

# 免震支承を有する道路橋橋脚の耐震性評価

山口 齊<sup>1</sup>・松田 泰治<sup>2</sup>・大塚 久哲<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生員 九州大学大学院 工学研究科都市システム工学専攻 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

<sup>2</sup> 正会員 工博 九州大学助教授 工学部 建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

<sup>3</sup> フェロー 工博 九州大学教授 工学部 建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

近年、地震による慣性力を低減分散し、エネルギーを吸収して構造物本体の損傷を最小限におさめようとする免震橋梁の有用性が認識されつつある。本研究では、鉄筋コンクリート製橋脚を有する都市内高架橋を対象として、免震設計法の適用性の検討の結果を示すが、免震橋の目標固有周期の決定に関して1つの考え方を示した。

**Key Words** : seismic isolation design, highway bridge, determining the natural period

## 1. はじめに

兵庫県南部地震の発生以降、これまでの構造物自身の堅固さで地震に対抗しようとする耐震理論の考え方と異なり、地震による慣性力を低減、分散し、エネルギーを吸収して、構造物本体への損傷を最小限に限定しようとする免震構造物が注目を集めている。平成8年に出された新しい「道路橋示方書耐震設計編<sup>1)</sup>」では、免震設計に関する章が追加され、免震支承を有する構造物は今後増加していくものと思われる。しかしながら、免震構造物に関する研究はまだ十分ではなく、特に免震設計を行う上で重要な判断事項である免震橋梁の固有周期の設定に関しては、文献(2)では、免震支承を用いた場合の橋の固有周期は、免震支承を用いない場合の2倍程度以上が良いとされている。しかし、これはあくまで目安であり固有周期の設定は地震動の特性を十分考慮した上で行われるべきであろう。本研究では、震度法レベルで断面設計された鉄筋コンクリート製橋脚を有する都市内高架橋を対象として、免震設計の適用性を検討した結果を示すが、免震橋の目標固有周期の決定に関して1つの考え方を示した。

## 2. 検討対象

### (1) 橋梁概要

#### (a) 上部工

形式 鋼桁(鋼橋) 中空床板(PC橋)  
支間長 40m(鋼橋) 30m(鋼橋)  
支間数 3  
幅員 2車線(9m程度)  
橋面工 鋼橋とPC橋と同様にする。

#### (b) 橋脚

形式 コンクリート製張り出し式単柱橋脚  
支承 固定  
橋脚高 10m  
鉄筋段数 最大2段  
鉄筋 最大 23mm ピッチ 150mm  
最小かぶり 130mm  
使用材料 鉄筋 SD295  
コンクリート  $\sigma_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$

#### (c) 基礎

I種地盤 直接基礎  
II種、III種地盤 場所打ち杭( $\phi 1200\text{mm}$ )  
なお、地盤バネはN値により算出する。

#### (d) フーチング

形状 テーパー付  
フーチング厚 2m  
フーチング上かぶり 0.5m

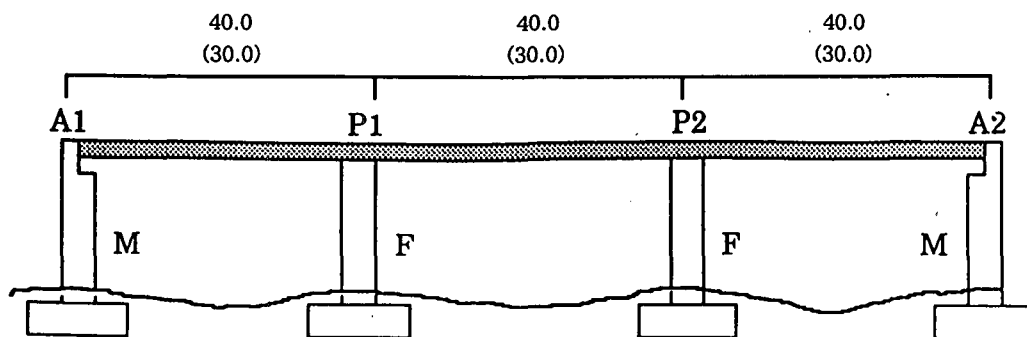


図-1 上部工概要図

上段の数値は鋼橋、下段の( )内の数値はPC橋の値 (単位 m)

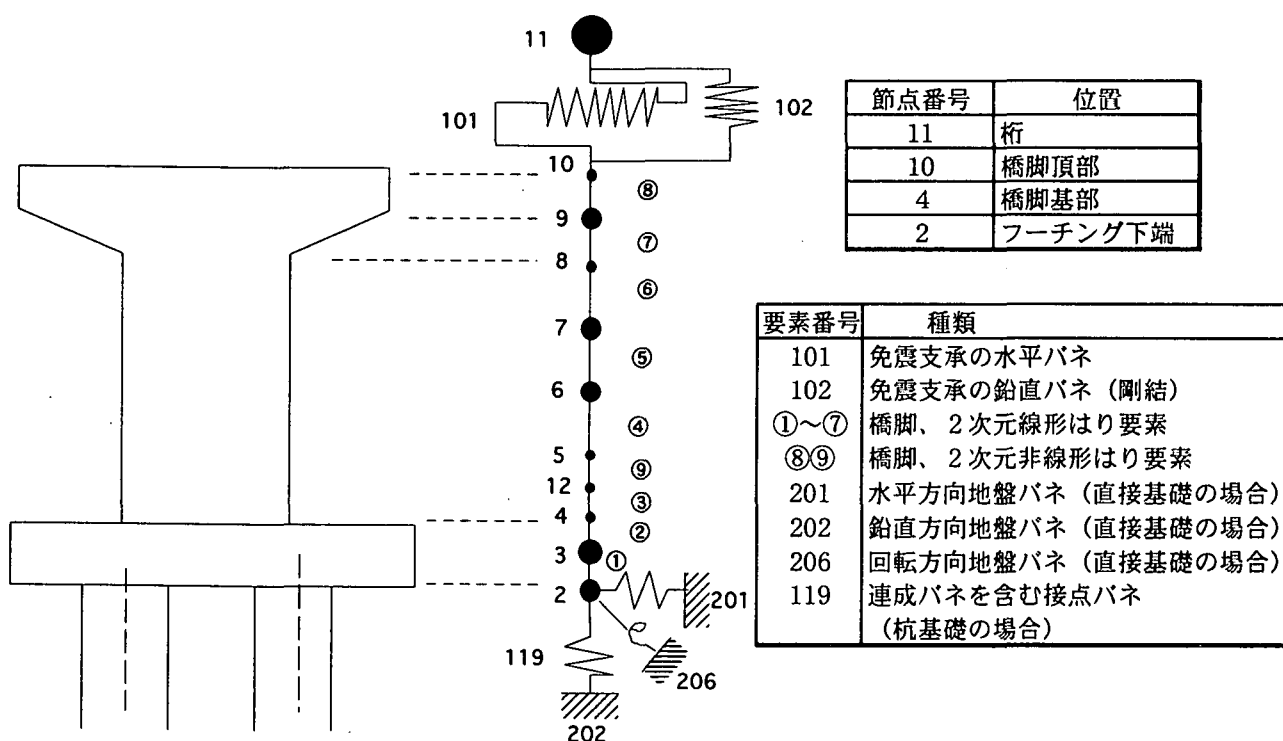


図-2 動的解析用モデル

要素番号	種類
101	免震支承の水平バネ
102	免震支承の鉛直バネ (剛結)
①~⑦	橋脚、2次元線形はり要素
⑧⑨	橋脚、2次元非線形はり要素
201	水平方向地盤バネ (直接基礎の場合)
202	鉛直方向地盤バネ (直接基礎の場合)
206	回転方向地盤バネ (直接基礎の場合)
119	連成バネを含む接点バネ (杭基礎の場合)

### 3. 解析概要

#### (1) 解析モデル

本研究に用いる動的解析用モデルを図-2に示す。ここで、図-2中の質点の大きさは、質点の質量を厳密には表していない。桁は桁の重心で一質点にモデル化した(質点11)。フーチングを含む橋脚は二次元はり要素によりモデル化した。質点の位置は橋脚の断面の変化点に設け、橋脚中央部を4分割した(質点5,6,7)。また、橋脚基部の塑性ヒンジの領域を考慮するためフーチングのうえのはり要素をさらに2分割した(質点12)。免震支承は水平ばねと鉛直ばねに置き換えた。鉛直ばねは剛とした。水平ばねは等価線形モデルとバイリニア型モデルで免震支承の非線形性を考慮した。ただし、桁固定の場合は水平ばねと鉛直ばねを剛とした。フーチング下端に

表-1 入力地震波形

分類	地盤種別	地震名	記録場所
タイプI	I種	1978年宮城県沖地震	開北橋周辺
	II種	1968年日向灘沖地震	板島橋周辺
	III種	1983年日本海沖地震	津軽大橋周辺
タイプII	I種	1995年兵庫県南部地震	神戸海洋気象台周辺
	II種	1995年兵庫県南部地震	JR阪神駅周辺
	III種	1995年兵庫県南部地震	東神戸大橋周辺

は基礎および地盤を含む地盤ばねを考慮した。地盤ばねは道路橋示方書に基づき直接基礎は水平ばね、鉛直ばねと回転ばねでモデル化し、杭基礎の場合はさらに連成ばねを考慮した。免震支承の水平ばねの減衰は等価線形モデルの場合15%で、バイリニア型モデルの場合では0%とした。地盤ばねの減衰は全て20%とした。橋脚部分の減衰は降伏したはり要素が2%、ほかのはり要素が全て5%とした。

## (2) 解析方法

解析方法は直接積分法による時刻歴応答解析で、用いた数値計算法はNewmark'  $\beta$  method ( $\beta = 0.25$ ) である。時間刻みは0.001秒とした。保有水平耐力レベルでの動的解析に用いる入力地震動は、タイプI、およびタイプIIのそれぞれについて地盤種別ごとに表-1に示す合計6波形を用いた。なお、それらの波形は道路橋示方書V耐震設計編<sup>1)</sup>に示した標準加速度応答スペクトルと減衰定数  $h=5\%$  の加速度応答スペクトル特性が一致するように振幅調整して求めたものである。また、比較のため桁固定の条件の解析も併せて行った。

## 4. 免震橋梁の目標固有周期

免震装置の使用は橋梁の周期を長くし、地震力を低減分散すると同時に上部構造の地震時変位も増大させる。そこで、本研究では「下部構造に対する上部構造の慣性力が低減すると同時に、上部構造の地震時の変位の増加を抑制する」という目標を設定し、入力地震波の加速度応答スペクトルと変位応答スペクトルの両方をにらんで、適切な免震橋固有周期を定めた。(図-3)

## 5. 免震支承の選定

免震支承の選定については、まず断面資料に基づき「道路橋示方書V耐震設計編<sup>1)</sup>」を参考に支承部分の条件が固定の場合の橋の固有周期 $T_0$ を求める。次に、 $T_0$ より橋脚と基礎地盤系を含む等価な水平ばね定数 $K_1$ を逆算する。最後に桁の質点を分離して免震橋梁の固有周期 $T_1$ が前述した免震橋梁の目標固有周期と一致するよう免震支承の水平ばね定数を定める。図-4に質点系モデルを示す。

## 6. 解析結果

I種地盤において定めた免震橋の固有周期は1.5秒である。地域別、構造種別を問わず、各ケースの応答解析結果を通じて免震効果が確認された。免震橋では下部工にかかる慣性力が明らかに減少した。桁の最大応答加速度は固定の場合に比べ、免震化した場合は半分以下に低減された。桁を橋脚に固定した場合は、橋脚基部が降伏し大きく変形するのに対し、免震化した後の橋脚基部の曲率は小さく、降伏に至るケースは見られなかった。

II種地盤において定めた免震橋の固有周期は2.0

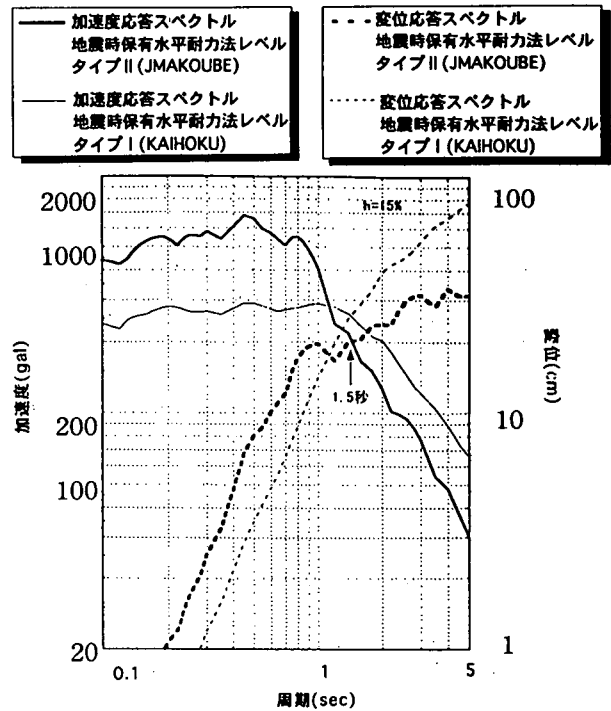


図-3 I種地盤における免震固有周期の設定

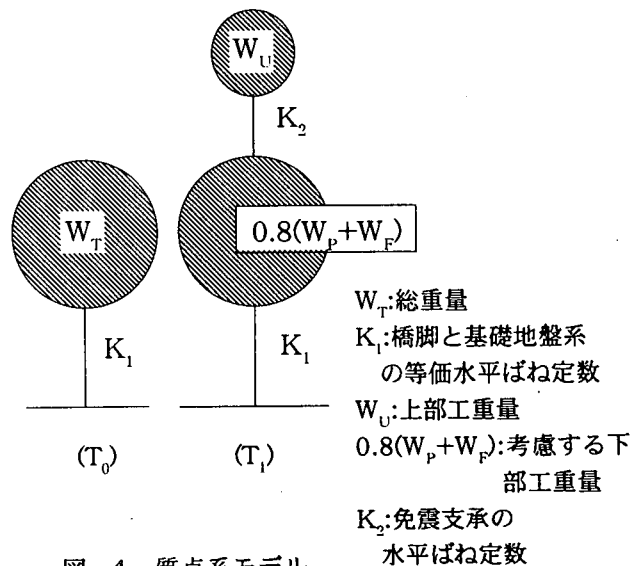


図-4 質点系モデル

秒である。地域別、構造種別を問わず、各ケースの応答解析結果を通じて免震効果が確認された。免震橋では下部工にかかる慣性力が明らかに減少した。桁の最大応答加速度は固定の場合に比べ、免震化した場合は80%程度に低減された。桁を橋脚に固定した場合は橋脚基部が降伏し大きく変形するのに対し、免震化した後の橋脚基部の曲率は小さく、降伏に至らないケースも見られる。降伏したケースにおいても橋脚基部の曲率と降伏曲率の比は小さく、桁を橋脚に固定するときの2割以内に収まっている。

III種地盤において定めた免震橋の固有周期は2.0秒である。III種地盤の特性上、免震の長周期化によ

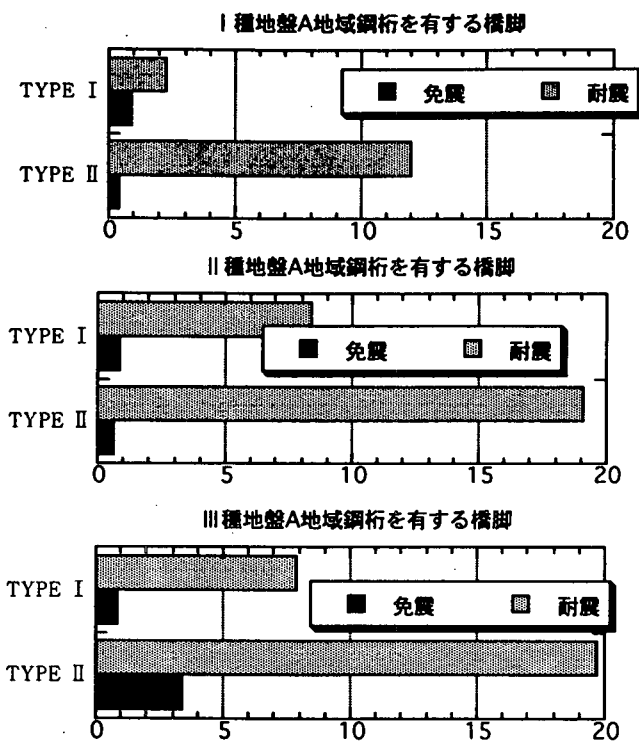


図-5 橋脚基部の曲率と降伏曲率の比

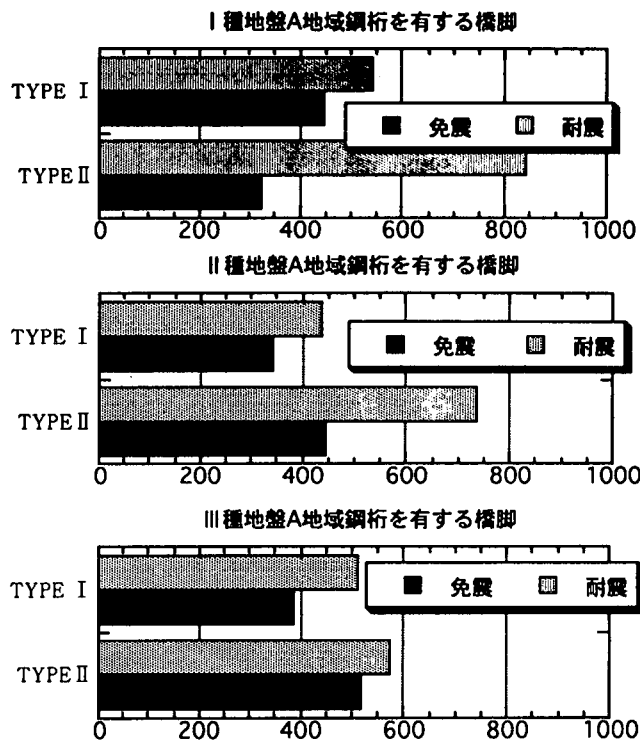
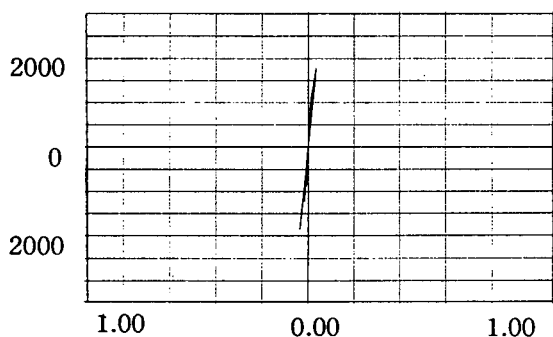
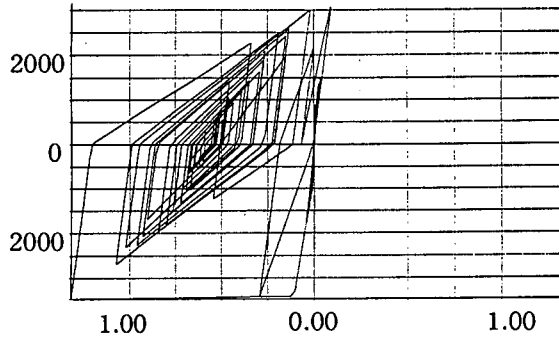


図-6 桁の最大加速度 (gal)



[x軸：曲率 (1/m), y軸：曲げモーメント (ton・m)]

図-6 I種地盤B地域鋼橋 (免震)



[x軸：曲率 (1/m), y軸：曲げモーメント (ton・m)]

図-6 I種地盤B地域鋼橋 (耐震)

る応答値の低減効果が十分期待できないと予測したが、地域別、構造種別を問わず各ケースの応答解析結果を通じて免震の場合に各応答値がかなり低減され、免震による良好な効果を示した。ただし、免震化したときの橋桁の最大変位が大きく、50cm近い値を示している結果となった。

## 7. まとめ

本研究では、震度法レベル地震荷重に対し、支承固定の条件で、断面設定された鉄筋コンクリート製橋脚を有する都市高架橋を対象にし、免震設計の適用性の検討を行った。解析の結果、以下の点が明らかとなった。

1. 新示方書の地震荷重のもとで、相対変位が30～50cmの範囲に収まるよう免震設計を行うために

は、I種地盤においては1.5秒、II、III種地盤においては2.0秒程度の周期設定が妥当であると考えられる。

2. 非線形動的解析に基づき、2質点モデルより免震支承の剛性を求め、せん断ひずみと鉛直応力を考慮して支承の形状を定める簡便な設計法の可能性を示した。

謝辞：本研究は、九州構造・橋梁工学研究会の活動の一環として行ったものである。関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省：道路橋示方書・同解説 V耐震編、社団法人日本道路協会 1996年
- 2) (財)土木研究センター：建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)、1992年