

JAERI-M
83-010

SHOCK-JR: 核燃料輸送容器の
衝撃解析プログラム

1983年2月

幾島 毅・中里 力*・下田 収**・内野 守**

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 山田軽印刷所

SHOCK-JR : 核燃料輸送容器の衝撃解析プログラム

日本原子力研究所東海研究所安全解析部

幾島 毅・中里 力*・下田 収**

内野 守**

(1983年1月20日受理)

本報告は、核燃料輸送容器の衝撃解析プログラムSHOCK-JRについて、その解析手法、計算プログラムの内容、入力形式、出力形式および例題計算について述べたものである。計算モデルにおいて、核燃料輸送容器は1次元ばね-質量モデルとし、集中質量、非線形ばね、ダッシュポットおよびギャップでモデル化する。数値積分はRunge-Kutta-Gill法またはNewmark法によっている。

SHOCK-JRは、サンディア国立研究所(SNL)のリバモア研究所において開発された計算プログラムSHOCKを改良したものであり、主な改良点は、単位系をSI系に改定し、計算結果の図形処理プログラムを追加したことである。

* 外来研究員 (日本情報サービス株式会社)

** 三菱金属株式会社原子力部

SHOCK-JR: A Computer Program to Analyze Impact
Response of Shipping Container

Takeshi IKUSHIMA, Chikara NAKAZATO^{*}, Osamu SHIMODA^{**}
and Mamoru UCHINO^{**}

Division of Nuclear Safety Evaluation,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received January 20, 1983)

The report is provided for using a computer program, SHOCK-JR, which is used to analyze the impact response of shipping containers. Descriptions are the mathematical model, method of analysis, structures of the program and the input and output variables. The program solves the equations of motion for a one-dimensional, lumped mass and nonlinear spring model. The solution procedure uses Runge-Kutta-Gill and Newmark- β methods.

SHOCK-JR is a revised version of SHOCK, which was developed by ORNL. In SHOCK-JR, SI dimension is used and graphical output is available.

KEYWORD: Shipping Container, Spent Fuel Cask, Computer Program, Impact Structural analysis, Nonlinear impact, Nonlinear analysis

* On leave from Japan Information Service Ltd., Co.

** Mitsubishi Metal Work Ltd., Co.

目 次

1. 緒 言	1
2. 計算モデルと計算手法	2
2.1 計算モデル	2
2.2 計算式	2
3. 計算プログラム	3
3.1 計算プログラムの説明	3
3.2 入力データ	3
3.3 出力データ	16
4. 計算例	18
4.1 1自由度系自由振動	18
4.2 衝撃問題	18
4.3 輸送容器運搬トラックの衝突問題	18
参考文献	19

Contents

1.	Introduction	1
2.	Calculation model and numerical method	2
2.1	Calculation model	2
2.2	Numerical method	2
3.	Computer program	3
3.1	Program description	3
3.2	Input data	3
3.3	Output data	16
4.	Calculation examples	18
4.1	One-degree of mass model	18
4.2	Impact problem	18
4.3	Shipping truck impact	18
	References	19

1. 緒 言

我が国の軽水型原子炉による総発電量は全発電量の約10%の規模にもなり、これに伴ない使用済燃料の輸送の機会が増加している。使用済燃料輸送の安全性確認の一環として、輸送中に想定される事故、すなわち、衝突やその後の火災などに対して、輸送容器が健全であることを、試験および解析によって明らかにする必要がある。

衝突による輸送容器の健全性を確認するために落下衝撃試験が精力的に実施されているが、より一般的には計算手法の確立と計算プログラムの整備開発によって、計算によって構造解析が実施できることが望まれる。この目的のために、ロスアラモス国立研究所(LANL)、サンディア国立研究所(SNL)、米国電力研究所(EPRI)等において、IMPAC2、SIC、CRUCHC、SHOCK、HONDO、STEALTH等が開発されている。また汎用の計算プログラムADINA、MARC、ANSYS、PISCES等も使用されている。

日本原子力研究所においても、軽水型原子炉施設の安全性研究の一環として、使用済核燃料輸送容器の衝撃解析用の計算プログラムの整備を昭和56年度から実施することになった。そこで上記の計算プログラムの幾つかの整備を開始しており、そのうちSHOCK^{(1),(2)}の改良を実施したので報告する。

SHOCKは、SNLのGabrielsonらによって、核燃料輸送容器の衝撃応答解析のために開発されたものである。輸送容器の解析に便利な入力形式となっており、自動的にスプリング-質量系のモデルが作成される。また、材料データが計算プログラム中に組込まれている。計算モデルは1次元の集中質量系、非線形スプリングから構成されており、計算はくり返し法によって、各時間ステップの変位、速度、加速度、荷重計算が行われる。

SHOCK-JRはSHOCKの改良版であり、改良点は次の2点である。

- (1) 単位系はSI単位系に修正した。
- (2) 計算結果は、ラインプリンタとプロッタによって図形表示できるようにした。

本報告は、SHOCK-JRの計算モデル、計算手法、計算プログラムの説明、入力形式、出力形式および計算例を示したものである。

2. 計算モデルと計算手法

2.1 計算モデル

輸送容器は、1自由度または3自由度のばね-質量系のモデルによって衝突現象を取扱う。これは最も単純な1次元のモデル化であるが、IMPAC 2と同様に、ばねは非線形ばねを使用して、衝突による材料の弾塑性特性をモデル化できる。さらに、圧縮の場合のみ作用する圧縮ばね（ギャップを取扱うことができる）、引張の場合のみ作用する引張りばね、および減衰も取扱うことができる。これらについては、第3章において詳しく述べる。

2.2 計算式

一般のばね-質量系の運動方程式は、2次の微分方程式として、次のように表わされる。

$$M\ddot{X} = A_x X + A_x^* \dot{X} + A_x \ddot{X} + F_x \quad (2.1)$$

ここで、 \ddot{X} 、 \dot{X} 、 X はそれぞれ、加速度、速度、変位であり、 M 、 A_x^* 、 A_x 、 F_x はそれぞれ、質量、減衰、ばねマトリックス、外力ベクトルである。(2.1)式を軸方向について示したものとすれば、これと直角方向および回転方向についての運動方程式は、それぞれ、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{Y} &= AY + B\theta + A^* \dot{Y} + B^* \dot{\theta} + F_y \\ J\ddot{\theta} &= CY + D\theta + C^* \dot{Y} + D^* \dot{\theta} + F_\theta \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

これらの2階の微分方程式は、1階の微分方程式にして、Runge-Kutta-Gill法またはNewmarkによって積分できる。(2.1)式に $v = \dot{x}$ を代入して1階の微分方程式に変換する。

$$\frac{dv_n}{dt} = f(x, v, t) \quad \frac{dx_n}{dt} = v$$

(2.2)式に対しては

$$\left. \begin{aligned} \text{軸方向:} \quad & \frac{d\dot{y}_n}{dt} = f(y, \dot{y}, t) & \frac{dy_n}{dt} &= \dot{y}_n \\ \text{横方向} \quad & \frac{d\dot{y}_n}{dt} = f(y, \theta, \dot{y}, \dot{\theta}, t) \\ & \frac{d\dot{\theta}_n}{dt} = f(y, \theta, \dot{y}, \dot{\theta}, t) \\ & \frac{dy_n}{dt} = \dot{y}_n \\ & \frac{d\theta_n}{dt} = \dot{\theta}_n \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

3. 計算プログラム

3.1 計算プログラムの説明

SHOCKはばね-質量系としてモデル化される1あるいは2自由度を持つ構造体の動的応答計算プログラムである。プログラムでは各集中質量の挙動（各自由度に対する変位，速度，加速度）とばねあるいはばねとダッシュポットの挙動（力，応力，変位，モーメント）を時間の問題として扱っている。

解析する問題に関して諸条件を定義する必要がある。例えば荷重について言えば，衝撃，初速，初期変位のような瞬間的な条件を持つ場合や，一定荷重，重力荷重，変動荷重，初期荷重の場合などを考慮しなければならない。

入力形式は一様なFORMATで入力され，そこで定義された値によってばねと質量の動的応答に関する解が出力される。また時間に対するばねと質量の加速度，力，応力モーメントなどの各曲線をそれぞれオプションで図化出力できる。

このプログラムにおける問題点は，大きな質点数の問題に対する計算時間である。この時間は最大振動数，質量数，自由度，そして非線形のカップリング数の関数となっている。積分ステップサイズの数値的安定は計算モデルの最大振動数の周期の $1/5$ ほどで得られ，その振動数は (a_{ij}/m_i) の最大値によって決定される。ここで a_{ij} はばね定数， m_i は質量である。プログラムで用いられているRunge-Kutta-Gill積分法は非線形問題に対しては非常に有効であるが大きな線形問題に対しては不向きである。そこで大きな線形問題に対しては実行時間を短縮するためNewmark積分法を用いている。

3.2 入力データ

最初の表題の入力と最後の終了を示す入力を除いて各入力は順序不同でよいが，同種毎に入力することを推奨する。例えば，問題における自由度，減衰，積分方法，時間，に関する情報が1つのグループとして，また，質量，重量，慣性，各質量の位置関係が1のグループとして考えられるからである。しかし，これらは出力の内容や順序に関係することはない。

プログラムで用いられる入力ワードは次のとおりである。

I 計算の諸条件

1. AXIAL 軸方向問題（自由度がx方向のみ）の場合に用いる入力ワードでデータはない。
2. LATERAL 横方向問題（自由度がyと θ ）の場合に用いる入力ワードでデータはない。
3. DAMPED 減衰を含む問題に用いる入力ワードでデータはCS(1)のみ。

CS(1) すべての線形ばねが同じ減衰率を有する場合の臨界減衰率(%)

- 4. UNDAMPED 減衰を含まない問題に用いる入力ワード。減衰に関する入力がない場合は減衰がないものとして実行される。
- 5. TSTEPS 計算開始時間 (t_0) と終了時間 (t_{max}) の定義と計算結果の印刷および図化の出力時間刻みの定義 (Table 3.1 参照)。
 - JDEX 計算結果の出力時間刻み数。1ステップは $(t_{max} - t_0) / JDEX$ となる。
 - KDEX 図化出力のプロット点の数の定義。1ステップは $(t_{max} - t_0) / KDEX$ となる。
 - CS(1) 開始時間 (t_0)
 - CS(2) 終了時間 (t_{max})

Table 3.1 Example of TSTEPS input data

```
000000000111111111222222222233333333334444444444555555555566666666667
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
TSTEPS 50 500 0.0 0.5
```

```
TSTEPS 50 0.0 0.01
```

- 6. HSTEPS 通常プログラム内部で積分ステップサイズが決定されるため必要ないが、ステップサイズ h が一定あるいは線形ばねが定義されていない問題ではこれを入力しなければならない。

JDEX } 不要
KDEX }

CS(1) 一定ステップサイズ (通常、計算時間をセーブするため横方向問題に用いられる)。

- 7. NEWMARK Newmark 積分を用いる場合の入力で未定義の場合は Runge-Kutta-Gill 積分法で実行される。

II 質量特性と初期条件

Table 3.2 Example of vector input data

```
0000000001111111112222222222333333333344444444445555555555666666666677777777778
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
LOADS 1 1 -75.0
YVALUE 1 6 0.12 0.24 0.30 300. 250. -80.
MOMENTS 2 5 150.0 75.0 42.0 -28.0
WINEPTIA 4 7 15.2 11.7 21.4 16.9
INERTIA 1 3 1.0 2.5 0.5
WEIGHT 1 6 10.5 11.0 1.5 2.0 12.5 3.0
MASSES 2 7 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
MASSES 1 1 1.0
```

- 8. WEIGHT 各要素の重量の入力。MASSES が用いられる場合は不必要 (Table 3.2 参照)。
- 9. MASSES 各要素の質量 (kg) の入力 (Table 3.2 参照)。
- 10. INERTIA 横方向系の各要素の質量慣性モーメントの入力。単位は (kg・m) で重量慣性モーメントの 1/9.8 である。
- 11. WINERTIA 重量慣性モーメント (N・m) の入力。INERTIA が用いられる場合は不要。
- 12. LOAD 特定の要素に加わる時間に依存しない一定荷重 F_c の入力。(単位は Newton で重力荷重など)。
- 13. MOMENT 特定の要素における時間に依存しない一定モーメント M_c の入力。プログラム内では質量数を m とすると以下のようなベクトルとして定義される (Table 3.3 (a) 参照)。

軸方向問題

$$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m, \dot{x}_{m+1}, \dot{x}_{m+2}, \dots, \dot{x}_{2m})$$

$$\begin{pmatrix} x ; \text{初期変位} \\ \dot{x} ; \text{初期速度} \end{pmatrix}$$

横方向問題

$$y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m, \theta_{m+1}, \theta_{m+2}, \dots, \theta_{2m}, \dot{y}_{2m+1}, \dot{y}_{2m+2}, \dots, \dot{y}_{3m}, \dot{\theta}_{3m+1}, \dot{\theta}_{3m+2}, \dots, \dot{\theta}_{4m})$$

$$\begin{pmatrix} y ; \text{初期線形変位} & \theta ; \text{初期角変位} \\ y ; \text{初期線形速度} & \dot{\theta} ; \text{初期角速度} \end{pmatrix}$$

より正確な初期値を設定したい場合には Table 3.3 (b) に示すような形式で入力することができる。

Table 3.3(a) Example of YVALUE input data

```
00000000111111111222222223333333333444444445555555566666666777777778
123456789012 4567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
YVALUE      1    6  0.00001  0.00002  0.00003  10.    20.    30.
```

SAMPLE OF DATA CARDS FOR A 3-MASS LATERAL PROBLEM WITH LINEAR DISPLACEMENTS AND VELOCITIES (FORMAT (A6, 4X, 2I5, 6E10.2))

```
YVALUE      1    6  0.00001  0.00002  0.00003  0.    0.    0.
YVALUF      7   12  10.    20.    30.    0.    0.    0.
```

AN ALTERNATIVE FORM WHICH DOES NOT INCLUDE THE ZERO'S IS

```
YVALUE      1    3  0.00001  0.00002  0.00003
YVALUE      7    9  10.    20.    30.
```

```
00000000111111111222222223333333333444444445555555566666666777777778
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

Table 3.3(b) Example of YVALUE input data

```
000000001111111112222222222233333333334444444444555555555666666666677777777778
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
YVALUE      6
-1.023412E-04 -3.2142315E-5 -2.461751E-04  2.123412532  3.4521314E+1
3.1203102E+02
```

```
000000001111111112222222222233333333334444444444555555555666666666677777777778
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

FORMAT (5E14.7)

- 15. XLOCATE 横方向問題での x 軸に沿ったある質量の重心位置の入力。各質量間の距離は SPRING ワードで入力されるが、この入力でそれを正確に補正する必要がある。また、この入力を用いることによって時間刻み毎に剛体に関する加速度、速度、変位の情報が計算される。
- 16. FIXMASS 壁や地面のように固定されたモーメントを生じない質量の定義

Ⅲ 荷重条件

- 17. LPOINT Fig. 3.1 に示されたような時間によって変化する外部荷重の入力定義

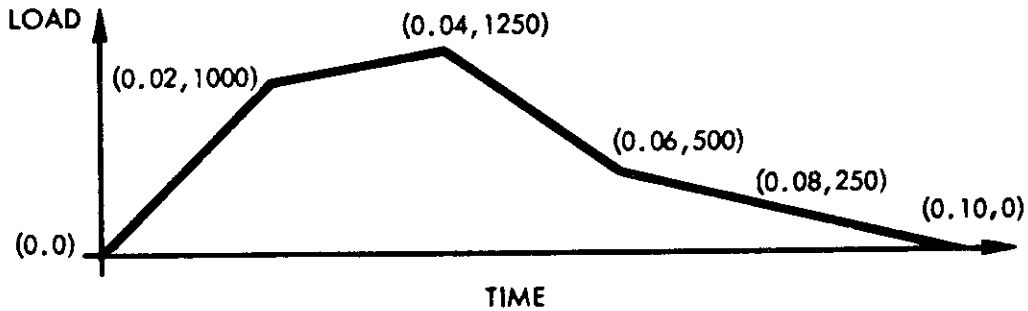


Fig.3.1 External Load Versus Time

- 18. MPOINT 時間によって変化する外部モーメントの入力定義 (Table 3.4 参照)
 - JDEX 荷重及びモーメントが加わる質量番号
 - KDEX 荷重-時間及びモーメント-時間曲線上の入力点の数 (最大 3)
 - CS (1) } 曲線上の第 1 点の横および縦座標値の定義
 - CS (2) }
 - CS (3) } 第 2 点での定義
 - CS (4) }
 - CS (5) } 第 3 点での定義
 - CS (6) }

Table 3.4 Example of LPOINT input data

0000000011111111222222223333333344444444555555556666666677777777778
 12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

LPOINT	1	1	1.0	0.0				
LPOINT	1	3	0.0	0.0	0.02	1000.0	0.04	1250.0
LPOINT	1	3	0.06	500.0	0.08	250.0	0.10	0.0

19. SINELOADS 特定の質量における時間依存の正弦関数で表わされる荷重の入力定義。

JDEX 荷重が加わる質量番号

CS (1) 振動数の入力 (rad/sec)

CS (2) 振幅の入力 (Newton)

CS (3) 荷重が加わりはじめる時間の入力定義。

零のときはすべての時間ステップで計算が実行される。

CS (4) 位相のずれの入力 (rad)

20. DECAYLOAD 特定の質量における時間依存の減衰荷重の入力定義 (Fig. 3.2 参照)

JDEX 時間 t において荷重が加わる質量番号

CS (1) 減衰率 (α)

CS (2) 荷重の最大値 (F)

CS (3) 荷重勾配と時間軸とが交差した時間 (t_1)

CS (4) 荷重勾配と減衰曲線とが交差した時の時間 (t_2)

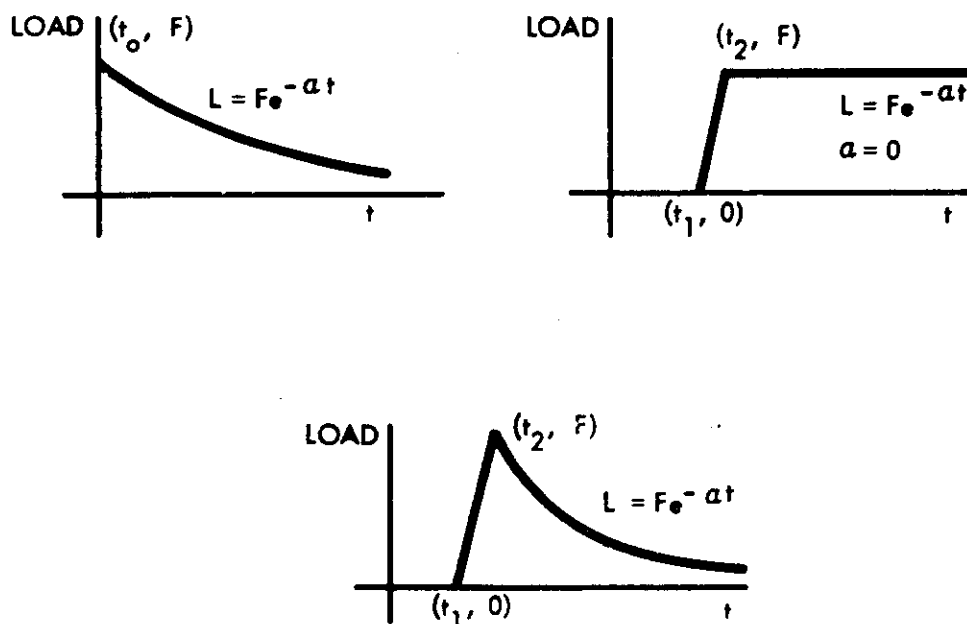


Fig. 3.2 Use of DECAYLOAD

IV ばねとカップリングの定義

21. SPRING 軸方向および横方向における線形ばねの定義 (Table 3.5 参照)

- JDEX) ばねが定義される質量番号
- KDEX)
- CS (1) 臨界減衰率 ζ_{ij} (%)
- CS (2) 回転を伴わない j 端での正の変位に対して i 端に生じる負荷 a_{ij}
- CS (3) 回転を伴わない j 端での正の変位に対して i 端に生じるモーメント b_{ij}
- CS (4) 変位を伴わない j 端での正の回転に対して i 端に生じる負荷 c_{ij}
- CS (5) 変位を伴わない j 端での正の回転に対して i 端に生じるモーメント d_{ij}
- CS (6) 質量 i と質量 j との距離

Table 3.5 Example of SPRING input data

```

SPRING      3      4      0.05      -1.000+6      -0.474+6      0.326+6      -1.210+6      0.80
SPRING      3      4      0.05      -5.000+6
    
```

```

0000000001111111112222222223333333334444444445555555556666666667777777778
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
    
```

22. RADIAL Fig. 3.3 に示されたような半径方向の剛性に対してのばねを定義する。

- JDEX 左にある質量の番号
- KDEX 右にある質量の番号
- CS (1) CS (2) と CS (4) にかかる減衰率
- CS (2) ばね $-a_{ij}$
- CS (3) $r_{in} ; r_{jn} ; |r_{in}| = |r_{jn}|$
- CS (4) K_{nk}

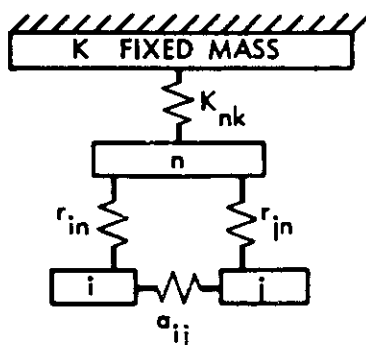


Fig.3.3 Radial Spring Mass Model

23. COMPRESS カップリングについて圧縮のみの場合の線形ばね定数の入力
 24. TENSION カップリングについて引張りのみの場合の線形ばね定数の入力
 JDEX \ ばねが定義される質量番号
 KDEX /
 CS (1) 臨界減衰率 ζ_{ij} (%)
 CS (2) j 端の単位変位に相当する i 端での負荷 a_{ij} 。通常負の値が入力される。
 CS (3)~CS (5) 不要
 CS (6) Fig. 3.4 のように圧縮, 引張りに対して不連続な場合の dx を定義する。

Fig. 3.4(a) は各ばねにおいて j に関する i の相対変位 δ_{ji} が次式のようになることを示している。

$$\delta_{ij} = Y_i - Y_j = -\delta_{ji}$$

Fig. 3.4 (b) はある変位において不連続が生じる場合を示している。

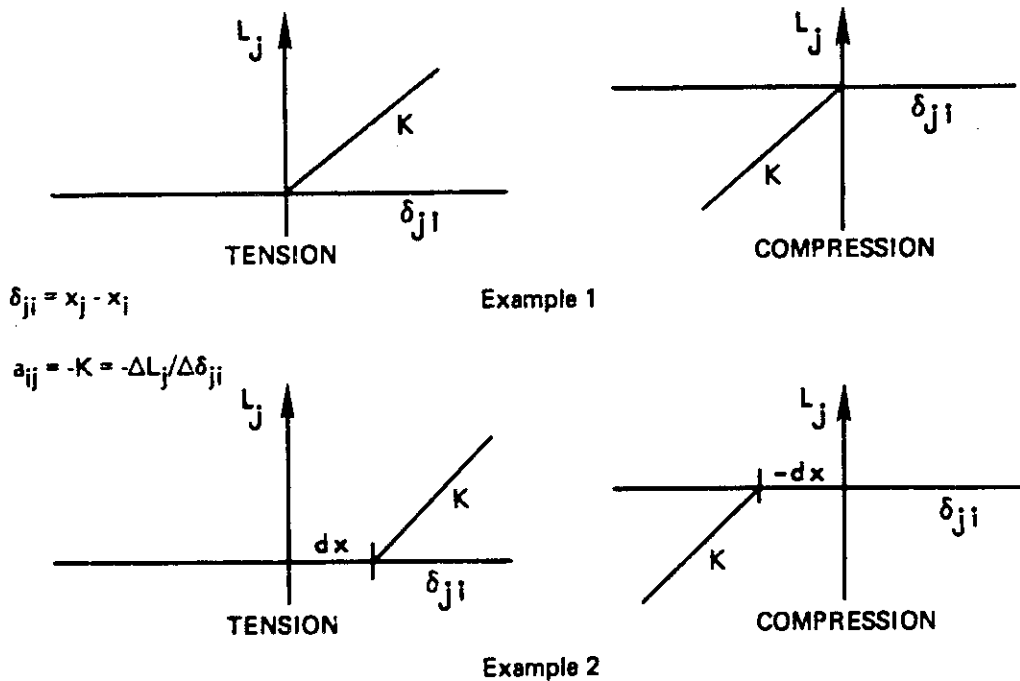


Fig.3.4 Examples of Compression, Tension Loads

25. DAMPCOFF 線形及び非線形のカップリングにおける減衰定数の入力。質量 i , j 間の減衰力やモーメントは以下の式から計算される。

軸方向問題の場合

$$F_i = a_{ij}^* (\dot{y}_i - \dot{y}_j)$$

横方向問題の場合

$$F_i = a_{ij}^* (\dot{y}_i - \dot{y}_j) + b_{ij}^* \dot{\theta}_j - c_{ij}^* \dot{\theta}_j$$

$$M_i = b_{ij}^* (\dot{y}_i - \dot{y}_j) + d_{ij1}^* \dot{\theta}_i - d_{ij2}^* \dot{\theta}_j$$

$$F_j = a_{ij}^* (\dot{y}_j - \dot{y}_i) + c_{ij}^* \dot{\theta}_j - b_{ij}^* \dot{\theta}_i$$

$$M_j = c_{ij}^* (\dot{y}_j - \dot{y}_i) + d_{ij2}^* \dot{\theta}_i - d_{ij1}^* \dot{\theta}_j$$

ここで a_{ij} , b_{ij}^* , c_{ij}^* , d_{ij}^* は減衰マトリクス a , b , c , b の各要素で、通常減衰係数は負の値にとられる。

JDEX) 減衰力が加わる質量番号
KDFX)

CS (1) 不要

CS (2) a_{ij}^*

CS (3) b_{ij}^*

CS (4) c_{ij}^*

CS (5) d_{jj}^* } 横方向のばねが2つの質量の中間点に定義される場合は等

CS (6) d_{ij}^* } しい値をとる。

26. DXLOAD Fig. 3.5 に示されたような荷重-変位曲線の入力定義。これは実行における変位の進行を促すために入力される。もし、計算における相対変位が荷重偏向曲線から与えられる数値よりも大きいと実行は停止する。(Table 3.6 参照)。

軸方向問題の場合

JDEX) 荷重が加わる質量番号
KDEX)

CS (1) 曲線上のある点の定義でCS (2)は i 端が固定されているときの j 端

CS (2) での偏向によって生じる負荷の値である。

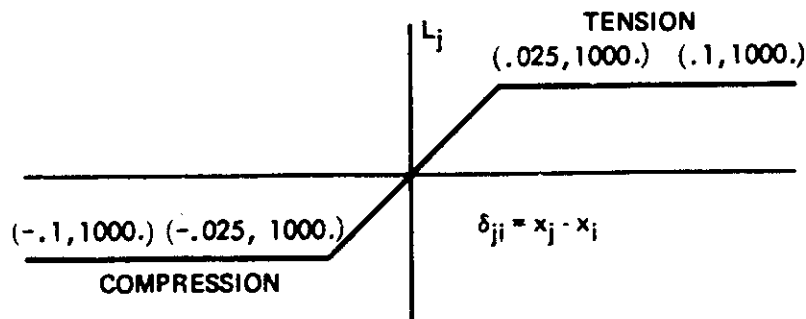


Fig. 3.5 Example of a Load-Deflector Curve

Table 3.6 Example of DXLOAD input data

000000000:1111111112222222222333333333344444444455555555566666666677777777778
 12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

DXLOAD	1	2	0.1	1000.0	
DXLOAD	1	2	0.0250	1000.0	
DXLOAD	1	2	0.0	0.0	
DXLOAD	1	2	-0.025	-1000.0	
DXLOAD	1	2	-0.1	-1000.0	Sample Input of DXLOAD

横方向問題の場合

ここでは4つの関数がいられるが軸方向の場合と同様に各点に対してDXLOADを用いればよい。

以下に示すように f_1 と f_3 は相対線形変位点を用いて定義され、 f_2 と f_4 は相対角変位点を用いて定義される (Fig. 3.6 参照)。

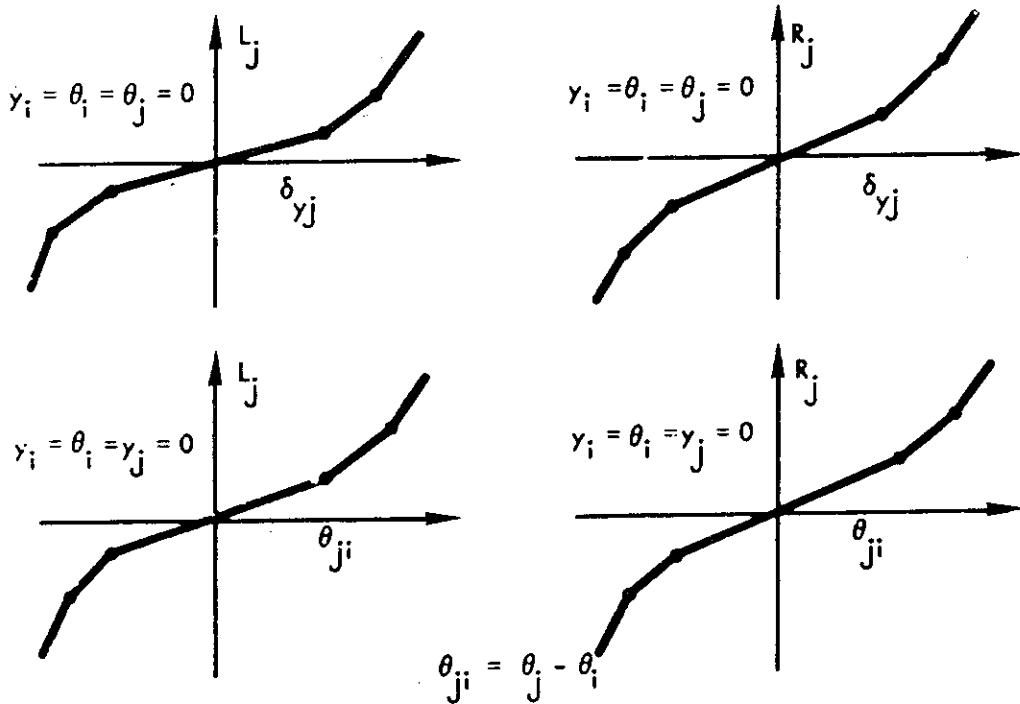


Fig.3.6 Examples of the Four Nonlinear Lateral Load and Moment Curves

- JDEX) 荷重が加わる質量番号
- KDEX)
- CS (1) 質量 i が固定されているときの相対線形変位 δ_{ij}
- CS (2) 変位 δ_{ij} により j 端に生じる負荷 f_1
- CS (3) 変位 δ_{ij} により j 端に生じるモーメント f_3
- CS (4) 質量 i が固定されているときの相対角変位 θ_{ji}
- CS (5) 角変位 θ_{ji} により j 端に生じる負荷 f_2
- CS (6) 角変位 θ_{ji} により j 端に生じるモーメント f_4

ここで、質量 j における適当な変位とモーメントの数値に対して、質量 j に関するその物理的重心位置を明らかにしておく必要がある。

27. DXPOLY ある 2 つの質量間の荷重-変位関係の関数の各係数を定義する。

- JDEX) 荷重関数が定義される質量番号
- KDEX)
- CS (1) 係数 A_0 。
- CS (2) 係数 $A_1 \sim A_5$ 。荷重 L_j は次式から計算される。
- CS (6) }

$$L = A_0 + A_1 X + A_2 X^2 + \dots + A_5 X^5$$

ここで X は質量間の相対変位 δ_{ji} で、力となって質量 i に加わる。

28. DXPOWER ある 2 つの質量間に $L = A X^B + C X$ で表わされる荷重-変位関数を定義する。(Fig. 3.7 参照)。

- JDEX) この関数が定義される質量番号
- KDEX)
- CS (1) 曲線上の定義点の x 座標値
- CS (2) 曲線上の定義点の y 座標値
- CS (3) 定義点における曲線の勾配 s_1
- CS (4) 原点における曲線の勾配 s_0

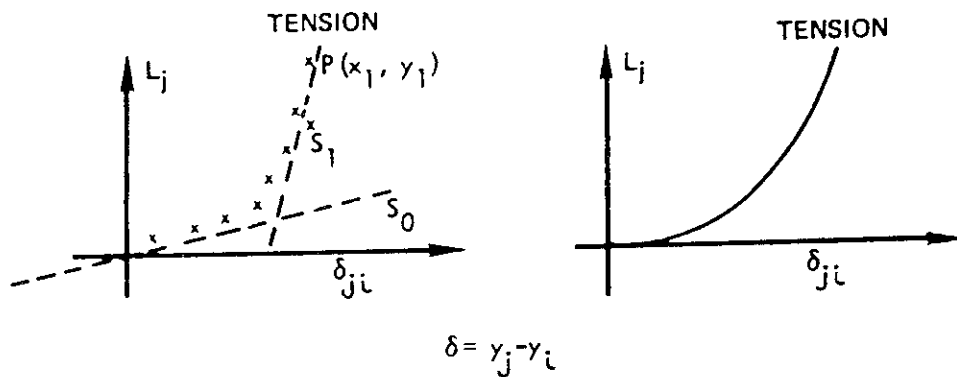


Fig. 3.7 Example of DXPOWER Functions

29. TANGENT 正切関数によって表わされる荷重の入力定義
 30. TANHLOAD 正切双曲線関数によって表わされる荷重の入力定義

- JDEX) この関数が定義される質量番号
- KDEX)
- CS (1) Fig. 3.8 に示されたような漸近線の値 δ_B
- CS (2) 原点における曲線の勾配 P 。
- CS (3) 変位軸上の対称点の変位値

Fig. 3.8 は次式で表わされる荷重変位曲線の図である。

$$L_j = \frac{2 P_o \delta_B}{\pi} \left\{ \tan \left(\frac{\pi \delta_{ji}}{2 \delta_B} \right) \right\}$$

$$L_j = \delta_B \tanh \left(\frac{P_o \delta_{ji}}{\delta_B} \right)$$

$$\delta_{ji} = y_j - y_i$$

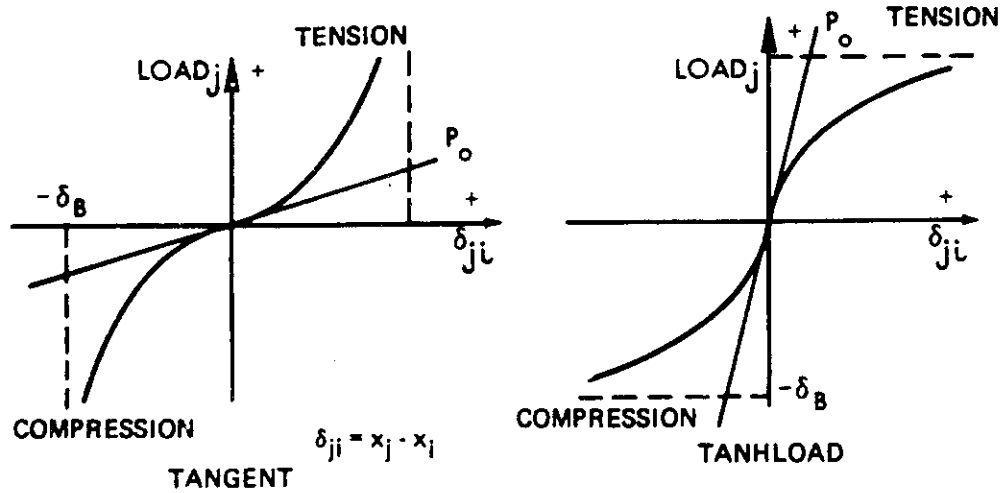


Fig. 3.8 Example of TANGENT and TANHLOAD Deflection Curves

31. HYSTER ある2つの質量間で履歴特性を有する荷重-変位曲線の入力定義で、この関数はいくつかの線分で表わされ、無荷重の場合はある直線とし表わされる (Fig. 3.9 参照)。

JDEX	}	荷重が加わる質量番号
KDEX		
CS (1)	横軸座標値	X_n
CS (2)	縦軸座標値	Y_n
CS (3)	線分に沿った勾配あるいは荷重率の定義。	(Newton/m)
CS (4)	単位線分当りの負荷の減少率の定義。	(Newton/m)
CS (5)	オプション番号	(Fig. 3.10 参照)

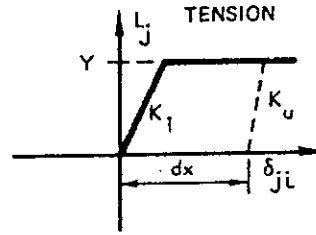
V 初期条件

32. YDISP 初期線形変位の定義
 33. YVEL 初期線形速度の定義
 34. THDISP 初期角変位の定義
 35. THVEL 初期角速度の定義

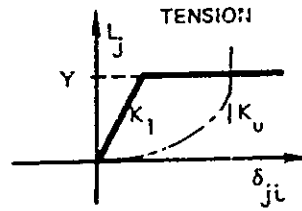
これらの入力はYVALUEと同様、プログラム内ではベクトルとして定義され、以下の入力形式となっている。

JDEX	初期条件に関する関数が加わる質量番号
KDEX	1 ; 変位に関する入力の場合

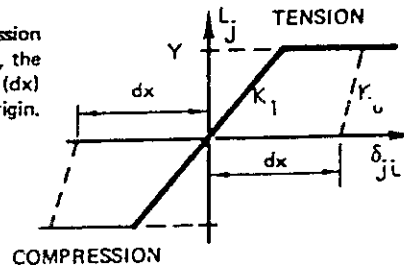
Option 1. Has linear unloading at a rate K_u after the load reaches yield level Y . A gap (dx) develops in structure after yielding occurs.



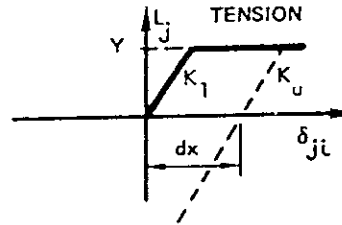
Option 2. If a true gap does not develop but a load occurs for all x in the unloading phase, a non-linear function such as K_u in Figure D-1 can be used to define the unloading rate as a DXPOWER function.



Option 3. In certain structures crushing in compression produces a like crushing in tension ($-\delta_{ji}$), the drawing shows this option where the gap (dx) is considered symmetric about the origin.



Option 4. This case attempts to represent the hysteresis of metals, showing the option where a gap is not defined in the unloading phase. A negative load is developed when $\delta_{ji} < dx$; dx representing the plastic set occurring in the coupling.



$$\epsilon_{ji} = \gamma_j - \gamma_i$$

Fig. 3.9 Hysteresis Loading Options

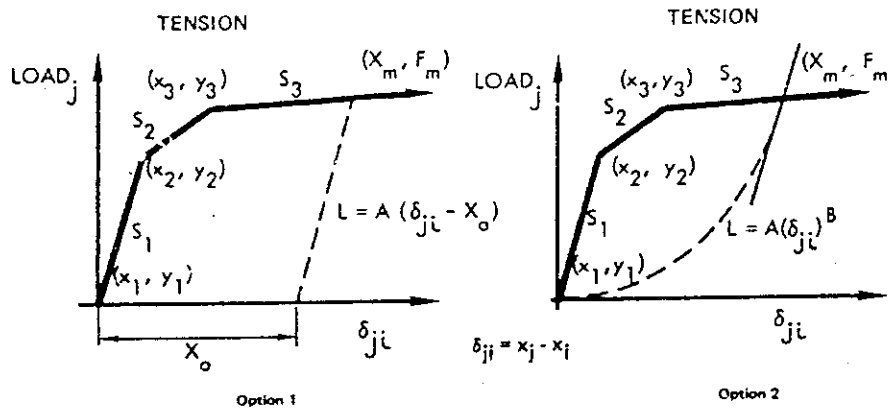


Fig. 3.10 Example of Hysteresis Options 1 and 2

DATA VALUES

(x_1, y_1)	-	(0.0, 0.0)
(x_2, y_2)	-	(0.048, 36500)
(x_3, y_3)	-	(0.088, 39520)

2 ; 速度に関する入力の場合

3 ; 加速度に関する入力の場合

KDEX > 0 のとき、ここでの関数は多直線近似関数となり CS (1) ~ CS (6) によって表わされる。

CS (1)	}	時間軸上の3点 X_i
CS (3)		
CS (5)		
CS (2)	}	関数値 Y_i
CS (4)		
CS (6)		

KDEX < 0 のとき、関数は減衰正弦関数となり次式で表わされる。

$$f(t) = A e^{-\alpha t} \sin(\omega t)$$

CS (1) ~ CS (2) 不要

CS (3) 振幅 A

CS (4) 係数 α

CS (5) 係数 ω

36. FRICTION 各カップリングに加わるクーロン摩擦による角荷の定義

KDEX	}	負荷が加わる質量番号
JDEX		

CS (1) $r * (y_i - y_j)$ がすべり出しの摩擦力を越した後に加わる摩擦力

CS (2) 変位が小さく、弾性であるとき、あるいは荷重-変位関数が加わらないときの負荷率 (r)

CS (3) 荷重-変位関数の弾性域を越した後に加わるすべり出しの摩擦力で、クーロン摩擦力はこの摩擦力の後に加わる。

VI 特殊サブルーチン

例えば垂直方向ばねがギャップを含む場合や質量に対する強制応答などの場合のように現在のSHOCKのオプションでは解析ができない場合、それらを解析可能にするためにユーザー自身によって組まれたサブルーチンをSCENE, SPCIAL という名前で加えることができる。

37. NEWLOADS サブルーチン SPCIAL の登録

38. SPECTRUM サブルーチン SCENE の登録

VII 図化出力

a) 図化出力オプション

39. PLOTALL 入力データで要求されたすべての出力の図化 (Table 3.7 参照)

40. PLOTFILE JDEX と KDEX で示されたファイルのみの図化。PLOT ファイルは 1 番と 2 番が RESTART と時間のファイルのため JDEX \geq 3 でなければならない。PLOTALL および PLOTFILE カードは、最後の入力カード FINI の後に位置し再び FINI を付けて終

了とする。

41. PLOTSPEC 振動に対する3つの減衰値による各応答値の図化。ここでの振動数の範囲は時間と図化の刻みから決定される。
入力形式は次のとおりである。

PLOTSPEC i j

i, jはプロットファイル番号

42. NOPLOT 図化出はされないがRESTARTのためのプロットファイルは保存される。

b) 質量情報

43. PLOTACC 加速度-時間曲線の図化
44. PLOTVEL 速度-時間曲線の図化
45. PLOTDISP 変位-時間曲線の図化

c) カップリング情報

46. PLOTDX 2つの質量間の相対変位曲線の図化
47. PLOTSHEAR 2つの質量間の荷重曲線の図化
48. PLOTMOM カップリングが定義されている i, j 間のモーメント曲線の図化
49. PLOTFORCE 荷重-時間曲線の図化
50. FINI 終了カード

Table 3.7 Example of PLOT input data

```
000000001111111112222222222333333333344444444455555555566666666666
12345678901234567890:234567890123456789012345678901234567890123456789
```

```
PLOTACC      1      3
PLOTACC      7      9
PLOTVEL      1     10
PLOTDX       4      7
PLOTSHEAR    2      5
PLOTMOM      4      6
PLOTFORCE   195    200
```

Example of plot data inputs

3.3 出力データ

計算結果として出力されるデータは次のとおりである。

- (1) 入力データ；質量，ばね定数，慣性力，力，初期条件，図化オプションなど。
- (2) 非線形問題の場合のばねに関する情報。
- (3) 外部荷重-モーメント曲線。
- (4) 初期条件；質量番号，質量，初期変位，初速，一定荷重など。
- (5) ばね定数と減衰定数を持つカップリングの数。
- (6) ばねの平衡チェック（横方向問題の場合）。
- (7) TSTEPS で定義された各時間刻み毎の各計算結果。

軸方向問題の場合の出力様式

Mass Information

mass linear linear linear force
no. disp. vel. gacc. Newton

Spring Information

coupling i-j relative x load in pa damping load

横方向問題の場合の出力様式

Mass linear linear linear force angular angular angular
moment

no. disp. vel. gacc. Newton disp. vel. acc. Newton-M

Spring i-j relative y relative y relative y shear load damping
at end i at end j in spring at end j at end j

moment moment

at end i at end j

4. 計 算 例

4.1 1自由度系自由振動

問題は Fig. 4.1 に示されているような一方が固定され、他方が水平方向に自由に運動ができるモデルである。(重力場の影響はないものとする)。初期条件は質量 2 において初速 $V_0 = 2.54 \text{ m/s}$ 、初期変位 $\delta_0 = 0.000508 \text{ m}$ である。

入力データは Table 4.1 に、計算結果は Table 4.2 および Fig. 4.2 ~ 4.7 に示す。Fig. 4.2 は質点の加速度応答曲線を、Fig. 4.3 は質点の速度応答曲線を、Fig. 4.4 は質点 1 と 2 の間の相対変位応答曲線をそれぞれ示している。Fig. 4.5 は質点 2 の加速度スペクトルを減衰定数 0, 2, 5% のそれぞれの場合について示している。

4.2 衝撃問題

問題は Fig. 4.6 に示されているようにコンテナがコンクリートの壁に速度 15.24 m/sec で衝突する衝撃モデルである。

入力データは Table 4.3 に、計算結果は Table 4.4 および Fig. 4.7 ~ 4.14 に示す。Fig. 4.7 は質点 2 の加速度応答曲線を、Fig. 4.8 は質点 6 の加速度応答曲線を、Fig. 4.9 は質点 6 の速度応答曲線を、Fig. 4.10 は質点 2 と 3 の間の荷重応答曲線を、Fig. 4.11 は質点 3 と 4 の間の荷重応答曲線を、Fig. 4.12 は質点 5 と 6 の間の相対変位応答曲線をそれぞれ示す。Fig. 4.13 は質点 2、Fig. 4.14 は質点 6 の加速度スペクトルを減衰定数 0, 2, 5% のそれぞれの場合について示している。

4.3 輸送容器運搬トラックの衝突問題

SHOCK-JR の検証計算のため、すでに実施された、車輻に積載された核燃料輸送容器の衝撃試験⁽³⁾結果と SHOCK-JR の計算値を比較した。車輻と積載物の計算体系を Fig. 4.15 に示し、この計算モデルを Fig. 4.16 に示す。Fig. 4.16 に示すように各部分は質点に置き換えられる。質点と質点とは、ヒステリシス特性を有するばねおよび減衰特性に相当するダッシュポットで連結されているものとする。

(1) 衝撃加速度応答

各部の衝撃加速度の時刻歴応答曲線を試験結果と比較して、Fig. 4.17 ~ 4.24 に示す。これらの結果から明らかなように、計算による最大値および応答波形は試験値とかなり良く一致している。

(2) 速度応答

車輻がバリヤに衝突した後の各部の速度の時刻歴応答曲線を試験結果と比較して Fig. 4.25

～4.29に示す。これらの結果から明らかなように、計算による応答波形の傾向は試験結果とかなり良く一致している。

(3) 変位応答

車輛がバリヤに衝突した後の各部の時刻歴応答曲線を試験結果として Fig. 4.30～Fig. 4.34に示す。これらの結果から明らかなように、計算による最大値および応答波形の傾向は試験結果とかなり良く一致している。

(4) 衝撃加速度最大値

衝突加速度の最大値について計算値と試験結果を比較して Table 4.5に示す。計算値と試験結果はかなり良く一致している。

(5) 変位最大値

変位の最大値について計算値と試験結果を比較して Table 4.6に示す。計算値と試験結果はかなり良く一致している。

参 考 文 献

- (1) Gabrielson V.K. and Reese R.T., "SHOCK Code User's Manual, A Computer Code to Solve the Dynamic Response of Lumped mass Systems", SCL-DR-69-98 (1969).
- (2) Gabrielson V. K., "Supplement to SHOCK Code Report" SCL-DR-69-98, SCL-DR-720361 (1973).
- (3) 三菱金属(株), "車輛に積載された核燃料輸送容器の衝撃特性評価に関する試験研究報告書", 昭和56年10月.

～4.29に示す。これらの結果から明らかなように、計算による応答波形の傾向は試験結果とかなり良く一致している。

(3) 変位応答

車輻がバリヤに衝突した後の各部の時刻歴応答曲線を試験結果として Fig. 4.30～Fig. 4.34に示す。これらの結果から明らかなように、計算による最大値および応答波形の傾向は試験結果とかなり良く一致している。

(4) 衝撃加速度最大値

衝突加速度の最大値について計算値と試験結果を比較して Table 4.5に示す。計算値と試験結果はかなり良く一致している。

(5) 変位最大値

変位の最大値について計算値と試験結果を比較して Table 4.6に示す。計算値と試験結果はかなり良く一致している。

参 考 文 献

- (1) Gabrielson V.K. and Reese R.T., "SHOCK Code User's Manual, A Computer Code to Solve the Dynamic Response of Lumped mass Systems", SCL-DR-69-98 (1969).
- (2) Gabrielson V. K., "Supplement to SHOCK Code Report" SCL-DR-69-98, SCL-DR-720361 (1973).
- (3) 三菱金属(株), "車輻に積載された核燃料輸送容器の衝撃特性評価に関する試験研究報告書", 昭和56年10月.

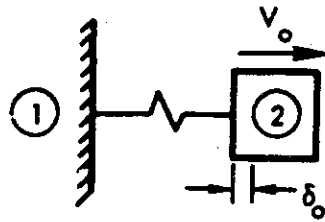


Fig.4.1 Sample problem No.1, Single mass free vibration

Table 4.1 Input data of sample problem No.1 single mass free vibration

```

*****
*                               *
*   INPUT DATA LIST           *
*                               *
*****

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
1  SAMPLE PROBLEM NO.1 SINGLE MASS FREE VIBRATION      1
2  AXIAL                                                2
3  UNDAMPED                                             3
4  TSTEPS          5  250          0.0      0.01        4
5  MASSES          1  2      0.04536      45.36         5
6  YVALUE         1  4          0.0      0.000508      0.0      2.54     6
7  SPRING          1  2          -1.75 E+8              7
8  FIXMASS        1                                               8
9  PLOTACC        2                                               9
10 PLOTVEL        2                                              10
11 PLOTDISP       2                                              11
12 PLOTDX         1                                              12
13 FINI                                                  13
14 PLOTALL        1                                              14
15 PLOTSPEC       3  5                                              15
16 FINI                                                  16
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

*** INPUT DATA END ***

```

Table 4.2 Output data of sample problem No.1 single mass free vibration

SAMPLE PROBLEM NO.1 SINGLE MASS FREE VIBRATION

```

END OF PHASE 1
AXIAL      0  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
UNDAMPED   0  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
TSTEPS     5 250 0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
MASSES     1  2  0.45360000D-01  0.10000000D-01  0.0      0.0      0.0      0.0
YVALUE     1  4  0.0      0.45360000D+02  0.0      0.0      0.0      0.0
SPRING     1  2  0.0      0.50800000D-03  0.0      0.25400000D+01  0.0      0.0
FIXMASS    1  0  0.0      -0.17500000D+09  0.0      0.0      0.0      0.0
PLOTACC    2  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
PLOTVEL    2  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
PLOTDISP   2  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
PLOTDX     1  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
FINI       0  0  0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
    
```

END OF PHASE 2

INITIAL STEP SIZE OF 0.505787D-05
 HAS BEEN DETERMINED BY ASSUMING MASS 1 HAVING MASS 0.45360D-01 AND INERTIA 0.0
 ATTACHED TO A SPRING -0.175000D+09
 ITS PERIOD IS 0.101157D-03

```

INITIAL CONDITIONS
NO.  M      X      DX/DT      CONSTANT LOAD
1  0.45360D-01  0.0      0.0      0.0
2  0.45360D+02  0.0005080  2.5400      0.0
    
```

STIFFNESS MATRIX

DAMPING MATRIX

```

COUPLING NUMBER 1 2
0.175000D+09  0.0      0.0      0.0      0.0
0.0      0.0      -0.175000D+09  0.0      0.0
-0.175000D+09  0.0      0.0      0.0      0.0
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
    
```

END OF PHASE 3

Table 4.2 (Continued)

SAMPLE PROBLEM NO.1 SINGLE MASS FREE VIBRATION

DATE 1982-07-22 TIME 13:31:49 EXE TIME 0.112 (SEC)

TIME = 0.000005 (SEC) STEP SIZE = 0.000005 (SEC) NO OF STEPS = 1

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	2	5.20822D-04	9.11438D+04	0.0
2	5.20822D-04	2.52996D+00	-2.05035D+02	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0

SAMPLE PROBLEM NO.1 SINGLE MASS FREE VIBRATION

DATE 1982-07-22 TIME 13:31:49 EXE TIME 0.312 (SEC)

TIME = 0.004000 (SEC) STEP SIZE = 0.000014 (SEC) NO OF STEPS = 460

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	2	1.29175D-03	2.26056D+05	0.0
2	1.29175D-03	-1.00481D+00	-5.08531D+02	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0

SAMPLE PROBLEM NO.1 SINGLE MASS FREE VIBRATION

DATE 1982-07-22 TIME 13:31:50 EXE TIME 0.580 (SEC)

TIME = 0.010011 (SEC) STEP SIZE = 0.000011 (SEC) NO OF STEPS = 1075

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	1	2	1.28917D-03	2.25605D+05	0.0
2	1.28917D-03	1.01751D+00	-5.07516D+02	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0

Table 4.2 (Continued)

TIME-MAGNITUDE	MIN-MAX ACCELERATIONS FOR EACH MASS	ANGULAR ACC IN RAD/SEC-SEC
LINEAR ACC IN G-S		
1	0.1001D-01 0.0 0.1001D-01 0.0	
2	0.6091D-03 -0.5470D+03 0.5407D-02 0.5470D+03	

TIME-MAGNITUDE	MIN-MAX SHEARS AND MOMENTS OF EACH COUPLING	ANGULAR ACC IN RAD/SEC-SEC
SHEAR IN NEWTON		
1	0.5407D-02 -0.2431D+06 0.6091D-03 0.2431D+06	
2	0.5407D-02 -0.2431D+06 0.6091D-03 0.2431D+06	

NUMBER OF TIME INTERVAL CHANGES = 0

RESTART INFORMATION HAS BEEN STORED ON TAPE 50
 AT TIME 0.1001250D-01
 STEP SIZE AT THIS TIME WAS 0.11250494D-04
 NUMBER OF CRT BLOCK TOTAL 1
 NUMBER OF POINTS PER CURVE 251 POINTS PER BLOCK 4

FILE	1	CONTAINS RESTART DATA
FILE	2	CONTAINS TIME ARRAY

NUMBER OF CURVES =	4
POINTS PER PLOT =	251
TOTAL POINT STORAGE =	1004

FILE	3	CONTAINS LIN G-ACC OF MASS	2.
FILE	4	CONTAINS LIN VEL OF MASS	2.
FILE	5	CONTAINS LIN DISP OF MASS	2.
FILE	6	CONTAINS REL LIN DISP BETWEEN MASS	1. AND 2.

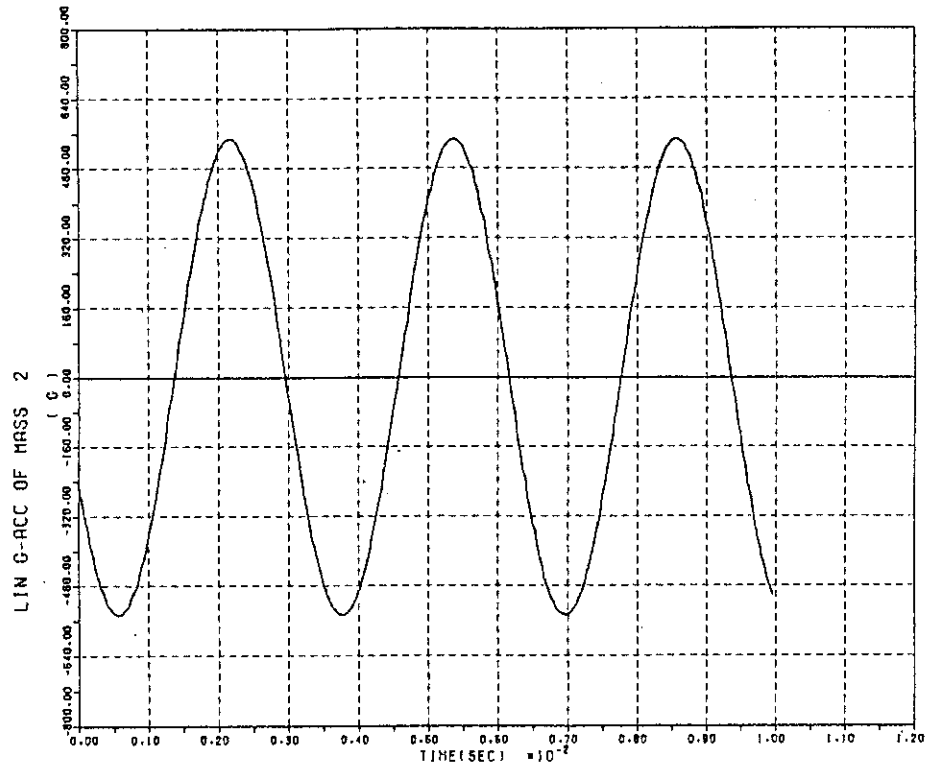


Fig. 4.2 Response acceleration time history of mass 2
(Sample problem No.1 single mass free vibration)

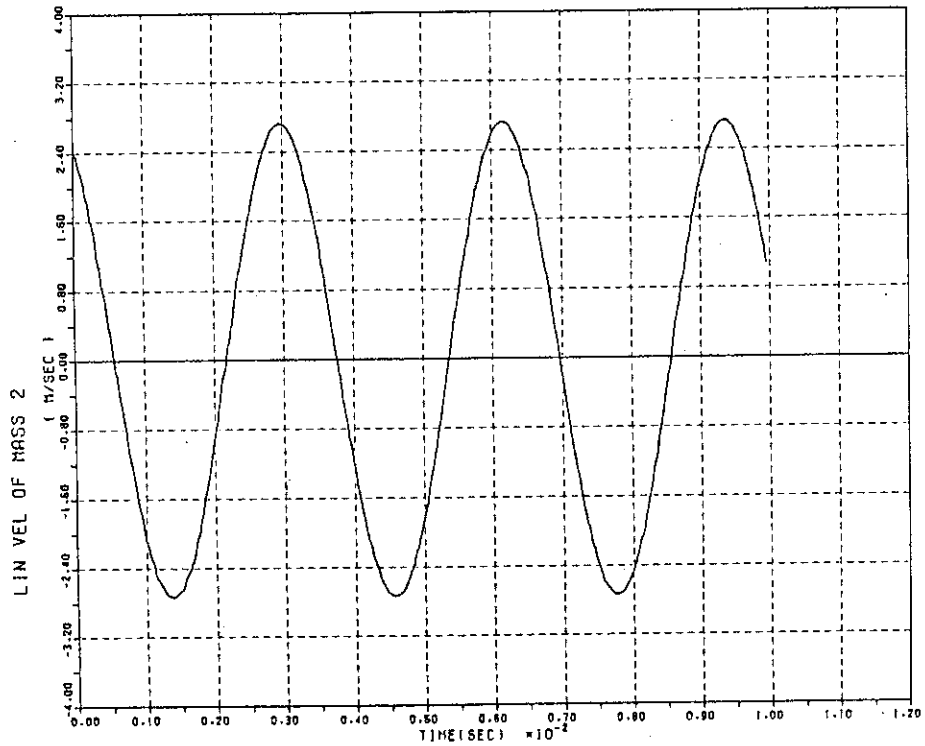


Fig. 4.3 Response velocity time history of mass 2
(Sample problem No.1 single mass free vibration)

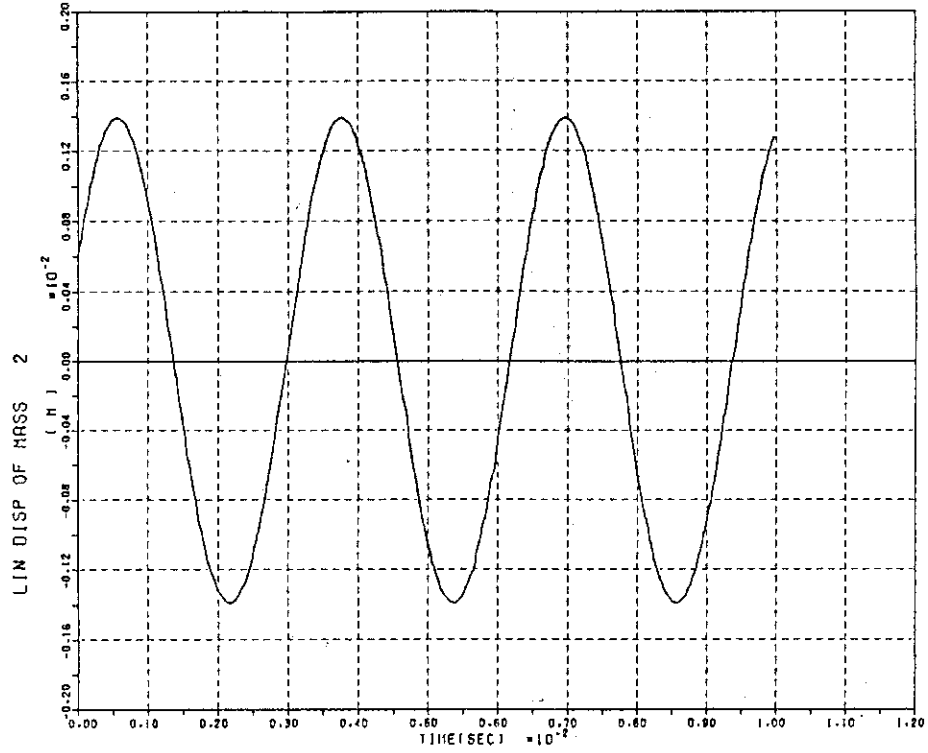


Fig. 4.4 Response relative displacement time history of mass 2
(Sample problem No.1 single mass free vibration)

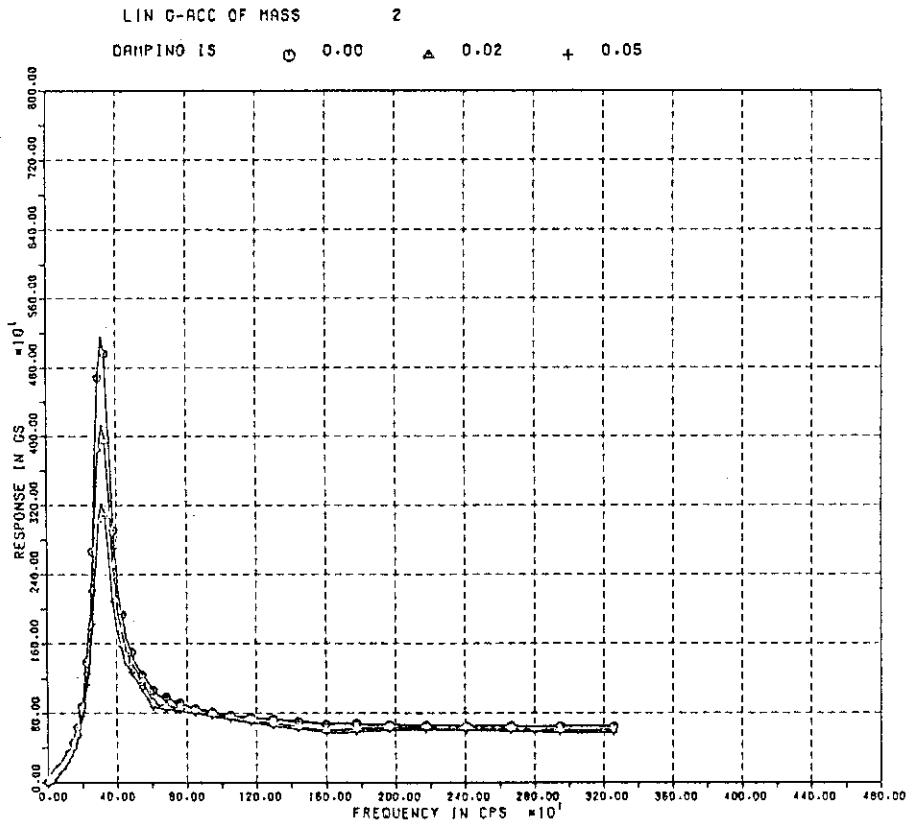


Fig. 4.5 Response Acceleration spectrum of mass 2
(Sample problem No.1 single mass free vibration)

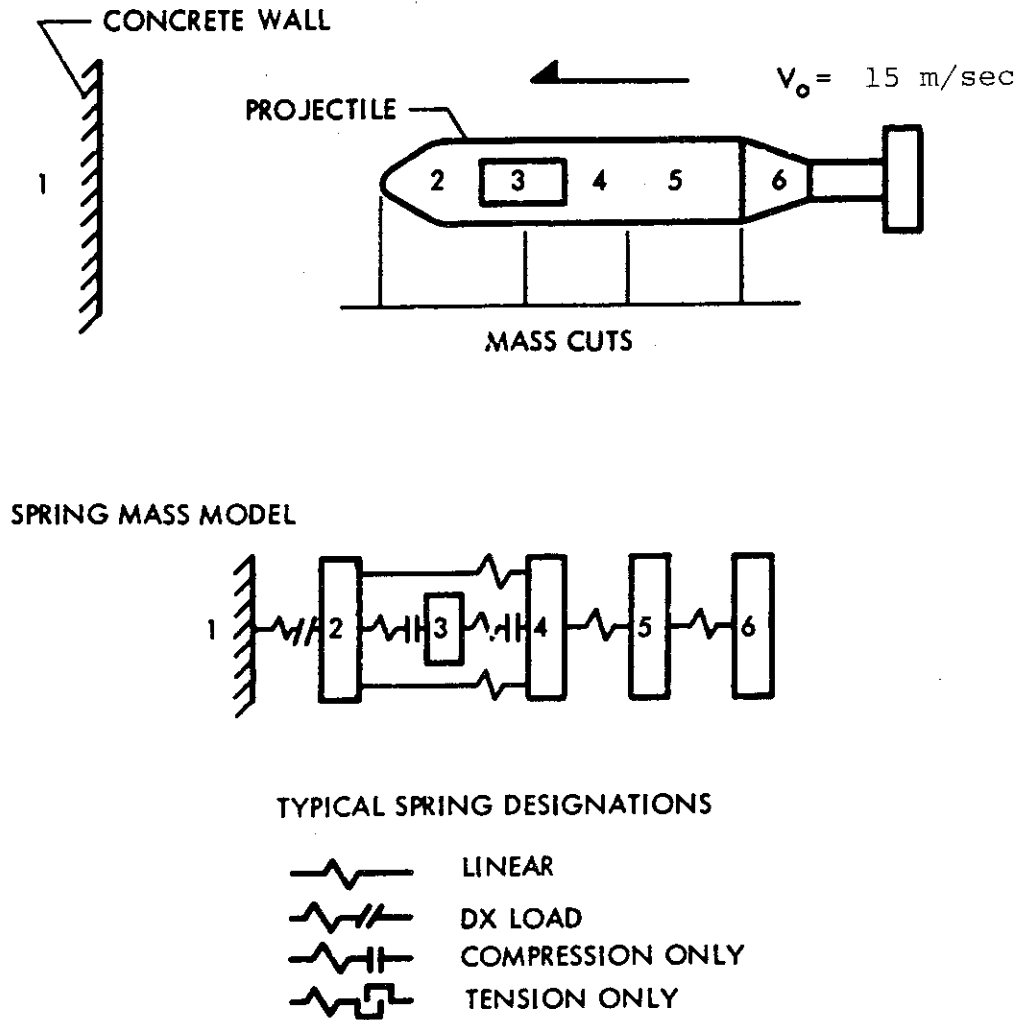


Fig.4.6 Sample problem No.2, container impact 15.24m/s

Table 4.3 Input data of sample problem No.2 container impact

```

*****
* INPUT DATA LIST *
*****
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
SAMPLE PROBLEM NO.2, IMPACT OF CONTAINER
1 AXIAL
2 DAMPED
3
4 TSTEPS 5 250 0.0 0.03
5 MASSES 1 6 4.536+5 45.36 90.72 226.8
6 YVALUE 7 12 0.0 -15.24 -15.24 90.72 -15.24 226.8
7 FIXMASS 1
8 SPRING 2 4 0.03 -8.75E+8
9 COMPRESS 2 3 0.03 -8.75E+8
10 COMPRESS 3 4 0.03 -8.75E+6
11 SPRING 4 5 0.03 -1.75E+8
12 SPRING 5 6 0.03 -1.75E+8
13 DXLOAD 1 2 0.254 0.0
14 DXLOAD 1 2 0.0254 0.0
15 DXLOAD 1 2 0.0
16 DXLOAD 1 2 -0.0508 -4.45E+3
17 DXLOAD 1 2 -0.1016 -8.89E+3
18 DXLOAD 1 2 -0.1524 -2.22E+4
19 DXLOAD 1 2 -0.2032 -6.67E+4
20 DXLOAD 1 2 -0.3048 -1.07E+6
21 DXLOAD 1 2 -0.2540 -1.78E+5
22 DXLOAD 1 2 -0.6096 -5.44E+7
23 PLOTACC
24 PLOTACC 6
25 PLOTVEL 6
26 PLOTSHEAR 1 6
27 PLOTDX 2 3
28 FINI
29 PLOTALL
30 PLOTSPEC 3 5
31 FINI
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
*** INPUT DATA END ***

```

Table 4.4 Output data of sample problem No.2 container impact

SAMPLE PROBLEM NO.2, IMPACT OF CONTAINER

END OF PHASE		1		2		3		4	
AXIAL	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DAMPED	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TSTEPS	5	250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MASSES	1	6	0.45360000D+06	0.45360000D+02	0.45360000D+02	0.90720000D+02	0.90720000D+02	0.90720000D+02	0.22680000D+03
YVALUE	7	12	0.0	-0.15240000D+02	-0.15240000D+02	-0.15240000D+02	-0.15240000D+02	-0.15240000D+02	-0.15240000D+02
FIXMASS	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING	2	4	0.30000000D-01	-0.87500000D+09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPRESS	2	3	0.30000000D-01	-0.87500000D+09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPRES SPRING 2 3 WILL BE COMPUTED AS THE DXLOAD COUPLING 2 3 WITH ORIGIN OF 0.0									
COMPRESS	3	4	0.30000000D-01	-0.87500000D+07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPRES SPRING 3 4 WILL BE COMPUTED AS THE DXLOAD COUPLING 3 4 WITH ORIGIN OF 0.0									
SPRING	4	5	0.30000000D-01	-0.17500000D+09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SPRING	5	6	0.30000000D-01	-0.17500000D+09	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	0.25400000D+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	0.25400000D-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.50800000D-01	-0.44500000D+04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.10160000D+00	-0.88900000D+04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.15240000D+00	-0.22200000D+05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.20320000D+00	-0.66700000D+05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.30480000D+00	-0.10700000D+07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.25400000D+00	-0.17800000D+06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DXLOAD	1	2	-0.60960000D+00	-0.54400000D+08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PLOTACC	2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PLOTACC	6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PLOTVEL	6	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PLOTSHEAR	1	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PLOTDX	2	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FINI	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
END OF PHASE 2									
VARIABLE DXLOAD LOAD CURVE ON SPRING 2 3									
			-0.10000000D+01	-0.87500000D+09					
		0.0	0.0	0.0					
		0.10000000D+01	0.0	0.0					

Table 4.4 (Continued)
 VARIABLE DXLOAD LOAD CURVE ON SPRING 3 4

-0.10000000D+01 -0.87500000D+07
 0.0 0.0
 0.10000000D+01 0.0

VARIABLE DXLOAD LOAD CURVE ON SPRING 1 2

-0.60960000D+00 -0.54400000D+08
 -0.30480000D+00 -0.10700000D+07
 -0.25400000D+00 -0.17800000D+06
 -0.20320000D+00 -0.66700000D+05
 -0.15240000D+00 -0.22200000D+05
 -0.10160000D+00 -0.88900000D+04
 -0.50800000D-01 -0.44500000D+04
 0.0 0.0
 0.25400000D-01 0.0
 0.25400000D+00 0.0

INITIAL STEPSIZE OF 0.715290D-04
 HAS BEEN DETERMINED BY ASSUMING MASS 2 HAVING MASS 0.45360D+02 AND INERTIA 0.0
 ATTACHED TO A SPRING -0.875000D+09
 ITS PERIOD IS 0.143058D-02

NO.	INITIAL CONDITIONS M	X	DX/DT	CONSTANT LOAD
1	0.45360D+06	0.0	0.0	0.0
2	0.45360D+02	0.0	-15.2400	0.0
3	0.45360D+02	0.0	-15.2400	0.0
4	0.90720D+02	0.0	-15.2400	0.0
5	0.90720D+02	0.0	-15.2400	0.0
6	0.22680D+03	0.0	-15.2400	0.0

Table 4.4 (Continued)

STIFFNESS MATRIX		FOR MASSES				DAMPING MATRIX			
COUPLING NUMBER	1	2	3	4	5	1	2	3	4
	0.875000D+09	0.0	0.0	-0.875000D+09	0.0	0.975992D+04	0.0	0.0	-0.975992D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-0.875000D+09	0.0	0.0	0.875000D+09	0.0	-0.975992D+04	0.0	0.0	0.975992D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COUPLING NUMBER	2	4	5						
	0.175000D+09	0.0	-0.175000D+09	0.0	0.0	0.534573D+04	0.0	0.0	-0.534573D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-0.175000D+09	0.0	0.175000D+09	0.0	0.0	-0.534573D+04	0.0	0.0	0.534573D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COUPLING NUMBER	3	5	6						
	0.175000D+09	0.0	-0.175000D+09	0.0	0.0	0.638937D+04	0.0	0.0	-0.638937D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-0.175000D+09	0.0	0.175000D+09	0.0	0.0	-0.638937D+04	0.0	0.0	0.638937D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COUPLING NUMBER	4	2	3						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.845234D+04	0.0	0.0	-0.845234D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.845234D+04	0.0	0.0	0.845234D+04
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COUPLING NUMBER	5	3	4						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.975992D+03	0.0	0.0	-0.975992D+03
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.975992D+03	0.0	0.0	0.975992D+03
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COUPLING NUMBER	6	1	2						
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
END OF PHASE	3								

Table 4.4 (Continued)

SAMPLE PROBLEM NO.2, IMPACT OF CONTAINER

DATE 1982-07-22 TIME 13:37:34 EXE TIME 0.139 (SEC)

TIME = 0.000072 (SEC) STEP SIZE = 0.000072 (SEC) NO OF STEPS = 1

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	2	4	-1.78480D-09	-2.35615D+00	-7.26352D-01
4	-1.09010D-03	-1.52400D+01	3.46542D-03	0.0	4	5	-3.45358D-12	0.0	-1.54862D-03
2	-1.09010D-03	-1.52399D+01	2.01159D-01	0.0	5	6	0.0	0.0	0.0
5	-1.09010D-03	-1.52400D+01	1.74187D-06	0.0	2	3	-2.69274D-09	-2.35615D+00	-6.31488D-01
3	-1.09010D-03	-1.52400D+01	6.72092D-03	0.0	3	4	0.0	0.0	0.0
6	-1.09010D-03	-1.52400D+01	0.0	0.0	1	2	-1.09010D-03	-9.54910D+01	0.0

SAMPLE PROBLEM NO.2, IMPACT OF CONTAINER

DATE 1982-07-22 TIME 13:37:34 EXE TIME 0.386 (SEC)

TIME = 0.012000 (SEC) STEP SIZE = 0.000177 (SEC) NO OF STEPS = 194

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	2	4	-4.22031D-05	-3.69419D+04	-1.25853D+02
4	-1.81815D-01	-1.48883D+01	1.06386D+01	0.0	4	5	-1.57970D-04	-2.76435D+04	-2.93779D+02
2	-1.81773D-01	-1.48753D+01	1.25374D+01	0.0	5	6	-1.02013D-04	-1.78528D+04	-2.34724D+02
5	-1.81973D-01	-1.49432D+01	1.10790D+01	0.0	2	3	-6.03144D-06	-5.27751D+03	-1.18548D+01
3	-1.81779D-01	-1.48768D+01	1.11613D+01	0.0	3	4	-3.61879D-05	-3.16644D+02	-1.12165D+01
6	-1.82075D-01	-1.49799D+01	8.13783D+00	0.0	1	2	-1.81773D-01	-4.79304D+04	0.0

SAMPLE PROBLEM NO.2, IMPACT OF CONTAINER

DATE 1982-07-22 TIME 13:37:35 EXE TIME 1.256 (SEC)

TIME = 0.030009 (SEC) STEP SIZE = 0.000009 (SEC) NO OF STEPS = 911

IMASS	LINEAR DISP	LINEAR VEL	G-LINEAR ACC	F IN NEWTON	M(I)	M(J)	Y(I)-Y(J)	LOAD ON (I)	DAMP LOAD
1	0.0	0.0	0.0	0.0	2	4	-5.69345D-04	-4.98177D+05	-3.87983D+03
4	-2.71826D-01	-1.52004D+01	3.00202D+02	0.0	4	5	-1.30155D-03	-2.27772D+05	-1.26189D+04
2	-2.71257D-01	-1.55979D+01	-1.73193D+02	0.0	5	6	-1.57449D-04	-2.75535D+04	-1.52028D+04
5	-2.73128D-01	-1.28398D+01	2.22297D+02	0.0	2	3	-6.84964D-05	-5.99344D+04	3.98258D+03
3	-2.71326D-01	-1.60691D+01	1.14102D+02	0.0	3	4	-5.00848D-04	-4.38242D+03	-8.47852D+02
6	-2.73285D-01	-1.04604D+01	1.92367D+01	0.0	1	2	-2.71257D-01	-4.81019D+05	0.0

Table 4.4 (Continued)

TIME-MAGNITUDE MASS	MIN-MAX LINEAR ACC IN G-S	MIN-MAX SHEARS AND MOMENTS IN NEWTON-METER	OF EACH COUPLING	ACC IN RAD/SEC-SEC
1	0.3001D-01	0.3001D-01	0.0	
2	0.2741D-01	-0.2181D+03	0.2787D-01	0.9783D+03
3	0.2467D-01	-0.3395D+02	0.2916D-01	0.8026D+03
4	0.2566D-01	-0.1987D+03	0.2838D-01	0.7028D+03
5	0.0	0.0	0.2388D-01	0.5776D+03
6	0.2873D-01	-0.8979D+02	0.2536D-01	0.5646D+03
TIME-MAGNITUDE COUPLING	MIN-MAX SHEAR IN NEWTON	MOMENT IN NEWTON-METER	OF EACH COUPLING	ACC IN RAD/SEC-SEC
2	0.2423D-01	-0.1628D+07	0.0	
4	0.2472D-01	-0.1415D+07	0.2872D-01	0.1883D+06
5	0.2539D-01	-0.1254D+07	0.2877D-01	0.1994D+06
2	0.2917D-01	-0.3565D+06	0.2718D-01	0.0
3	0.2460D-01	-0.1527D+05	0.2951D-01	0.0
1	0.2351D-01	-0.2037D+07	0.0	0.0
NUMBER OF TIME INTERVAL CHANGES = 0				
RESTART INFORMATION HAS BEEN STORED ON TAPE 50				
AT TIME 0.30008979D-01				
STEP SIZE AT THIS TIME WAS 0.89785477D-05				
NUMBER OF CRT BLOCK TOTAL 2				
NUMBER OF POINTS PER CURVE 251				
POINTS PER BLOCK 11				
FILE	1	CONTAINS RESTART DATA		
FILE	2	CONTAINS TIME ARRAY		
FILE	3	CONTAINS	LIN G-ACC OF MASS	2.
FILE	4	CONTAINS	LIN G-ACC OF MASS	6.
FILE	5	CONTAINS	LIN VEL OF MASS	6.
FILE	6	CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	2. FROM 4.
FILE	7	CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	4. FROM 5.
FILE	8	CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	5. FROM 6.

Table 4.4 (Continued)

FILE	9 CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	2. FROM	3.
FILE	10 CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	3. FROM	4.
FILE	11 CONTAINS	LOAD IN NEWTON AT MASS	1. FROM	2.
FILE	12 CONTAINS	REL LIN DISP BETWEEN MASS	4. AND	5.
FILE	13 CONTAINS	REL LIN DISP BETWEEN MASS	5. AND	6.
TOTAL	NO OF POINTS	251	11	

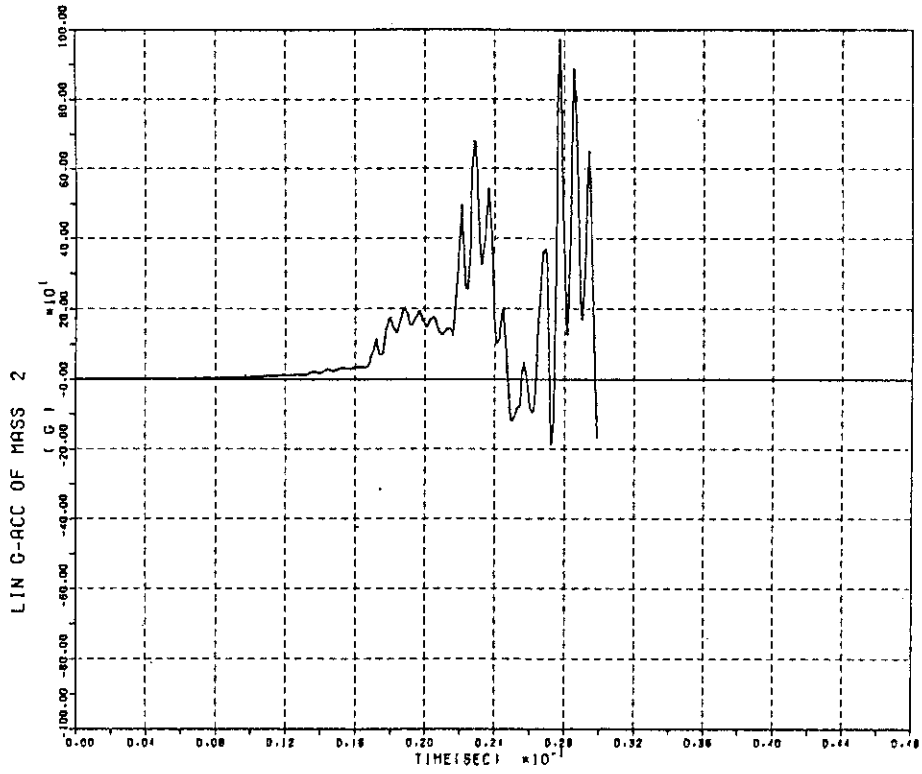


Fig. 4.7 Response acceleration time history of mass 2
(Sample problem No.2 container impact)

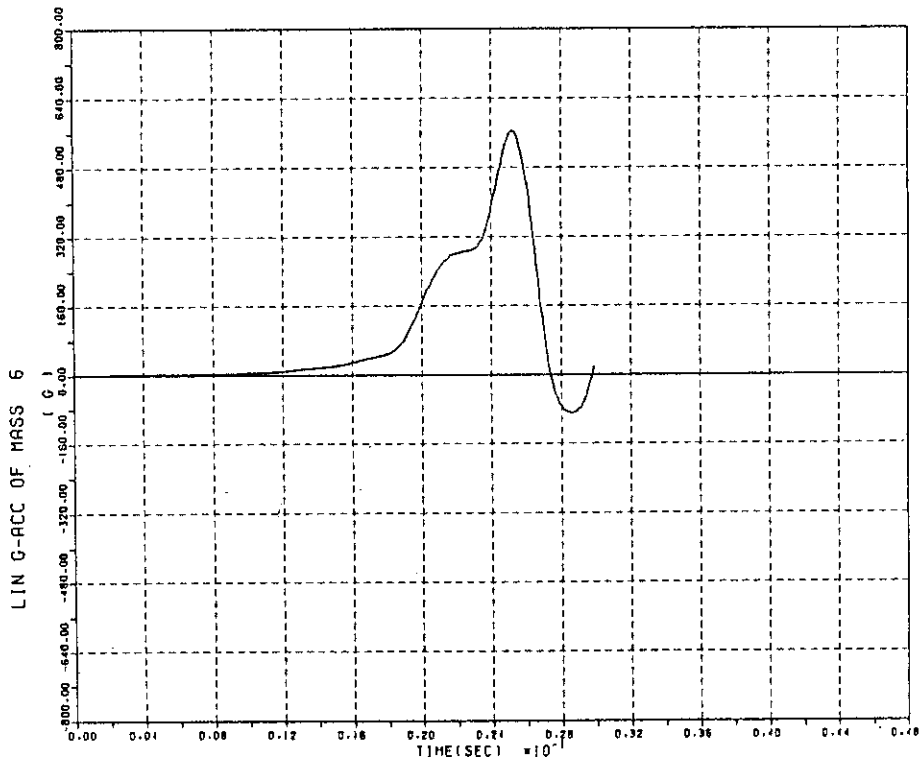


Fig. 4.8 Response acceleration time history of mass 6
(Sample problem No.2 container impact)

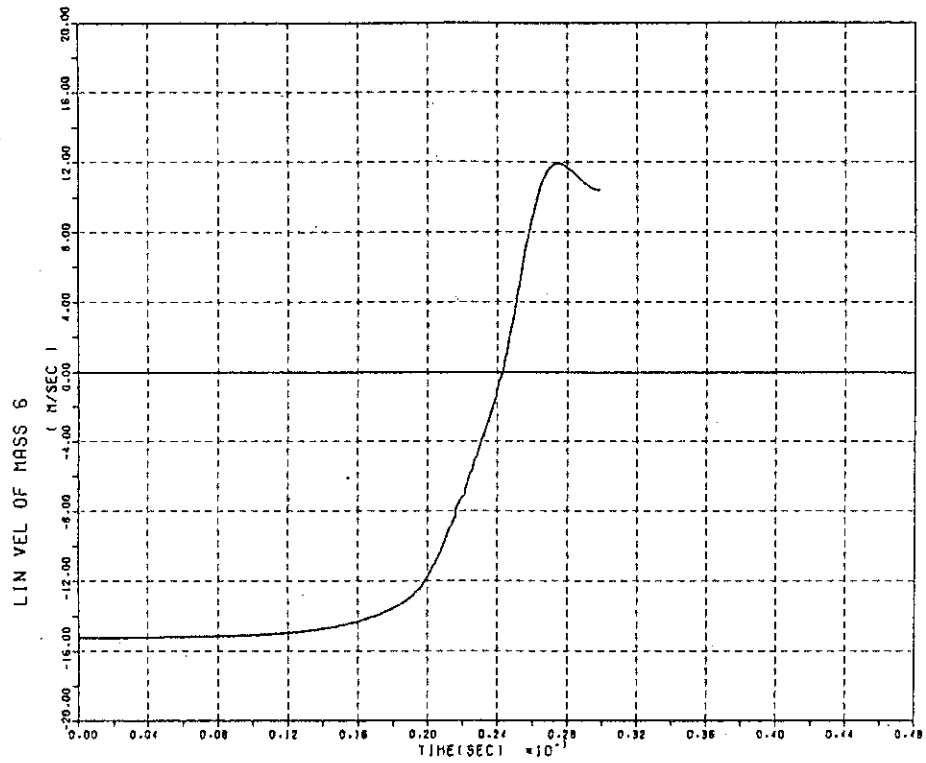


Fig. 4.9 Response velocity time history of mass 6
(Sample problem No.2 container impact)

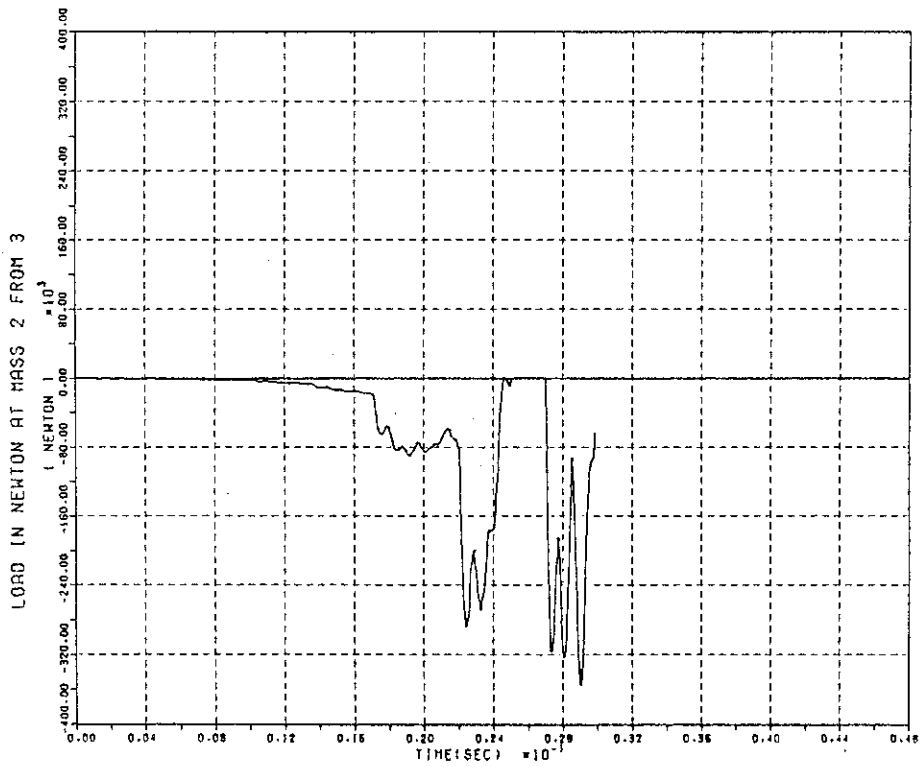


Fig. 4.10 Response load time history of mass 2 from 3
(Sample problem No.2 container impact)

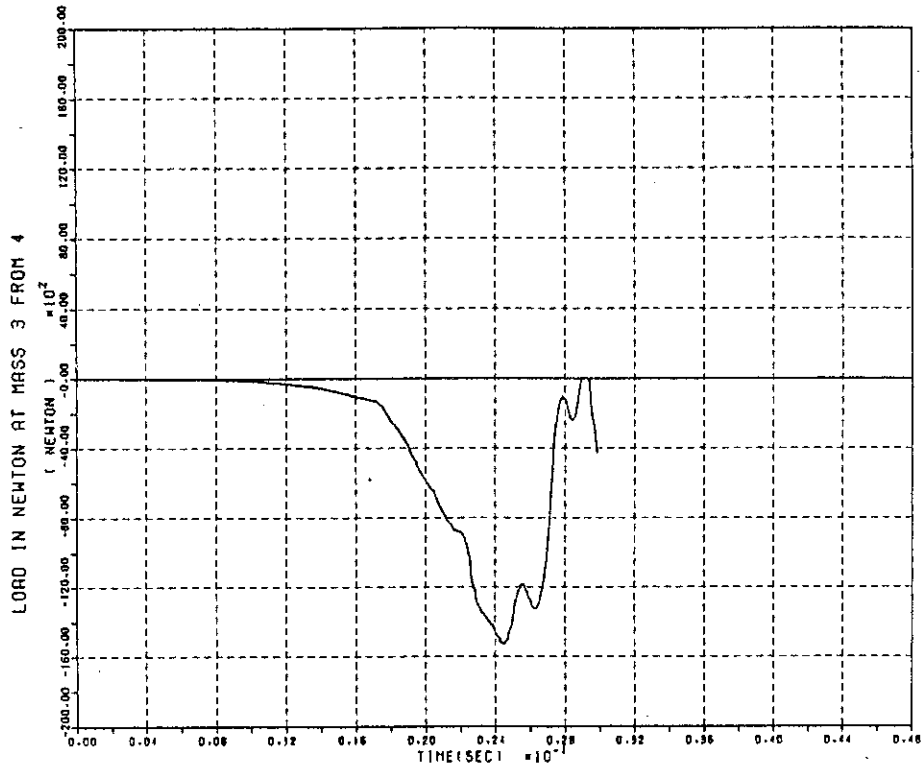


Fig. 4.11 Response load time history of mass 3 from 4
(Sample problem No.2 container impact)

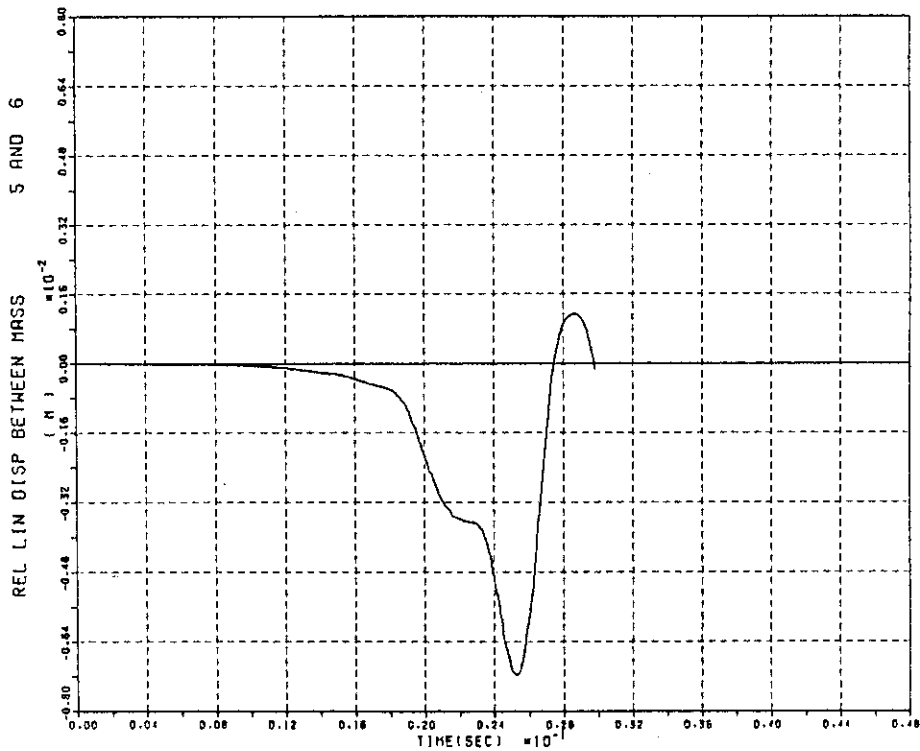


Fig. 4.12 Response relative displacement time history between
mass 5 and 6 (Sample problem No.2 container impact)

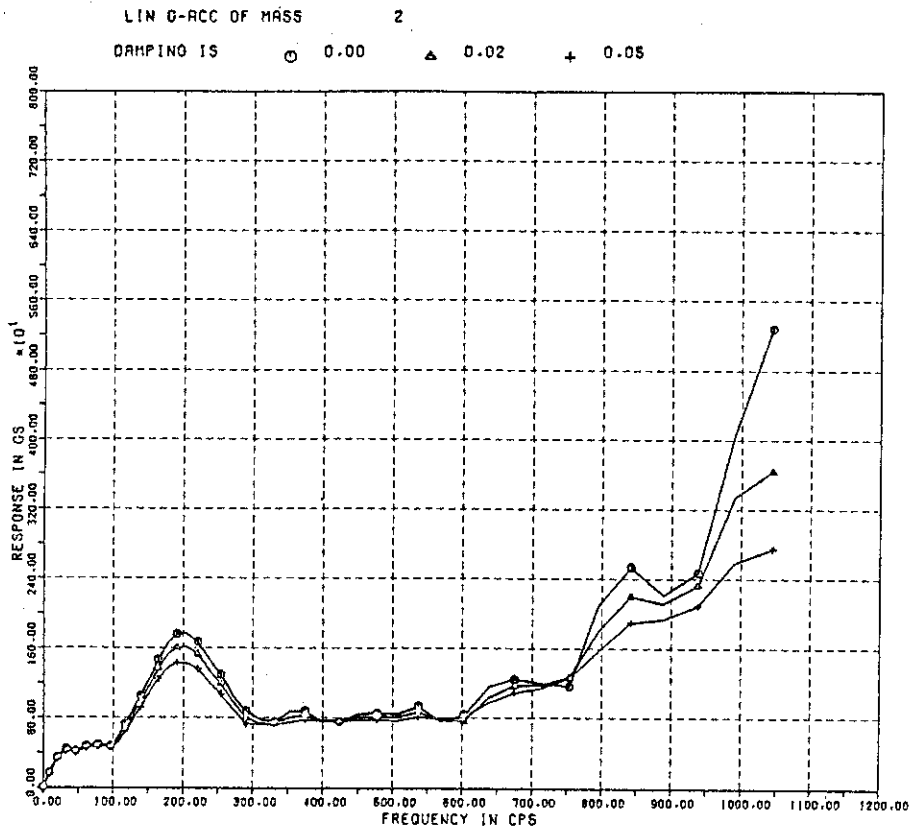


Fig. 4.13 Response acceleration spectrum of mass 2
(Sample problem No.2 container impact)

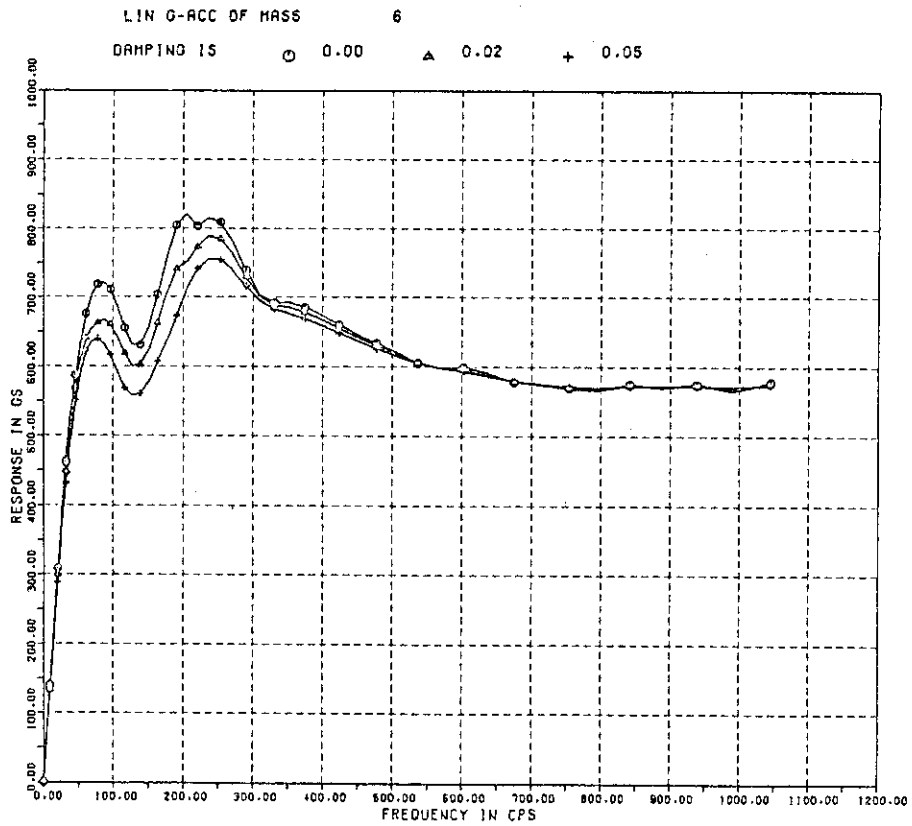


Fig. 4.14 Response acceleration spectrum of mass 6
(Sample problem No.2 container impact)

Table 4.5 車体各部および積載物の最大減速度の比較

(単位：G)

質点名	キャビン	エンジン	シャーシ	荷台	積載物 I	積載物 II	積載物 IV
解析結果	103	54.7	81.6	65.9	55.6	30.0	13.5
実験結果	74	39	105	18	20	27	32

Table 4.6 車体各部および積載物の最大変位の比較

(単位：mm)

質点名	キャビン	エンジン	シャーシ	荷台	積載物 I	積載物 IV
解析結果	805	530	460	1805	2600	1850
実験結果	948	—	308	1427	1649	3338

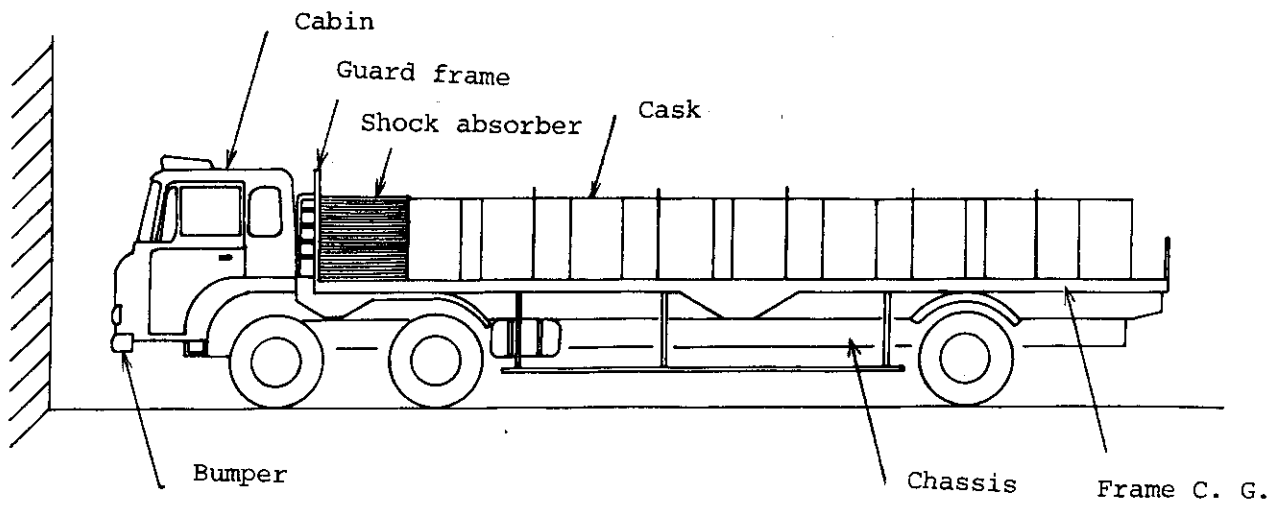


Fig. 4.15 Truck Model

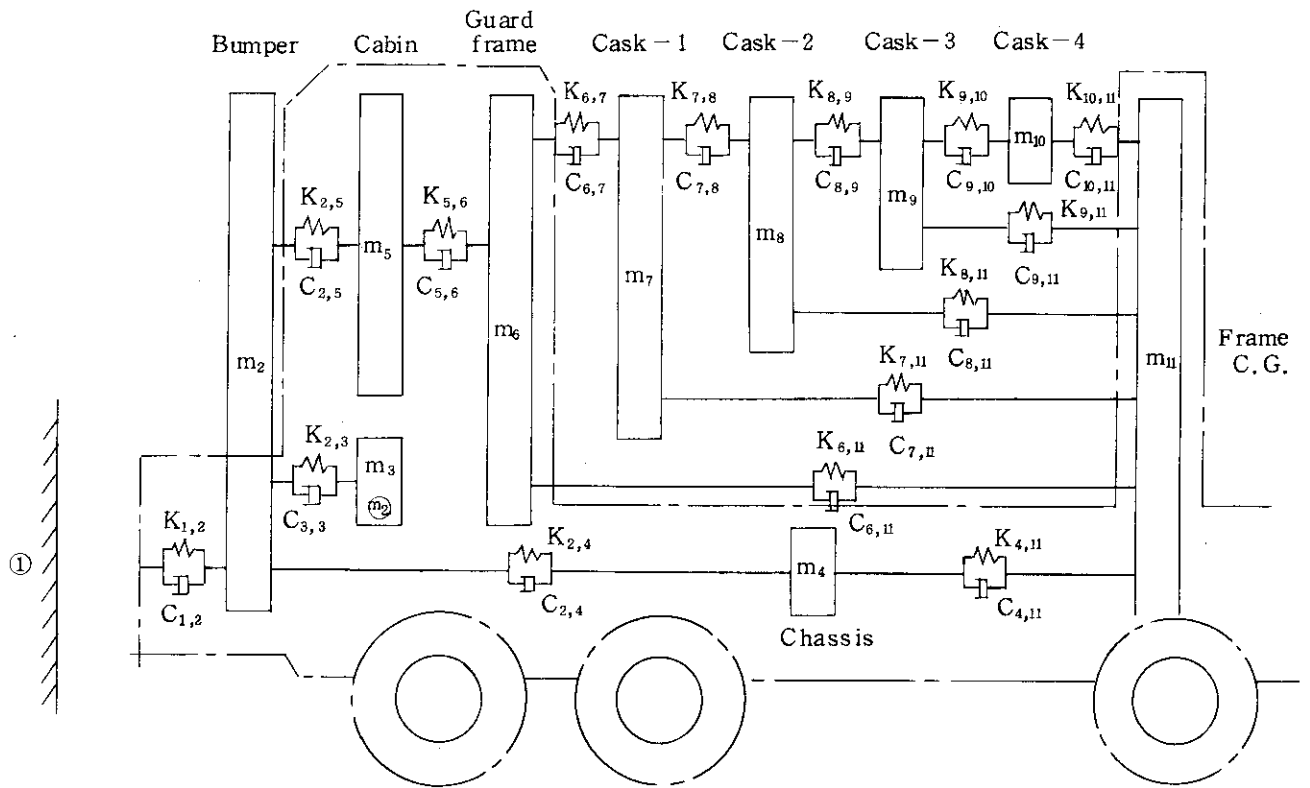


Fig. 4.16 Truck impact model

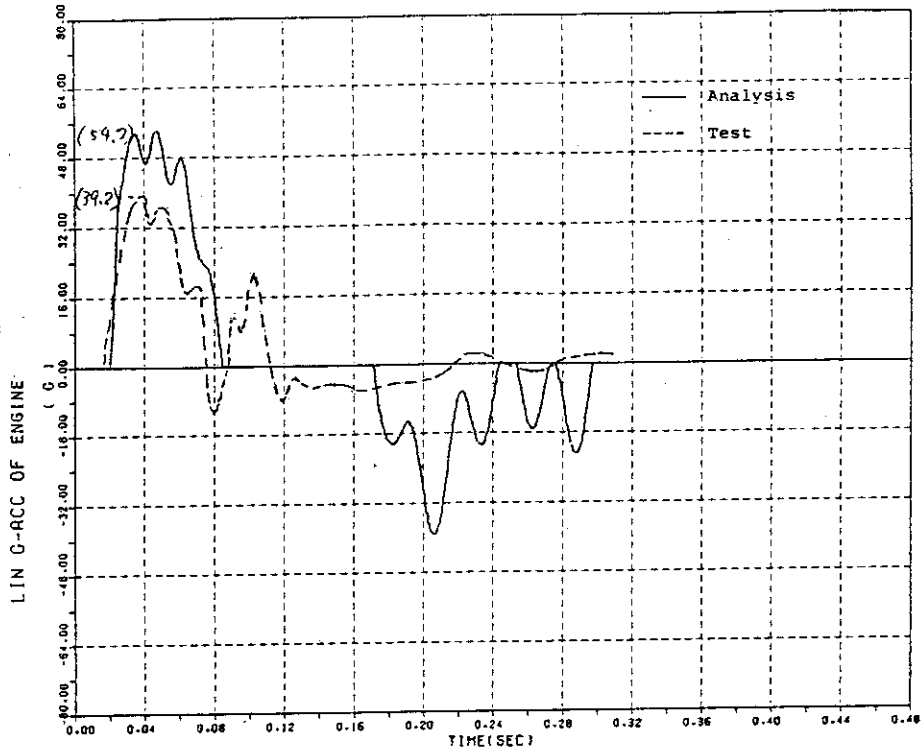


Fig.4.17 Impact acceleration of engine

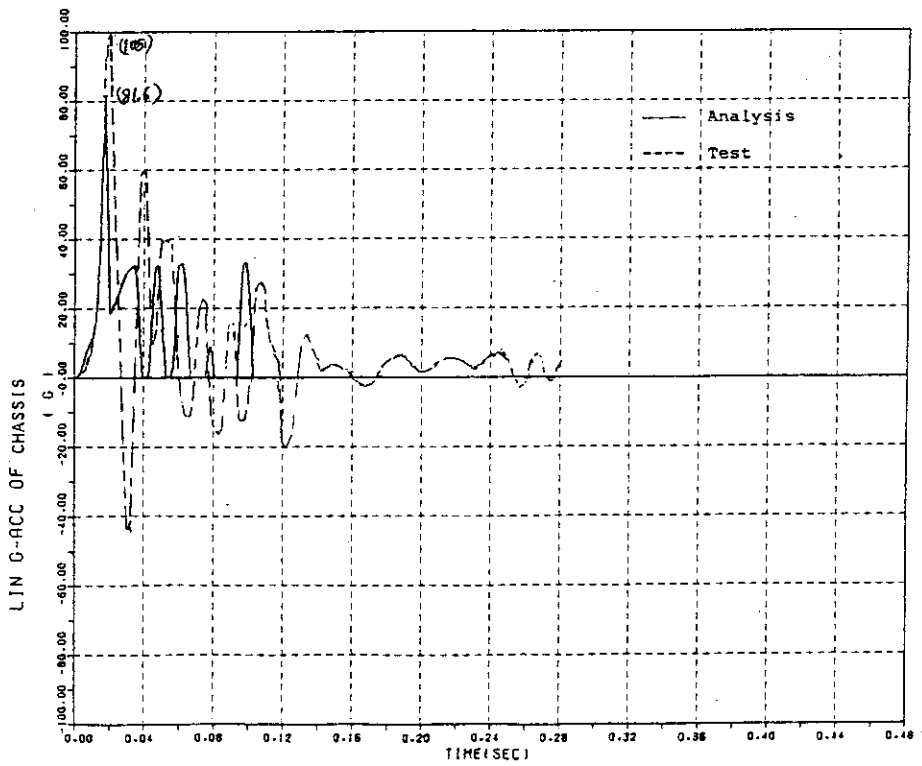


Fig.4.18 Impact acceleration of chassis

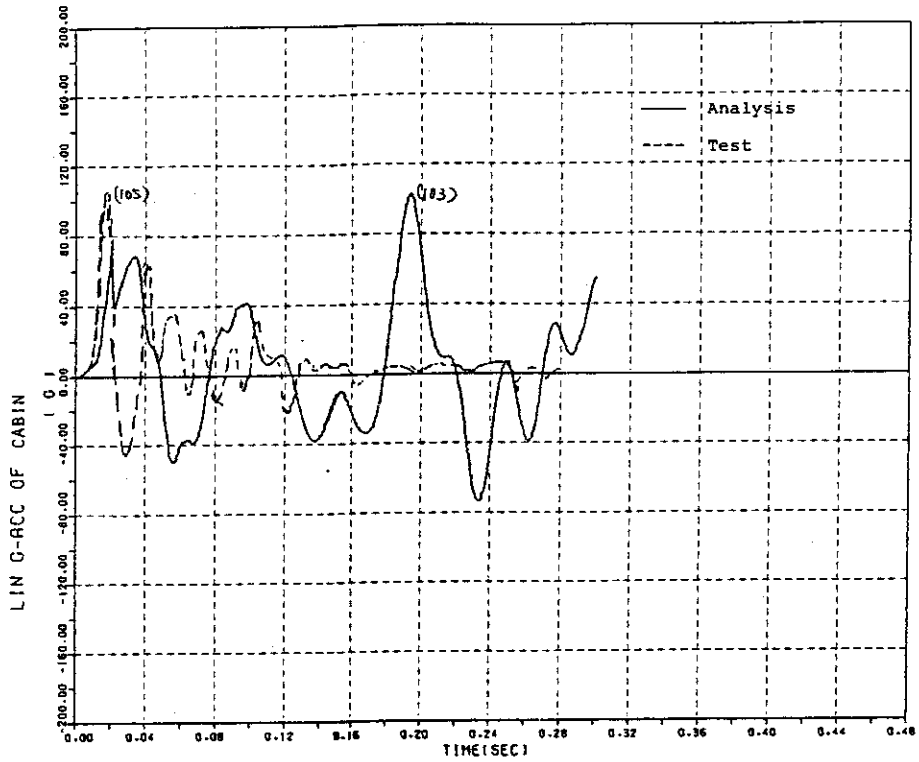


Fig.4.19 Impact acceleration of cabin

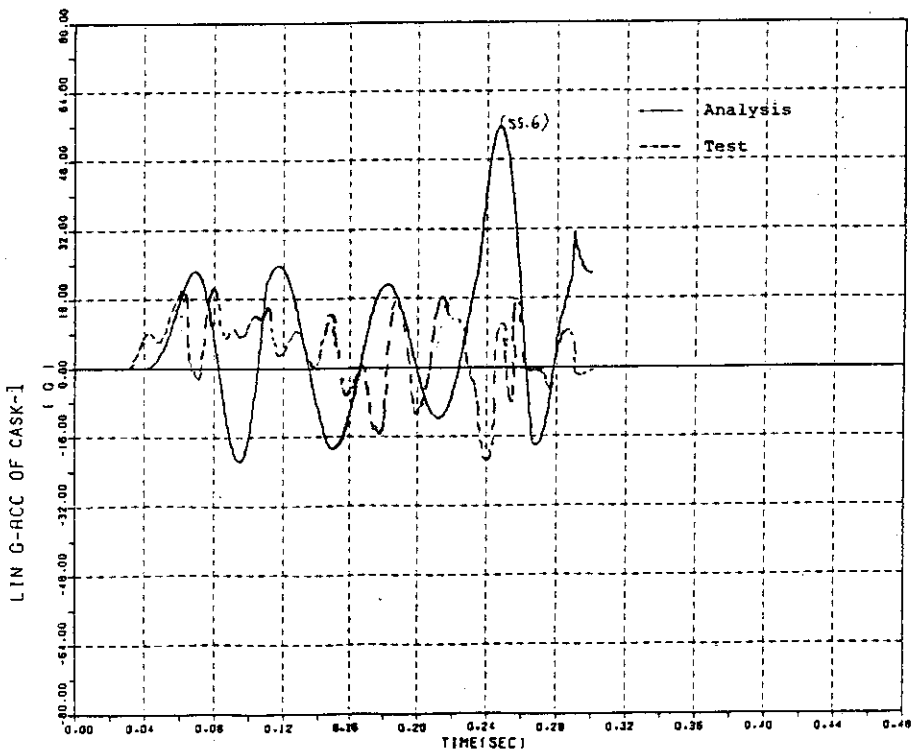


Fig.4.20 Impact acceleration of cask-1

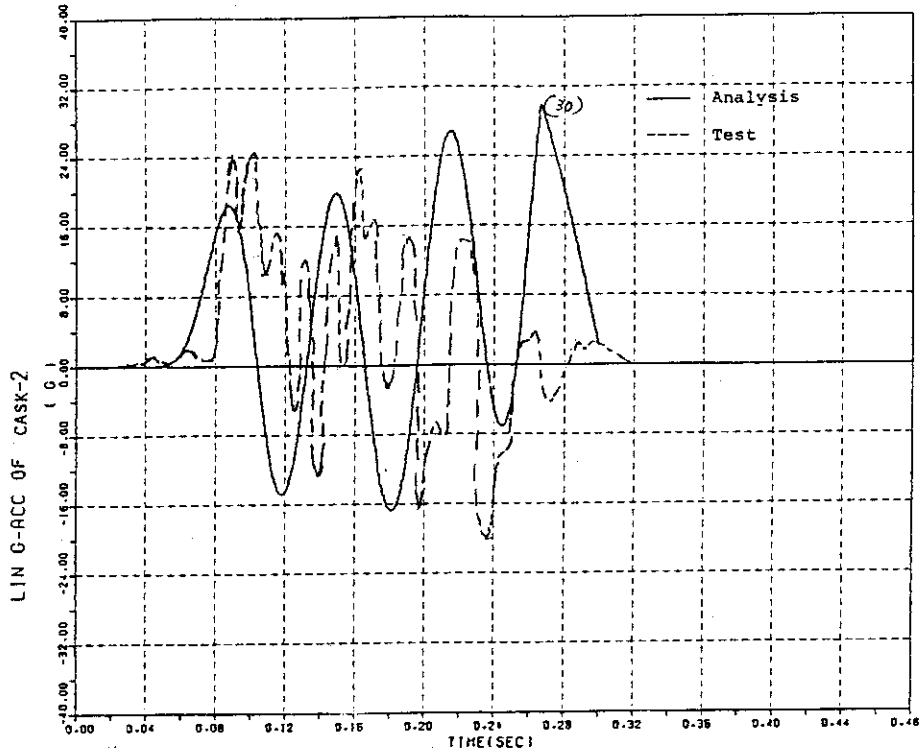


Fig.4.21 Impact acceleration of cask-2

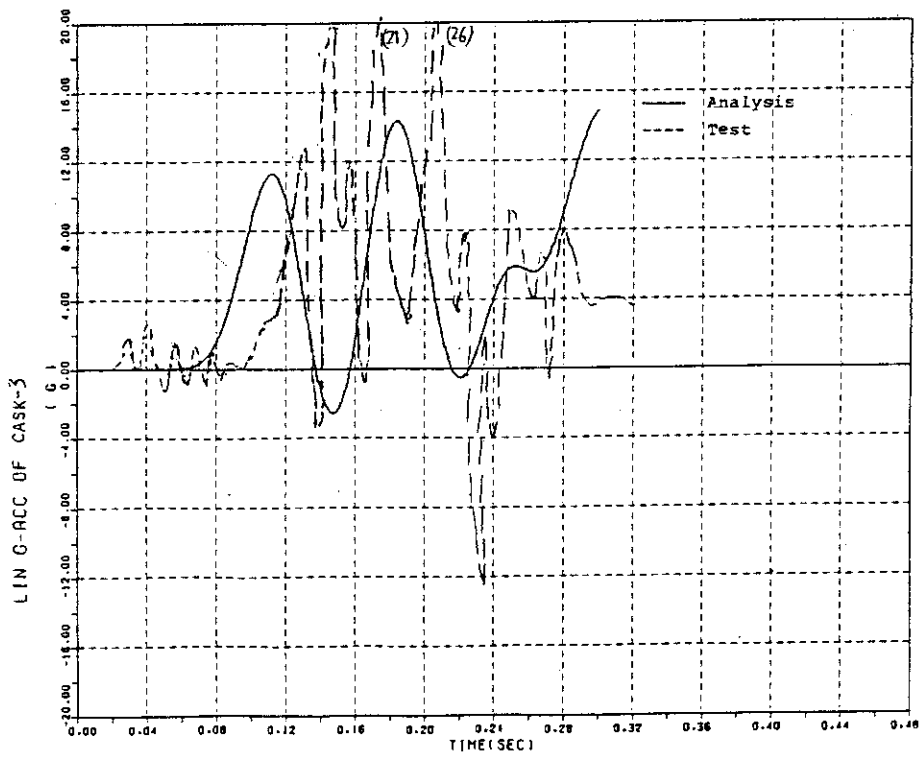


Fig.4.22 Impact acceleration of cask-3

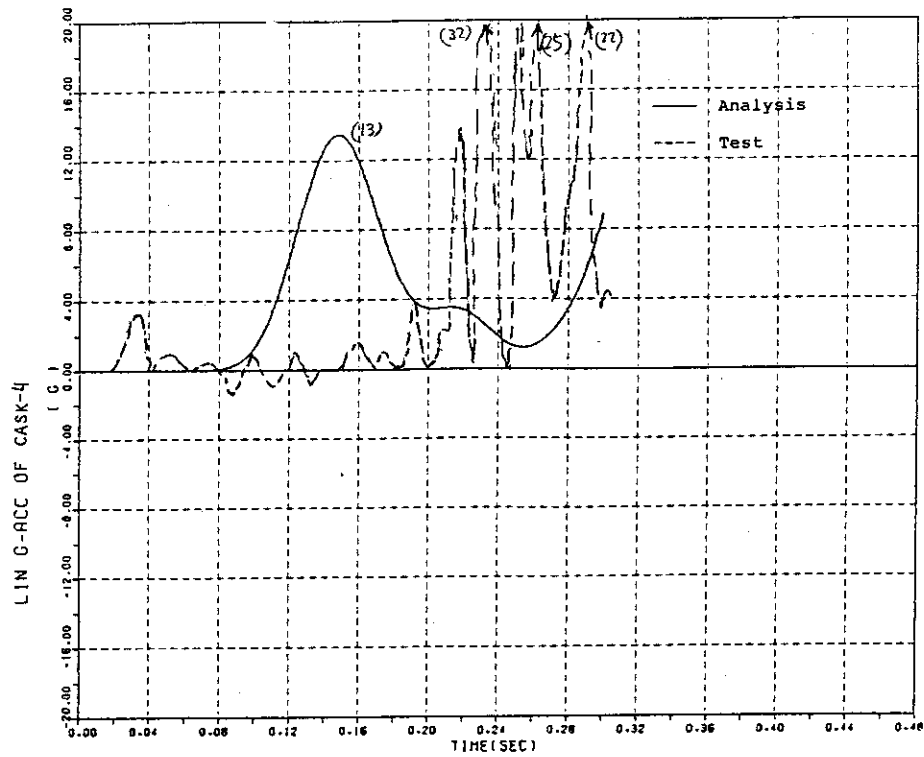


Fig.4.23 Impact acceleration of cask-4

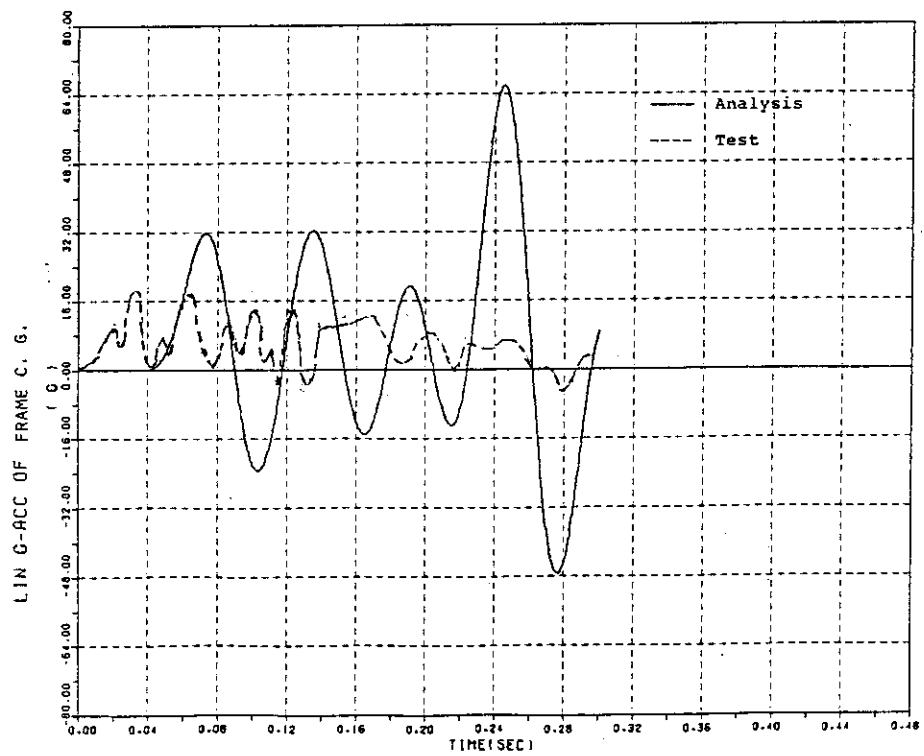


Fig.4.24 Impact acceleration of frame center gravity

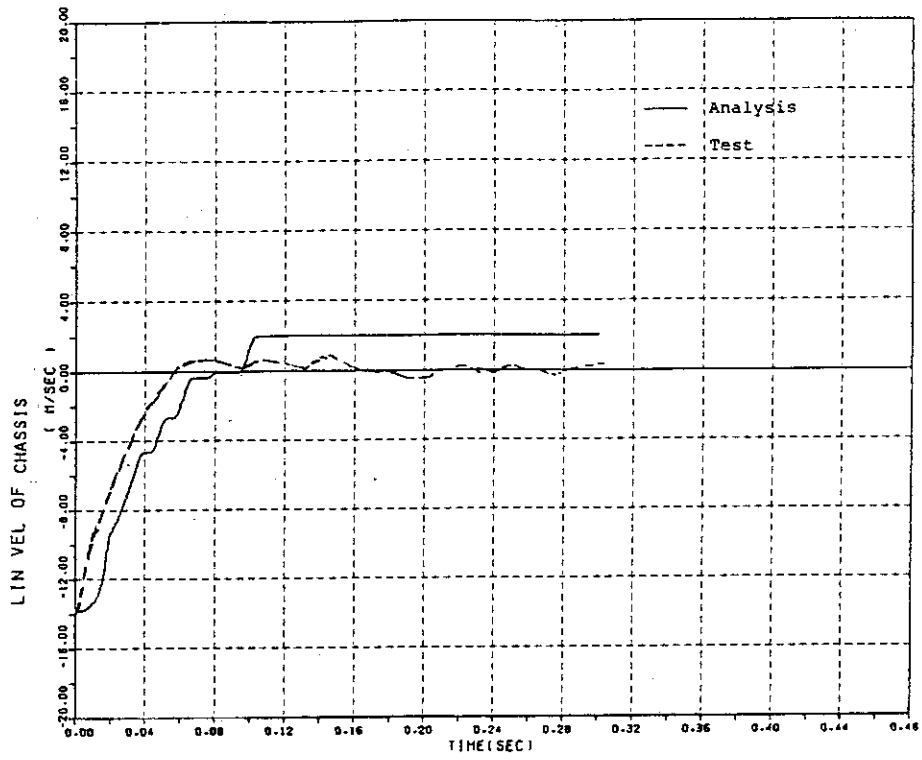


Fig.4.25 Velocity of chassis

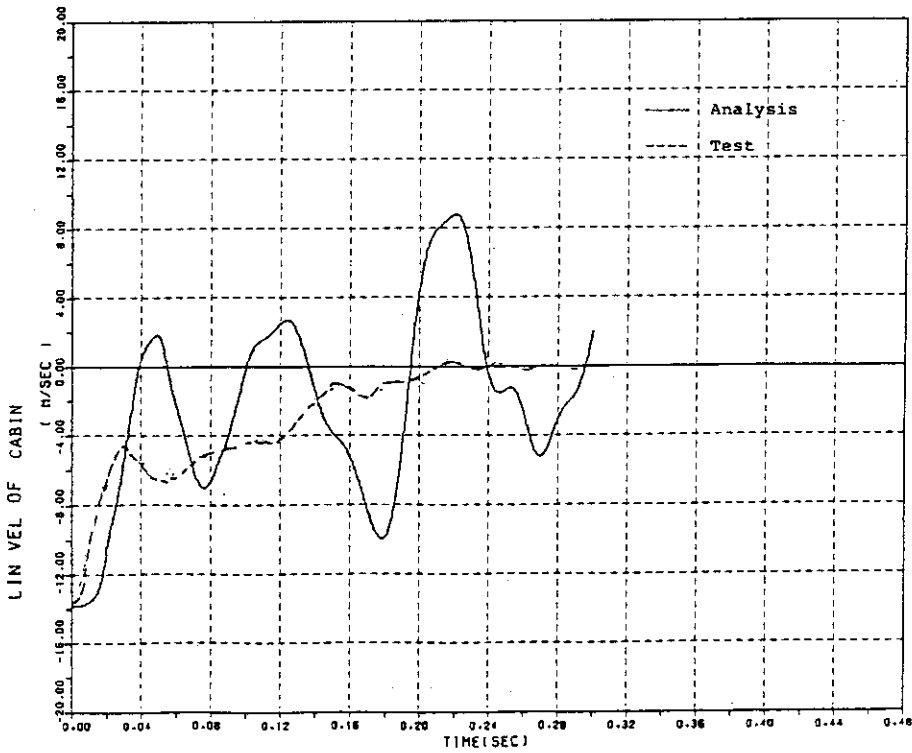


Fig.4.26 Velocity of cabin

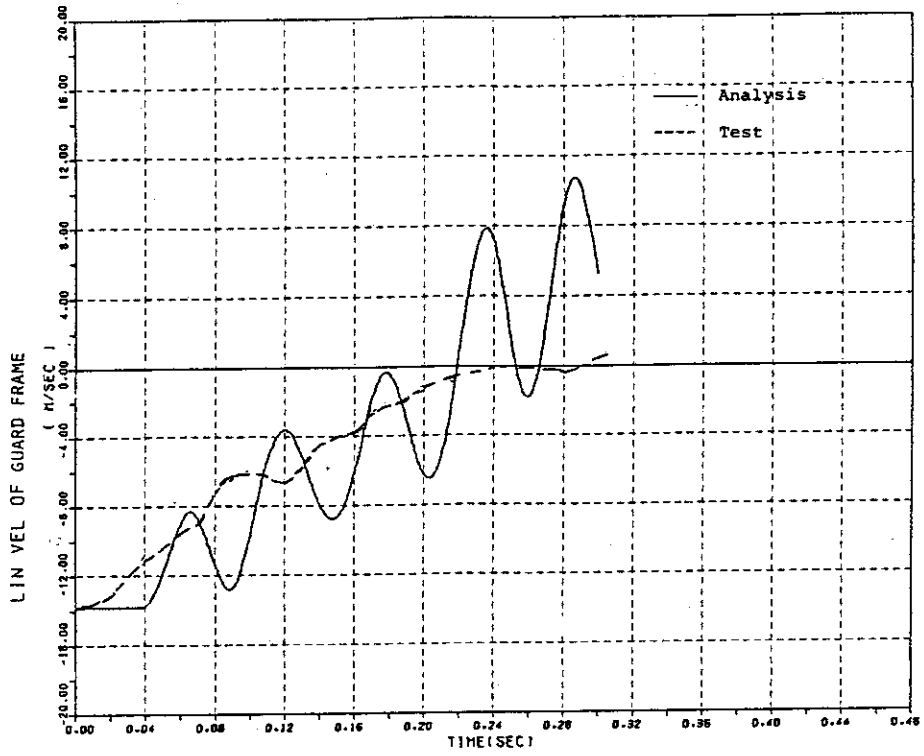


Fig.4.27 Velocity of guard frame

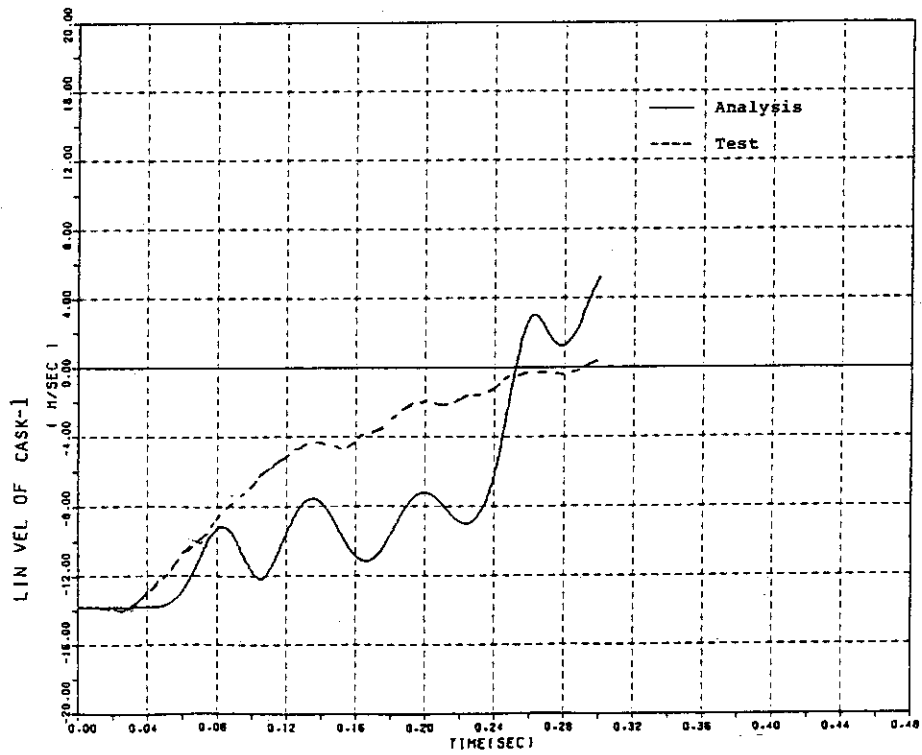


Fig.4.28 Velocity of cask-1

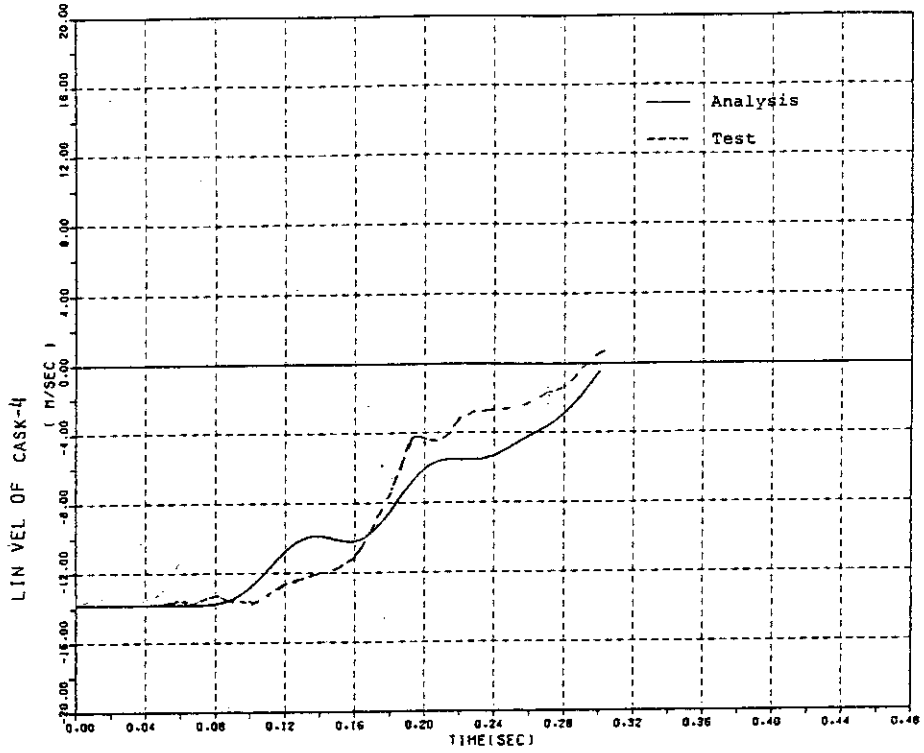


Fig.4.29 Velocity of cask-4

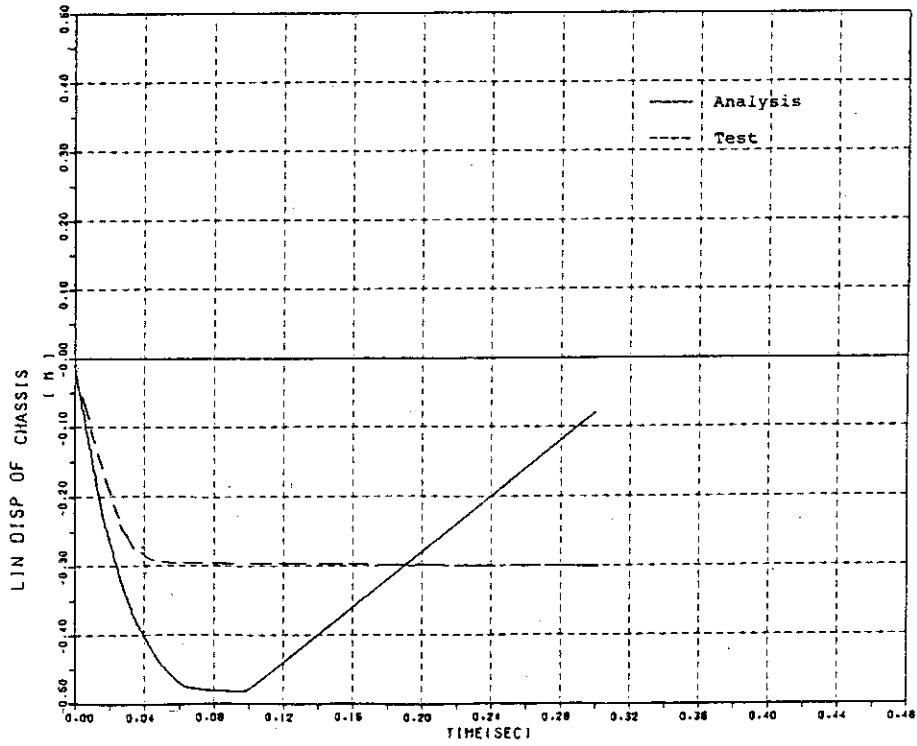


Fig.4.30 Displacement of chassis

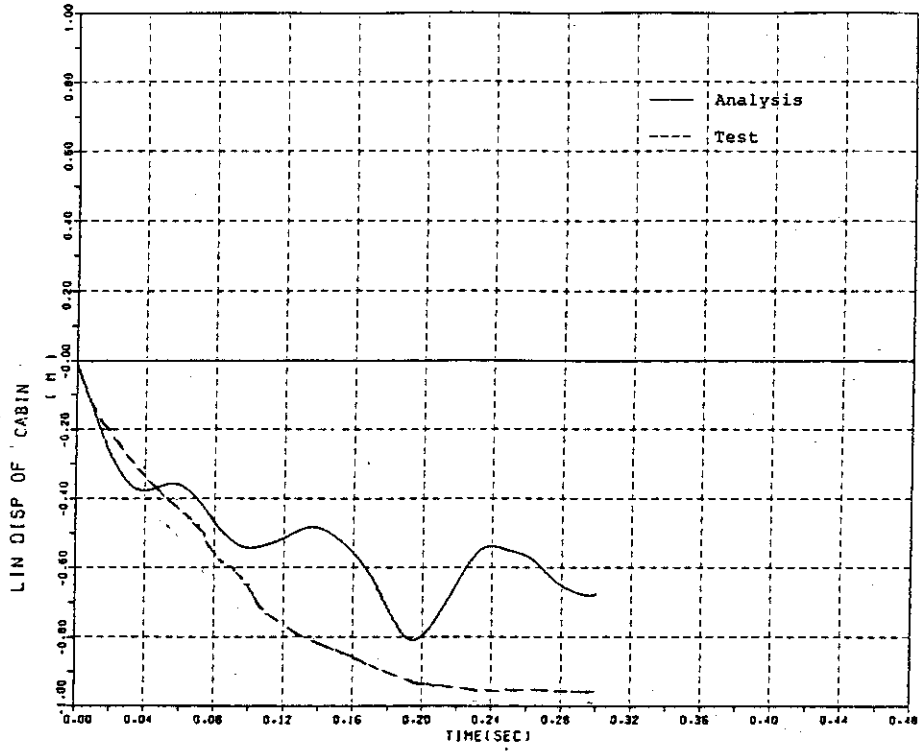


Fig.4.31 Displacement of cabin

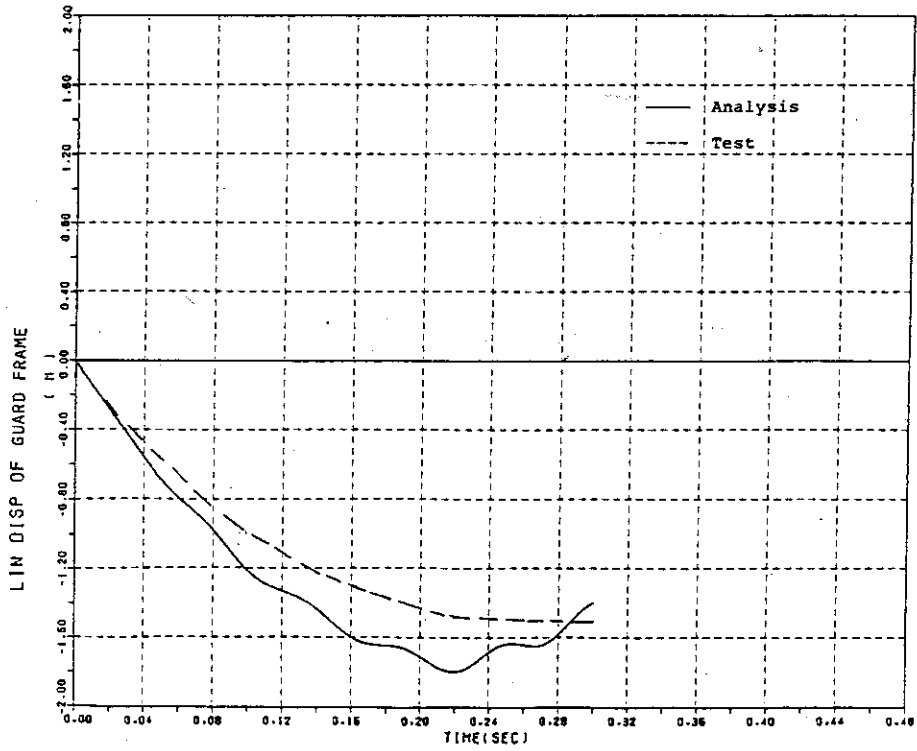


Fig.4.32 Displacement of guard frame

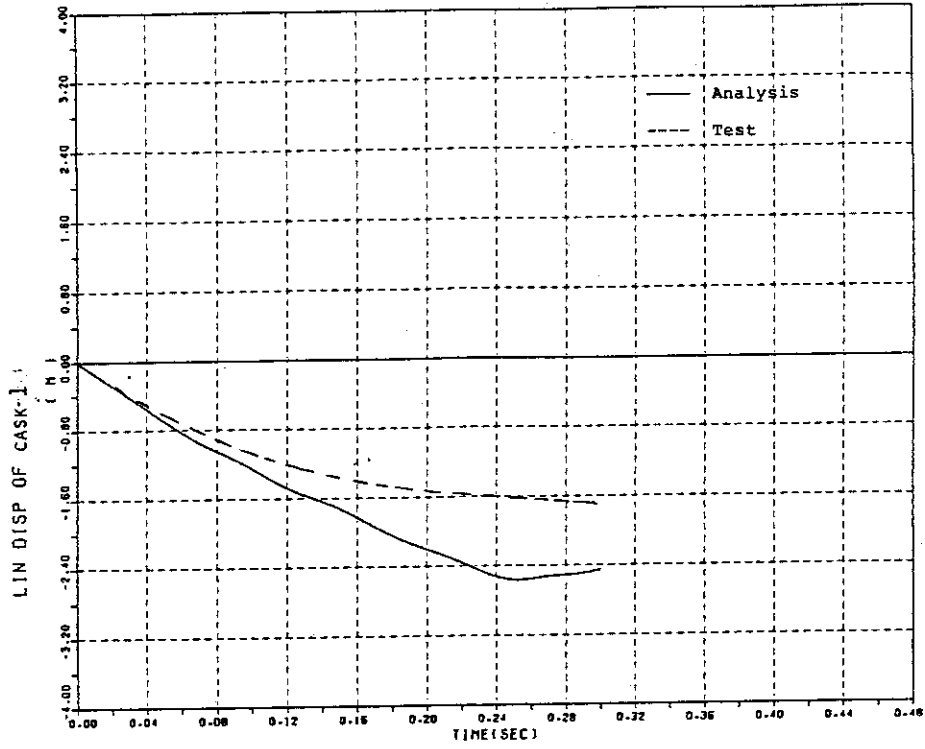


Fig.4.33 Displacement of cask-1

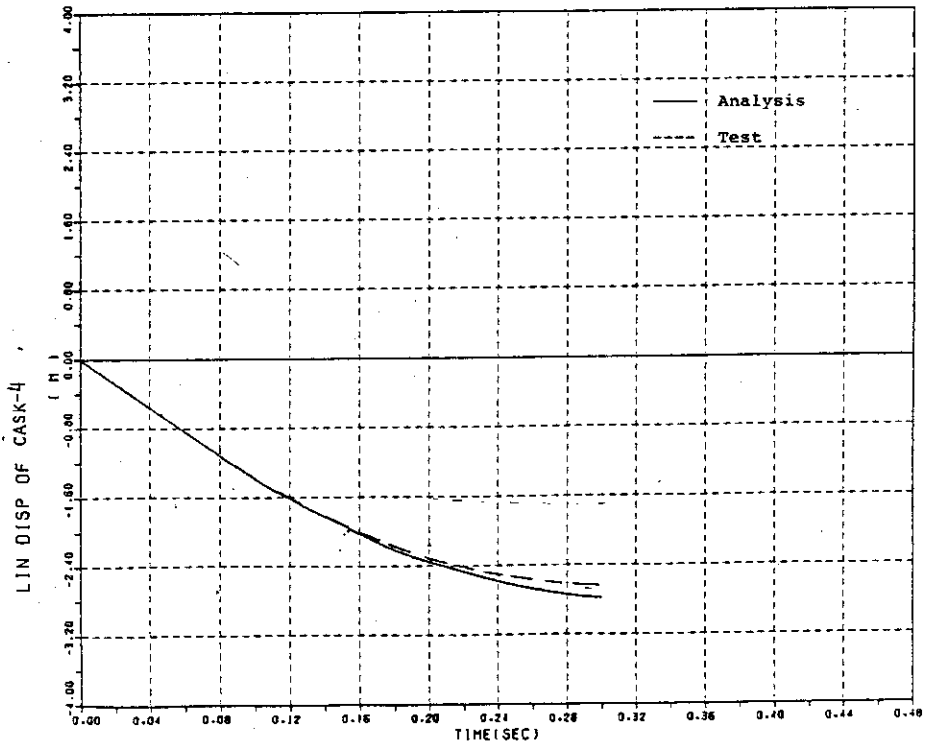


Fig.4.34 Displacement of cask-4