. NLPLIB. LOAD」のかわりに「SYS 9. NLPLIB」を使用すればよい。「SYS 9. NLPLIB」には、カルコンプルーチンと NLP の基本的なルーチンとのインターフェースが入っている。次頁に概念図を示す。



NLP 概念図 (1)

次に NLP 概念図(1)中の DD 名について簡単な説明を行う。

PLOTPRM : 図形の制御データであり、図形の倍率係数、プロット領域の最小値のみを指定できる。

PLOTLOG : 出力情報

GDFILE : ユーザーライターである「KNGWTR」に渡すための図形データファイル。
SYSOUT=(, KNGWTR) の指定をする。

② PSPCNV2 を使用する方法

PSPCNV2は、本来カルコンプライブラリより出力されたデータセット（通常カルコンプライシステムはMTに出力し、オフラインで処理する。）を入力として、NLPへ出力するためのデータファイルを作成するものである。

大洗では、ページがえの命令として PLOT (, , -999) を使用する。また、カルコンプライブラリが標準のものと異なるので、出力されるデータセットの形式をそのまま PSPCNV2 に入力できない。以上2つの理由より、PSPCNV2 を使用して図形出力するのに、下のような3つのステップをとることになる。

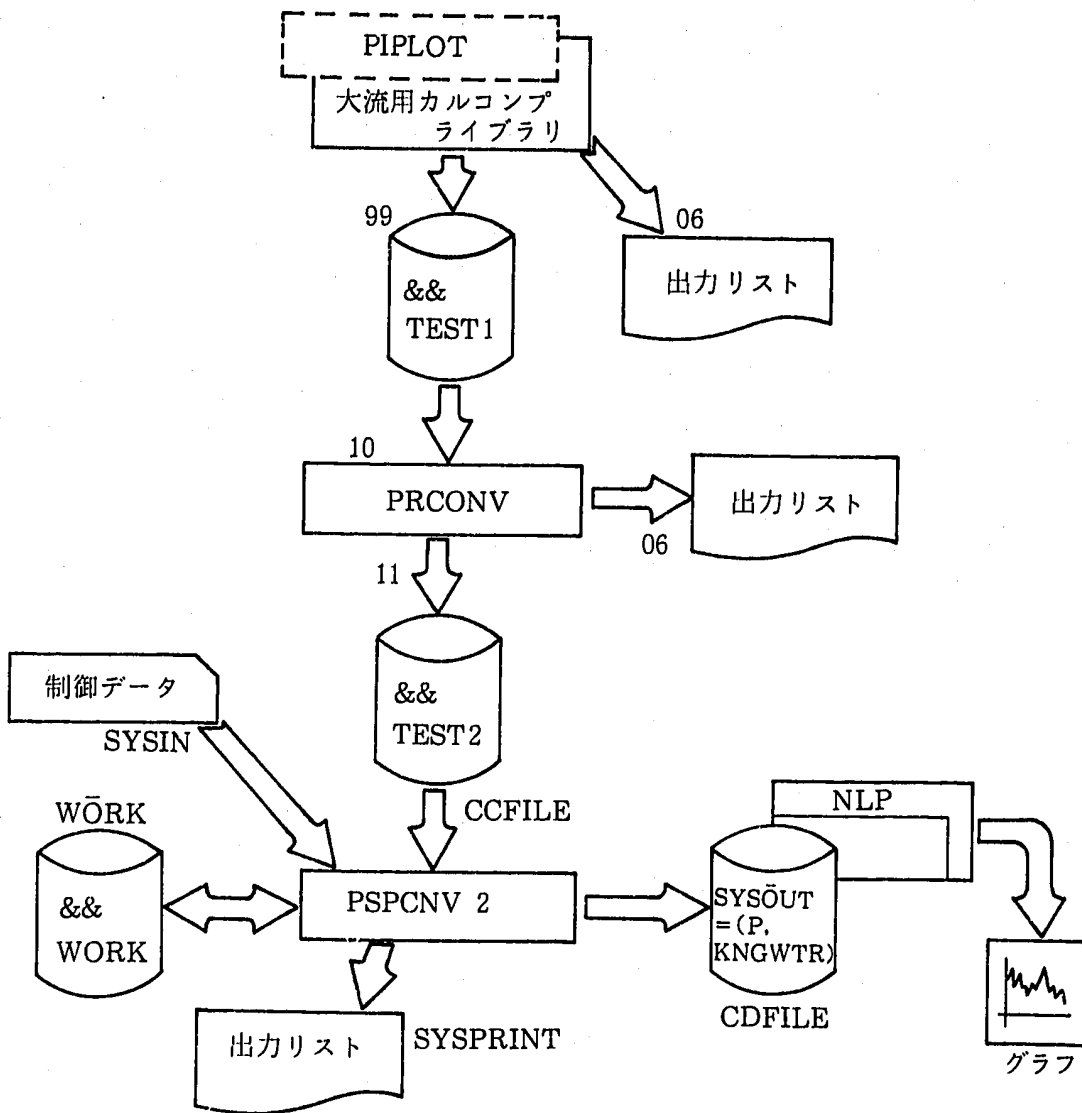
ステップ1 : 大洗用カルコンプライブラリ^{*}を用いて、オフラインで処理するイメージのデータセットを作る。

ステップ2 : 大洗用カルコンプライブラリより出力されたページ制御用レコードから、PSPCNV2 に入力可能なページ制御データを作成する。その時、データセットの形式も整える。

ステップ3 : 前ステップで作成されたデータファイルをPSPCNV2に入力して、「KNGWTR」(KINGライター)へ渡すためのファイルを作成する。KINGライターを通してNLPへ図形を出力する。以上の事柄を下図へまとめる。

*大洗用カルコンプライブラリ

PLOT(, , -999)が呼ばれた時、データファイルにページ制御のレコードを出力するように改造されたカルコンプライブラリ。



NLP概念図 (2)

DD名について簡単に説明する。

FT 99 F001 : 大洗用カルコンプライブラリから出力されるオフライン処理イメージのデータファイル。

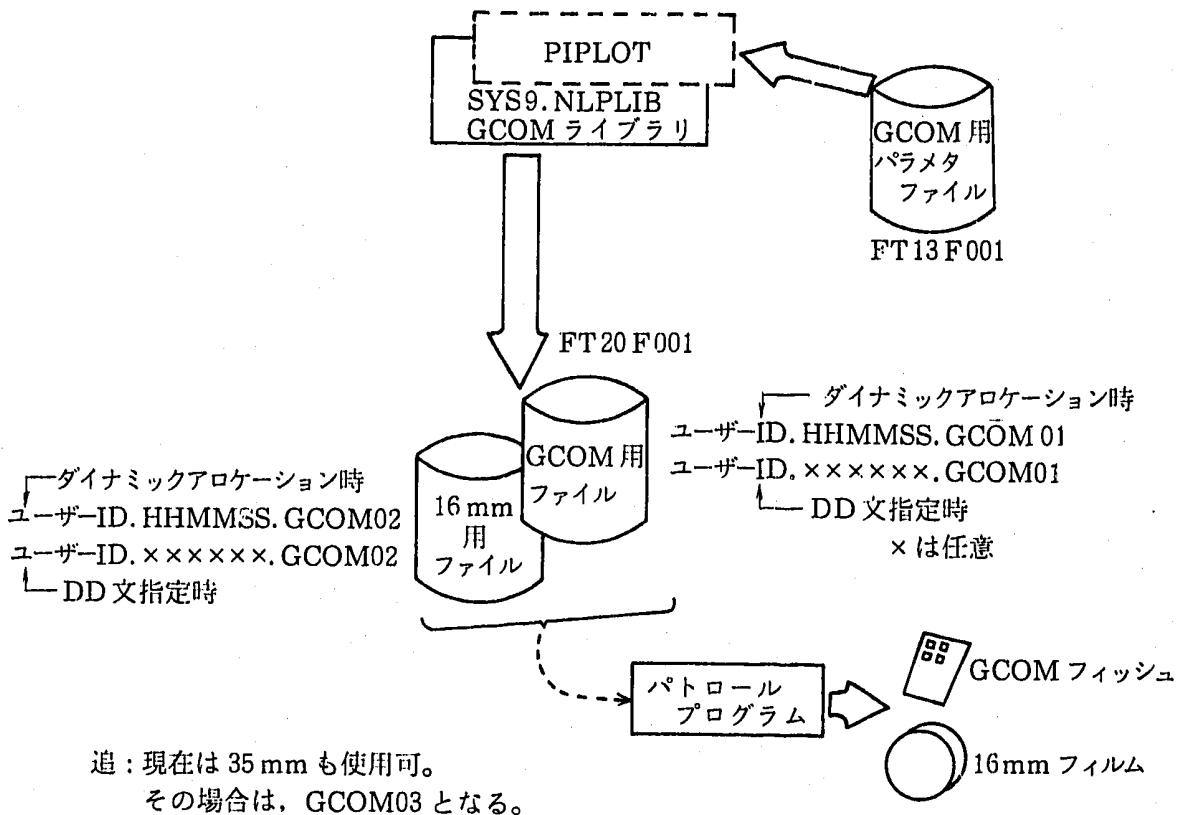
FT 10 F001 : 同上

FT 06 F001 : 出力リスト

- FT 11F 001 : PRCONV で処理され、PSPCNV 2 に入力可能な形式になったファイル。
- CCFILE : 同 上
- SYSIN : PSPCNV 2 の制御データ。
出力する図形の位置、サイズ、出力形態の指定見出し、注釈の指定、図形に付加する他の線、図などの指定等の制御データがある。
- CDFILE : KING ジータへ渡す図形出力用データファイル。
- SYSPRINT : 出力リスト。
- WORK : 作業用一時データセット。

(3) GCOM (グラフィック・コム)

GCOM は、カルコンプ・ベーシック・ソフトウェア、カルコンプ・ファンクショナル・ソフトウェア、パーサテック・V07ソフトウェア、の命令を使用して作成された図形処理プログラムを、COMまたは、16 mm フィルムへ出力するシステムである。大量の図形出力を整理したり、図形出力をアニメーション化するのに使用する。PISCES では、DIRECT PLOT のアニメーション化に使用している。GCOM のシステム概要を下图に示す。



GCOM システム概要

FT13F 001 : GCOM 特有のライブラリへ渡すパラメータファイル。

タイトル, インディックス, 図の回転, くり返し回数, レンズなどに関するパラメータがある。

FT20F 001 : GCOM ライブラリから出力されるフィルム, フィッシュ作成用データファイル。

前頁の図を説明する。A.2.2.8で説明した方法で作成されたPIPLOTプログラムが, FT13F 001よりパラメータを読み込み, 表A.2.2.12のPIDGIN2のソースを見るとわかるように, 読み込んだパラメータをGCOM特有のライブラリへ渡している。GCOMライブラリは, 指定されたレンズ(GCOM用, 16mm用, 35mm用)を選び, 与えられたパラメータにより制御を行ないデータファイルを作成する。そのファイルをパトロールプログラムがサーチし, ハードにデータを渡しGCOMフィッシュ, 16mmフィルムを作成する。

FT13F 001の入力パラメータについて説明する。

ここには9レコード入力することになるが, 1レコード目から, 入力の形式と値の意味を示す。

① 1レコード目

入力形式: 1カラム目に0~9の整数を入力する。

値の意味: GCOM フィッシュ, ムービーのコマのくり返しに関する値で, くり返しの開始アドレスを指定する。

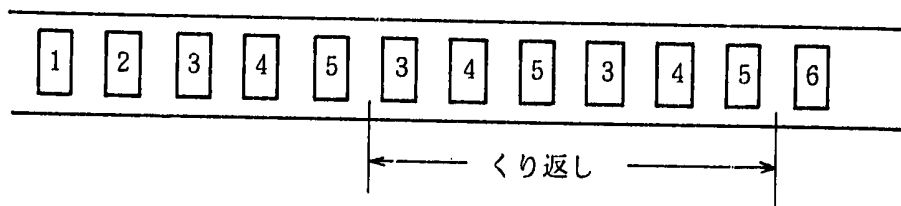
② 2レコード目

入力形式: 1カラム目に0~9の整数を入力する。

値の意味: GCOM フィッシュ, ムービーのコマのくり返しに関する値で, くり返しの回数を指定する。

上記①, ②について例を示すと次のようになる。

作図アドレスが5の時, 1レコード目: 3, 2レコード目: 2を入力すると次のようになる。



③ 3レコード目

入力形式: 1カラム目に1~3の整数を入れる。

値の意味: レンズの指定を行う。

1 GCOM, 2 16 mm, 3 35 mm

④ 4レコード目

入力形式：1カラム目から20カラム目までに、文字を入力する。

値の意味：メインタイトル

⑤ 5レコード目

入力形式：1カラム～2カラム目に2ケタの整数。

値の意味：メインタイトルの入力文字数

⑥ 6レコード目

入力形式：1カラム～72カラム目へ文字を入力する。

値の意味：サブタイトル

⑦ 7レコード目

入力形式：1カラム～2カラム目に2ケタの整数。

値の意味：サブタイトルの入力文字数

⑧ 8レコード目

入力形式：1～10, 11～20, 21～30のそれぞれのカラム中に任意の数を入れる。

値の意味：1～10：スケーリングファクター……SFAC

11～20：x方向移動量（cm）……XORG

21～30：y方向移動量（cm）……YORG

⑨ 9レコード目

入力形式：1～10, 11～20, 21～30のそれぞれのカラム中に任意の数を入れる。

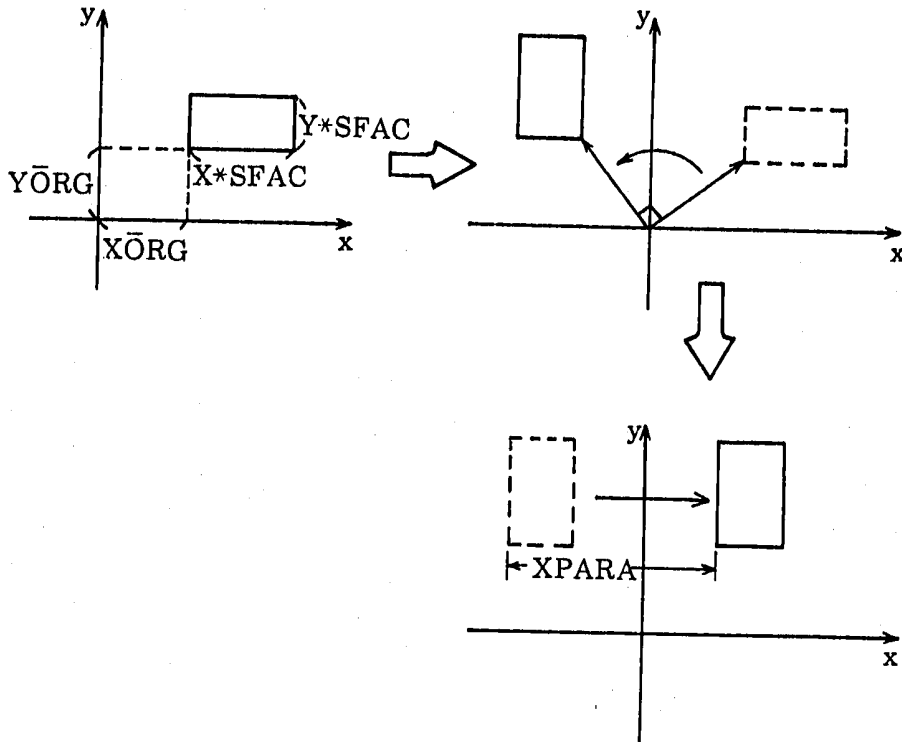
値の意味：1～10：スケーリングファクター……SFAC 1

11～20：回転した場合のx方向移動量（cm）……XPARA

21～30：回転のためのフラグ（90°の回転）

{ 正 値 回転する
負 値 回転しない
0 }

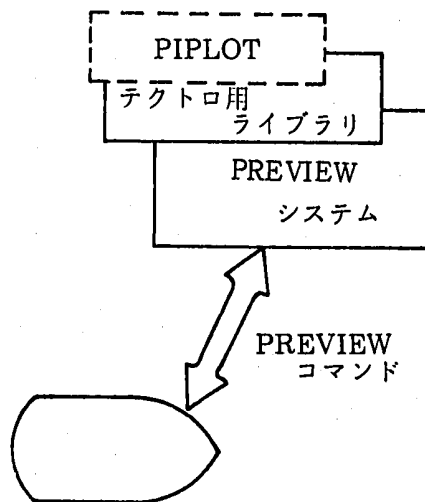
⑧, ⑨レコードの意味を図示すると次頁のようになる。



⑧ レコード目の制御に従い図形の移動, 拡大, 縮小を行ない, ⑨レコード目の制御に従い 90°の回転と x 方向の移動を行なう。この場合, 回転の指定をしてあると上図の SFAC の値は無視され, SFAC 1 の値が用いられる。

(4) テクトロ

テクトロ用 PILOT のロードモジュールをテクトロ端末上で CALL することにより, インタラクティブに図形を表示することができる。バッチが混んでいる時など有効である。下図にテクトロシステムの概要を示す。



テクトロシステム概要

テクトル端末上で、テクトロ用のPIPLOTロードモジュールをCALLすると、PREVIEWの
コマンドが入力可能となり、そのコマンドに従い入力し図形を出力させる。

A 3.2.3 使用する JCL

(1) DDPLOT 実行の JCL

Table A.3.2.1 Sample JCL for the Execution of DDPLOT

```

//T202JDDP JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=P,
//          NOTIFY=T202J,
//          ATTR=(T1,C2,W6)
//DDPLOT PROC ARC=NULLFILE,SO=P,
//          STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD',
//          LMNAME=DDPLOT
//DDPLOT EXEC PGM=&LMNAME,REGION=600K
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//DCBSET DD DUMMY,DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=6160)
//FT01F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(TRK,(50,50)),DCB=*.DCBSET
//FT02F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(TRK,(50,50)),DCB=*.DCBSET
//FT03F001 DD DISP=SHR,DSN=&ARC,LABEL=(,,,IN)
//*          DD DISP=SHR,DSN=T202J.PI.MEXP.N.B1R.ARC,LABEL=(,,,IN)
//FT05F001 DD DISP=SHR,DSN=&INPUT,LABEL=(,,,IN)
//FT06F001 DD SYSOUT=&SO
//FT86F001 DD DSN=&XYP,DISP=(,PASS),SPACE=(TRK,(50,20)),UNIT=WORK,
//          DCB=*.DCBSET
//FT87F001 DD DSN=&GRP,DISP=(,PASS),SPACE=(TRK,(50,20)),UNIT=WORK,
//          DCB=*.DCBSET
//          PEND
//PIPLOTV PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=P,
//          STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD'
//PIPLOT EXEC PGM=PIPLOT
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SO
//FT86F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&XYP
//FT87F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&GRP
//PLOTLOG DD SYSOUT=&SOS
//PLOTPARM DD DISP=SHR,DSN=T202J.PISCESX.CNTL(VERSPARM)
//VECTR1 DD DISP=(NEW,PASS),DSN=&VECTR1,SPACE=(TRK,(10,10),RLSE),
//        UNIT=WORK
//VECTR2 DD DISP=(NEW,PASS),DSN=&VECTR2,SPACE=(CYL,(30,10),RLSE),
//        UNIT=WORK
//*
//PLOT EXEC PGM=VTPLLOT,COND=EVEN
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.VTECLIB
//PLOTLOG DD SYSOUT=&SOS
//VECTR1 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&VECTR1
//VECTR2 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&VECTR2
//SYSVECTR DD SYSOUT=V,DEST=CENTRAL
//*
//ADD EXEC PGM=JSDGENER,COND=EVEN
//SYSIN DD DUMMY
//SYSPRINT DD SYSOUT=&SOS
//SYSUT1 DD DUMMY <---- ENTER VERSAPLOT MSG
//SYSUT2 DD SYSOUT=V,DEST=CENTRAL
//          PEND

```

DDPLOT
インストリームプロシジャ

バーサテック用
PIPLOTの
インストリームプロシジャ

バーサテックにタイトルを書き出すための部分

Table A.3.2.1 Cont'd

```

//PINLPLOT PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=A,SOS=A,
//          STLIB='T202J.TITI.LOAD'
//PIPLOT  EXEC PGM=NLPILOT2
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT86F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&XYP,LABEL=(,,,IN)
//FT87F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&GRP,LABEL=(,,,IN)
//FT99F001 DD DSN=&&TEST1,DISP=(NEW,PASS),
//          DCB=(LRECL=482,BLKSIZE=482,RECFM=FA),UNIT=WORK,
//          SPACE=(CYL,(10,1,5),RLSE)
//CONV    EXEC PGM=PRCONV
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=Z104M.NLPLIB.LOAD
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT10F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&&TEST1,UNIT=WORK
//FT11F001 DD DSN=&&TEST2,DISP=(NEW,PASS),
//          DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=V),UNIT=WORK,
//          SPACE=(CYL,(10,1,5),RLSE)
//PSPCONV EXEC PGM=PSPCNV2
//CCFILE  DD DSN=&&TEST2,DISP=(OLD,DELETE),
//          DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=V),UNIT=WORK
//GDFILE  DD SYSOUT=(P,KNGWTR)
//WORK    DD DSN=&&WORK,DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(CYL,(5,5)),UNIT=SYSDA
//SYSPRINT DD SYSOUT=&SO
//        PEND
//PIGCOM  PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=P,
//          STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD'
//PIPLOTG EXEC PGM=PIPLOTG
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SO
//FT86F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&XYP
//FT87F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&GRP
//FT20F001 DD DSN=T202J.&CASE.GCOM01,
//          UNIT=MSS,MSVGP=MSCOM,SPACE=(CYL,(10,20)),
//          DISP=(NEW,CATLG),
//          DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=VBS)
//        PEND
// EXEC DDPLLOT,
// LNAME=DDPLOT,
// ARC='T202J.PI.SODI.SBASENA.ARC',
// INPUT='T202J.PI.SODI.DATA(DSSBASE)',
// SO='(P,RUR40)',DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)',
// SOS='(P,RUR40)'
// EXEC PINLPLOT,
// GRP='&&GRP',
// XYP='&&XYP',
// SOS='(P,RUR40)',DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)',
// SO='(P,RUR40)'
//PSPCONV.SYSIN DD *
/* XY POS=(0,0,84,70),M=7,P=88,H,D=0,PEN=(12,12,13,14),
   CODE=(80A1,AOFE),UC=(1,80),NOLMT
   * ST POS=(1,5,5,H,L,C),A=(30,1,30),CA='DDPLOT PI.SODI.SBASENA DS
   * END
//
// EXEC PIPLOTV,
// XYP='&&XYP',
// SO='(P,RUR40)',DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)',
// SOS='(P,RUR40)'
//ADD.SYSUT1 DD *
// DDPLLOT=PI.SIMP.SHIJIUP DDPLLOT-DATA=DSSHIUP
//
// EXEC PIGCOM,
// XYP='&&XYP',
// SO='(P,RUR40)',DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)'
//PIPLOTG.FI13F001 DD *
//0
//0
//1
//MAIN TITLE
//*10
//SUB TITLE
//*9
//*1.095      0.      3.
//*1.491      9.      1.
//

```

PSPCNV2を使った
NLP用PIPLOT
のインストリーム
プロシジャ

GCOM用PIPLOTの
インストリームプロシジャ

DDPLOT呼出部

NLP用
PIPLOT呼出部

パーサテック用
PIPLOT呼出部

GCOM用
PIPLOT呼出部

GCOM用パラメタ

ARCファイル
指定

DDPLOT
INPUT 指定

PSPCNV 2
制御データ

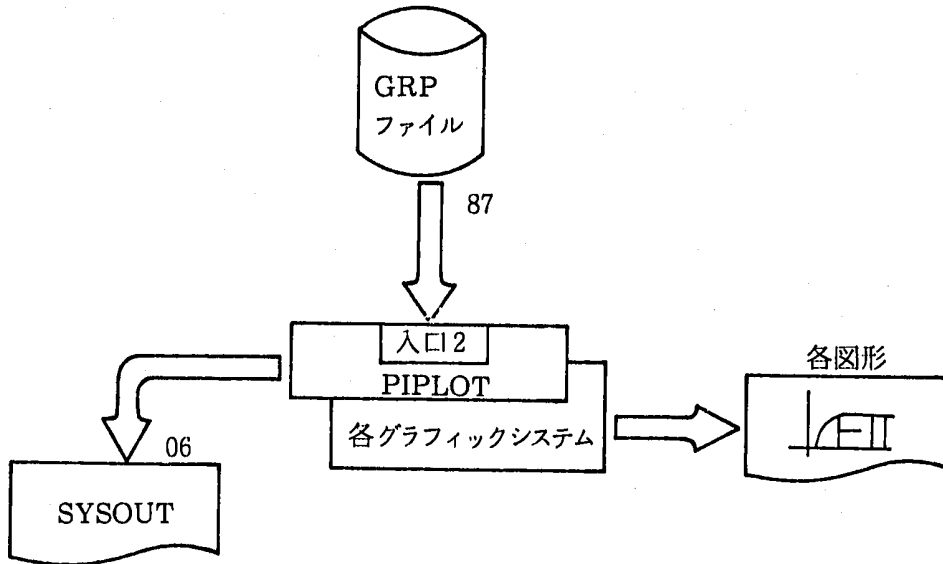
現在は
コメントに
なっている。

パーサテックタイトル

使用時は * を取りのぞくこと。

A.3.3 DIRECT PLOT の実行

PISCES は、A.3.1でも説明したとおり、GRP ファイルを出力する。このGRPファイルをPIPLOTへ入力することにより、subgridの形状、速度ベクトル、歪テンソルスカラー変数の等高線等のプロットを描くことができる。下図に概要を示す。



PIPLOT システム構成図

A.3.3.1 DIRECT PLOT で使用するファイル

ファイル名	INPUT OUTPUT	論理機番	レコード フォーマット	レコード長	ブロック サイズ
GRP ファイル	OUTPUT	87	VS	X	6160

これはA.3.1.2(5)で説明したものと同一のファイルである。必ず存在しなければならない。

A 3.3.2 使用する JCL

(1) PILOTのJCL

Table A.3.3.1 Sample JCL for the Execution of DIRECT PLOT

```

//T202JD1P JOB ( ),MINAMI,MSGLEVEL=(1,1),MSGCLASS=P,
//      NOTIFY=T202J,
//      ATTR=(TO,C2,W4)
//DDPLOT PROC ARC=NULLFILE,SO=A,SOS=A,
//      STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD'
//DDPLOT EXEC PGM=DDPLOT,REGION=600K
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//DCBSET DD DUMMY,DCB=(RECFM=VBS,LRECL=X,BLKSIZE=6160)
//FT01F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(TRK,(50,50)),DCB=*.DCBSET
//FT02F001 DD UNIT=WORK,SPACE=(TRK,(50,50)),DCB=*.DCBSET
//FT03F001 DD DISP=SHR,DSN=&ARC,LABEL=(,,,IN)
//* DD DISP=SHR,DSN=T202J.PI.CORE.VOLR2.ARC,LABEL=(,,,IN)
//FT05F001 DD DISP=SHR,DSN=&INPUT,LABEL=(,,,IN)
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT86F001 DD DSN=&XYP,DISP=(,PASS),SPACE=(TRK,(50,20)),UNIT=WORK,
//      DCB=*.DCBSET
//FT87F001 DD DSN=&GRP,DISP=(,PASS),SPACE=(TRK,(50,20)),UNIT=WORK,
//      DCB=*.DCBSET
//      PEND
//PIPLOTV PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=A,SOS=A,
//      STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD'
//PIPLOT EXEC PGM=PIPLOT
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT86F001 DD DISP=SHR,DSN=&XYP
//FT87F001 DD DISP=SHR,DSN=&GRP,LABEL=(,,,IN)
//PLOTLOG DD SYSOUT=&SO
//*PLOT Parm DD DISP=SHR,DSN=T202J.PISCESX.CNTL(VERSPAR#)
//PLOT Parm DD DISP=SHR,DSN=T202J.PISCESX.CNTL(VERSPAR1)
//VECTR1 DD DISP=(NEW,PASS),DSN=&&VECTR1,SPACE=(TRK,(10,10),RLSE),
//      UNIT=WORK
//VECTR2 DD DISP=(NEW,PASS),DSN=&&VECTR2,SPACE=(CYL,(30,10),RLSE),
//      UNIT=WORK
//*
//PLOT EXEC PGM=VTIPLOT,COND=EVEN
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=SYS9.VTECL1B
//PLOTLOG DD SYSOUT=&SO
//VECTR1 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&&VECTR1
//VECTR2 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&&VECTR2
//SYSVECTR DD SYSOUT=V,DEST=CENIRAL
//*
//ADD EXEC PGM=JSDGENER,COND=EVEN
//SYSIN DD DUMMY
//SYSPRINT DD SYSOUT=&SO
//SYSUT1 DD DUMMY <---- ENTER VERSAPLOT MSG
//SYSUT2 DD SYSOUT=V,DEST=CENIRAL
//      PEND

```

DDPLOT 用
インストリームプロシジャ
使用しない。

バーサテック用
PIPLOT
インストリームプロシジャ

バーサテックにタイトルをつける部分。

Table A.3.3.1 Cont'd

```

//PIGCOM PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=P,
// STLIB='T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD'
//PIPLOTG EXEC PGM=PIPLOTG
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SO
//FT86F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&XYP
//FT87F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&GRP
/*FT20F001 DD DSN=T202J.&CASE.GCOMO1,
//* UNIT=MSS,MSVGP=MSCOM,SPACE=(CYL,(10,20)),
//* DISP=(NEW,CATLG),
//* DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=VBS)
// PEND
//* EXEC PIPLOTV,
//* GRP='T202J.PI.SIJI.LAG03.GRP',
//* SOS='(P,RUR40),DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)',
//* SO='(P,RUR40)'
//*ADD.SYSOUT DD *
//* DILECT-PLOT=PI.SIJI.LAG03
//**
//** EXEC PIGCOM,
//** GRP='T202J.PI.SODI.NONAIT#1.GRP',
//** SO='(P,RUR40),DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)'
//**PIPLOTG.FT13F001 DD *
//*C
//*0
//*1
//*MAIN TITLE
//*10
//*SUB TITLE
//*9
//*1.095 0. 3.
//*1.491 9. 1.
//**
//PINLPLOT PROC XYP=NULLFILE,GRP=NULLFILE,SO=A,SOS=A,
// STLIB='T202J.TITI.LOAD'
//PIPLOT EXEC PGM=NLPLOT2
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=&STLIB
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT86F001 DD DISP=SHR,DSN=&XYP
//FT87F001 DD DISP=SHR,DSN=&GRP,LABEL=(,,,IN)
//FT99F001 DD DSN=&&TEST1,DISP=(NEW,PASS),
// DCB=(LRECL=482,BLKSIZE=482,RECFM=FA),UNIT=WORK,
// SPACE=(CYL,(10,1,5),RLSE)
//CONV EXEC PGM=PRCONV
//STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=Z104M.NLPLIB.LOAD
//FT06F001 DD SYSOUT=&SOS
//FT10F001 DD DISP=(OLD,DELETE),DSN=&&TEST1,UNIT=WORK
//FT11F001 DD DSN=&&TEST2,DISP=(NEW,PASS),
// DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=V),UNIT=WORK,
// SPACE=(CYL,(10,1,5),RLSE)
//PSPCONV EXEC PGM=PSPCNV2
//CCFILE DD DSN=&&TEST2,DISP=(OLD,DELETE),
// DCB=(LRECL=484,BLKSIZE=488,RECFM=V),UNIT=WORK
//GDFILE DD SYSOUT=(P,KNWIR)
//WORK DD DSN=&&WORK,DISP=(NEW,DELETE),SPACE=(CYL,(5,5)),UNIT=SYSDA
//SYSPRINT DD SYSOUT=&SO
// PEND
// EXEC PINLPLOT,
// GRP='T202J.PI.SIMP.DIP50A.GRP',
// SOS='(P,RUR40),DCB=(RECFM=VA,LRECL=137)',
// SO='(P,RUR40)'
//PSPCNV.SYSIN DD *
* YY POS=(0,0,84,70),M=8,P=88,H,D=0,PEN=(12,12,13,14),
* CODE=(80A1,A0FE),UC=(1,80),NOLMT
* ST POS=(1,5,5,H,L,C),A=(24,1,30),CA='DIPILOT PI.SIMP.DIP50A'
* END
//
//

```

出力量が大きい時指定する。

GRPファイル名

パーサテック用タイトル指定

GRPファイル名

GCOM用パラメタ

GCOM用
PIPLOT
インストリームプロシジャ

パーサテック用
PIPLOT呼出部

GCOM用
PIPLOT呼出部

NLP用
PIPLOT
インストリームプロシジャ

NLP用
PIPLOT呼出部

PSPCNV2
制御データ

A.4 PISCES コマンド

この節では、A.3で述べた各RUN及びその他のRUNを、容易に行なうためのコマンドプロシジャについて説明する。

A.4.1 データセット名の規約

このコマンドプロシジャを使用するにあたり、データセット名の名前を以下のように決めなければならない。

A.4.1.1 通常使用する出力ファイル

通常出力するOUT, OUT 2, ARC, GRP, RSTの名前は次のように決めなければならない。

ARC	ファイル→	ユーザー ID . PI . プロジェクト ID . ケース名 .	ARC
RST	ファイル→	“	. RST
GRP	ファイル→	“	. GRP
OUT	ファイル→	“	. OUT
OUT 2	ファイル→	“	. OUT 2

A.4.1.2 通常使用する入力ファイル

PISCES への入力ファイル, DDPLOT への入力ファイルは、次のような名前で行なければならない。

PISCES への入力→ユーザー ID . PI . プロジェクト ID . DATA (ケース名)
 DDPLOTへの入力→ユーザー ID . PI . プロジェクト ID . DATA (任意)

A.4.1.3 外部サブルーチンを使用する場合

外部サブルーチン (EXTVEL, EXEOSF など) を使用する場合、ソース, ロードモジュールは、下の規約に従わなければならない。

SOURCE → ユーザー ID . PI . プロジェクト ID . FORT (任意)

LOAD・MODULE →

↓
 このSOURCEをつけた
 ロードモジュール

ユーザー ID . PI . プロジェクト ID . L \bar{O} AD (上のSOURCEと同じ名前)

以上のプロジェクト ID , ケース名は,
 ある解析のシリーズにプロジェクト ID }
 その中の各ケースにケース名 }
 という名前のつけ方にすると便利である。

A.4.2 PISCES コマンド概要

PISCES コマンドには, 「PISCES」と「PISCES 2」の2つがある。「PISCES」の方は,
 '82.4以前の古いバージョンであり説明しない。

ここでは「PISCES 2」のみについて説明する。「PISCES 2」には以下のような18個のオ
 プションがある。

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1 PISCES 2DELK | 11 TEST PISCES 2DELK |
| 2 DDPLOT | 12 TEST DDPLOT |
| 3 DIRECT PILOT | 13 TEST DIRECT PILOT |
| 4 COMPILE-LINK PISCES | 14 TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 DELETE PISCES FILES | 15 PISCES CHECK RUN |
| 6 OUTLIST PRINT | 16 PISCES RUN ON TSS |
| 7 OUTLIST COM REQUEST | 17 DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 GRAPHIC COM REQUEST | 18 PILOT RUN ON TSS |
| 9 COMPILE LINK RUN (TSS) | |

これらのオプションについて機能, 形式 (JCL 作成型かフォアランド型か), 使用可能かど
 うかなどについて, 下記に簡単に説明する。

番号	機 能	形 式	使用可/不可
1	PISCES の実行	JCL	可
2	DDPLOT の実行	JCL	可
3	DIRECT PLOT の実行	JCL	可
4	外部サブルーチンの結合	JCL	UPDATE されて いないため不可
5	PISCES で使用するファイルの DELETE。	フォアランド	可
6	PISCES で使用するファイル, 及び他のデータ セットのプリンタへの出力。	JCL, フォアランド	可
7	PISCES で使用する OUT, OUT 2 リストの BCOMへの出力。	JCL	可
8	DIRECT PLOT の GCOM, MOVIEへの出力	JCL	可
9	外部サブルーチンの結合, 及び実行。 (結合のみも可)	フォアランド	可

番号	機能	形式	使用可/不可
10			
11	PISCES の実行。ただしロードモジュール名が任意でよい。	JCL	可 (ただし 1 の中にも含まれた機能)
12	DDPLOT の実行。ただしロードモジュール名が任意でよい。	JCL	可
13	DIRECT PLOT の実行。ただしロードモジュール名が任意でよい。		
14	外部サブルーチンの結合。ただし出力ロードモジュール名が任意がよい。	JCL	UP DATE されていないため不可
15	PISCES のインプットチェックの RUN を行う。	フォアランド	可
16	CPU TIME をあまり使用しない体系の PISCES の RUN を行なう。	フォアランド	可
17	DDPLOT の RUN を行なう。	フォアランド	可
18	DIRECT PLOT の RUN を行なう。	フォアランド	可

A.4.3 実際の使用方法

これらのオプションのうち 1~3, 5~9, 15~18 の 12 個について使用例を示す。11~13については、1~3 のオプションの使用方法とほとんど同じであるので省略する。また、使用例を示すものでも、コマンド中の指定によっては、プロンプティングの内容が違ってくるが、使用例の中でも代表的なものを示す。

オプション1 PISCESの実行

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

```

1 SELECT OPTION 1を選択
* SUBMIT PISCES-2DELK JOB *
ENTER PROJECT NAME      プロジェクトID
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202H)  ブランクを打ち込んである。
ENTER CASE NAME        ケース名
BBBBBB
SPECIFY PISCES LOAD MODULE

1: HCDA MODULE ----- (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(HCDA1))
2: ORIGINAL MODULE - (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(DELK2D))
3: USER MODULE ----- (T202H.PI.AAAAAA.LOAD(XXXXX))
4: NOT YOUR MODULE

2 ロードモジュールの選択
FETCH FROM OLD-RESTART FILE ? (Y/N)  ORSTファイルを使う場合'Y'を指定
N
DO YOU CREATE SECOND OUTPUT FILE ? (Y/N)  INPUTでPT 08 F001を指定してあるなら'Y'
Y
SPECIFY ARCHIVE FILE DISPOSITION  0:NO USE  1:NEW  2:OLD
2 ARCファイルのDISP,0はDUMMYが割り合てられる。
SPECIFY RESTART FILE DISPOSITION  0:NO USE  1:NEW  2:OLD
2 } 同様
SPECIFY DIRECT PLOT FILE DISPOSITION  0:NO USE  1:NEW  2:OLD
2
SPECIFY SYSOUT CLASS  1:SYSOUT=NONX  2:SYSOUT=X  3:SAVE ON MSS
1
SPECIFY SYSOUT CLASS-2  1:SYSOUT=NONX  2:SYSOUT=X  3:SAVE ON MSS
3
SPECIFY OUTLIST FILE-2 DISPOSITION  1:NEW  2:OLD
2
PRINT OUT2 ON LINE ? (Y/N)  SYSOUT CLASS「3」を指定したので聞いてきた。
N
DO YOU WANT DIRECT PLOT AFTER PISCES RUN ? (Y/N)  PISCESの実行のあとすぐ
Y
SPECIFY GRAPHIC OUTPUT 1:VERSATEC  2:NLP  DIRECT PLOTを出力するか
2 その場合の媒体は、バーサテックかNLPか
ENTER DDPLOT SCALE :N
N --) SCALE FACTOR = N/10  その場合の縮尺はどうか(N=10で1倍)
8
ENTER SYSOUT CLASS
P: CORE SAFETY NLP WITE COMPACT
N: CENTER NLP WITE COMPACT
E: CENTER NLP
A: CENTER LP
(DEFAULT : P)
P OUTPUTの出カクラス
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2 ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5) } ATTRパラメタ
2 ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
2
ENTER YOUR PASSWORD
MIN ユーザーIDのパスワード
ENTER YOUR JOB WORD
COM JOB文のユーザーIDのうしろにつく3ケタの文字
SUBMIT ? (Y/N)
Y SUBMITするなら'Y'
SMF0120W 3438 T202HCOM INVALID PASSWORD CN(02)
JOB T202HCOM(JOB03438) SUBMITTED
READY

```

このあとにコメントを入れるメッセージあり。

オプション2 DDPLOTの実行

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

```

SELECT OPTION
2 ← 2を指定
* SUBMIT DDPLOT-PILOT JOB *
ENTER PROJECT NAME
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202H)
ENTER CASE NAME OF THE ARCHIVE FILE ← ブランクを入力してある。
BBBBBB
ENTER CASE NAME OF THE CONCATENATED ARCHIVE (ENTER NULL IF NONE) * 1
CCCCCC
ENTER CASE NAME OF THE CONCATENATED ARCHIVE (ENTER NULL IF NONE) } ARCファイルが
DDDDDD
ENTER CASE NAME OF THE CONCATENATED ARCHIVE (ENTER NULL IF NONE) } 1つでない場合
INPUT DATA IS T202H'S DATASET (Y/N) ← ブランクが
Y ← DDPLOTのINPUTのユーザ入力してある。
ENTER DDPLOT DATA MEMBER NAME (IN T202H.PI.AAAAAA.DATA) * 2
EEEEEE
SPECIFY DDPLOT TYPE
1:XY-PLOT ONLY 2:GRID-PLOT ONLY 3:BOTH XY AND GRID
1 ← INPUTで指定したのは、XYプロットかGRIDプロットか両方か。
SPECIFY SYSOUT CLASS 1:SYSOUT=P 2:SYSOUT=X
1
SPECIFY GRAPHIC OUTPUT 1:VERSATEC 2:NLP
2
ENTER DDPLOT SCALE :N
N ---> SCALE FACTOR = N/10
8
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2

2
ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
2
ENTER YOUR PASSWORD
SAM
ENTER YOUR JOB WORD
COM
SUBMIT ? (Y/N)
Y
JOB T202HCOM(JOB03455) SUBMITTED
SMF5400I 3455 T202HCOM T02,C02,W02,PRTY=08,CLASS=A CN(02)
READY
    
```

このあとにコメントを入れるメッセージあり。

- * 1 最後のケース名を入力したあと、メッセージが出力されたら、何も入力せず ENTER を押すと連結の終了とみなす。
- * 2 'N'を入力した場合、次にデータセット名を聞いてくるので、' 'で囲んでインプットのあるデータセットを指定する。その際メンバー名も指定する。

オプション3 DILECT PLOTの実行

* P I S C E S 2 *

1	PISCES 2DELK	11	TEST PISCES 2DELK
2	DDPLOT	12	TEST DDPLOT
3	DIRECT PILOT	13	TEST DIRECT PILOT
4	COMPILE-LINK PISCES	14	TEST COMPILE-LINK PISCES
5	DELETE PISCES FILES	15	PISCES CHECK RUN
6	OUTLIST PRINT	16	PISCES RUN ON TSS
7	OUTLIST COM REQUEST	17	DDPLOT RUN ON TSS
8	GRAPHIC COM REQUEST	18	PILOT RUN ON TSS
9	COMPILE LINK RUN (TSS)		

SELECT OPTION

```

3 ←————— 3を指定
* SUBMIT PILOT DIRECT-PLOTTING JOB *
ENTER PROJECT NAME
SOD1
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202H) ←———— ブランクが入力されている。
ENTER CASE NAME OF THE DIRECT-PLOT FILE
NONAIT#1
SPECIFY SYSOUT CLASS  1:SYSOUT=P      2:SYSOUT=X

1
SPECIFY GRAPHIC OUTPUT 1:VERSATEC    2:NLP
2
ENTER DDPLOT SCALE :N
N --> SCALE FACTOR = N/10

8
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
1
ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
3
ENTER YOUR PASSWORD
SAM
ENTER YOUR JOB WORD
DIP
SUBMIT ? (Y/N)
Y
JOB T202HDIP(JOB03460) SUBMITTED
SMF5400I 3460 T202HDIP T01,C02,W03,PRTY=08,CLASS=A CN(02)
READY

```

オプション5 PISCES ファイルの削除

```

* P I S C E S 2 *
 1 PISCES 2DELK          11 TEST PISCES 2DELK
 2 DDPLOT              12 TEST DDPLOT
 3 DIRECT PILOT        13 TEST DIRECT PILOT
 4 COMPILE-LINK PISCES 14 TEST COMPILE-LINK PISCES
 5 DELETE PISCES FILES 15 PISCES CHECK RUN
 6 OUTLIST PRINT       16 PISCES RUN ON TSS
 7 OUTLIST COM REQUEST 17 DDPLOT RUN ON TSS
 8 GRAPHIC COM REQUEST 18 PILOT RUN ON TSS
 9 COMPILE LINK RUN (TSS)

SELECT OPTION
5 ← 5を指定
* DELETE PISCES RELATED CATALOGUED FILES *
ENTER PROJECT NAME
AAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J) ← ブランクが入力されている。
ENTER CASE NAME OF FILES TO BE DELETED
BBBBB
DELETE ARCHIVE FILE ? (Y/N)
Y
DELETE RESTART FILE ? (Y/N)
Y
DELETE DIRECT PLOT FILE ? (Y/N)
Y
DELETE OUTLIST FILE ? (Y/N)
Y
DELETE OUTLIST FILE - 2 ? (Y/N)
Y
} DELETED したいファイルに'Y'をつける。
ENTRY (A) T202J.AAAAA.BBBBB.ARC DELETED
ENTRY (A) T202J.AAAAA.BBBBB.RST DELETED
ENTRY (A) T202J.AAAAA.BBBBB.GRP DELETED
ENTRY (A) T202J.AAAAA.BBBBB.OUT DELETED
ENTRY (A) T202J.AAAAA.BBBBB.CUT2 DELETED

```

オプション6 OUTPUT その他のプリント(その1)

```

* P I S C E S 2 *
 1 PISCES 2DELK          11 TEST PISCES 2DELK
 2 DDPLOT              12 TEST DDPLOT
 3 DIRECT PILOT        13 TEST DIRECT PILOT
 4 COMPILE-LINK PISCES 14 TEST COMPILE-LINK PISCES
 5 DELETE PISCES FILES 15 PISCES CHECK RUN
 6 OUTLIST PRINT       16 PISCES RUN ON TSS
 7 OUTLIST COM REQUEST 17 DDPLOT RUN ON TSS
 8 GRAPHIC COM REQUEST 18 PILOT RUN ON TSS
 9 COMPILE LINK RUN (TSS)

SELECT OPTION
6 ← 6を指定
PLEASE CHOOSE ONLINE OR SUBMIT 1: ONLINE 2: SUBMIT
2 ← バッチで行うか、フォアグラウンドで行うか？ここではバッチ
* PRINT SAVED PISCES-2DELK OUTLIST *
ENTER PROJECT NAME
AAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J) ← ブランクが入力されている。
ENTER CASE NAME
BBBBB
SPECIFY SYSOUT CLASS 1:SYSOUT=NONX 2:SYSOUT=X
1
ENTER SYSOUT CLASS
P MORE SAFETY NLP WITE COMPACT
N: CENTER NLP WITE COMPACT
E: CENTER NLP
A: CENTER LP
(DEFAULT : P)
} SYSOUT クラス指定
P
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
2
ENTER YOUR PASSWORD
MIN
ENTER YOUR JOB WORD
OUT
SUBMIT ? (Y/N)
Y
JOB T202JOUT(JOB03893) SUBMITTED
SMF5400I 3893 T202JOUT T02,C02,U02,PRTY=08,CLASS=A CN(02)

```


オプション7 OUTPUTのBCOM処理

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

```

SELECT OPTION
7 ← 7を指定
* COM REQUEST FOR SAVED PISCES-2DELK OUTLIST *
ENTER PROJECT NAME
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J) ← ブランクが入力されている。
ENTER CASE NAME
BBBBBB
ENTER MAIN TITLE ( MAX 20 CHARS.)
***
MAIN TITLE ← メインタイトル
ENTER SUB TITLE ( MAX 36 CHARS.)
SUB TITLE ← サブタイトル
DO YOU WANT MULTI COM REQUEST ? (Y/N)
Y ← OUT 2 ファイルも BCOM出力の場合 'Y' を指定
SPECIFY SYSOUT CLASS 1:SYSOUT=P 2:SYSOUT=X
1
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
2
ENTER YOUR PASSWORD
MIN
ENTER YOUR JOB WORD
COM
SUBMIT ? (Y/N)
Y
JOB T202JCOM(JOB03900) SUBMITTED
SMF5400I 3900 T202JCOM T02,C02,W02,PRTY=08,CLASS=A CN(02)
    
```

オプション6 OUTPUT その他のプリント (その2)

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

```

SELECT OPTION
6 ← 6を指定
PLEASE CHOOSE ONLINE OR SUBMIT 1: ONLINE 2: SUBMIT
1 ← バッチ, フォアグラウンド指定, ここではフォアグラウンド
* PRINT SAVED PISCES-2DELK OUTLIST *
PRINT DATASET = OUTLIST (Y/N)
Y ← プリントしたいものが PISCES の OUTファイルなら 'Y' 指定 * 1
ENTER PROJECT NAME
SDDI
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)
***
ENTER CASE NAME
TOKAAT1
ENTER SYSOUT CLASS P OR N
P * 1 'N' なら, 通常の TSS のデータ
      セットの指定を行う。
      区分でも可
SELECT CC PARAMETER 1:YES 2:NO
2 ← 書式制御を行うかどうか
-----> START PRINT
-----> END PRINT
READY
    
```

オプション8 GCOM処理

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

```

SELECT OPTION
3 ← 8を指定
* SUBMIT GRAPHIC COM REQUEST JOB *
ENTER PROJECT NAME
SDDI
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)
ENTER CASE NAME OF THE DIRECT-PLOT FILE
NONAIT#2
ENTER SELECTION OPTION          1 : COM REQUEST OF PLOTTERS
                                2 : MOVIE REQUEST OF PLOTTERS
2 ← MOVIEを指定
ENTER STARTING ADDRESS (DEFAULT = 0 ; ENTER BLANK)
3 ← A. 3.2.2-(3)①のパラメタ
ENTER RECYCLING NUMBER (DEFAULT = 0 ; ENTER BLANK)
3 ← A. 3.2.2-(3)②のパラメタ
ENTER LENSE SIZE INDICATOR  1 : COM ,  2 : MOVIE
2 ← A. 3.2.2-(3)③のパラメタ (レンズ指定)
ENTER MAIN TITLE (APOSTROPHES REQUIRED. MAX. 20 CHARACTERS)
---5---0---5---0
RECYCLING TEST ← メインタイトル
ENTER NUMBER OF CHARACTERS OF MAIN TITLE
XX
14 ← メインタイトル文字数
ENTER SUB TITLE (APOSTROPHES REQUIRED. MAX. 72 CHARACTERS)
---5---0---5---0---5---0---5---0---5---0---5---0---5---0---
STARTING ADDRESS = 3          RECYCLING NUMBER = 3 ← サブタイトル
JEM165I JOB 3880 T202JHIS ENDED CN(02)
ENTER NUMBER OF CHARACTERS OF SUB TITLE
XX
56 ← サブタイトル文字数
MODIFY SCALING FACTOR AND ORIGIN ? (Y/N)
    DEFAULT SET SCALE FACTER 1 INCH = 1.905 CM  ON VERSATEC
                ORIGIN X          = 0.    CM
                ORIGIN Y          = 3.    CM
N ← A. 3.2.2-(3)④のパラメタ, 'Y'の場合入力
IS THE FRAME ROTATED ? (Y/N)
Y ← 回転したいかどうか
MODIFY SCALING FACTOR FOR ROTATION ? (Y/N)
    DEFAULT SET SCALE FACTOR          1 INCH = 1.491 CM  ON VERSATEC
    TRNASLATION WIDTH IN X-DIRCT. = 9.    CM
N ← 大量の図形を出力する場合指定
IS LARGE SPACE INQUIRED ? (Y/N)
N
SPECIFY SYSOUT CLASS  1:SYSOUT=P    2:SYSOUT=X
1
ENTER 'T' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
2
ENTER 'C' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 5)
3
ENTER 'W' PARAMETER IN ATTR(DEFAULT 3)
5
ENTER YOUR PASSWORD
MIN
ENTER YOUR JOB WORD
GCM

ENTER COMMENT WORD
MINAMI
SUBMIT ? (Y/N)
Y
JOB T202JGCM(JOB03940) SUBMITTED
SMF54001 3940 T202JGCM T02,C03,W05,PRTY=07,CLASS=A  CN(02)
SAVE JCL ? (Y/N)
N
    
```

オプション9 COMPILE, LINK, RUN

```

* P I S C E S 2 *
 1 PISCES ZDELK          11 TEST PISCES ZDELK
 2 DDPLLOT              12 TEST DDPLLOT
 3 DIRECT PILOT         13 TEST DIRECT PILOT
 4 COMPILE-LINK PISCES  14 TEST COMPILE-LINK PISCES
 5 DELETE PISCES FILES  15 PISCES CHECK RUN
 6 OUTLIST PRINT        16 PISCES RUN ON TSS
 7 OUTLIST COM REQUEST  17 DDPLLOT RUN ON TSS
 8 GRAPHIC COM REQUEST  18 PILOT RUN ON TSS
 9 COMPILE LINK RUN (TSS)
SELECT OPTION
9
* PISCES COMPILE LINK RUN *
ENTER PROJECT NAME
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)
ENTER MEMBER NAME COMPILE FILE
T202J.PI.AAAAAA.FORT(XXXXXXXX)
BBBBBB ← コンパイルするメンバ名指定
SPECIFY LOAD MODULE DISPOSITION 1: NEW 2: OLD
1 ← ロードモジュールがNEWかOLDか
-----> COMPILE START
-----> COMPILE END
-----> LINKAGE START
-----> LINKAGE END
LOAD MODULE T202J.PI.AAAAAA.LOAD(BBBBBB) ← ロードモジュール名
DO YOU WANT PISCES RUN ? (Y/N)
Y ← PISCESのRUNを行うか?'N'ならここで終了
ENTER INPUT CASE NAME
CCCCCC
FETCH FROM OLD-RESTART FILE ? (Y/N)
N
DO YOU CREATE SECOND OUTPUT FILE ? (Y/N)
Y
SPECIFY ARCHIVE FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY RESTART FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY DIRECT PLOT FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY OUTLIST FILE-2 DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2

-----> PISCES RUN START
-----> PISCES RUN END

ENTRY (A) T202J.OBJECT.OBJ DELETED

```

オプション 15 PISCES のチェックラン

```

* P I S C E S 2 *
1 PISCES 2DELK
2 DDPLLOT
3 DIRECT PIPLLOT
4 COMPILE-LINK PISCES
5 DELETE PISCES FILES
6 OUTLIST PRINT
7 OUTLIST COM REQUEST
8 GRAPHIC COM REQUEST
9 COMPILE LINK RUN (TSS)
11 TEST PISCES 2DELK
12 TEST DDPLLOT
13 TEST DIRECT PIPLLOT
14 TEST COMPILE-LINK PISCES
15 PISCES CHECK RUN
16 PISCES RUN ON TSS
17 DDPLLOT RUN ON TSS
18 PIPLLOT RUN ON TSS

15 SELECT OPTION
15 ← 15 を指定
* PISCES CHECK RUN *
ENTER PROJECT NAME
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)
ENTER CASE NAME INPUT FILE
BBBBBB
SPECIFY PISCES LOAD MODULE
1: HCDA MODULE ----- (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(HCDA1))
2: ORIGINAL MODULE - (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(DELK2D))
3: USER MODULE ----- (T202J.PI.AAAAAA.LOAD(XXXXX))
4: NOT YOUR MODULE
3 ← ここでは、外部サブルーチンのついた ユーザーモジュール使用
ENTER USER LOAD MODULE MEMBER NAME
XXXXXX
CCCCCC ← メンバ名
FETCH FROM OLD-RESTART FILE ? (Y/N)
Y
OLD RESTART FILE IS T202J'S DATASET (Y/N)
Y ← ORST ファイルのユーザID 指定
ENTER CASE NAME OF OLD-RESTART FILE
DDDDDD
ENTER SYSOUT CLASS 1: MSS 2: CENTER
MSS : CHKRUN.OUT ← 出力結果格納場所
1
DO YOU PRINT MSS ? (Y/N)
Y ← MSS を PRINT するか
-----> START CHKRUN
-----> END CHKRUN
-----> START PRINT
-----> END PRINT

```

オプション 16 フォアグラウンドでの PISCES の実行

```

* P I S C E S 2 *
 1 PISCES 2DELK
 2 DDPLLOT
 3 DIRECT PILOT
 4 COMPILE-LINK PISCES
 5 DELETE PISCES FILES
 6 OUTLIST PRINT
 7 OUTLIST COM REQUEST
 8 GRAPHIC COM REQUEST
 9 COMPILE LINK RUN (TSS)
11 TEST PISCES 2DELK
12 TEST DDPLLOT
13 TEST DIRECT PILOT
14 TEST COMPILE-LINK PISCES
15 PISCES CHECK RUN
16 PISCES RUN ON TSS
17 DDPLLOT RUN ON TSS
18 PILOT RUN ON TSS
SELECT OPTION
16 ← 16 を指定
* PISCES RUN ON TSS *
ENTER PROJECT NAME
AAAAAA
ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)
ENTER CASE NAME INPUT FILE
BBBBBB
SPECIFY PISCES LOAD MODULE
 1: HCDA MODULE ----- (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(HCDA1))
 2: ORIGINAL MODULE - (T202H.PISCES.LEVEL12.OPT1.Y8204.LOAD(DELK2D))
 3: USER MODULE ----- (T202J.PI.AAAAAA.LOAD(XXXXX))
 4: NOT YOUR MODULE
4 ← 自分のモジュールでない場合 4 を指定
ENTER LOAD MODULE NAME
T202I.PI.XXXX.LOAD ← ロードモジュールのデータセット名のみ指定。' ' はいらぬ。
ENTER MEMBER NAME
YYYYY ← ロードモジュールのメンバ名指定
FETCH FROM OLD-RESTART FILE ? (Y/N)
N
DO YOU CREATE SECOND OUTPUT FILE ? (Y/N)
Y
SPECIFY ARCHIVE FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY RESTART FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY DIRECT PLOT FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY OUTLIST FILE DISPOSITION 0:NO USE 1:NEW 2:OLD
2
SPECIFY OUTLIST FILE-2 DISPOSITION 1:NEW 2:OLD
2
-----> PISCES RUN START
MAIDO OSAWAGASE ITASHIMASU SHIBARAKU OMACHI KUDASAI ....
-----> PISCES RUN END
READY

```

オプション 17 DDPLOT のフォアグラウンドでの実行 (テクトロ出力)

PISCES2

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

SELECT OPTION

17 ← 17 を指定

* DDPLOT RUN ON TSS *

ENTER PROJECT NAME

AAAAA

ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)

ENTER CASE NAME OF THE ARCHIVE FILE

BBBBB

ENTER CASE NAME OF THE CONCATENATED ARCHIVE (ENTER NULL IF NONE)

INPUT DATA IS T202J'S DATASET (Y/N)

Y

ENTER INPUT MEMBER NAME

CCCCC

SPECIFY DDPLOT TYPE

1:XY-PLOT

2:GRID-PLOT

3:BOTH XY AND GRID

1

ENTER OUTPUT DEVICE (NLP/TEK)

TEK. ← テクトロ出力指定

```

-----> DDPLOT START
-----> DDPLOT END } DDPLOT 終了

```

-----> PILOT START

PREVIEW モード

} PILOT 終了

```

*****
ALL PROCEDURES HAVE BEEN COMPLETED.
SEE YOU AGAIN !!      BYE BYE !!!
*****
READY

```

オプション17 DDPLLOTのフォアグラウンドでの実行 (NLP出力)

PISCES2

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PIPLOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

SELECT OPTION

17 ← 17 を指定

* DDPLLOT RUN ON TSS *

ENTER PROJECT NAME

AAAAA

ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)

ENTER CASE NAME OF THE ARCHIVE FILE

BBBBB

ENTER CASE NAME OF THE CONCATENATED ARCHIVE (ENTER NULL IF NONE)

INPUT DATA IS T202J'S DATASET (Y/N)

Y

ENTER INPUT MEMBER NAME

CCCCC

SPECIFY DDPLLOT TYPE

1:XY-PLOT

2:GRID-PLOT

3:BOTH XY AND GRID

1

ENTER OUTPUT DEVICE (NLP/TEK)

NLP ←

NLP出力指定

-----> DDPLLOT START

-----> DDPLLOT END

-----> PIPLOT START

-----> PIPLOT END

-----> PRCONV START

-----> PRCONV END

-----> PSPCNV2 START

-----> PSPCNV2 END

オプション18 DIRECT PLOTのフォアグラウンド上の実行

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

SELECT OPTION

18 ← 18を指定

* PILOT RUN ON TSS *

ENTER PROJECT NAME

SODI

ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)

ENTER CASE NAME OF THE DIRECT-PLOT FILE

NONAIT#2

WRITE ENTER OUTPUT DEVICE (NLF/TEK)

TEK ← テクトロ出力指定

-----> PILOT START

PREVIEW モード

} PILOT 終了

```

*****
ALL PROCEDURES HAVE BEEN COMPLETED.
SEE YOU AGAIN !!      BYE BYE !!!
*****
READY

```


オプション 18 DILECT PLOT のフォアグラウンド上の実行 (NLP出力)

* P I S C E S 2 *

- | | | | |
|---|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | PISCES 2DELK | 11 | TEST PISCES 2DELK |
| 2 | DDPLOT | 12 | TEST DDPLOT |
| 3 | DIRECT PILOT | 13 | TEST DIRECT PILOT |
| 4 | COMPILE-LINK PISCES | 14 | TEST COMPILE-LINK PISCES |
| 5 | DELETE PISCES FILES | 15 | PISCES CHECK RUN |
| 6 | OUTLIST PRINT | 16 | PISCES RUN ON TSS |
| 7 | OUTLIST COM REQUEST | 17 | DDPLOT RUN ON TSS |
| 8 | GRAPHIC COM REQUEST | 18 | PILOT RUN ON TSS |
| 9 | COMPILE LINK RUN (TSS) | | |

SELECT OPTION

18 ← 18 を指定

* PILOT RUN ON TSS *

ENTER PROJECT NAME

SODI

ENTER PROJECT USER-ID (DEFAULT=T202J)

ENTER CASE NAME OF THE DILECT-PLOT FILE
NONAIT#2

ENTER OUTPUT DEVICE (NLP/TEK)

NLP ← NLP出力指定

-----> PILOT START

-----> PILOT END

-----> PRCONV START

-----> PRCONV END

-----> PSPCNV2 START

-----> PSPCNV2 END

Appendix B

PISCES-2DELKによる耐衝撃解析入力リスト

Appendix B PISCES - 2DELK による耐衝撃解析入力リスト

B1 SRI 実験 FV 102 体系

TIME<15:09:50> DATE<01/06/84>
 T2021.PI.APR78.DATA
 MEMBER NAME STANDARD

```

HEADING 2DELK VERIFICATION PROBLEM 1. - SRI EXPERIMENT FV102 (APRICOT 7)
ALLGRID 5      AXIAL START      APRICOT 7 (STANDARD)
COMMENT *****
COMMENT *      SRI EXPERIMENT FV102 STANDARD INPUT *
COMMENT *      - SEND FROM PHYSICS INTERNATIONAL CO. ( APR.1982 ) *
COMMENT *      - MULTIPLE PRINT EDITS USING. *
COMMENT *****
OPTIONS
WRAPUP 1.      2000      2000.      1.0      EVPLAG      ZEROSUP
ISTEP 3.
MATERIALBASIC GASBAG .035 0.
MATERIALEOSA  GASBAG GASBAG POFV
MATERIALSHEAR  GASBAG CONSTANTO.
MATERIALBASIC  WATER 1. 0.
MATERIALEOSA  WATER SHOCK .1483 2.1
MATERIALEOSB  WATER .28
MATERIALBASIC  AIR .001225 0.
MATERIALEOSA  AIR GAMMA 1.4
MATERIALBASIC  NI-200 8.9 -.004
MATERIALELASTIC NI-200 POISSON 0.3 YOUNG 2.0
MATERIALLYIELD NI-200 STRFUN MECHSUB ENG
FUNCTIONANALYTICPOFV 0. 251.5E-6
FUNCTIONANALYTICPOFV 242. 1.631E-2/(T-VZERO+51.9)-12.02E-6
FUNCTIONANALYTICVZERO 0. 232.
FUNCTIONTABLE STRFUN 0.0005 0.00103 0.0020 0.00146 0.0045 0.00171
FUNCTIONTABLE STRFUN 0.0095 0.00191 0.0345 0.00240
MATERIALBASIC LEAD 11.355 -.0003 .3
MATERIALELASTIC LEAD BULK 0.501 SHEAR 5.5E-2
MATERIALLYIELD LEAD PBYIELD ISDTROP ENG
FUNCTIONTABLE PBYIELD 0. 8.5E-5 .01 1.24E-4 .02 1.41E-4
FUNCTIONTABLE PBYIELD .04 1.55E-4
MATERIALBASIC AL 2.7 -.003
MATERIALEOSA  AL POLY 0.799
MATERIALSHEAR AL CONSTANTO.256
MATERIALLYIELD AL ALYIELD ISDTROP ENG
FUNCTIONTABLE ALYIELD 0. 2.96E-3 .02 3.17E-3 .05 3.52E-3
INITIAL 1 DENSITY .035 SIE .037 XVEL 0. YVEL 0.
INITIAL 2 DENSITY 1.000045SIE 0. XVEL 0. YVEL 0.
INITIAL 3 DENSITY .001225 SIE 2.04E-3 XVEL 0. YVEL 0.
INITIAL 4 THICK .508 XVEL 0. YVEL 0.
INITIAL 5 DENSITY 11.355 SIE 0. XVEL 0. YVEL 0.
INITIAL 6 THICK .127 XVEL 0. YVEL 0.
POLYGON SETUP NI-200 24
POLYGON POINTS NI-200 23 27.94 25.4
POLYGON POINTS NI-200 24 -2.54 25.4
POLYGON SETUP CORE 20
POLYGON POINTS CORE 19 25.71 -.1
POLYGON POINTS CORE 20 26.68 -.1
FUNCTIONTABLE ONEBAR 0. 1.E-6
ALLEDIT PRINT BYTIMES 0 WRAPUP 100 8
ALLEDIT PRINT BYCYCLESO WRAPUP
ALLEDIT RESTART BYCYCLESO WRAPUP 500
ALLEDIT ARCHIVE BYCYCLESO WRAPUP 20
ALLEDIT ARCMAT BYCYCLESO WRAPUP 10
ALLEDIT LAGSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT EULSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT MATSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT VELSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT STRSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT INFSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT EBDSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT SUBSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ALLEDIT CYCSUM BYCYCLESO WRAPUP 100
ENDECK
SUBGRID EULER GRID 10 22
ZONING RECTANG 1 1 26.67 0.0 10 22 0.0 11.55
REGION 2 WATER RECTANG -1.27 26.67 0.0 11.55 1
REGION 3 AIR LINE 1.27 0.0 1.27 11.55 2
REGION 1 GASBAG INDEX 1 4 1 7 3
REGION UNUSED INDEX 1 4 1 3 4
EDIT PRINT BYCYCLESWRAPUP 2010 LONGPR
EDLIST VNAME X XVEL YVEL VOID DENSITY DENSITY PRESSURELONGPR
EDLIST VNAME YIND Q Y LONGPR
EDIT PRINT BYTIMES 250. WRAPUP 250. SHORTPR
    
```

TIME<15:09:50> DATE<01/06/84>
 T2021.PI.APR7B.DATA
 MEMBER NAME STANDARD

```

EDLIST COLS      2      10
EDLIST VNAMES   X      XVEL      YVEL      VOID      DENSITY DENSITY PRESSURE SHORTPR
EDLIST VNAMES   YIND   Q          Y          WRAPUP  2          TIMEHIST
EDIT  ARCHIVE  BYCYCLESO          WRAPUP  2          TIMEHIST
EDLIST VNAMES   PRESSURE          WRAPUP  250.        DIRECTPL
EDIT  CVPLOT  BYTIMES 1.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
PLOT  2      3.33  0.          0.          30.          25.          NORMAL  1.        DIRECTPL
ENDECK
SUBGRID SHELL  NI-200  1          22          4          5
ZONING POINTS  1      1          26.67      10.414  1          22          0.          10.414
ZONING SEGMENT ILINE  1          1          22
BOUNDARYINTERPOL ILINE  1          22          1          NI-200  1
REGION  4      NI-200  INDEX  1          1          22
EDIT  PRINT  BYTIMES 250.          WRAPUP  250.        SHELL1
EDLIST VNAMES   YIND   X      XVEL      YVEL      XDIS      YDIS      Y          SHELL1
EDLIST VNAMES   STRAINLLSTRAINTTTTAVG  TLLAVG  BMOMLL  BMOMTT  THICK  SHELL1
EDIT  MESHPLOTBYTIMES 1.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
PLOT  2      3.33  0.          0.          30.          25.        DIRECTPL
EDIT  ARCHIVE  BYCYCLESO          WRAPUP  2          SHLHIST
EDLIST VNAMES   X      Y          STRAINTTSTRAINLLEXSHL1  EXSHL2  SHLHIST
BOUNDARYVELOCITY ILINE  1          1          1          XVELZEROYVELZERO
BOUNDARYVELOCITY ILINE  1          22          22          XVELZEROYVELZERO
BOUNDARYMOMENT  ILINE  1          22          22          NOROTATE
BOUNDARYMOMENT  ILINE  1          1          1          NOROTATE
BOUNDARYSTRESS  ILINE  1          1          22          ONEBAR
ENDECK
SUBGRID LAGRANGELEAD  3          9
ZONING POINTS  1      1          26.67      3.81      3          1          26.67      6.2865
ZONING POINTS  1      9          16.51      3.81      3          9          16.51      6.2865
ZONING POINTS  1      2          25.71      3.81      3          2          25.71      6.2865
ZONING SEGMENT JLINE  2          1          3
ZONING SEGMENT ILINE  1          2          9
ZONING SEGMENT ILINE  3          2          9
ZONING SEGMENT JLINE  1          1          3
ZONING SEGMENT JLINE  9          1          3
ZONING BLOCK  IDRAW  1          3          2          9
REGION  5      LEAD  INDEX  1          3          1          9
BOUNDARYVELOCITY JLINE  1          1          3          XVELZEROYVELZERO
BOUNDARYVELOCITY ILINE  1          2          2          XVELZEROYVELZERO
EDIT  PRINT  BYTIMES 250.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
EDIT  MESHPLOTBYTIMES 1.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
PLOT  5      3.33  0.          0.          30.          25.        DIRECTPL
BOUNDARYINTERPOL ILINE  1          9          2          CORE  11
BOUNDARYINTERPOL ILINE  3          1          9          CORE  1
BOUNDARYINTERPOL JLINE  9          3          1          CORE  9
BOUNDARYJOIN  ILINE  3          1          9
ENDECK
SUBGRID SHELL  AL      1          9
ZONING POINTS  1      1          26.67      6.2865  1          9          16.51      6.2865
ZONING POINTS  1      2          25.71      6.2865
ZONING SEGMENT ILINE  1          2          9
REGION  6      AL      INDEX  1          1          1          9
BOUNDARYJOIN  ILINE  1          1          9
BOUNDARYVELOCITY ILINE  1          1          1          XVELZEROYVELZERO
BOUNDARYMOMENT  ILINE  1          1          1          NOROTATE
EDIT  PRINT  BYTIMES 250.          WRAPUP  250.        SHELL2
EDLIST VNAMES   YIND   X      XVEL      YVEL      XDIS      YDIS      Y          SHELL2
EDLIST VNAMES   STRAINLLSTRAINTTTTAVG  TLLAVG  BMOMLL  BMOMTT  THICK  SHELL2
EDIT  MESHPLOTBYTIMES 1.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
PLOT  2      3.33  0.          0.          30.          25.        DIRECTPL
EDIT  ARCHIVE  BYCYCLESO          WRAPUP  2          SHLHIST2
EDLIST VNAMES   X      Y          STRAINTTSTRAINLLEXSHL1  EXSHL2  SHLHIST2
ENDECK
SUBGRID LAGRANGEROOF  2          2
ZONING POINTS  1      1          0.001      0.          2          1          0.001      10.
ZONING POINTS  1      2          -10.        0.          2          2          -10.        10.16
REGION  5      LEAD  INDEX  1          2          1          2
BOUNDARYVELOCITY ILINE  1          1          2          XVELZEROYVELZERO
BOUNDARYVELOCITY ILINE  2          1          2          XVELZEROYVELZERO
EDIT  PRINT  BYCYCLESWRAPUP
EDIT  MESHPLOTBYTIMES 1.          WRAPUP  250.        DIRECTPL
PLOT  5      3.33  0.          0.          30.          25.        DIRECTPL
ENDECK
ENDINPUT
    
```

B2 原型炉耐衝擊解析簡易基準体系 (SBASE # 1)

TIME<15:11:01> DATE<01/06/84>
 T2021.PI.SODI.DATA
 MEMBER NAME SBASE#1

```

ALLGRID 10          AXIAL  START          HCDA(502MJ) - SODI(SBASE#1)
COMMENT
COMMENT *****
COMMENT *          MONJU SIMPLE MODEL STANDARD INPUT ** SBASE#1 **          *
COMMENT *          - SODIUM STANDARD EOS          *
COMMENT *          - SUS304 STANDARD DATA          *
COMMENT *          - STANDARD TEMPERATURE DISTRIBUTION OF MATERIAL          *
COMMENT *          - MONJU 502MJ STANDARD PRESSURE-VOLUME CURVE          *
COMMENT *          - GASBAG OPTION          *
COMMENT *          - CORE SUPPORT PLATE, RADIAL BLANKET AND PLUG HEAD          *
COMMENT *          ARE RIGID          *
COMMENT *          - TRACER FOR SODIUM SURFACE          *
COMMENT *          - RESTART EDIT EVERY 500 CYCLE          *
COMMENT *          - ARCHIVE EDIT EVERY 10 CYCLE          *
COMMENT *          - ARCHAT EDIT EVERY 10 CYCLE          *
COMMENT *          - PRINT EDIT START AND WRAPUP CYCLE          *
COMMENT *          - PRINT EDIT EVERY 5 MSEC (FOR MICROFICHE)          *
COMMENT *          - WRAPUP 3000 CYCLE OR 100 MSEC          *
COMMENT *          APRIL 1982          *
COMMENT *****
COMMENT
COMMENT
WRAPUP 0.5          3000          100000. 4000
TSTEP 4.0
COMMENT ***** SUS304 STANDARD MATERIAL DATA ***** 82.3.17
COMMENT REPORT PISCES-O-D-02('81)-R01.
COMMENT GASBAG P-V CURVE = 502MJ.
COMMENT ***** SODIUM STANDARD EOS ***** 82.5.7
COMMENT REPORT PISCES-O-D-01('82).
COMMENT
MATERIALBASIC EXPLO 5.438
MATERIALEOSA EXPLO GASBAG PVFUN
FUNCTIONTABLE PVFUN 2.3351E6472.E-6 3.1751E6271.E-6 3.3351E6220.E-6
FUNCTIONTABLE PVFUN 4.8351E6150.E-6 7.3351E6110.E-6 9.8351E687.5E-6
FUNCTIONTABLE PVFUN 12.335E672.5E-6 17.335E656.0E-6 22.335E646.5E-6
FUNCTIONTABLE PVFUN 32.335E634.5E-6 42.335E627.5E-6 52.335E622.5E-6
FUNCTIONTABLE PVFUN 62.335E619.5E-6 72.335E617.0E-6 82.335E615.0E-6
FUNCTIONTABLE PVFUN 92.335E611.5E-6 500.00E61.00E-6
MATERIALBASIC SODIUM 0.8253
MATERIALEOSA SODIUM POLY 0.04203 0.4238
MATERIALBASIC SUS530S 8.03 -1.0E-2
MATERIALELASTIC SUS530S YOUNG 1.559 POISSON 0.304
MATERIALYIELD SUS530S SS530S MECHSUB TRUE
FUNCTIONTABLE SS530S 8.601E-41.341E-35.012E-22.481E-31.001E-13.354E-3
FUNCTIONTABLE SS530S 1.503E-14.070E-32.005E-14.697E-3
MATERIALBASIC SUS530SUB.03 -1.0E-2
MATERIALELASTIC SUS530SU YOUNG 1.559 POISSON 0.304
MATERIALYIELD SUS530SUSS530SU MECHSUB TRUE
FUNCTIONTABLE SS530SU 8.601E-41.341E-35.012E-22.481E-31.001E-13.354E-3
FUNCTIONTABLE SS530SU 1.503E-14.070E-32.005E-14.697E-3
MATERIALBASIC SUS425S 8.03 -1.0E-2
MATERIALELASTIC SUS425S YOUNG 1.663 POISSON 0.297
MATERIALYIELD SUS425S SS425S MECHSUB TRUE
FUNCTIONTABLE SS425S 8.761E-41.457E-34.985E-22.550E-31.004E-13.501E-3
FUNCTIONTABLE SS425S 1.499E-14.276E-32.007E-14.982E-3
INITIAL 1 XVEL 0.0 YVEL 0.0 DENSITY 0.8253 SIE 0.0
INITIAL 2 XVEL 0.0 YVEL 0.0 DENSITY 5.438 SIE 3.938E-4
INITIAL 2 PRESSURE 472.E-6
INITIAL 3 XVEL 0.0 YVEL 0.0 THICK 6.0
INITIAL 4 XVEL 0.0 YVEL 0.0 THICK 5.0
INITIAL 5 XVEL 0.0 YVEL 0.0 THICK 5.0
INITIAL 6 XVEL 0.0 YVEL 0.0 THICK 7.0
POLYGON SETUP POLYA 52
POLYGON SETUP POLYC 17
POLYGON POINTS POLYA 17 0.0 0.0 XVELZEROYVELZERO
POLYGON POINTS POLYA 52 1220. 200. XVELZEROYVELZERO
POLYGON POINTS POLYC 17 1051.5 0.0 XVELZEROYVELZERO
ALLEDIT ARCHIVE BYCYCLES0 WRAPUP 10
ALLEDIT ARCHAT BYCYCLES0 WRAPUP 10
ALLEDIT PRINT BYTIMES 0 WRAPUP 5000. 8
ALLEDIT PRINT BYTIMES 0 WRAPUP
ALLEDIT RESTART BYCYCLES0 WRAPUP 500
ALLEDIT SUBSUM BYTIMES 0 WRAPUP 3000.
ENDECK
SUBGRID EULER FLUID1 12 29
    
```

TIME<15:11:01> DATE<01/06/84>
 T2021.P1.S001.DATA
 MEMBER NAME SBASE#1

COMMENT	SUBGRID	FLUID1					
ZONING RECTANG 1	1	1219.5	0.	3	5	1051.5	85.0
ZONING RECTANG 3	1	1219.5	85.	6	5	1051.5	197.25
ZONING RECTANG 6	1	1219.5	197.25	9	5	1051.5	328.
ZONING RECTANG 9	1	1219.5	328.	12	5	1051.5	455.
ZONING POINTS 1	6	1010.5	0.	6	6	1010.5	197.25
ZONING POINTS 3	6	1010.5	85.	9	6	1010.5	328.
ZONING POINTS 12	6	1010.5	455.				
ZONING RECTANG 1	7	969.5	0.	3	10	813.6	85.0
ZONING RECTANG 3	7	969.5	85.	6	10	813.6	197.25
ZONING RECTANG 6	7	969.5	197.25	9	10	813.6	328.
ZONING RECTANG 9	7	969.5	328.	12	10	813.6	455.
ZONING RECTANG 1	11	766.	0.	3	17	507.	85.0
ZONING RECTANG 3	11	766.	85.	6	17	507.	197.25
ZONING RECTANG 6	11	766.	197.25	9	17	507.	328.
ZONING RECTANG 9	11	766.	328.	12	17	507.	440.
ZONING POINTS 1	18	479.35	0.	2	18	479.35	45.0
ZONING POINTS 3	18	479.35	85.0	6	18	479.35	197.25
ZONING POINTS 7	18	479.35	240.83	9	18	479.35	328.
ZONING POINTS 8	18	479.35	284.41	10	18	479.35	365.
ZONING POINTS 11	18	479.35	400.	12	18	479.35	440.
ZONING POINTS 1	21	369.5	0.	2	21	369.5	45.0
ZONING POINTS 3	21	369.5	89.4	6	21	369.5	197.25
ZONING POINTS 7	21	369.50	240.83	9	21	369.5	328.
ZONING POINTS 8	21	369.5	284.41	10	21	369.5	365.
ZONING POINTS 11	21	369.5	400.	12	21	369.5	440.
ZONING POINTS 1	25	192.5	0.0	2	25	192.5	45.0
ZONING POINTS 3	25	192.5	89.4	6	25	192.5	197.25
ZONING POINTS 7	25	192.50	240.83	9	25	192.5	328.
ZONING POINTS 8	25	192.5	284.41	10	25	192.5	365.
ZONING POINTS 11	25	192.5	400.	12	25	192.5	440.
ZONING POINTS 1	26	148.5	0.0	2	26	148.5	45.0
ZONING POINTS 3	26	148.5	89.4	6	26	148.5	197.25
ZONING POINTS 7	26	148.50	240.83	9	26	148.5	328.
ZONING POINTS 8	26	148.5	284.41	10	26	148.5	365.
ZONING POINTS 11	26	148.5	400.	12	26	148.5	440.
ZONING POINTS 1	27	99.5	0.0	2	27	99.5	45.0
ZONING POINTS 3	27	99.5	89.4	6	27	99.5	197.25
ZONING POINTS 7	27	99.50	240.83	9	27	99.5	328.
ZONING POINTS 8	27	99.50	284.41	10	27	99.5	365.
ZONING POINTS 11	27	99.5	400.	12	27	99.5	440.
ZONING POINTS 1	28	50.5	0.0	2	28	50.5	45.0
ZONING POINTS 3	28	50.5	89.4	6	28	50.5	197.25
ZONING POINTS 7	28	50.50	240.83	9	28	50.5	328.
ZONING POINTS 8	28	50.50	284.41	10	28	50.5	365.
ZONING POINTS 11	28	50.5	400.	12	28	50.5	440.
ZONING POINTS 1	29	0.0	0.0	2	29	0.0	45.0
ZONING POINTS 3	29	0.0	89.4	6	29	0.0	197.25
ZONING POINTS 7	29	0.0	240.83	9	29	0.0	328.
ZONING POINTS 8	29	0.0	284.41	10	29	0.0	365.
ZONING POINTS 11	29	0.0	400.	12	29	0.0	440.
ZONING SEGMENT JLINE	6	1	3				
ZONING SEGMENT JLINE	6	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	6	6	9				
ZONING SEGMENT JLINE	6	9	12				
ZONING SEGMENT JLINE	18	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	21	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	25	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	26	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	27	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	28	3	6				
ZONING SEGMENT JLINE	29	3	6				
ZONING SEGMENT ILINE	1	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	2	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	3	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	6	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	7	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	8	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	9	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	10	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	11	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	12	18	21				
ZONING SEGMENT ILINE	1	21	25				
ZONING SEGMENT ILINE	2	21	25				

TIME<15:11:01> DATE<01/06/84>
 T2021.PI.60D1.DATA
 MEMBER NAME SBASE#1

ZONING	SEGMENT	ILINE	3	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	6	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	7	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	8	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	9	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	10	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	11	21	25				
ZONING	SEGMENT	ILINE	12	21	25				
ZONING	BLOCK	IDRAW	3	6	18	21			
ZONING	BLOCK	IDRAW	3	6	21	25			
REGION	VOID	INDEX	1	12	1		29		
REGION	VOID	INDEX	1	3	5		17	2	
REGION	1	SODIUM	INDEX	1	12	7		29	1
REGION		UNUSED	INDEX	3	6	21		29	2
REGION		UNUSED	INDEX	1	12	1		5	1
REGION	2	EXPLO	INDEX	1	3	25		27	2
BOUNDARY	EXCLUDE	POLYGON	POLY	C					
EDIT	CVPLOT1	BYTIMES	0	WRAPUP	10000.		EXPLO		VEC2
PLOT	0	150.0	-55.	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4	VEC2
EDIT	MESH	PLOTBYCYCLES	0	WRAPUP					MES
PLOT	4	150.0	-60.2	-30.0	1702.	500.			MES
ENDECK									
SUBGRID	EULER	FLUID4	4	14					
COMMENT	-----	SUBGRID	FLUID4	-----					
ZONING	POINTS	1	1	1051.5	0.0	1	6	813.6	0.0
ZONING	POINTS	1	7	766.0	0.0	1	13	507.0	0.0
ZONING	POINTS	1	14	393.125	0.0				
ZONING	POINTS	2	1	1051.5	45.0	2	6	813.6	45.0
ZONING	POINTS	2	7	766.0	45.0	2	13	507.0	45.0
ZONING	POINTS	2	14	393.125	45.0				
ZONING	POINTS	3	1	1051.5	85.0	3	6	813.6	85.0
ZONING	POINTS	3	7	766.0	85.0	3	13	507.0	85.0
ZONING	POINTS	3	14	393.125	85.0				
ZONING	POINTS	4	1	1051.5	120.5	4	6	813.6	120.5
ZONING	POINTS	4	7	766.0	120.5	4	13	507.0	120.5
ZONING	POINTS	4	14	393.125	120.5				
ZONING	POINTS	1	3	969.5	0.0	2	3	969.5	45.0
ZONING	POINTS	3	3	969.5	85.0	4	3	969.5	120.5
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	1	3				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	3	6				
ZONING	SEGMENT	ILINE	2	1	3				
ZONING	SEGMENT	ILINE	2	3	6				
ZONING	SEGMENT	ILINE	3	1	3				
ZONING	SEGMENT	ILINE	3	3	6				
ZONING	SEGMENT	ILINE	4	1	3				
ZONING	SEGMENT	ILINE	4	3	6				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	7	13				
ZONING	SEGMENT	ILINE	2	7	13				
ZONING	SEGMENT	ILINE	3	7	13				
ZONING	SEGMENT	ILINE	4	7	13				
REGION	VOID	INDEX	1	4	1		14		
REGION	1	SODIUM	INDEX	1	3	3		13	1
BOUNDARY	EXCLUDE	POLYGON	POLY	A					
EDIT	CVPLOT1	BYTIMES	0	WRAPUP	10000.		EXPLO		VEC2
PLOT	0	150.0	-55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4	VEC2
PLOT	4	150.0	-60.2	-30.0	1702.	500.			MES
EDIT	MESH	PLOTBYCYCLES	0	WRAPUP					MES
ENDECK									
SUBGRID	SHELL	VESSELU	1	34			4	5	
COMMENT	-----	SUBGRID	VESSELU	-----					
ZONING	POINTS	1	2	0.0	355.5	1	21	769.5	355.5
ZONING	POINTS	1	24	869.5	391.5	1	31	1126.3	391.5
ZONING	POINTS	1	32	1157.	391.5	1	33	1188.	391.5
ZONING	POINTS	1	34	1219.5	391.5	1	13	439.5	355.5
ZONING	POINTS	1	1	-27.	355.5	1	9	269.5	355.5
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	2	9				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	9	13				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	13	21				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	21	24				
ZONING	SEGMENT	ILINE	1	24	31				
BOUNDARY	VELOCITY	ILINE	1	34	34		XVELZER	OYVELZER	O
BOUNDARY	VELOCITY	ILINE	1	2	2		XVELZER	OYVELZER	O
BOUNDARY	MOMENT	ILINE	1	34	34		NOROTATE		
BOUNDARY	MOMENT	ILINE	1	2	2		NOROTATE		

TIME<15:11:01> DATE<01/06/84>
 T2021.PI.SODI.DATA
 MEMBER NAME SBASE#1

BOUNDARYINTERPOLILINE	1	1	34	POLYA	18				
REGION 4	SUS425S INDEX	1	1	1	9				
REGION 4	SUS530S INDEX	1	1	9	21				
REGION 5	SUS530S INDEX	1	1	21	27				
REGION 4	SUS530S INDEX	1	1	27	34				
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID SHELL	UPCORET	1	13		4	5			
COMMENT ----- SUBGRID UPCORET -----									
ZONING	RECTANG	1	1	507.	85.0	1	13	1051.5	85.0
BOUNDARYJOIN	ILINE	1	1	1					
BOUNDARYMOMENT	ILINE	1	1	2		JOIN	1		
BOUNDARYVELOCITY	ILINE	1	13	13		XVELZERO	YVELZERO		
BOUNDARYMOMENT	ILINE	1	13	13		NOROTATE			
BOUNDARYINTERPOLILINE	1	13	1			POLYA	1		
BOUNDARYINTERPOLILINE	1	1	13			POLYC	4		
REGION 3	SUS530SUINDEX	1	1	1	13				
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID SHELL	UPCOREY	1	4			4	5		
COMMENT ----- SUBGRID UPCOREY -----									
ZONING	RECTANG	1	1	507.	0.0	1	4	507.	85.0
BOUNDARYJOIN	ILINE	1	4	4					
BOUNDARYMOMENT	ILINE	1	3	4		JOIN	4		
BOUNDARYINTERPOLILINE	1	3	1			POLYA	14		
BOUNDARYINTERPOLILINE	1	1	3			POLYC	1		
REGION 6	SUS530SUINDEX	1	1	1	4				
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID SHELL	BLANKET	1	4			4	5		
COMMENT ----- SUBGRID BLANKET -----									
ZONING	POINTS	1	1	.1	89.5	1	3	369.4	197.15
ZONING	POINTS	1	2	369.4	89.5	1	4	.1	197.15
REGION 5	SUS530S INDEX	1	1	1	4				
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID SHELL	SHIJIR	1	4			4	5		
COMMENT ----- SUBGRID SHIJIR -----									
ZONING	POINTS	1	4	-27.	0.0	1	1	-0.1	0.0
ZONING	POINTS	1	2	-0.1	355.4	1	3	-27.	355.4
REGION 5	SUS530S INDEX	1	1	1	4				
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID SHELL	PLUG	1	4			4	5		
COMMENT ----- SUBGRID PLUG -----									
ZONING	POINTS	1	1	1051.6	0.0	1	2	1051.6	391.4
ZONING	POINTS	1	4	1230.	0.0	1	3	1230.	391.4
REGION 5	SUS530S INDEX	1	1	1	4				
EDIT	MESH PLOT BY CYCLES 0	WRAPUP							MES
PLOT 4	150.0 -60.2	-30.0	1702.	440.					MES
EDIT	VEC PLOT BY TIMES 0	WRAPUP	10000.						VEC2
PLOT 5	150.0 -55.0	-30.	1650.	480.	NORMAL	0.4			VEC2
ENDECK									
SUBGRID	LAGRANGETRACE	1	2	5					
COMMENT ----- SUBGRID TRACE1 -----									
ZONING	RECTANG	1	1	968.9	120.	2	5	968.9	350.
REGION	UNUSED INDEX	1	2	1	5				
BOUNDARYTRACER	ILINE	2	1	5					
BOUNDARYTRACER	ILINE	1	1	5					

TIME<15:11:01> DATE<01/06/84>
 T2021.PL.SDD1.DATA
 MEMBER NAME SBASE#1

```

EDIT MESH PLOT BY TIMES 0 WRAPUP 10000. VEC2
PLOT 3 150. -55. -30. 1650. 480. VEC2
ENDECK
SUBGRID LAGRANGETRACE2 2 3
COMMENT ----- SUBGRID TRACE2 -----
ZONING RECTANG 1 1 968.9 1. 2 3 968.9 70.
REGION UNUSED INDEX 1 2 1 3
BOUNDARYTRACER ILINE 2 1 3
BOUNDARYTRACER ILINE 1 1 3
EDIT MESH PLOT BY TIMES 0 WRAPUP 10000. VEC2
PLOT 3 150. -55. -30. 1650. 480. VEC2
ENDECK
ENDINPUT
  
```