

V-540

エネルギー一定則による弾塑性地震応答推定に関する検討

武蔵工業大学 学生員 青戸 拓起 正会員 吉川 弘道
ハザマ技術研究所 正会員 松原 勝巳 正会員 浦野 和彦

1. まえがき

本来, エネルギー一定則は静的な理論であり, 実地震応答への適用においては経験的な手法に過ぎず, その精度も地震動の種類によって左右されてしまう¹⁾²⁾

3). また, 将来の性能設計, 靱性設計においては, 弾塑性応答量の精度の良い推定が必要となる.

そこで, 今一度このエネルギー一定則に着目し, 鉄筋コンクリート単柱式橋脚の非線型動的応答解析を行い, その結果と比較することで, その精度に及ぼすパラメータの検討を行う. その際, 地震応答スペクトルの特徴に着目し, 地震動代表周期の算定を試みた⁴⁾.

2. エネルギー一定則の定義

エネルギー一定則は, 「初期周期の等しい弾性系の最大ポテンシャルエネルギーと弾塑性系の最大ポテンシャルエネルギーとは, 降伏力に関わらずほぼ等しい」と定義され, 式(1)のように表される. C_e は弾性応答震度, C_y は降伏震度, μ_{est} は推定される弾塑性応答量となる推定塑性率である. 鉄筋コンクリート構造物の力学特性はひび割れ点, 鉄筋降伏点を持つ Tri-Linear で表現することが多いため, 初期弾性周期としては降伏点における割線周期 T_y とした⁵⁾.

$$\mu_{est} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{C_e}{C_y} \right)^2 + 1 \right\} \quad (1)$$

3. 非線型応答解析とエネルギー一定則

実地震記録を用いて, 非線型動的応答解析を行い, その結果とエネルギー一定則を比較する.

解析モデルは, 実際の RC 単柱橋脚モデルをもとに主筋量を変化させたものを($pt=1.2\% \sim 2.4\%$)3 種作成し, これを地盤を無視した 1 質点 2 自由度系にモデル化した. 復元力モデルは武田モデル($\gamma=0.4$)とし, Newmark- β ($\beta=1/4$)を用いた直接積分法による非線型動的応答解析を実施した.

用いた地震波は, 兵庫県南部地震での神戸海洋気象台観測波南北成分(JMA-KOBE), エル・セントロ波

の南北成分(El-Centro)の 2 種を用い, その加速度波形を最大加速で基準化(300gal~1000galまで 100gal 刻み)して用いた.

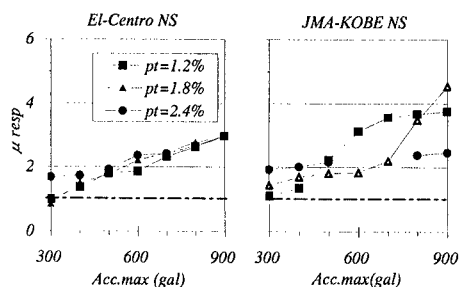


図-1 地震動最大加速度と最大応答値

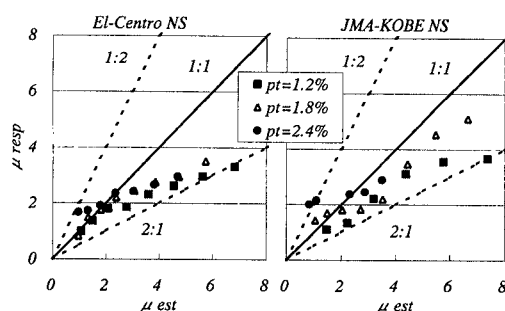


図-2 エネルギー一定則による推定値と最大応答値

すると, いずれの地震においても入力 の最大加速度の増加とともに最大応答塑性率 μ_{resp} は上昇している(図-1). また, 各地震波についてその結果をエネルギー一定則による推定値 μ_{est} と比較すると図-2 のようになった. いくつかの研究¹⁾³⁾⁴⁾においてエネルギー一定則の適合性は, 対象構造物の固有周期や地震波によって異なることが報告されており, この解析においても 2 種の地震動, 鉄筋比が異なる構造物により, その適合性が異なることが確認された.

4. 地震動特性周期の算出

地震応答スペクトルは 2 つの折れ点を持つ形で特徴

キーワード: エネルギー一定則, 弾性周期, 地震動周期, 地震動最大加速度

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

づけられており⁴⁾、折れ線スペクトルの作成を試みた。

その2つの折れ点はスペクトルの短周期側より、第1特性周期 T_{c1} 、第2特性周期 T_{c2} とする。すると折れ線スペクトルの形状は、疑似応答スペクトルの関係を用いて式(2)(3)(4)で表わされる。式中の定数 A , B , C , は折れ点の座標により決まる定数である。この3つの式が各地震応答スペクトルに重なるように T_{c1} , T_{c2} , 等を定めた(図-3)。本論では T_{c1} のみに着目し、これを地震動の代表周期と考え、地震動周期 T_g とよぶこととする。

$$\text{変位応答スペクトル: } S_d = \begin{cases} A \cdot T^2 & (0 \leq T < T_{c1}) \\ B \cdot T & (T_{c1} \leq T < T_{c2}) \\ C & (T_{c2} < T) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{速度応答スペクトル: } S_v = S_d \cdot \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

$$\text{加速度応答スペクトル: } S_a = S_d \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \quad (4)$$

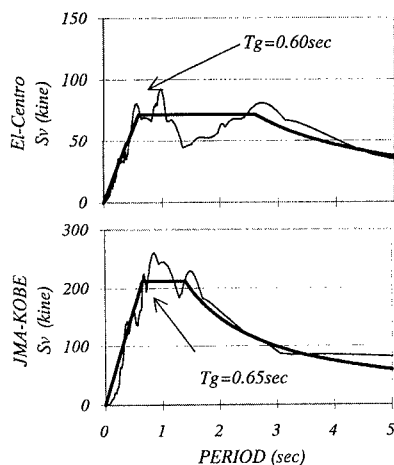


図-3 応答スペクトルと地震動周期

以上の条件より地震波の地震動周期 T_g は JMA-KOBE で 0.65sec, EL-Centro で 0.60sec となった。この地震動周期 T_g を境に、加速度応答スペクトルの形状は一定領域から下降領域へ、同様に速度応答スペクトルは上昇領域から一定領域へ、とその形状は大きく変化する。この T_g を用いて地震動の周期特性を代表させ、エネルギー一定則の適合性を考察してみる。

5. エネルギー一定則と地震応答

地震加速度が上昇とともに最大応答値も上昇する(図-3)ことから、最大応答点における割線周期 T_{eff} に着目すると、図-4 のように整理できる。 T_y/T_g , $T_{eff}/T_g \gg 1$ ほど、エネルギー一定則は過大評価(安全

値)となり、 T_y/T_g , $T_{eff}/T_g \approx 1$ ほど、エネルギー一定則は過小評価(危険値)となり、つまりエネルギー一定則の精度は弾性周期のパラメーターである T_y/T_g だけでは説明できないことがここでも分かる。従って、エネルギー一定則を用いる耐震設計において、弾塑性応答の特性も考慮する必要があり、 T_y , T_{eff} に着目し、その地震応答スペクトルとの位置関係を表す指標により、エネルギー一定則の精度の改善が期待できるものと思われる。

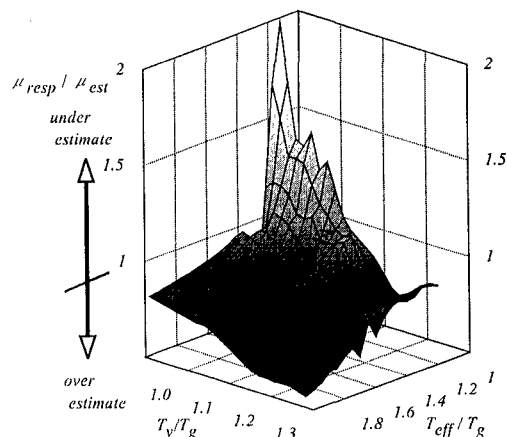


図-4 推定精度と各種パラメータ

7. まとめ

- ・エネルギー一定則の精度は、構造物の弾性周期 T_y 、最大応答点における周期 T_{eff} 、地震動周期 T_g の最低3つのパラメーターによって整理できる。
- ・本論では実地震動の応答スペクトルから客観的に特性周期 T_c (または地震動周期 T_g)を定めており、地震動の特性周期を算出する合理的な方法が必要であると思われる。

- 1) Veletsos, A. S. and Newmark, N. M. : Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple Systems to Earthquake Motions, Proceedings of 2nd WCEE, vol.2
- 2) Priestley, M.J.N. and Paulay, T. : Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, 1992
- 3) 梅村 魁: 鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法・続(中層編), 技報堂, 1982
- 4) 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, 1993.2
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成8年12月, 1996