

神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 学生員 ○鳥澤 拓真
 神戸市立工業高等専門学校 都市工学専攻 学生員 島袋 武
 神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 正会員 山下 典彦

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、土木構造物の耐震設計の実務でも動的解析が多く用いられるようになってきた。しかしながら、部材地盤の非線形構成則と減衰の設定が構造物の応答に大きな影響を与える⁽¹⁾ことは言うまでもなく、近年、主流となりつつある性能規定型耐震設計法においても、動的解析の精度は重要である。さらに、構造物に設計外力を超える地震動が作用した場合、変形が一方に進み大きく塑性化する「応答の片寄り」が生じる場合があるので、その原因やメカニズムについての研究が必要である。

そこで、本研究の目的として最大塑性率と平均塑性率の比で表される片寄り係数を導入することにより、構造物の動的解析における減衰マトリクスの影響を考慮し、地震応答の片寄りについて検討する。さらに、わが国の耐震設計は、P-Δ効果の影響を無視できる領域で設計しているが、塑性応答は複雑であり、P-Δ効果の影響によって変形が片側に進み、構造物が倒壊する危険性がある。よって、P-Δ効果の影響による応答の片寄りについても検討する。

2. 運動方程式

直接基礎で支持される道路橋でスウェイ・ロッキングを含む3自由度モデルでモデル化する。具体的には、直接基礎-上部構造物系を、図-1(a)の上部構造物の回転運動、基礎の並進運動及び回転運動にモデル化し、図-1(b)のように振動モデルの座標系を定めた振動方程式

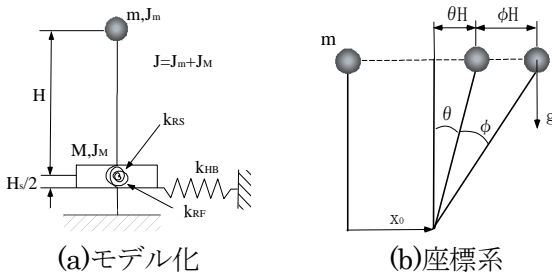


図-1 直接基礎-上部構造物系(回転3自由度モデル)

式を式(1)に示す。なお、振動方程式の誘導にあたっては、地盤-基礎系の復元力における並進と回転の連成項を無視している。

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M]\{I\}\ddot{u}_G \quad (1)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} mH^2 & mH & mH^2 \\ mH & m+M & mH \\ mH^2 & mH & mH^2+J \end{bmatrix}, \{y\} = \begin{Bmatrix} \phi \\ x_0 \\ \theta \end{Bmatrix}, \{I\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{RS} - mgH & 0 & -mgH \\ 0 & k_{HB} & -k_{HB}H_S/2 \\ -mgH & -k_{HB}H_S/2 & k_{RF} - mgH + k_{HB}H_S^2/4 \end{bmatrix}$$

ここに、 m, M は上部構造物及び基礎の質量、 H は上部構造物の高さ、 J_m, J_M は上部構造物及び基礎の回転慣性、 k_{RS}, k_{HB}, k_{RF} は上部構造物、基礎底部の水平及び回転ばね剛性、 ϕ, x_0, θ は上部構造物、基礎の水平変位及び基礎の回転角、 \ddot{u}_G は入力地震動を表している。減衰マトリクス $[C]$ は以下の4通りを設定する。

質量比例型減衰: $[C] = a_0[M]$ (2)

剛性比例型減衰: $[C] = a_1[K]$ (3)

レイリー減衰: $[C] = a_0[M] + a_1[K]$ (4)

対角項のみ: $[C] = \begin{bmatrix} c_{RS} & 0 & 0 \\ 0 & c_{HB} & 0 \\ 0 & 0 & c_{RF} \end{bmatrix}$ (5)

a_0, a_1 はs次モードの減衰定数 h_s より求める。 c_{RS}, c_{HB}, c_{RF} は上部構造物、基礎の水平及び回転の減衰係数である。

$$h_s = (a_0/\omega_s + a_1 \cdot \omega_s)/2 \quad (6)$$

$$c_{RS} = 2h_1H^2\sqrt{mk_{RS}}, c_{HB} = 2h_2\sqrt{Mk_{HB}}, c_{RF} = 2h_3\sqrt{Jk_{RF}} \quad (7)$$

h_1, h_2, h_3 は上部構造物、基礎水平及び回転運動の減衰定数。 ω_s はs次モードの固有円振動数である。 $[K]\{y\}$ は上部構造物と基礎の復元力項で、復元力特性として上部構造物と基礎の底部水平ばねは完全弾塑性型、基礎の底部回転ばねはトリリニア型とした。

3. 弾塑性応答解析

3.1 解析条件

弾塑性応答解析は Newmark β 法($\beta = 1/6$)により行い、微小時間を線形補間により 0.001s とした。入力

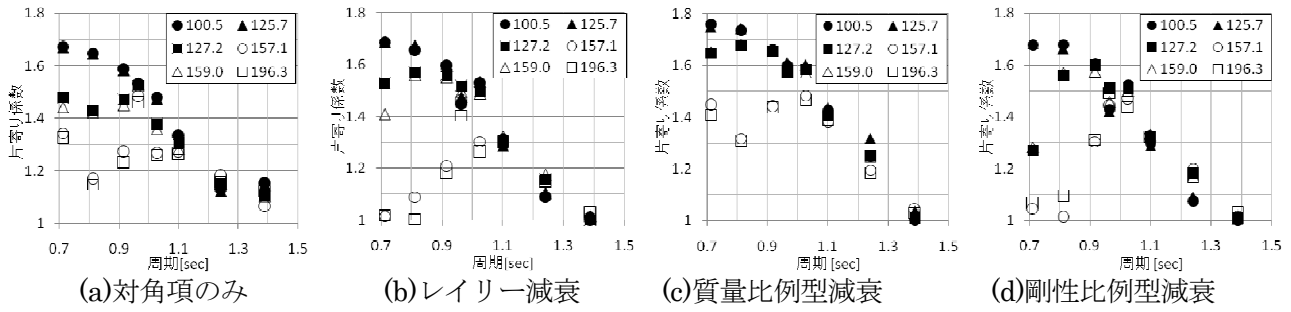


図-2 各減衰での周期と片寄り係数の関係(P- Δ 効果あり)

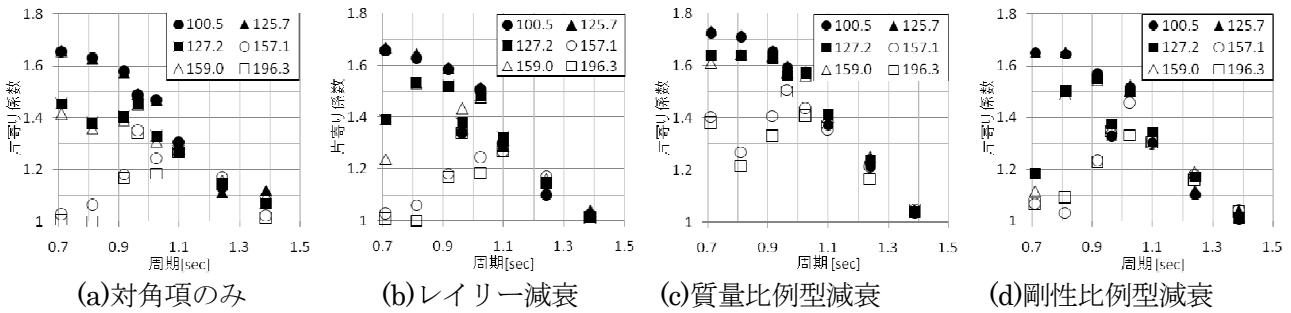


図-3 各減衰での周期と片寄り係数の関係(P- Δ 効果なし)

地震動は、神戸海洋気象台（長周期パルス型）の NS 成分とした。

上部構造物の諸定数については、橋脚高さ（周期）を 11m(0.712s 及び 0.965s), 12m(0.812s 及び 1.00s), 13m(0.917s 及び 1.242s)及び 14m(1.026s 及び 1.388s) の 4 種類とした。また、直接基礎については、半径を 3 種類(4m,4.5m,5m)と高さを 2 種類(2m,2.5m)とし、道路橋のモデルケースはそれらの組み合わせにより合計 48 ケースとなった。さらに、降伏震度 0.2, 地盤の単位体積重量 17.6kN/m³, ポアソン比 0.3, 粘着力 0kN/m², N 値 40 (道路橋示方書より, せん断速度 273.6m/s, 内部摩擦角 39.5°), 上部構造物の減衰定数 0.05, 基礎の減衰定数を 0.1 とした。

3. 2 解析結果

P- Δ 効果の影響を考慮した場合の各減衰での周期と片寄り係数の関係を各基礎の体積[m³]ごとに図-2 に、P- Δ 効果の影響を考慮しない場合を図-3 に示す。

全体的に短周期になるほど片寄り係数が大きくなる。体積では相関が見られず、基礎半径のパターンで相関が見られ、基礎半径が大きいほど片寄り係数が抑えられる結果となった。質量比例型減衰が最も大きな片寄り係数を示した。また、他の減衰と異なり、基礎半径による片寄りの抑えが小さくなった。

4. まとめ

48 ケースの直接基礎で支持される道路橋を想定した弾塑性応答解析を 4 通りの減衰マトリクスを設定して行い、上部構造物の周期と基礎寸法が片寄り係数に与える影響について考察した。以下に結果をまとめる。

- (1) 減衰マトリクスの設定は片寄り係数に影響を与える。
- (2) 上部構造物の周期が短いほど片寄り係数は大きくなる。
- (3) P- Δ 効果を考慮すると片寄り係数は大きくなる。
- (4) 基礎半径は片寄り係数に大きく影響を及ぼす。

以上から、片寄り係数のばらつきには様々な要因、特に基礎半径が大きな影響を与える。今後は基礎形態と片寄りの関係を明らかにするため、ケーソン基礎等の地盤の影響がより強いと考えられるケースを想定した解析を行う。

参考文献

- (1) 室野剛隆, 滝沢聡, 畠中仁, 棚村史郎: 構造物の非線形動的解析における減衰マトリクスの設定に関する検討, 第 4 回地震時保有水平耐力に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.115-122, 2000.
- (2) 向井智久, 衣笠秀行, 野村説朗: 地震動を受ける RC 法とその精度検証, 日本建築学会構造系論文集, 第 532 号, pp.137-143, 2000.