

## すべり支承の減衰の与える影響 についてのケーススタディ

塩谷 浩英<sup>1</sup>・武藤 秀樹<sup>1</sup>・中村桂久<sup>1</sup>・徳川和彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 中部本社 （〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号）

### 1. はじめに

機能分離型支承は、鉛直支承と水平支承の機能を分離して合理的に設計できる利点がある。また、鉛直支承のすべり摩擦により水平歪を低減できるため、耐震構造上も有利な支承である。しかし、設計手法については、水平すべり支承の面圧依存性や速度依存性について製品のバラツキなどもあり、実験的にも解析的にも研究途上のところである。

本論文では、PC5径間連続箱桁橋をモデルとして、機能分離支承の鉛直支承の解析モデルについて2パターン仮定し、その結果得られる地震応答値および減衰特性を分析し、鉛直支承（すべり支承）の減衰評価方法を模索したものである。

### 2. 検討対象橋梁

対象橋梁の側面図および橋脚正面図を図-1～3に示す。本橋はランプ部を含むPC5径間連続箱桁橋であり、幅員の拡幅を有するため、P1～P4は壁式橋脚、P5・P6橋脚はラーメン式橋脚とした。

機能分離支承の鉛直支承と水平支承については、幅員の変化と上部工反力に合わせて配置計画を行った。

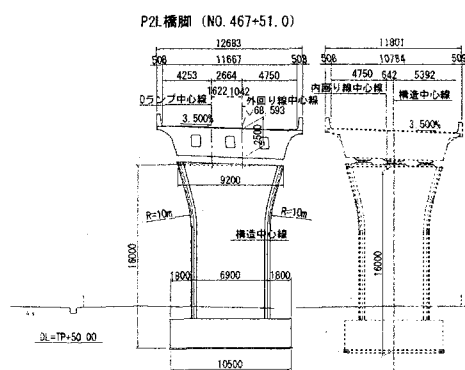


図-1 橋脚正面図（標準部）

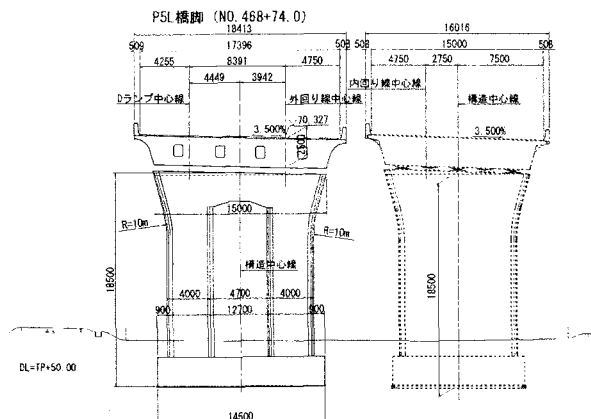


図-2 橋脚正面図（拡幅部）

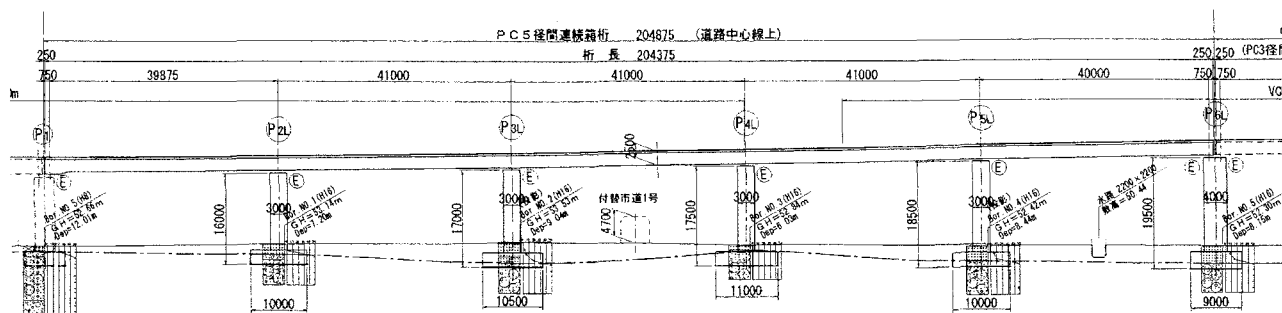


図-3 橋梁側面図

### 3. 動的解析におけるすべり支承のモデル化

道路橋の動的解析における減衰モデルは、一般的にRayleigh減衰が用いられている。Rayleigh減衰は、(1)式に示すとおり、質量マトリックス[M]と剛性マトリックス[K]とに比例する形で減衰マトリックス[C]が定義される。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \quad (1)$$

ここに、

$\alpha$  ; 外部粘性減衰定数

$\beta$  ; 内部粘性減衰定数

すべり支承をばねでモデル化した場合のように初期剛性が大きい部材では[K]が一次剛性K1となることから $\beta [K]$ の値が大きくなり、支承の粘性減衰が過減衰となる場合があるため注意が必要である。そこで、粘性減衰を適切に評価するために、以下に示す支承のモデル化を検討した。

#### (1) 一体型モデル

機能分離型支承の非線形モデルは、図-4に示すように一次剛性が非常に大きく、二次剛性を脚当たりのせん断バネ値とするバイリニアモデルが広く用いられている。

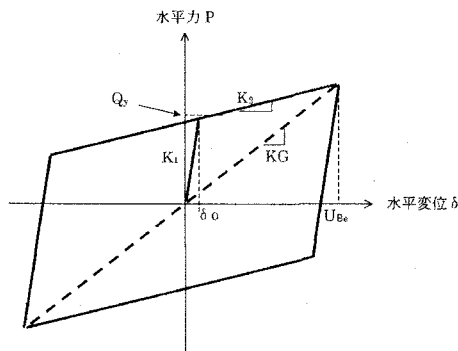


図-4 機能分離支承の履歴特性

ここに、

K1 ; 1次剛性(kN/m)

K2 ; 2次剛性(kN/m)

KG ; 等価剛性(kN/m)

Rd ; 死荷重

Qy ; すべり支承の降伏荷重(kN)

$\delta_0$  ; 降伏変位(m)

UBe ; 応答変位

①初期剛性の上限值は、 $1.0 \times 10^4$  MN/m (=  $1.0 \times 10^7$  kN/m) 程度を目安とした。

②初期剛性K1は、初期変位  $\delta = 2$  mm,  $Q_y = 0.1 \times R_d$  として決定した。

このモデルにおいて目標とする等価減衰定数hBを設定し、 $\mu$ の値を調整することで、減衰の影響を評価する方法を試みた。

本検討では $\mu$ を0.10と0.05の2ケースを実施し、各ケースの支承移動量および等価減衰定数hBを比較した。なお、初期勾配K1は変化しないものと仮定した。

#### (2) 分離型モデル

機能分離支承を鉛直支承(すべり支承)と水平支承(パッファ)に分離してモデル化した。

##### ①鉛直支承

一次剛性が非常に大きく、二次剛性が非常に小さなバイリニアモデルを用いた。

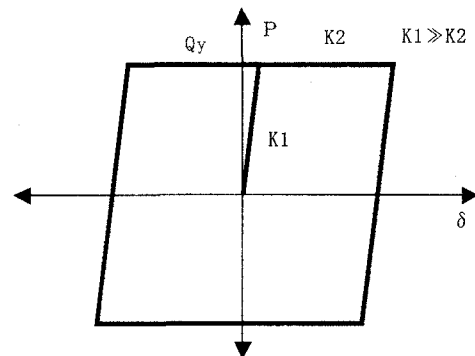


図-5 すべり支承の履歴特性

ここに、

$$Q_y = \mu \cdot R_d$$

Qy ; すべり支承の降伏荷重

$\mu$  ; すべり支承の摩擦係数 ( $\mu = 0.10$ )

Rd ; 死荷重

履歴減衰を考慮し、粘性減衰は考慮しないものとした。

すべり支承の粘性減衰を考慮しないためには

(1)式におけるすべり支承部の粘性減衰定数 $\alpha$ 、 $\beta$ の値をゼロとすることになるが、現在の動的解析プログラムで部材別に減衰定数を設定ことは難しいのが現状である。そこで、すべり支承における一次剛性の影響を排除するために、図-6に示すように初期剛性を微小剛性k0(ギャップ要素)とする方法を用いた。これにより[K]はゼロとなる。また、支承部の重量は評価しないため[M]もゼロとなることから、 $\alpha$ 、 $\beta$ の値に係わらず減衰マトリックス[C]をゼロとすることが可能となる。

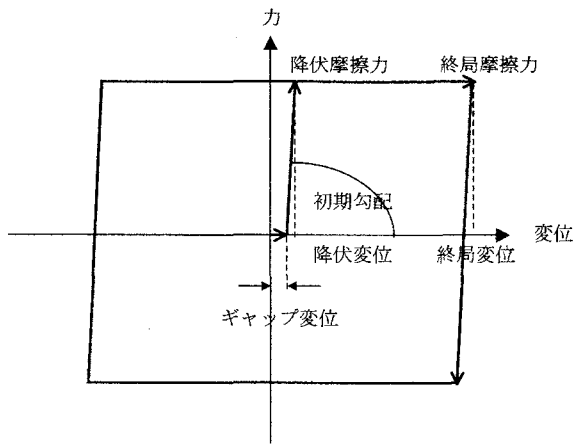


図-6 ギャップ型バイリニアモデル

②水平支承

支承剛性を水平バンプアのせん断バネ値とした。  
また、等価減衰定数は分散支承の0.04を考慮した。

4. 動的照査法による検討

(1)解析方法

解析は、道路橋示方書V耐震設計編（平成14年3月）に従い、I種地盤レベル2のタイプIおよびタイプIIの地震動に対して、橋脚躯体の柱部材に材料非線形を考慮した直接積分法による時刻歴応答解析法を採用した。積分法は、Newmark  $\beta$  法（平均加速度法  $\beta = 1/4$ ）を用いることとし、時間積分条件は0.002sec間隔とした。

(2)解析モデル

解析モデルは、橋梁全体を対象としてモデル化するものとした。上部構造および下部構造を棒モデルに置換した。

①上部構造

上部構造は1本の棒モデルに置換し、線形はり要素によってモデル化した。

②下部構造

橋脚基部に発生する曲げモーメントによって構造系の終局状態を判定するために、塑性ヒンジをモデル化した非線形回転バネ要素モデル（ $M-\theta$  モ

デル）を設定した。橋脚柱部は降伏剛性を用いるものとし、橋脚の梁部およびフーチング部については線形はり要素としてモデル化した。

③支承

支承は機能分離型支承を用いるため、分離型モデルの場合は、同一座標に2つの節点を設けて、それらを非線形バネ要素により結合した。

④基礎地盤

基礎地盤の影響は、連成バネを考慮できる基礎地盤バネ要素でモデル化した。

図-7に動的解析モデルを示す。

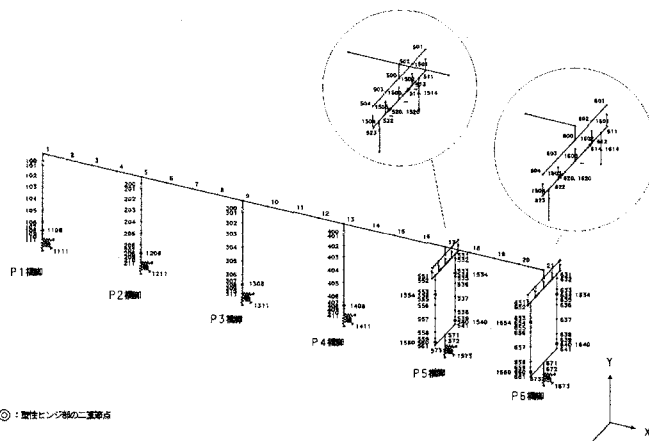


図-7 動的解析モデル

5. 動的解析結果

すべり摩擦を考慮しないケースと考慮した3ケースについて計算を行った。

- ①すべり摩擦無視
- ②一体型モデル ( $\mu = 0.10$ )
- ③一体型モデル ( $\mu = 0.05$ )
- ④分離型モデル ( $\mu = 0.10$ )

P1～P6橋脚における支承移動量と等価減衰定数を図-8、図-9にそれぞれ示す。

中間橋脚P3の支承移動量に着目するとタイプIの場合、摩擦なしの変位に比べて、一体型(0.10) 57%、一体型(0.05) 72%、分離型(0.10) 63%となり、分離型は一体型2ケースのほぼ中間の値を示した。タイプIIの場合、一体型(0.10) 63%、一体型(0.05) 72%、分離型(0.10) 71%となり、分離型は一体型(0.05)のケースとほぼ近似する結果となった。一方、等価減衰定数に着目するとタイプI、タイプII共に、一体型(0.10) 0.13、一体型(0.05) 0.06、分離型(0.10) 0.12～0.13となり、分離型は一体型(0.10)と近似する結果となった。

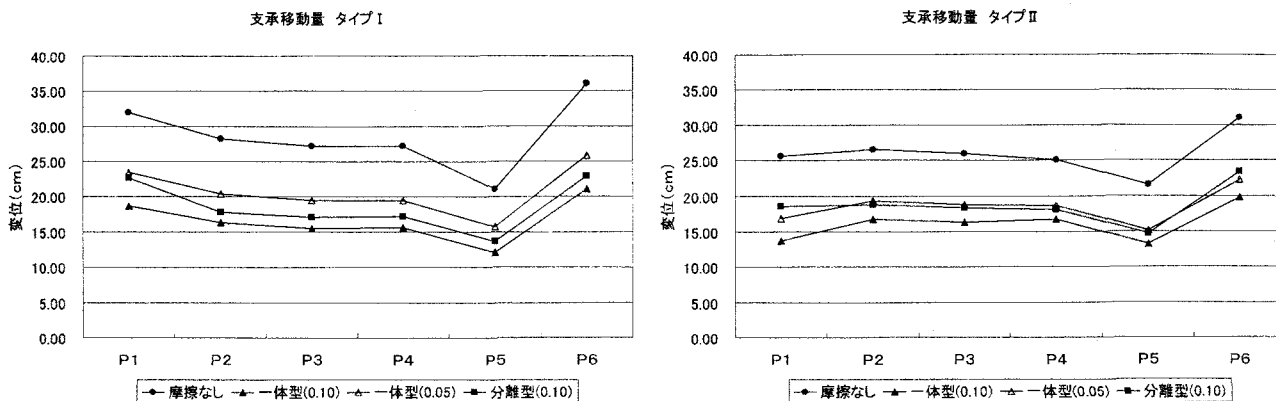


図-8 支承移動量

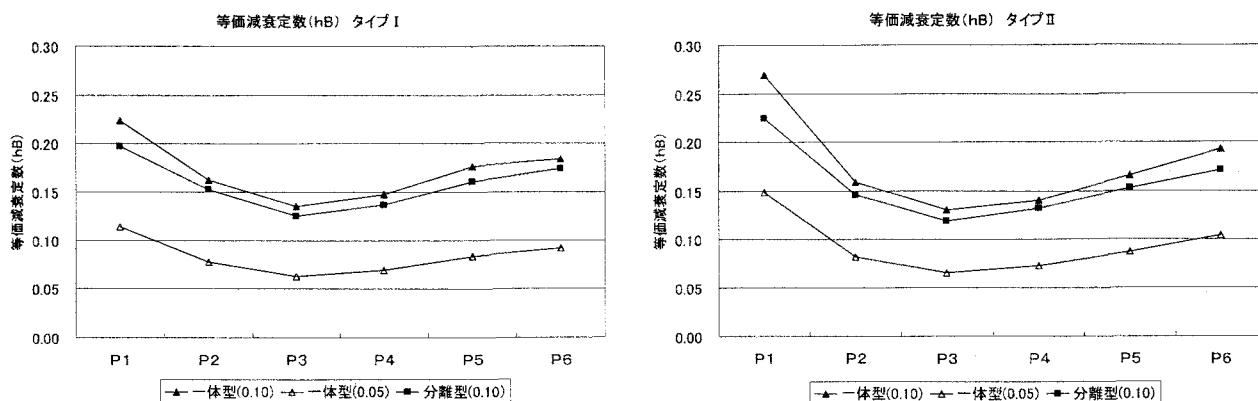


図-9 等価減衰定数

## 6. まとめ

機能分離支承を設置した多径間連続橋を対象に動的解析に用いる減衰モデルについての検討を行った。その結果、得られた知見をまとめると以下の通りとなる。

- (1) 一体型モデルの場合、 $\mu$ に大きな数字を用いれば、当然、減衰が大きくなり、それに伴い、支承移動量は減少し、等価減衰定数は増大する傾向となる。
- (2) 分離型モデルによる減衰 ( $\mu = 0.10$ ) を採用した場合と一体型モデル ( $\mu = 0.10$ ) の場合の結果は、今回のケースにおいては、非常に近似した数値結果となった。微妙な差異に着目すれば、支承移動量については、分離型モデルの方が安全側の設計となり、橋脚設計についても、分離型モデルの方が安全側の設計となる。
- (3) 摩擦係数として、 $\mu$ を定量的に決定することは、今後の実験や研究成果を待つ必要があるが、支承の解析モデル化を複雑にしすぎることは、実用的に好ましくないと考える。

したがって、同一摩擦係数を用いた中での安全設計としては、粘性減衰を考慮しない分離型モデルが適切と考える。

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，1997.3
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.3
- 3) (独)土木研究所，(株)構造計画研究所，パシフィックコンサルタンツ(株)，八千代エンジニアリング(株)，オイレス工業(株)，川口金属工業(株)，三協オイルレス工業(株)，日本鑄造(株)，(株)ビービーエム：すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法の開発に関する共同研究報告書(その1)，2005.7