



研究ノート

# 建物を対象とした上下衝撃力緩和支承の開発

橋 英三郎\*

Development of seismic vertical shock absorbers for building structures

Key Words : base isolator, shock absorber, LS-DYNA, FEM

## 1. 上下衝撃力緩和装置のねらい

兵庫県南部地震以後に建築構造の分野で普及しつつある免震構造は、正確には「水平免震構造」である。水平剛性の低い(各層の剛性の1/50~1/100程度)支承を柱の基礎部に挿入し、建物の「水平方向」の固有周期を5倍程度長くして地震入力波の卓越する周波数域を避けることで共振による増幅をおさえ、大地震でも建物を弾性域に留めることを目的としている。(ただし、「上下免震」も兼ねさせようとしてさらに上下方向の剛性まで低くすると、副作用として建物のロッキング振動が誘発され、かえって逆効果となる恐れがでる。つまり2兎を追うもの1兎も得ずといったところであろうか。) 最も多く利用される免震支承は、数ミリ厚の鉄板とゴムを交互に30cm程度まで積み重ねたもので直径が50cm~100cm程度の円筒状となっている。鉄板がゴムのはらみだしを拘束することにより、上下方向の剛性低下を防いでいるのがミソである。従って免震構造では上下方向の耐震性能の向上は期待していない。ところで、ここで紹介する上下衝撃緩和装置は、それらとは逆に上下方向の衝撃的な入力に対してのみの応答緩和を考えたものである。たとえば、震源近くの硬い洪積層や岩盤に直接建てられた建物で上下動の影響が無視できない場合等を想定している。

## 2. 上下衝撃緩和装置の概要

試作した上下衝撃緩和装置の概要をFig. 1とFig.



\* Eizaburo TACHIBANA  
1942年10月4日生  
大阪大学・大学院・工学研究科・  
構築工学専攻・修士課程修了  
現在、大阪大学・大学院・工学研究  
科・建築工学専攻、教授、工学博士、  
建築力学・制御力学・計算工学  
TEL 06-6879-7632  
FAX 06-6879-7634

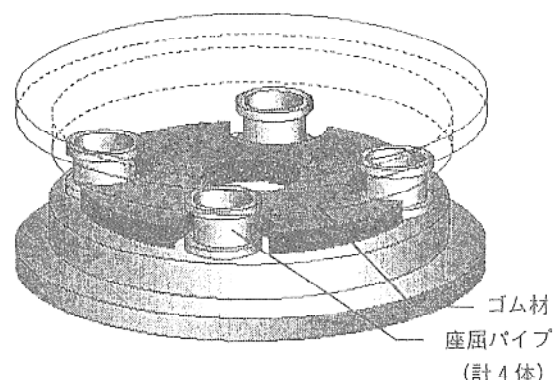


Fig. 1 上下衝撃緩和装置の構成

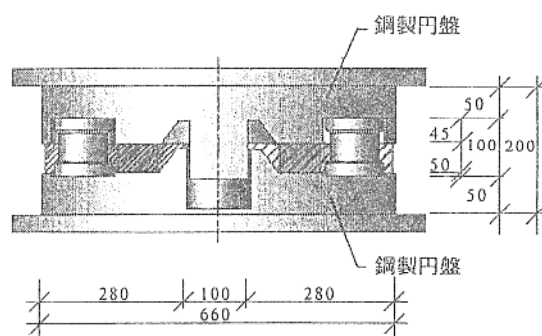


Fig. 2 上下衝撃緩和装置の断面(mm)

2に示す。2枚の鋼製円盤の間にスチールパイプ(座屈パイプ)4本とゴムが挟まれている。スチールパイプとゴム材は主に鉛直方向の力を伝え、中央の凸部分が水平力を伝える。過大な鉛直衝撃力が発生した際はスチールパイプが提灯状に座屈し、ゴム部分に鉛直力が分担されることによって上部構造への衝撃力の影響を緩和することを狙っている。

## 3. 静的数値解析と実験結果との比較

この装置の力学的特性を調べるため、まず静的な挙動についての解析と実験を行った。解析コードは、Lawrence Livermore National Laboratoryで開発

された DYNA 3D をさらに大幅に改良した LS-DYNA<sup>1)</sup> を用いた(大阪大学大型計算機センターで利用可能)。解析に用いた鋼材の応力-歪関係はバイリニア型とし、初期剛性に対する第2勾配の比は、そのsensitivityを調べるため3種類の値を設定した。Fig. 3 にスチールパイプ単体の荷重変形関係についての比較を示す。縦座標の荷重は材料の降伏応力に断面積をかけた値( $N_y$ )で無次元化している。Fig. 4 にパイプの中央部が座屈し自己接触をはじめるときの変形図を示す。

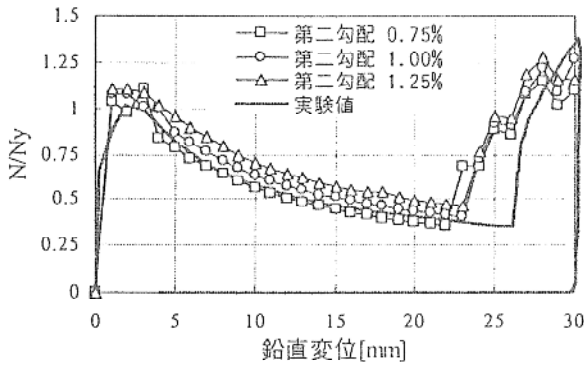


Fig. 3 パイプ単体の荷重-変形関係

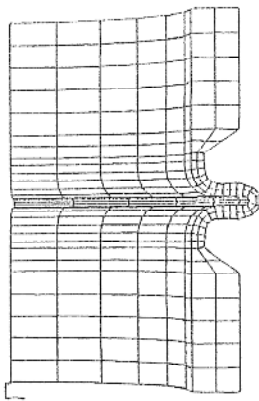


Fig. 4 パイプの変形図(鉛直変位 20mm)

Fig. 5 にゴム材のメッシュ分割図を、Fig. 6 に荷重変形関係の実験値との比較を示す。解析においては、ゴム材料の特性として、今回のゴム材と同じ調合の材料に対して筆者らは2軸引張試験で Mooney-Rivlin 式の係数  $C_1=5.0$ ,  $C_2=0.053$  を得ており<sup>2)</sup>、その値をそのまま用いた。Fig. 6 では  $C_1$ ,  $C_2$  の値を変化させた場合も含めて実験値との比較を示している。

次にパイプとゴム材に関するこれら別々の解析結果を重ね合わせて装置全体の荷重-変形関係を求め、

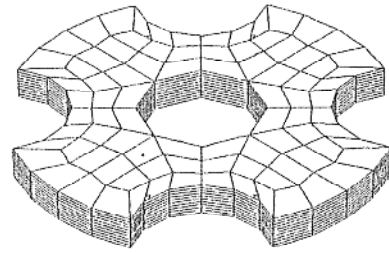


Fig. 5 ゴム材のメッシュ分割図

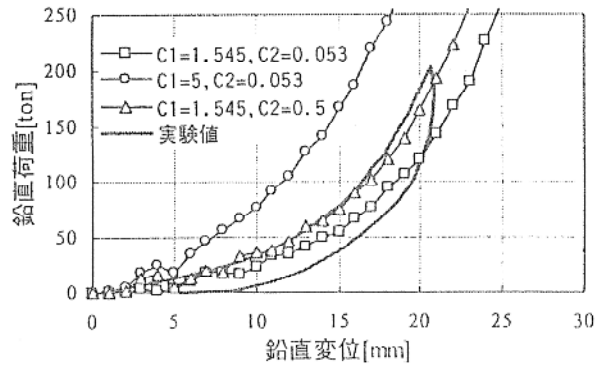


Fig. 6 ゴム材の荷重-変形関係

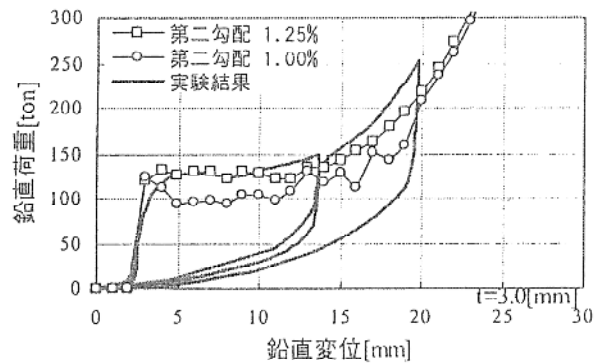


Fig. 7 上下衝撃緩和装置の構成の荷重-変形

別途、装置全体に対して実施した実験結果を併せて Fig. 7 に示す。

#### 4. バイリニア型復元力特性をもつ 上下衝撃緩和装置の効果

こうした装置の効果を調べるため、Fig. 8 に示す解析モデルを用い、Fig. 9 に示す Ricker wavelet 波が入力された場合について、同じ LS-DYNA により動的解析を行った。

解析モデルは RC 造で柱の断面が  $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 、梁の断面が  $400\text{mm}$ (幅)  $\times$   $600\text{mm}$ (高さ) を想定したものであり、梁には床からの分担荷重も含めた質量を与えている。左側及び中間の各柱を 20、各梁及び右側の柱を 40 のビーム要素にメッシュ分割した。支

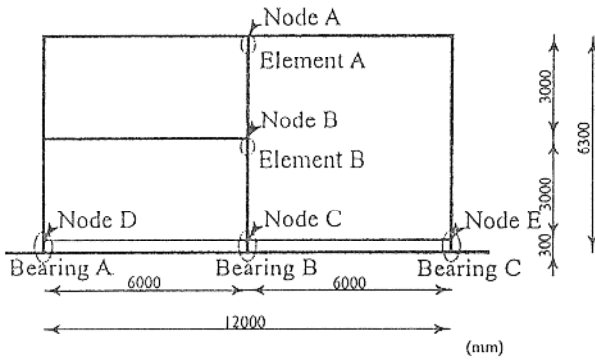


Fig. 8 解析モデル

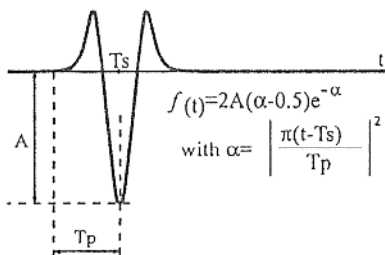


Fig. 9 Ricker wavelet 波

承部(Bearing)A, B, Cの鉛直方向の初期剛性は、静的解析により積荷荷重による沈下量がほぼ等しくなるよう調整し、3:5:2に設定している。支承部の第2勾配は初期剛性の1%とした。又、入力波は  $T_p=0.01\text{sec}$ ,  $T_s=1.0\text{sec}$ ,  $A=10\text{G}$ とした。Node Aにおける上下変位の時刻歴をFig. 10に示す。参考のため、各支承部が初期剛性のまま弾性域で推移した場合(細線)もあわせて示している。

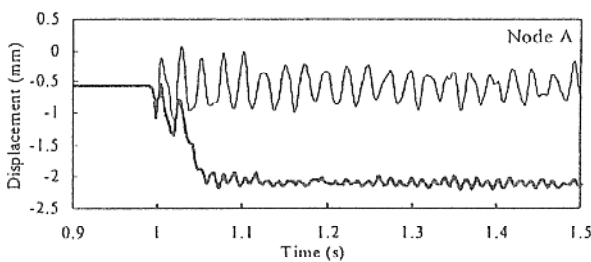


Fig. 10 Node Aの上下変位時刻歴

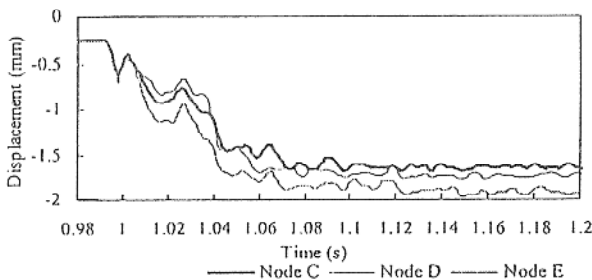


Fig. 11 Node C, D, Eの上下変位時刻歴

入力とほぼ同時に塑性化(座屈)による沈下がみられるが、それ以降は弾性支承の場合に比べて変位振幅はきわめて小さい。筆者らは、コンクリートの極低サイクル疲労破壊現象を実験的に確認しているが<sup>3)</sup>、そうした意味で、バイリニア型復元力特性をもつ上下衝撃緩和装置の効果が期待できると考えられる。ただし、各支承の初期の塑性化が同時に進行するとは限らない。その時間ずれによる悪影響も考えられる。それを検討するためFig. 11にNode C, D, Eの上下変位時刻歴を重ねて示す。6mのスパンに対して、沈下のずれは約0.5mm程度におさまっており、それによる梁の部材角は0.5/6000となり、そのことで発生する付加応力は、ほとんど無視することができる。

### 5. おわりに

本開発計画は未だ途上にあり、上下衝撃緩和装置を実用化するまでには、まだ改良すべき問題点が残されている。ただ、フランス人の発明した積層ゴムを詳細に磨きあげるのに専念するのめいかがかと思われる。ここで述べた研究テーマはフランスのエスプリに対して一矢を報いるつもりで考えたものである。

なお、本研究は、アタカ工業(株)と関西電力(株)の援助によっている。また、ゴム材料の提供や載荷実験においては住友ゴム工業(株)のご協力を得た。さらに、ここで示した解析および実験結果には、中山晶夫君(M2)清水徹君(M1)村司真生君(B4)三浦栄士君(B4)の苦心が含まれていることを最後に記して謝辞とする。

### 引用文献

- 1) LS-DYNA ver. 940 USERS MANUAL 1997 年6月
- 2) E. Tachibana, Y. Inoue, K. Fujisawa, "Large Deformation Analysis of Base Isolator in Three Dimensions", Proceedings of the International Conference on Computational Engineering Science, Aug. 1991, pp.1060-1066
- 3) 清水徹, 橋英三郎他, "動的な繰返し軸力を受けるプレーンコンクリートの強度に関する一考察", 日本建築学会大会学術講演梗概集 1998年9月