

構造物の所要降伏強度比スペクトルとこれを用いた耐震安全性の照査方法

徳島大学大学院 学生員 〇川端 茂樹 徳島大学工学部 正員 平尾 潔
 阿南工専 正員 笹田 修司 日産建設 正員 正上 幸寛

1. まえがき 本研究では、強震下における構造物の実用的な耐震安全性照査法を導くための基礎的研究として、構造物の損傷と密接な関係にある降伏強度比 R に注目し、 Q -hyst型1自由度系構造物を対象として、Parkらの損傷指標 D の所定の値を満たす降伏強度比、すなわち所要降伏強度比 R_r を求めた。そしてこの所要降伏強度比 R_r と系の構造特性値、損傷指標 D の値並びに入力地震動の A/V (最大加速度/最大速度) 値等との関係について比較検討し、この R_r に対する回帰式を導いた。さらに所要降伏変位最大加速度比 $(X_y/\dot{x}_{o,max})_r$ なるものも導き、これら R_r と $(X_y/\dot{x}_{o,max})_r$ を用いた耐震安全性の照査方法について検討した。

2. 損傷指標 D と降伏強度比 R 本研究では地震による構造物の損傷を定量的に評価するための指標として、数式表現が簡単な式(1) に示すParkら¹⁾の損傷指標 D を採用した。また、損傷と密接な関係にある構造物の強度を表すものとして、構造物の動特性を考慮した²⁾

$$\text{式(2)の降伏強度比 } R \text{ を用いた。ただし、式(1)の } \mu_w = D = (\mu_D + \beta \mu_H) / \mu_w \quad (1)$$

$$X_w / X_y, \mu_D = X_{max} / X_y, \mu_H = E_h / (Q_y \cdot X_y) \text{ 及び } \beta \text{ は、それ } R_1 = Q_y / Q_{o,max} = X_y / X_{o,max} \quad (2)$$

ぞれ終局変位靱性率、変位靱性率、エネルギー靱性率及び

断面特性に依存した正の係数¹⁾を表す。また、式(2)の Q_y, X_y はそれぞれ降伏強度、降伏変位を表し、 $Q_{o,max}, X_{o,max}$ は構造物を弾性系とみなした場合の最大復元力、最大応答変位を表す。

3. 復元力特性と構造特性値 式(1)の損傷指標 D は多くのRC部材に対する実験結果を統計処理して導かれたものである。したがって、

本研究ではこれに呼応し、解析の対象とした1自由度系の復元力特性として、RC構造物(部材)の復元力特性をマクロ的に捉えた、図-1の Q -hyst モデルを用いた。また、解析に用いた系の固有周期 T 、減衰定数 h 、弾塑性剛性比 γ 、損傷指標

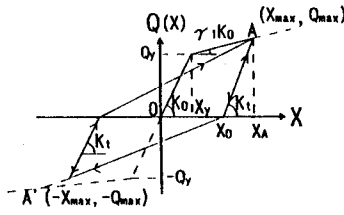


図-1 Q-hyst モデル

表-1 系の構造特性値

D	0.5	0.75	1.0
μ_w	2	5	10
β	0.05	0.15	0.25
h	0.05		
γ	0.1		
T	0.1~5.0 秒の範囲の15通り		

D 及び部材の断面特性に依存した正の係数 β の値は、それぞれ表-1 のようである。

4. 入力地震動 入力地震動としては、解析結果に一般性を持たせるために、道路橋示方書V耐震設計編²⁾の平均加速度応答スペクトルを目標とした模擬地震動30個を作成し、これを用いた。その際、各地震動の A/V 値が構造物の損傷に関係する入力地震動特性を代表するものとみなし³⁾、作成した模擬地震動を各10個ずつの3つのグループすなわち、 A/V 値が比較的大きいグループ(H)、中間的なグループ(M)、比較的小さいグループ(L)に分類した。

5. 所要降伏強度比 R_r 一般に、地震による構造物の損傷は、構造物の降伏強度比 R が大きく(小さく)なると小さく(大きく)なる。したがって、本研究では式(1)の損傷指標 D の所定の値 D_r を満たす R の値を D_r に対する所要降伏強度比 R_r と定義し、 R の値を順次変化させながらエネルギー応答解析を繰り返しこの所要降伏強度比 R_r を求めた。

6. 解析結果 表-1に示す諸量を持つ Q -hyst型1自由度系と4.で述べた模擬地震動30個の各組み合わせに対し、所要降伏強度比 R_r を求めた。そして入力地震動グループ(H),(M),(L)各10個ごとの R_r の平均

値 R_{rm} と構造物の固有周期 T 、終局変位靱性率 μ_u 、正の係数 β 及び損傷指標 D の値との関係と比較検討し、これらの T 、 β 、 μ_u 、及び D をパラメータとした R_{rm} の回帰式を各グループごとに導いた。紙面の都合上、 A/V の大きいグループ (H) に対する結果を示せば式 (3) のようである。また、 $\beta=0.5$ 、 $\mu_u=2, 5, 10$ とし、損傷指標 D を 1 及び 0.75 とした場合の平均所要降伏強度比 R_{rm} に対する解析結果と式 (3) より求めた回帰結果を比較して示せば、それぞれ図-2、3 のようである。

$$R_{rm} = 0.033 - 0.067/D + \beta (-0.248 + 0.388/D) + (-0.408 + 1.301/D + \beta (2.654 - 1.791/D)) / \mu_u + (0.013 + \beta (0.051 - 0.014/D)) / T \quad (3)$$

6. 安全性の照査 前述のように本研究で求めた所要降伏強度比 R_r (R_{rm}) は、構造物の損傷指標 D が所定の値 D_r となるような降伏強度比 R であり、構造物の R がこの R_r より大きく (小さく) なれば、 D の値は $D < D_r$ ($D > D_r$) となる。したがって、耐震設計における安全性照査のための D の値、 D_r が定まれば、式 (3) より対応する R_r が求まり、これと実際の R とを比較することにより容易に安全性の照査 ($R \geq R_r$:安全, $R < R_r$:崩壊 (危険)) が行えることになる。

また式 (2) の R の定義には構造物の弾性応答値 ($Q_{o,max}$, $X_{o,max}$) が含まれているため、本研究では、図-4 に示すように、これを求めるために必要な式 (4) の擬似加速度応答倍率 C_R に対する回帰式、式 (5) も導いている。

$$C_R = \omega^2 \cdot X_{o,max} / \ddot{X}_{o,max} \quad (4)$$

$$\text{Log}_{10}(C_{Rm} / \omega^2) = -1.745 - 0.327 / (T + 0.17) \quad (5)$$

ただし、式 (4) の ω 、 $\ddot{X}_{o,max}$ はそれぞれ構造物の固有円振動数、入力地震動の最大加速度を表す。したがって、式 (2) 及び (4) の関係より平均所要降伏変位加速度比 ($X_y / \ddot{X}_{o,max}$) $_{rm}$ が式 (3)、(5) の R_{rm} 、 C_{Rm} を用いて式 (6) のように表されることになる。それゆえ安全性照査に用いる地震動の最大加速度 $\ddot{X}_{o,max}$ (震度) が与えられていれば、式 (7) より、これに対応する所要降伏変位 $X_{y,r}$ が求まり、

$$(X_y / \ddot{X}_{o,max})_{rm} = (C_R / \omega^2)_{rm} \cdot R_{rm} \quad (6)$$

$$X_{y,r} = (X_y / \ddot{X}_{o,max})_r \cdot \ddot{X}_{o,max} \quad (7)$$

この $X_{y,r}$ と対象構造物の降伏変位 X_y を比較することにより、降伏強度比の場合と同様に安全性の照査 ($X_y \geq X_{y,r}$:安全, $X_y < X_{y,r}$:崩壊 (危険)) が行えることになる。なお、図-5 に最大加速度 $\ddot{X}_{o,max}$ を与えた場合の対応する所要降伏変位 $X_{y,r}$ の一例を示しておく。

5. まとめ 本研究結果を要約すれば、1) 所要降伏強度比 R_r は、構造物の終局変位靱性率 μ_u 、及び固有周期 T 、正の係数 β 並びに入力地震動の A/V の影響を受ける。2) 本研究で提案した所要降伏強度比 R_r 及び所要降伏変位最大加速度比 ($X_y / \ddot{X}_{o,max}$) $_r$ は、構造物の終局安全性の照査に有用である。

参考文献 1) Park, Y. J. and Ang, A. H. S. and Wen, Y. K.: Damage-Limiting aseismic design of buildings, Earthquake spectra, Vol. 3, No. 1, pp. 1-26, Feb. 1987 2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 pp. 141-147, 1990年 2月 3) 平尾・沢田・成行: 地震応答解析に用いる降伏強度比の定義とその互換性について 土木学会論文集 No. 465/I-23, pp. 159-162, 1993. 4

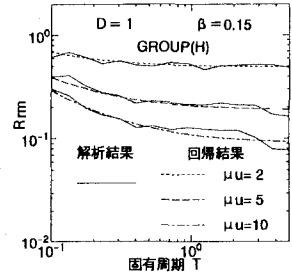


図-2

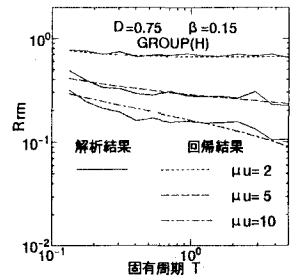


図-3

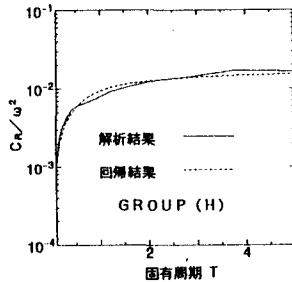


図-4

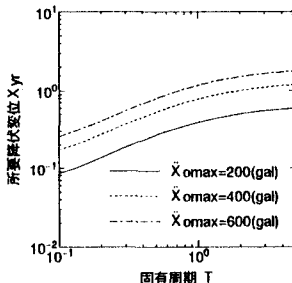


図-5