

免震支承を用いた連続橋の振動減衰効果の検討

北見工業大学	学生員	青地 知也
(株) 開発工営社	正 員	松井 義孝
北見工業大学	正 員	大島 俊之
北見工業大学	正 員	三上 修一
北見工業大学	正 員	山崎 智之

1. まえがき

1995年1月17日の阪神大震災をはじめ、近年各地に起こった地震による被害が数多く報告されている。これらの被害は当初の予想よりも大きく道路、鉄道、橋梁、地下鉄、港湾施設などの多種な土木構造物に大被害を発生させると共に、長期にわたって都市機能を麻痺させた。北海道においても南西沖地震や釧路沖地震などにより同様な被害を受けた。この様なことから土木構造物の被害原因の調査、地震時挙動の解明および耐震設計の重要さがあらためてクローズアップされている。本研究では橋梁の耐震問題として、固有周期を長周期化させ、振動モード間のエネルギー分散機能のある免震支承を有する連続橋の非線形動的応答解析を行うことによって構造の振動減衰効果および耐震特性を調査、検討する。

2. 解析理論

2.1 橋脚断面の曲げモーメント曲率曲線の解析

解析には、図-1のような橋脚モデルを用い材料の非線形性として鉄筋コンクリート断面のモーメント曲率曲線を算出するが、一般に使われている道路橋示方書・同解説V耐震設計編による中立軸の位置を試算によって求めながら計算を行う方法では除荷時に断面外に中立軸が移動してしまうことがあるために解の精度が低くなったり、求められない場合がある。そこで本論文では断面内のひずみの分布を中立軸の位置と曲率で定義せずに、断面圆心位置のひずみと曲率で表してモーメント-曲率関係を計算する方法<sup>1)</sup>を用い、解析を行った。橋脚断面は直径1400mmの円形で外側にφ19の鉄筋が直径1240mmの円周上に48本配置されている。解析にあたってコンクリート部を50分割し鉄筋による断面の減少はこれを無視できるとした。次に鉄筋とコンクリートの応力-ひずみの関係をそれぞれ図-2(a)、(b)のように仮定し鉄筋は弾塑性硬化型のバイリニアモデルを使用し、塑性時の弾性係数は弾性時の弾性係数の1/10とした。コンクリート材料は応力-ひずみ曲線を直線で近似したモデルを使い、圧縮ひずみが0.02以上になると残留ひずみが発生し、引っ張りでは原点指向をとり残留ひずみがないものとした。以上のようにして解析した曲げモーメント-曲率曲線を図-3に示すように断面の弾性限界e、引張側鉄筋の降伏点y、圧縮側降伏点u、圧縮側コンクリートが終局ひずみに達する点tの4点を結んだ直線でモデル化した。また除荷時の履歴特性は引張側鉄筋が降伏に至っていないy点までは原点指向に、それ以上の経験をした場合はy点と原点を結ぶ直線の傾きを有するようにモデル化した。

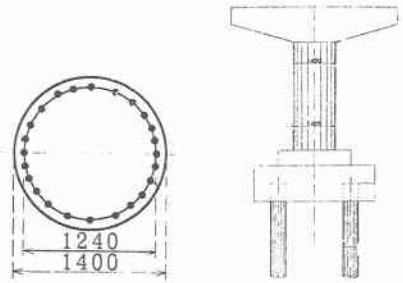
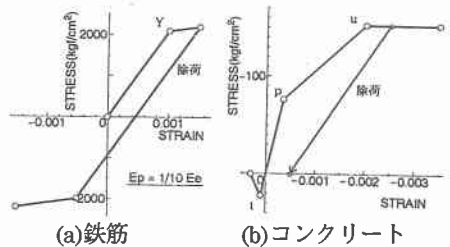


図-1 橋脚モデルと断面図



(a)鉄筋 (b)コンクリート

図-2 各応力ひずみ曲線

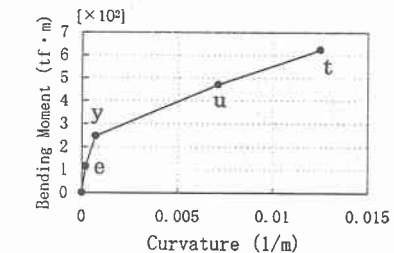


図-3 モーメント-曲率のモデル化

Study of the Damping Effect of Isolated Shoe on the Dynamic Response of a Continuous Bridge.  
by Tomoya AOCHI, Yoshitaka MATSUI, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI and Tomoyuki YAMAZAKI

## 2.2 せん断応力、軸応力の解析

せん断応力-せん断ひずみの関係においても前節と同様、鉄筋とコンクリートそれぞれの関係を直線で近似したモデルを仮定し、鉄筋の塑性時のせん断弾性係数は弾性時のせん断弾性係数の 1/10、コンクリートは 1/20 を用い断面面積の大きさに比例し、足しあわせることによって図-4 のような関係が得られる。また、軸力-軸ひずみにおいても同様にして得られる。ただし断面の弾性限界  $e$  までは、コンクリートの圧縮、引張に対する特性は線形とした。

## 2.3 動的応答解析

免震構造を用いた連続橋を再現するため平面骨組構造によるマトリクス構造解析を行った。剛性行列はせん断変形を考慮したものを使用し微小の時間間隔  $\Delta t$  に対して有効として、Wilson の  $\theta$  法を用い、 $\theta=1.4$  として応答変位、速度及び加速度を求める。次に、先に述べたせん断応力-せん断ひずみ、モーメント-曲率、軸応力-軸ひずみの関係と応答変位から各要素のせん断弾性係数  $G$ 、曲げ剛度  $EI$ 、弾性係数  $E$ 、を求め、剛性マトリクスを組み替えることによって弾塑性解析を行う。

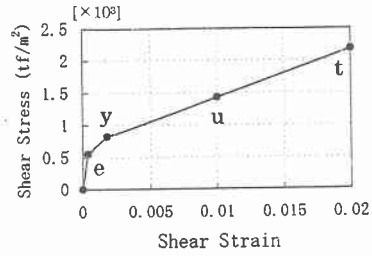


図-4 せん断応力-せん断ひずみ曲線のモデル化

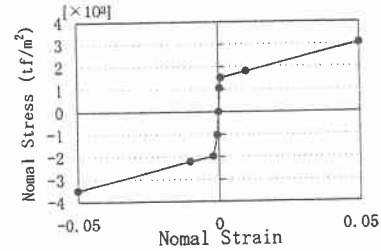


図-5 軸応力-軸ひずみ曲線のモデル化

## 3. 数値計算

### 3.1 構造のモデル化

今回解析に用いたモデルは図-6 に示すように連続橋の全体を簡略化し、橋脚、基礎、桁、の3種類の要素を組み合わせてモデル化した。このうち橋脚要素のみ非線形要素とし、他の要素は線形とした。各部材の寸法は全長 80m、支間長 20m の 4 径間の連続橋とし、橋脚の直径 1.4m、高さ 4m、支承高さ 0.25m、ケーソン基礎の直径 2.6m、高さ 2m とした。また図中に書かれた数字は節点番号と寸法を表す。各支承部には免震支承を、各ケーソンと地盤の間には地盤バネを用いた。なおは表-1 に各バネ要素のバネ定数を示す。また減衰定数は免震支承をモード減衰比 30% とし、他の要素についてはモード減衰比 5% とした。

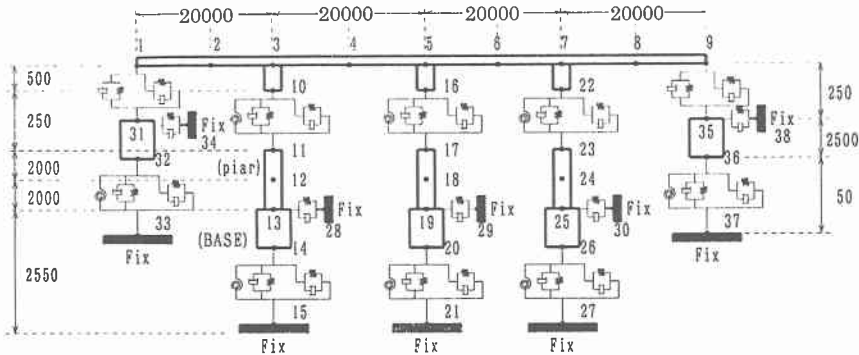


図-5 免震橋梁のモデル

表-1 免震および地盤の各バネ定数 (tf/m)

水平免震バネ	垂直免震バネ	回転免震バネ	水平地盤バネ	垂直地盤バネ	回転地盤バネ
2300	46200	575	40766	46221	314184

### 3.2 入力波形

解析に使用した波形は、周期1 Hz 振幅200gal および400gal の Sin 波と阪神大震災時における神戸市で計測された加速度波形の3種類である。各波形とも基礎要素の各節点部分に刺激係数を乗じた力の量で入力した。解析時間は6sec、解析時間間隔は0.001secとした。

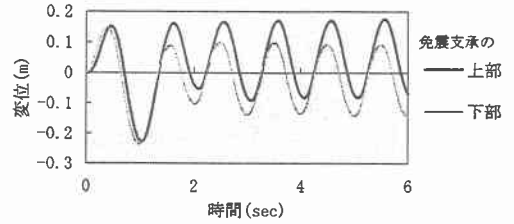
### 4. 解析結果

図-7(a)は周期1Hz 振幅400gal の Sin 波を入力し強制振動させ続けたときの水平方向変位の時刻歴応答図である。実線が免震支承の上部の節点(10)での変位をあらわし、破線は免震支承の下部の節点(11)での変位をあらわしている。上部の変位は下部の変位に比べ大きくなっている。また周期が少し遅れてきていることがわかる。また図-8(b)の地震波を入力した場合においては変位も小さく、周期も遅れてきている。これらは免震支承を用いることによってバネの効果により、ゆっくり振動しているものと考えられる。また、このことから橋梁全体の固有周期が長くなり耐震設計の際に用いられる設計震度を下げる効果がある。

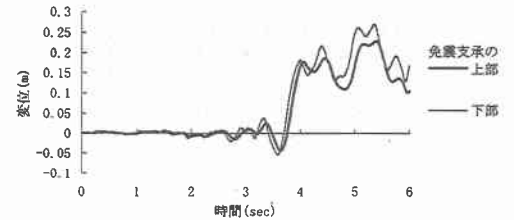
図-8(a)、(b)は周期1Hz 振幅400gal の Sin 波を入力したときの水平方向の位相平面である。(a)が免震支承上部の要素、(b)が免震支承下部の要素である。上部の位相平面は一度、負の加速度の方へ大きく膨らむが、しだいにある一定の円軌道を通るように収束してくるが、一方下部の位相平面は円軌道に近づくが、くねくねとゆがんだ形になる。これは免震支承の免震効果によって振動が早く線形に近づくことを示している。免震支承を用いることにより下部からの影響を軽減し、耐震性のある構造にすることができている。

図-9(a)~(c)は周期1Hz 振幅200gal の Sin 波を入力したときのモーメント-曲率曲線を示したもので、基礎から左橋脚の1/2までの要素をNo.1、左橋脚1/2から左橋脚上端部までの要素をNo.2、左免震支承上部から上部工までの要素をNo.3とした。橋脚根元部に当たる要素No.1は曲げモーメントにより完全に塑性化している。次の要素No.2も塑性化し始めている様子がわかる。免震支承の上にある要素No.3は部材の結合部であるにも関わらず小さなモーメントを示しており、弾性に近い範囲であることがわかる。

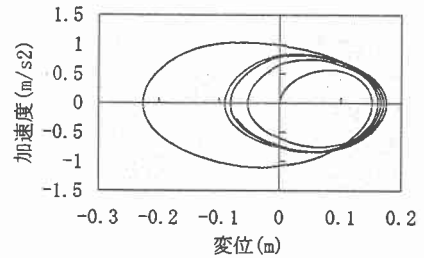
図-10(a)~(c)は周期1Hz 振幅400gal の Sin 波を入力したときの、せん断力-せん断ひずみ曲線を示したもので要素の番号はモーメント-曲率曲線の時と同様である。橋脚部分の要素No.1、No.2



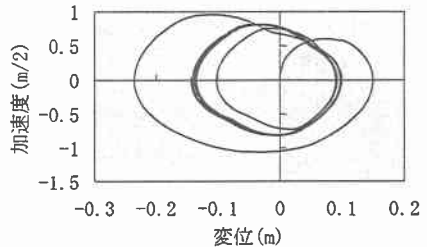
(a) 1Hz、400gal の Sin 波入力時



(b) 阪神大震災時の神戸市の波形入力時  
図-7 水平方向変位の時刻歴応答図



(a) 免震支承上部



(b) 免震支承下部

図-8 水平方向の位相平面図

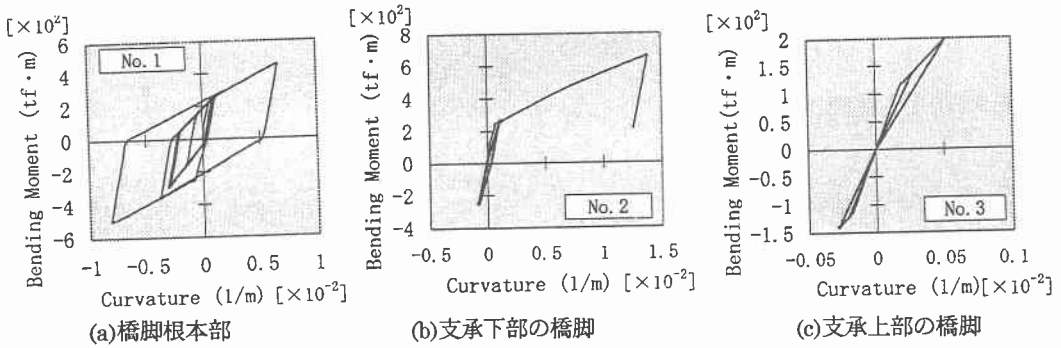


図-9 モーメント-曲率曲線

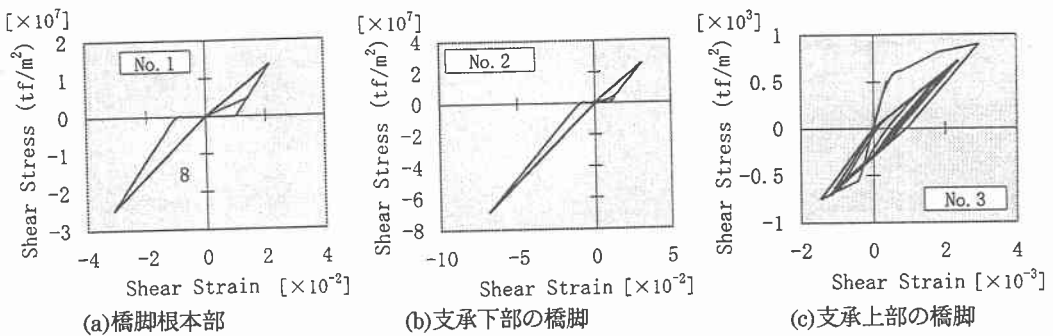


図-10 せん断応力-せん断ひずみ曲線

は塑性域に入り橋脚全体が塑性しているが、要素 No.3 において、せん断応力は極めて小さくあまり塑性していない。これらのことは免震支承を用いると、大きく長周期で揺れることによって地震力を逃がしているからだと思われる。

## 5. まとめ

本研究の免震橋梁の解析は現在も継続中ではあるが、これまでに得たデータをとりまとめ検討してみた。以下にその結果をまとめる。

- (1) 免震支承を用いることによって固有周期が長周期化し、橋梁がゆっくりと揺れることによって設計震度を下げ、耐震性能を向上させることが確認できた。
- (2) 同様に免震支承を用いることによって橋脚にかかる応力を減少させ塑性化を防ぐ働きがあることが確認できた。

今後の課題として、せん断応力、軸応力が曲げモーメント-曲率曲線に与える影響を加味し、軸応力、せん断力、曲げモーメントの連成を考慮したモデルを考え降伏判定をすることが必要である。また今回は2次元の解析モデルであるが、3次元の解析に拡張する必要があると考えている。

## 参考文献

- 1) 大島俊之、三上修一、小倉祐介、佐藤昌史：段落とし部を有するRC橋脚の強震時非線形挙動と歪みエネルギー、構造工学論文集 Vol41A、pp745-754,1995
- 2) 檜山義満、久保明英、鈴木祐二、池田隆：石狩川橋の設計・施工-多径間連続PC橋の振動試験-、第25巻、11月号 pp2-11,1991