

## I-650

## 免震構造を採用したPC橋の耐震性向上について

三井建設(株) 正会員 ○平井 正雄  
 鹿島建設(株) 正会員 竹田 哲夫  
 住友建設(株) 正会員 益子 博志

## 1. まえがき

PC橋に免震構造を採用した場合の耐震安全性向上の度合を調べるために、免震支承を用いた橋（以下免震橋と称する）とゴム支承を用いた反力分散方式の橋（以下非免震橋と称する）について、応答スペクトル法による動的解析を行い、両者の応答値を比較検討したのでその結果を報告する。

## 2. 解析方法および解析条件

図-1に示す5径間連続PC箱桁を基本モデルとして選定し、下部構造剛性の変化による免震橋・非免震橋の応答値の変化を調べるために、モデルの下部構造剛性を3種類設定した。また、解析に用いたスペクトルは2種類とした。下部構造剛性の設定およびスペクトルの設定は、以下の通りとした。

- ① 3種類の下部構造剛性は、基本モデルの地盤種別を1種・2種・3種地盤に仮定し、それぞれの地盤条件にて静的解析を行なって設定した。（以下、各々の下部構造剛性を最大・基本・最小ケースと称する）
- ② 動的解析に用いる2つのスペクトルは、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に規定される標準加速度応答スペクトルS。（以下レベル1と称する）及び地震時保有水平耐力の照査に用いる設計水平震度を加速度応答スペクトルに修正したスペクトル（以下レベル2と称する）とした。ここで、地盤種別は2種地盤とした。

上記のように設定した3種類の下部構造剛性と2種類のスペクトルにて表-1に示す12ケースの解析を行い、免震橋と非免震橋の応答値を比較する。

表-1 検討ケース

| スペクトル | レベル1 |    |    | レベル2 |    |    |
|-------|------|----|----|------|----|----|
|       | 最大   | 基本 | 最小 | 最大   | 基本 | 最小 |
| 下部工剛性 |      |    |    |      |    |    |
| 免震橋   | ○    | ○  | ○  | ○    | ○  | ○  |
| 非免震橋  | ○    | ○  | ○  | ○    | ○  | ○  |

表-2 免震支承の諸元

|      | A橋脚         | B橋脚         | C橋脚         |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 平面形状 | 950 × 1000  | 1200 × 1250 | 1250 × 1300 |
| 鉛プラグ | φ144 × 2 本  | φ160 × 4 本  | φ149 × 5 本  |
| ゴム厚さ | 33 層 × 16mm | 20 層 × 20mm | 12 層 × 20mm |

表-3 支承の剛性 ( $K_B$ ) および減衰定数 ( $h_B$ )  
(単位: tf/m, %)

|     | 非免震橋  |       | 免震支承     |          |          |          |
|-----|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|     | の支承   |       | レベル1     |          | レベル2     |          |
|     | $K_B$ | $h_B$ | $K_{B1}$ | $h_{B1}$ | $K_{B2}$ | $h_{B2}$ |
| A橋脚 | 868   | 5.0   | 864      | 27.1     | 512      | 13.6     |
| B橋脚 | 2152  |       | 2148     | 27.3     | 1246     | 14.1     |
| C橋脚 | 2688  |       | 2672     | 22.5     | 1861     | 8.8      |

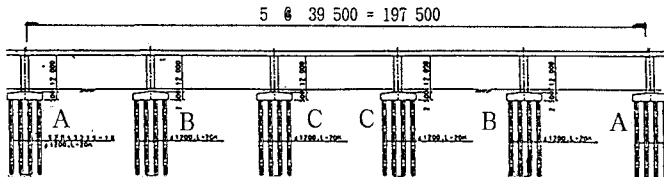


図-1 解析基本モデル

各ケースの免震橋と非免震橋は、支承を除いて同一の条件とした。支承条件は以下の通りである。

- (1) 非免震橋のゴム支承の剛性は、下部構造剛性の基本ケースにおいて静的解析を行い、PC橋特有のクリープ・乾燥収縮による水平反力と震度法による地震時水平反力との和を各々の橋脚で等しくするように設定した。
- (2) 免震支承は、鉛プラグ入りゴム支承を採用し、等価線形化法によりモデル化した。設定した免震支承の形状寸法を表-2に、等価剛性、等価減衰定数を表-3に示す。支承の減衰による免震効果を比較検討するために、レベル1において免震橋と非免震橋の1次固有周期が等しくするように免震支承の等価剛性を非免震橋の支承の剛性と合わせている。

表-4 橋脚下端の応答断面力及び主桁の応答変位

単位 (tf・m, mm)

|    |     | レベル 1   |           |           |         | レベル 2     |           |           |          |
|----|-----|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
|    |     | A橋脚     | B橋脚       | C橋脚       | 応答変位    | A橋脚       | B橋脚       | C橋脚       | 応答変位     |
| 最小 | 非免震 | 1.078   | 2.445     | 2.714     | 155     | 3.903     | 3.781     | 9.301     | 803      |
|    | 免震  | 788(73) | 1,788(73) | 1,983(73) | 114(74) | 2,813(72) | 0,381(73) | 7,580(81) | 755(94)  |
| 基本 | 非免震 | 1.178   | 2.778     | 3.234     | 128     | 4.646     | 10.872    | 12,399    | 596      |
|    | 免震  | 823(70) | 1,932(70) | 2,230(69) | 88(69)  | 2,968(64) | 6,945(64) | 9,179(74) | 564(95)  |
| 最大 | 非免震 | 1.179   | 2.872     | 3.523     | 116     | 4.424     | 10.692    | 12,906    | 460      |
|    | 免震  | 791(67) | 1,919(67) | 2,337(66) | 77(66)  | 2,949(67) | 7,002(65) | 9,933(77) | 487(106) |

※ ( ) 内は免震/非免震の比率を示す。

なお、応答スペクトル法のモード解析に用いる減衰の考え方はひずみエネルギー比例減衰とし、各構造要素の減衰定数は、上部構造3%、橋脚5%、基礎10%とした。

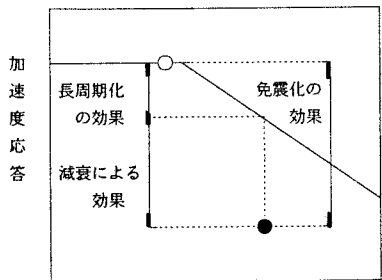
### 3. 解析結果および考察

表-4に各橋脚下端での応答断面力および主桁の応答変位を示す。レベル1において非免震橋と免震橋の応答値を比較した場合、減衰性能の高い免震支承を採用したことにより、免震橋の各橋脚下端の応答断面力・主桁の応答変位が非免震橋に比べ低減した。免震橋と非免震橋の応答値の比率（免震/非免震）は、断面力・変位とも下部構造剛性の高い方が小さくなる傾向にあるが、おおむね70%程度であった。

レベル2においては、免震支承の等価剛性が非免震橋の支承剛性より小さいので、免震橋の固有周期は非免震橋に比べ長くなる。このため、免震橋の応答値には図-2に示す様な減衰の効果と長周期化の効果が現れる。これらの効果により、免震橋と非免震橋の応答断面力の比率は表-4のようにレベル1同様70%前後となった。

しかし、応答変位については両者の値はほぼ等しくなった。これは、レベル2での免震支承の等価剛性が非免震橋の支承剛性に比べ約7割であることにより（表-2）、免震支承の応答変位が増加したためと考えられる。

なお、表-5に下部構造剛性の基本ケースにおいて、橋脚下端の断面力に着目し、クリープ・乾燥収縮により生ずる静的解析値をレベル1の動的解析値に重ね合わせた結果を示す。この結果を表-4の動的解析値と比較すると、免震橋、非免震橋共に断面力の合計は増加しているものの、重ね合わせた断面力の免震/非免震の比率はあまり変化がないことがわかった。



固有周期  
図-2 免震化の効果

表-5 クリープ、乾燥収縮の影響を含んだ動的解析結果の比較（下部構造剛性基本ケース、レベル1）  
単位：tf・m

|        |     | 非免震   | 免震          |
|--------|-----|-------|-------------|
| 橋脚下端曲げ | A橋脚 | 2.356 | 1.646(0.70) |
|        | B橋脚 | 3.711 | 2.864(0.77) |
|        | C橋脚 | 3.601 | 2.596(0.72) |

※ ( ) 内は免震/非免震の比率を示す。

### 5. まとめ

今回の検討により、以下の事項が明らかとなった。

- ①PC橋に免震構造を採用した場合には、非免震構造を採用した場合に比較して、応答断面力が概ね30%程度低減される。
- ②免震化の効果は、下部構造剛性が高い程大きくなる傾向にあるが、その差は僅かである。
- ③今回の解析において設定したレベル2クラスの地震においては、設定した免震支承の等価剛性が非免震橋の支承剛性に比べ小さいため、応答変位については両者の値はほぼ等しくなった。

なお、本報告は、建設省土木研究所と民間28社との官民連帯共同研究「道路橋の免震システムの開発」の一環として行われたものである。