

## P- 効果を考慮したS Rモデルの非線形応答解析に関する研究

|                  |      |      |
|------------------|------|------|
| 神戸市立工業高等専門学校     | 正会員  | 山下典彦 |
| 宮崎大学工学部          | 正会員  | 原田隆典 |
| 神戸大学理学部(元神戸高専学生) | 学生会員 | 長野雄大 |

## 1. はじめに

重力による復元力の低下をP- 効果<sup>1)</sup>と呼んでおり, トップヘビーな構造物の場合には無視できなくなることがあり, 古くから層レベル, 部材レベル等において, この重力の影響を考慮した研究が数多く行われている. また, 水平の復元力が弾塑性応答をする場合, 重力の影響により負勾配の復元力が生じ, 激震による構造物の倒壊の原因の1つとも考えられる. 兵庫県南部地震において, 実際に橋脚が倒壊するなど土木構造物に甚大な被害が生じた. この地震が構造物の設計震度を超えた予想外の大地震であったとはいえ, その応答に動的相互作用の影響が大きく関係していることは言うまでもない. 本研究では, P- 効果を考慮した上部1自由度とS Rモデルから構成される3自由度モデル(以下, 上部回転S Rモデルと呼ぶ.)について動的応答解析を行い, P- 効果が基礎の応答に与える影響について検討した.

## 2. P- 効果を考慮した動的相互作用モデル

基礎-地盤-構造物系を図-1に示すような基礎と構造物の動的相互作用を考慮した3自由度系, つまり, 上部構造物を回転運動, 基礎を並進および回転運動にモデル化し, 図-2のように振動モデルの座標系を定めると振動方程式は次式のようになる. なお, 振動方程式の誘導にあたっては, 連成項を無視している.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + \{Q\} = -[M]\{I_1\}\ddot{u}_G - [M]\{I_2\}\ddot{\phi}_G \quad (1)$$

ここに,  $\ddot{u}_G, \ddot{\phi}_G$  は有効入力地震動,  $\{Q\}$  は上部構造物と基礎の復元力特性を表しており, 上部構造物は完全弾塑性型, 基礎はトリリニア型のモデルとした. さらに, 上部構造物の復元力特性については図-3に示すP- 効果による復元力の低下を考慮している. 非線形地震応答解析は増分法を用いて行い, 動的相互作用およびP- 効果の影響を調べるために, 地盤種別(種および種地盤)について動的応答解析を行った.

## 3. 解析モデル

種および種地盤上に建設される直接基礎を有する鋼製橋脚<sup>2)</sup>を対象とした. 支持地盤は, N値がおおよそ40の種地盤とN値がおおよそ10の種地盤とし, 上部構造物の減衰定数とばね定数は, 各々0.05, 107800 kN/m, 地盤の減衰定数は0.1とした. 地盤のばね定数は, 土は引っ張りに耐えないものとし, さらにモール・クーロンの破壊規準に従うものとした非線形スプリングを持つウィンクラーモデルの考え方を採用して評価した地盤の動的復元力モデル<sup>3)</sup>から求めた. 計算時間間隔を0.001秒とし, 上部構造物の降伏復元力<sup>2)</sup>はレベル1(道路橋示方書(1990))の加速度波形を入力して弾性応答解析を行ったときの最大復元力とした.

## 4. 解析結果

非線形地震応答解析は, 基礎の重心位置に神戸海洋気象台観測地震記録NS成分を作用させ, P- 効果を考慮する場合としない場合, さらには, 最も基本的な水平振動のみを扱った上部1自由度とS Rモデルから構成される3自由度モデル(以下, 上部水平S Rモデルと呼ぶ.)の時刻歴応答を比較した. 図-4に種地盤の各振動モデルの時刻歴応答結果を示す. 実線太線が上部水平S Rモデル, 実線細線がP- 効果を無視した上部回転S Rモデル, 破線がP- 効果を考慮した上部回転S Rモデルの時刻歴応答を表しており, 上部構造物の相対変位の最大値は, それぞれ3.9, 4.0, 4.3(cm)となった. さらに, 相対加速度の最大値は, それぞれ-6.33, 7.33, 7.40( $m/s^2$ )となったこと, 履歴ループに大きな非線形性が見られないことから上部構造物の応答に差は生じていない. 基礎回転についても, 回転角の最大値は, それぞれ-0.0071, -0.0075, -0.0074(rad), 回転角加速度の最大値は, それぞれ-0.461, -0.585, -0.581( $rad/s^2$ )となり, 上部構造物と同様に差は生じていない. 基礎並進については, 相対変位に残留変位が生じ, それぞれ4.3, 4.0, 3.5(m)となったが, 相対加速度については差は無く最大値は, それぞれ-4.88, -4.88, -4.92( $m/s^2$ )となった.

## 5. まとめ

P- 効果を考慮した3自由度モデルを想定し, P- 効果が基礎に与える影響について検討を行ったが大きな差はみられなかった. 今後は, パラメトリックスタディを行い, さらに詳細な検討を加える必要がある.

キーワード: 動的相互作用, P- 効果, S Rモデル

連絡先: 〒651-2194 神戸市西区学園東町8丁目3番地, TEL.078-795-3267, FAX.078-795-3314

【参考文献】 1) 山下典彦, 原田隆典, 長野雄大, 松浦翠: P- 効果による大変形を考慮した1自由度系の応答スペクトル, 第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.433-438, 2003. 2) 永田和寿, 渡邊英一, 杉浦邦征, 宇都宮智昭: 基礎 - 構造物系の非線形動的相互作用に関する研究, 第23回地震工学研究発表会講演概要, pp.473-476, 1995. 3) 山下典彦, 原田隆典: 基礎 - 地盤 - 構造物系の非線形動的相互作用を考慮した応答スペクトルに関する研究, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.591-598, 2001.

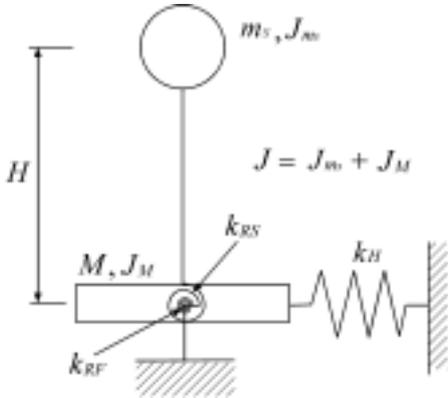


図-1 振動モデル

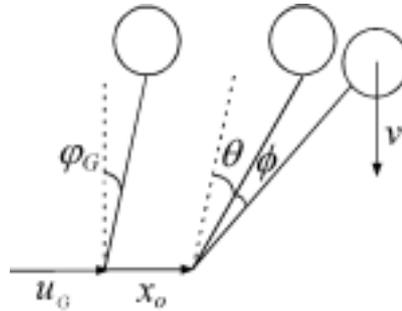


図-2 振動モデルの座標系

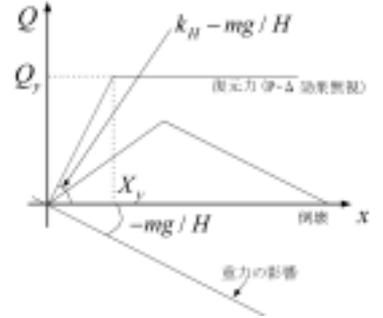
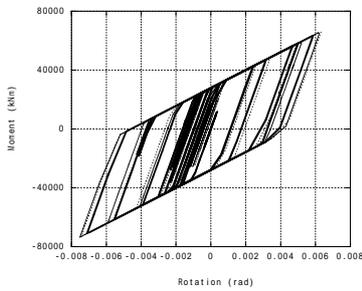
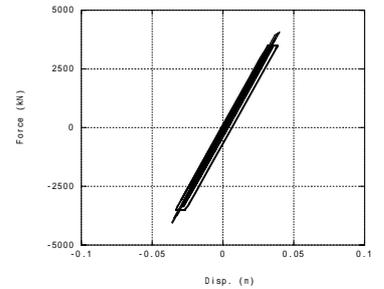
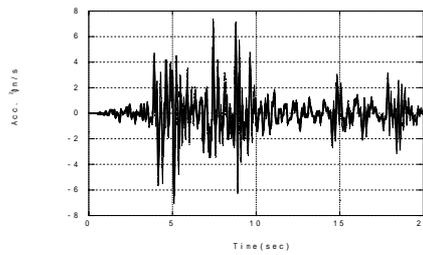
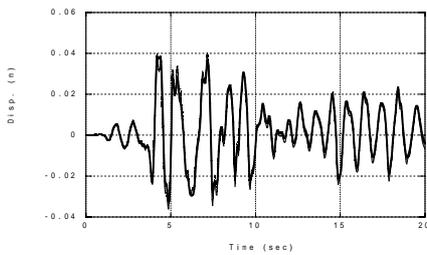
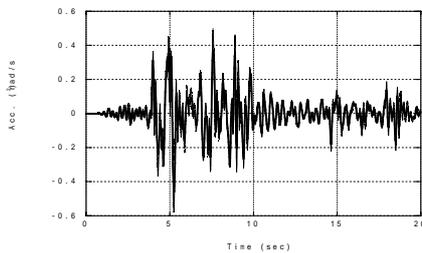
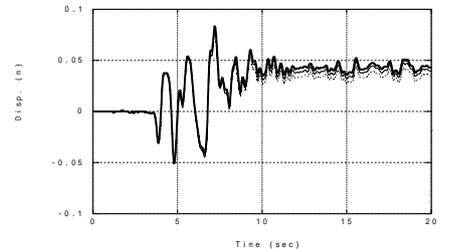


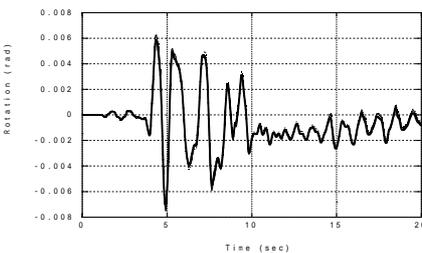
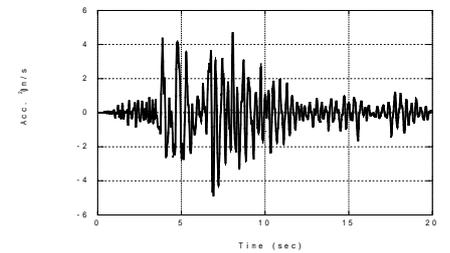
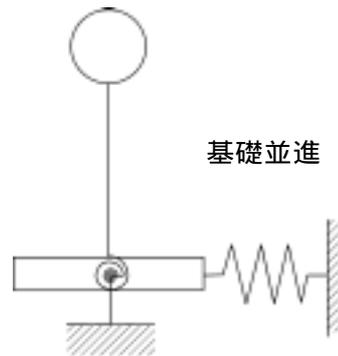
図-3 P- 効果の影響



上部回転（水平）



基礎並進



基礎回転

— 上部水平 S R モデル  
 — 上部回転 S R モデル (P- 効果無視)  
 - - - 上部回転 S R モデル (P- 効果考慮)

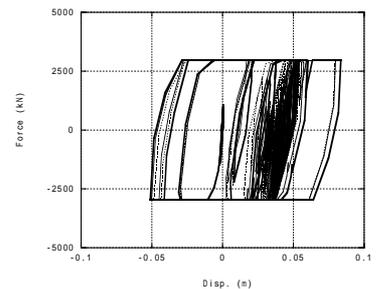


図-4 各振動モデルの時刻歴応答