

I-824

強震下における劣化型履歴構造物の損傷度評価に関する研究

徳島大学工学部 学生員 烏谷 麻紀夫 徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔 (株) 復建調査設計 安富 泰弘

1. まえがき

強震下における構造物の損傷は、一般に漸増塑性変形による損傷と履歴エネルギー吸収による損傷の複合と考えられる。本研究では、単柱形式のRC橋脚のような比較的簡単な劣化型履歴構造物を対象とし、構造物の強度がその初期強度の所定の割合まで低下した場合を破壊と定義して、前述の2つの損傷を考慮した合理的な構造物の地震時損傷度指標を提案した。また、その指標の実用化についても若干の検討を行った。

2. 劣化型復元力履歴モデル

本研究では、構造物をせん断1自由度系にモデル化して、地震動入力に対するエネルギー応答解析を行った。構造物の復元力履歴モデルとしては、図-1に示すようなParkらの3-parameter モデル¹⁾に強度劣化域を付加した修正モデルを用いた。図中の Q 、 x はそれぞれ復元力、変位を表しており、ともにそれらの降伏値 Q_y 、 x_y で正規化されている。このモデルは、塑性変形の進行に伴う剛性劣化ならびに履歴エネルギー吸収による変形増加($\Delta \bar{x}_i$)を、それぞれ同図に示すようなパラメータ α および β により表すことができる。図中の $\Delta \mu_{Hi}$ は、直前の1cycleにおける履歴吸収エネルギー ΔW_{Hi} を式(1)のように正規化したものであり、ここではエネルギーじん性率と呼ぶ。また、 p_1 は弾塑性剛性比、 p_2 は劣化勾配、 ξ は劣化開始じん性率をそれぞれ表している。

$$\Delta \mu_{Hi} = \Delta W_{Hi} / Q_y x_y \quad \dots\dots (1)$$

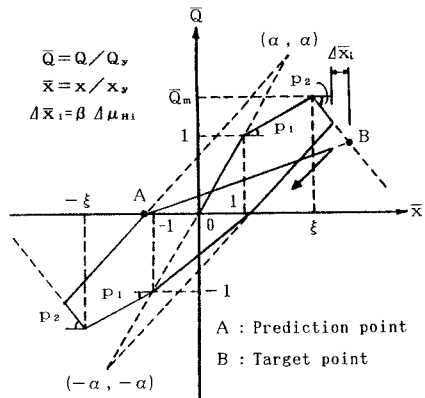


図-1 劣化型復元力履歴モデル

3. 構造物の破壊ならびに損傷度指標の定義

本研究では、初期強度に対する低下強度の比 f_c が所定の値 f_c 以下になった場合（図-2において $\mu_{DTP} \geq \mu_{DCP}$ ）を構造物の破壊と定義した。さらに、構造物の地震時損傷度指標 D^* を式(2)のように定義した。

$$D^* = \mu_{DTP} / \mu_{DCP} = (\mu_{DTP} + \beta \mu_H) / \mu_{DCP} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $\mu_{DTP} = \mu_{DT} - 1$ 、 $\mu_{DCP} = \mu_{DC} - 1$ 、 $\mu_H = \sum_{i=1}^n \Delta \mu_{Hi}$ である。また、 μ_{DTP} および $\beta \mu_H$ は、式(3)、(4)のようであり、それぞれ漸増変形による損傷ならびに履歴エネルギー吸収による損傷を表している。 μ_{DTP} をここでは漸増塑性率と呼ぶ。

$$\mu_{DTP} = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{x}_i^* \quad \dots\dots (3), \quad \beta \mu_H = \sum_{i=1}^n \Delta \bar{x}_i \quad \dots\dots (4)$$

指標 D^* を用いることにより、構造物の地震時損傷度を次のように比較的合理的に評価することができる。すなわち、① $D^* \leq 0$ ：無損傷（弾性）、② $0 < D^* < 1$ ：損傷有、③ $1 \leq D^*$ ：破壊。

4. 地震時損傷度の時刻歴

図-3(a)は、応答終了時にちょうど破壊する場合の全損傷度 D^* および履歴エネルギー吸収による損傷度 D_{IH} の時刻歴を示したものである。入力地動加速度波としては、El Centro 記録を用いたが、この場合、応答終了時にちょうど $D^* = 1.0$ となるように入力強度比 $R_1 (= m \ddot{x}_{0max} / Q_y)$ 、 m ：構造物の質量、 $\ddot{x}_{0max}$ ：最大地動加速度を設定している。（この場合、 $R_1 = 2.1$ 。）また入力波の加速度振幅 $\ddot{x}_0$ は $\ddot{x}_{0max}$ により基準化して示されている。構造特性パラメータの値は、それぞれ減衰定数 $h = 0.05$ 、 $f_c = 0.8$ 、 $\xi = 5.0$ 、 $p_1 = 0.1$ 、 $p_2 = -0.1$ 、

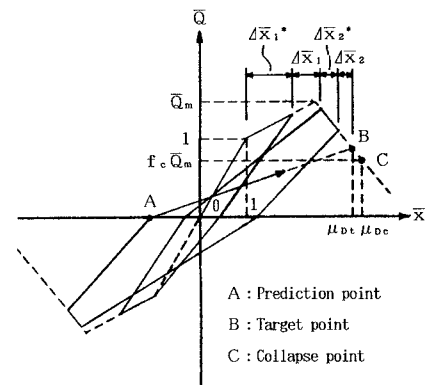


図-2 破壊の定義

$\alpha=2.0$, $\beta=0.1$ であり、本研究ではこれらを標準値としている。

図-3 (a) より、入力地震動の強震部 ($t=2\sim5$ (sec)) において、構造物の損傷の約90%が生じており、その後は履歴エネルギー吸収による損傷のみが、時間とともに緩やかに増加していることがわかる。図-3 (b) は、同様に弾性剛性比 $\bar{k}_{oe}$ および低下強度比 f_t の時刻歴を示したものである。同図中、 f_c および $\bar{k}_{oe}$ はちょうど破壊する時の値である。この図より、弾性剛性ならびに強度が入力波の強震部において著しく低下していることがわかる。これは、図-3 (a) の D_I^* とよく対応している。

5. 塑性率 μ_{DP} とエネルギーじん性率 μ_H を用いた損傷度評価法

3. では、漸増塑性率 μ_{DP}^* とエネルギーじん性率 μ_H とを用いて厳密に損傷度 D_I^* を定義した。ここでは、 μ_{DP}^* の代わりに、従来より良く用いられている塑性率 μ_{DP} (式(5)) を用いた損傷度評価法について比較検討する。

$$\mu_{DP} = (|x|_{\max} - x_y) / x_y \quad \dots\dots (5)$$

図-4 は、 $\mu_{DP}^* / \mu_{DP} - D_I^*$ 関係を示したものである。各構造特性パラメータの値は、すべて標準値である。入力波としては6つの実地震動記録（八戸、釧路、室蘭、El Centro, Los Angeles, Ferndale）を用い、また構造物の固有周期 T_0 を5通り（0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 sec）に変化させた。同図中、各 D_I^* ごとに30個の点（△）がプロットされている。また図中の◇印はそれらの平均値を示している。この図より、 $0.4 < \mu_{DP}^* / \mu_{DP} < 1.0$ であり、その平均値は D_I^* の増大に伴い若干減少するがほぼ0.9前後であることがわかる。したがって、式(2)において μ_{DP}^* の代わりに μ_{DP} を用いることにより、比較的精度良く安全側の評価が可能な損傷度指標 D_I が式(6) のように得られる。

$$D_I = (\mu_{DP} + \beta \mu_H) / \mu_{DOP} \quad \dots\dots (6)$$

これはParkら¹⁾の提唱した損傷度指標と基本的に同じものである。

図-5 は厳密に定義された損傷度指標 D_I^* (式(2)) とその近似指標 D_I (式(6)) をそれぞれ用いた場合の損傷度の時刻歴を比較したものである。入力波は El Centro 記録であり、また構造特性値はすべて標準値である。この図より、 D_I は全応答継続時間にわたり D_I^* をわずかに上回っており、近似指標 D_I を用いることにより比較的精度の良い安全側の損傷度評価が可能であることがわかる。

6. あとがき

本研究では、劣化型履歴構造物の地震時損傷度指標 D_I^* を漸増塑性率 μ_{DP}^* とエネルギーじん性率 μ_H の線形一次結合として定義し、この指標を用いることにより、構造物の地震時損傷度を合理的に評価し得ることを示した。また、 μ_{DP}^* の代わりに塑性率 μ_{DP} を用いることにより、構造物の損傷度を比較的精度良く、安全側に評価できることを示した。模擬地震動に対する計算例については、講演会当日、OHP により紹介する予定である。

参考文献 1) Y. J. Park and A. H. S. Ang : Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Proc. of ASCE, Vol. 111, No. ST4, pp772-789, 1985.

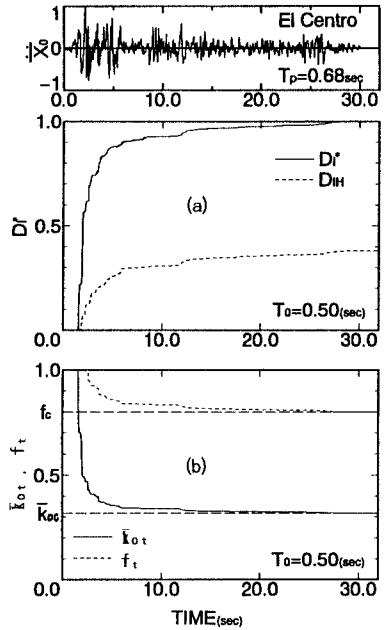


図-3 損傷度の時刻歴

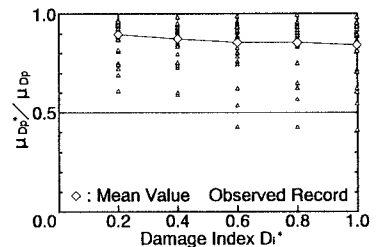


図-4 $\mu_{DP}^* / \mu_{DP} - D_I^*$ 関係

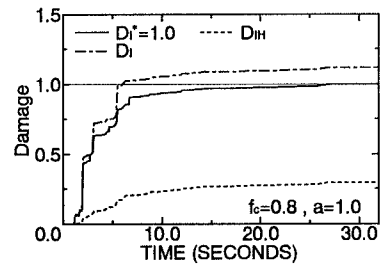


図-5 D_I^* と D_I との比較