

大リーク・ナトリウム-水反応時の圧力波伝播解析

(SWACSコードによるSWAT-3, Run-3, 5, 7 実験解析)

—大リーク・ナトリウム-水反応解析(第11報)—

1981年1月

動力炉・核燃料開発事業団

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下さい。

〒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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

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

大リーク・ナトリウム-水反応時の圧力波伝播解析 (SWACSコードによるSWAT-3, Run-3, 5, 7実験解析)

— 大リーク・ナトリウム-水反応解析 (第11報) —

三宅 収*, 進藤 嘉久**, 山口 友久***
斉藤 正美***, 広井 博*, 田辺 裕美*,
佐藤 稔*

要 旨

高速増殖炉の蒸気発生器における大リーク・ナトリウム-水反応時の諸現象を解析するため、大リーク・ナトリウム-水反応解析コードSWACSが開発された。

本報告はSWACSコードに含まれている圧力波伝播計算モジュール(SWAC5k)の実験検証計算として、蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)のRun-3, Run-5, およびRun-7試験の実験解析を行ない、その計算結果と実験測定値の比例検討を行なったものである。本報告ではオリジナルのSWACSコード(REG3)の圧力波伝播計算モジュールに、液柱分離を考慮するための改良を行なっている。

計算結果と実験測定の圧力波形はよく一致し、同計算モジュールの有効性が確認された。

* 大洗工学センター, 蒸気発生器開発部, 蒸気発生器安全性試験室

** (現)川崎重工業株式会社

*** 三井造船株式会社

Propagated Pressure Analysis on Large-Scale Sodium-Water
Reaction.

(Analysis of SWAT-3 Run-3, -5, and -7 Tests by SWACS Code)

— Large Leak Sodium-Water Reaction Analysis (Report No.11)—

Osamu Miyake*, Yoshihisa Shindo**,
Tomohisa Yamaguchi***, Masami Saito***,
Hiroshi Hiroi*, Hiromi Tanabe*,
and Minoru Sato*

Abstract

A computer code SWACS has been developed to estimate the large leak sodium-water reaction phenomena of LMFBR's steam generators.

This report describes the results of comparative studies between calculations and measurements on SWAT-3 Run-3, Run-5, and Run-7 tests in order to validate the propagated pressure calculation module (SWAC-5k) which is included in SWACS code. The original module of SWACS code (version REG3) had been improved, so that the column separation phenomena could be taken into consideration.

Good agreements are obtained between calculations and measurements, and the availability of the propagated pressure calculation module has been demonstrated.

* Steam Generator Safety Section, Steam Generator Division,
O-arai Engineering Center, PNC.

** Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

*** Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 概 要	2
3. 計算モデルと計算ケース	5
4. 実験値との比較	13
4.1 Run-3 実験との比較	13
4.2 Run-5 実験との比較	26
4.3 Run-7 実験との比較	31
5. ま と め	37
参 考 文 献	38
Appendix A 液柱分離モデルの SWACS への導入について	41
Appendix B Run-3, Run-5 および Run-7 の圧力測定値	76
Appendix C 液柱分離を無視した Run-3, Run-5 の計算結果	91
Appendix D 計算のゼロ時刻をずらせた場合の Run-3 実験との比較	100
Appendix E 最適計算ケースのインプット・データ・リスト	105

図・表 リ ス ト

Fig. 2.1	Secondary Loop Circuit in SWAT-3.....	4
Fig. 3.1	Calculation Model of SWAT-3 Piping (EV-IHX outlet).....	6
Fig. 4.1.1	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in EV (P1111-Source Pressure).....	15
Fig. 4.1.2	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in EV (P1115-Source Pressure).....	15
Fig. 4.1.3	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1001).....	16
Fig. 4.1.4	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1002).....	16
Fig. 4.1.5	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1003).....	17
Fig. 4.1.6	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1004).....	17
Fig. 4.1.7	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1005).....	18
Fig. 4.1.8	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1006).....	18
Fig. 4.1.9	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in IHX (P1301).....	19
Fig. 4.1.10	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1008).....	19
Fig. 4.1.11	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C20) Pressure in Piping (P1001).....	20
Fig. 4.1.12	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1002).....	20
Fig. 4.1.13	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1003).....	21
Fig. 4.1.14	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1004).....	21
Fig. 4.1.15	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1005).....	22
Fig. 4.1.16	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1006).....	22

Fig. 4.1.17	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in IHX (P1301).....	23
Fig. 4.1.18	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C21) Pressure in Piping (P1008).....	23
Fig. 4.1.19	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C22) Pressure in Piping (P1001).....	24
Fig. 4.1.20	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C22) Pressure in Piping (P1003).....	24
Fig. 4.1.21	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C23) Pressure in Piping (P1001).....	25
Fig. 4.1.22	Pressure Propagation Cal. (SW03.05.C23) Pressure in Piping (P1003).....	25
Fig. 4.2.1	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in EV (P1111-Source Pressure).....	27
Fig. 4.2.2	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in EV (P1115-Source Pressure).....	27
Fig. 4.2.3	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in Piping (P1002).....	28
Fig. 4.2.4	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in Piping (P1004).....	28
Fig. 4.2.5	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in Piping (P1005).....	29
Fig. 4.2.6	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in Piping (P1006).....	29
Fig. 4.2.7	Pressure Propagation Cal. (SW05.05.C20) Pressure in IHX (P1301).....	30
Fig. 4.3.1	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03) Pressure in EV (P1111-Source Pressure).....	32
Fig. 4.3.2	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03) Pressure in EV (P1115-Source Pressure).....	32
Fig. 4.3.3	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03) Pressure in Piping (P1001).....	33
Fig. 4.3.4	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03) Pressure in Piping (P1002).....	33
Fig. 4.3.5	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03) Pressure in Piping (P1003).....	34

Fig. 4.3.6	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03)	
	Pressure in Piping (Pl004).....	34
Fig. 4.3.7	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03)	
	Pressure in Piping (Pl005).....	35
Fig. 4.3.8	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03)	
	Pressure in Piping (Pl006).....	35
Fig. 4.3.9	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03)	
	Pressure in Piping (Pl007).....	36
Fig. 4.3.10	Pressure Propagation Cal. (SW07.05.C03)	
	Pressure in IHX (Pl302).....	36

Table. 2.1	試験条件.....	3
Table. 3.1	圧力センサと計算モデル上の節点番号との対応表.....	8
Table. 3.2	形状寸法に関連するインプットデータ.....	9
Table. 3.3	計算ケース.....	12

1. ま え が き

高速増殖炉の蒸気発生器の大リーク・ナトリウム-水反応解析コードとして、動燃事業団で
〔12〕
SWACSコードの開発を行なっている。SWACSコードの中の一計算モジュールである圧力波
伝播解析モジュールSWAC-5Kの実験検証は、過去に「もんじゅ」SG体系の1/125縮尺モ
デルのSWAT-1B装置により行なわれ、配管、中間熱交換器、蒸気発生器をモデルとして含む
〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕
この体系での結果は良好であった。さらにSWAT-3装置のRun-3実験を対象として実施され
た解析でも計算上負圧が発生するまでの圧力挙動は実験値をよく説明したが、それ以降につい
ては大きな差異があり、これから液柱分離またはキャビテーションが発生している可能性があると
〔5〕〔11〕
の指摘がなされている。

これらのことから、SWAC-5Kに液柱分離モデルを導入しコード改造を行なった。本報告
は、この液柱分離モデルを導入したSWAC-5Kにより、SWAT-3のRun-3、Run-5お
よびRun-7について実験値との比較を行ない、SWAC-5Kモジュールの有効性を最終的に
確認したものである。

第2章ではSWAT-3の試験概要を、第3章では計算モデルと計算ケース内容について説明
した後、第4章で実験値との比較を行なう。

液柱分離モデルについては、Appendix Aに説明する。

2. 試験概要

Fig. 2.1にSWAT-3装置のRun-3, Run-5およびRun-7試験に用いられた二次系配管の配置, 寸法および圧力センサの取付位置を示す。SWAT-3装置は, 蒸発器 (反応容器-EV), 過熱器 (SH), 中間熱交換器 (IHX) の各機器と, これらを結ぶ配管系で構成されている。

EVには伝熱管が設けられているがSHとIHXには伝熱管がなく, SHでは4組の多孔板で流動抵抗を与え, IHXは8Bの単管構造である。

配管系は, 8Bと2Bの配管, EV-IHX間の8Bから2BのレデューサとIHX-SH間の2Bから8Bのレデューサ, EV-IHX間の2B配管に位置する2つのバルブ (V101, V104) およびベンドから成っている。実験時は, 補助系につながるV102とV103とは閉じられており, また系統中のナトリウムは静止状態である。

EVのコイル下部への注水によって引き起こされたNa-水反応による圧力波は, EVのNa出入口ノズルを出て配管系, IHX, SHに伝播する。伝播圧力を測定する圧力センサは, 配管内に13個, IHXに2個, SHに3個取付けられている。配管の圧力センサはEVの出口から順にP1001, P1002, …… , P1013となっており, EV-IHX間にP1001~P1007, IHX-SH間にP1008~P1010, SH-EV間にP1011~P1013が設けられている。IHXの取付センサはP1301とP1302, SHの取付センサはP1202~P1204である。

Run-3とRun-5はコイル下部注水試験, Run-7はダウンカマ注水試験であり, それぞれの試験条件をTable. 2.1に示す。また各試験での圧力波形はAppendix Bに示した。

試験の詳細については, 各試験の報告書〔6〕, 〔7〕, 〔8〕を参照されたい。

Table. 2.1 試 験 条 件

項 目		単 位	Run-3	Run-5	Run-7
反 応 容 器 内 部 構 造 物 型 式	反 応 容 器		蒸 発 器	同 左	同 左
	内 部 構 造 物 型 式		ヘリカル (IHI)	ヘリカル (MHI)	ダウンカマ模擬
	反 応 (注 水) 点 位 置		ヘリカル下部 5層目 FL. 3085	ヘリカル下部 4層目 FL. 3109	ダウンカマ部 FL. 3875
注 水 側 条 件	準 定 常 注 水 率	Kg/sec	8.8 (初期) ~ 7.9 (後期)	15 (初期) ~ 11 (後期)	10.6 (1秒後) ~ 7.9 (9秒後)
	全 注 水 量	Kg	78	150	85
	注 水 配 管 温 度	℃	約 300	231 ~ 331	283 ~ 357
	水 加 熱 器 温 度	℃	300	280	298
	水 加 熱 器 圧 力	Kg/cm ² a	149	154	124
	注水弁 (V502) 弁開持続時間	sec	9.5	9.7	9.5
ナトリウム側条件	ナ ト リ ウ ム 温 度	℃	398	360	245
	ナ ト リ ウ ム 流 量	ℓ/sec	静 止	同 左	同 左
	反応容器 (蒸発器) カバーガス圧	Kg/cm ² G	0.5	同 左	同 左
	過 熱 器 カ バ ー ガ ス 圧	Kg/cm ² G	0.5	同 左	同 左
	カ バ ー ガ ス 使 用 ガ ス		ア ル ゴ ン	同 左	同 左

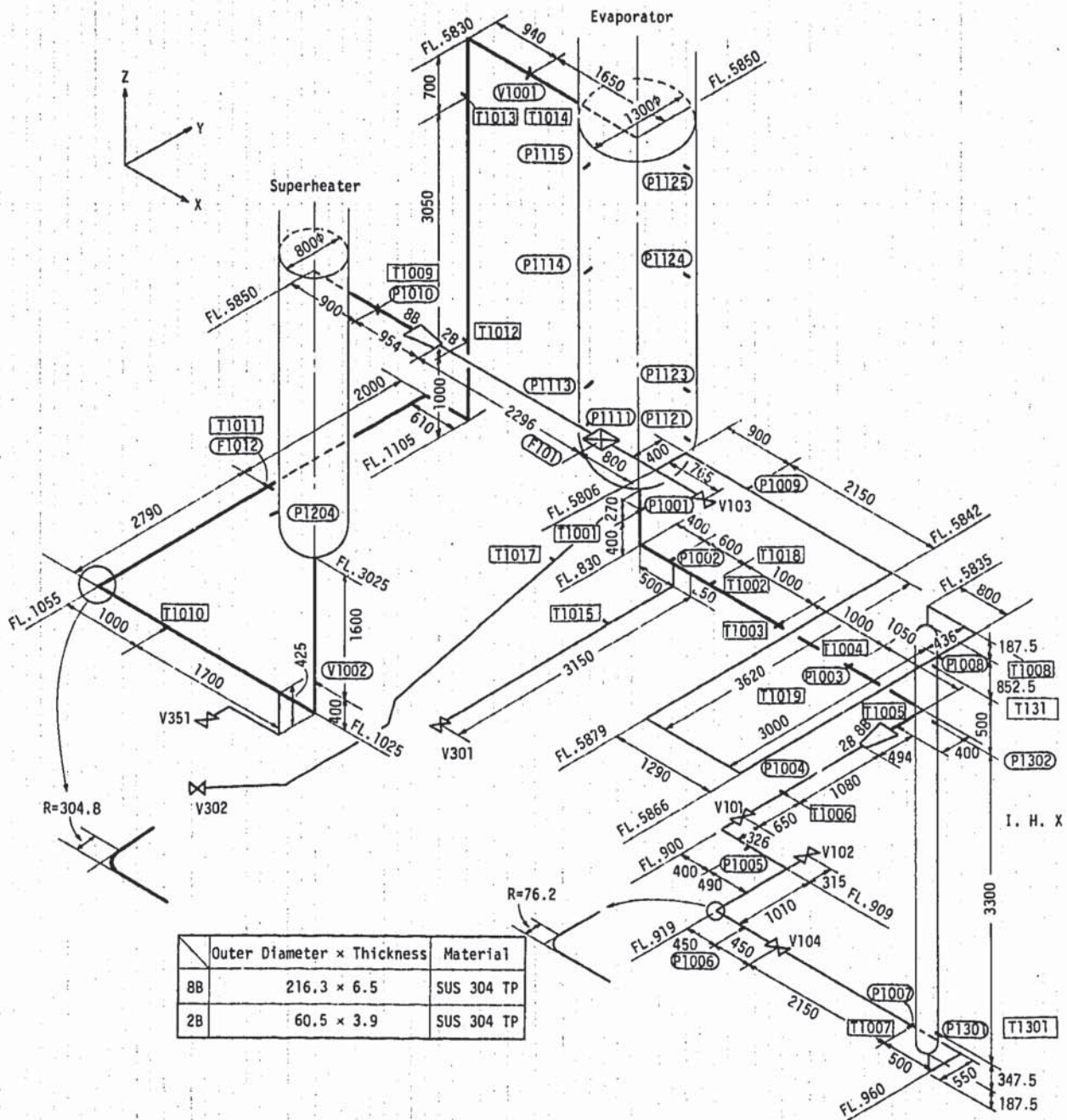


Fig. 2.1 Secondary Loop Circuit in SWAT-3

3. 計算モデルと計算ケース

Fig. 2.1 に示した二次系配管を圧力波伝播経路に着目して1次元化すると、Fig. 3.1 に示す計算モデルとなる。

圧力センサと計算モデル上の節点番号との対応をTable. 3.1 に示す。圧力波源としては、EVのコイル下部の圧力センサP1111およびNa液面近傍のP1115の測定圧力履歴を用いた。これらは、Fig. 3.1 の節点①と③にそれぞれ入力された。配管の形状寸法に関連するインプットデータはTable. 3.2 に示した。

ナトリウム配管中の音速（圧力波伝播速度）は、管の弾性変形を考慮した次式で評価する。^[9]

$$a = \frac{\sqrt{K/\rho}}{\sqrt{1 + (K/E)(D/e)C_1}}$$

ただし、 a は音速（m/sec）、 K は流体の体積弾性係数（kg/m³）、 ρ は流体の密度（kg・sec²/m⁴）、 E は管の縦弾性係数（kg/mf）、 D は管の内径（m）、 e は管の肉厚（m）、 C_1 は管の支持条件による係数でここでは0.95としている。管路中の流路拡大縮小、ベンド、弁による形状圧損係数は文献[10]によって与えた。最適計算ケース（後述）のインプットデータリストはAppendix Eに示した。

本解析での計算ケースをまとめて、Table. 3.3 に示す。始めにRun-3 実験の結果を使って液柱分離モデルの2つのオプションを検討し、実験との一致が良好な組み合わせを選んだ。2つのオプションは、液柱再結合時の圧力上昇と、再結合から次のキャビディ発生までの時間制限とであり、いずれも計算するかしないかの選択ができるようになっている。詳細はAppendix Aを参照のこと。Run-5とRun-7では、Run-3における2つのオプションの選択結果を用いて実験との比較を行なった。

なお、液柱分離モデルを導入する以前のバージョンによるRun-3、Run-5の計算結果をAppendix Cに示すので、合わせて参考とされたい。この計算では、EV出口側の圧力波源をP1111ではなくEV出口ノズル近傍の配管圧力としている。すなわち、Run-3の場合はP1001を、Run-5の場合はP1002を入力としている。

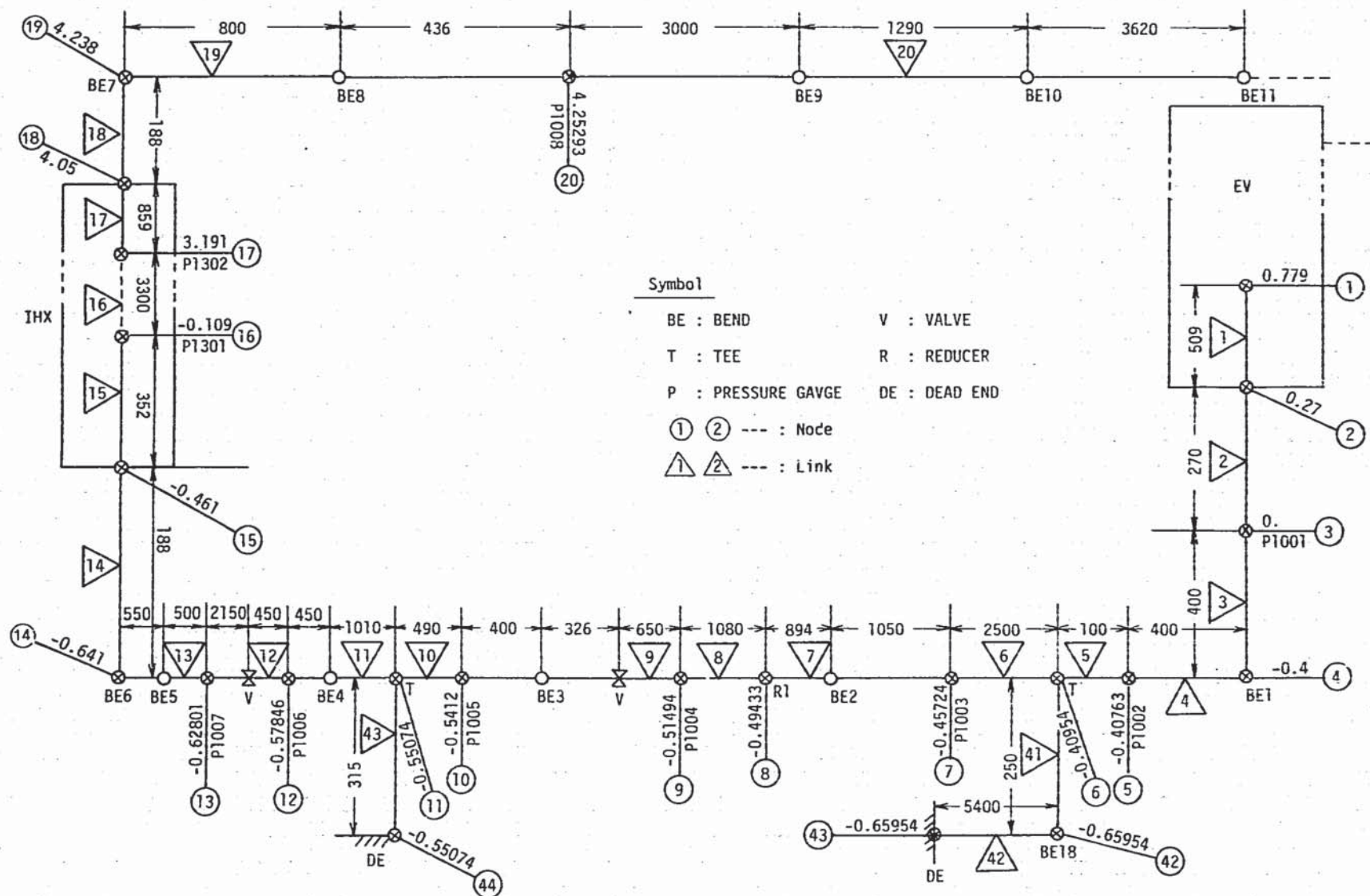


Fig. 3.1 Calculation Model of SWAT-3 Piping (EV-IHX outlet)

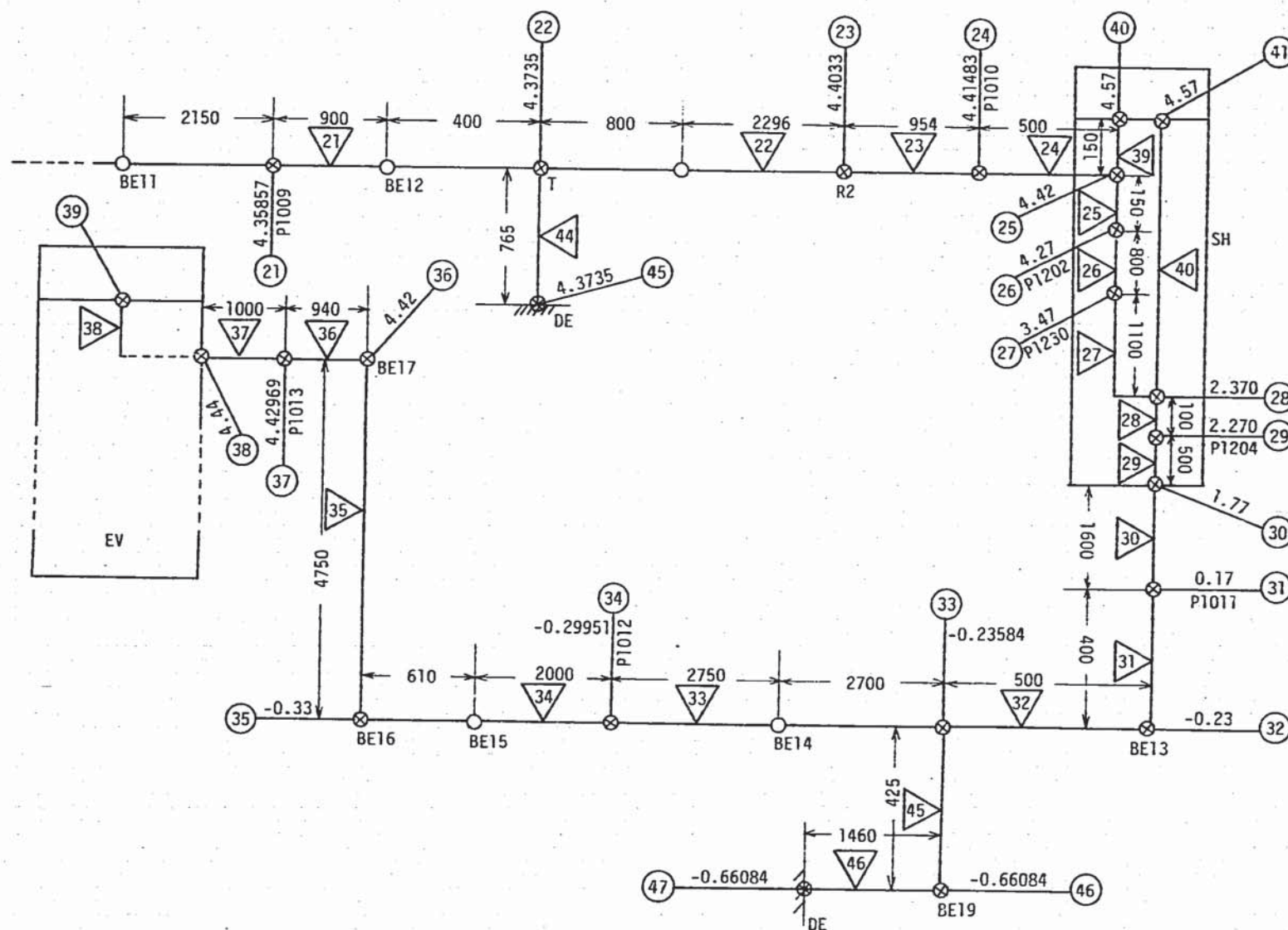


Fig. 3.1 (Contd.) (IHX outlet-SH-EV)

Table. 3.1 圧力センサと計算モデル上の節点番号との対応表

〔○：使用可，×：使用不可，－：測定せず〕

圧力センサ 取付位置	圧力センサ	計算モデル の節点番号	圧力データの有用性		
			Run-3	Run-5	Run-7
EV	P1111	①	入力波形	入力波形	入力波形
EV～IH X 間配管	P1001	③	○	－	○
	P1002	⑤	○	○	○
	P1003	⑦	○	×	○
	P1004	⑨	○	○	○
	P1005	⑩	○	○	○
	P1006	⑫	○	○	○
	P1007	⑬	×	○	○
IH X	P1301	⑮	○	○	○
	P1302	⑰	×	×	○
IH X～SH 間配管	P1008	⑳	○	－	×
	P1009	㉑	×	－	○
	P1010	㉒	－	－	×
SH	P1202	㉔	－	－	－
	P1203	㉕	－	－	－
	P1204	㉖	○	○	○
SH～EV 間配管	P1011	㉘	○	－	－
	P1012	㉙	－	－	－
	P1013	㉚	○	－	－
EV	P1115	㉜	入力波形	入力波形	入力波形

Table. 3.2 形状寸法に関連するインプットデータ

部材 No	接合点の 高 さ	接 合 点 番 号	要 素 名	長 さ	水力学的 等価直径	流 路 面 積	音 速	形状圧 損係数	分割数	備 考
—	m	左 右	—	m	m	m ²	m/sec	—		
1	0.779	2 1	下部プレナム EV下端	0.509	1.3	1.32712	1.61669×10^3	0	6	
2	0.27	3 2	EV下端～ P1001	0.27	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0.5	3	
3	0.0	4 3	P1001～ BE1*	0.4	"	"	"	0	4	BE: BEND
4	-0.4	5 4	BE1～ P1002	0.4	"	"	"	0.41	4	
5	-0.40763	6 5	P1002～ T*	0.1	"	"	"	0	1	*T: TEE
6	-0.40954	7 6	T～ P1003	2.5	"	"	"	0	25	
7	-0.45724	8 7	P1003～ ～R1	1.944	"	"	"	0.41	19	*R: REDUCER
8	-0.49433	9 8	R1～ P1004	1.08	0.0527	2.18128×10^{-3}	2.0282×10^3	0	9	
9	-0.51494	10 9	P1004～ P1005	1.376	"	"	"	2.9	12	
10	-0.5412	11 10	P1005～ T	0.49	"	"	"	0	4	
11	-0.55074	12 11	T～ P1006	1.46	"	"	"	0.43	12	
12	-0.57846	13 12	P1006～ P1007	2.6	"	"	"	2.5	22	
13	-0.6281	14 13	P1007～ BE6	1.05	"	"	"	0.43	9	
14	-0.649	15 14	BE6～ IHX下端	0.188	"	"	"	1.3	2	
15	-0.461	16 15	IHX下端 ～P1301	0.352	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0	5	
16	-0.109	17 16	P1301～ P1302	3.3	"	"	"	0	33	

Table. 3.2 形状寸法に関連するインプットデータ(続)

部材 No	接合点の 高さ	接 合 点 番 号	要 素 名	長 さ	水力学的 等価直径	流 路 面 積	音 速	形状圧 損係数	分割数	備 考
—	m	左 右	—	m	m	m ²	m/sec	—		
17	3.191	17 18	P1302~ IHX上端	0.859	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0	7	
18	4.05	18 19	IHX上端~ BE7	0.188	0.0527	2.18128×10^{-3}	2.0282×10^3	0.42	2	
19	4.238	19 20	BE7~ P1008	1.236	"	"	"	0.86	11	
20	4.25293	20 21	P1008~ P1009	10.06	"	"	"	1.29	86	
21	4.35857	21 22	P1009~ T	1.3	"	"	"	0.43	11	
22	4.3735	22 23	T~ R2	3.096	"	"	"	0	22	
23	4.4033	23 24	R2~ P1010	0.954	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0	10	
24	4.41483	24 25	P1010~ SH入口	0.5	"	"	"	1.0	5	
25	4.42	25 26	SH入口~ P1202	0.15	0.4609	4.1234×10^{-1}	1.3725×10^3	0	2	
26	4.27	26 27	P1202~ P1203	0.8	"	"	"	0	9	
27	3.47	27 28	P1203~ 内筒下端	1.1	"	"	"	0	13	
28	2.37	28 29	内筒下端~ P1204	0.1	0.8	5.02655×10^{-1}	1.6196×10^3	0	1	
29	2.27	29 30	P1204~ SH下端	0.5	"	"	"	0	5	
30	1.77	30 31	SH下端 P1011	1.6	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0.42	16	
31	0.17	31 32	P1011~ BE13	0.4	"	"	"	0.41	4	
32	-0.23	32 33	BE13~ T	0.5	"	"	"	0	5	

Table. 3.2 形状寸法に関連するインプットデータ (続)

部材 No	接合点の 高さ	接合 点番 号	要素名	長さ	水力学的 等価直径	流路面積	音速	形状圧 損係数	分割数	備考
—	m	左 右	—	m	m	m ²	m/sec	—		
33	-0.23584	33 34	T~ P1012	5.45	0.2033	3.24612×10^{-2}	1.7436×10^3	0.41	55	
34	-0.29951	34 35	P1012~ BE16	2.61	"	"	"	0.82	26	
35	-0.33	35 36	BE16~ BE17	4.75	"	"	"	0.41	48	
36	4.42	36 37	BE17~ P1013	0.94	"	"	"	0	9	
37	4.42769	37 38	P1013~ Na入口	1.0	"	"	"	1	10	
38	4.44 459	38 39	P1115~ Free Surface	0.12	0.8164	0.98	1.0504×10^3	0	2	Run-3 の場合
39	4.42 457	25 40	SH入口~ 内筒上端	0.15	0.4609	4.1234×10^{-1}	1.3725×10^3	0	2	
40	2.37 457	28 41	内筒下端~ 内筒上端	2.2	0.3185	7.9673×10^{-2}	1.7481×10^3	0	22	
41	-0.40954	6 42	T~ BE18	0.25	0.0527	2.18128×10^{-3}	2.0282×10^3	0	2	
42	-0.65954 -0.65954	42 43	BE18~ DE*	5.4	"	"	"	0.43	47	*DE: DEAD END
43	-0.55074 -0.55074	11 44	T~ DE	0.315	"	"	"	0	3	
44	4.375 4.375	22 45	T~ DE	0.765	"	"	"	0	7	
45	-0.73584	33 46	T~ BE19	0.425	"	"	"	0	3	
46	-0.66084 -0.66084	46 47	BE19~ DE	1.46	"	"	"	0.43	13	

Table. 3.3 計 算 ケ ー ス

Run No	オプションNo (IOPTX)*	液柱分離オプション		Case No
		液柱再結合時の 圧力上昇	次のキャビティ発生 までの時間制限	
3	IOPTX=0	計算しない	計算しない	SW03.05 C.20
	IOPTX=1	計算する	計算しない	SW03.05 C.21
	IOPTX=2	計算しない	計算する	SW03.05 C.22
	IOPTX=3	計算する	計算する	SW03.05 C.23
5	IOPTX=0	計算しない	計算しない	SW05.05 C.20
7	IOPTX=0	計算しない	計算しない	SW07.05 C.03

* IOPTXは、液柱分離計算時のオプション指定整数データの記号である。(Appendix Aを参照)

4. 実験値との比較

4.1 Run-3 実験との比較

Fig. 4.1.1, Fig. 4.1.2 に EV 出口側および EV 入口側の圧力波源の入力波形を各々示す。始めに、液柱分離モデルのオプションのうち $IOPTX=0$ (液柱再結合時の圧力上昇および再結合から次のキャビティ発生までの時間制限をいずれも計算しない場合) の計算と実験値との比較を行なう。計算ケース番号は SW03.05.C.20 である。

Fig. 4.1.3 から Fig. 4.1.10 は、EV 出口から IHX 出口配管までの間にある 8 個の圧力センサの測定値と計算値を比較したものである。

圧力波形の傾向は、配管部に取付けられている P1001 (Fig. 4.1.3), P1002 (Fig. 4.1.4), P1003 (Fig. 4.1.5), P1008 (Fig. 4.1.10) および IHX の P1301 (Fig. 4.1.9) では、実験値と良く合っている。P1004 (Fig. 4.1.6) と P1005 (Fig. 4.1.7) の実験値の第 2 ピークは、計算値では現われていない。このことは、レデューサ上流の P1003 (Fig. 4.1.5) における実験値がレデューサからの膨張波にもかかわらず 2 つのピークを持っているのに対して、計算値では 1 つのピークに合体していることを考えると、レデューサの計算モデル、つまり断面積急縮小モデルが現象に合っていないためと考えられる。P1004 と P1005 の実験値の第 2 のピークは、レデューサにより膨張波が上流へ逆上する効果が計算の場合ほど大きくないことを意味するものと見られる。

P1006 (Fig. 4.1.8) では、実験値の第 1 ピーク波形はピーク近傍で振動しているが、計算値には振動は見られない。P1006 の周辺の圧力センサにはこのような顕著な振動がないので、計測上の問題と考えられる。

次に、液柱分離モデルのオプションで $IOPTX=1$ (液柱再結合時の圧力上昇のみを計算する場合) の計算と実験値との比較を行なう。計算ケース番号は SW03.05.C.21 である。

Fig. 4.1.11 から Fig. 4.1.18 は、圧力センサの測定値と計算値を比較したものである。

$IOPTX=0$ の計算ケースと比較すると、液柱再結合時の圧力上昇の結果として約 0.5 ms 幅の高圧パルスが計算されている。実験データにはこの鋭いパルスは出ていないので、液柱分離モデルでは液柱再結合時の圧力上昇を考慮しない方が実験値とよく合うことがわかる。

最後に、液柱再結合から次のキャビティ発生までの時間制限を行なう場合について検討する。 $IOPTX=2$ の計算は $IOPTX=0$ の計算にこの時間制限を加えた場合であり、また $IOPTX=3$ の計算は $IOPTX=1$ の計算にこの時間制限を加えた場合である。計算ケース番号は、 $IOPTX=2$ の計算が SW03.05.C.22, $IOPTX=3$ の計算が SW03.05.C.23 である。

Fig. 4.1.19, Fig. 4.1.20は、 $IOPTX=2$ の計算値とP1001, P1003での測定値を比較したものであり、 $IOPTX=0$ の計算結果と比較しても (Fig. 4.1.3, Fig. 4.1.5) ほとんど差がない。従って、液柱再結合から次のキャビティ発生までの時間制限は行なう必要のないことがわかる。また、Fig. 4.1.21, Fig. 4.1.22に $IOPTX=3$ の計算値とP1001, P1003での測定値を比較したが、この場合も $IOPTX=1$ の計算結果 (Fig. 4.1.11, Fig. 4.1.13) とほとんど差がない。

以上の検討から、液柱分離モデルでは、液柱再結合時の圧力上昇および次のキャビティ発生までの時間制限のいずれも計算しない場合 ($IOPTX=0$) に実験値と最もよく合うことがわかった。

ところで、Fig. 4.1.3から4.1.22までを見ると第1ピークの発生時刻は、すべての圧力センサにおいて計算値の方が実験値よりもはやくなっている。この原因は、圧力波伝播速度が計算値よりも実験ではおそくなっているためか、または、収録装置が圧力波源 (P1111) のものと配管系のものとで異なっているため、データの記録スタート時点に差が生じてしまったものと考えられる。そこで、オプションNo.1のケースにおいて、P1001での計算値の第1ピーク時刻を実験値に合わせた場合の各圧力センサの測定値と計算値の比較をAppendix Dに示した。この場合実験値との一致は更に改善されているため、データ収録装置のゼロ点のずれが第1ピーク発生時刻のずれを起こしているものと考えられる。

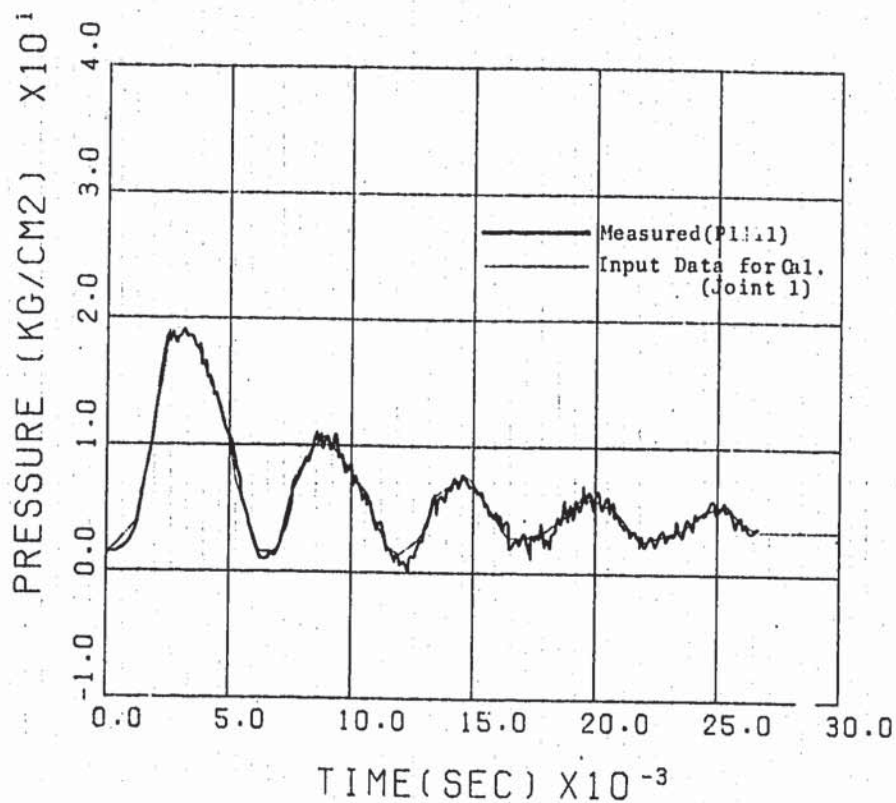


FIG. 4.1.1 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN EV (P1111-SOURCE PRESSURE)

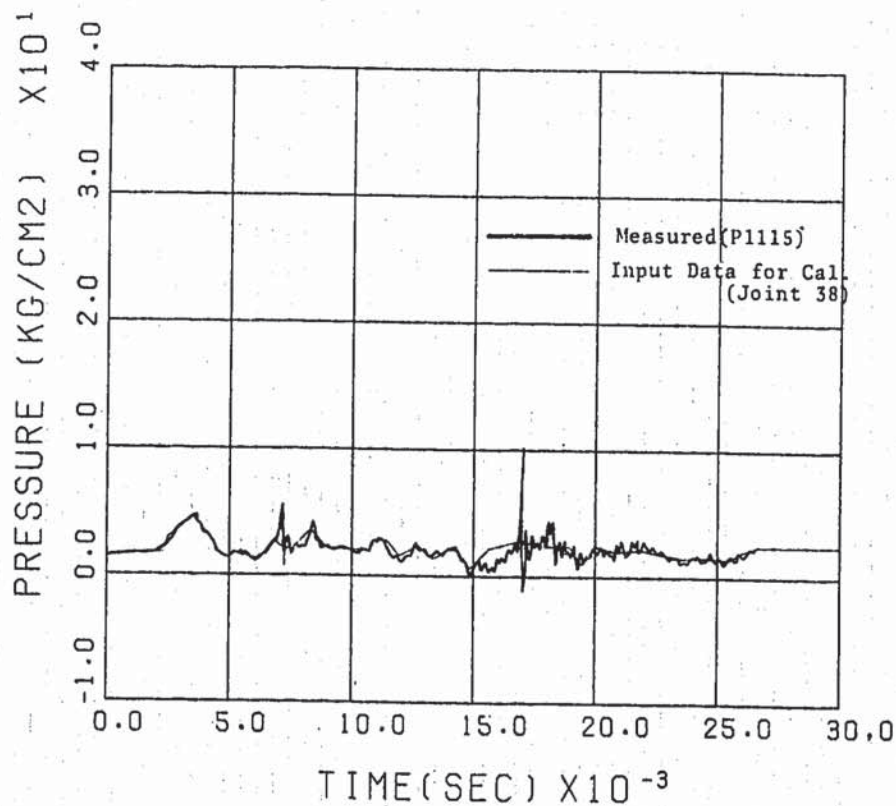


FIG. 4.1.2 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN EV (P1115-SOURCE PRESSURE)

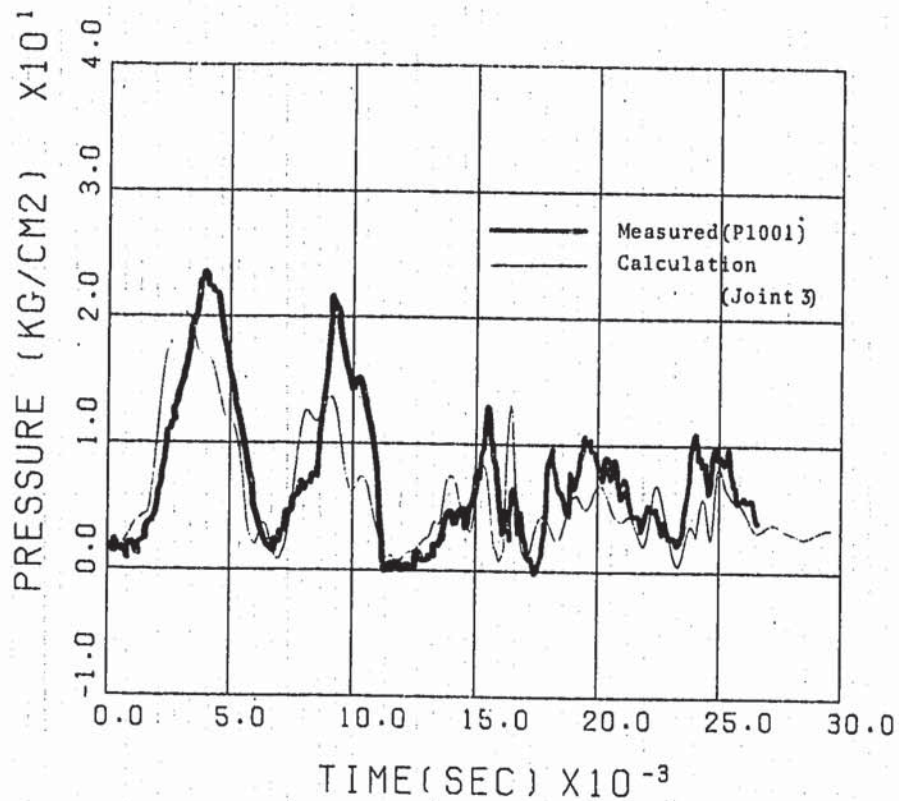


FIG. 4.1.3 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

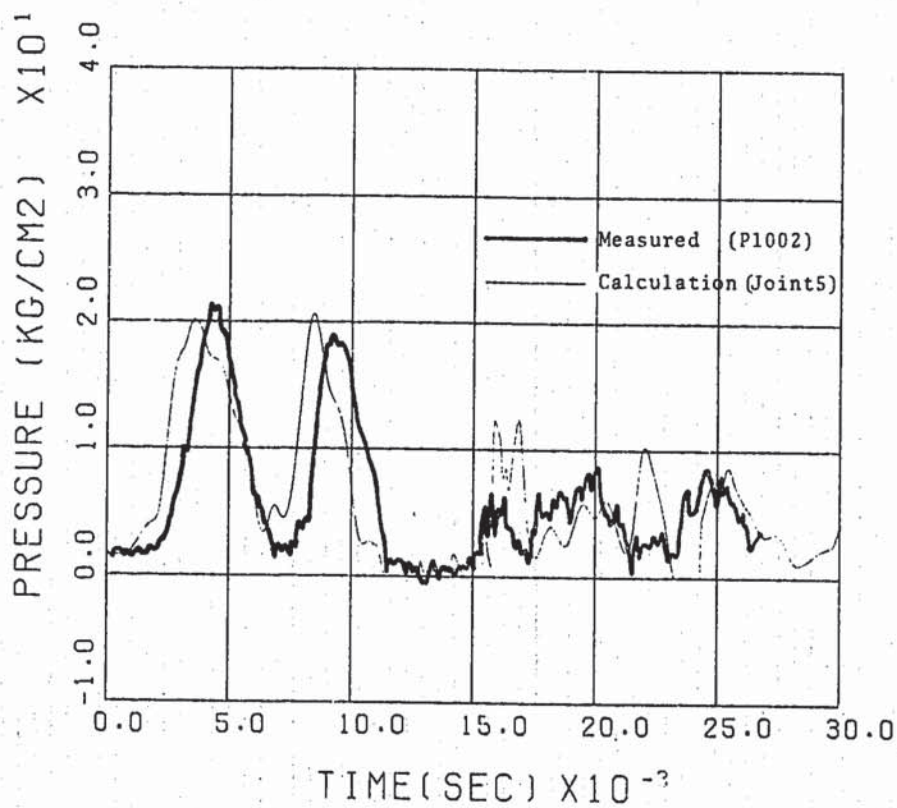


FIG. 4.1.4 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1002)

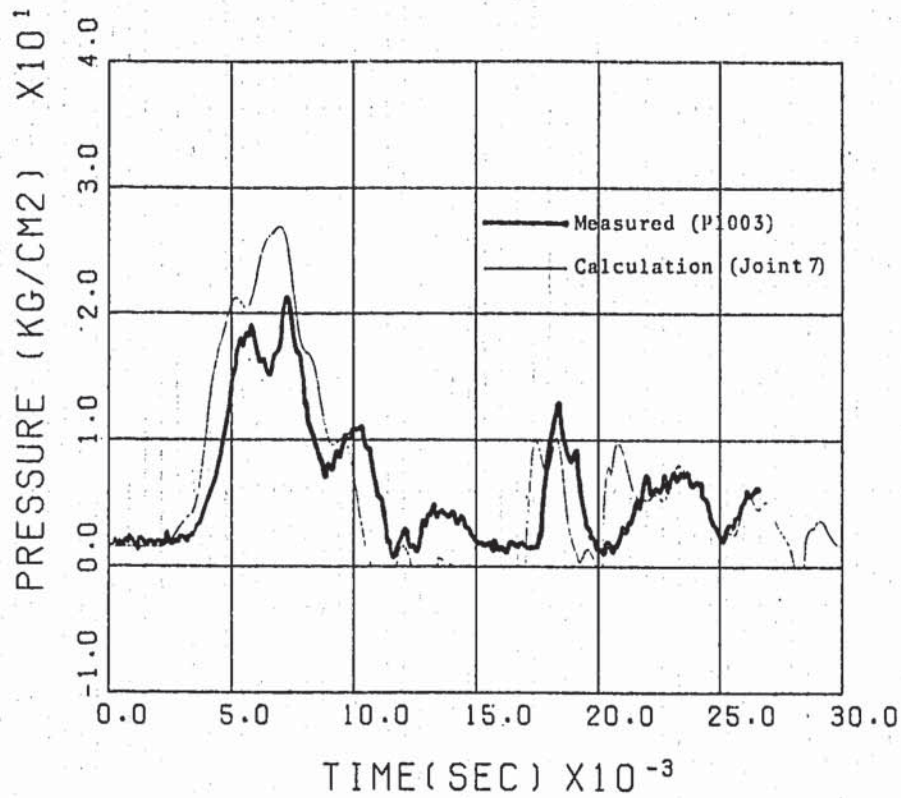


FIG. 4.1.5 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

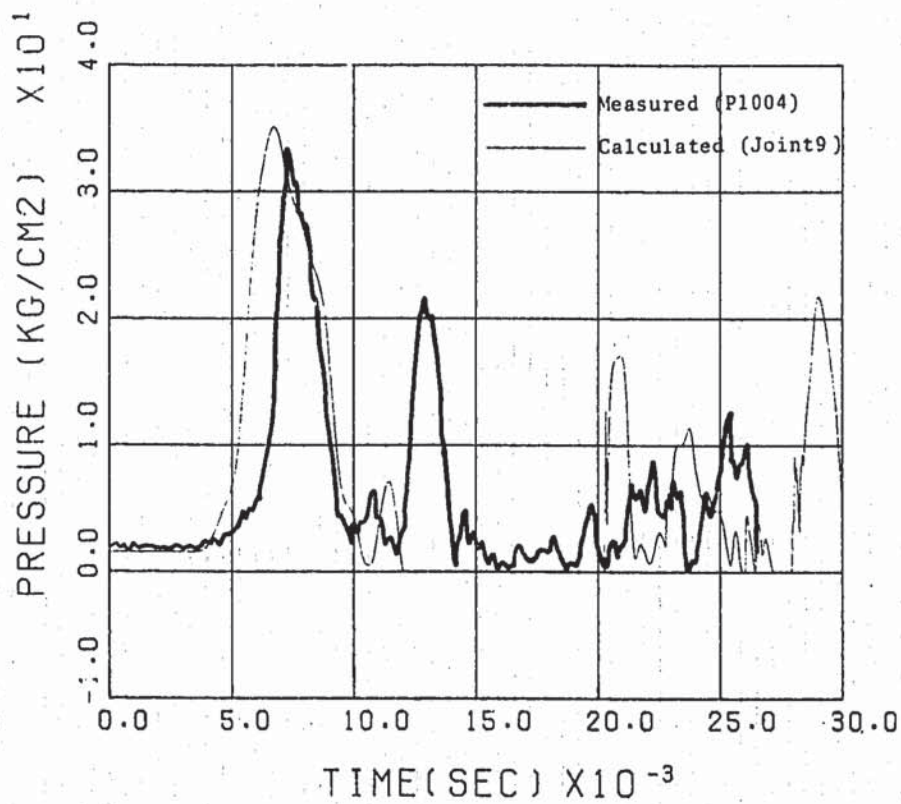


FIG. 4.1.6 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1004)

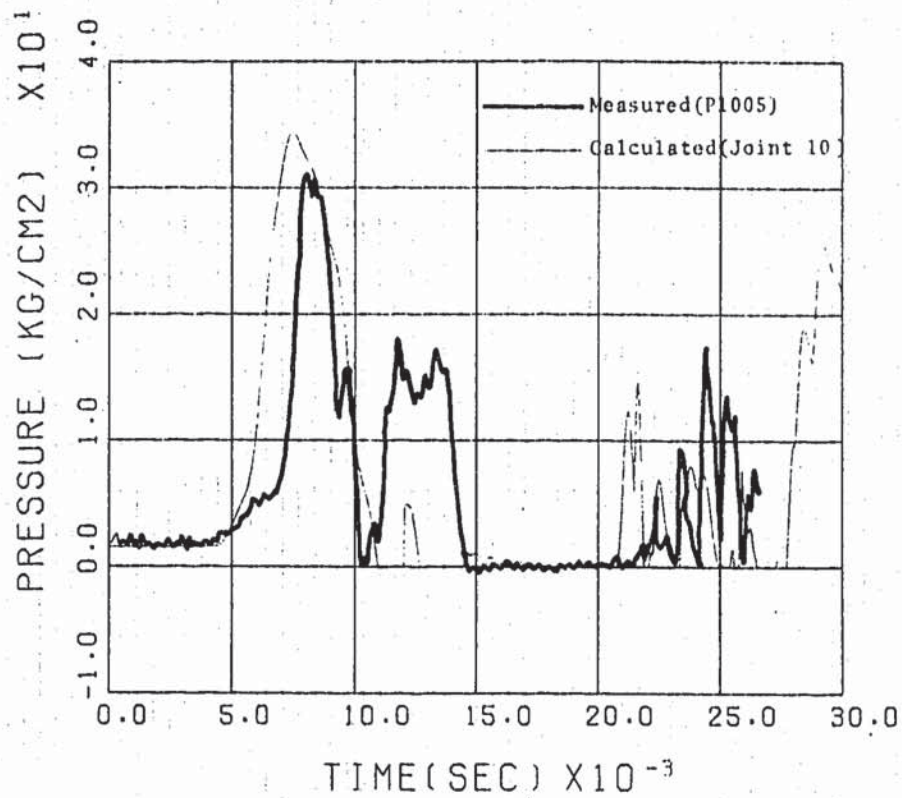


FIG. 4.1.7 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1005)

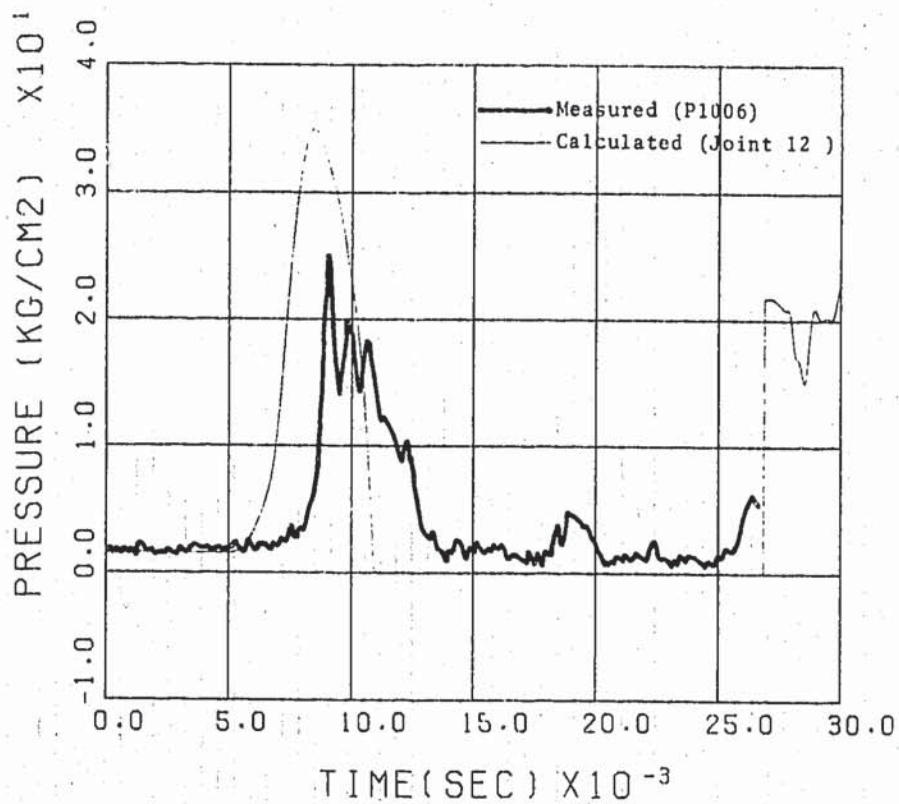


FIG. 4.1.8 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1006)

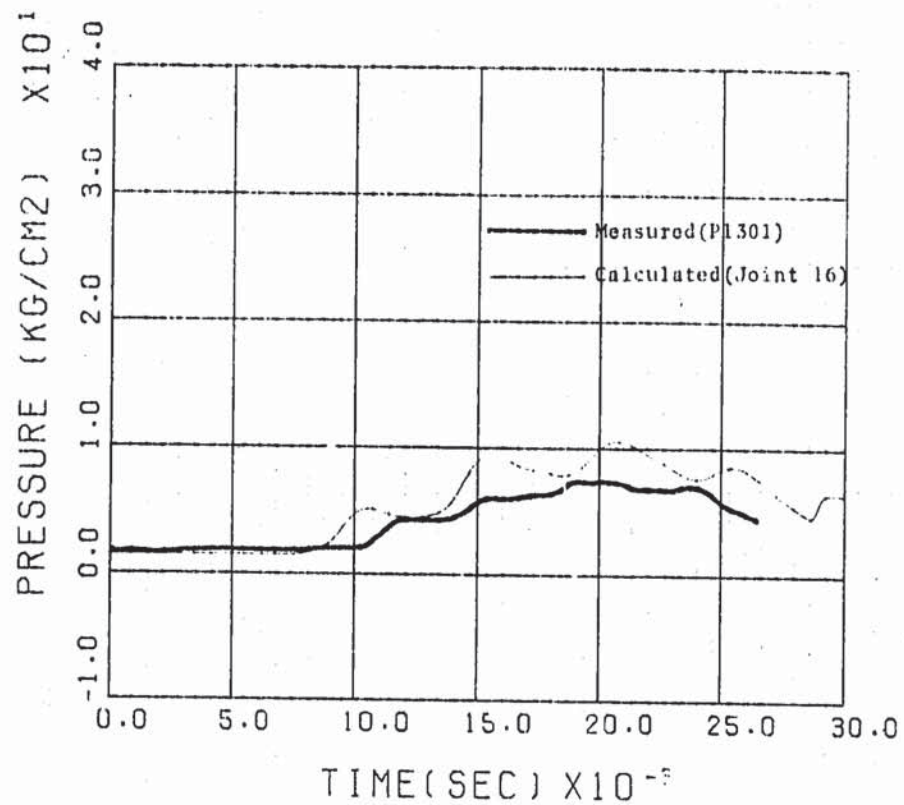


FIG. 4.1.9 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN IHX (P1301)

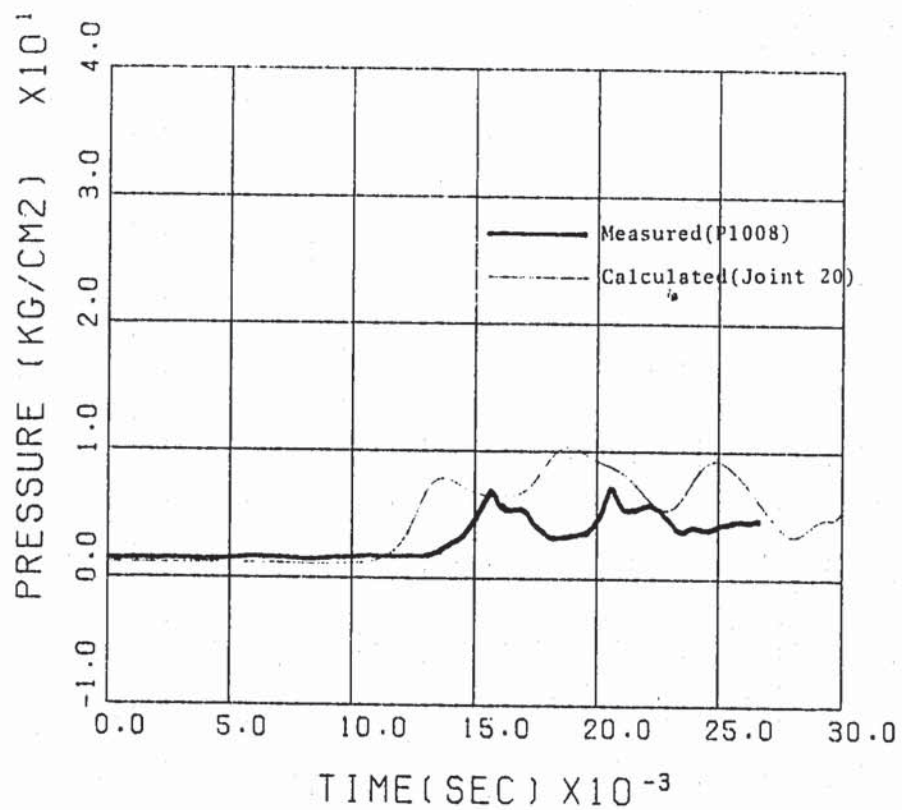


FIG. 4.1.10 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1008)

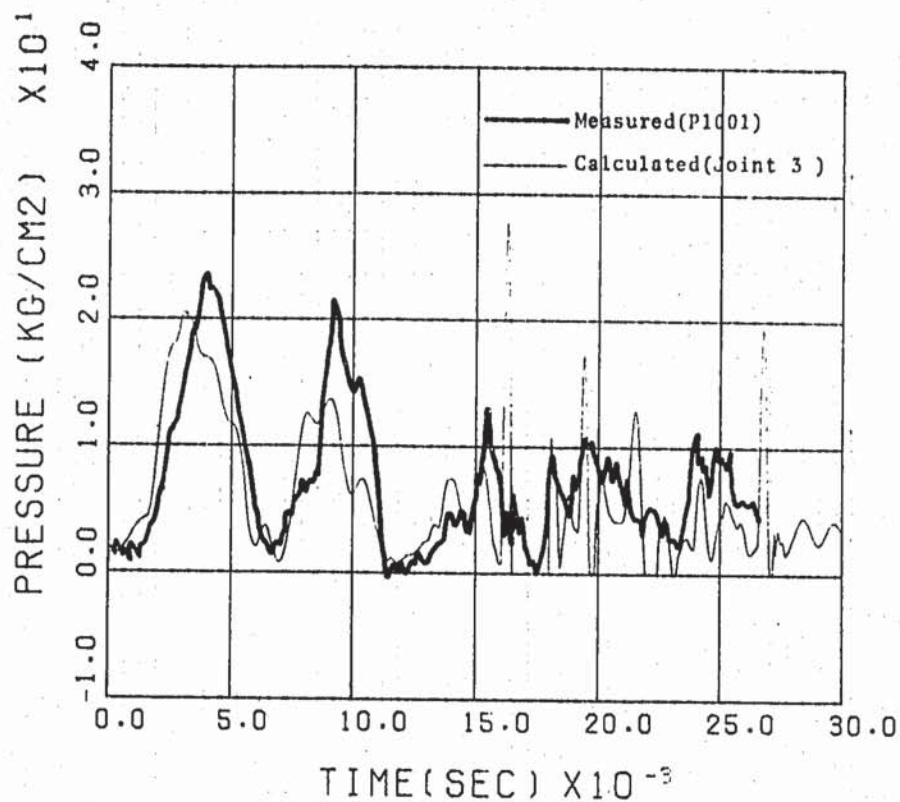


FIG. 4.1.11 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

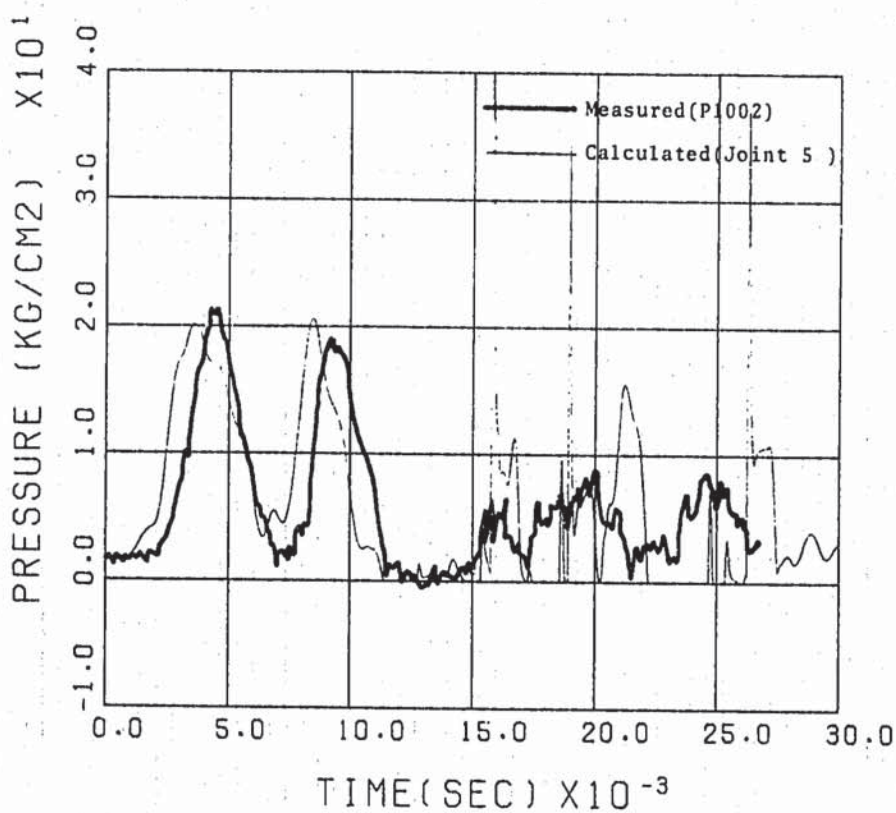


FIG. 4.1.12 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1002)

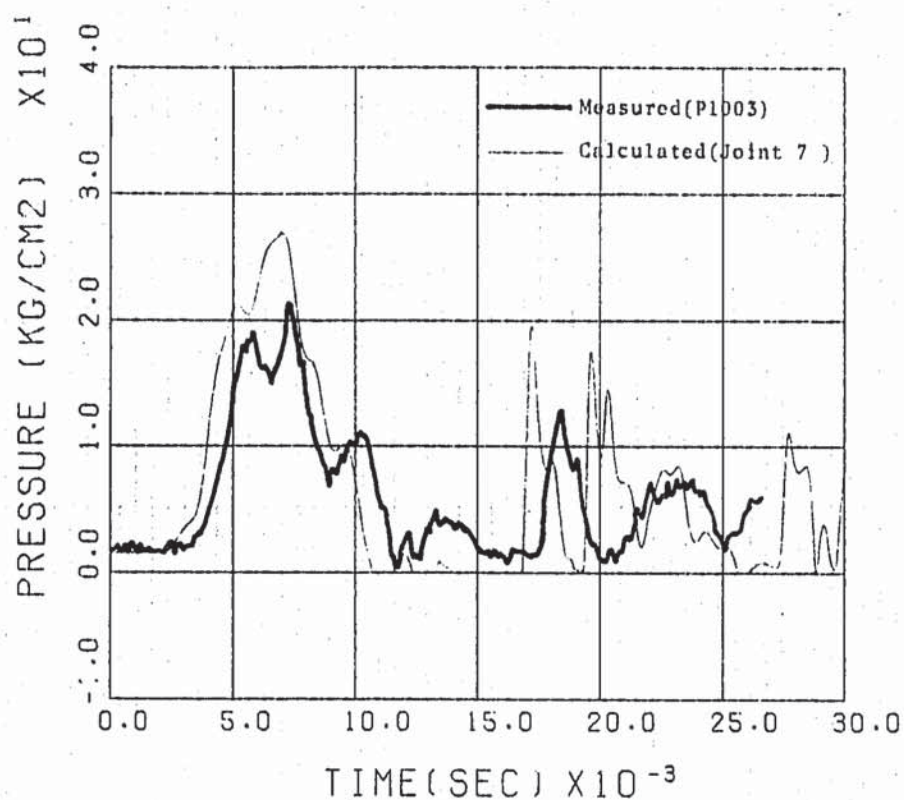


FIG. 4.1.13 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

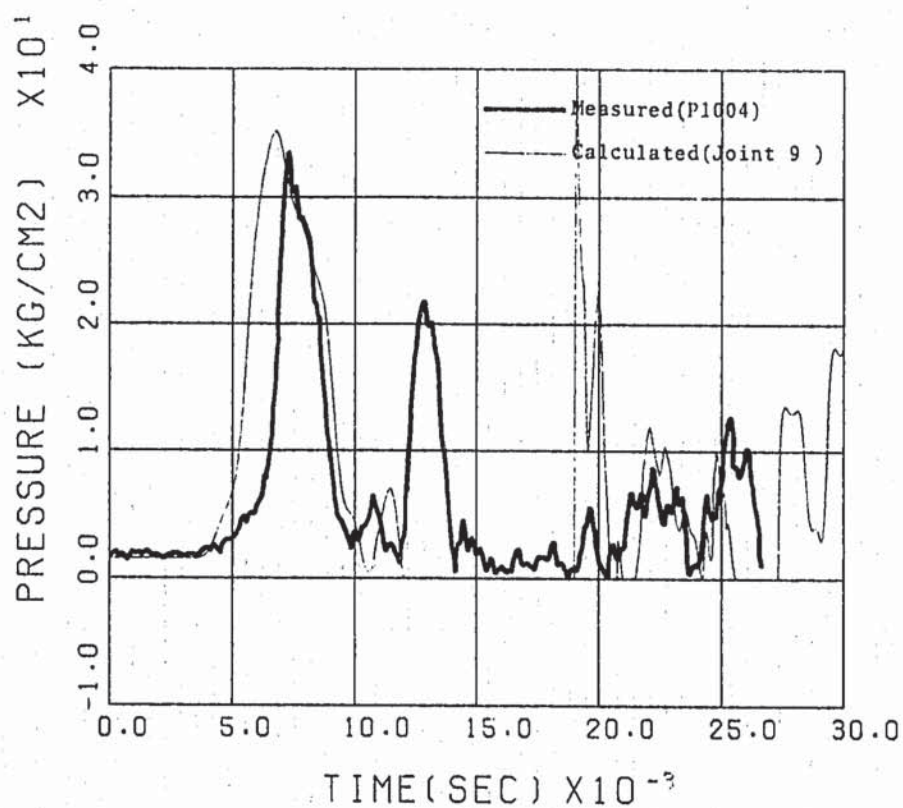


FIG. 4.1.14 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1004)

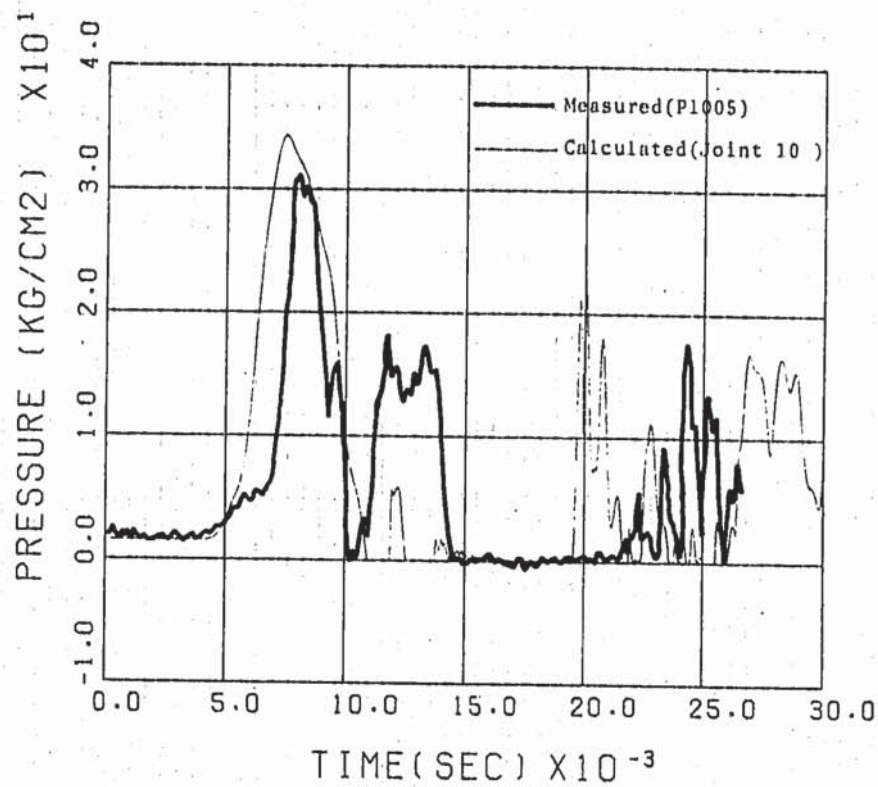


FIG. 4.1.15 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1005)

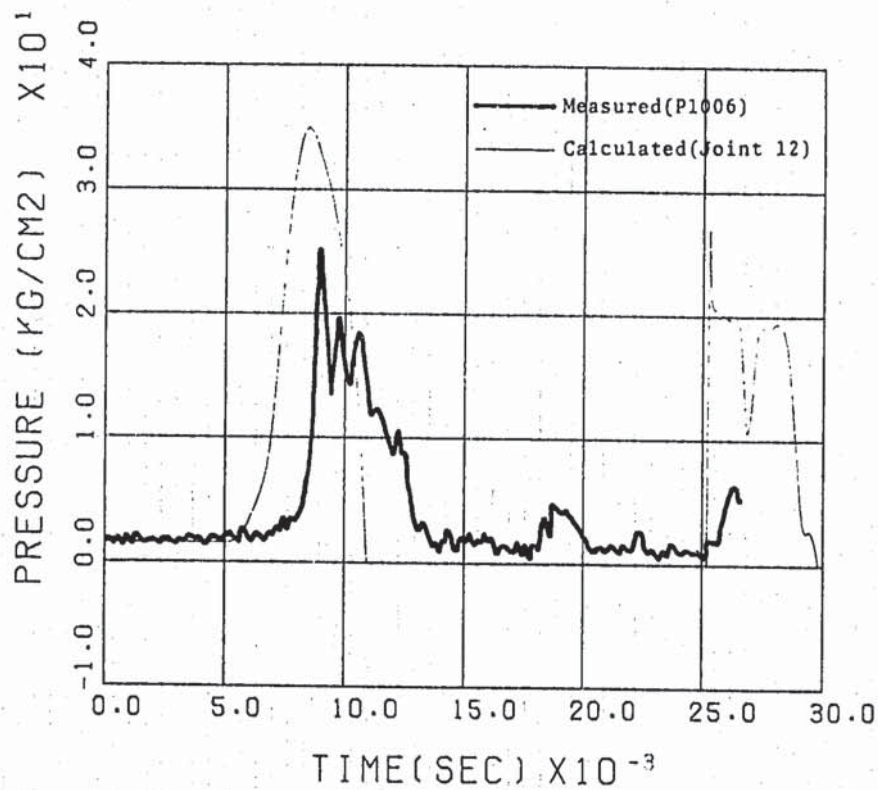


FIG. 4.1.16 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1006)

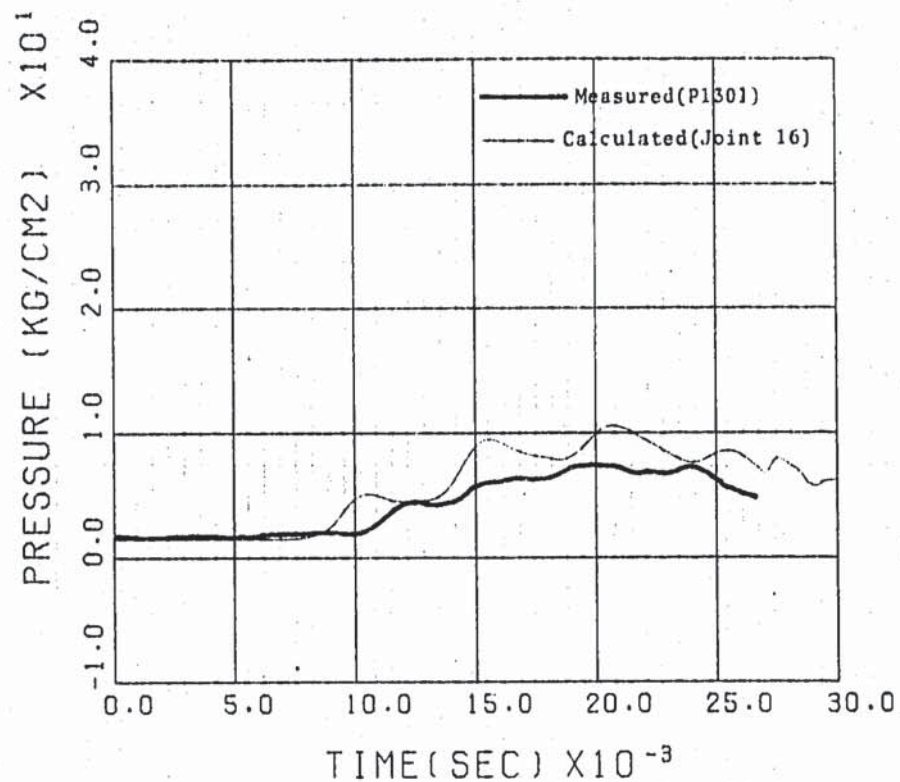


FIG. 4.1.17 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN IHX (P1301)

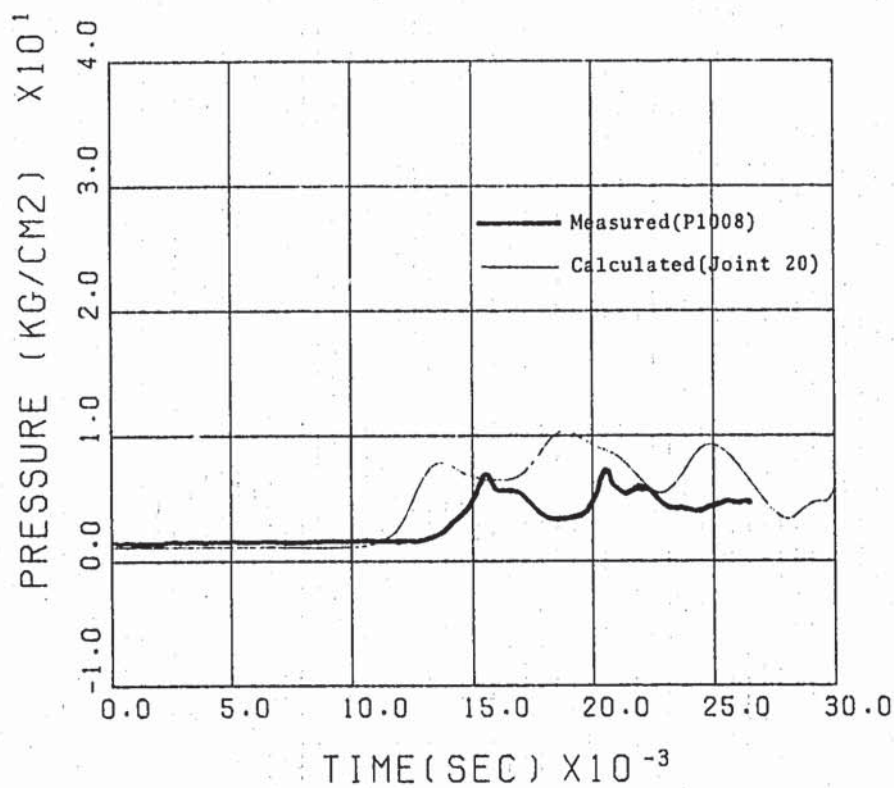


FIG. 4.1.18 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C21)
PRESSURE IN PIPING (P1008)

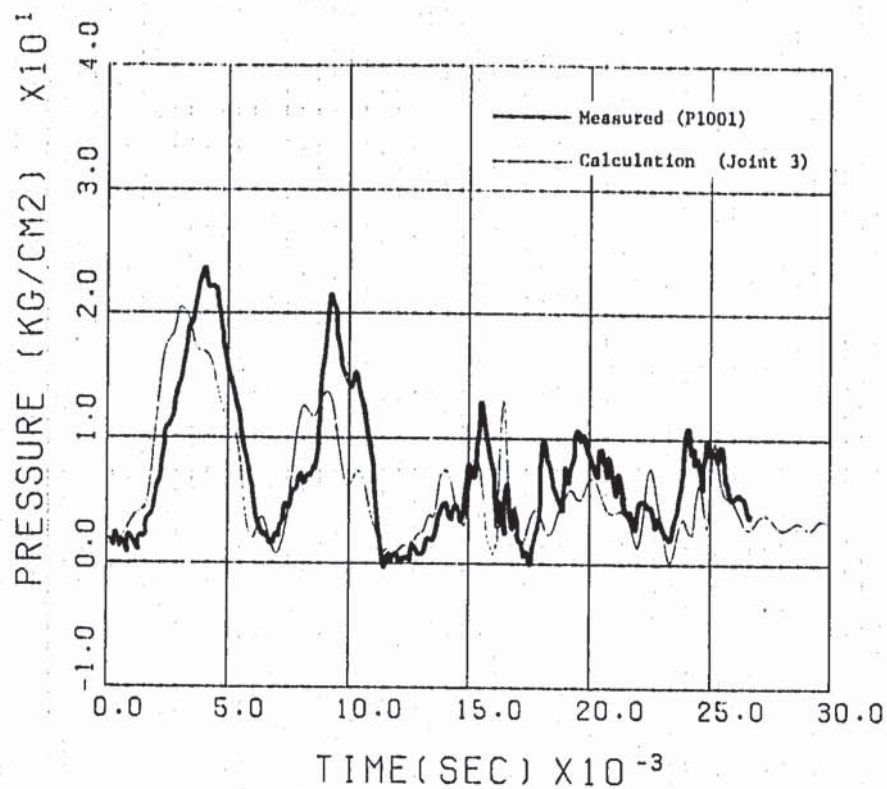


FIG. 4.1.19 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C22)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

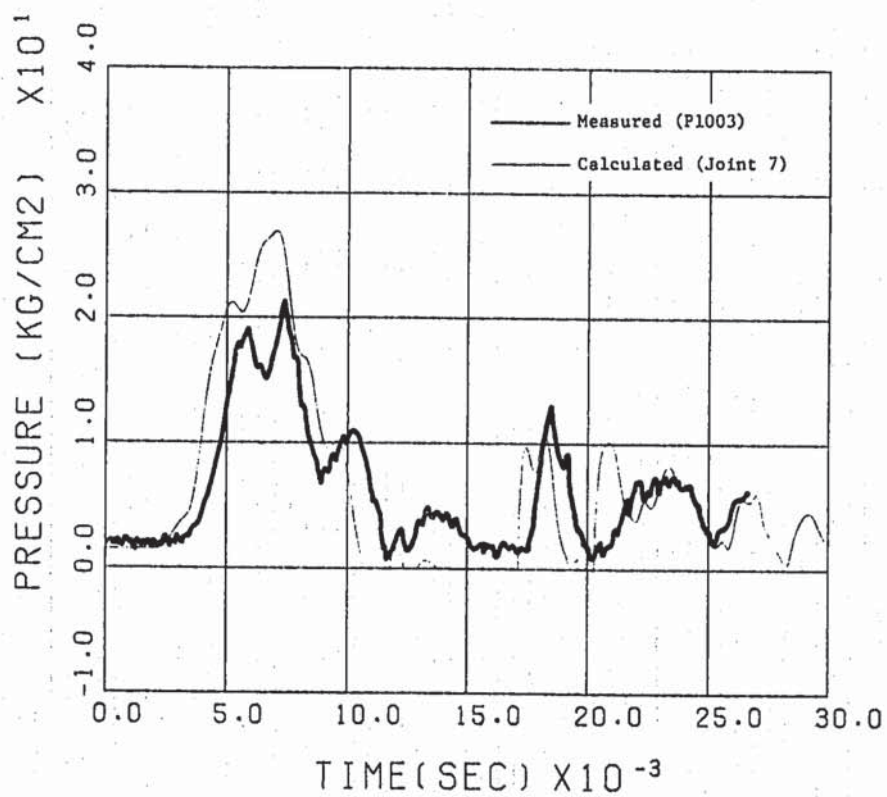


FIG. 4.1.20 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C22)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

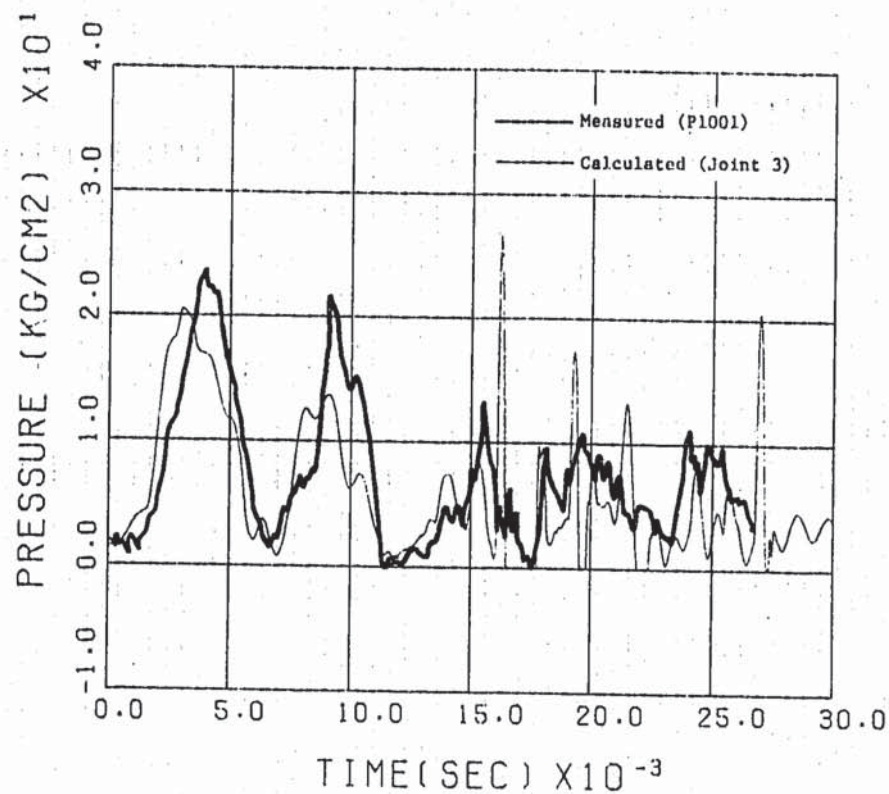


FIG. 4.1.21 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C23)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

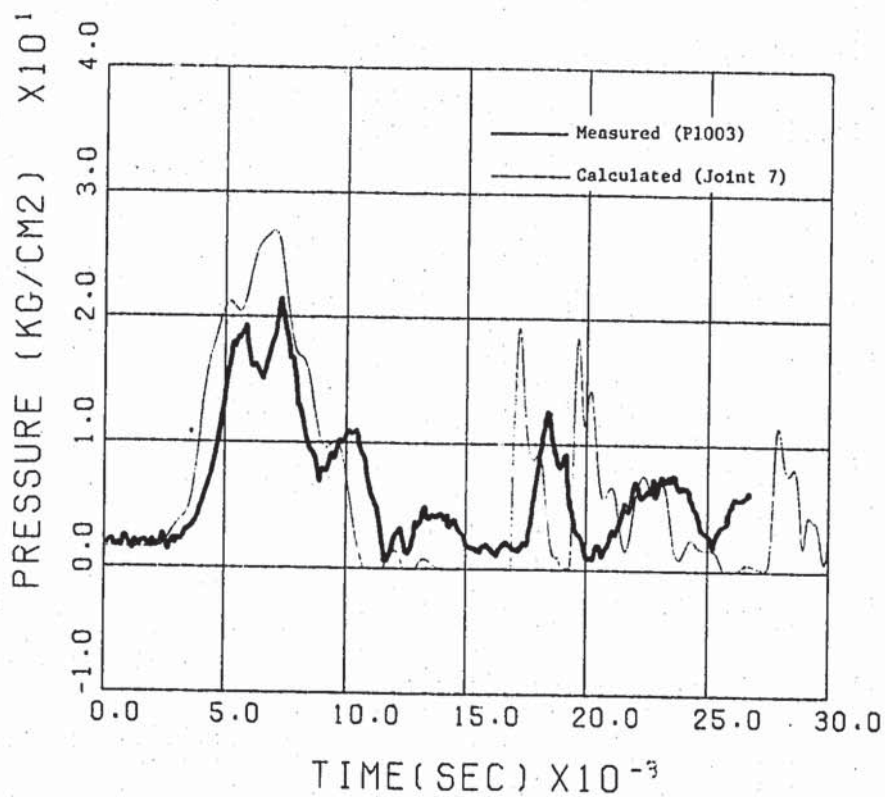


FIG. 4.1.22 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C23)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

4.2 Run -- 5 実験との比較

4.1 節での検討結果から, $IOPTX = 0$ の条件にて計算値と実験値との比較を行なう。

Fig. 4.2.1 および Fig. 4.2.2 に EV 出口側および EV 入口側の圧力波源の入力波形を各々に示す。Fig. 4.2.3 から Fig. 4.2.7 に計算ケース番号, SW05.05.C.20 の計算値と実験値との比較を示す。

P1002 (Fig. 4.2.3) の 10 ms までの波形を除いて, その他の圧力センサの第 1 ピーク波形は実験値と良く合っている。P1004 (Fig. 4.2.4), P1005 (Fig. 4.2.5) および P1006 (Fig. 4.2.6) では, 液柱分離により飽和圧力になった後の第 2 のピークは, 実験値では計算値より早くあらわれる。これは液柱分離のキャビティ界面移動計算の誤差のためと考えられる。Run-5 では注水率が大きかったため (Table. 2.1 参照) 比較的高圧の圧力パルスが配管系に伝播しておりこれによって引き起こされる流速変化も大きい。従って界面移動計算に対して誤差を生じたものと思われる。

IHX の P1301 (Fig. 4.2.7) では, 波形はよく合っている。

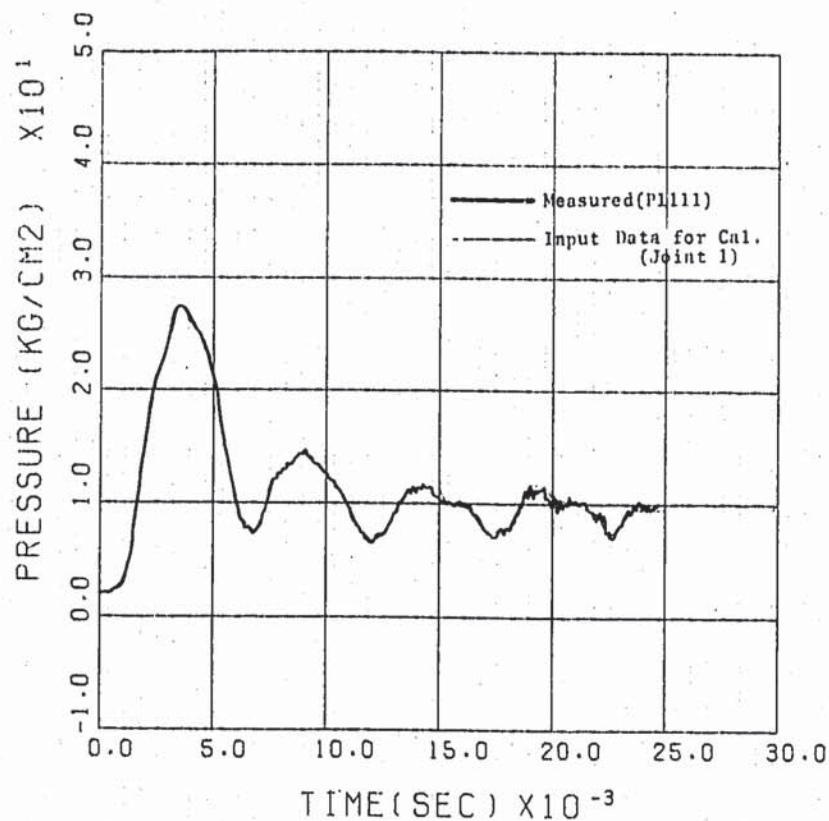


FIG. 4.2.1 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN EV (P1111-SOURCE PRESSURE)

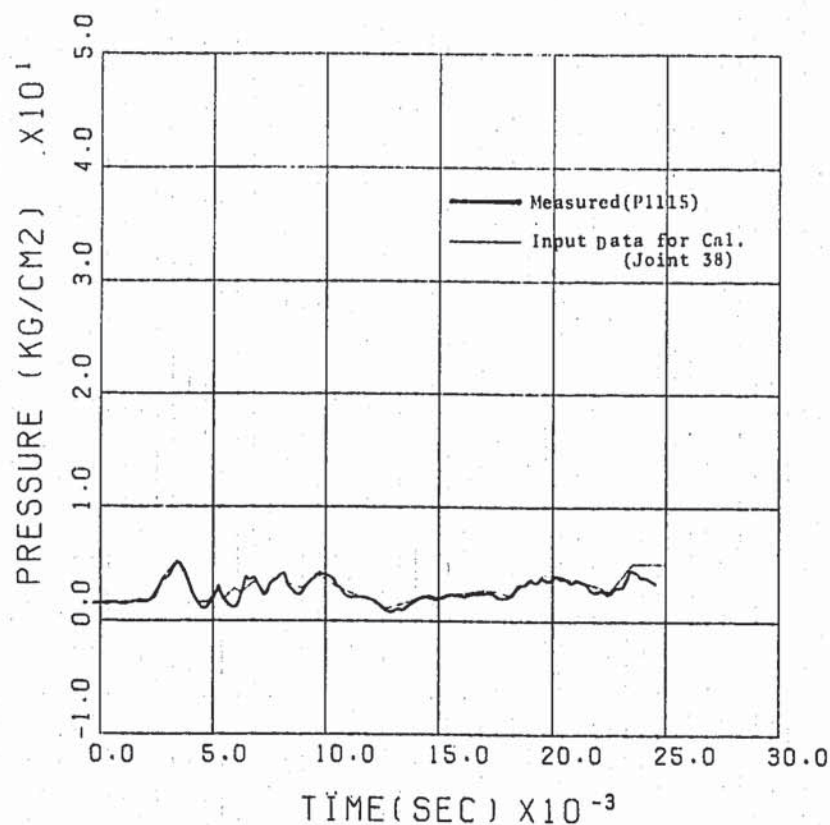


FIG. 4.2.2 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN EV (P1115-SOURCE PRESSURE)

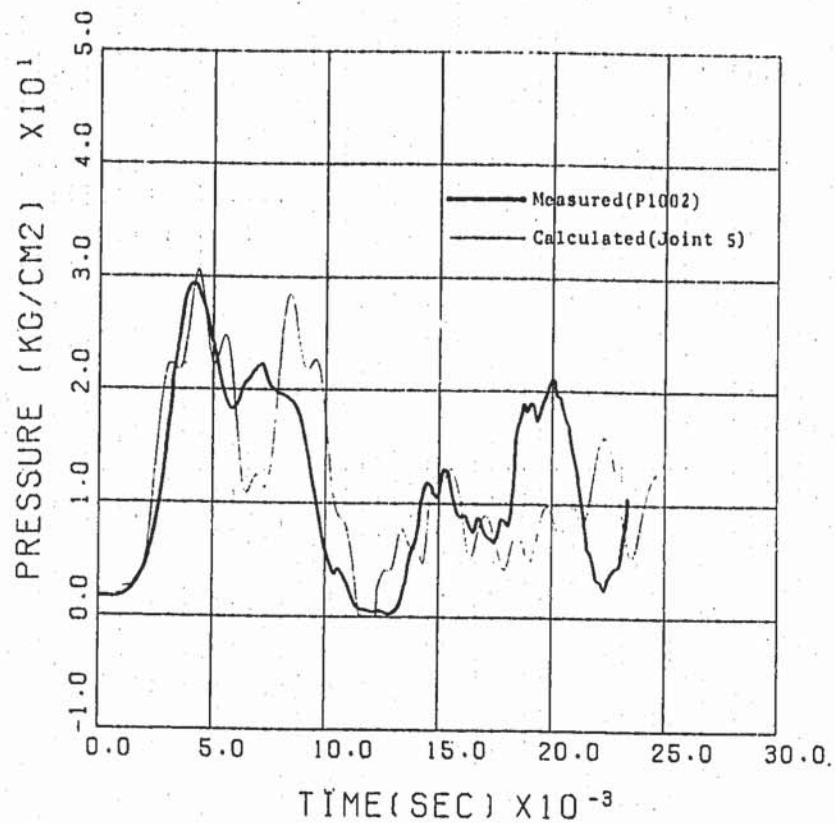


FIG. 4.2.3 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1002)

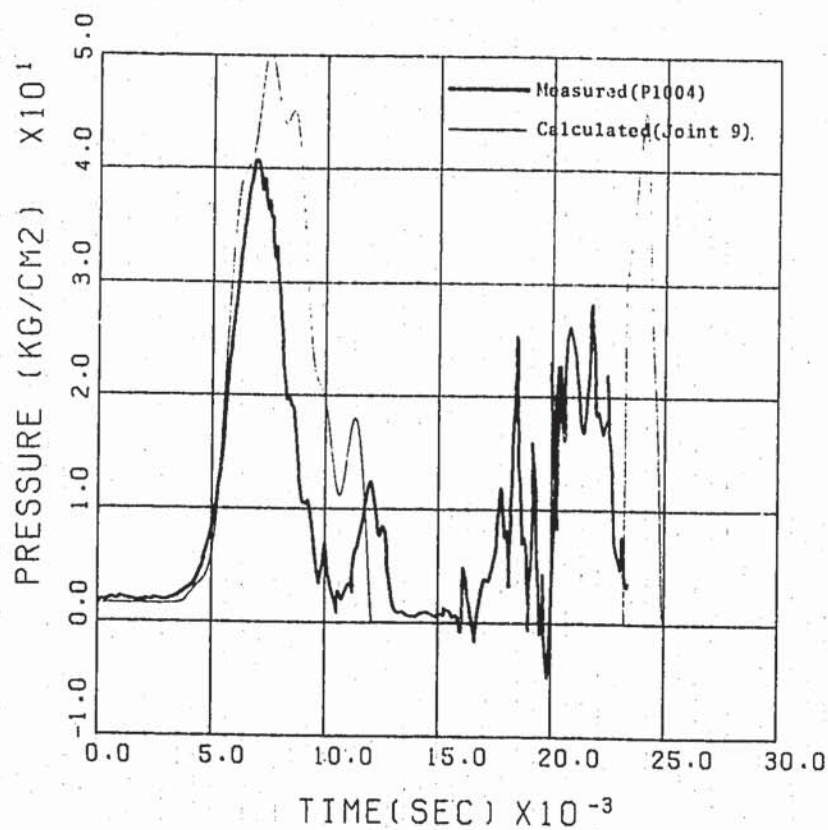


FIG. 4.2.4 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1004)

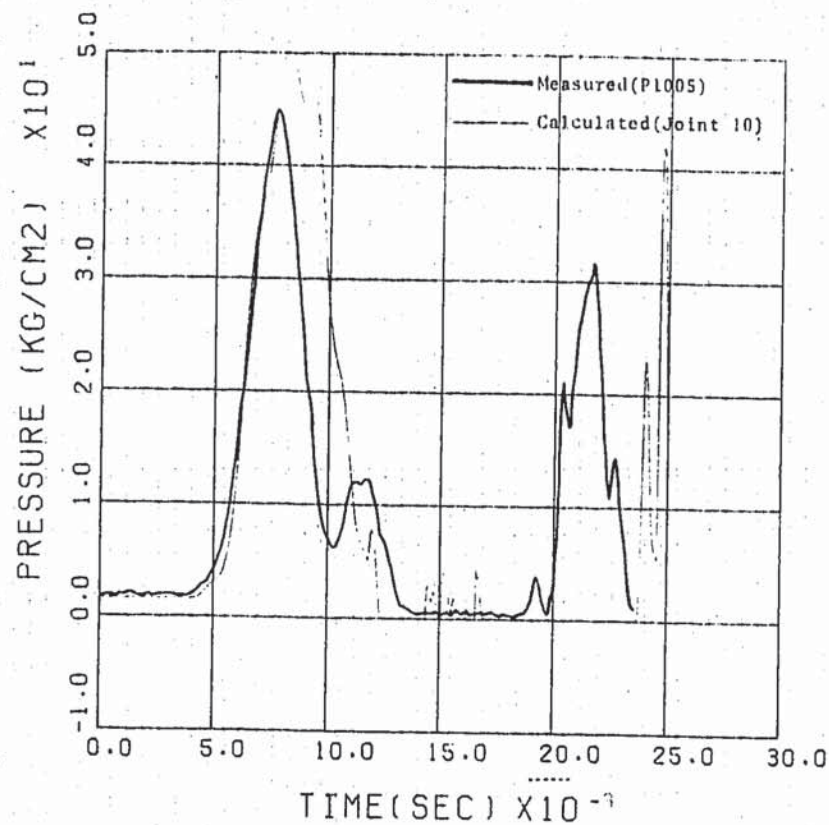


FIG. 4.2.5 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1005)

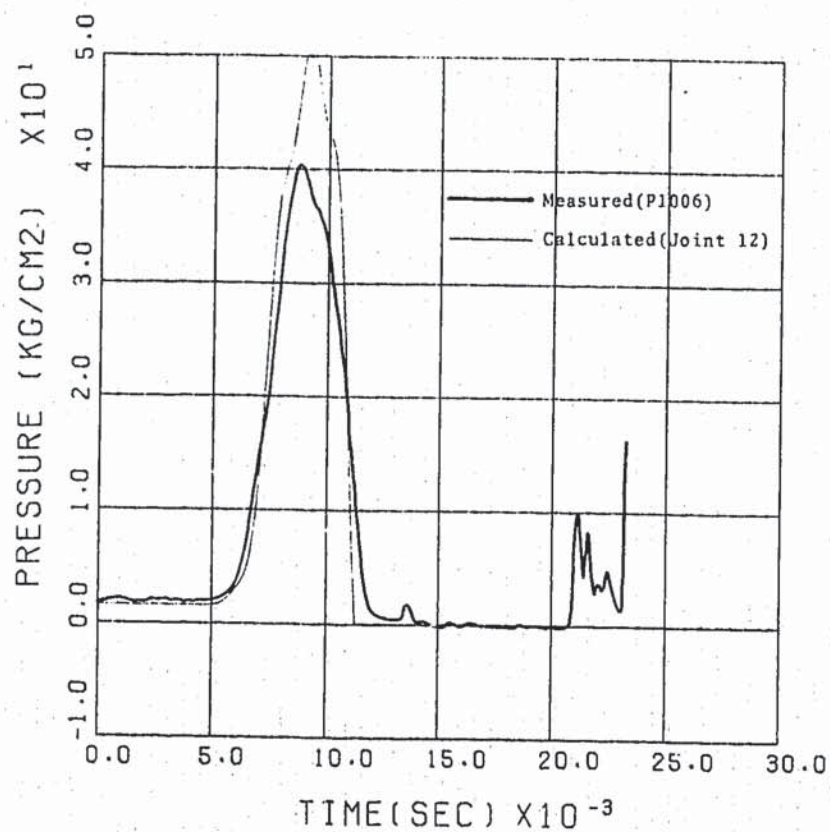


FIG. 4.2.6 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1006)

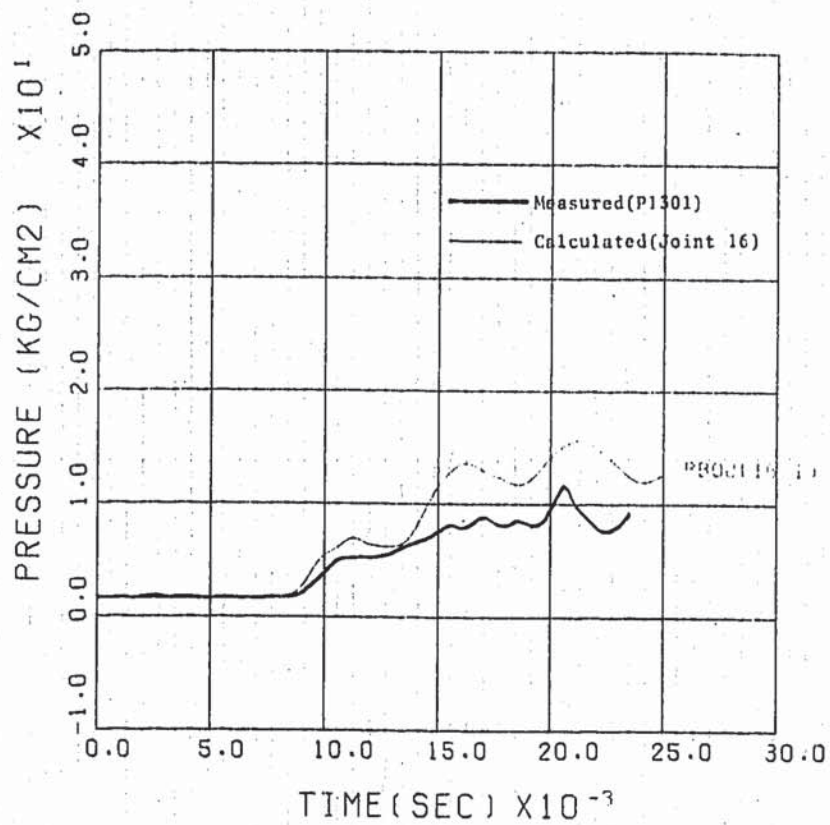


FIG. 4.2.7 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW05.05.C20)
PRESSURE IN IHX (P1301)

4.3 Run-7 実験との比較

IOPTX = 0 の条件にて計算値と実験値との比較を行なう。

Fig. 4.3.1 および Fig. 4.3.2 は、それぞれ EV 出口側および EV 入口側の圧力波源の入力波形である。Fig. 4.3.3 から Fig. 4.3.10 には、計算ケース番号 SW 07.05.C.03 の計算値と実験値との比較を示す。

計算値に現われている小さな振動成分を除けば、圧力波形は非常によく一致している。液柱分離後の圧力上昇発生時刻も計算と実験との一致がよい。

圧力発生源から遠ざかるにつれて、第 1 の圧力パルス発生時刻が実験値の場合遅れてくるが、Run-3 の場合とは違い圧力波伝播速度に起因するものと考えられる。

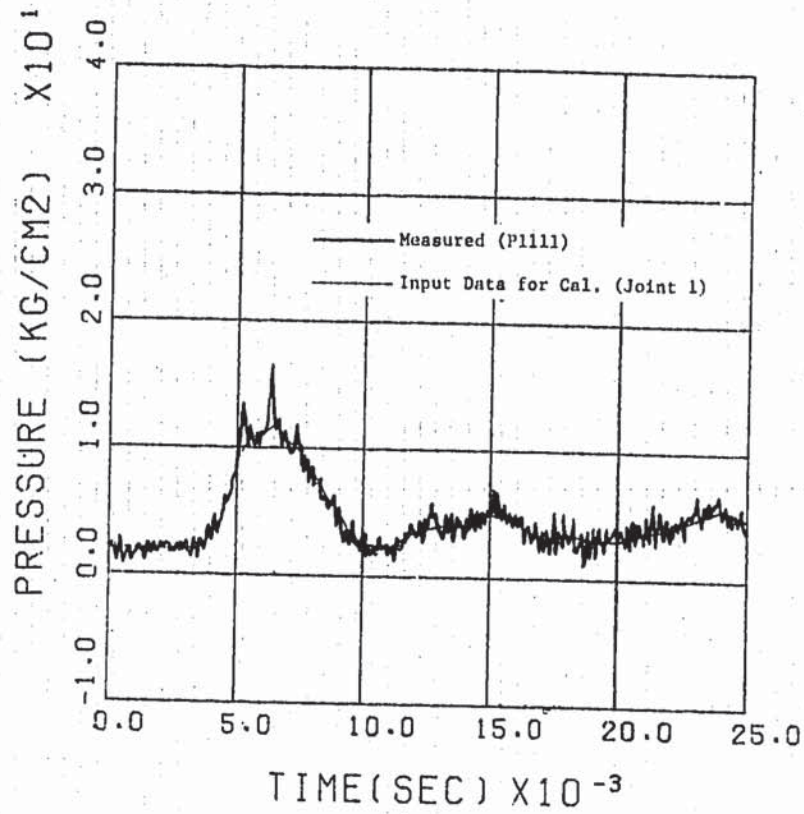


FIG. 4.3.1 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN EV (P1111-SOURCE PRESSURE)

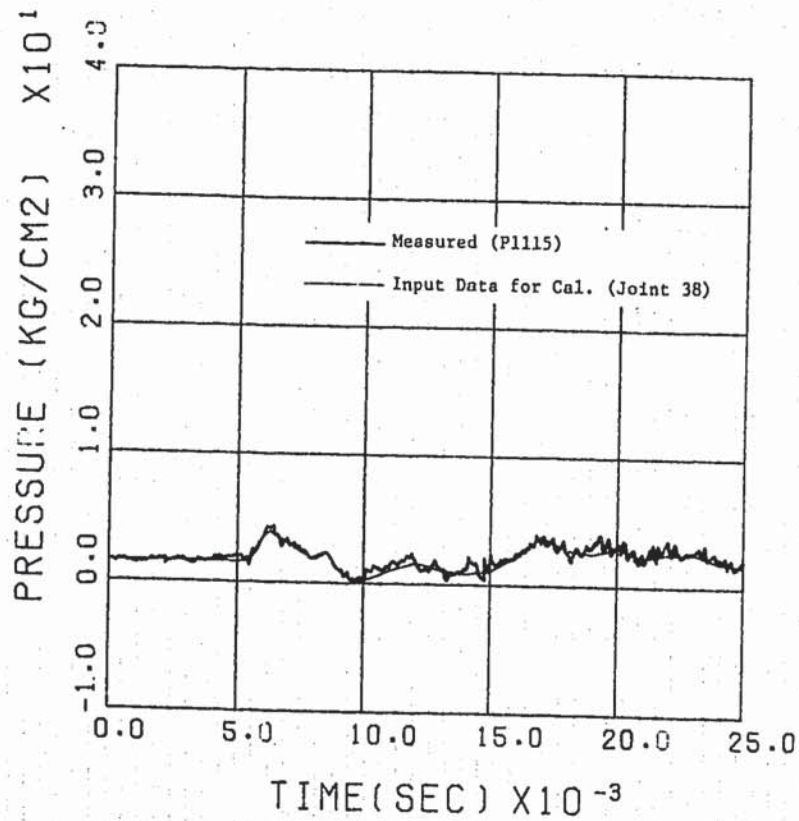


FIG. 4.3.2 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN EV (P1115-SOURCE PRESSURE)

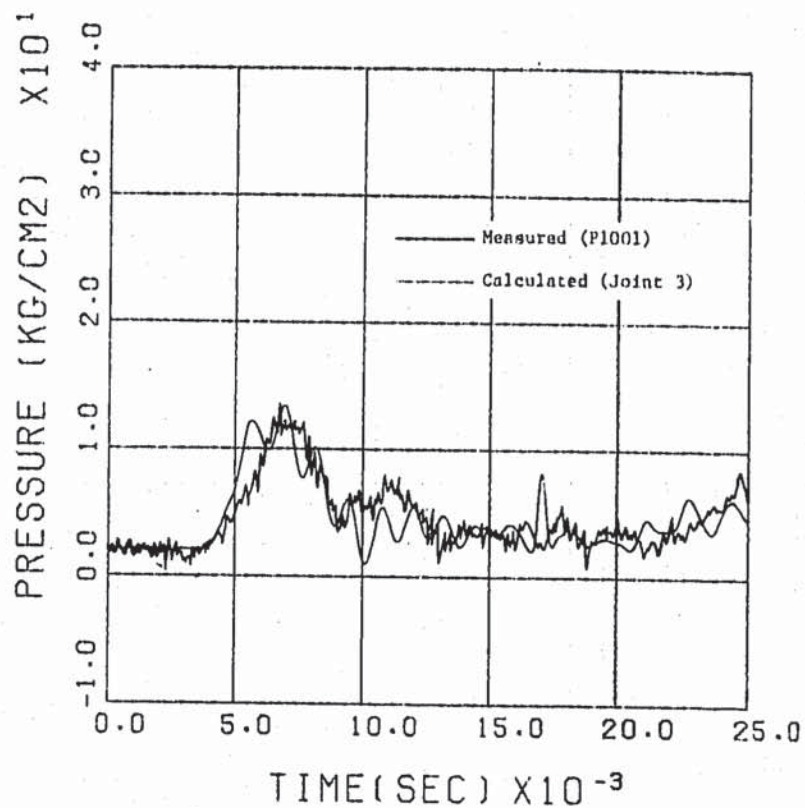


FIG. 4.3.3 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

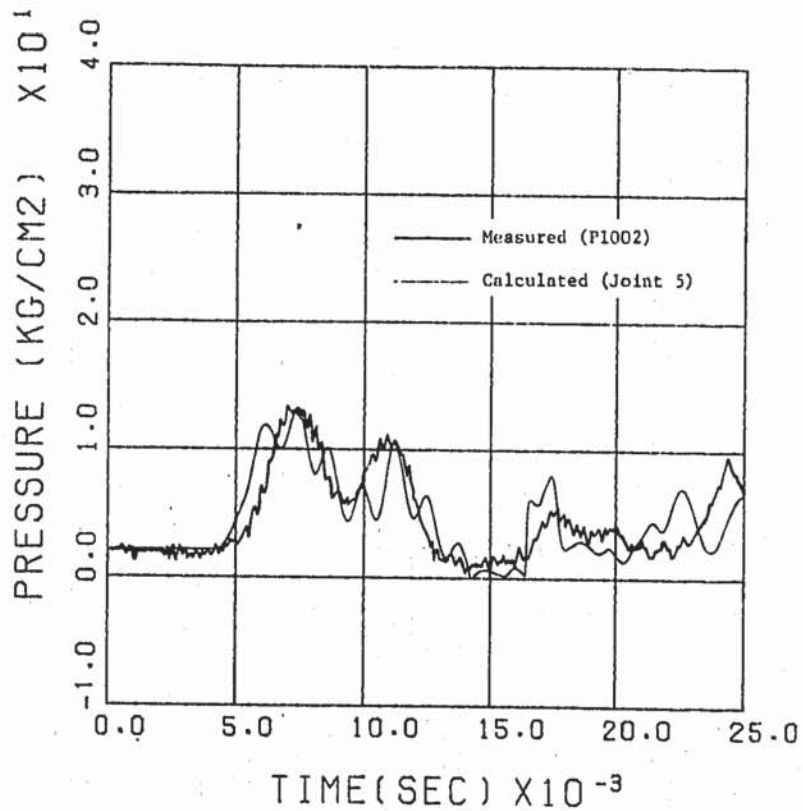


FIG. 4.3.4 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1002)

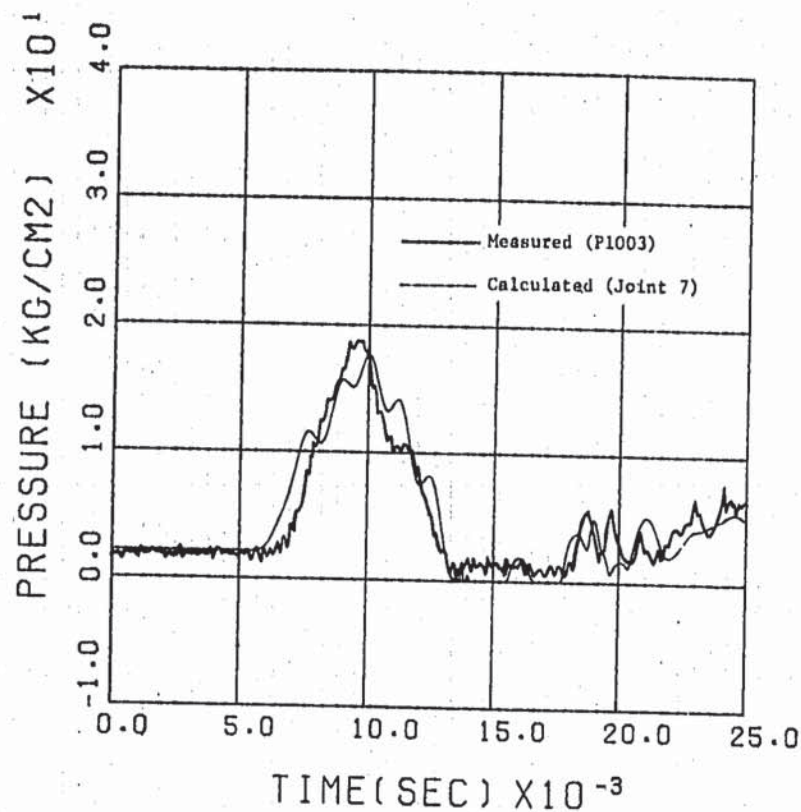


FIG. 4.3.5 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

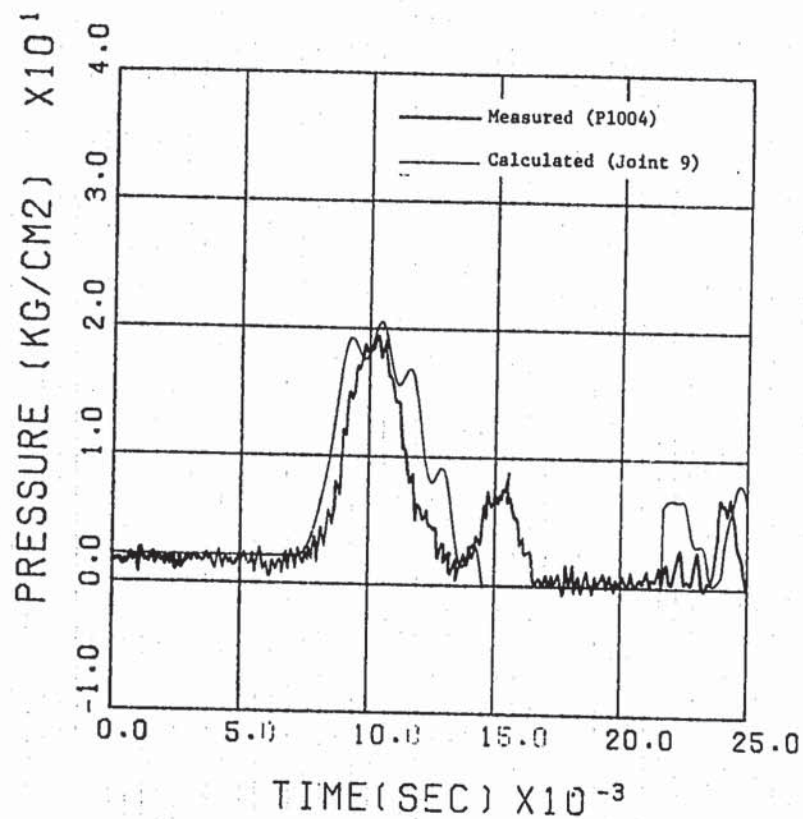


FIG. 4.3.6 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1004)

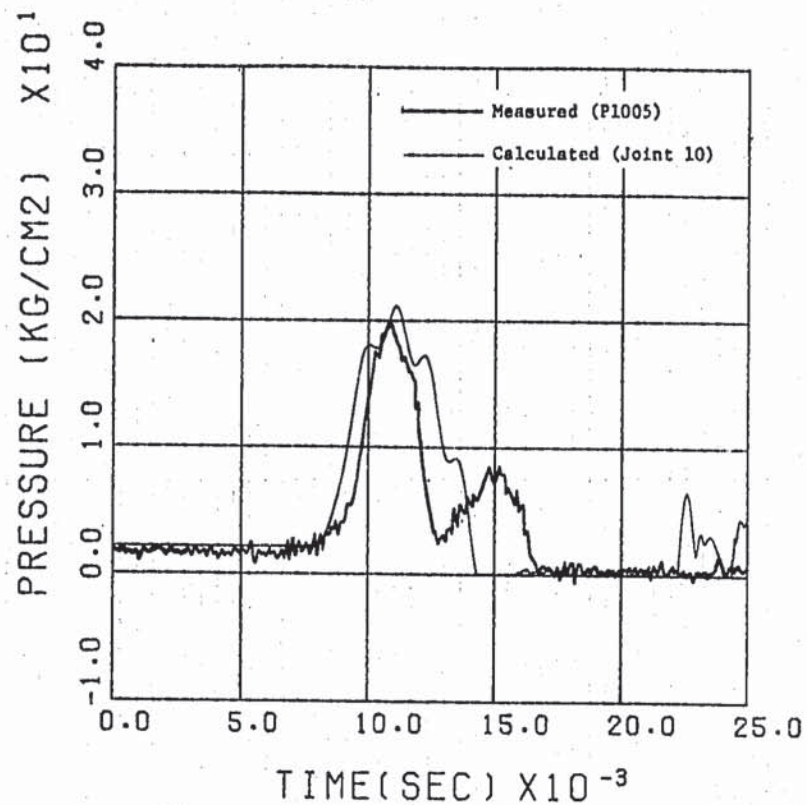


FIG. 4.3.7 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1005)

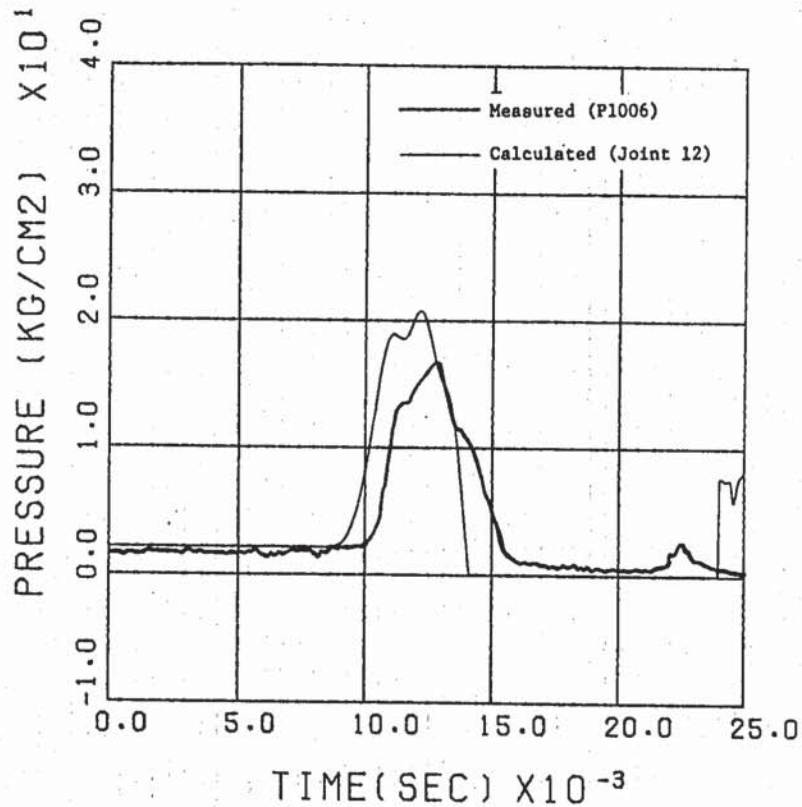


FIG. 4.3.8 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1006)

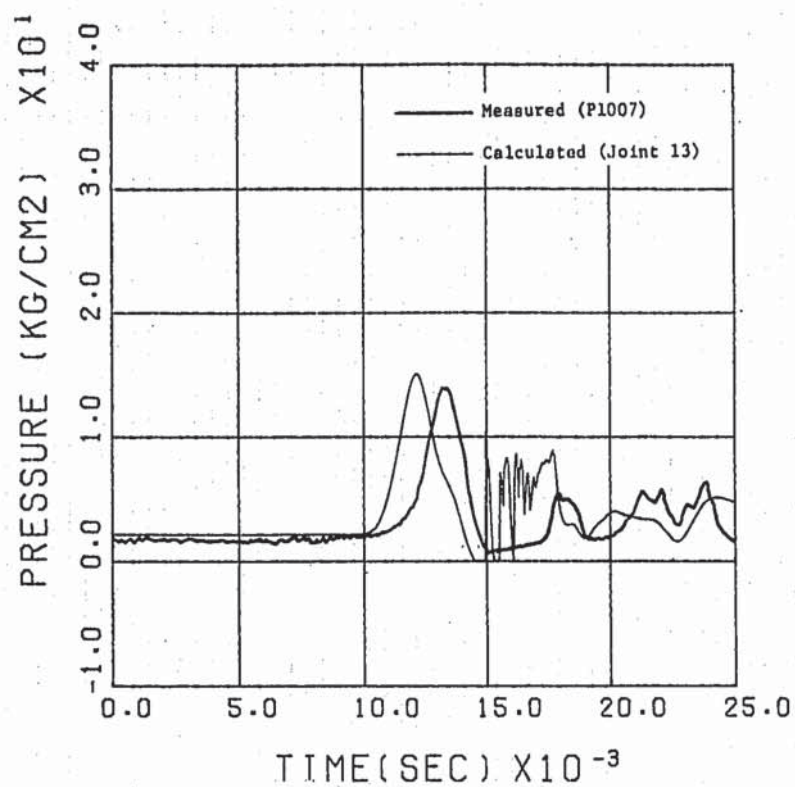


FIG. 4.3.9 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN PIPING (P1007)

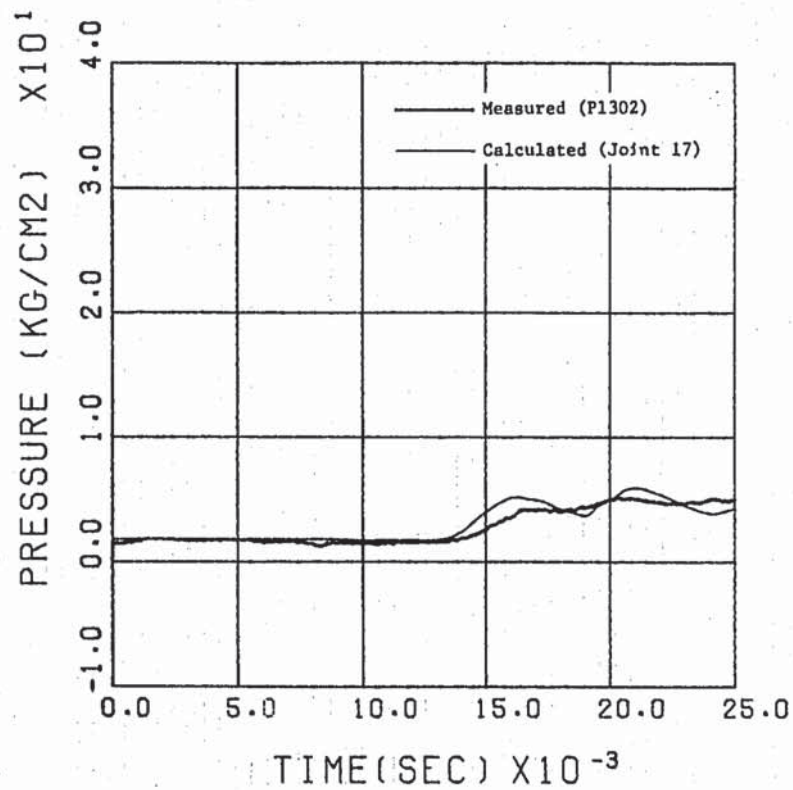


FIG. 4.3.10 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW07.05.C03)
PRESSURE IN IHX (P1302)

5. ま と め

大リーク・ナトリウム - 水反応時の圧力波伝播を解析するため、SWACSコードの圧力波伝播計算モジュールに液柱分離を考慮するための改造を行なった。

改造後の計算モジュールを用いて、SWAT-3のRun-3, Run-5 および Run-7 の試験について解析を実施した。

その結果、

- a) 従来、計算上負の圧力が生じていた時間領域に於て、液柱分離を考慮した計算を行うことにより、より実験測定値と一致のよい計算結果が得られた。また、計算上のオプション指定である液柱再結合時の圧力上昇、次のキャビティ発生時間制限については、両者とも考慮しない計算（入力データで IOPTX = 0 とする）が良いことがわかった。
- b) 2次系内の各所の計算結果の圧力最大値は、全般に測定値より過大評価の傾向にある。またこの最大圧力は第1ピークであり液柱分離が生ずる以前に発生する。従って最大圧力のみに注目するならば、従来の液柱分離を考慮しない計算と何ら変るところはないと言える。
- c) 計算結果は全般に満足されるものであるが、今後さらに改良を望むとすれば、特に液柱分離現象の実験的把握が必要となると考えられる。

以上により、SWACSコードの圧力波伝播計算モジュールの有効性は十分に確認されたと考えられる。

参 考 文 献

- [1] 田中義久, 坂野耿介, 進藤嘉久,
「圧力波伝播計算コードの開発研究(1) - 実験結果との比較検討 -」
SJ213 72-02, (1972年3月)
- [2] 菱田誠, 佐藤健, 堀雅夫,
「圧力波伝播実験 - 第2報 中間熱交換器モデルにおける試験結果 -」
SN941 73-02, (1973年2月)
- [3] 菱田誠, 佐藤健, 堀雅夫,
「圧力波伝播実験 - 第3報 蒸気発生器モデルにおける試験結果 -」
SN941 77-44, (1977年3月)
- [4] 菱田誠, 佐藤健, 堀雅夫
「圧力波伝播実験 - 第4報 二次系縮尺モデルにおける試験結果 -」
SN941 77-82, (1977年5月)
- [5] SATO, M., et al.,
"Computer Code for Large Leak Sodium - Water Reaction Analysis,"
DOE/PNC PLANT COMPONENTS W/Gr FIRST JOINT STEAM
GENERATOR SEMINAR, SA013 KWG 78-01, (1978-2)
- [6] 広井博, 佐藤稔, 田辺裕美, 錦見正和, 吉岡直樹, 堀雅夫,
「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWTA-3) Run-3 試験結果 - 大リーク・ナトリウム - 水反応試験 (第4報) -」
SN941 78-93, (1978年7月)
- [7] 広井博, 佐藤稔, 田辺裕美, 錦見正和, 吉岡直樹, 堀雅夫,
「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) Run-5 試験結果 - 大リーク・ナトリウム - 水反応試験 (第10報) -」
SN941 79-04, (1978年10月)
- [8] 広井博, 佐藤稔, 大後美道, 堀雅夫
「蒸気発生器安全性総合試験装置 (SWAT-3) Run-7 試験結果 - 大リーク・ナトリウム - 水反応試験 (第12報) -」
SN941 79-155, (1979年8月)
- [9] Streeter and Wylie,
「流体過渡現象」 日本工業新聞社

〔10〕 「機械工学便覧—改訂第6版—」 日本機械学会

〔11〕 田中信夫, 広井博, 吉田直樹, 佐藤稔, 堀雅夫,

「SWAT-3試験における二次系への伝播圧力波の検討—大リーク・ナトリウム—水
反応解析(第3報)—」

日本原子力学会昭和52年秋の分科会予稿集E20, (1977年)

〔12〕 三宅収, 進藤嘉久, 佐藤稔,

「大リーク・ナトリウム—水反応解析コード—SWACS/REG3—(概要説明書)—大
リーク・ナトリウム—水反応解析(第3報・改訂版)—」

SN952 79-19, (1979年9月)

Appendix

Appendix A 液柱分離モデルの SWACS への導入について

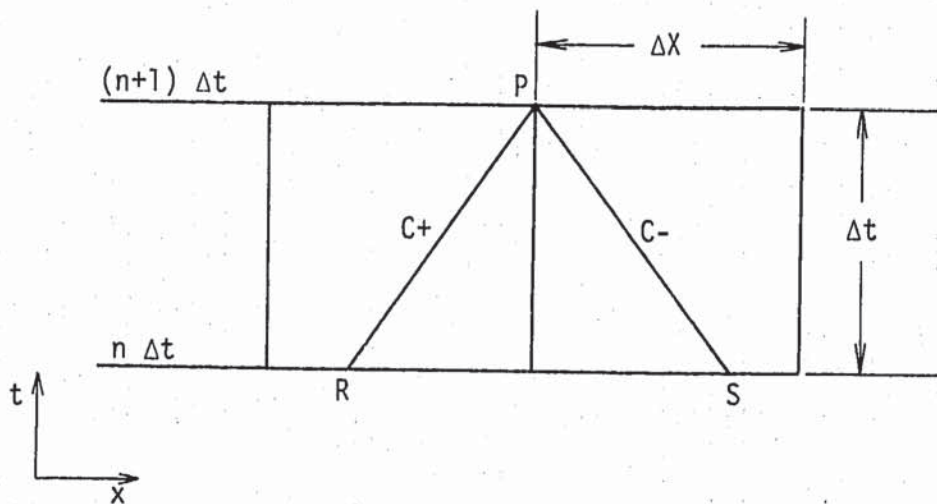
A. 1 概 要

ここでは、液柱分離モデルを SWACS へ導入するに際しての計算法の検討、SWACS コードの改修、試計算結果についてまとめる。A. 2 では数値計算法について述べる。A. 3 では SWACS コードの変更内容について述べる。A. 4 では単純な体系を想定した試計算結果を示す。

A. 2 数値計算法

ここで述べる計算法のオリジナルは Streeter¹⁾ が提案した方法である。この方法は HAMOC²⁾ コード、SWAAM³⁾ コードで使われている。SWACS で採用したのは SWAAM の処理に近いが、部分的に HAMOC の手法も取り入れている。

A. 2. 1 1 次近似差分特性方程式



1) 差分特性方程式

$$\left\{ \begin{array}{l} C_+ \text{ について} \\ (u_P - u_R) + \frac{g}{C} (H_P - H_S) + \Delta t \cdot g \sin \varphi + \Delta t \frac{f}{2d} u_R |u_R| = 0 \cdots \cdots (A. 2-1) \\ C_- \text{ について} \\ (u_P - u_S) - \frac{g}{C} (H_P - H_S) - \Delta t \cdot g \sin \varphi + \Delta t \frac{f}{2d} u_S |u_S| = 0 \cdots \cdots (A. 2-2) \end{array} \right.$$

2) 通常のノード点での計算式

(A2-1) + (A2-2) ならびに (A2-1) - (A2-2) より次の式が得られる。

$$\left\{ \begin{array}{l} u_P = \frac{1}{2} [u_R + u_S] + \frac{g}{2C} [H_R - H_S] - \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{f_R}{2d} u_R |u_R| + \frac{f_S}{2d} u_S |u_S| \right. \\ \left. - 2g \sin \varphi \right] \dots\dots\dots (A. 2-3) \\ H_P = \frac{1}{2} [H_R + H_S] + \frac{C}{2g} [u_R - u_S] - \frac{\Delta t}{2} \left[\frac{f_R}{2d} u_R |u_R| - \frac{f_S}{2d} u_S |u_S| \right] \dots\dots\dots (A. 2-4) \end{array} \right.$$

3) H または u 既知端

右境界では (A. 2-1) 式を変形して次式を得る。

$$\left\{ \begin{array}{l} u_P = u_R - \frac{g}{C} [H_P - H_R] + \Delta t \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_R}{2d} u_R |u_R| \right] \dots\dots\dots (A. 2-5) \\ H_P = H_R - \frac{C}{g} [u_P - u_R] + \Delta t \cdot \frac{C}{g} \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_R}{2d} u_R |u_R| \right] \dots\dots\dots (A. 2-6) \end{array} \right.$$

左境界では (A. 2-2) 式を変形して次式を得る。

$$\left\{ \begin{array}{l} u_P = u_S + \frac{g}{C} [H_P - H_S] + \Delta t \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_S}{2d} u_S |u_S| \right] \dots\dots\dots (A. 2-7) \\ H_P = H_S + \frac{C}{g} [u_P - u_S] - \Delta t \cdot \frac{C}{g} \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_S}{2d} u_S |u_S| \right] \dots\dots\dots (A. 2-8) \end{array} \right.$$

A. 2. 2 液柱分離の計算手続

SWACS では液柱分離の計算法は、user の指定により下表のように扱われる。

TABLE A. 2-1 液柱分離計算のオプション

$I\bar{OPT}^*) = 0$	液柱分離の計算は行わない。 (計算上負圧が生じててもそのまま計算を続ける。)
$I\bar{OPT} = 1$	ゼロセット近似
$I\bar{OPT} = 2$	Streeter モデルによる液柱分離の計算を行なう。

*) $I\bar{OPT}$ は整数データの #270 である。

$I\bar{OPT} = 0$ の場合は、従来の SWACS - REG 3 の計算と同一である。

A. 2. 2-1 ゼロ・セット近似

(A. 2-4) 式あるいは (A. 2-6), (A. 2-8) 式で計算されたあるノード点の圧力が user の指定する圧力 (PSAT=実数データ #900) 以下となった場合, そのノード点の圧力を user 指定の圧力に置き換えて計算を進める。

A. 2. 2-2 Streeter モデル¹⁾, 2), 3)

(A. 2-4), (A. 2-6), (A. 2-8) 式等で計算されたあるノード点の圧力が user の指定する圧力 (PSAT) 以下になった場合, そのノード点^{*}は圧力既知境界として扱われる。

そのノード点は以降の計算において, 液柱分離計算の代表点とみなされ, 計算される流速よりキャビティの成長を計算していく。

計算のフローチャートを Fig. A. 2-1 に示す。(詳細なフローチャートは A. 3 節に示す。)

以下, Fig. A. 2-1 に従って計算手順を述べる。

i) 通常の計算 (A. 2-3) ~ (A. 2-8) 式によって計算を行なう。

ii) キャビティの発生の制約 (Table. A. 2-2)

a) その部材で既にキャビティが発生している。(Box 3)^{**)}

(i CAV はその部材でキャビティが発生している (=1) か否 (=0) かを示す flag である。)

b) その部材の両端のジャンクションあるいは隣接の部材で既にキャビティが発生している。(Box 4)

(JUNCV はジャンクションでのキャビティに関する flag でジャンクションでキャビティが発生している場合は =1, ジャンクションに接続されている部材でキャビティが発生している場合は = -1 にセットされる。)

c) キャビティ発生を許される時刻 (TERASM) に達していない。(Box 5)

(TERASM については V) で後述する。)

以上の a), b), c) のいずれかの制約に合致する場合は新たなキャビティの発生は許されない。その場合は前述のゼロ・セット近似で処理を行う。(Box 16)

上記 b) について Table. A. 2-2 に示す。

¹⁾ Streeter のオリジナルでは, 隣接ノードを加え, 2つのノードでキャビティの成長を計算するが, ここでは1つのノード点で流速を2つ定義して計算を行なう。

^{**)} Box 番号は Fig. A. 2-1 の各 Box の右肩に付けた番号である。

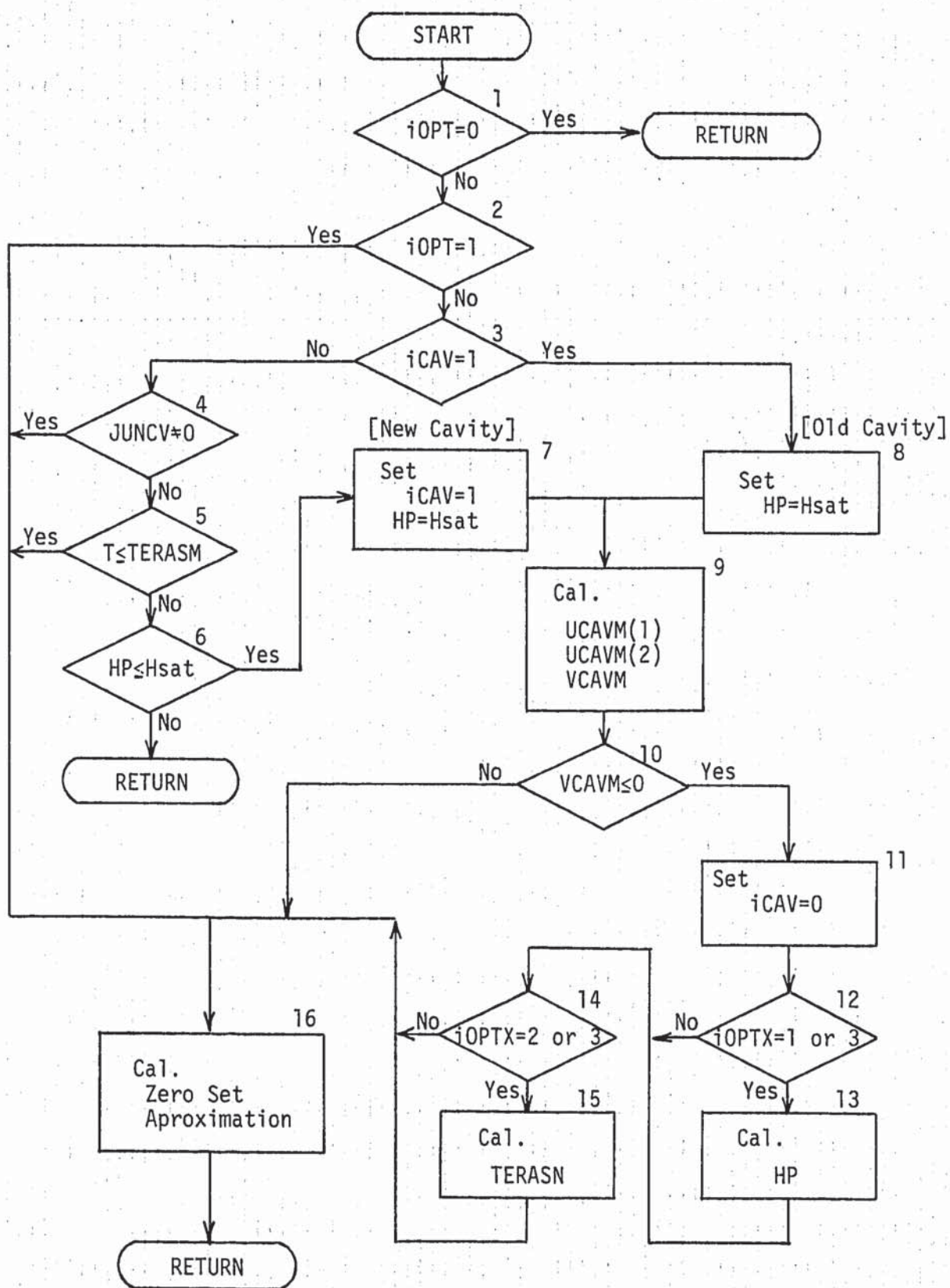
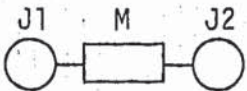
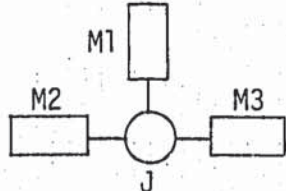
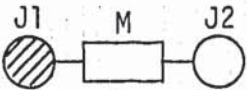
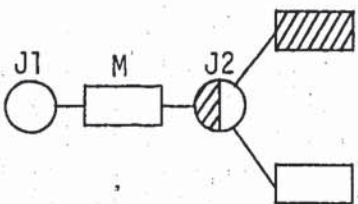
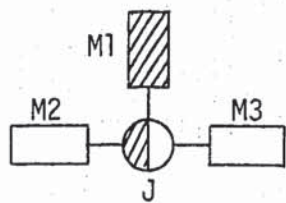
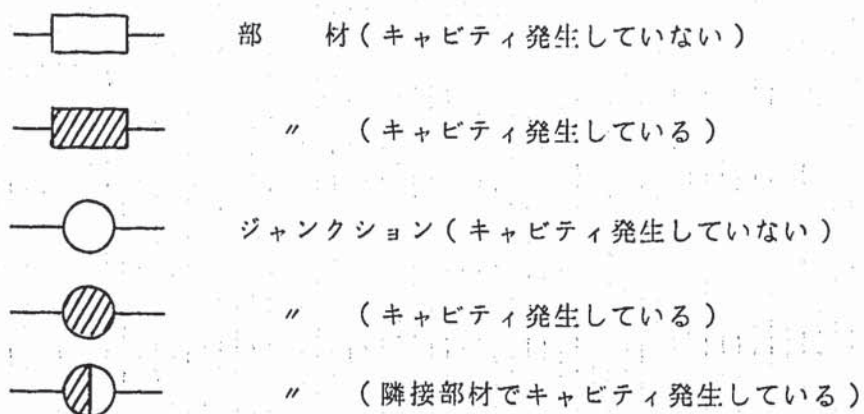


Fig. A.2-1 液柱分離計算の簡易フローチャート

TABLE A.2-2 キャビティ発生 の 制 約

	部材M中で $H \leq H_{sat}$	ジャンクションJで $H \leq H_{sat}$
キャビティの発生とする。		
キャビティ発生とみなさない (ゼロセット近似)	 	



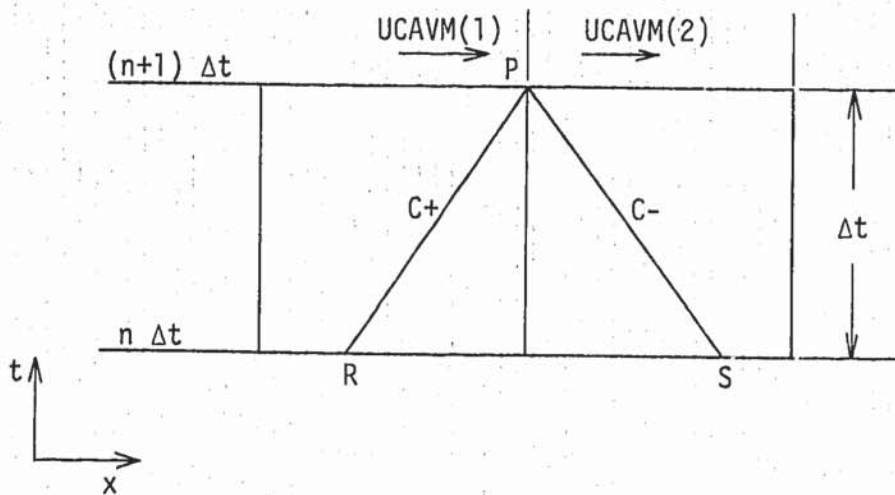
また、上述の制約はジャンクションでのキャビティ発生に関しても同様に扱われる。
 上記 b) に対応するジャンクションでの制約も Table. A. 2-2 に示す。

- iii.) あるノード点の圧力が user 指定の圧力 H_{sat} 以下となった場合、キャビティの発生とみなし (Box 6)、以下の計算を行なう。

そのノード点の圧力を H_{sat} とおく。

$$H = H_{sat}^{set} \quad \dots\dots\dots (A. 2-9)$$

そのノード点を圧力既知境界として流速を計算しなおす。キャビティ発生点では流速は右境界流速 ($UCAVM(1)$) と左境界流速 ($UCAVM(2)$) の 2 つ定義される。*)



(A. 2-5), (A. 2-7) 式より

$$UCAVM(1) = u_R - \frac{g}{C} [H_{sat} - H_R] + \Delta t \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_R}{2d} u_R |u_R| \right] \quad \dots\dots\dots (A. 2-10)$$

$$UCAVM(2) = u_S + \frac{g}{C} [H_{sat} - H_S] + \Delta t \left[g \cdot \sin \varphi - \frac{f_S}{2d} u_S |u_S| \right] \quad \dots\dots\dots (A. 2-11)$$

*) ジャンクションでキャビティが発生した場合は、その分岐数分の流速が定義され、また、盲端で発生した場合は 1 つの流速が定義される。以下の説明では煩雑さを避けるため部材中の場合についてのみ説明する。

上記の流速はキャビティの分離速度とみなし、次のようにキャビティの容積を計算する。

$$VCAVM = A_m \cdot [UCAVM(2) - UCAVM(1)] \Delta t \quad \dots\dots\dots (A. 2-12)$$

ここでVCAVMはキャビティの容積， A_m は流路断面積である。

IV) キャビティの成長 (Box 8, 9)

次時間ステップ以降は、キャビティの発生したノードは圧力既知境界として、キャビティ成長速度を(A. 2-10)，(A. 2-11)式で計算を続ける。ii) a)で述べたようにキャビティが発生している部材では、他のキャビティの発生は計算上扱わず、圧力が H_{sat} 以下になってもゼロ・セット近似で扱われる。キャビティ体積の更新は次式で行なう。

$$VCAVM^{n+1} = VCAVM^n + \frac{A_m}{2} \left[(UCAVM(2)^{n+1} + UCAVM(2)^n) - (UCAVM(1)^{n+1} + UCAVM(1)^n) \right] \Delta t \quad \dots\dots\dots (A. 2-13)$$

V) キャビティの消滅 (Box 10~15)

(A. 2-13)式で計算されるキャビティ体積が零(以下)となった場合、キャビティが消滅したとみなす。キャビティ消滅時の計算のオプションをTABLE A. 2-3に示す。

TABLE A. 2-3 キャビティ消滅時の計算オプション

	衝突発生圧の計算 (A. 2-14)式	キャビティ発生時刻制約 (A. 2-15)式
$iOPTX = 0$	考慮しない	考慮しない
$iOPTX = 1$	考慮する	"
$iOPTX = 2$	考慮しない	考慮する
$iOPTX = 3$	考慮する	"

*) $iOPTX$ は整数データの#271である。

○ $iOPTX = 1$ or 3 の場合は、キャビティの発生していたノードの圧力を次式で計算する。

$$H = H_{sat} + \frac{C}{2g} [UCAVM(1) - UCAVM(2)] \quad \dots\dots\dots (A. 2-14)$$

- IOPTX = 2 or 3 の場合は、次式で計算される時刻までその部材でキャビティの発生を許さない。

$$TERASM = TT + \frac{2 \cdot L_{min}}{C} \quad \dots\dots\dots (A. 2-15)$$

TT はキャビティが消滅した時刻、 L_{min} はキャビティの発生していたノードとその部材端（すなわちジャンクション）との間の長さ（短い方を探る）である。

A. 3 プログラムの改造

A. 3.1 改造内容

SWACS コード (SWAC-5K, 5K/7) の改造に当たっての基本方針は以下の 2 点である

- i) 部材中のノード点、ジャンクションでのキャビティの発生を扱う。

その他の扱いは以下の通りである。

自由液面境界	}	扱わない。
圧力波発生点境界		
球 領 域		
球-柱接続点		
サージタンク境界	}	ゼロ・セット近似とする。
ナトリウム中ラプチャディスク		
オリフィス		

- ii) 改造部分の明確化、今後の改修の容易性を考えて、キャビティの計算部は独立したサブルーチンとして作成する。

Fig. A. 3-1 に新しいプログラムの構成を図示する。TABLE A. 3-1 にサブルーチンの変更内容を、TABLE A. 3-2 に新設した主要変数の内容を示す。また新設サブルーチンのフローチャートを Fig. A. 3-2, A. 3-3 に示す。

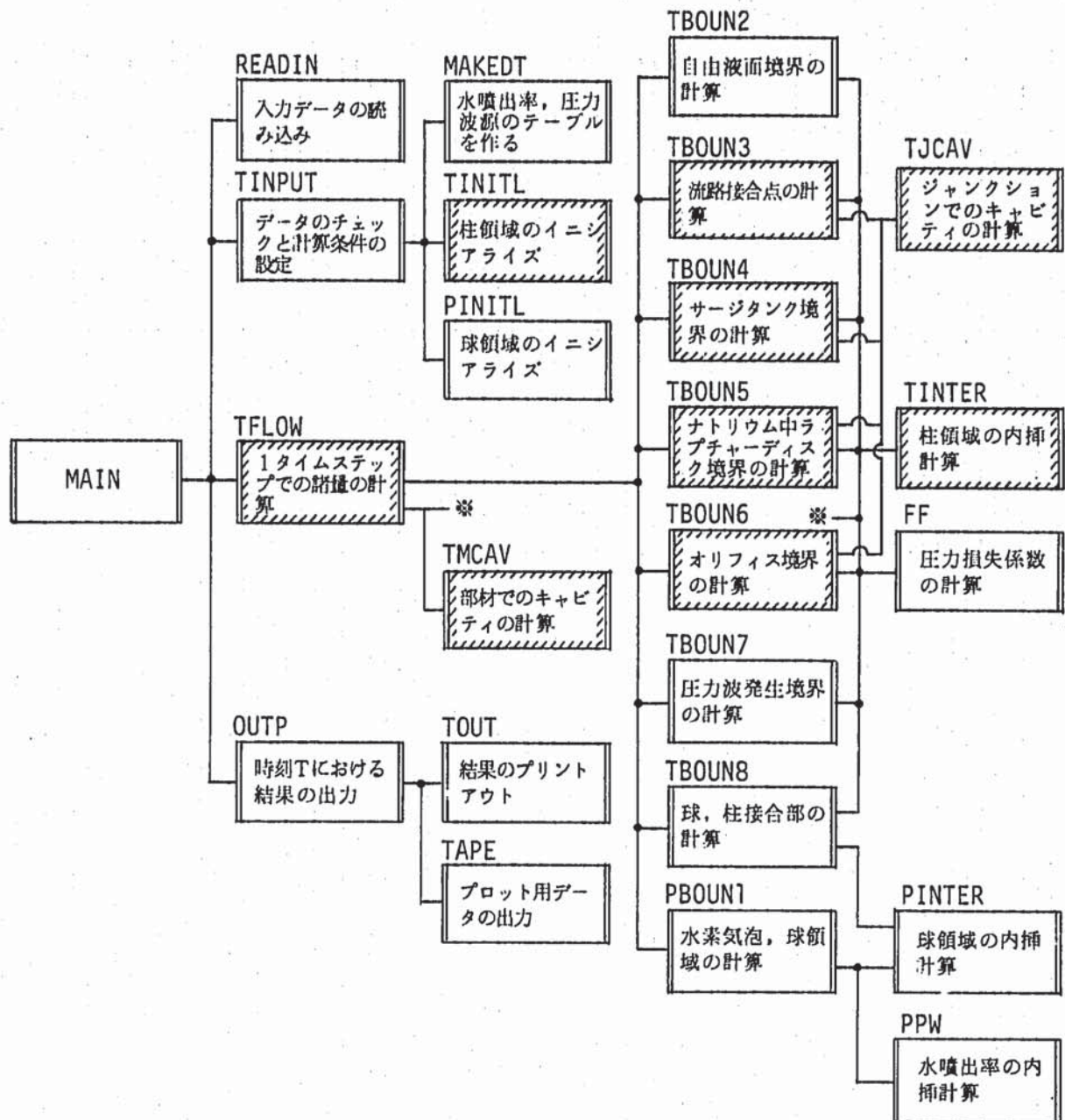


Fig.A. 3-1 初期スパイク圧, 圧力波伝播計算モジュールのプログラム構成
(ハッチングしたサブルーチンは改造又は新設である。)

TABLE A. 3-1 サブルーチンの変更内容

サブルーチン名	変更／新設	内 容
TINITL	変 更	新設変数の初期値のセットを追加
TFL $\bar{O}$ W	変 更	TMCAV の Call 文を追加
TBO $\bar{U}$ N3) TBOUN6	変 更	TJCAV の Call 文を追加
TINTER	変 更	キャビティ発生ノード隣接の圧力、流速内挿計算の修正
TMCAV	新 設	部材中のノード点に於るキャビティの計算
TJCAV	新 設	ジャンクションに於るキャビティの計算

TABLE A.3-2 主要新設変数リスト

Name	Size	Type	Description
ICAV(i)	50	INT	部材 i でキャビティが発生している = 1 いない = 0
IOPT	—	INT	入力データ (# 270)
IOPTX	—	INT	入力データ (# 271)
JCAV(i)	50	INT	部材 i 内のキャビティ発生ノード番号
JUNCV(j)	50	INT	ジャンクション j で キャビティが発生している = 1 いない = 0 隣接部材で キャビティが発生している = -1
HSAT	—	REAL	キャビティ発生圧力ヘッド = PSAT/GAM
PSAT	—	REAL	入力データ (# 900)
TERASM(i)	50	REAL	部材 i のキャビティ発生を許される時刻
TERASJ(j)	50	REAL	ジャンクション j のキャビティ発生を許される時刻
UCAVM(L, j)	(250)	REAL	部材 i のキャビティ成長速度 L = 1 右境界 L = 2 左境界
UCAVJ(L, j)	(450)	REAL	ジャンクション j のキャビティ成長速度 L = 分岐番号
VCAVM(i)	50	REAL	部材 i のキャビティ容積
VCAVJ(j)	50	REAL	ジャンクション j のキャビティ容積

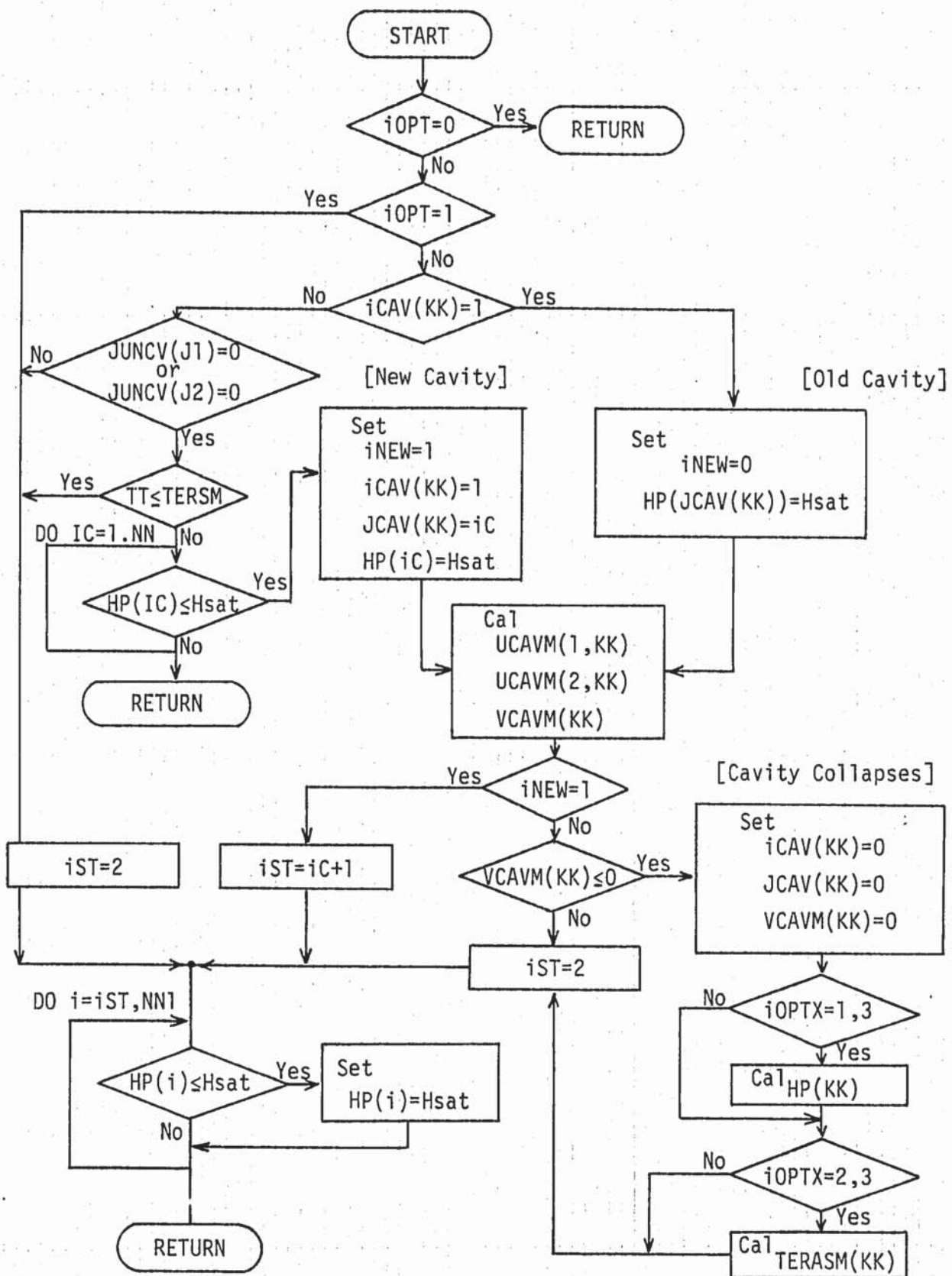


Fig. A.3-2 TMCavのフローチャート

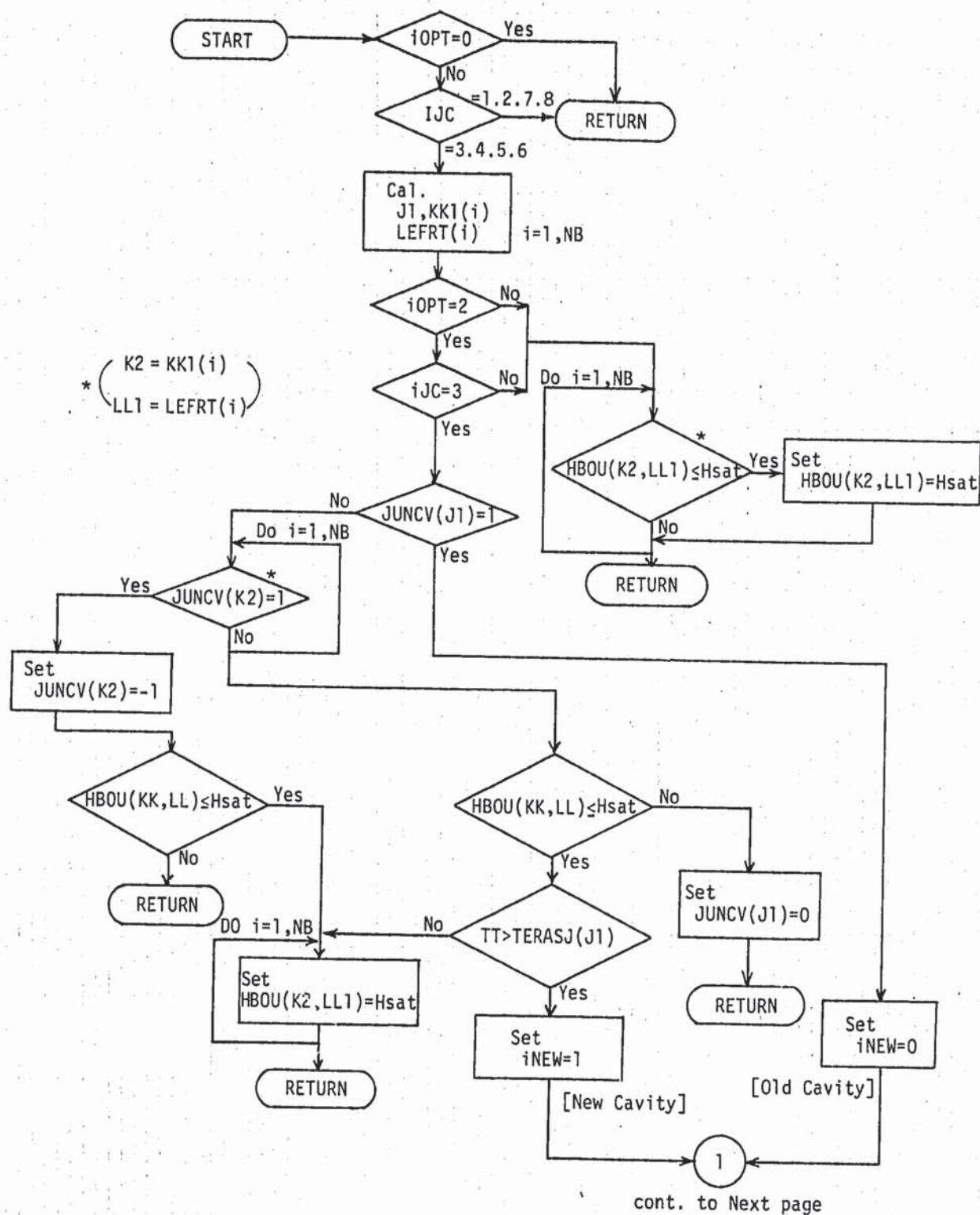


Fig. A.3-3 TJCAVのフローチャート

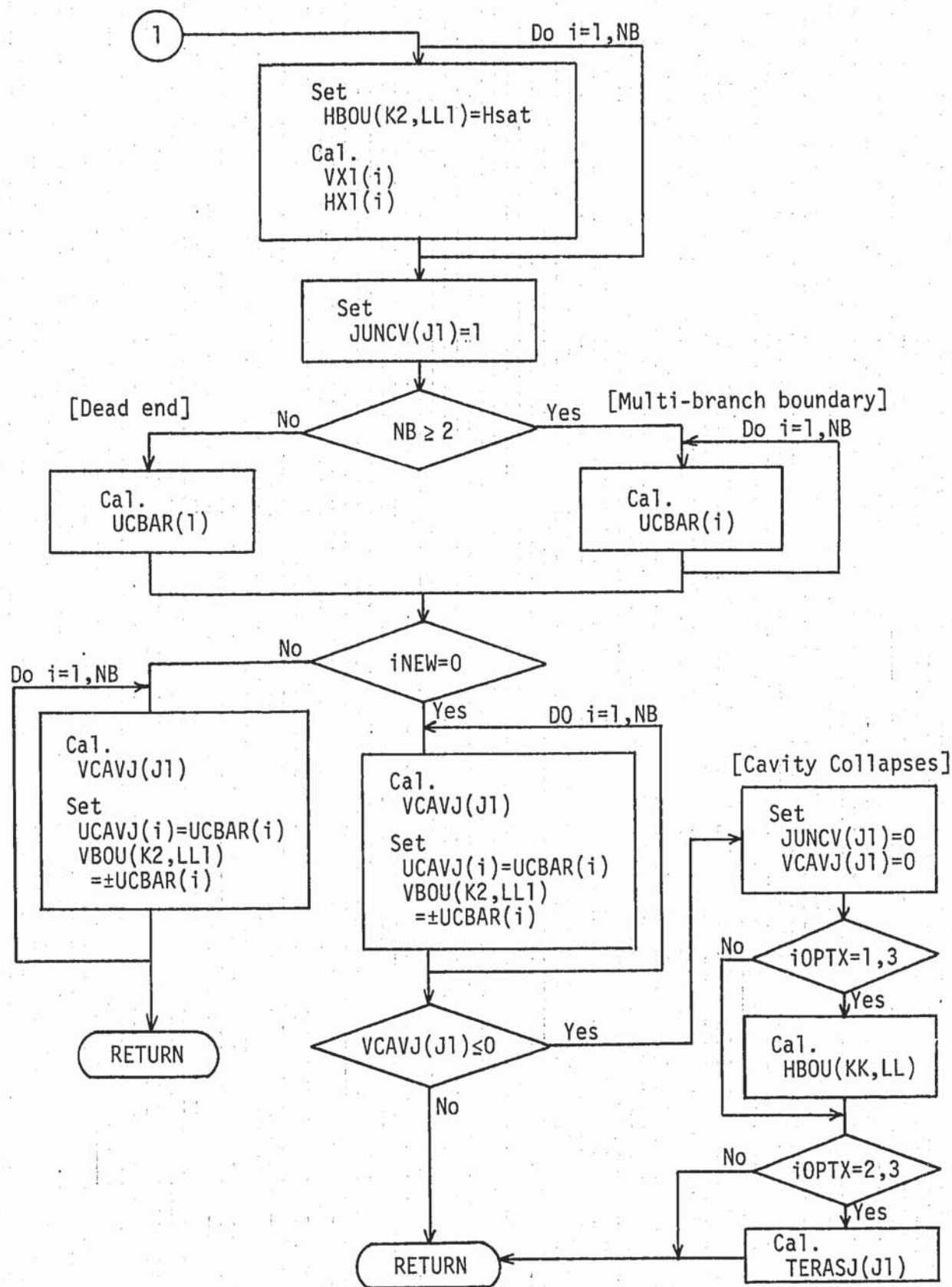


Fig. A.3-3 (Contd.)

A. 3. 2 使用方法

A. 3. 2-1 入力形式

Table. A. 3. 2-1 の 3 つのデータを加える他は、従来の入力データと同一である。
また下表の各データの default 値は 0 であるので、古いデータもそのまま用いることができる。

TABLE A. 3. 2-1 新設入力データ

Address	Name	Default	description	
I-# 270	iOPT	0	= 0	: 処理を行わない
			= 1	: ゼロ・セット近似
			= 2	: Streeter モデル
I-# 271	iOPTX	0	iOPTX	衝突発生圧 の計算時刻制約
			= 0	考慮しない 考慮しない
			= 1	“ する “
			= 2	“ しない 考慮する
			= 3	“ する “
R-# 900	PSAT	0	キャビティ発生圧力 [kg/cm ² ・a]	

A. 3. 2-2 出力形式

iOPT = 2 とした場合、キャビティの発生時と消滅時ならびに指定時刻の標準
アウト時にキャビティの計算結果を出力する。

(1) キャビティ発生、消滅時の出力例

発生時

```
* NEW CAVITY FORMS AT NODE 3, MEMBER 31, TIME 0.1464E-01
  UCAV -0.2024E+00 -0.2020E+00          VOL 0.2624E-09

* NEW CAVITY FORMS AT JUNCTION 31          TIME 0.1481E-01
  UCAV -0.1427E+00 0.1909E+00 0.0          VOL 0.3353E-07
```

消 滅 時

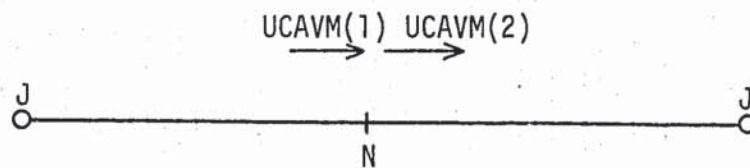
* CAVITY COLLAPSES AT NODE 3, MEMBER 31, TIME 0.1472E-01
 PRES 0.3202E-01 VMAX 0.3949E-09 TERAS 0.1483E-01

* CAVITY COLLAPSES AT JUNCTION 31 TIME 0.1502E-01
 PRES 0.4348E+00 VMAX 0.1078E-06 TERAS 0.1548E-01

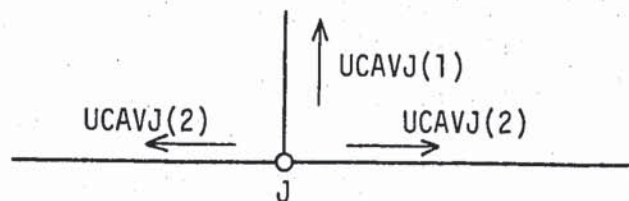
上の例では部材 # 31 のノード 3 で 14.64 msec にキャビティが発生し、14.72 msec に消滅している。UCAV は発生時のキャビティ成長速度 [m / sec] , $\bar{V}OL$ はキャビティ容積 [m^3] , PRESS は消滅時の圧力 [$kg/cm^2 a$] , VMAX は最大キャビティ容積 [m^3] , TERAS はそのノードで次のキャビティの発生が許される時刻 [sec] である。ジャンクションについても同様である。

但し、流速（キャビティ成長速度）の方向については次のように定義する。

○ ノード点の場合……通常の流速と同様



○ ジャンクションの場合……ジャンクションより流出方向を正とする。



(2) 指定時刻の出力例

* RESULTS OF CAVITY CALCULATION OPTION *

LOCATION		VELOCITY (M/S)		VOL. (M3)
M- 43	N- 2	0.5630E+00	-0.1291E-24	0.3144E-05
M- 46	N- 9	-0.6839E-01	-0.1774E-01	0.5614E-07
J- 9		0.9902E-01	-0.1709E+00	0.7465E-05
J- 10		0.2631E+00	-0.1014E+00	0.5378E-05
J- 43		0.4470E-01	0.0	0.1128E-05

A. 4 サンプル計算

A. 4. 1 計算条件

TABLE A. 4-1 計算条件表

	体 系 A	体 系 B
体 系		
長 さ	Fig. A. 4. 1(A) 4 m	Fig. A. 4. 1(B) 6 m (4 m + 2 m)
断 面 積	0.02 m ²	0.02 m ² + 0.002 m ²
境界条件	(左: 圧力既知 右: 盲 端	同 左 (含 断面変化)
流 体		
比 重 量	1000 kg/m ³	同 左
音 速	1000 m/sec	同 左
初期圧力	30 kg/cm ² a	同 左
初期流速	0 m/sec	同 左
飽 和 圧	0 kg/cm ² a	同 左

TABLE A. 4-1 に試計算の条件, TABLE A. 4-2 に計算ケース内容を示す。体系は Fig. A. 4-1 に示したように 2 種の体系を考えた。体系 A は長さ 4 m の水平管で左端が圧力既知境界, 右端は盲端である。体系 B は, 体系 A の右端に更に長さ 2 m 断面積が $1/10$ の水平管を付加したものである。*)

配管中でのキャビティの発生は通常負の反射波の生じる盲端, あるいは流路急縮小の箇所が生じると考えられるので, 上記体系 A では盲端, 体系 B では流路縮小ジャンクションと盲端でキャビティの発生の可能性がある。(圧力波の合成により配管の途中でも生じることがあるが, ここでは単純な体系, 入力波なので考えない。)

計算に用いた入力波(左端の圧力境界条件)を Fig. A. 4-2 に示す。管中の初期圧は $30 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ であり, 時刻 0 で左端の圧力が $5 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ に降下する。その後 5 msec で $40 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ に上昇する。変化形状はいずれもステップ状である。

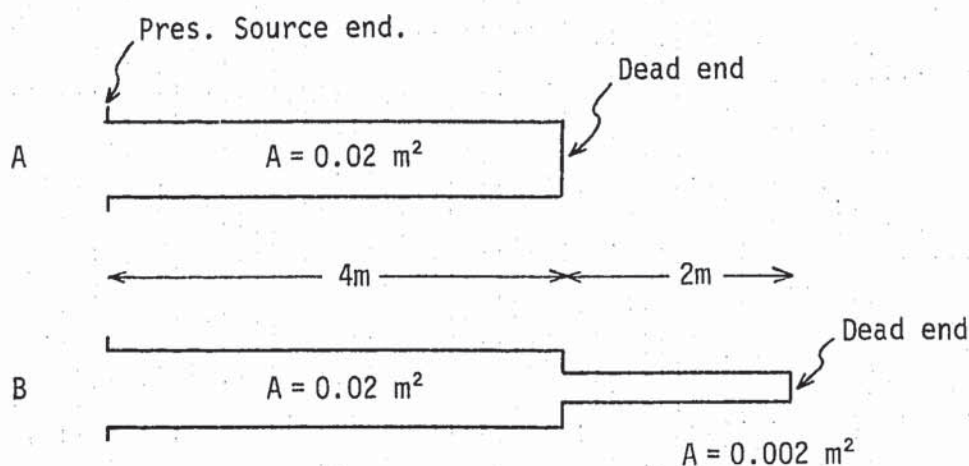


Fig. A. 4-1 計 算 体 系

*) 体系 A と Fig. A. 4-2 の入力波形は文献 3) で使用されているものと略同一であり, 比較の意味でこれを選んだ。

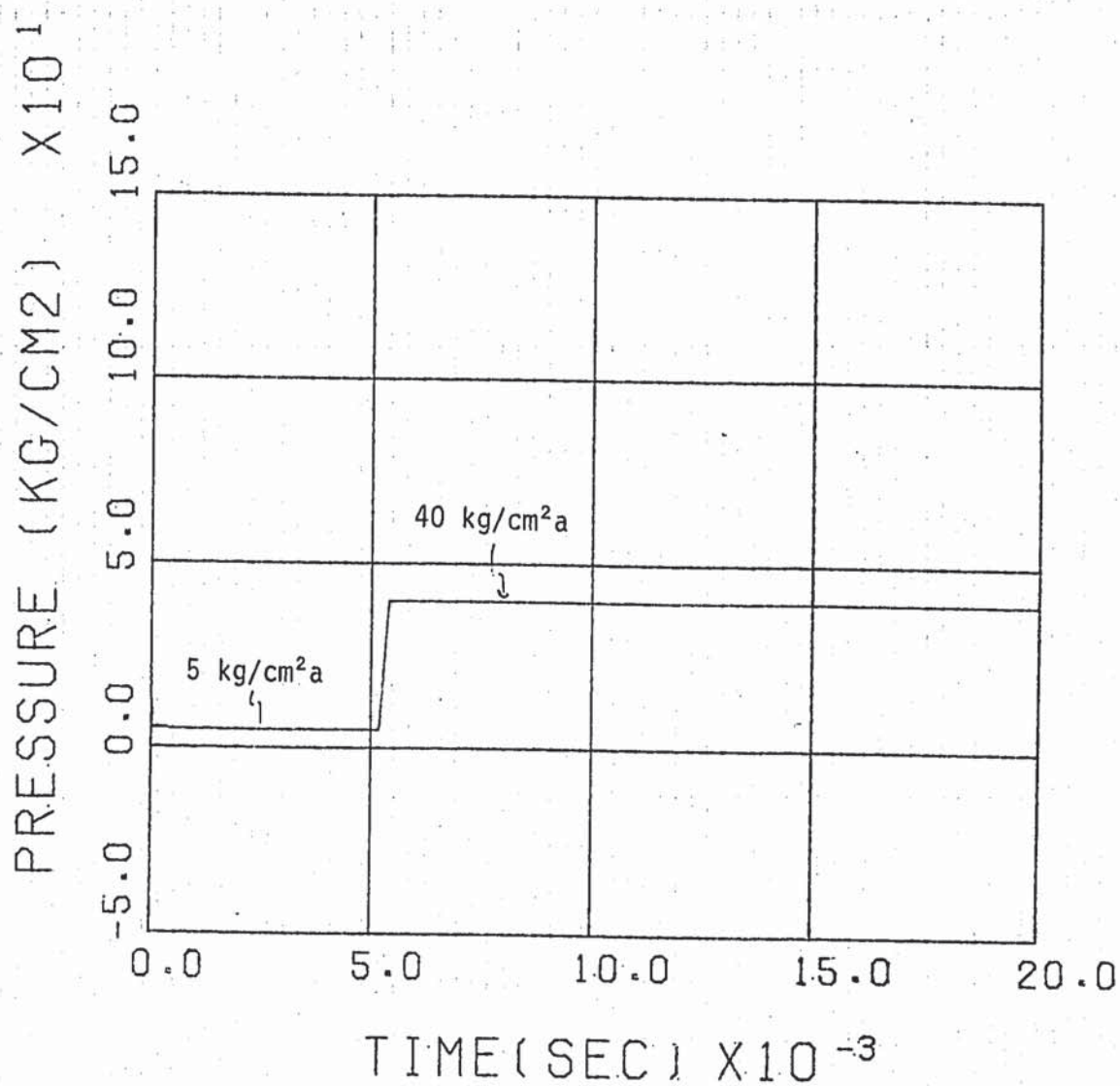


FIG. A.4.2 PRESSURE PROPAGATION (SOURCE PRES.)

TABLE A. 4-2 計算ケース内容

Case	Model	iOPT	iOPTX	結 果
CVT000	A	0	0	Fig. A. 4-3
CVT001	"	1	0	Fig. A. 4-3
CVT002	"	2	0	Fig. A. 4-4
CVT003	"	2	1	Fig. A. 4-4
CVT004	"	2	2	Fig. A. 4-5
CVT005	"	2	3	Fig. A. 4-5
CVX000	B	0	0	Fig. A. 4-6
CVX001	"	1	0	Fig. A. 4-6
CVX002	"	2	0	Fig. A. 4-7
CVX003	"	2	1	Fig. A. 4-7
CVX004	"	2	2	Fig. A. 4-8
CVX005	"	2	3	Fig. A. 4-8

A. 4. 2 計算結果

Fig. A. 4-3～A. 4-5に体系Aの計算結果（右端の盲端の圧力）を示す。

Fig. A. 4-6～A. 4-8に体系Bの計算結果（流路断面積変化ジャンクションの圧力、右端盲端の圧力）を示す。

(1) 体系Aの計算結果

左端の圧力変化は管内を1000 m/secで伝わる。管長は4 mであるので4 msecで減圧波が右端に到達する。右端の圧力は $\Delta P = 2 \times \Delta P_R = -50 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ 変化することになり、キャビティの計算を行わないCVT000のケース（ $i\bar{OPT} = 0$ ）では計算上 $-20 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ となり負圧が生じる。CVT001（ $i\bar{OPT} = 1$ ）、CVT002～005（ $i\bar{OPT} = 2$ ）では圧力が $0 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ 以下となると、 $0 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ に圧力が保たれる。

左端の圧力は時刻5 msecで $40 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ に上昇するのでその圧縮波は時刻9 msecに右端に到達する。CVT000（ $i\bar{OPT} = 0$ ）、CVT001（ $i\bar{OPT} = 1$ ）ではこの時刻の右端の圧力が回復する。しかし、キャビティの計算を行っている。CVT002～005（ $i\bar{OPT} = 2$ ）では圧力の回復は更に遅れて時刻約11 msecになる。

実際、CVT002～005では時刻9 msecはキャビティの大きさが最大になる時刻であ

り、(Fig. A. 4-9 参照) 9 msec 以降キャビティは縮小を開始し、時刻 11 msec で消滅する。今考えている体系は単純であるので基礎式 (A. 2 節) を以下のように追っていくことができる。

- 時刻 4 msec でキャビティが発生する時、流速 (キャビティ成長速度) は (A. 2-10) 式より体力項を無視して

$$UCAV = u_R - \frac{g}{C} [H_{sat} - H_R] \quad \dots\dots\dots (A. 2-10)'$$

u_R , H_R は隣りのノードの流速、圧力であり、夫々 $u_R = -2.45 [m/S]$, $H_R = 50 [m]$ である。従って、 $UCAV = -1.96 [m/sec]$ でキャビティが成長を始める。以降 9 msec まで変化なく、キャビティは成長を続ける。時刻 9 msec でのキャビティの大きさは

$$\text{長 　　さ} \quad 1.96 \times 9 \times 10^{-3} = 0.98 \times 10^{-2} [m]$$

$$\text{体 　　積} \quad 0.98 \times 10^{-2} \times 0.02 = 1.96 \times 10^{-4} [m^3]$$

- 時刻 9 msec での変化は次のように計算できる。

$$u_R = 1.47 [m/S], \quad H_R = 350 [m]$$

上記 (A. 2-10)' 式に代入して

$$UCAV = 4.9 [m/sec]$$

従って、時刻 9 msec 以降は速度 4.9 [m/S] キャビティが縮小する。時刻 9 msec でのキャビティの大きさは $0.98 \times 10^{-2} [m]$ であつたのでキャビティの消滅する時刻は

$$T = 9 \times 10^{-3} + (0.98 \times 10^{-2} / 4.9) = 11 \times 10^{-3} [sec]$$

Fig. A. 4-4, A. 4-9 をみても、上記の計算が行われていることが確認できる。CVT001 ($i\bar{OPT}=1$) と CVT002~005 ($i\bar{OPT}=2$) を比較すると、上にしたように圧力の回復時刻が違い、またそれに伴って、圧力回復以降の圧力波形にも差が生じている。CVT002~005 ($i\bar{OPT}=2$, $iOPTX=0 \sim 3$) の比較では殆ど差を生じていない。

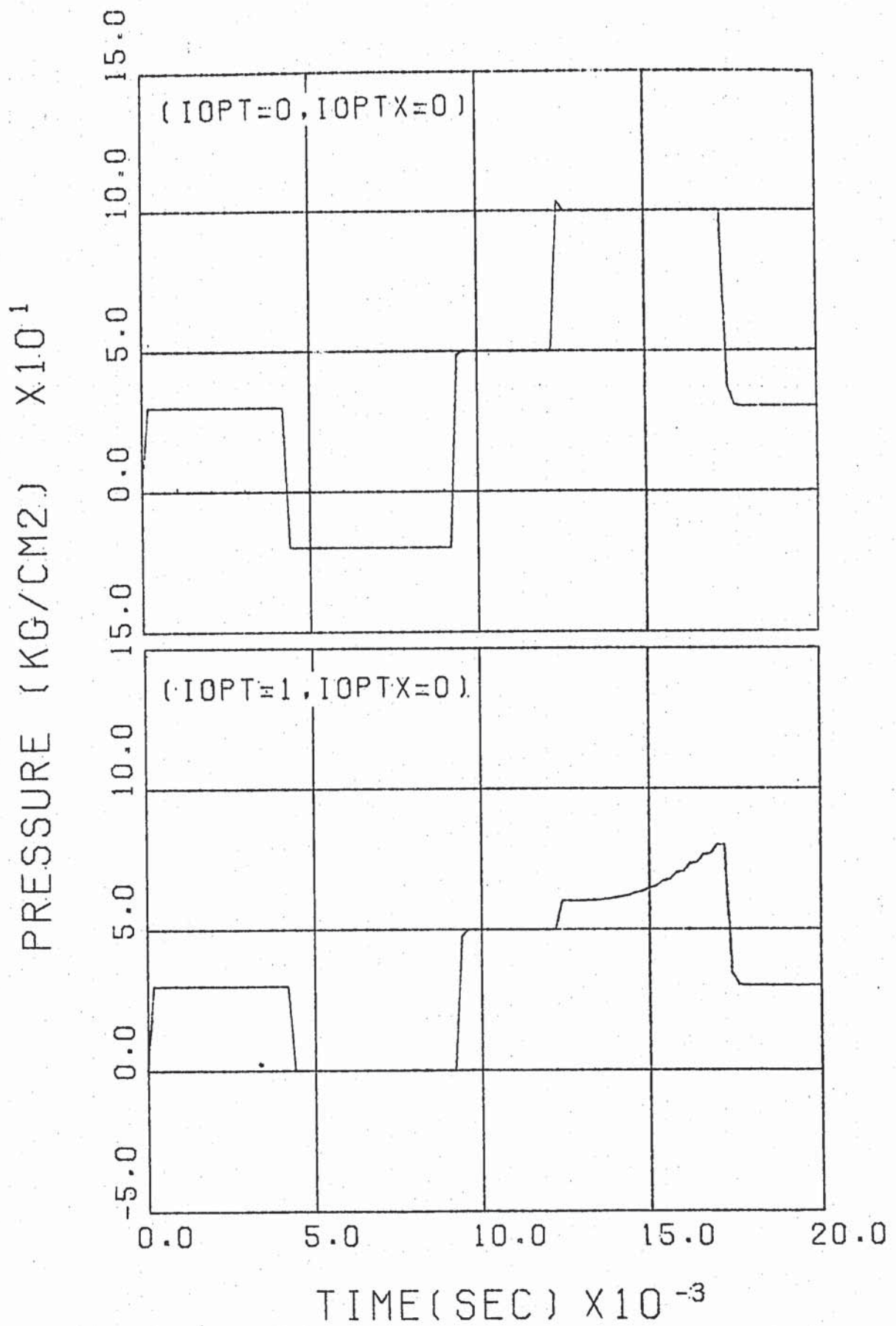


FIG. A.4.3 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-A, PRESSURE AT DEAD END BOUNDARY)

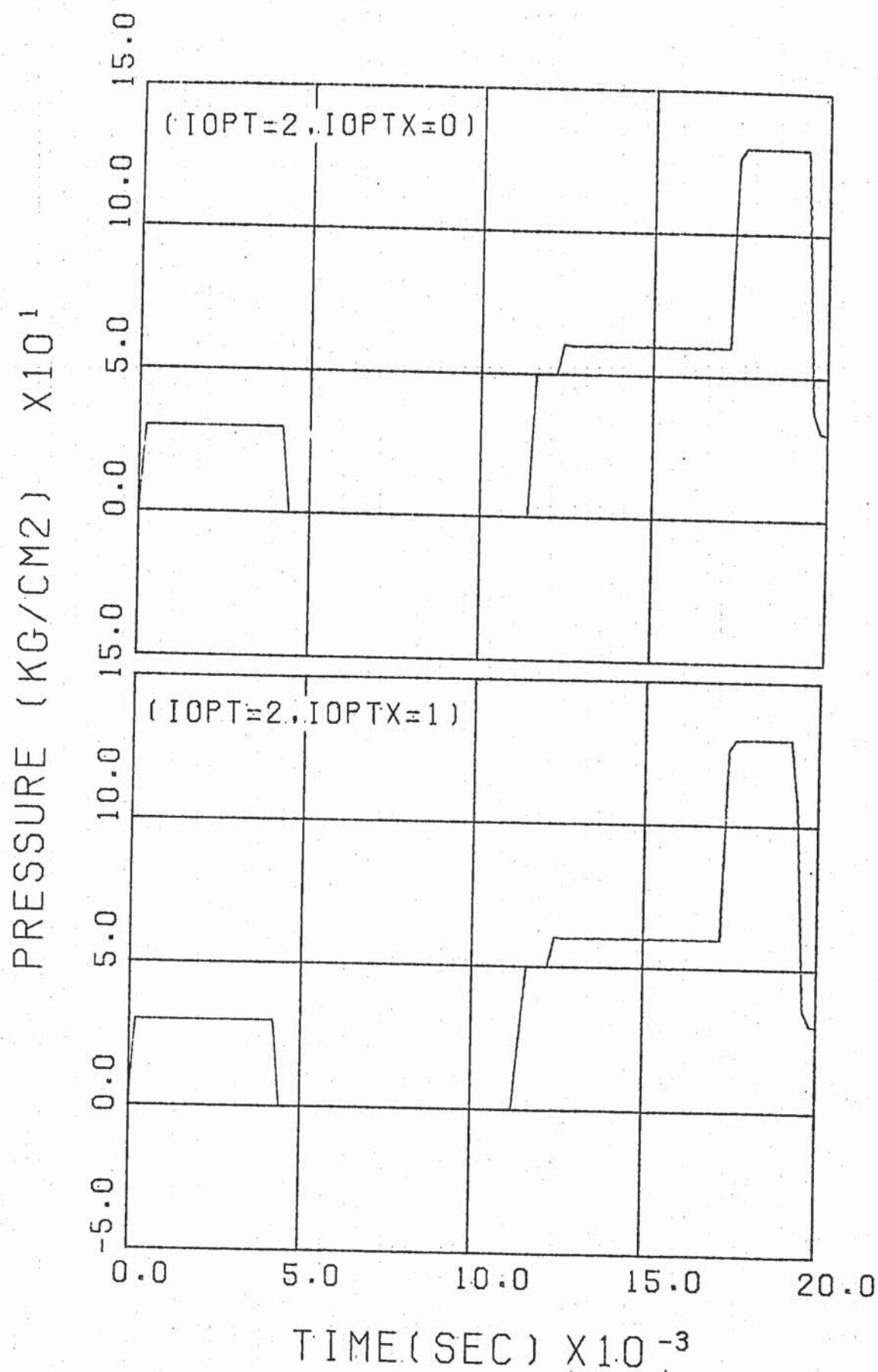


FIG. A.4.4 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-A, PRESSURE AT DEAD END BOUNDARY)

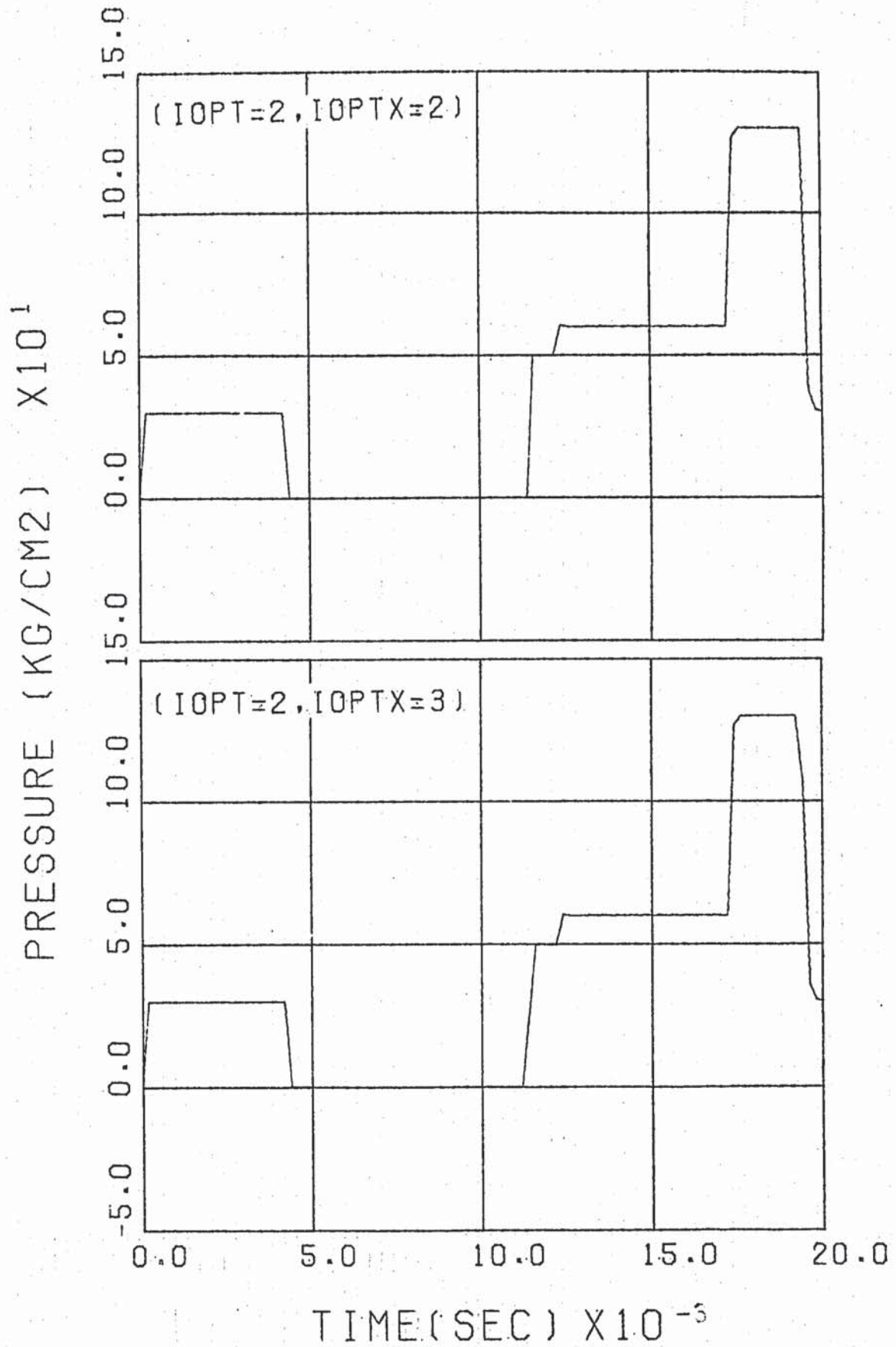


FIG. A.4.5 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-A, PRESSURE AT DEAD END BOUNDARY)

(2) 体系 B の計算結果

体系 B は、流路の断面積変化を含んでいるので、その分圧力変化も複雑になる。Fig. A. 4-6 ~ A. 4-8 には断面積変化点（ジャンクション）と右端の盲端に於る圧力変化を示した。時刻 4 msec までの現象は左側（管径 0.02 m²）の管に注目すれば体系 A の場合とまったく同様に考えることができる。時刻 4 msec に於るジャンクションでの変化を、CVX000 (iOPT=0) について考えると、よく知られているように圧力波の通過率 (S) と反射率 (r) は、⁴⁾

$$S = \frac{2 A_1 / C_2}{A_1 / C_1 + A_2 / C_2} \quad \dots\dots\dots (A. 4-1)$$

$$r = \frac{A_1 / C_1 - A_2 / C_2}{A_1 / C_1 + A_2 / C_2} \quad \dots\dots\dots (A. 4-2)$$

ここで A は断面積、C は音速である。体系 B のジャンクションでは音速変化は無いとしているので

$$S = 1.82, \quad r = 0.82 \quad \text{である。}$$

従ってジャンクションでの圧力変化は

$$\Delta P = S \times \Delta P_R = -45.5 \text{ kg/cm}^2$$

初期圧は 30 kg/cm²a であるからジャンクション点での圧力は -15.5 kg/cm²a となる。CVX000 (iOPT=0) の計算ケースではこの負圧のまま計算を進めるが、他の CVX001 (iOPT=1), CVX002 ~ 005 (iOPT=2) の場合は 0 kg/cm²a に圧力を保って計算を行なう。ジャンクションを通過した減圧波は時刻 6 msec に右端に到達する。

CVX000 の場合は右端の圧力変化は次式で与えられる。

$$\Delta P = 2 \times \Delta P_R = -91 \text{ kg/cm}^2$$

従って右端の圧力は -61 kg/cm²a となる。CVX001 ~ 005 の場合は、 $\Delta P_R = -30 \text{ kg/cm}^2$ であるので

$$\Delta P = 2 \times \Delta P_R = -60 \text{ kg/cm}^2$$

であり、右端の圧力は -30 kg/cm²a であるが、これも 0 kg/cm²a と置かれる。

以上に示したように体系Bではジャンクションと右端盲端の2ヶ所で計算上圧力が負となる。(すなわち、キャビティが発生する)

次にキャビティの成長について基礎式をチェックする。

- 時刻4 msecでジャンクションに於て発生するキャビティについては(A.2-10), (A.2-11)式より体力項を無視すると

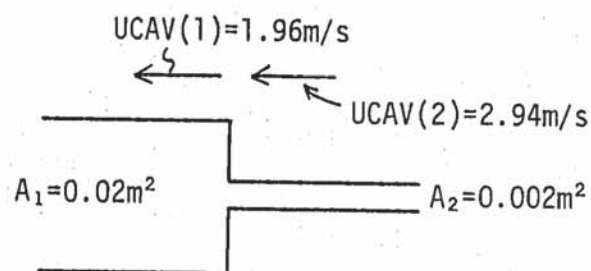
$$UCAV(1) = u_R - \frac{g}{C} [H_{sat} - H_R] \quad \dots\dots\dots (A.2-10)'$$

$$UCAV(2) = u_S - \frac{g}{C} [H_{sat} - H_S] \quad \dots\dots\dots (A.2-11)'$$

$$u_R = -2.45 \text{ [m/sec]}, \quad H_R = 50 \text{ [m]}$$

$$u_S = 0 \text{ [m/sec]}, \quad H_S = 300 \text{ [m]} \quad \text{を代入して}$$

$$UCAV(1) = -1.96 \text{ [m/sec]}, \quad UCAV(2) = -2.94 \text{ [m/sec]} \text{である。}$$



従って、キャビティの成長速度は、体積成長速度をとって

$$W_{cav} = -A_1 \times UCAV(1) + A_2 \times UCAV(2)$$

$$= 0.0333 \text{ [m}^3\text{/sec]}$$

体系Aの場合と同様、キャビティは左端で5 msecに生じた圧力変化がジャンクションに到達する9 msecまで成長を続ける。時刻9 msecでのキャビティの大きさは

$$V_{cav} = 0.0333 \times (9-4) \times 10^{-3} = 1.66 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

○ 時刻 9 msec では

$$u_R = 1.45 \text{ [m/sec]}, \quad H_R = 350 \text{ [m]}$$

$$u_S = -2.93 \text{ [m/sec]}, \quad H_S = 0 \text{ [m]}$$

(A. 2-10)', (A. 2-11)' 式に代入して,

$$UCAV(1) = 4.9 \text{ [m/sec]}, \quad UCAV(2) = -2.93 \text{ [m/sec]}$$

従って, キャビティの体積成長速度は

$$\begin{aligned} W_{cav} &= -A_1 \times UCAV(1) + A_2 \times UCAV(2) \\ &= 0.104 \text{ [m}^3\text{/sec]} \end{aligned}$$

時刻 9 msec でのキャビティの大きさは $1.66 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$ であったのでキャビティ消滅時刻は

$$T = 9 \times 10^{-3} + (1.66 \times 10^{-4} / 0.104) = 10.6 \times 10^{-3} \text{ [sec]}$$

以上の各値は Fig. A. 4-9 に示した計算結果と一致している。右端の盲端についても同様のチェックが行えるが省略する。

最後に各オプション同志の比較を行なう。CVX001 ($i\bar{OPT}=1$) と CVX002~005 ($i\bar{OPT}=2$) を比較すると, 圧力の回復時刻が違っているだけでなくその後の圧力波形も違っている。

また CVX002~005 ($i\bar{OPT}=2$, $i\bar{OPTX}=0\sim3$) の比較では, CVX002 と CVX004, CVX003 と CVX005 は略同じ波形である。すなわち, キャビティ発生時刻の制約は余り効果がない。しかしながら CVX003 と CVX005 では右端 (-2-) の波形に僅かではあるが差が認められる。

衝突時の発生圧のオプション (例えば CVX002 と 003 の比較) は明らかに計算結果に影響を与える。衝突発生圧を考慮した計算ではジャンクションで発生していたキャビティの消滅時に約 $150 \text{ kg/cm}^2\text{a}$ の圧力スパイクが生じている。この圧力スパイクが原因となり, その後の圧力波形もかなり振動を伴ったものとなっている。

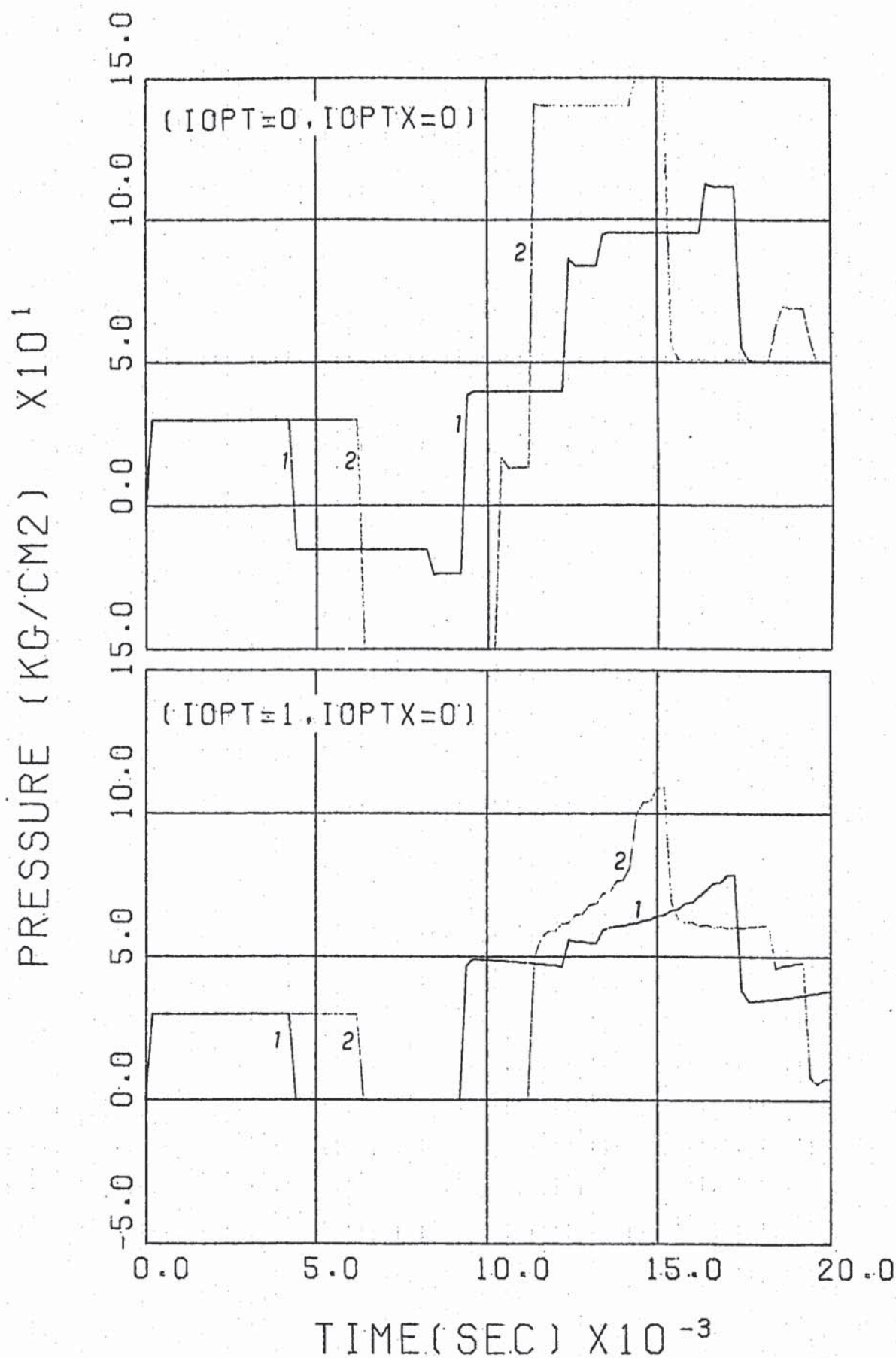


FIG. A.4.6 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-B, -1- PRESSURE AT AREA CHANGE JUNCTION, -2- AT DEAD END BOUNDARY)

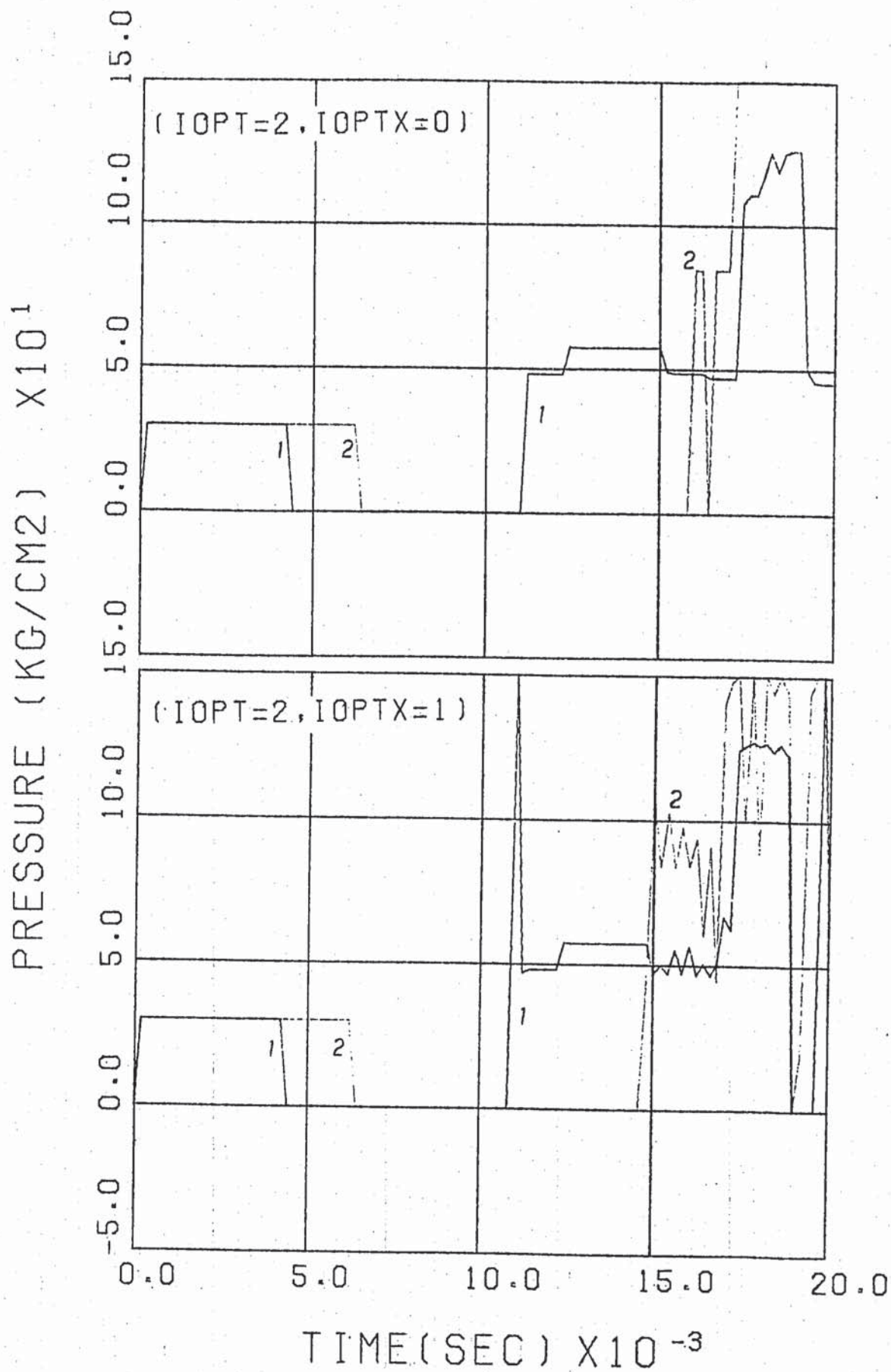


FIG. A.4.7 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-B; -1- PRESSURE AT AREA CHANGE JUNCTION, -2- AT DEAD END BOUNDARY)

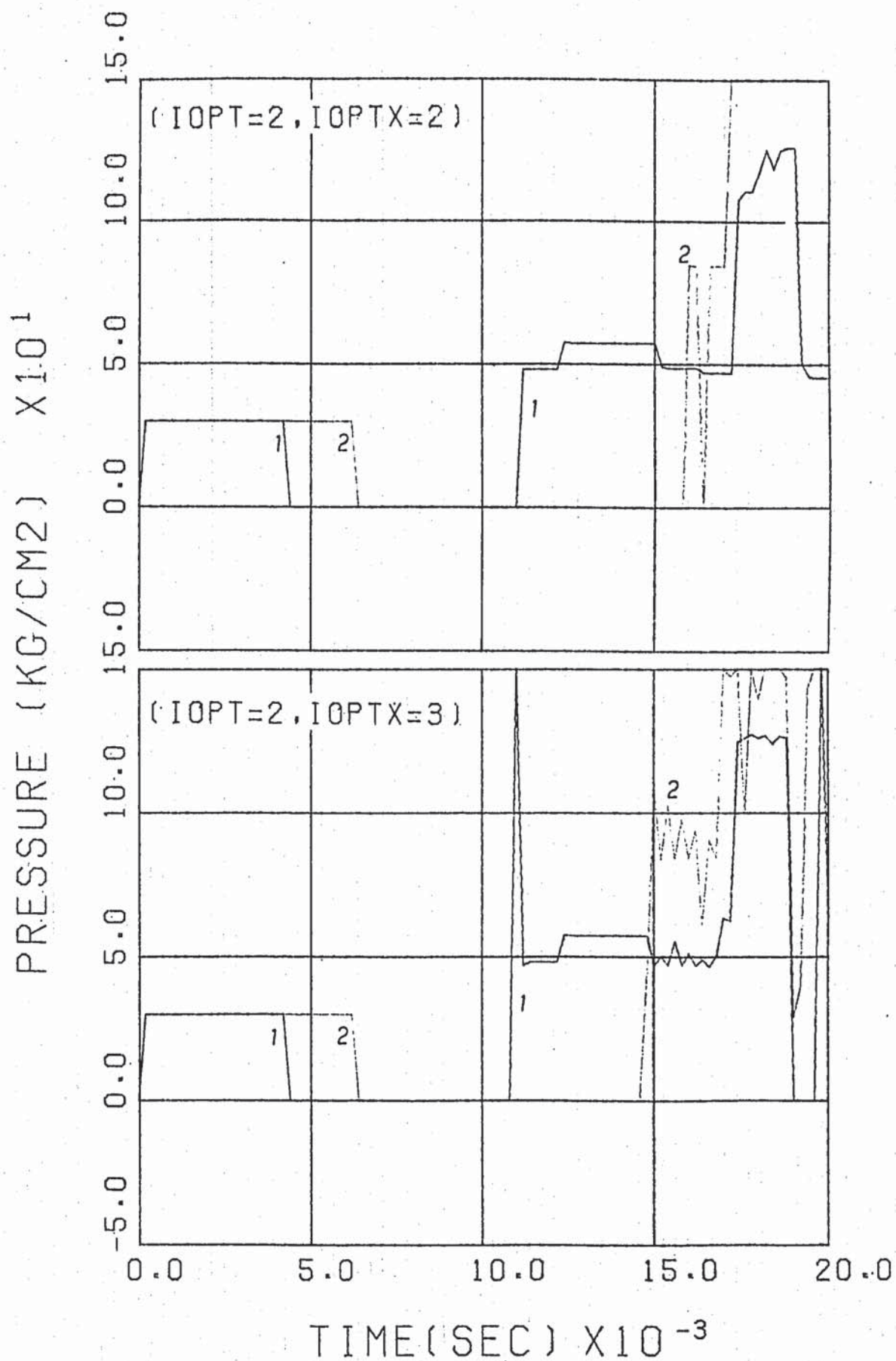


FIG. A.4.8 PRESSURE PROPAGATION (MODEL-B, -1- PRESSURE AT AREA CHANGE JUNCTION, -2- AT DEAD END BOUNDARY)

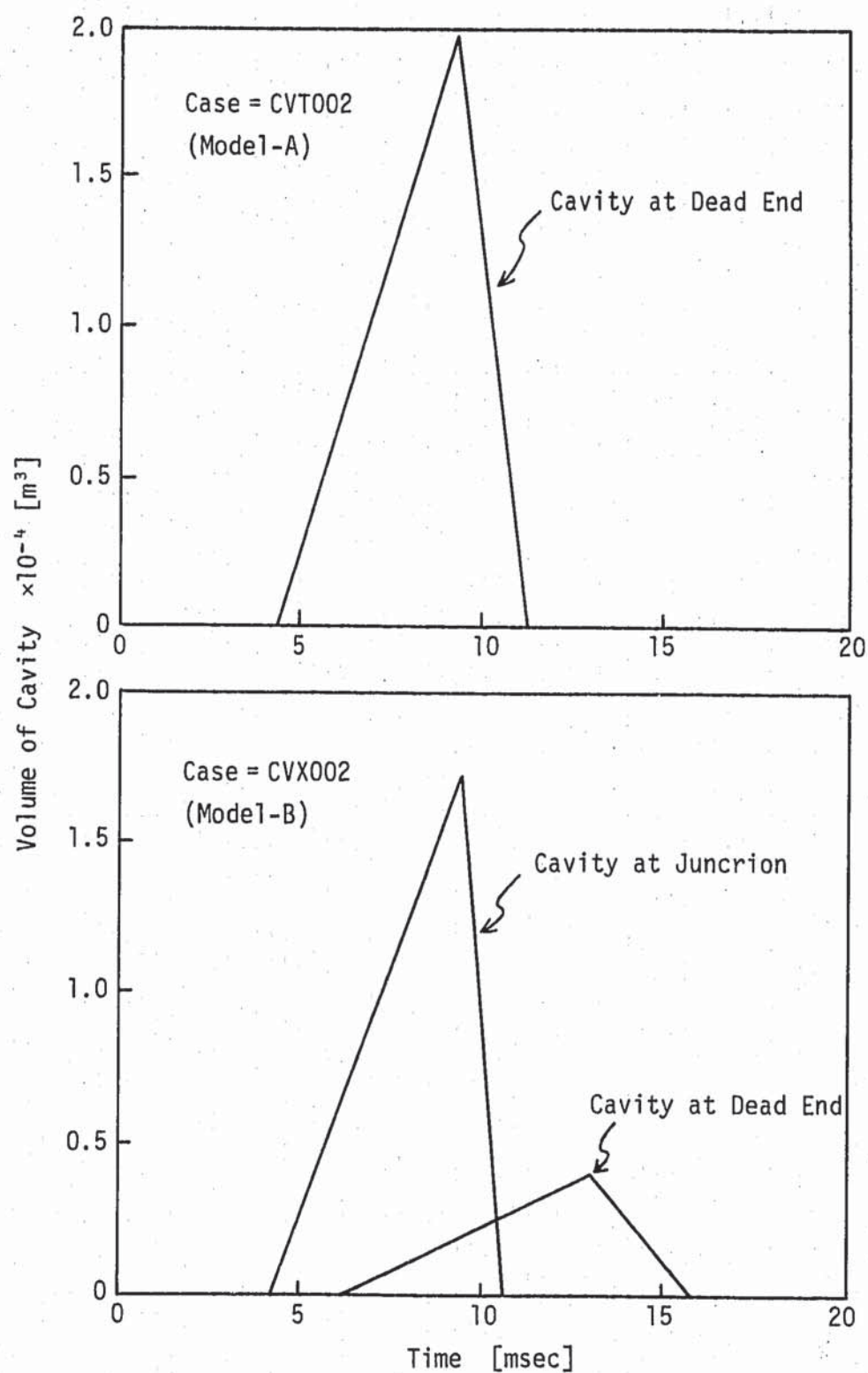


Fig. A.4-9 キャビティの大きさの時間変化

A. 5 サンプル計算入力データ

サンプル計算 (A. 4 節) に用いた入力データ (ケース CVT000, CVX000) についてリストを TABLE A. 5-1, A. 5-2 に示す。

TABLE A.5-1 サンプル計算CVT000の入力データ

== SWAC-5K CAVITATION OPTION SAMPLE CAL. CASE=CVT000 ==									
4	1	1							
8	1	10000							
31	5	5	5	5	100	200			
39	1	1							
54	1	1							
5	1	20.E-3							
----- SWAC-5K DATA ----- SAMPLE-1 -----									
1	2	1	1						
22	1	1002							
42	1	1002							
92	1	20							
164	1	2							
175	2	1	1						
187	1	1							
237	4	1	1	0	5				
270	2	0	0						
1	1	4.0							
51	1	1000.0							
101	1	0.02							
151	1	0.1							
202	2	1000.0	1.0E-6						
250	1	300.0							
255	2	0.3164	-0.25						
426	5	0.0	1.0E-6	5.0E-3	5.001E-3	100.			
476	5	30.	5.	5.	40.	40.			
606	2	1.0	9.8						

TABLE A.5-2 サンプル計算 CVX000 の入力データ

== SWAC-5K CAVITATION OPTION SAMPLE CAL. CASE=CVX000 ==

4	1	1					
8	1	10000					
31	5	5	5	5	100	200	
39	1	1					
54	1	1					
5	1	20.E-3					

----- SWAC-5K DATA ----- SAMPLE-2 -----

1	2	1	2				
22	1	1003					
42	2	1002	2003				
92	2	20	10				
164	1	3					
175	2	1	1				
187	1	1					
237	4	1	1	0	5		
270	2	0	0				
1	2	4.0	2.0				
51	2	1000.0	1000.0				
101	2	0.02	0.002				
151	2	0.1	0.02				
202	2	1000.0	1.0E-6				
250	1	300.0					
255	2	0.3164	-0.25				
426	5	0.0	1.0E-6	5.0E-3	5.001E-3	100.	
476	5	30.	5.	5.	40.	40.	
606	2	1.0	9.8				

A . 6 參考資料

- 1) Streeter and Wylie,「流体過渡現象」, 日本工業新聞社.
- 2) Johnson, H.G., "HAMOC A Computer Program for Fluid Hammer Analysis," HEDL-TME-75-119, (1975).
- 3) Kot, C.A., Youngdahl, C.K., "Transient Cavitation Effects in Fluid Piping Systems," SMiRT 4th B 2/6, (1977), Nucl. Eng. and Design, 45 (1978) 93-100.
- 4) Parmakian, J., "Waterhammer Analysis," Dover Publ. (1955).

Appendix B Run-3, Run-5, およびRun-7の圧力測定値

Fig. B. 1 Run-3 (SN941 78-93より)

Fig. B. 2 Run-5 (SN941 79-04より)

Fig. B. 3 Run-7 (SN941 79-155より)

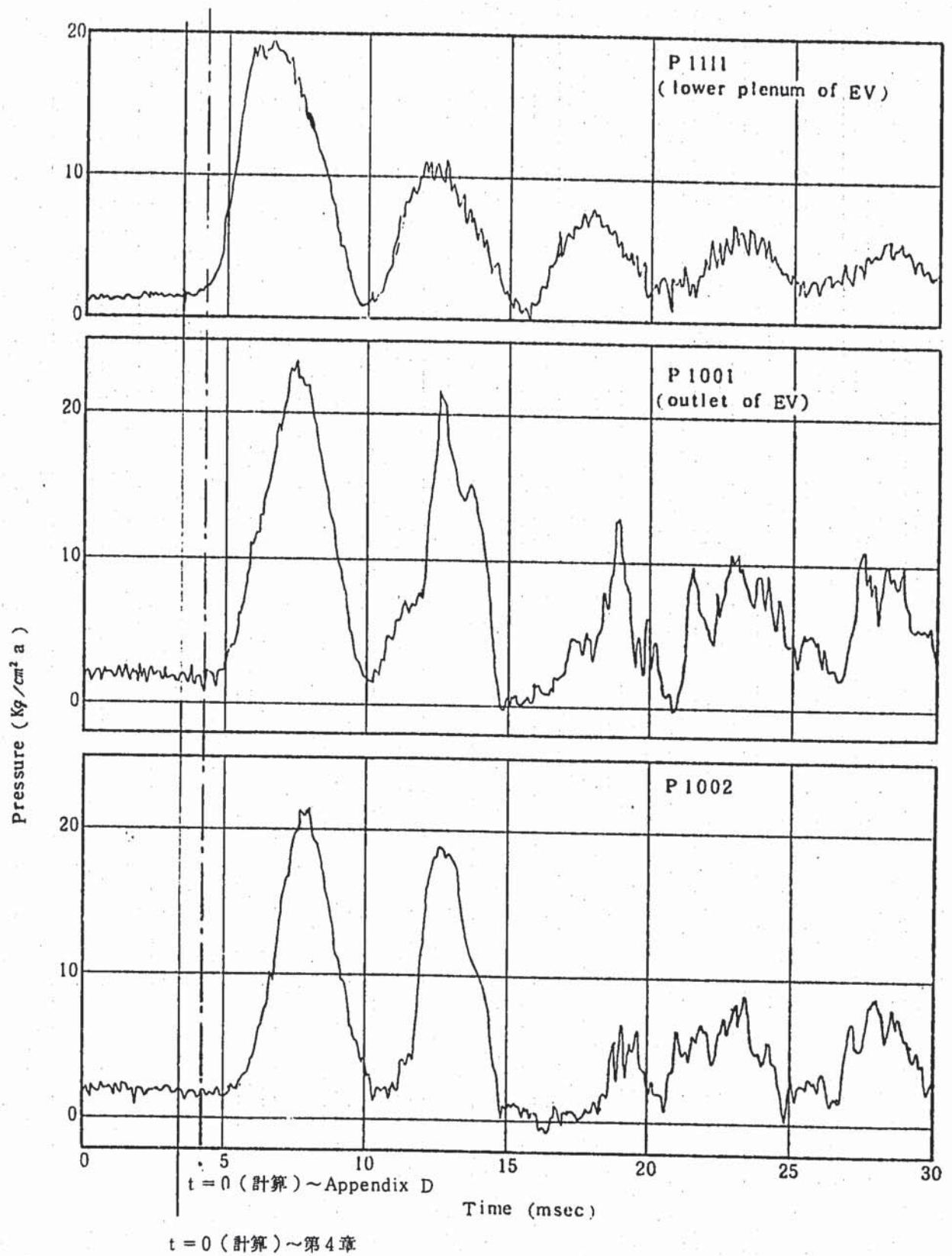


Fig. B.1(a) Propagated Pressure (Run-3)

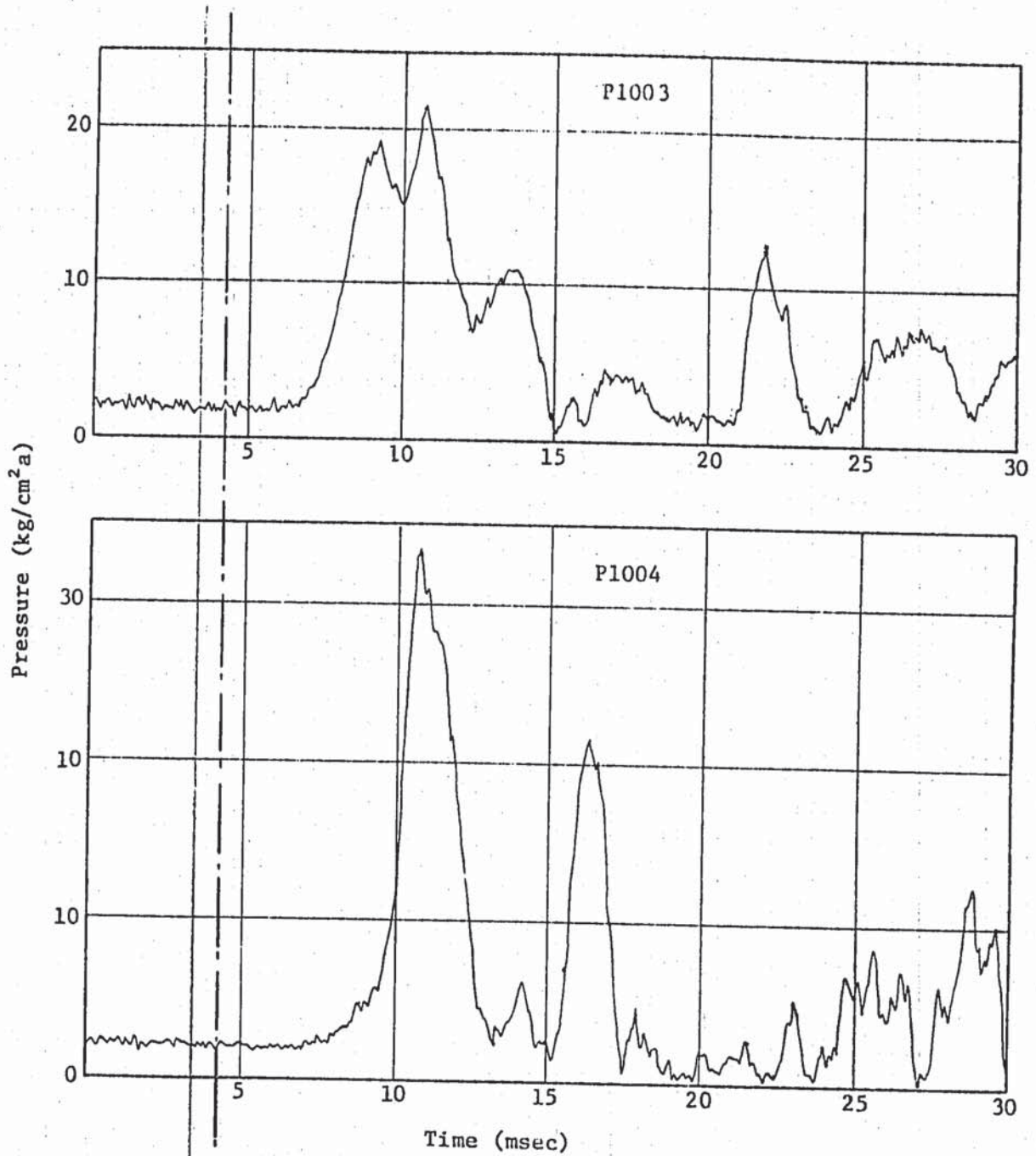


Fig. B.1(b) Propagated Pressure (Run-3)

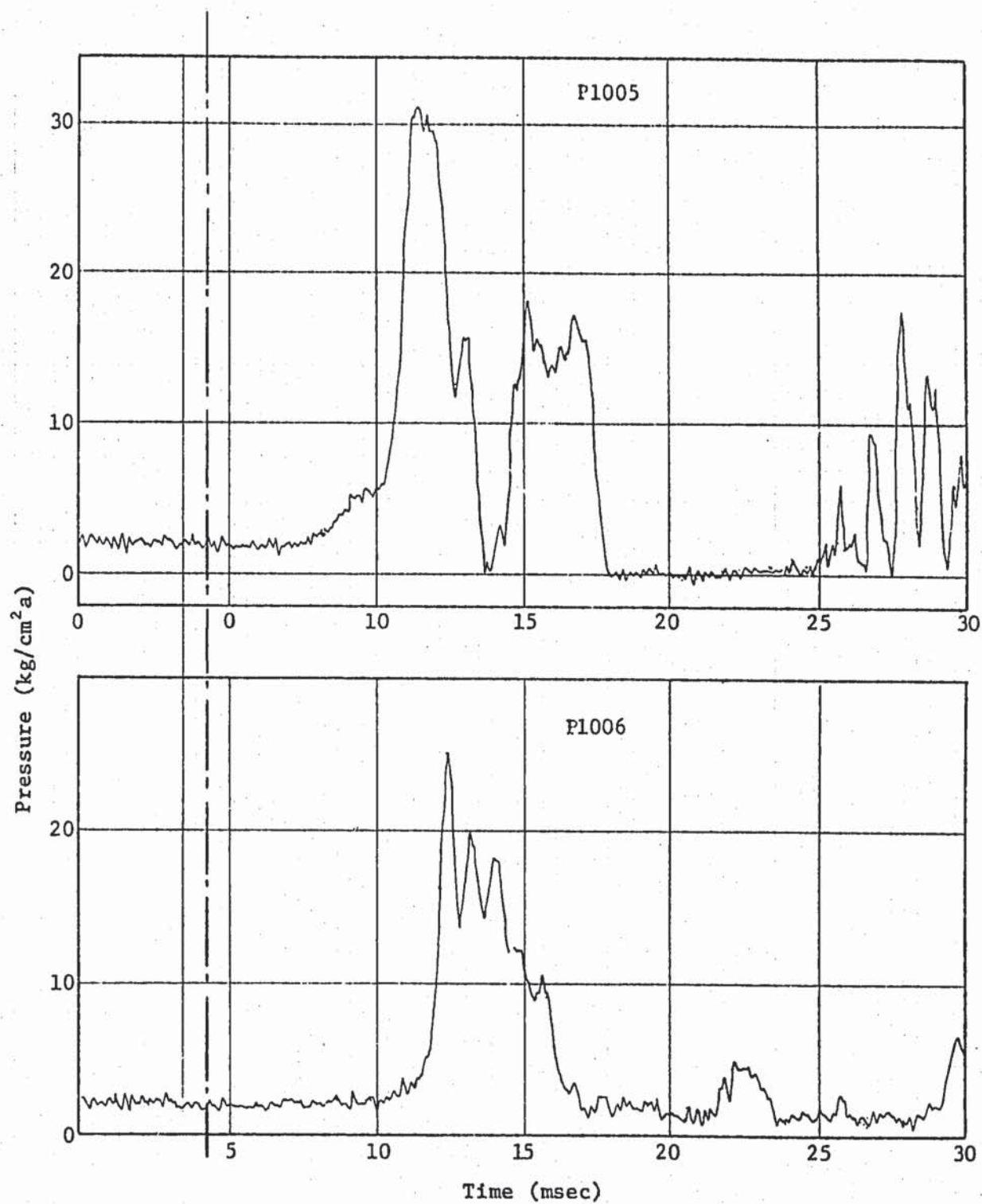


Fig. B.1(c) Propagated Pressure (Run-3)

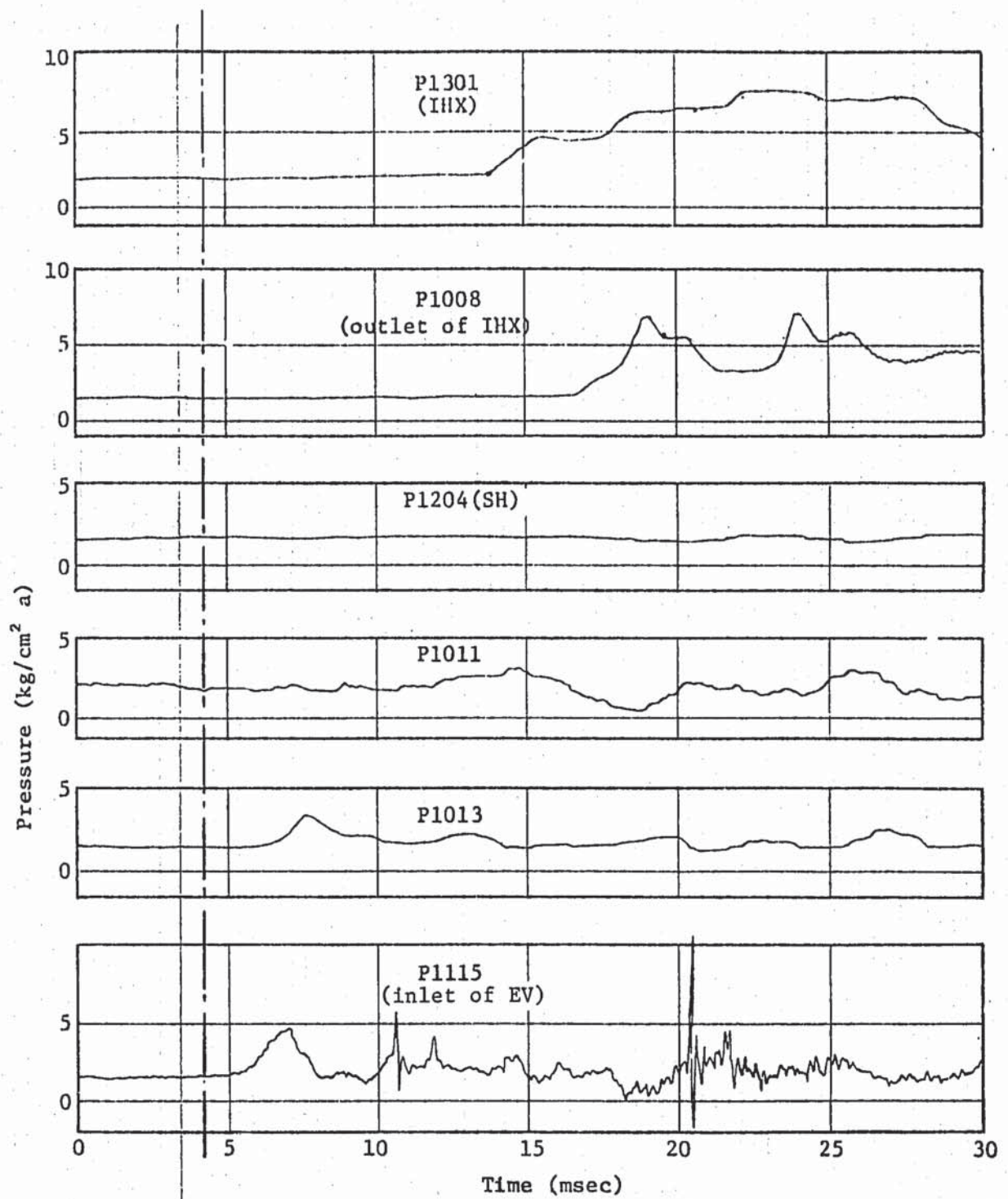


Fig. B.1(d) Propagated Pressure (Run-3)

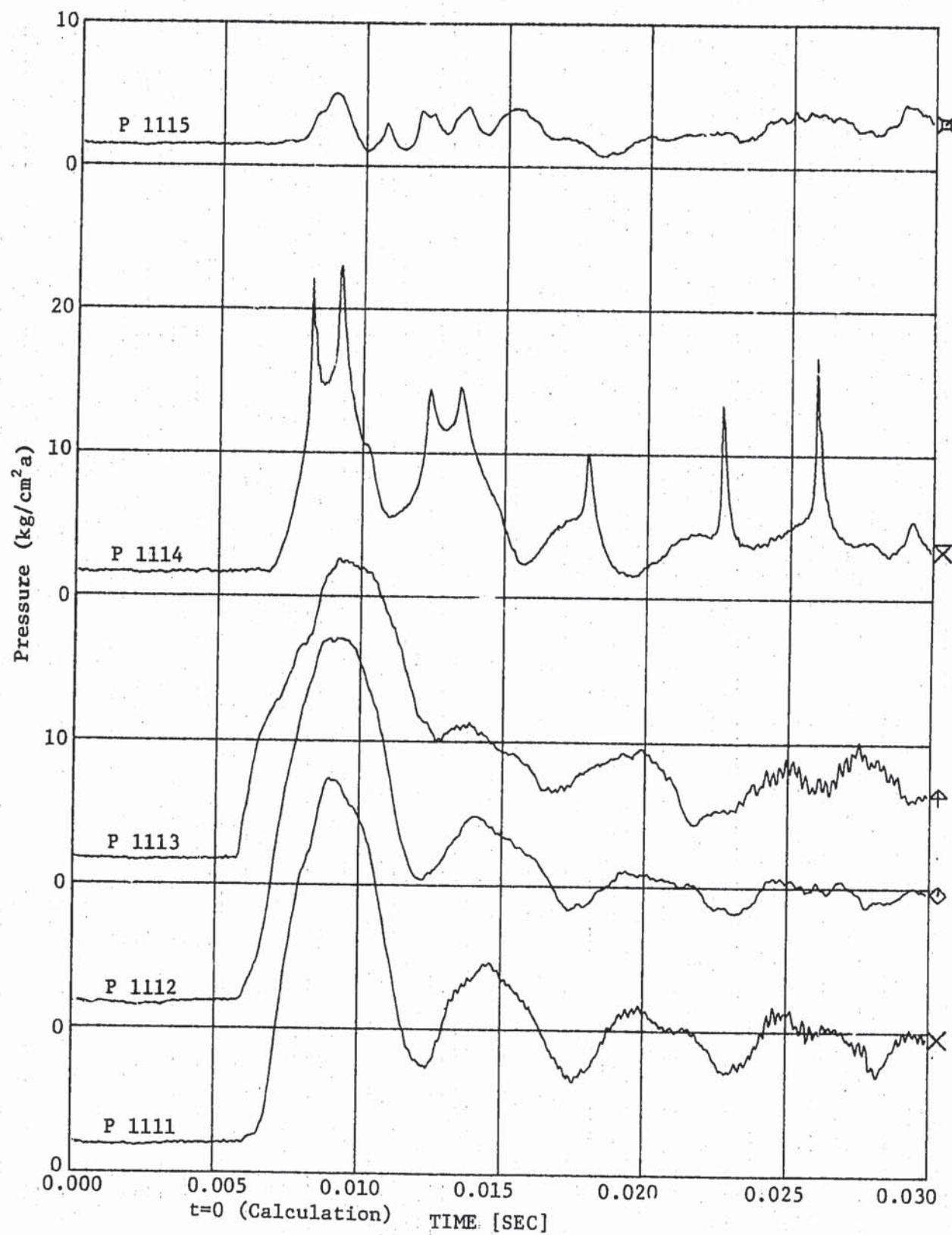


Fig. B.2(a) Initial Spik Pressure at Downcomer in Evaporator (Run-5)

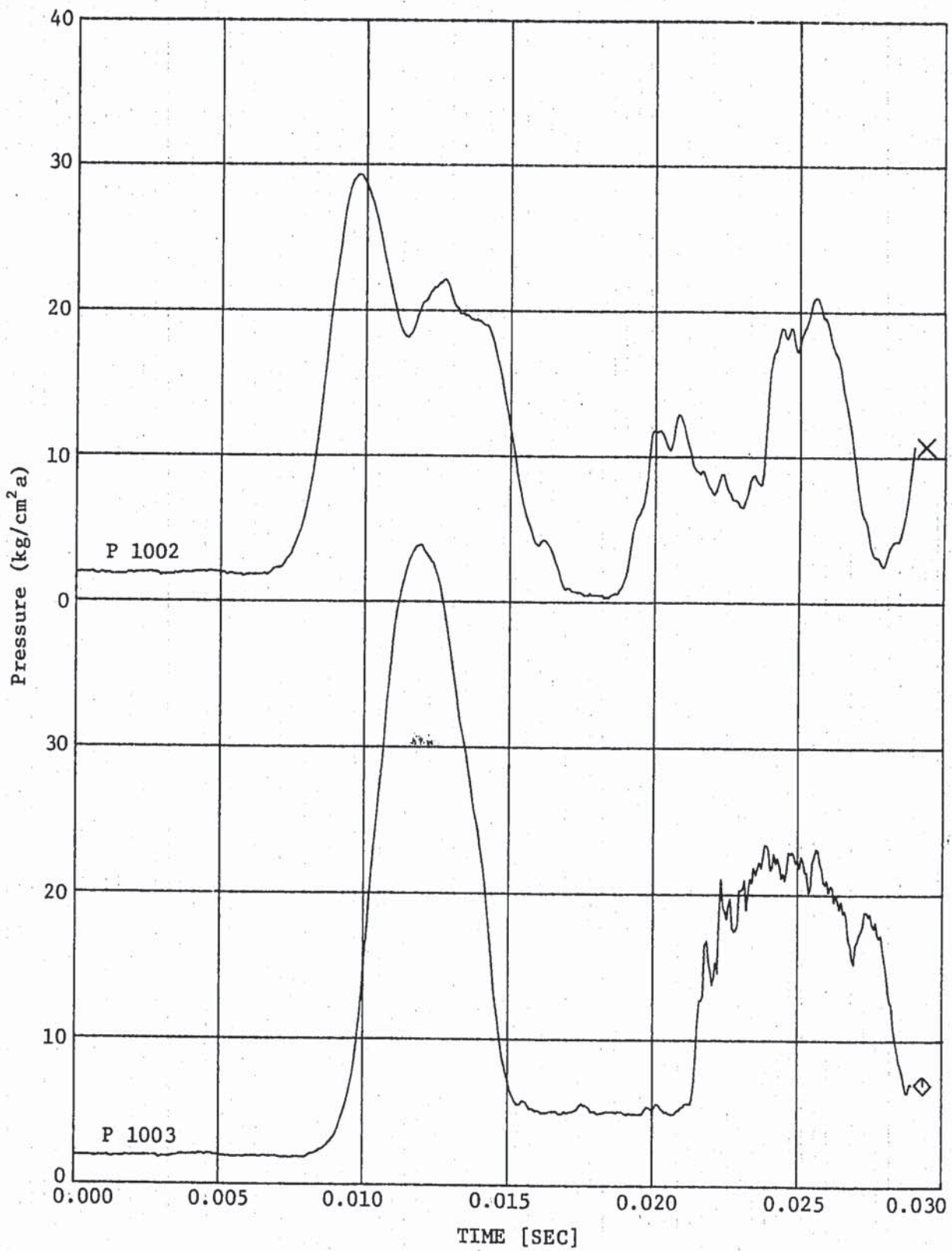


Fig. B.2(b) Propagated Pressure (Run-5)

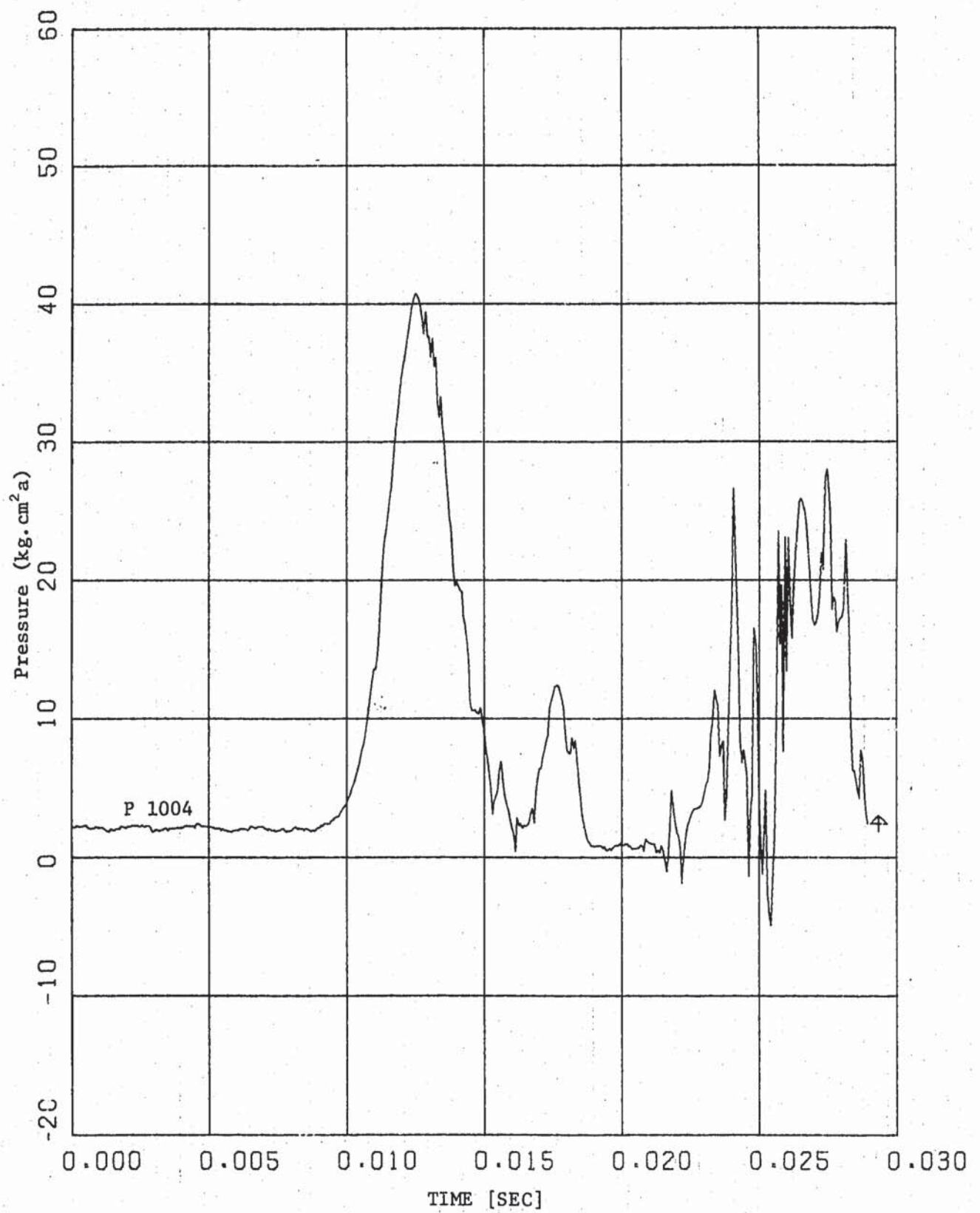


Fig. B.2(c) Propagated Pressure (Run-5)

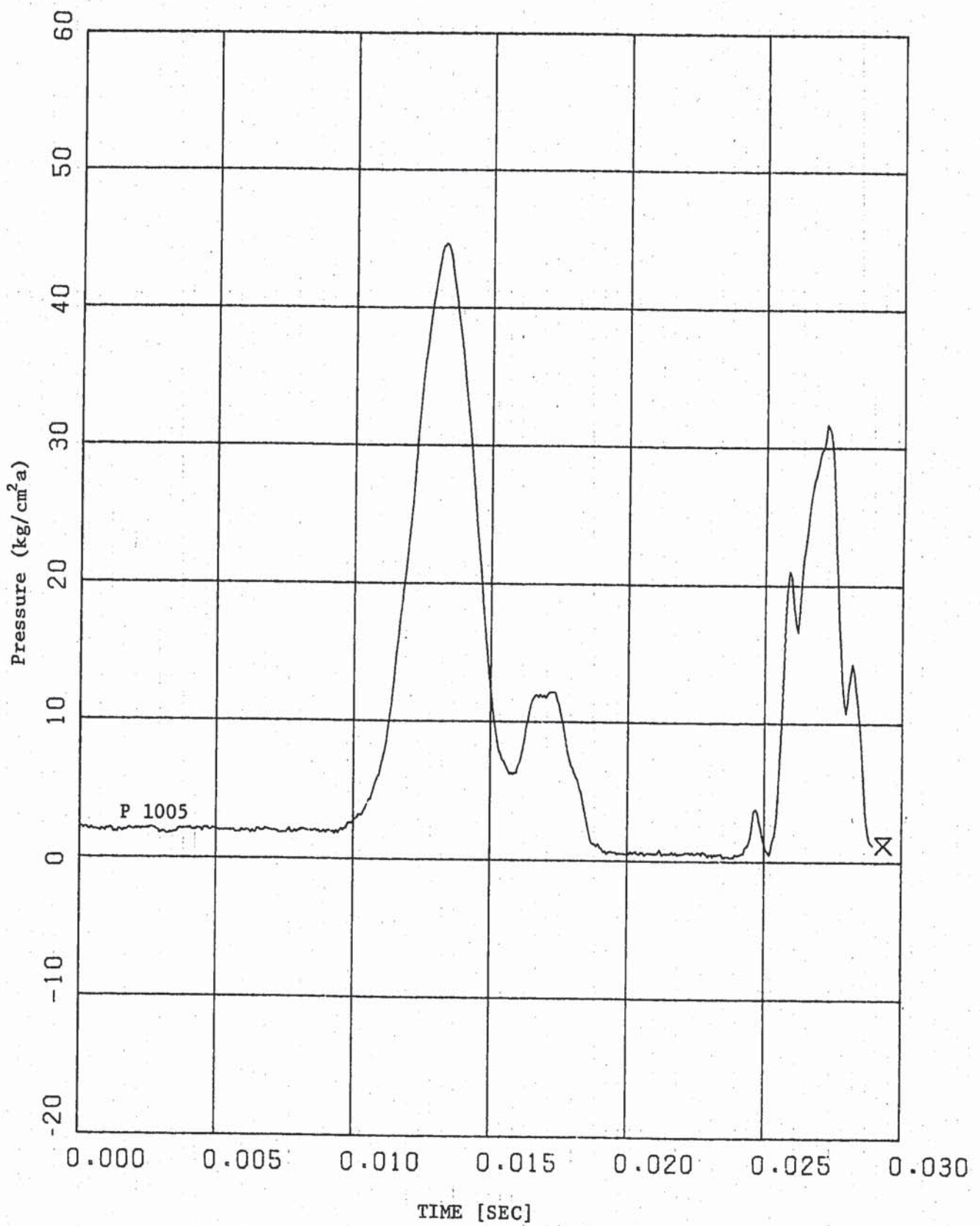


Fig. B.2(d) Propagated Pressure (Run-5)

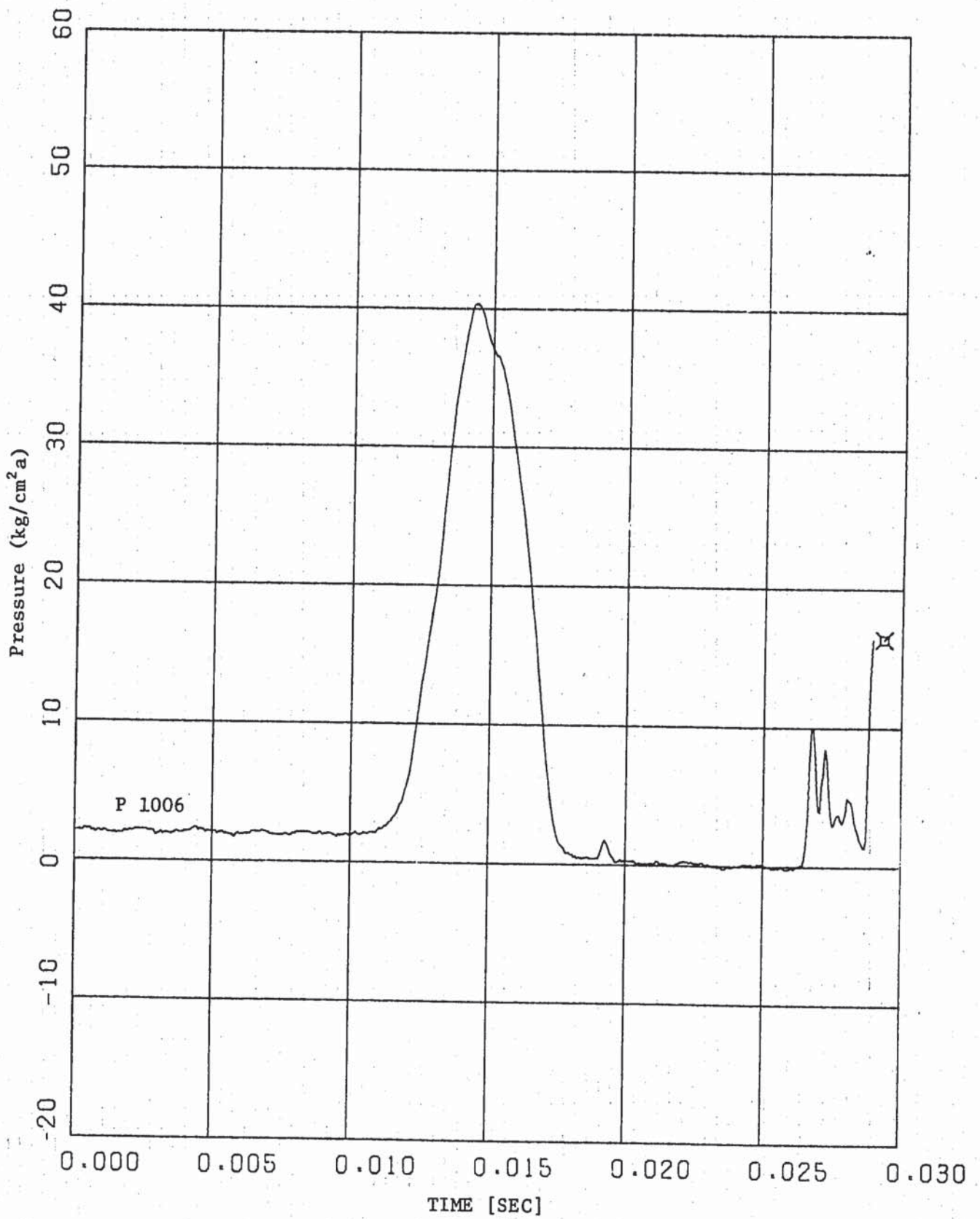


Fig. B.2(e) Propagated Pressure (Run-5)

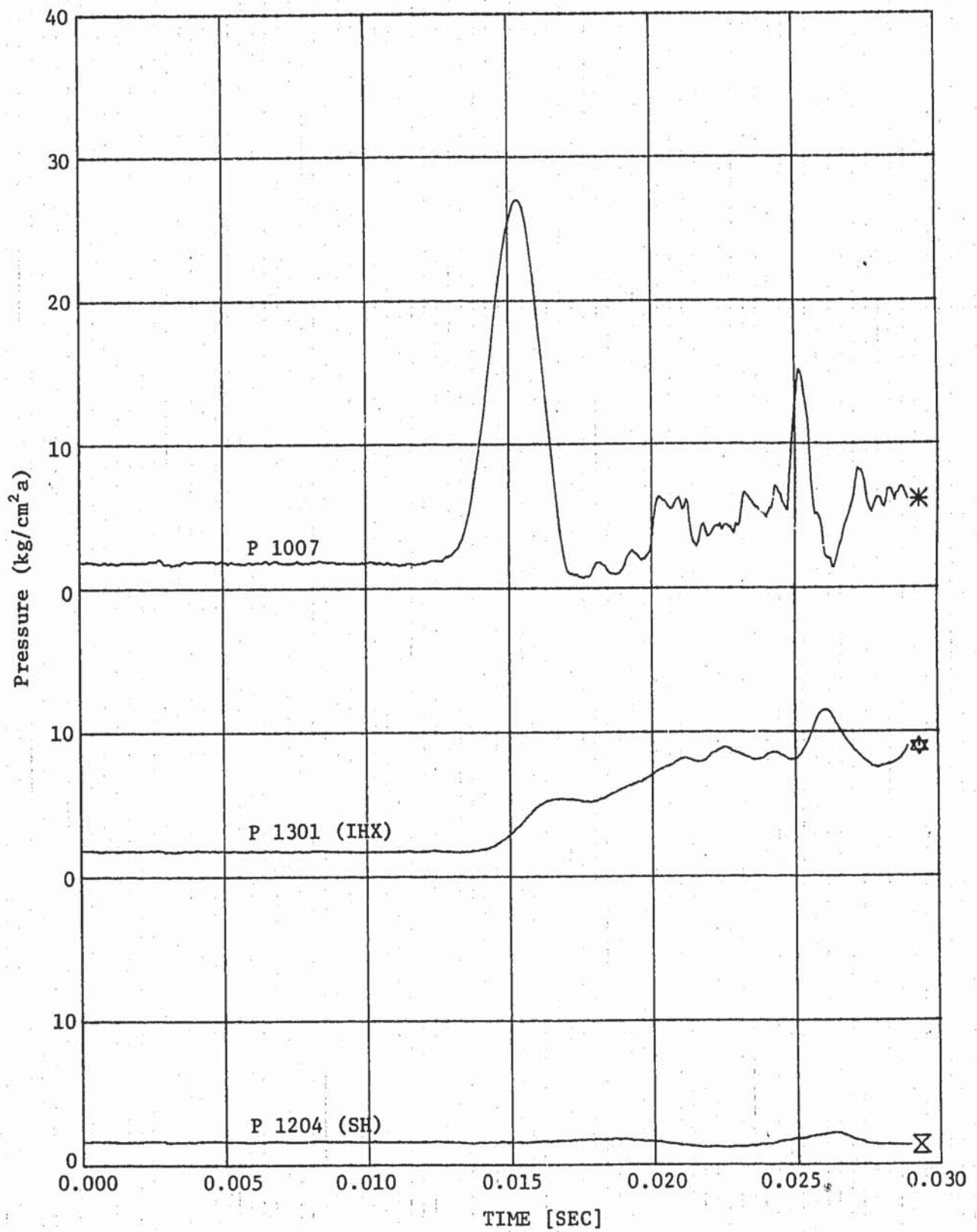


Fig. B.2(f) Propagated Pressure (Run-5)

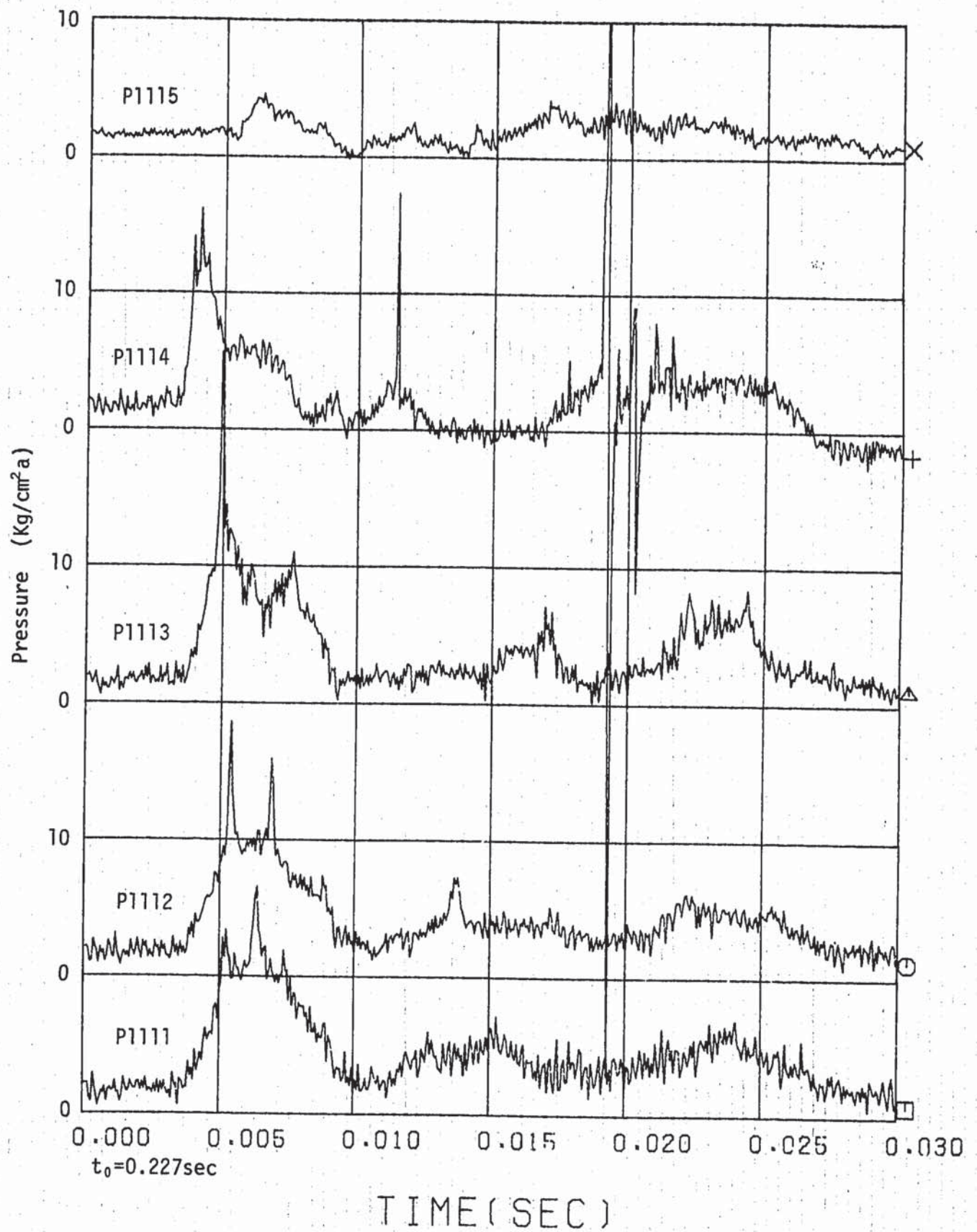


Fig. B.3(a) Initial Spike Pressure at Pressure Tap in Evaporator (Run-7)

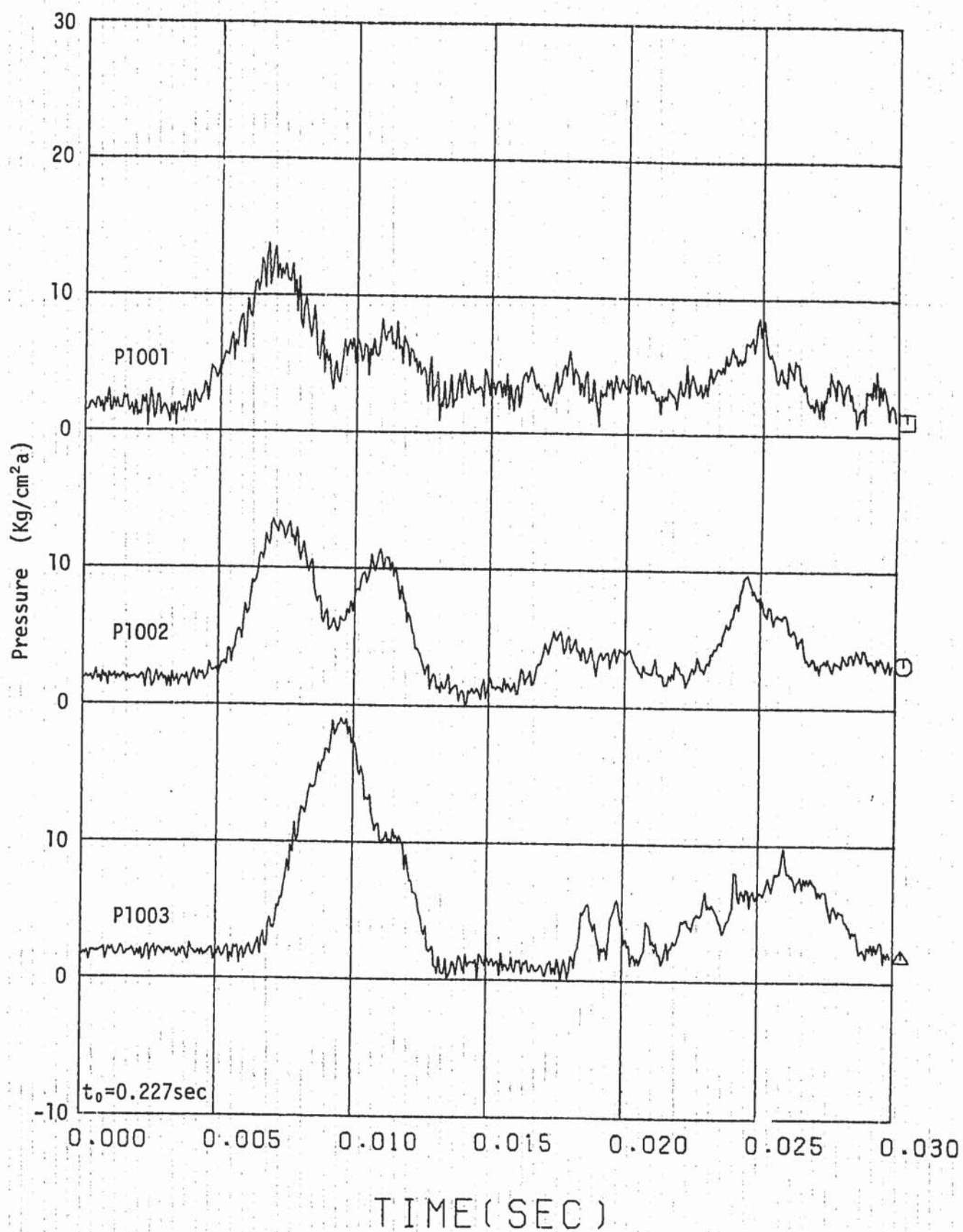


Fig. B.3(b) Propagated Pressure (Run-7)

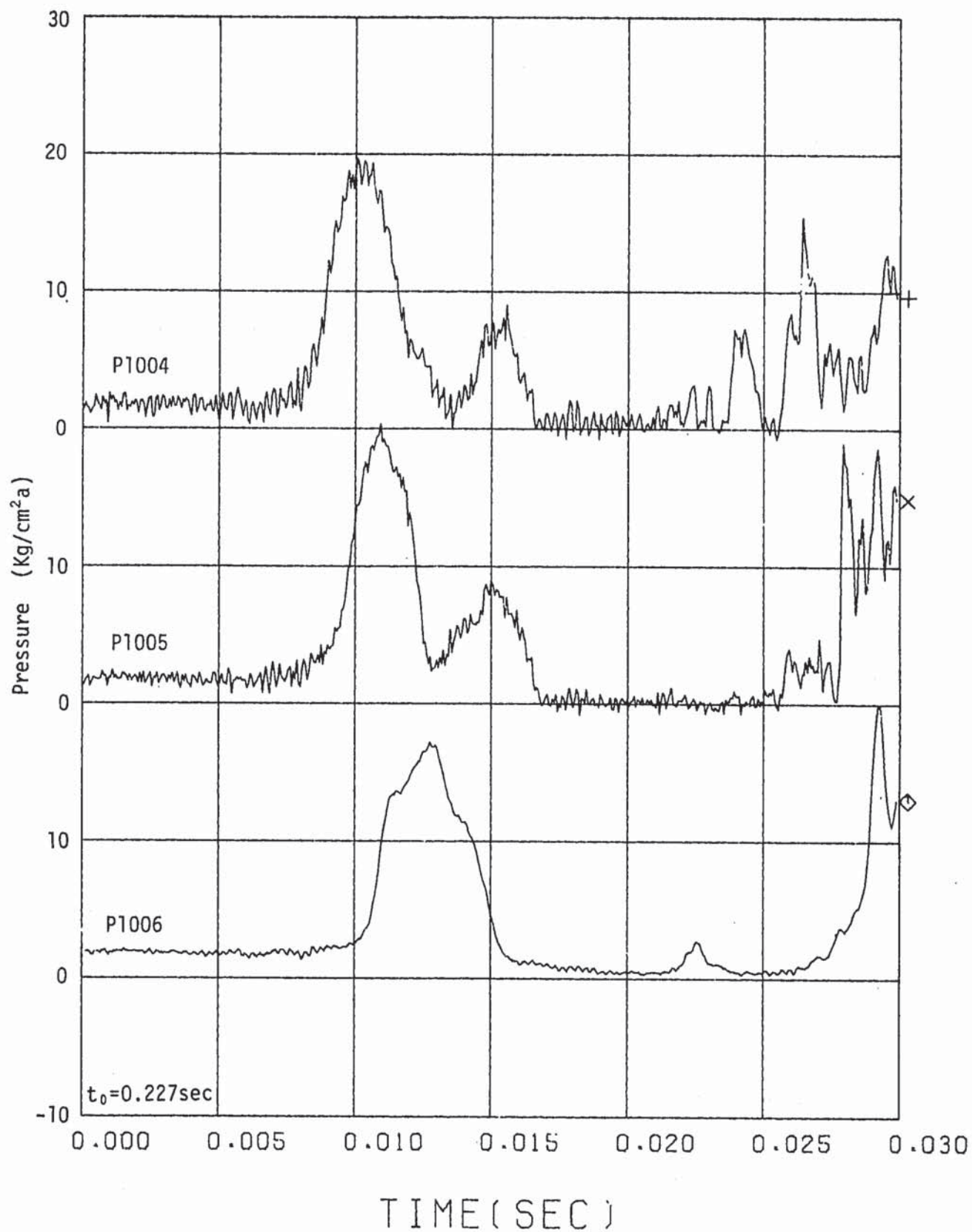


Fig. B.3(c) Propagated Pressure (Run-7)

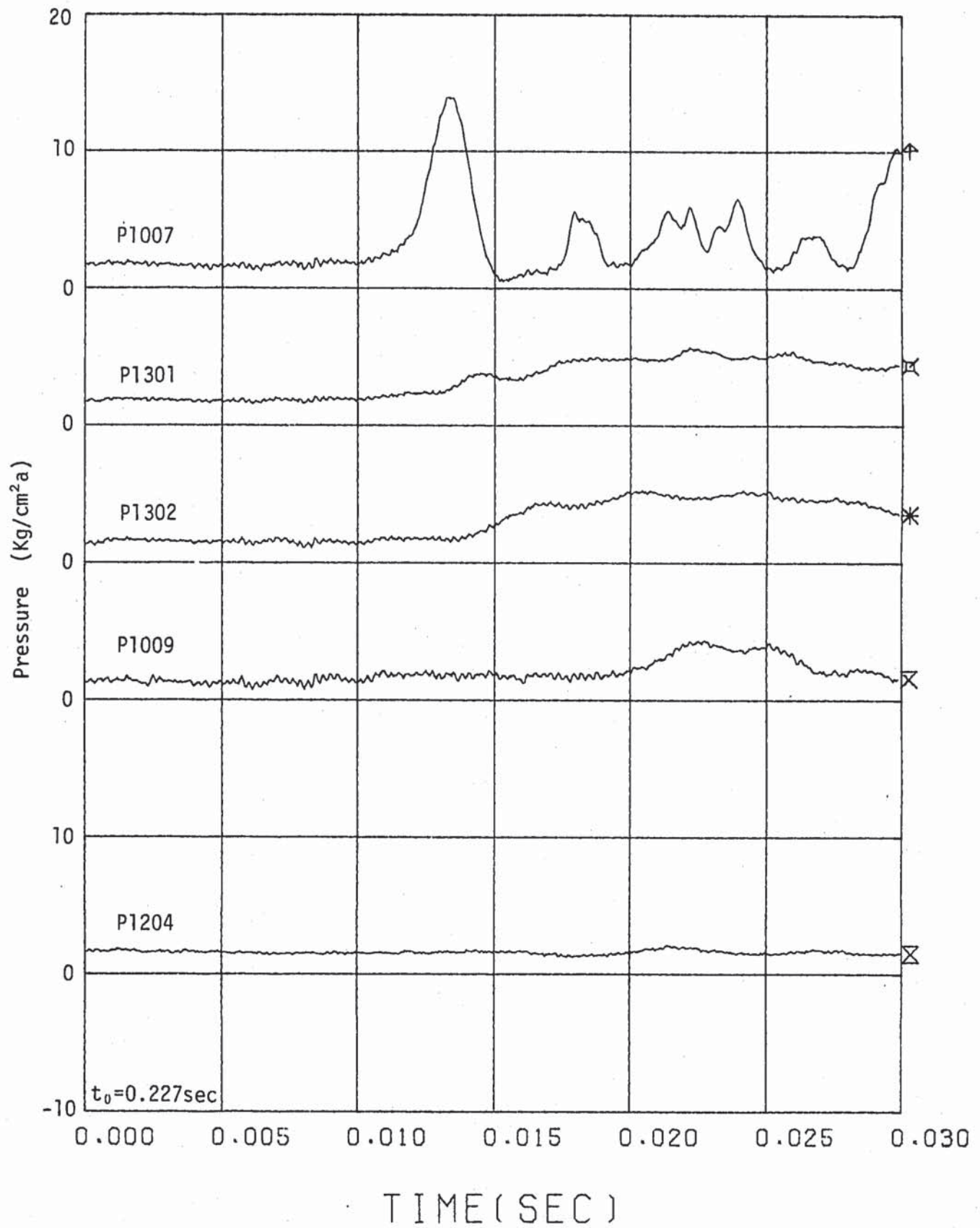


Fig. B.3(d) Propagated Pressure (Run-7)

Appendix C 液柱分離を無視したRun-3, Run-5の計算結果

液柱分離モデルを使用しない場合の, SWAT-3, Run-3, Run-5の計算結果を以下に示す。

C.1 Run-3の計算値と実験値の比較 (SW03.05.C06)

Fig. C.1.1~C.1.7に両者の比較を図示する。

C.2 Run-5の計算値と実験値の比較 (SW05.05.C06)

Fig. C.2.1~C.2.7に両者の比較を図示する。

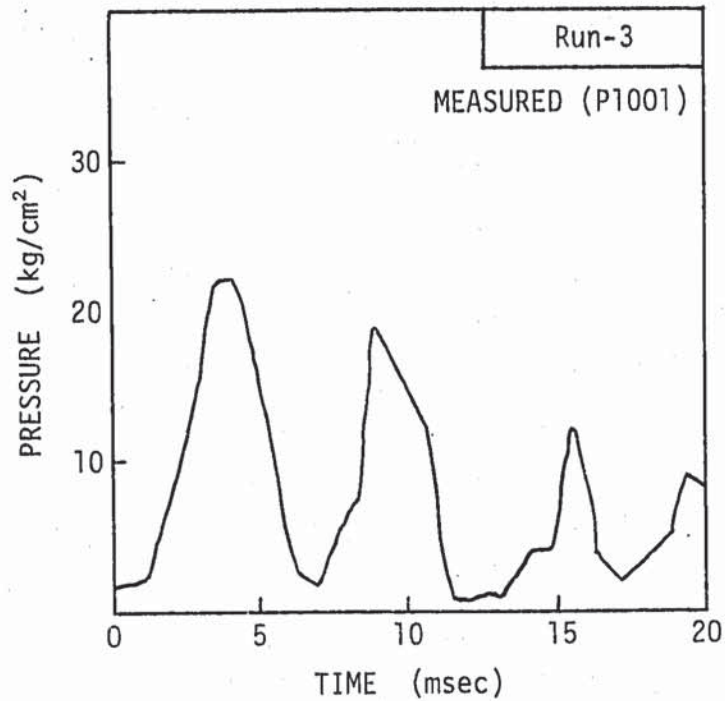


Fig. C.1.1 Pressure Source of Calculation (P1001)

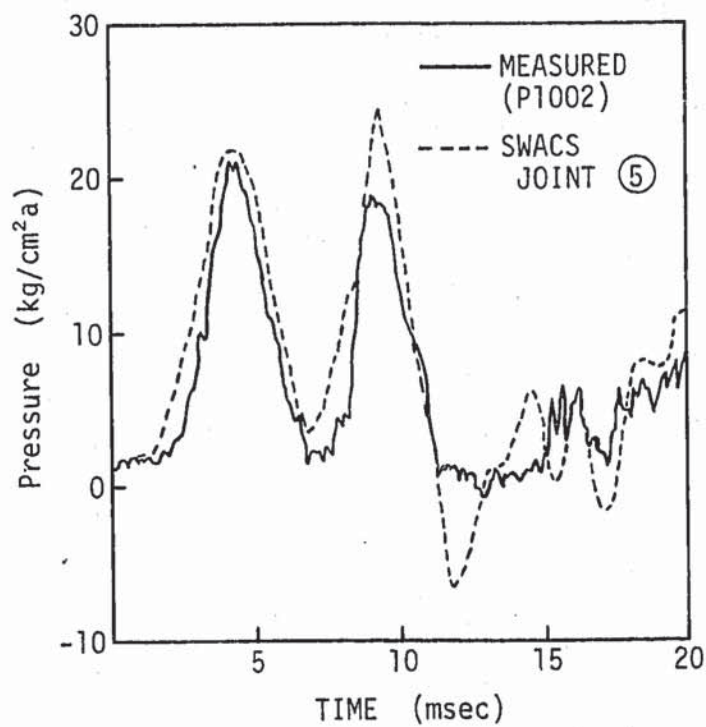


Fig. C.1.2 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1002 in Run-3 test

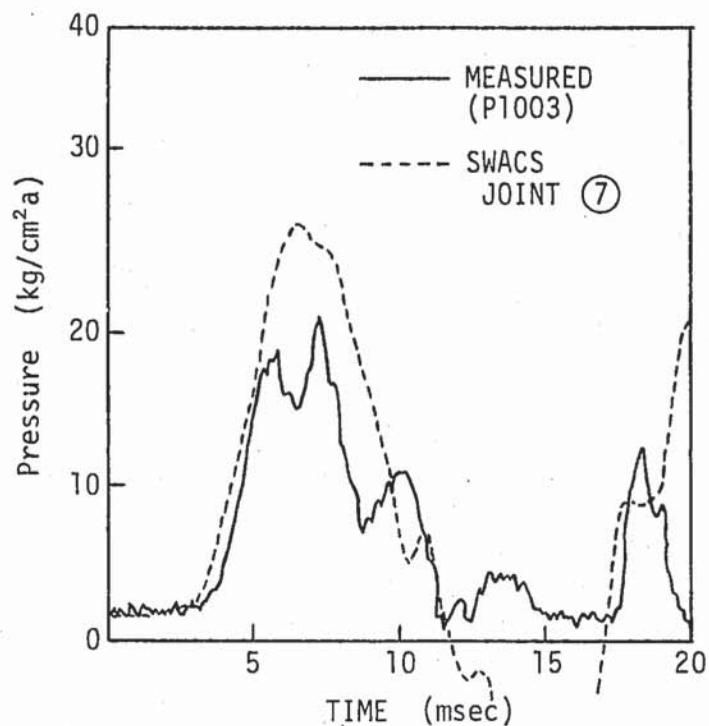


Fig. C.1.3 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1003 in Run-3 test

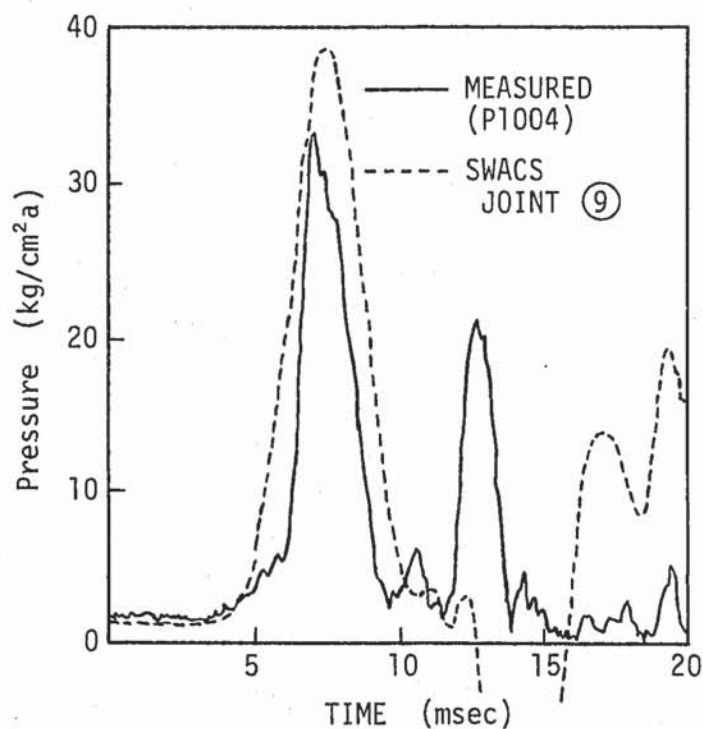


Fig. C.1.4 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1004 in Run-3 test

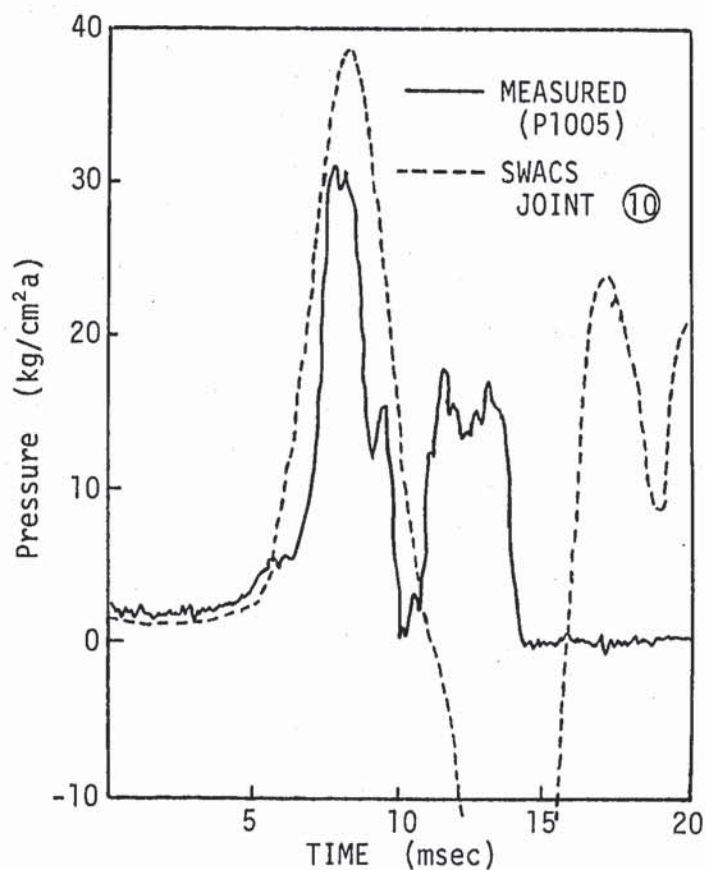


Fig. C.1.5 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1005

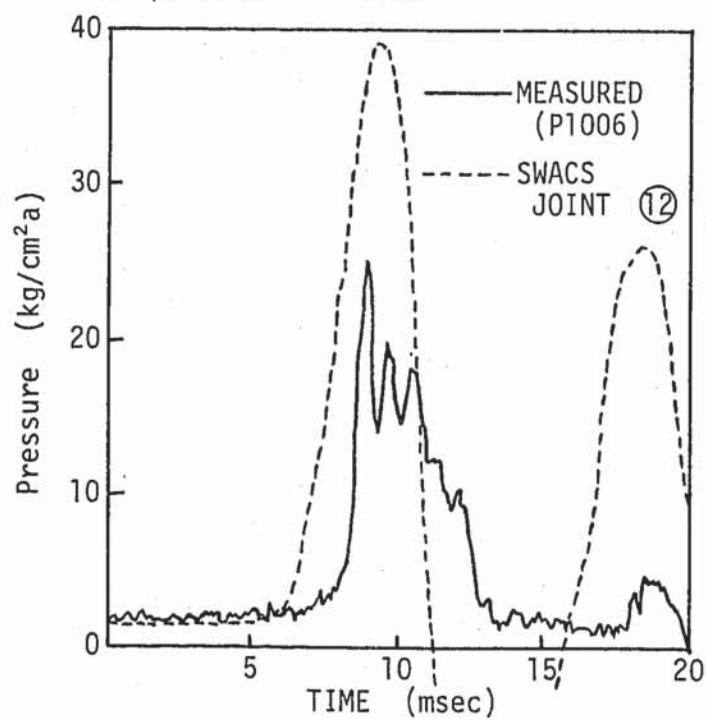


Fig. C.1.6 Comparison between Measurement and Calculation for pressure at P1006 in Run-3 test

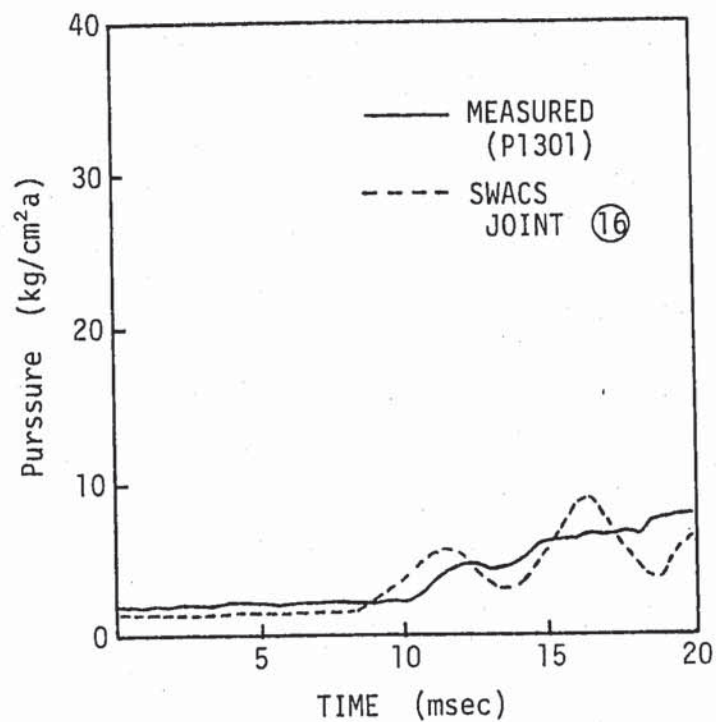


Fig. C.1.7 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1301 (IHX) in Run-3 test

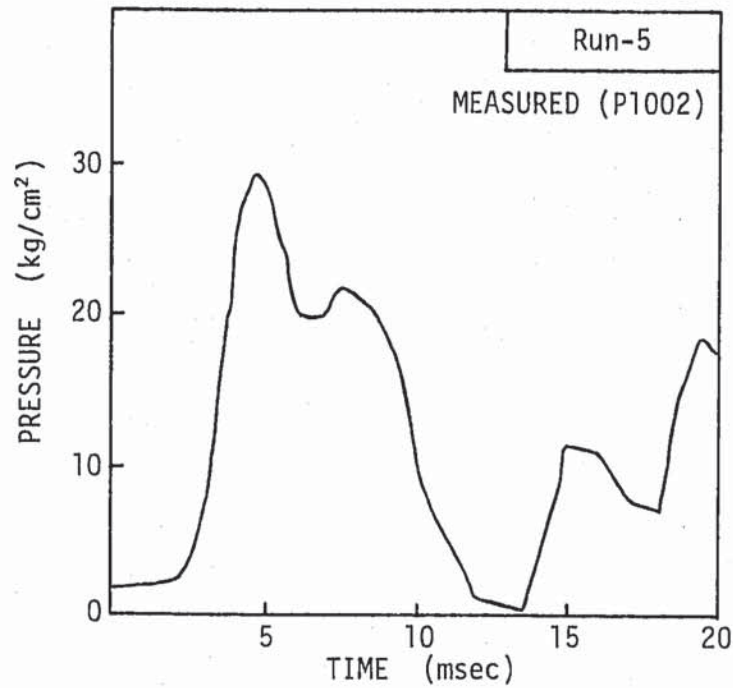


Fig. C.2.1 Pressure Source of Calculation (P1002)

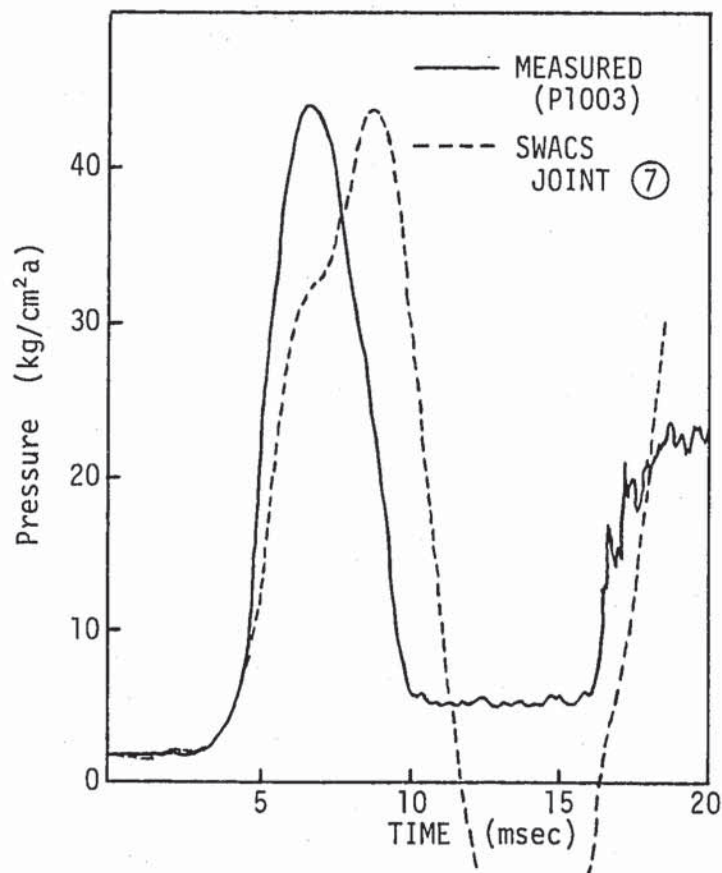


Fig. C.2.2 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1003 in Run-5 test

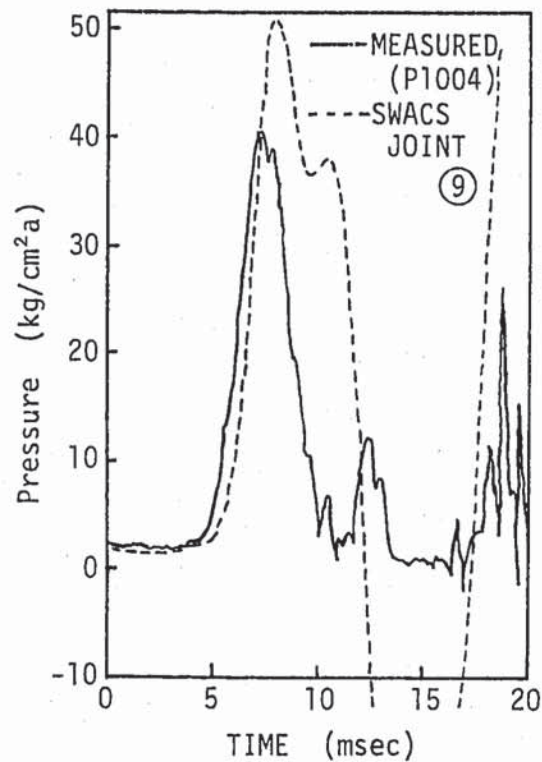


Fig. C.2.3 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1004 in Run-5 test

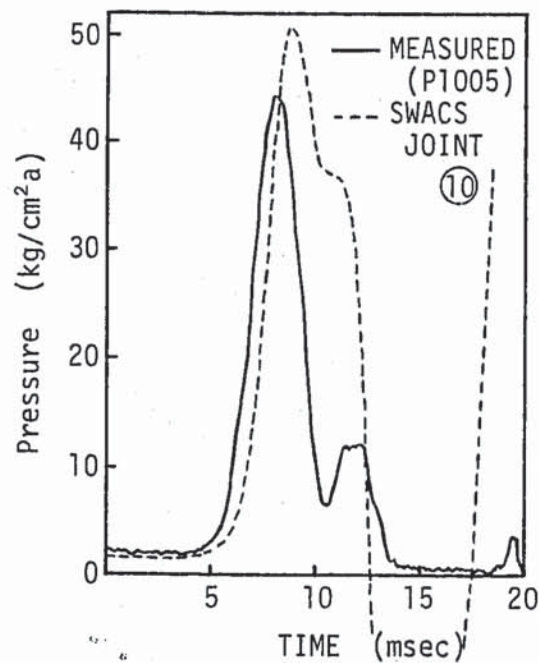


Fig. C.2.4 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1005 in Run-5 test

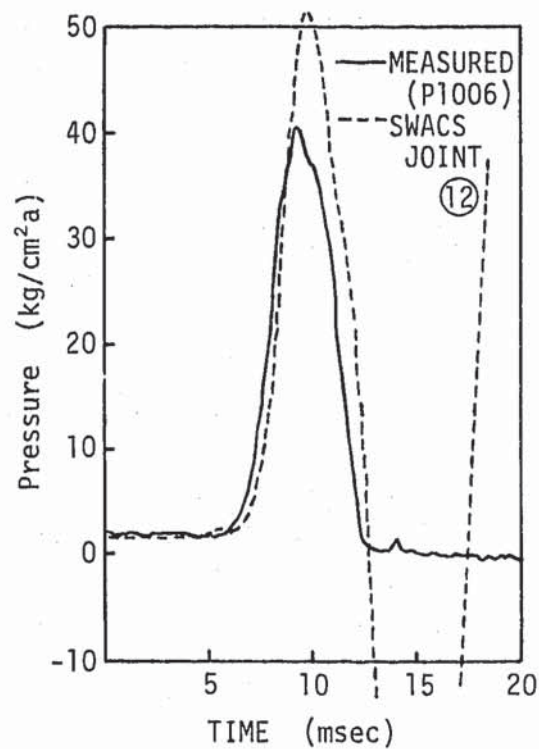


Fig. C.2.5 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1006 in Run-5 test

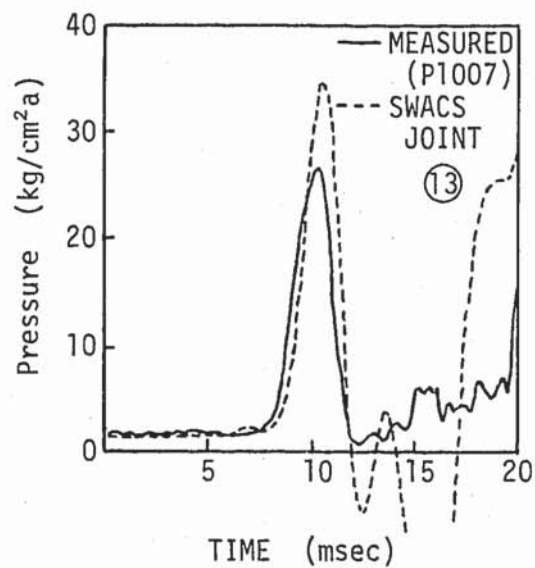


Fig. C.2.6 Comparison between Measurement and Calculation for pressure of P1007 in Run-5 test

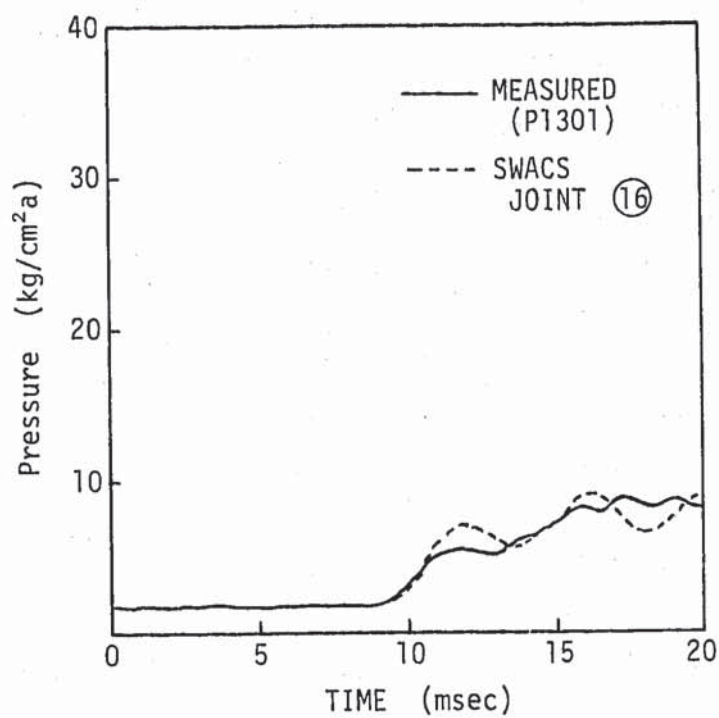


Fig. C.2.7 Comparison between Measurement and Calculation
for pressure of P1301 (IHX) in Run-5 test

Appendix D 計算のゼロ時刻をずらせた場合の Run-3 実験 との比較

4.1 節で示した計算結果の圧力波形を 0.8 msec ずらせて測定値と比較し、Fig. D.1 ~ D.8 に示す。本文中の Fig. 4.1.3 ~ 4.1.10 と比べて全般に圧力の周期の一致がよくなっていることから、データ収録再生時にゼロ時刻のずれが生じている可能性が推定される。

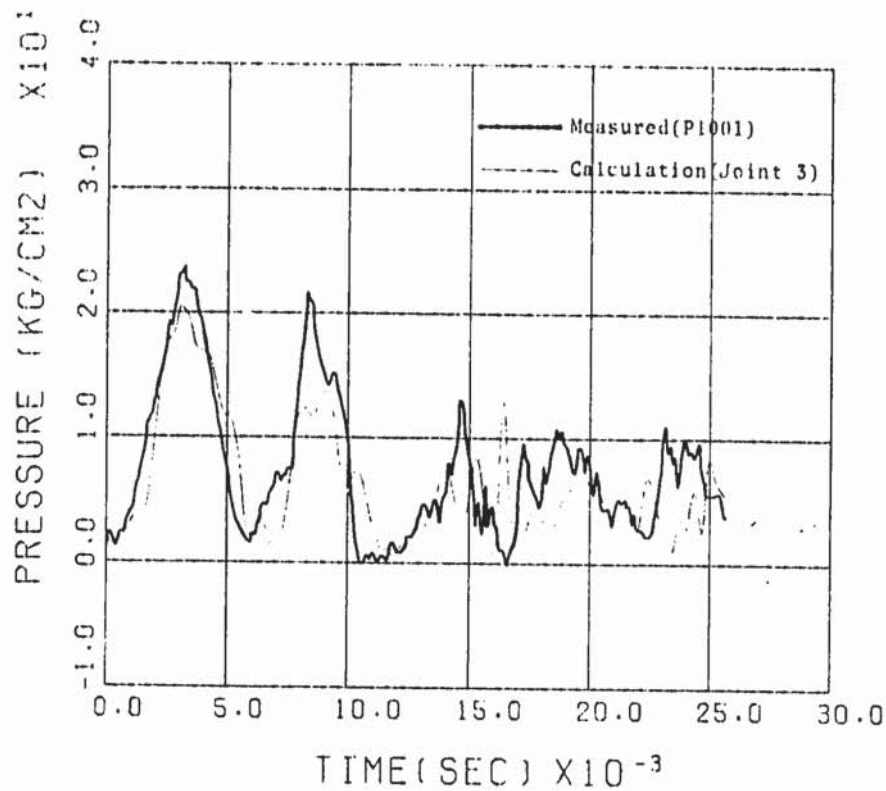


FIG. D.1 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1001)

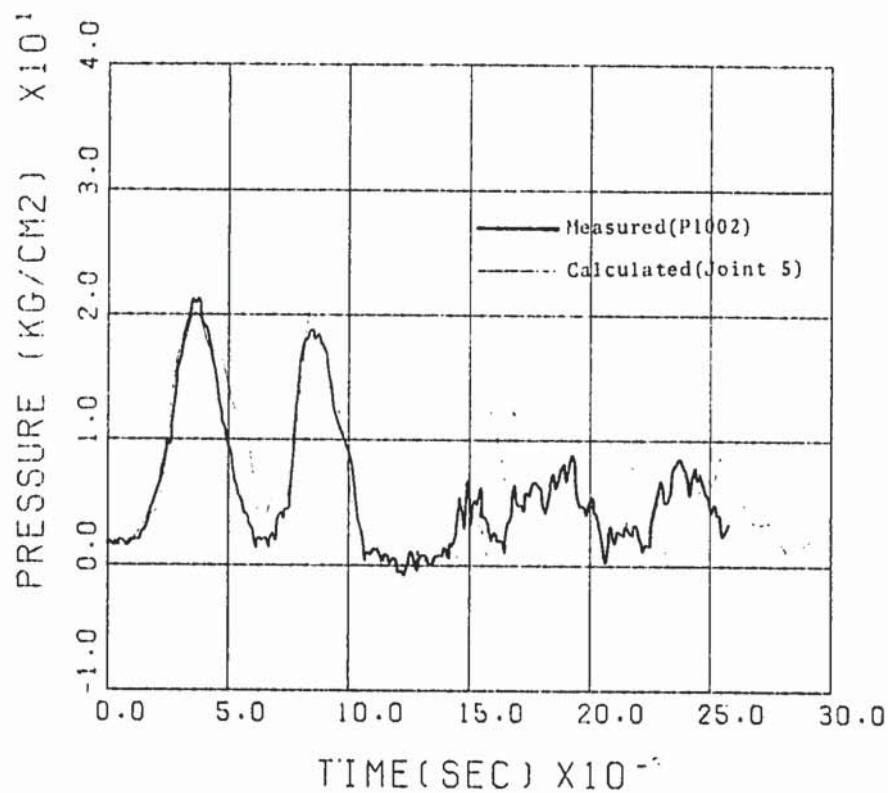


FIG. D.2 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1002)

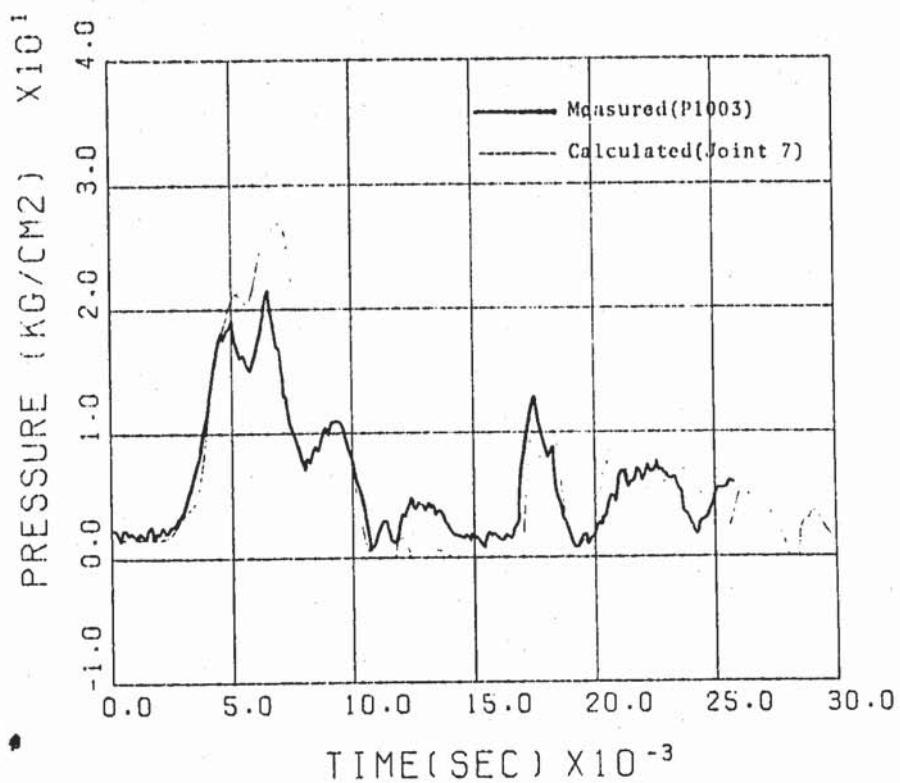


FIG. D.3 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1003)

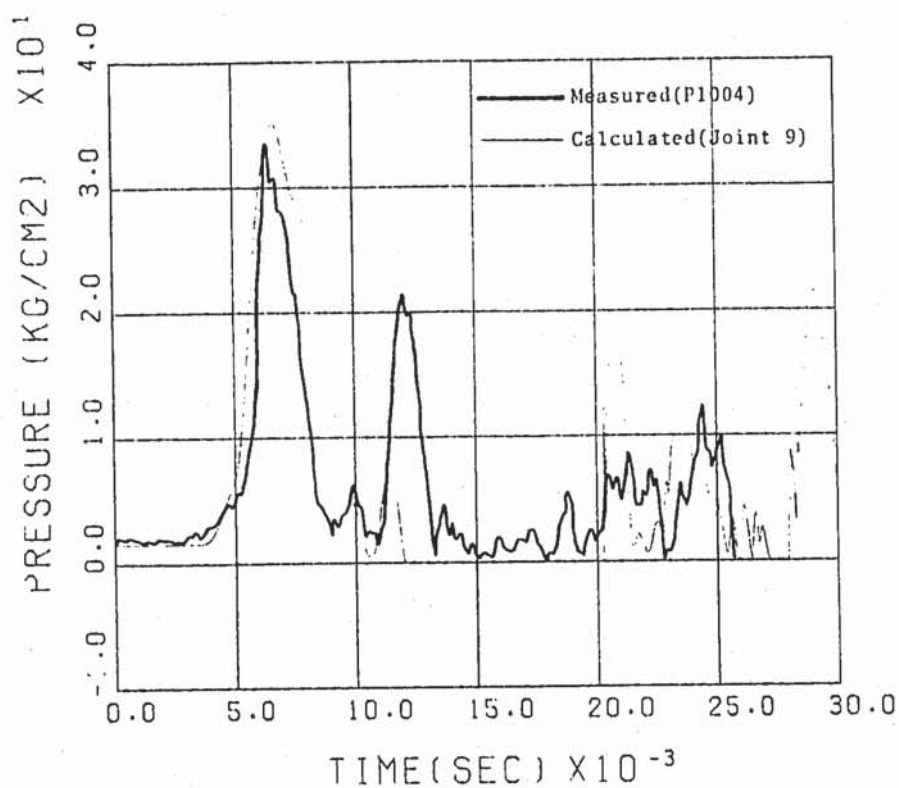


FIG. D.4 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1004)

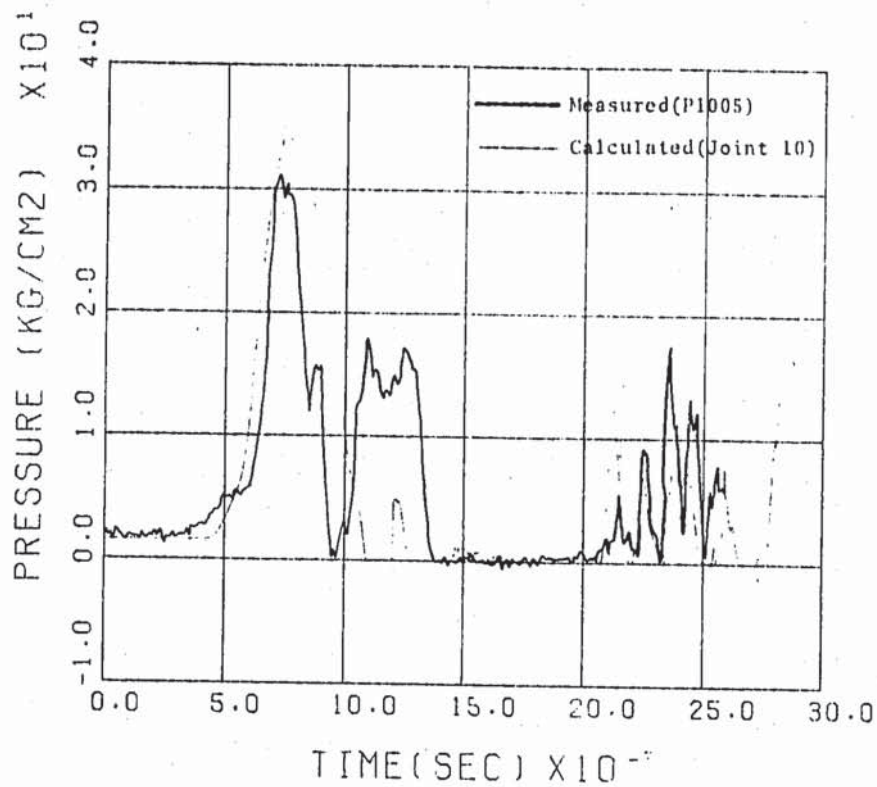


FIG. D.5 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1005)

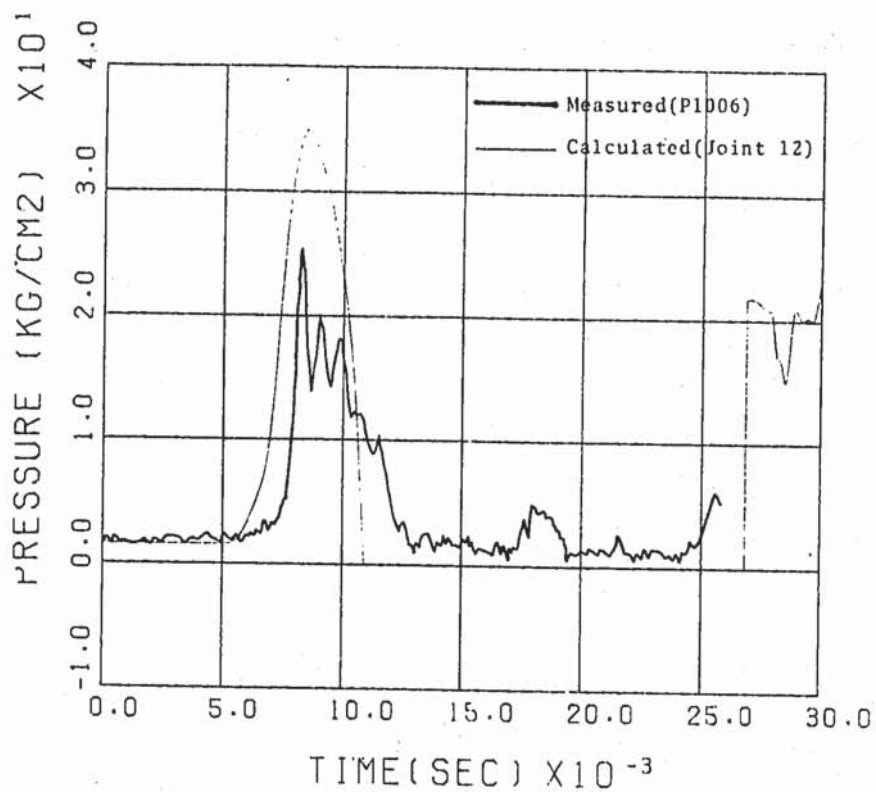


FIG. D.6 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1006)

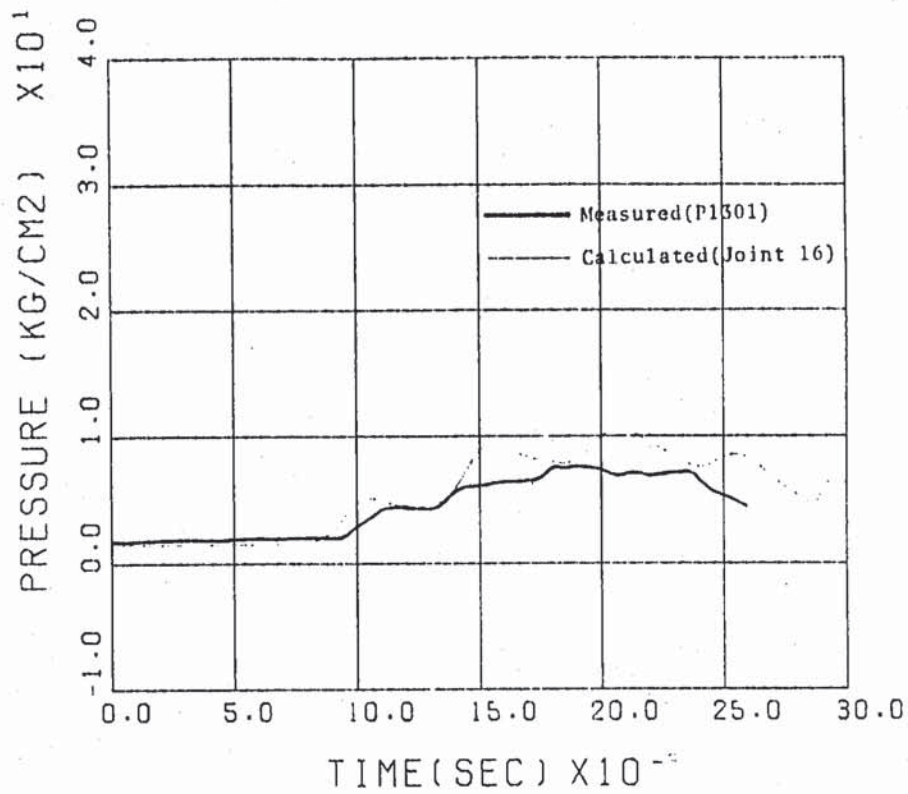


FIG. D.7 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN IHX (P1301)

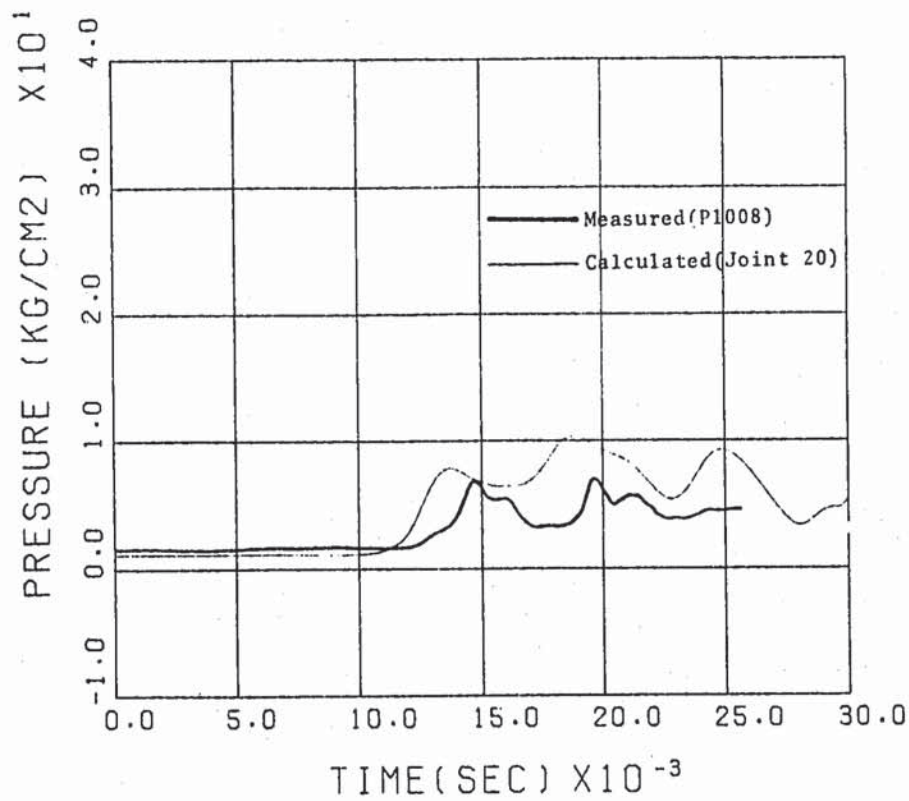


FIG. D.8 PRESSURE PROPAGATION CAL. (SW03.05.C20)
PRESSURE IN PIPING (P1008)

Appendix E 最適計算ケースのインプット・データ・リスト

- E. 1 Run-3 (ケース番号 SW03.05.C.20)
- E. 2 Run-5 (" SW05.05.C.20)
- E. 3 Run-7 (" SW07.05.C.03)

E.1 Run-3

** SWAT-3 ANALYSIS FOR RUN-3 TEST CASE-SW03.05.C20 MAY.07.1980

1	8	0	0	0	1	0	0	0	1500
31	8	1	20	100	10	300	0	0	0
39	1	1							
44	1	0							
54	1	1							
58	1	1							

1	5	0.	0.	0.	0.	3.0	-2
---	---	----	----	----	----	-----	----

SWAT-3	CASE-SW03.05.C20				MAY.07.1980							
1	10	13	5	5	11	3	3	5	6	1	1	
11	4	2	1	1	2							
22	10	1006	6011	11022	22025	25028	28033	33039	25040	28041	6043	
32	3	11044	22045	33047								
42	10	1002	2003	3004	4005	5006	6007	7008	8009	9010	10011	
52	10	11012	12013	13014	14015	15016	16017	17018	18019	19020	20021	
62	10	21022	22023	23024	24025	25026	26027	27028	28029	29030	30031	
72	10	31032	32033	33034	34035	35036	36037	37038	38039	25040	28041	
82	6	6042	42043	11044	22045	33046	46047					
92	10	6	3	4	4	1	25	19	9	12	4	
102	10	12	22	9	2	5	33	7	2	11	86	
112	10	11	22	10	5	2	9	13	1	5	16	
122	10	4	5	55	26	48	9	10	2	2	22	
132	6	2	47	3	7	3	13					
164	5	-41	43	44	45	47						
175	2	0	1									
187	1	5										
201	1	2										
202	2	39	40									
212	1	2										
213	2	39	40									
237	1	2										
238	2	1	38									
240	1	40										
270	2	2	0									

1	5	0.509	0.27	0.4	0.4	0.1
6	5	2.5	1.944	1.08	1.376	0.49
11	5	1.46	2.6	1.05	0.188	0.352
16	5	3.3	0.859	0.188	1.236	10.06
21	5	1.3	3.096	0.954	0.5	0.15
26	5	0.8	1.1	0.1	0.5	1.6
31	5	0.4	0.5	5.45	2.61	4.75
36	5	0.94	1.	0.12	0.15	2.2
41	5	0.75	5.4	0.315	0.765	0.425
46	1	1.46				
51	5	1616.69	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6
56	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2
61	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	1743.6
66	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2
71	5	2028.2	2028.2	1743.6	1743.6	1372.5
76	5	1372.5	1372.5	1619.6	1619.6	1743.6
81	5	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6
86	5	1743.6	1743.6	1050.4	1372.5	1748.1
91	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2
96	1	2028.2				
101	5	1.32732	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2
106	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3
111	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	3.24612-2
116	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.16128-3	2.18128-3

121	5	2.18128-2	2.18128-2	3.24612-2	3.24612-2	4.1234 -1
126	5	4.1234 -1	4.1234 -1	5.02655-1	5.02655-1	3.24612-2
131	5	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2
136	5	3.24612-2	3.24612-2	0.98	0.41234	7.9673 -2
141	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3
146	1	2.18128-3				
151	5	1.3	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
156	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
161	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.2033
166	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
171	5	0.0527	0.0527	0.2033	0.2033	0.4609
176	5	0.4609	0.4609	0.8	0.8	0.2033
181	5	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
186	5	0.2033	0.2033	0.8164	0.4609	0.3185
191	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527
196	1	0.0527				
202	2	858.61	3.3129 -7			
249	1	13.				
255	2	0.3164	-0.25			
257	5	0.	0.5	0.	0.41	0.
262	5	0.	0.41	0.	2.9	0.
267	5	0.43	2.5	0.43	1.3	0.
272	5	0.	0.	0.42	0.86	1.29
277	5	0.43	0.	0.	1.	0.
282	5	0.	0.	0.	0.	0.42
287	5	0.41	0.	0.41	0.82	0.41
292	5	0.	1.	0.	0.	0.
297	5	0.	0.43	0.	0.	0.
302	1	0.43				
307	5	0.779	0.27	0.0	-0.4	-0.40763
312	5	-0.40954	-0.45724	-0.49433	-0.51494	-0.5412
317	5	-0.55074	-0.57846	-0.62801	-0.649	-0.461
322	5	-0.109	3.191	4.05	4.238	4.25293
327	5	4.35857	4.3735	4.4033	4.41483	4.42
332	5	4.27	3.47	2.37	2.27	1.77
337	5	0.17	-0.23	-0.23584	-0.29951	-0.33
342	5	4.42	4.42969	4.44	4.59	4.57
347	5	4.57	-0.65954	-0.65954	-0.55074	4.375
352	2	-0.66084	-0.66084			
358	5	15330.	17.8544	0.0	0.0	0.0
363	1	0.0				
391	1	1.5				
401	2	1.667	1000.			
426	5	0.	3.1 -4	1.2 -3	2.3 -3	2.5 -3
431	5	2.9 -3	3.5 -3	4.2 -3	4.6 -3	5.0 -3
436	5	5.2 -3	6.2 -3	6.8 -3	7.0 -3	7.5 -3
441	5	8.3 -3	8.9 -3	1.07 -2	1.09 -2	1.14 -2
446	5	1.19 -2	1.27 -2	1.31 -2	1.33 -2	1.42 -2
451	5	1.48 -2	1.56 -2	1.64 -2	1.70 -2	1.78 -2
456	5	1.89 -2	1.94 -2	2.00 -2	2.08 -2	2.18 -2
461	5	2.35 -2	2.44 -2	2.54 -2	2.59 -2	2.66 -2
476	5	1.6	2.	4.	16.2	19.
481	5	19.2	18.4	14.6	13.2	10.0
486	5	7.4	1.6	1.6	2.0	6.
491	5	9.6	10.8	6.0	4.4	2.2
496	5	1.4	2.6	3.8	6.0	7.2
501	5	7.6	5.2	2.8	2.8	3.2
506	5	4.8	6.0	5.8	5.0	2.5
511	5	3.5	5.0	5.5	4.2	3.5
526	5	1.4	1.6	1.68	1.8	3.0
531	5	3.6	4.6	3.0	1.6	1.4

536	5	1.8	1.2	2.8	2.4	2.0
541	5	3.6	2.2	2.0	2.8	2.8
546	5	1.6	2.4	1.6	1.4	2.4
551	5	0.6	2.2	2.6	2.8	2.4
556	5	2.4	1.0	2.4	2.0	2.2
561	5	1.5	1.6	1.4	2.0	2.5
606	2	1.0	0.8			
900	1	0.				

E.2 Run-5

** SWAT-3 ANALYSIS FOR RUN-5 TEST CASE-SW05.05.C20 MAY.08.1980

1	8	0	0	0	1	0	0	0	1500
31	8	1	20	100	10	300	0	0	0
39	1	1							
44	1	0							
54	1	1							
58	1	1							
1	5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.5	-2

SWAT-3	CASE_SW05.05.C20				MAY.08.1980						
1	10	13	5	5	11	3	3	5	6	1	1
11	4	2	1	1	2						
22	10	1006	6011	11022	22025	25028	28033	33039	25040	28041	6043
32	3	11044	22045	33047							
42	10	1002	2003	3004	4005	5006	6007	7008	8009	9010	10011
52	10	11012	12013	13014	14015	15016	16017	17018	18019	19020	20021
62	10	21022	22023	23024	24025	25026	26027	27028	28029	29030	30031
72	10	31032	32033	33034	34035	35036	36037	37038	38039	25040	28041
82	6	6042	42043	11044	22045	33046	46047				
92	10	6	3	4	4	1	25	19	9	12	4
102	10	12	22	9	2	5	33	7	2	11	86
112	10	11	22	10	5	2	9	13	1	5	16
122	10	4	5	55	26	48	9	10	3	2	22
132	6	2	47	3	7	3	13				
164	5	-41	43	44	45	47					
175	2	0	1								
187	1	5									
201	1	2									
202	2	39	40								
212	1	2									
213	2	39	40								
237	1	2									
238	2	1	38								
240	1	40									
270	2	2	0								

1	5	0.509	0.27	0.4	0.4	0.1
6	5	2.5	1.944	1.08	1.376	0.49
11	5	1.46	2.6	1.05	0.188	0.352
16	5	3.3	0.859	0.188	1.236	10.06
21	5	1.3	3.096	0.954	0.5	0.15
26	5	0.8	1.1	0.1	0.5	1.6
31	5	0.4	0.5	5.45	2.61	4.75
36	5	0.94	1.	0.29	0.15	2.2
41	5	0.25	5.4	0.315	0.765	0.425
46	1	1.46				
51	5	1616.69	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6
56	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2
61	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	1743.6
66	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2
71	5	2028.2	2028.2	1743.6	1743.6	1372.5
76	5	1372.5	1372.5	1619.6	1619.6	1743.6
81	5	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6
86	5	1743.6	1743.6	1056.9	1372.5	1748.1
91	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2
96	1	2028.2				
101	5	1.32732	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2
106	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3
111	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	3.24612-2
116	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.16128-3	2.18128-3

121	5	2.18128-2	2.18128-2	3.24612-2	3.24612-2	4.1234 -1
126	5	4.1234 -1	4.1234 -1	5.02655-1	5.02655-1	3.24612-2
131	5	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2
136	5	3.24612-2	3.24612-2	0.819	0.41234	7.9673 -2
141	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3
146	1	2.18128-3				
151	5	1.3	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
156	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
161	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.2033
166	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
171	5	0.0527	0.0527	0.2033	0.2033	0.4609
176	5	0.4609	0.4609	0.8	0.8	0.2033
181	5	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
186	5	0.2033	0.2033	0.8065	0.4609	0.3185
191	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527
196	1	0.0527				
202	2	856.14	3.32374 -7			
249	1	13.				
255	2	0.3164	-0.25			
257	5	0.	0.5	0.	0.41	0.
262	5	0.	0.41	0.	2.9	0.
267	5	0.43	2.5	0.43	1.3	0.
272	5	0.	0.	0.42	0.86	1.29
277	5	0.43	0.	0.	1.	0.
282	5	0.	0.	0.	0.	0.42
287	5	0.41	0.	0.41	0.82	0.41
297	5	0.	0.43	0.	0.	0.
297	5	0.	0.43	0.	0.	0.
302	1	0.43				
307	5	0.779	0.27	0.0	-0.4	-0.40763
312	5	-0.40954	-0.45724	-0.49433	-0.51494	-0.5412
317	5	-0.55074	-0.57846	-0.62801	-0.649	-0.461
322	5	-0.109	3.191	4.05	4.238	4.25293
327	5	4.35857	4.3735	4.4033	4.41483	4.42
332	5	4.27	3.47	2.37	2.27	1.77
337	5	0.17	-0.23	-0.23584	-0.29951	-0.33
342	5	4.42	4.42969	4.44	4.59	4.57
347	5	4.57	-0.65954	-0.65954	-0.55074	4.375
352	2	-0.66084	-0.66084			
358	5	15330.	17.8344	0.0	0.0	0.0
363	1	0.0				
391	1	1.95				
401	2	1.667	1000.			
426	5	0.	5.0 -4	1. -3	1.25 -3	1.5 -3
431	5	2.1 -3	2.4 -3	2.85 -3	3.4 -3	3.75 -3
436	5	4.25 -3	4.75 -3	5.2 -3	5.4 -3	5.9 -3
441	5	6.2 -3	6.8 -3	7.25 -3	7.65 -3	8.9 -3
446	5	9.6 -3	1.04 -2	1.15 -2	1.2 -2	1.25 -2
451	5	1.3 -2	1.36 -2	1.45 -2	1.5 -2	1.525-2
456	5	1.62 -2	1.71 -2	1.805-2	1.895-2	1.955-2
461	5	2.0 -2	2.1 -2	2.2 -2	2.25-2	2.35-2
476	5	2.	2.	3.2	4.4	8.
481	5	17.6	20.8	23.2	27.4	27.2
486	5	25.4	23.	19.	16.	11.2
491	5	8.6	7.4	9.2	12.	14.4
496	5	13.2	11.6	7.6	6.6	7.2
501	5	9.2	11.2	11.4	11.2	10.
506	5	9.6	7.2	8.	11.6	11.6
511	5	10.4	10.	9.0	7.0	9.5
526	5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
531	5	1.6	2.4	4.0	5.2	3.8

536	5	1.6	1.6	2.8	1.8	2.8
541	5	2.4	3.4	2.4	3.6	2.8
546	5	4.0	3.0	2.0	1.8	1.0
551	5	1.2	1.6	2.2	2.0	2.2
556	5	2.4	2.7	2.2	3.6	4.0
561	5	4.0	3.5	3.0	2.5	5.0
606	2	1.	9.80665			

E.3 Run-7

** SWAT-3 ANALYSIS FOR RUN-7 TEST CASE-SW07.05.C03 SEP.11.1980										
1	8	0	0	0	1	0	0	0	1500	
31	8	1	20	100	10	300	0	0	0	
39	1	1								
44	1	0								
54	1	1								
58	1	1								
1	5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	2.5	-2	
SWAT-3 CASE-SW07.05.C03 SEP.11.1980										
1	10	13	5	5	11	3	3	5	6	1
11	4	2	1	1	2					
22	10	1006	6011	11022	22025	25028	28033	33039	25040	28041
32	3	11044	22045	33047						
42	10	1002	2003	3004	4005	5006	6007	7008	8009	9010
52	10	11012	12013	13014	14015	15016	16017	17018	18019	19020
62	10	21022	22023	23024	24025	25026	26027	27028	28029	29030
72	10	31032	32033	33034	34035	35036	36037	37038	38039	25040
82	6	6042	42043	11044	22045	33046	46047			
92	10	6	3	4	4	1	25	19	9	12
102	10	12	22	9	2	5	33	7	2	11
112	10	11	22	10	5	2	9	13	1	5
122	10	4	5	55	26	48	9	10	3	2
132	6	2	47	3	7	3	13			
164	5	-41	43	44	45	47				
175	2	0	1							
187	1	5								
201	1	2								
202	2	39	40							
212	1	2								
213	2	39	40							
237	1	2								
238	2	1	38							
240	1	33								
270	2	2	0							
1	5	0.509	0.27	0.4	0.4	0.1				
6	5	2.5	1.944	1.08	1.376	0.49				
11	5	1.46	2.6	1.05	0.188	0.352				
16	5	3.3	0.859	0.188	1.236	10.06				
21	5	1.3	3.096	0.954	0.5	0.15				
26	5	0.8	1.1	0.1	0.5	1.6				
31	5	0.4	0.5	5.45	2.61	4.75				
36	5	0.94	1.	0.18	0.18	2.25				
41	5	0.25	5.4	0.315	0.765	0.425				
46	1	1.46								
51	5	1620.	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6				
56	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2				
61	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	1743.6				
66	5	1743.6	1743.6	2028.2	2028.2	2028.2				
71	5	2028.2	2028.2	1743.6	1743.6	1372.5				
76	5	1372.5	1372.5	1619.6	1619.6	1743.6				
81	5	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6	1743.6				
86	5	1743.6	1743.6	1288.0	1372.5	1748.1				
91	5	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2	2028.2				
96	1	2028.2								
101	5	1.32732	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2				
106	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3				
111	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	3.24612-2				
116	5	3.24612-2	3.24612-2	2.18128-3	2.16128-3	2.18128-3				

121	5	2.18128-2	2.18128-2	3.24612-2	3.24612-2	4.1234 -1
126	5	4.1234 -1	4.1234 -1	5.02655-1	5.02655-1	3.24612-2
131	5	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2	3.24612-2
136	5	3.24612-2	3.24612-2	0.819	0.41234	7.9673 -2
141	5	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3	2.18128-3
146	1	2.18128-3				
151	5	1.3	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
156	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
161	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.2033
166	5	0.2033	0.2033	0.0527	0.0527	0.0527
171	5	0.0527	0.0527	0.2033	0.2033	0.4609
176	5	0.4609	0.4609	0.8	0.8	0.2033
181	5	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033	0.2033
186	5	0.2033	0.2033	0.5884	0.4609	0.3185
191	5	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527
196	1	0.0527				
202	2	892.0	4.48	-7		
249	1	13.				
255	2	0.3164	-0.25			
257	5	0.	0.5	0.	0.41	0.
262	5	0.	0.41	0.	2.9	0.
267	5	0.43	2.5	0.43	1.3	0.
272	5	0.	0.	0.42	0.86	1.29
277	5	0.43	0.	0.	1.	0.
282	5	0.	0.	0.	0.	0.42
287	5	0.41	0.	0.41	0.82	0.41
292	5	0.	1.	0.	0.	0.
297	5	0.	0.43	0.	0.	0.
302	1	0.43				
307	5	0.779	0.27	0.0	-0.4	-0.40763
312	5	-0.40954	-0.45724	-0.49433	-0.51494	-0.5412
317	5	-0.55074	-0.57846	-0.62801	-0.649	-0.461
322	5	-0.109	3.191	4.05	4.238	4.25293
327	5	4.35857	4.3735	4.4033	4.41483	4.42
332	5	4.27	3.47	2.37	2.27	1.77
337	5	0.17	-0.23	-0.23584	-0.29951	-0.33
342	5	4.42	4.42969	4.44	4.62	4.62
347	5	4.62	-0.65954	-0.65954	-0.55074	4.375
352	2	-0.66084	-0.66084			
358	5	20690.	18.58	0.0	0.0	0.0
363	1	0.0				
391	1	1.92				
401	2	1.667	1000.			
426	5	0.	3.5	-3 4.0	-3 4.5	-3 5.0
431	5	5.25	-3 5.5	-3 5.75	-3 6.0	-3 6.25
436	5	6.5	-3 7.0	-3 7.5	-3 8.0	-3 8.5
441	5	9.0	-3 9.5	-3 10.	-3 11.	-3 12.
446	5	13.	-3 14.	-3 15.	-3 16.	-3 17.
451	5	18.	-3 19.	-3 20.	-3 21.	-3 22.
456	3	23.	-3 24.	-3 25.	-3	
476	5	2.0	2.0	3.0	5.0	9.0
481	5	10.0	10.8	10.9	11.0	11.5
486	5	11.8	10.5	9.6	8.0	6.2
491	5	5.0	3.2	2.5	2.2	3.5
496	5	4.0	4.0	5.0	4.4	3.0
501	5	3.5	3.0	3.0	3.6	4.0
506	3	4.8	5.6	4.7		
526	5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
531	5	1.6	1.8	2.5	3.6	4.0
536	5	3.6	3.0	2.4	1.8	2.3
541	5	0.9	0.2	0.2	1.0	1.6

546	5	1.1	0.8	1.1	2.2	3.8
551	5	2.8	2.5	3.0	2.2	2.6
556	3	2.6	1.9	1.6		
606	2	1.	9.80665			