

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

1995年に発生した兵庫県南部地震では、高速道路などの道路橋脚が倒壊するなどの大きな被害が生じた。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。しかし、その原因やメカニズムについての研究は少ない。

そこで、本研究の目的として向井ら¹⁾の最大応答変位と必要耐力を結びつける片寄り係数を導入することにより、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効果など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

水平1自由度モデルとP-Δ効果を考慮した回転1自由度モデル、さらにそれぞれに直接基礎をモデル化した3自由度モデルを用いる。ここでは、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減衰項を省略した振動方程式を式(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。

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

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

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

ここに、 m 、 M は上部構造物及び基礎の質量、 $J = J_m + J_M$ は回転慣性で、 J_m 、 J_M は上部構造物、基礎の回転慣性、 k_{RS} 、 k_{HB} 、 k_{RF} は上部構造物の回転ばね、

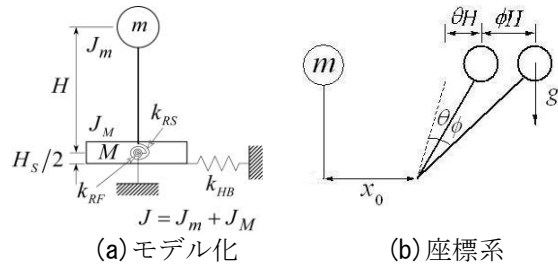


図1 直接基礎-上部構造物系(回転3自由度モデル)

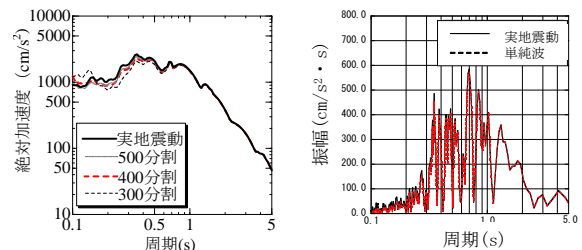
基礎底部水平及び回転ばね、 ϕ 、 x_0 、 θ は上部構造物の回転角、基礎の水平変位及び回転角、 \ddot{u}_G は入力地震動を表している。 $[K]\{y\}$ は上部構造物と基礎の復元力項で、復元力特性として上部構造物と基礎の底部水平ばねは完全弾塑性型、基礎の底部回転ばねはトリリニア型とした。なお、水平3自由度モデルについては1自由度モデルの回転と水平ばねの関係を上部構造物に用いて振動方程式を誘導している。

3. 弾塑性応答解析

3.1 解析条件

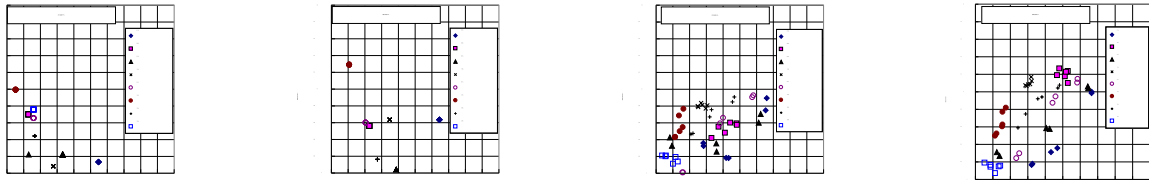
弾塑性地震応答解析は増分法($\beta = 1/6$)により行い、微小時間を線形補間により0.001sとした。入力地震動は、神戸海洋気象台(長周期パルス型)のNS成分とした。さらに、単純波として実地震動の継続時間20sを300~500分割し、その分割時間間隔の平均値とする単純化した波形を作成した。それらの単純波と実地震動の絶対加速度応答スペクトルを図2(a)に示す。単純波の中でも対象とする上部構造物の固有周期(0.712~1.388s)に影響が小さく、分割数の少ない(加速度が一定である間隔が長い)400分割を単純波として用いた。

神戸海洋気象台の実地震動と単純波のフーリエスペクトルを図2(b)に示す。図2両図より、短

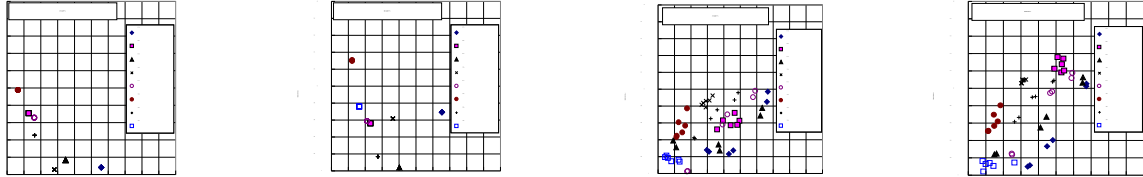


(a) 応答スペクトル (b) フーリエスペクトル

図2 神戸海洋気象台(NS成分)



(a) 実地震動



(b) 単純波

図3 残留変位と片寄り係数の関係

周期側で単純波のスペクトルが実地震動と比較して小さくなっている。

さらに、実地震動と単純波にどの程度片寄りがあるのかを評価するために、最大加速度の絶対値と正負の最大値の比率である片寄り比率を調べると、実地震動は 1.42、単純波は 1.35 であった。

上部構造物及び基礎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 1.100s)、13m(0.917s 及び 1.242s) 及び 14m(1.026s 及び 1.388s)の 4 種類の合計 48 ケースとする。さらに、降伏震度 0.2、地盤の単位体積重量 17.6kN/m^3 、ポアソン比 0.3、粘着力 0kN/m^2 、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 0.1 とした。

3. 2 解析結果

図3に、上部構造物の固有周期毎の残留変位の絶対値と片寄り係数の関係を示す。図3の1自由度モデルにおいて、回転1自由度モデルの周期 0.712s以外で右肩下がりの相関関係がみられる。

回転及び水平1自由度モデルの周期0.712sを比較すると、図3(a)の実地震動では、回転モデルが水平モデルより 5.0cm、図3(b)の単純波では、6.1cm大きいことがわかる。また、図3の3自由度モデルの周期0.965sにおいては、回転モデルが実地震動、単純波共に水平モデルより平均6.8cm大きくなった。

また、水平1自由度モデルと回転1自由度モデル

及び水平3自由度モデルと回転3自由度モデルの片寄り係数を比較すると、回転モデルの値が水平モデルを上回っていることから、P- Δ 効果が影響していると考えられる。

また、どのモデルにおいても、単純波の片寄り係数の値が実地震動の値を30ケース以上で上回るため、単純波は応答の片寄りの検討に有効であることがわかる。

4. まとめ

直接基礎で支持される道路橋の応答の片寄りについての検討した結果を以下にまとめる。

- 1) P- Δ 効果の影響を考慮したモデルは、考慮していないモデルより片寄り係数及び残留変位が大きくなることから、応答の片寄りを検討するにはP- Δ 効果の影響を考慮する必要がある。
- 2) 神戸海洋気象台の実地震動と単純波を入力した場合、単純波の方が、片寄り係数が大きくなる傾向がみられたことから、単純波は応答の片寄りの検討に有効であることがわかった。
- 3) 神戸海洋気象台の実地震動及び単純波を入力地震動とした場合、殆どのケースで応答変位が片寄ることによって残留変位が生じ、それらは上部構造物の周期により特徴が異なる。

参考文献

- 1) 向井智久, 衣笠秀行, 野村設郎: 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.