

終局変位靱性率を目標とした一自由度系の所要降伏強度比スペクトルに
関する一研究

新 井 組 正員○山田義雄 徳島大学工学部 正員 平尾 潔
徳島大学工学部 正員 成行義文 徳島大学工学部 正員 沢田 勉

1. まえがき 本研究は、強震下における構造物の実用的な安全性の照査方法を確立するための基礎的研究として、終局変位靱性率を目標とした一自由度系構造物の所要降伏強度比スペクトル R_s を応答解析より求め、入力地震動並びに構造特性（固有周期、減衰定数、弾塑性剛性比、復元力特性）の相違がこの降伏強度比スペクトルに及ぼす影響について若干の比較検討を行ったものであり、構造特性値をパラメータとしたこの R_s の平均応答スペクトル R_{sa} に対する回帰式も導いている。

2. 所要降伏強度比スペクトル R_s Park と Ang¹⁾ は、多くの RC ばり及び柱に対する実験結果を統計処理し、式 (1) の損傷指標 D を用いた地震による構造物の安全性照査方法（崩壊： $D \geq 1$ 、安全： $D < 1$ ）を提案している。

$$D = (\delta_u + \beta \{dE/Q_y\}) / \delta_u \quad (1)$$

ここで、 δ_u , δ_u , $E_n = \{dE$, Q_y 及び β は、それぞれ、最大変位、終局変位、履歴吸収エネルギー、降伏強度、及び係数を表す。

$$\mu_u = (\mu_d + \beta \cdot \mu_n) / D \quad (2)$$

式 (1) を変形すれば式 (2) のようになる。ここで、 $\mu_u = \delta_u / \delta_y$, $\mu_d = \delta_u / \delta_y$, $\mu_n = E_n / (Q_y \cdot \delta_y)$ は終局変位靱性率、最大変位靱性率、エネルギー靱性率であり、 δ_y は降伏変位を表す。本研究では、損傷指標 $D = 1$ とした式 (2) を用いて、与えられた構造物固有の終局変位靱性率 μ_u の値を再現するような降伏強度比 R を、繰返し応答解析により求め、この R を固有周期に応じてプロットしたものを所要降伏強度比スペクトル R_s と呼ぶことにする。また、既往の研究では、式 (3), (4) のような 2 つの異なる降伏強度比 R_1 、 R_2 が用いられている²⁾ が、これら両者は、式 (5) の変換係数 C_{wx} によって互換可能であるから、本研究では主に R_1 スペクトルについて検討した。

$$R_1 = Q_{emax} / Q_y = X_{emax} / X_y \quad (3), \quad R_2 = M \cdot \dot{X}_{emax} / Q_y \quad (4)$$

$$C_{wx} = R_2 / R_1 = \omega^2 X_{emax} / \dot{X}_{emax} = \omega^2 X_{emax} \quad (5)$$

ここで、 Q_{emax} , X_{emax} は弾性応答解析より得られる最大復元力及び変位であり、 $\dot{X}_{emax}$ は最大入力加速度 $\dot{X}_{gmax}$ を $1g$ としたときの最大変位である。また、 M は質量、 ω は固有円振動数を表す。

3. 解析方法 地震動入力を受ける一自由度系の運動方程式、及びエネルギー応答式は式 (6), (7) のように表される。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + Q(X) = -M\ddot{X}_0 \quad (6)$$

$$\int M\dot{X}\dot{X}dt + \int C\dot{X}\dot{X}dt + \int Q(X)dX = -\int M\dot{X}_0\dot{X}dt \quad (7)$$

ここで、 $\ddot{X}_0$ は入力地震動の加速度、 X , $\dot{X}$, $\ddot{X}$, $C = 2Mh\omega$ 及び $Q(X)$ は、それぞれ、系の相対変位、相対速度、相対加速度、減衰係数 (h は減衰定数) 及び復元力を表し、式 (7) の左辺第 3 項が系の履歴吸収エネルギーを表す。なお、本解析では、式 (6) は線形加速度法により解き、式 (7) は台形公式により数値積分した。また、系の復元力特性としては、図-1 (a), (b) に示すような、Bi-linear モデル及び Q-hyst モデルを用い、周波数特性の異なる 7 つの実地震動記録を入力して解析した。その際、系の構造特性パラメータ、すなわち固有周期 T 、減衰定数 h 、弾塑性剛性比 p 、及び終局変位靱性率 μ_u を表-1 のように数通りに変化させ、図-1 (a) Bi-linear モデル (b) Q-hyst モデル

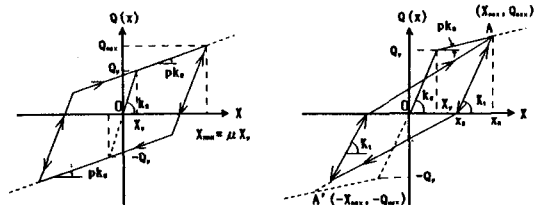


図-1 (a) Bi-linear モデル (b) Q-hyst モデル

これらの h , p 及び μ_u の各組み合わせに対する所要降伏強度比スペクトル R_s を繰返し解析により求めた。

表-1 系の構造特性パラメータ

終局変位靱性率: μ_u	2	5	10	15
減衰定数: h	1.0%	2.0%	5.0%	10.0%
弾塑性剛性比: p	0.00	0.25	0.50	0.75
固有周期: T	0.1 ~ 10秒の間を対数軸上で14等分した15通りの値			

4. 解析結果 詳細は発表会当日にゆずり、ここでは図-2に EL-Centro地震を入力した場合の各スペクトル R_{1s} 、 R_{2s} 、 C_{wxs} の関係を、図-3に入力地震動の相違による R_{1s} のばらつきの様子を、また図-4に7つの地震動による平均スペクトル R_{1sa} と本研究で導いた回帰式によるそれとの関係を、それぞれ比較して示しておく。

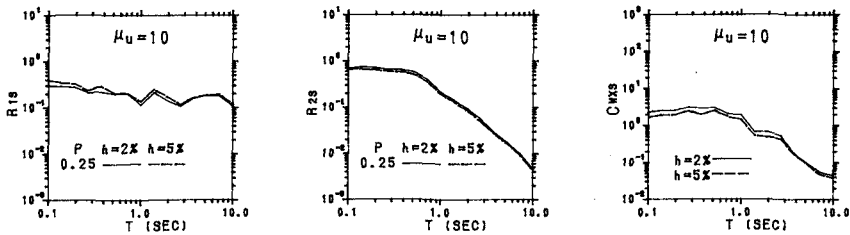


図-2 降伏強度比スペクトル R_{1s} 、 R_{2s} と変換係数 C_{wxs} との関係

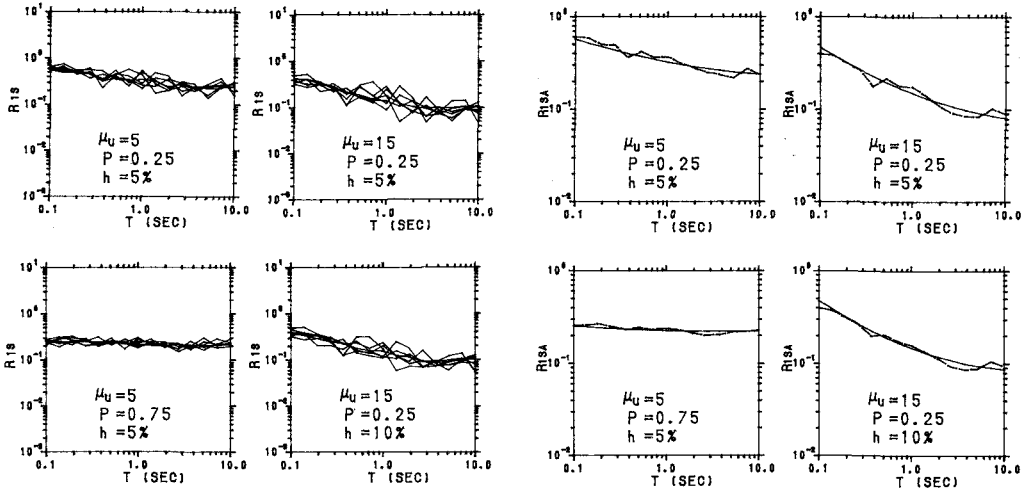


図-3 入力地震動の相違による R_{1s} のばらつき

図-4 平均スペクトル R_{1sa} と回帰式の値との比較

5. まとめ 本研究結果を要約すれば、1) 所要降伏強度比スペクトル R_{1s} と R_{2s} はスペクトル C_{wxs} を介して互換可能である。また、 R_{1s} と R_{2s} の固有周期に対する依存性は、その定義に系の固有周期が加味されている(式(3)参照) R_{1s} では小さく、 R_{2s} ではかなり大きい。2) 入力地震動の相違による R_{1s} のばらつきは終局変位靱性率 μ_u 及び固有周期 T が小さいものほど、また減衰定数 h 及び弾塑性剛性比 p が大きいものほど少ない。3) 構造物の μ_u 、 T 、 h 及び p が既知であれば、回帰式よりその所要降伏強度比 R_{1s} を比較的精度よく推定できる、ことなどである。

参考文献 1) Y. J. Park & A. H. S. Ang; MECHANISTIC SEISMIC DAMAGE MODEL FOR REINFORCED CONCRETE, J of Struc. Eng., ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 772 ~ 789, 1985. 2) 平尾・沢田・成行・笹田; 強震下における一自由度系の履歴吸収エネルギーと弾性応答値との関係について、土木学会論文集, No. 368, pp. 401 ~ 410, 1986