

上下動を考慮した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

広島大学工学部(元神戸市立高専学生) 学生員 秦 吉弥

1. まえがき 1995 年に発生した兵庫県南部地震は土木構造物に多大な被害を与えたことはいままでもないが、この地震の特徴として上下動が大きかったことが挙げられる。しかし、今なお耐震設計指針等においては鉛直地震動を考慮した設計は加味されておらず、それらを考慮した設計法の確立が必要不可欠である。本研究では $P-\Delta$ 効果を考慮した回転 1 自由度モデルについて絶対加速度応答スペクトル、塑性率および残留変位応答スペクトルを算出し、水平 1 自由度モデルの解析結果と照らし合わせ、比較検討を行った。

2. 上下動を考慮したモデル 図 1 に、上下動を考慮、つまり $P-\Delta$ 効果を考慮したモデル¹⁾を示す。 $P-\Delta$ 効果に関する研究は建築系分野ではかなり以前から行われているが、近年の研究においてもほとんどが微小変形を扱った運動方程式による解析を行っている。ここでは、この近似を用いず大変形解析を行うこととし、その運動方程式は次のようになる。

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

ここに、 m は上部構造物の質量、 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、 H は橋脚高さ、 g は重力加速度である。非線形応答解析においては、微小時間 $\Delta t = 1/1000(s)$ 、減衰定数 $\xi = 5\%$ とし、水平 1 自由度モデルはバイリニア型、回転 1 自由度モデルは完全弾塑性型の復元力特性を仮定した。入力地震動としては、神戸海洋気象台、神戸大学、新神戸変電所、神戸港工事事務所において観測された兵庫県南部地震の加速度記録の NS 成分（水平）と UD 成分（上下）をそれぞれ用いた。図 2 には神戸海洋気象台の記録を示す。

3. 残留変位比応答スペクトル²⁾ ここでは、地震後に生じる残留変位がどの程度であるかを検討するために塑性率を 2,4,6 とし、入力地震動に対して指定された塑性率が生じるように降伏回転角 ϕ_y を定めることとする。そして、応答解析により求めた残留回転角 ϕ_r を可能最大残留回転角 $\phi_{r,max}$ で正規化し残留変位比 r_r を求めた。それらを各固有周期について塑性率および第 2 剛性をそれぞれ変化させることで残留変位比応答スペクトルを算出した。

4. 数値解析結果 図 3 には神戸海洋気象台の波形を入力とし、固有周期 $T = 1.0(s)$ 、降伏震度 $C_y = 0.5$ および橋脚高さ $H = 15m$ とした場合の時刻歴解析結果を示す。さらに、図 4 は橋脚高さを $15m$ および $20m$ とした回転 1 自由度モデルと水平 1 自由度モデルの絶対加速度応答スペクトル比率をとったもので長周期側で比率が小さくなっており、 $P-\Delta$ 効果の影響が生じている。さらに、橋脚高さ $20m$ が $15m$ と比較して比率が小さくなっている。図 5 に各塑性率における残留変位比応答スペクトルを示す。これより剛性比が大きくなるとスペクトルの軽減がみられ、また、それらは塑性率が大きいほど顕著である。図 6 は水平 1 自由度および回転 1 自由度モデルにおける固有周期と塑性率の関係で、上より降伏震度の刻みを 0.1 ずつ大きくしている。回転 1 自由度モデルでは固有周期 1 秒前後において、降伏震度による塑性率の変化が小さくなっていることが読み取れる。

5. まとめ 兵庫県南部地震において観測された水平および上下成分を回転 1 自由度モデルの入力地震動として、各応答スペクトルおよび塑性率を求め、水平 1 自由度モデルの結果との比較検討を行った。今後は、回転 1 自由度系に基礎の並進および回転運動を考慮した多自由度モデルの運動方程式を確立し、応答スペクトルおよび塑性率を算出し動的相互作用の影響を加味した検討を行う予定である。

謝辞：本研究を進める過程で、北海道大学大学院工学研究科麻里哲広助手には参考文献および貴重な意見を頂きま

キーワード：回転 1 自由度モデル、応答スペクトル、塑性率、 $P-\Delta$ 効果

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

した。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献：1) 石山祐二・麻里哲広・井上圭一：構造特性係数の極値について $P-\Delta$ 効果を考慮した1自由度モデルの解析，日本建築学会構造系論文集第520号，pp.29～35，1999.6. 2) 川島一彦・Gregory A.MACRAE・星隈順一・長屋和宏：残留変位応答スペクトルの提案とその適用，土木学会論文集 No.501，pp.183～192，1994.10.

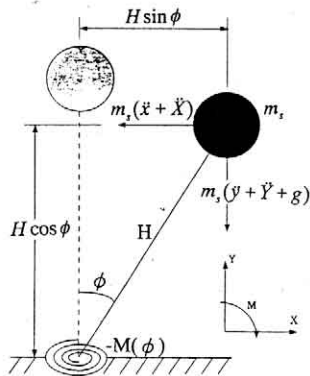
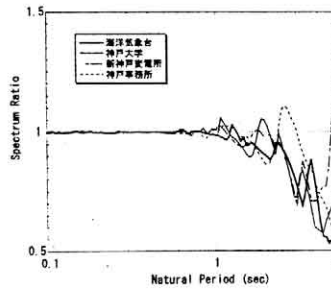
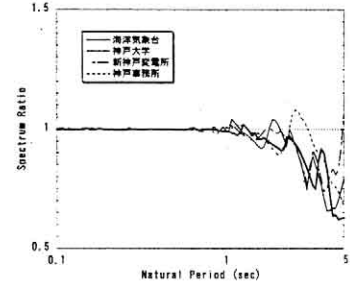


図1 回転1自由度モデル

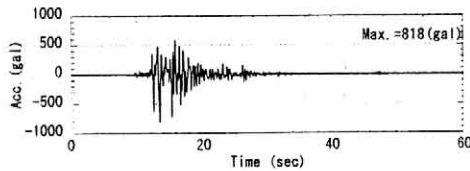


(a) 橋脚高さ 15m

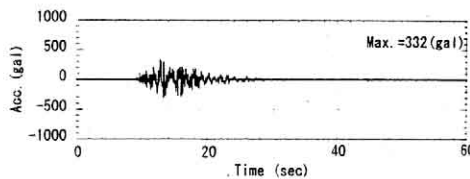


(b) 橋脚高さ 20m

図4 絶対加速度応答スペクトル比

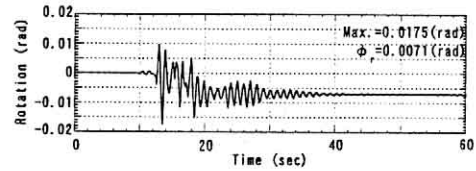


(a) NS 成分 (水平)

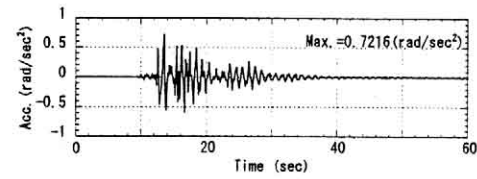


(b) UD 成分 (上下)

図2 入力地震動 (神戸海洋気象台)

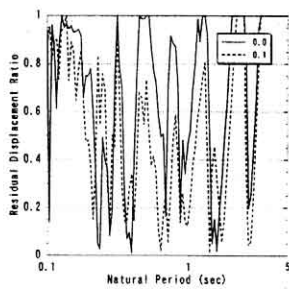


(a) 応答回転角

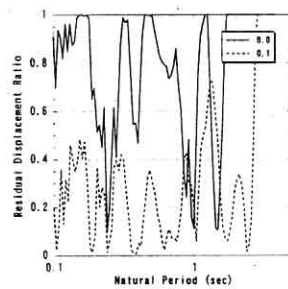


(b) 応答回転角加速度

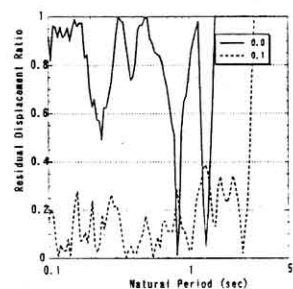
図3 時刻歴解析結果 (橋脚高さ 15m)



(a) 塑性率 $\mu=2$

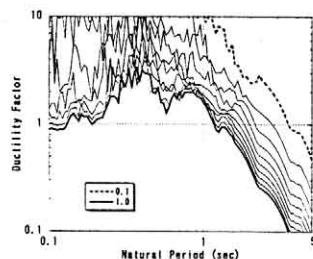


(b) 塑性率 $\mu=4$

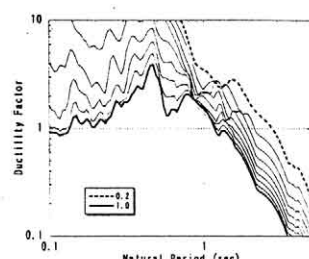


(c) 塑性率 $\mu=6$

図5 残留変位比応答スペクトル



(a) 水平1自由度モデル



(b) 回転1自由度モデル

図6 塑性率