

徳島大学大学院 学生会員〇三上 卓 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔
 徳島大学工学部 正 会 員 澤田 勉 徳島大学大学院 正 会 員 成行義文

1. はじめに

現行の道路橋示方書¹⁾では、地震時保有水平耐力法を用いた道路橋の耐震設計がなされているが、その際、エネルギー一定則に基づく設計地震力の低減がなされているなど、さらに検討すべき点が残されている。一方、著者らは、強震下における構造物の各種限界状態に対応する、修正 Park らの損傷指標 D ²⁾の所定値 D_r を満たす構造物の降伏強度比である所要降伏強度比をもとに、所要降伏震度を算定し、道路橋示方書における等価水平震度との比較を行った³⁾。そこで本研究では、これに関連した研究として、解析より得られた地震力の低減係数より定義される修正等価水平震度、並びに、所要降伏震度の包絡線を直線近似した設計用震度スペクトルを提案し、道路橋示方書における等価水平震度との比較検討を試みた。

2. 損傷指標・所要降伏強度比

本研究では、構造物の損傷を制御する指標として、式(1)に示す修正 Park らの指標を用いた。なお、式(1)の μ_d , μ_h , μ_u は、それぞれ変位靱性率、エネルギー靱性率、終局変位靱性率を表す。また、強震下における構造物の損傷を支配する重要なパラメータの一つに降伏強度比 R (式(2))がある。本研究では、式(1)の損傷指標 D の所定値 D_r を満たす降伏強度比 R の値を D_r に対する所要降伏強度比 R_r と定義した。

$$D = \frac{(\mu_d - 1) + \beta \cdot \mu_h}{\mu_u - 1} \quad (1)$$

$$R = \frac{Q_y}{Q_{\text{emax}}} = \frac{Q_y}{m \cdot S_a} \quad (2)$$

$$Q_{yr} = R_r \cdot Q_{\text{emax}} = R_r \cdot m \cdot S_a \quad (3)$$

$$k_{\text{hyr}} = \frac{Q_{yr}}{W} = \frac{Q_{yr}}{m \cdot g} \quad (4)$$

$$r_R = \frac{Q_{p\text{max}}}{Q_{\text{emax}}} = \frac{Q_{p\text{max}}/Q_{yr}}{1/R_r} = R_r \{ (1-p) + p \cdot \mu_d \} \quad (5)$$

$$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \cdot \delta_y} = 1 + \frac{\mu_u - 1}{\alpha} \quad (6)$$

$$r_E = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \mu_a - 1}} \quad (7)$$

$$k_{\text{he}} = \frac{c_z \cdot k_{\text{hc0}}}{\sqrt{2 \cdot \mu_a - 1}} = c_z \cdot k_{\text{hc0}} \cdot r_E \quad (8)$$

$$k_{\text{hem}} = c_z \cdot k_{\text{hc0}} \cdot r_R \quad (9)$$

3. 所要降伏震度

式(2)より、所要降伏強度比 R_r から所要降伏強度 Q_{yr} が式(3)のように得られ、この所要降伏強度 Q_{yr} を構造物の重量 W で除して得られる式(4)の震度 k_{hyr} を所要降伏震度とした。

4. 修正等価水平震度

4.1 低減係数 弾塑性剛性比 p を考慮した最大復元力 $Q_{p\text{max}}$ と弾性最大復元力 Q_{emax} の比で表される r_R (式(5))を本研究における地震力の低減係数とした。一方、道路橋示方書では、低減係数 r_E をエネルギー一定則に基づき、終局変位靱性率 μ_u と安全係数 α (B種の橋;3.0(タイプI), 1.5(タイプII))より求まる式(6)の許容塑性率 μ_a ¹⁾を用いて、式(7)のように定義されている。

4.2 修正等価水平震度 現行示方書の地震時保有水平耐力法では、式(8)のように、設計水平震度の標準値 k_{hc0} に地域係数 c_z を乗じた設計水平震度 k_{hc} を、式(7)のエネルギー一定則による低減係数 r_E で低減した等価水平震度 k_{he} ¹⁾を設計地震力の算定に用いている。しかし、その妥当性についてはあまり定かではない。そこで本研究では、上記の設計水平震度 k_{hc} に、式(5)の低減係数 r_R を乗じて得られる式(9)の震度を修正等価水平震度 k_{hem} と定義した。

5. 入力地震動・構造特性値

5.1 入力地震動 本研究では、道路橋示方書V耐震設計編¹⁾に規定されている、レベル2(タイプI, タイプII)地震動のI種, II種, III種地盤に対する動的解析用の加速度応答スペクトルを目標として、地盤種別ごとにタイプI地震動各3個, タイプII地震動各4個, 計21個の模擬地震動³⁾を作成し、入力地震動とした。

表-1 構造特性値

減衰係数 h	0.02, 0.05, 0.10
弾塑性剛性比 p	0.00, 0.05, 0.10
固有周期 T	0.1~5.0 秒の範囲を対数軸上で 29 等分した 30 通りの値
損傷指標 D	0.4, 0.6, 0.8, 1.0
変位靱性率 μ_u	4.0, 6.0, 8.0, 10.0
正の係数 β	0.00, 0.05, 0.15

表-2 設計用震度スペクトルの直線式

地盤種別	固有周期Tに対する設計用所要降伏震度の値		
(a) タイプⅠ地震動, Dr=0.4			
Ⅰ種地盤	$T \leq 1.15$	$1.15 < T$	
	$0.38 \cdot T^{-0.1}$	$0.43 \cdot T^{-1}$	
(b) タイプⅠ地震動, Dr=1.0			
Ⅰ種地盤	$T < 0.82$	$0.82 \leq T < 2.60$	$2.60 \leq T$
	$0.30 \cdot T^{-0.1}$	$0.25 \cdot T^{-1}$	$0.65 \cdot T^{-2}$
(c) タイプⅡ地震動, Dr=0.4			
Ⅰ種地盤	$T < 0.35$	$0.35 \leq T < 0.64$	$0.64 \leq T$
	$1.78 \cdot T^{0.35}$	$0.72 \cdot T^{-0.5}$	$0.42 \cdot T^{-1.7}$
(d) タイプⅡ地震動, Dr=1.0			
Ⅰ種地盤	$T < 0.31$	$0.31 \leq T < 0.55$	$0.55 \leq T$
	$1.2 \cdot T^{0.25}$	$0.4 \cdot T^{-0.7}$	$0.22 \cdot T^{-1.7}$

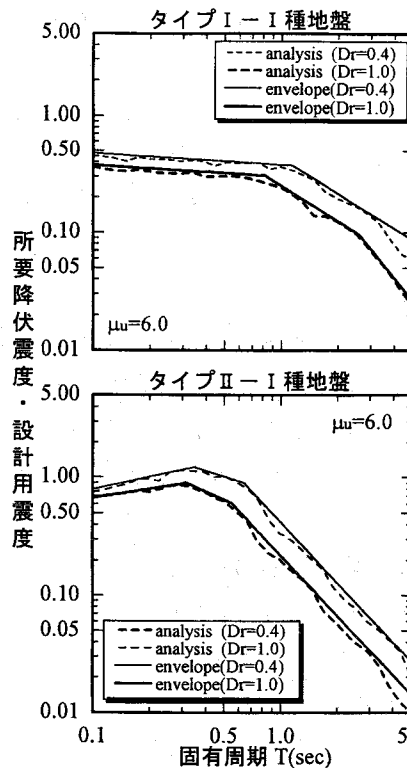


図-1 設計用震度スペクトル

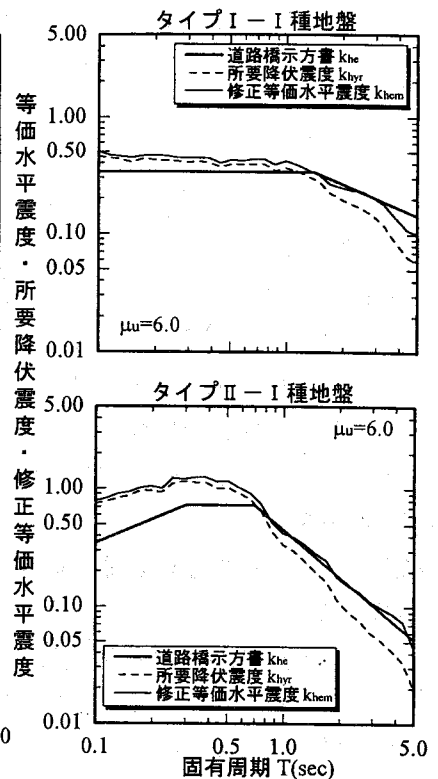


図-2 修正等価水平震度

5.2 構造特性値 本研究で用いた解析モデルは、Q-hyst 型復元力特性を有する一自由度系モデルであり、減衰定数 h などの諸量については表-1 に示す値を用いた。

6. 解析結果

本研究で求めた所要降伏震度 k_{hyr} のスペクトル値は、損傷指標の所定値 D_r および終局変位靱性率 μ_u の値によって異なり、固有周期 T に対する依存性も複雑である。したがって、解析値をそのまま耐震設計に用いることは好ましくない。そこで、本研究では、解析より得られた所要降伏震度曲線をもとに、これを包絡するように直線近似したものを設計用震度スペクトルと定義した。その一例として、図-1 に、損傷指標の所定値 $D_r=0.4$ および 1.0 、終局変位靱性率 $\mu_u=6.0$ とした場合の所要降伏震度曲線 (k_{hyr}) とそれを直線近似した設計用震度スペクトルを比較して示した。

図-2 は、損傷指標 $D_r=0.4$ 、終局変位靱性率 $\mu_u=6.0$ とした場合の、4.2 で定義した、修正等価水平震度 k_{hem} と道路橋示方書の等価水平震度 k_{he} を比較したものである。参考のため、所要降伏震度 k_{hyr} も示した。

図より、本研究の修正等価水平震度 k_{hem} は、 $T < 1.0$ sec の短周期域において所要降伏震度 k_{hyr} と、 $T > 1.0$ sec の長周期域において道路橋示方書の等価水平震度 k_{he} と概ね一致している。

7. まとめ

本研究で提案した設計用震度スペクトルは、各種限界状態 (D_r の値) に応じた設計震度を求めることができ、有用であると思われる。また、現行示方書のエネルギー一定則に基づく地震力の低減方法は、短周期域において、過剰の低減が行われており、今後、見直す必要があると思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，1996.12.
- 2) Park, Y.J. and Ang, A.H-S: Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, J. of Structure Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739, 1985.
- 3) 三上 卓・平尾 潔・成行義文・澤田 勉・笹田修司：レベル 2 地震動に対する損傷制御スペクトルに関する一研究，構造工学論文集，Vol.45A, pp.809-818, 1999.3.