

P- 効果を考慮した1自由度モデルの応答スペクトルに関する研究

○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
信州大学工学部(元神戸高専学生)	学生会員	松浦 翠
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¹⁾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, 重力の影響により構造物の倒壊の原因の1つとも考えられる. しかしながら, その破壊過程を詳細に検討した研究は少ないのが現状である. 本研究では, P-

効果による水平の復元力低下の影響を調べるために, P- 効果を考慮した1自由度モデル(以下, 回転1自由度モデルと呼ぶ.)と最も基本的な水平振動のみを扱った1自由度モデル(以下, 水平1自由度モデルと呼ぶ.)について非線形応答解析を行い, 各モデルの応答スペクトルを求め, P- 効果の抽出を試みた.

2. P- 効果を考慮した1自由度モデル

P- 効果を考慮した回転1自由度モデルを示したものが図-1である. 図-1に示すような大変形を扱った回転1自由度厳密モデルおよび微小変形を想定して, 幾何学的近似($\cos\phi=1, \sin\phi=\phi$)を行った回転1自由度近似モデルについて回転軸のモーメントの釣り合いから, 運動方程式を誘導した. これらのモデルの復元力の項に図-2に示す復元力の減少, いわゆるP- 効果を考慮している. 回転1自由度近似モデルの運動方程式は次式で表される.

$$\ddot{\phi} + 2\xi \frac{2\pi}{T} \dot{\phi} + \frac{M(\phi)}{mH^2} = -\frac{\ddot{X}}{H} + \frac{g + \ddot{Y}}{H} \phi \quad (1)$$

ここに, m は質点の質量, ξ は減衰定数, T は固有周期, $M(\phi)$ は復元力モーメント, ϕ は橋脚の回転角(橋脚を剛体と仮定しており部材角と等しい), H は橋脚高さ, g は重力加速度, $\ddot{X}$ と $\ddot{Y}$ は1自由度モデルの水平および鉛直方向の加速度である. さらに, $\ddot{X}$ と $\ddot{Y}$ は水平および鉛直方向の入力地震動加速度であり, 地震動の水平成分に加え, 鉛直成分を考慮できることが, ここで用いる回転1自由度モデルの特徴である.

3. 数値解析例

非線形応答解析は, 線形加速度法により行い微小時間 $\Delta t = 0.001\text{sec}$, 減衰定数 $\xi = 5\%$, 橋脚高さ H を5ケース(10, 20, 30, 50, 100m) 構造物の降伏震度 $C_y = 0.2$ について検討した. 構造物の非線形特性は, あらかじめ設定した固有周期(0.1~5.0sec)を持つ構造物の降伏震度のある値に設定して降伏モーメント(降伏力)を求め, 曲げモーメント-回転角関係(力-変位関係)から降伏角(降伏変位)を設定した. 入力地震動としては, 神戸海洋気象台, 日野およびエルセントロの観測地震記録のNS成分(水平)を入力最大加速度調整(800gal)したものを用いた. 図-3は回転1自由度近似モデルにおいて, 橋脚高さを変化させた場合の絶対加速度応答スペクトルを示している. 実線太線が水平1自由度モデルの線形応答スペクトルを, 他は橋脚高さを変化させた場合の非線形応答スペクトルであり, 2~3秒以上の長周期側で応答スペクトルに差が生じていることがわかる. 図-4は図-3と同じ条件での変位応答スペクトルを示したものである. 実線太線が水平1自由度モデルの線形応答スペクトルを, 他は橋脚高さを変化させた場合の非線形応答スペクトルを示している. これより, 入力地震動に依存し, 非線形モデルの場合は長周期側だけでなく短周期側にもP- 効果の影響が生じていることがわかる. 図-5は図-4の変位応答スペクトルに差が生じた神戸海洋気象台の橋脚高さ10mと20m(降伏震度0.2, 固有周期0.33sec)について変位応答, 相対加速度応答および履歴ループを検討したものである. 図-5より加速度応答波形には殆ど差がみられないが, 変位応答から橋脚高さが10mの場合で37.2cm, 20mの場合で26.4cmの残留変位が生じていることがわかる. さらに, 履歴ループの比較より橋脚高さ10mの場合が20mの場合と比較してP- 効果の影響が大きいことがわかる.

4. まとめ

P- 効果は非線形モデルにおいては長周期側のみならず短周期側の変位応答スペクトルに影響し, 入力地震動にも依存することがわかった. 今後は, 都市直下地震で観測された地震波形を用いたパラメトリックスタディを行い, P- 効果が構造物の非線形性に与える影響についてさらに検討を加える必要がある.

キーワード: P- 効果, 回転1自由度モデル, 非線形応答解析

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

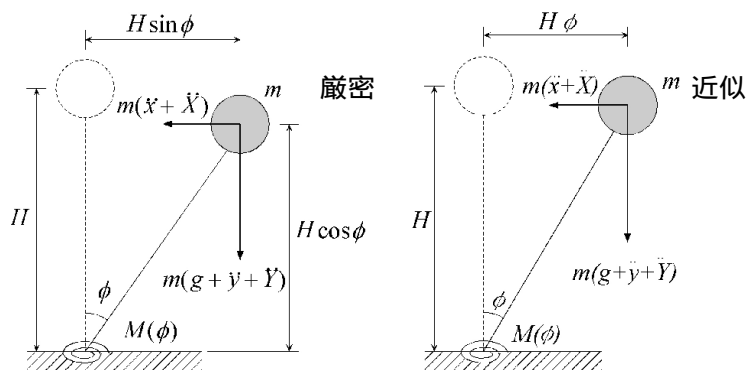


図 - 1 回転 1 自由度モデルの座標系

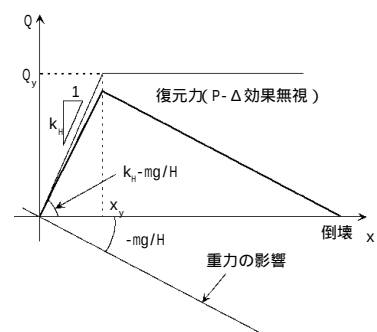


図 - 2 P- 効果の影響

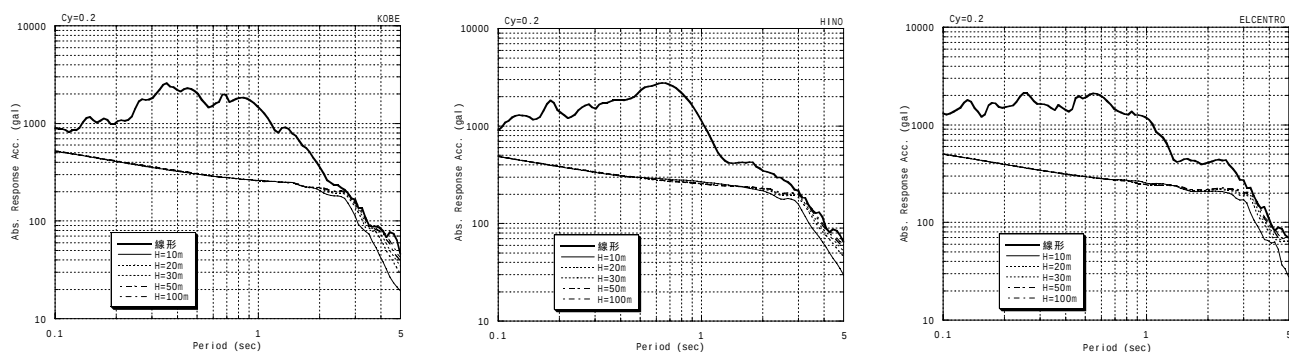


図 - 3 水平 1 自由度および回転 1 自由度近似モデルの絶対加速度応答スペクトル

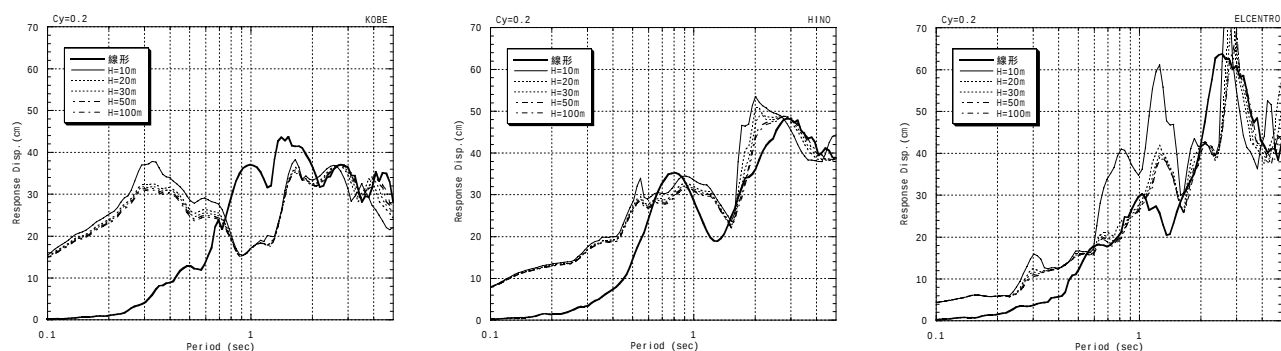
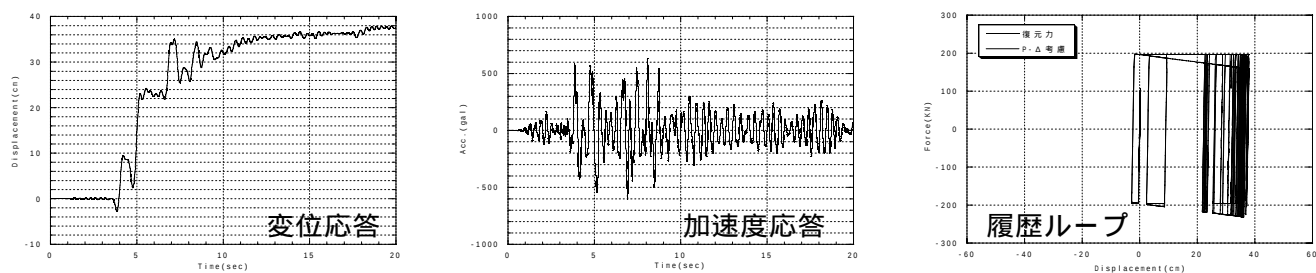
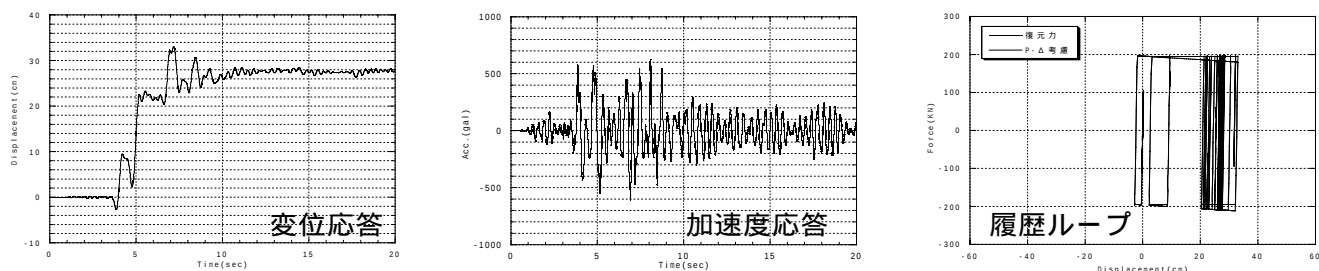


図 - 4 水平 1 自由度および回転 1 自由度近似モデルの変位応答スペクトル



(a) 橋脚高さ H=10m



(b) 橋脚高さ H=20m

図 - 5 回転 1 自由度近似モデルの時刻歴応答（神戸海洋気象台, $C_y=0.2$, $T=0.33\text{sec}$ ）