

P-Δ効果を考慮した1自由度モデルの非線形応答に関する研究

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

1. はじめに

重力に伴う復元力の低下をP-Δ効果と呼んでおり、トップヘビーな構造物の場合には無視できなくなる。アメリカやニュージーランドではじん性のみに期待した設計となっており、P-Δ効果の影響を考慮している。わが国の橋梁の耐震設計はある程度の変形性能と耐力を有しており、P-Δ効果の影響を無視できる領域で設計している。しかしながら、ひとたび設計外力を超える外乱が作用した場合には、P-Δ効果の影響を検討する必要がある。本研究では、P-Δ効果による水平の復元力低下の影響を調べるために、P-Δ効果を考慮した1自由度モデル^{1),2)}（以下、回転1自由度モデルと呼ぶ。）について非線形応答解析を行った。

2. P-Δ効果を考慮した1自由度モデル

P-Δ効果を考慮した回転1自由度近似モデルの座標系を示したものが図-1である。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、式(2)の運動方程式を誘導した。図-2は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。）と回転1自由度モデルの関係を示している。式(1)に $x=\phi H$ の関係を導入し、式(2)と比較すると式(2)の右辺第2項がP-Δ効果を表現していることがわかる。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（橋脚を剛棒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であり、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。なお、非線形復元力特性については完全弾塑性モデルで表されるものとした。

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少時間0.001秒、減衰定数5%、橋脚高さを5ケース（10,20,30,50,100m）、構造物の降伏震度（0.2,0.3,0.5,1.0）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。入力地震動は、神戸海洋気象台の観測地震記録のNS成分（水平）を作用させ、UD成分（上下）については今回の解析では用いていない。図-3は水平1自由度および回転1自由度近似モデル（水平）の降伏震度を変化させた場合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が、橋脚高さおよび降伏震度の変化に関係なく非線形応答スペクトルは一致している。さらに、降伏震度が大きくなるほど非線形応答スペクトルが線形応答スペクトルに漸近して行く過程が読み取れる。図-4は図-3のスペクトルにP-Δ効果の影響を考慮した場合の変位応答スペクトルを示している。橋脚高さが10m以外については近似非線形の応答スペクトルとほぼ一致するが、10mの場合は降伏震度が0.2において0.2-0.8秒で、0.3において0.3-0.7秒で、0.5において0.4-0.6秒で応答スペクトルが大きくなっている。したがって、図-3と図-4の比較からP-Δ効果の影響は、長周期側だけでなく短周期側にも橋脚高さが低い程大きくなることがわかった。図-5はバイリニアモデルの第2剛性の勾配を初期剛性の0,10,20%と変化させた場合の応答解析結果を示している。完全弾塑性で降伏震度が0.2の時に、近似非線形（P-Δ効果）で構造物が大きく塑性化していることがわかる。

4. まとめ

P-Δ効果は、長周期側にのみならず短周期側の変位応答スペクトルに影響を及ぼすことがわかった。今後は、実構造物との対応を図るために非線形特性、減衰定数、質量等をパラメータとした検討を加える必要がある。

キーワード P-Δ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

参考文献 1) 山下典彦, 原田隆典: P-Δ効果が1自由度系の非線形応答に与える影響, 地震工学論文集, Vol.27(151), pp.1-8, 2003. 2) 山下典彦, 原田隆典: P-Δ効果が1自由度系の応答に及ぼす影響, 第7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.23-26, 2004.

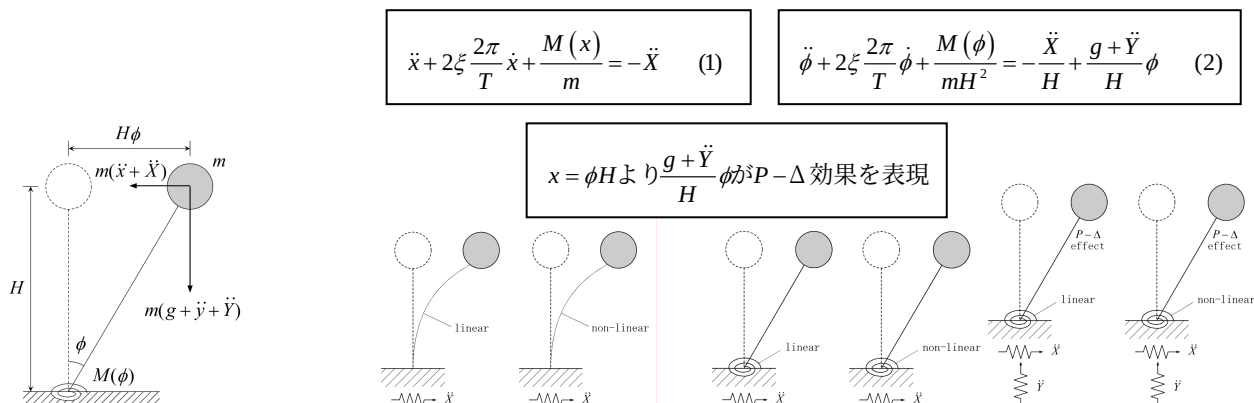


図-1 モデルの座標系

(1)線形 (2)非線形 (1)線形 (2)非線形 (3)線形 (4)非線形
(a)水平1自由度モデル (b)回転1自由度近似モデル

図-2 各1自由度モデルの関係

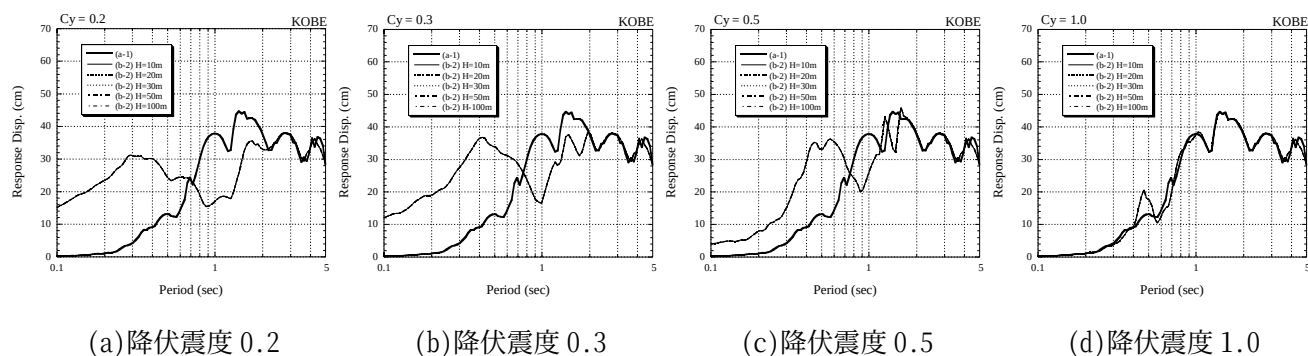


図-3 回転1自由度近似(近似非線形)モデルの変位応答スペクトル

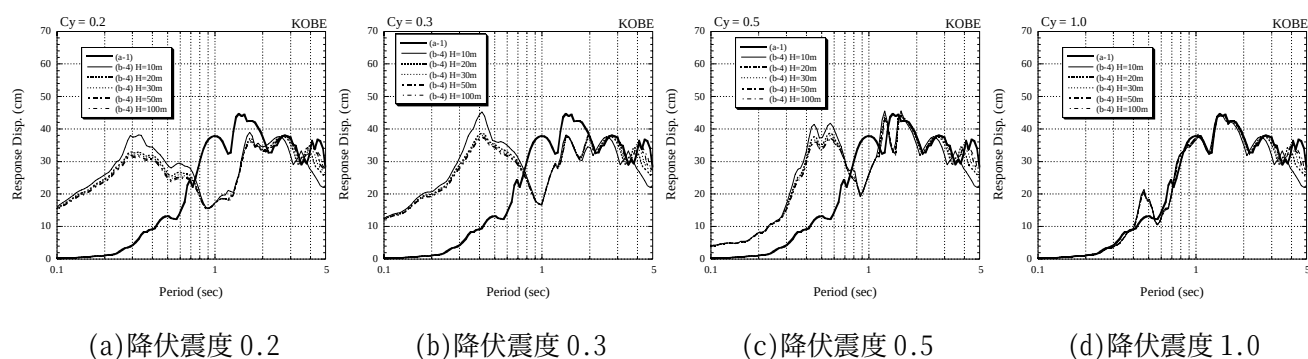


図-4 回転1自由度近似(近似非線形(P-Δ効果))モデルの変位応答スペクトル

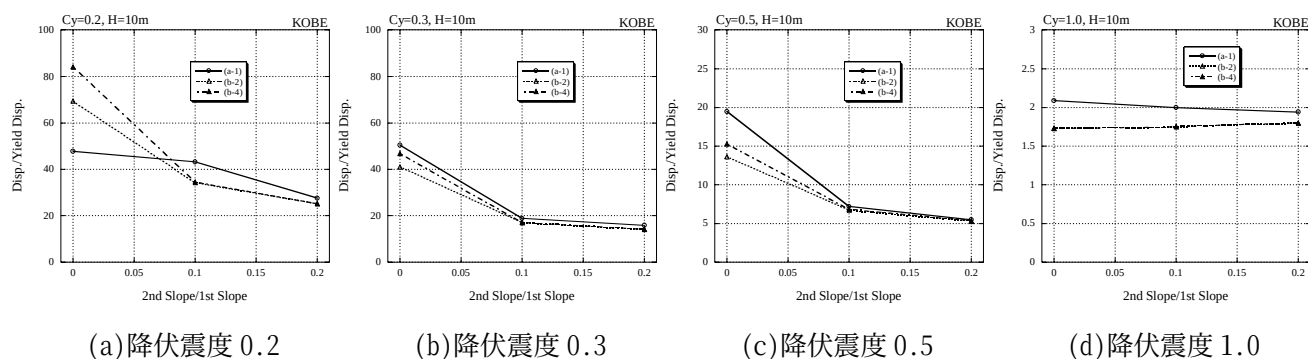


図-5 バイリニアモデルの第2剛性の影響 (H=10m, T=0.3sec)