

I-823

強震時1自由度系の所要降伏強度比スペクトルについて

徳島大学大学院 学生員○三上 卓 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔
 阿 南 高 専 正 員 笹田 修司 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、Bilinear型及びQ-hyst型復元力特性を有する1自由度系構造物を対象として、Parkらの損傷指標¹⁾、Krawinklerらの損傷指標²⁾及び宇佐美らの損傷指標³⁾ D の所定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 について、損傷指標の相違による R_r スペクトルを比較して示し、系の構造特性値、復元力特性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。

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、繰り返し荷重を受けるRC部材の実験結果より導かれた式(1)に示すParkらの損傷指標、低サイクル疲労の考え方を導入し鋼構造部材の実験結果より導かれた式(2)に示すKrawinklerらの損傷指標並びに合成柱の実験結果より導かれたParkらとKrawinklerらの指標を組合せた形の式(3)に示す宇佐美らの損傷指標を解析の対象とした。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、式(4)の降伏強度比 R を用いた。ただし、 $\mu_u = X_u/X_y$ 、 $\mu_D = X_{max}/X_y$ 、 $\mu_H = E_H/(Q_y \cdot X_y)$ 、 μ_{Di} は、それぞれ終局変位靱性率、変位靱性率、エネルギー靱性率、履歴半サイクルあたりの変位靱性率を表し、 β 及び c は、それぞれ断面特性及び構造特性に依存した係数を表す。また、式(4)の Q_y 、 X_y はそれぞれ降伏強度、降伏変位を表し、 Q_{emax} 、 X_{emax} 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 本研究では、解析の対象とした1自由度系の復元力特性として、Bilinearモデル(図-1)及びQ-hystモデル(図-2)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 p 、損傷指標 D 、係数 β 及び c の値はそれぞれ表-1のようである。

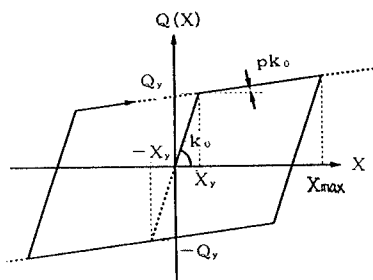


図-1 Bilinearモデル

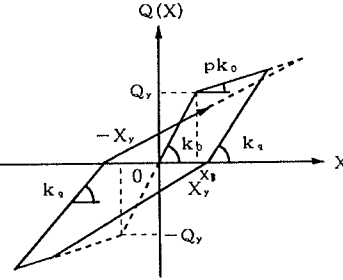


図-2 Q-hystモデル

表-1 系の構造特性値

D	1.0		
μ_u	2	5	10
β	(Park) 0.05 (宇佐美)	0.15 0.11	0.25
c	(Krawinkler) 1.6 (宇佐美)	1.8 2.0	2.0
h	0.05		
p	0.1		
T	0.1~5.0 秒の範囲の15通り		

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(最大加速度/最大速度)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、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(Ⅱ)、中間的なグループ

ブ(M),比較的小さいグループ(L)に分類し、入力地震動の相違が R_{rm} に及ぼす影響を比較検討した。

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)~(3)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たエネルギー応答解析の繰り返しにより、この所要降伏強度比 R_r を求めた。

6. 解析結果 2., 3.及び4.で述べた各損傷指標、各復元力モデル、構造特性値及び模擬地震動に対する所要降伏強度比 R_r を求めた。そして、各復元力モデルにおける損傷指標の相違が入力地震動グループ(H), (M), (L)各10個ごとの R_r の平均値（平均所要降伏強度比） R_{rm} の値に及ぼす影響を、終局変位靱性率 μ_u 及び入力地震動グループごとに比較検討した。一例として、図-3に、Parkら($\beta=0.05$), Krawinklerら($c=0.16$)及び宇佐美ら($\beta=0.11, c=2.0$)の損傷指標 D の値を1.0($D_r=1.0$)とし、終局変位靱性率 $\mu_u=10.0$ としたBilinearモデルの入力地震動グループ(L)に対する平均所要降伏強度比 R_{rm} の値を比較して示しておく。また、Q-hystモデルに対する同様な結果を示しておけば、図-4のようである。ただし、図-4では、Parkら及びKrawinklerらの指標における係数をそれぞれ、 $\beta=0.15$, $c=0.18$ としている。

つぎに、本研究では、このようにして求めた R_{rm} スペクトルの回帰式を、構造物の固有周期 T , 終局変位靱性率 μ_u , 正の係数 β , c 及び損傷指標 D をパラメータとして、各入力地震動グループ、各損傷指標及び各復元力モデルごとに導いた。図-5に、Krawinklerらの指標($c=0.16, D=1.0$)を用い、 $\mu_u=2.0, 5.0$ 及び10.0として、Bilinearモデルのグループ(H)地震に対する R_{rm} の回帰結果（実線）を解析結果（破線）と比較して示しておく。また、Parkらの指標($\beta=0.15, D=1.0$)を用いた場合のQ-hystモデルに対する同様な結果を示せば、図-6のようである。

7. 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、その構造物の損傷、すなわち 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 が定めれば、求めた回帰式より、それに対応する 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。

8. まとめ 本研究で提案・検討した所要降伏強度比 R_r は、その精度良い回帰式が導かれておれば、地震による構造物の安全性照査並びに損傷評価に有用である。ただし、実際の構造物に適用する場合には、対象構造物の損傷指標並びに復元力特性に適した所要降伏強度比 R_r を用いる必要がある。

9. 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) Krawinkler, H. and Zohrei, M. : Cumulative damage in steel structures subjected to earthquake ground motions, Jour. on Computers and Structures, Vol. 16, No. 1-4, pp. 531-541, 1983 3) Satish, K. and Usami, T. : A note on evaluation of damage in steel structures under cyclic loading, Jour. of Struc. Engrg., Vol. 40A, pp. 177-188, March, 1994

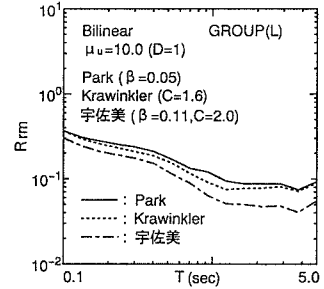


図-3

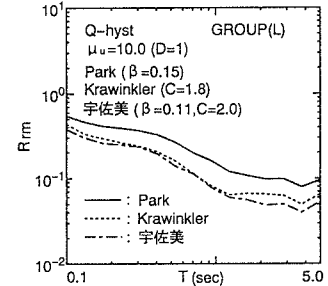


図-4

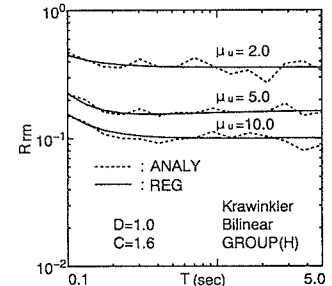


図-5

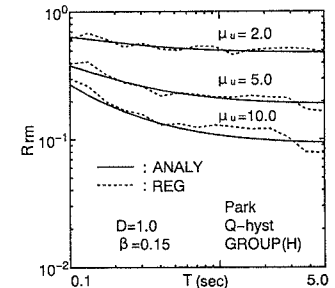


図-6