

強震時1自由度系の損傷評価と安全性照査について

徳島大学大学院 学生員〇三上 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

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、Q-hyst型及び加藤-秋山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 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、この R_r に対する回帰式を導いた。また、履歴エネルギーと最大変位の等価速度比を表わす損傷パラメータ $\gamma^{(1)}$ に対する回帰式も導き、これらの回帰式を用いた地震による構造物の損傷評価法並びに安全性照査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²⁾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、式(2)の降伏強度比 R を用いた。

$$\text{ただし、式(1)の } \mu_u = X_u / X_y, \mu_D = X_{max} / X_y, \mu_H = \quad D = (\mu_D + \beta \mu_H) / \mu_u \quad (1)$$

$$E_n / (Q_y \cdot X_y) \text{ 及び } \beta \text{ は、それぞれ終局変位靱性率、変位靱性} \quad R_1 = Q_y / Q_{emax} = X_y / X_{emax} \quad (2)$$

率、エネルギー靱性率及び断面特性に依存した正の係数²⁾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_{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)、Q-hystモデル(図-2)及び加藤-秋山モデル(図-3)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 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。

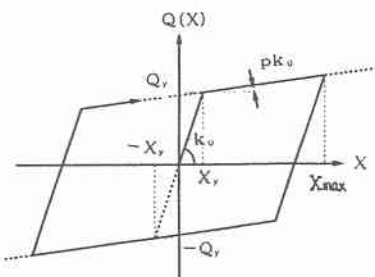


図-1 Bilinearモデル

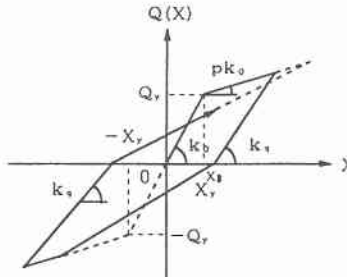


図-2 Q-hyst モデル

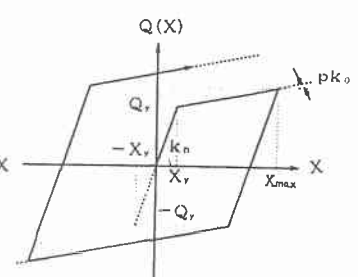


図-3 加藤-秋山モデル

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(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)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. 損傷パラメータ γ 本研究で用いた損傷パラメータ γ は式(3)のよう

$$\gamma = \sqrt{\mu_H / \mu_D} \quad (3)$$

表-1 系の構造特性値

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

である。ここで、 μ_n, μ_v は、それぞれ、エネルギー靱性率であり、式(1)と同様である。なお、この式(3)を式(1)に代入し整理すると構造物の損傷評価に有用な式(4)の関係が得られる。ただし、式中の D_u は、 $D_u = D \times \mu_u$ であり、本研究ではこれを構造物の全損傷と呼ぶ。

$$\mu_v = \frac{\sqrt{1 + 4 \cdot D_u \cdot \beta \cdot \gamma^2} - 1}{2 \cdot \beta \cdot \gamma^2} \quad (4)$$

7. 解析結果 3.及び4.で述べた各復元力モデル、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。そして入力地震動の各グループ(H), (M) 及び(L) に対する平均所要降伏強度比 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 の値との関係を比較検討し、これらの T 、 β 、 μ_u 及び D をパラメータとした R_{rm} の回帰式を各復元力モデルごとに導いた。一例として、 $\beta=0.15$ 、 $D_u=2.0, 5.0$ 及び 10.0 ($\mu_u=2.0, 5.0$ 及び 10.0 、 $D=1$) とした場合のQ-hystモデルに対する R_{rm} の解析結果(破線)と回帰結果(実線)を比較して示せば、図-4のようである。また、図-5に、 $D_u=5.0$ とした場合の入力地震動グループ(H) に対する損傷パラメータ γ の解析結果(破線)と回帰結果(実線)を比較して示しておく。

8. 安全性の照査及び損傷評価 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、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。

つぎに、対象構造物の降伏強度比 R を平均所要降伏強度比 R_{rm} の回帰式に、 $R_{rm}=R$ として、代入すると、対応する構造物の全損傷 D_u ($=D \times \mu_u$)が求まり、これと損傷パラメータ γ の回帰式より求めた対応する γ の値を式(4)に代入すると、その構造物の変位靱性率 μ_u が求まることになる。また、この μ_u に降伏変位 X_y を乗ずることにより構造物の最大変位 X_{max} も求まることになる。さらに、式(3)に得られた μ_u と回帰式より求めた γ を代入すればエネルギー靱性率 μ_n が求まり、これに降伏強度 Q_y 及び降伏変位 X_y を乗ずることにより構造物の履歴エネルギーも求まることになる。なお、このようにして求めた変位靱性率 μ_u 、エネルギー靱性率 μ_n の回帰結果(実線)と解析結果(破線)の比較を、Q-hystモデル及び入力地震動グループ(H)を例にとり、図-6、図-7に示しておく。

9. まとめ 本研究で提案・検討した所要降伏強度比 R_r 並びに損傷パラメータ γ 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。

参考文献 1)Fajfar, P. : Equivalent ductility factors, taking into account low cycle fatigue, Earth, Engrg. and Struc. Dynamics, Vol.21, pp.837-848, 1992
2)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

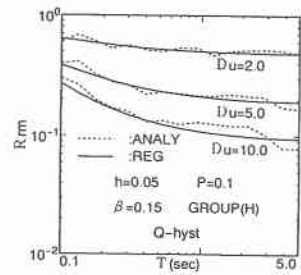


図-4

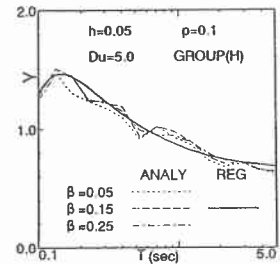


図-5

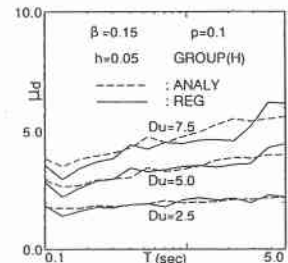


図-6

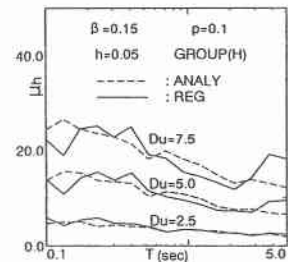


図-7