

武蔵工業大学大学院 学生員 青戸 拓起

武蔵工業大学工学部 正会員 吉川 弘道

1. はじめに

近年の大地震時の弾塑性構造物の設計において、靱性を持たせることにより部材を塑性化させ入力を軽減する、靱性設計が採用されつつある。特に単柱式の橋脚など振動系が単純な構造物では、その降伏耐力を評価する方法としてエネルギー一定則を採用していることが多い。

本研究では、鉄筋コンクリートの単柱式橋脚を持つ高架橋の非線形動的解析結果もとにして、その降伏耐力を決定する式(荷重低減係数評価式)を検討し、その精度向上を目指すものである。

2. 荷重低減係数評価式と非線形応答解析

(1) 荷重低減係数評価式

ある塑性変形量を持つ構造物に必要な降伏耐力を決定するための式であり、式(1)のように一般に弾性応答における最大応答せん断力 C_e と降伏耐力 C_y の比(これを荷重低減係数 R とよぶ)を評価するものである。その荷重低減係数 R はその最大塑性変形能力 μ_{resp} によって、エネルギー一定則は式(2a)、変位一定則は式(2b)で表される。すなわち用いる評価式により評価される降伏耐力が異なる。

$$R = C_e / C_y \quad (1)$$

$$R_{ener} = \sqrt{2\mu_{resp} - 1} \quad (2a)$$

$$R_{disp} = \mu_{resp} \quad (2b)$$

本研究では、弾性応答は道示 $V^{(1)}$ に従い、降伏時の割線剛性より算出される固有周期 T_y における減衰定数 5% 時の線形応答としている。

(2) 非線形動的解析

実在の鉄筋コンクリートの単柱式橋脚を例に、復元力に Tri-Liner 型 Takeda モデルを与え、1 質点系の非線形動的応答解析を行った。用いた地震動は観測波形 9 種、基部直接入力とした。

解析方法は地震動の最大加速度を 300Gal~900Gal まで 100Gal 刻みで変化させる。そしてそれぞれの加速

度において最大応答塑性率 μ_{resp} と、弾性最大応答せん断力 C_e を降伏耐力 C_y で除した R を得る。それを設定した加速度ごとに繰り返し荷重低減係数 R と μ_{resp} の関係を求めることができる。すべての地震動においてこれを求めると図-1 の関係が得られる。図中に示す太線は μ_{resp} を各一定則に代入して得られる荷重低減係数を表し、太実線はエネルギー一定則(式(2a))、太い破線は変位一定則(式(2b))である。

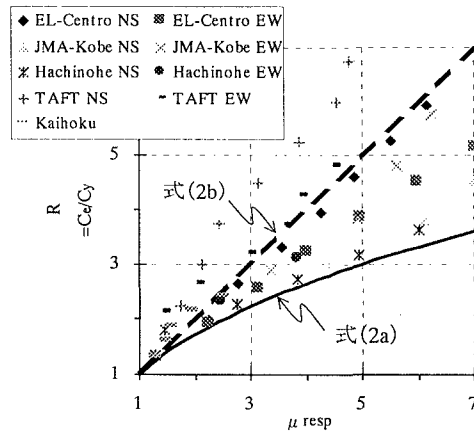


図-1 非線形応答解析結果と両一定則の比較

図-1 から地震動によって荷重低減係数 R と最大応答塑性率 μ_{resp} との関係が大きく異なっていることがわかる。両一定則では地震動の特性の導入が不十分であることがわかる。ただし、エネルギー一定則を下回るものではなく、この橋脚はエネルギー一定則による設計であれば危険な評価を与えない。また、多くの応答がエネルギー一定則と変位一定則の間で評価できる。

(3) 両一定則の精度の検討

両一定則との関係をさらに詳しく検討するため、 $R (=C_e/C_y)$ を各一定則から得られる荷重低減係数 R_{ener} 、 R_{disp} で除してその精度を表す。従ってこれが 1 より小さいと両一定則は危険な評価を与えることになる。

地震動の特性は既往の文献^{2,3)}を参照して、地震応答スペクトルより得られる特性周期に着目する。本研究

キーワード: 非線形動的解析, 荷重低減係数, 応答スペクトル, 地震動周期, 非線形応答スペクトル

連絡先: 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111(内:3241) FAX 03-5707-1165

では、地震応答スペクトルに最も適合するような、図-2に示す擬似応答スペクトルを同定し、速度一定領域の開始点の周期を評価した⁴⁾。これを地震動周期 T_g とし、構造物の周期 T_y との大小関係を表す指標 T_y/T_g を導入した。算出した T_g を表-1に示す。

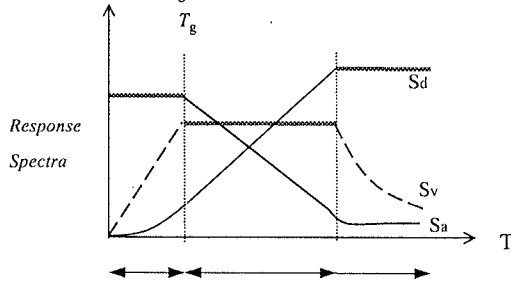
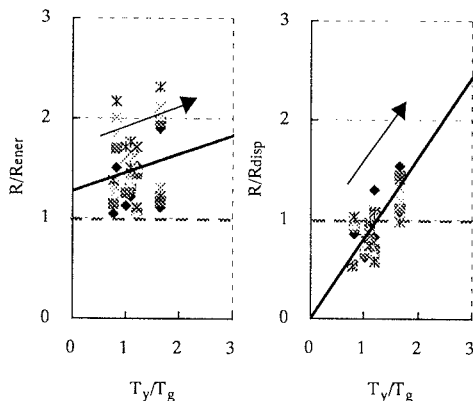


図-2 地震動周期の定義

表-1 地震動周期 T_g 算出結果 (sec)

El-Centro		Hachinohe		Kaihoku
NS	EW	NS	EW	
0.60	0.60	0.55	0.85	0.40
JMA-Kobe		Hachinohe		
NS	EW	NS	EW	
0.65	0.40	0.55	0.85	

すると、各一定則の精度 R/R_{ener} , R/R_{disp} と T_y/T_g の関係は図-3のようになる。同図(a)のエネルギー一定則の精度に関してはよい相関は得られないが、同図(b)の変位一定則の精度は非常によい相関を示している。 T_y/T_g が小さい、すなわち構造物が地震動に比べ短周期であるほど、変位一定則は危険な評価となる。



(a)エネルギー一定則との比較 (b)変位一定則との比較

図-3 地震動周期との関係

3. 荷重低減係数評価式の提案

以上の結果から、式(3)のように変位一定則を T_y/T_g

に応じて補正することで、新たな荷重低減係数評価式を提案した。

$$R^* = 1 + \beta \cdot (\mu_{resp} - 1) \quad (3a)$$

$$\beta = \beta_0 \cdot T_y/T_g \quad (3b)$$

各地震動ごとで最も適合するような定数: β_0 を評価しそれらを平均すると、0.98 (標準偏差: 0.20) となった。

さらに、図-4に示すように、JMA-KOBE NS 波形における非線形応答スペクトル ($\mu_{resp}=4$ の時) で評価される降伏耐力 (震度換算: k_{hy}) と比較した場合、極短周期領域においてエネルギー一定則は危険な評価を与える (ハッチ部) が、提案式はこれを補正していることがよくわかる。

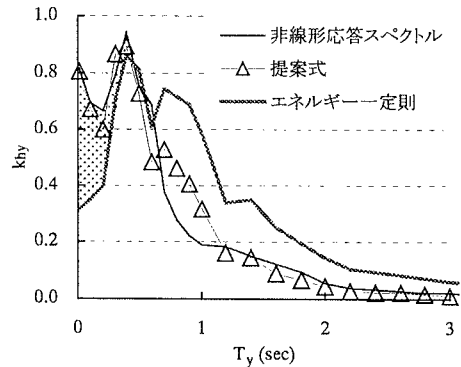


図-4 非線型スペクトルと提案式の比較 ($\mu_{resp}=4$)

また、加速度応答スペクトルのピークにおける地震動の周期 T_0 と T_g の関係がほぼ $T_g = 1.5T_0$ のような関係となった。これを式(3)に導入すると、文献 5) 中に示される式(5.22)とほぼ同等の式が得られそれを追認するものとなった。

4. まとめ

地震動周期と構造物周期の大小関係の評価することで、エネルギー一定則の危険領域を補正し、非線形応答スペクトルと同等の降伏震度が評価できる荷重低減係数評価式を提案した。

- 1) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成8年12月, 1996
- 2) T. Paulay, M. J. N. Priestley ; SEISMIC DESIGN of REINFORCED CONCRETE and MASONRY BUILDINGS, Wiley-Interscience, 1992
- 3) 島崎, 和田: 鉄筋コンクリート構造の地震時水平変位, 日本建築学会構造系論文報告集 第444号, 1993
- 4) 青戸, 吉川, 松原, 浦野, 石川, RC 単柱橋脚の弾塑性応答推定に関する考察, 第10回地震工学シンポジウム, 1998
- 5) M. J. N. Priestly, F. Seible, G. M. Calvi ; SEISMIC DESIGN AND RETROFIT OF BRIDGES, Wiley-Interscience, 1996