

強震下における劣化型構造物の損傷度評価法について

徳島大学工学部 学生員○鳥谷 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最大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エネルギー応答解析を行った。

図-1は、Parkらの3-parameter モデル¹⁾に劣化域を付加した復元力履歴特性の修正モデルである。図中、 Q 及び x はそれぞれ復元力及び変位を表しており、ともにそれらの降伏値 Q_y 及び x_y で正規化している。また、 α 及び β は剛性劣化及び強度低下を表すパラメータ、 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。また、 μ_H は履歴吸収エネルギー W_H を式(1)のように無次元化したエネルギーじん性率である。

$$\mu_H = W_H / Q_y x_y \quad \dots\dots (1)$$

3. 構造物の破壊ならびに損傷度指標の定義

本研究では、初期最大強度 Q_m に対する低下強度の比 f が所定の値 f_c まで低下した時を構造物の破壊と定義し($\mu_{Dt} = \mu_{Dc}$: 図-1参照)、構造物の地震時損傷度指標 D_I^* を式(2)のように表している。

$$D_I^* = \mu_{Dtp} / \mu_{Dcp} = (\mu_{Dtp}^* + \beta \mu_H) / \mu_{Dcp} = D_{Ip}^* + D_{IH} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $\mu_{Dtp} = \mu_{Dt} - 1$ 、 $\mu_{Dcp} = \mu_{Dc} - 1$ 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。

$$\mu_{Dtp}^* = \Delta x_1^* + \Delta x_2^* + \dots \quad \dots\dots (3)$$

$$\beta \mu_H = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots \quad \dots\dots (4)$$

式(2)を用いることにより、構造物の地震時損傷度を合理的に次のような3つの場合に分類することができる。

- ① $D_I^* \leq 0$: 無損傷, ② $0 < D_I^* < 1$: 損傷有, ③ $1 \leq D_I^*$: 破壊。

4. 履歴エネルギー吸収による損傷の割合と各損傷度の時刻歴

図-2は、各損傷レベルにおける D_{IH} の占める割合(D_{IH}/D_I^*)を示したものである。構造特性パラメータの値はそれぞれ $h=0.05$, $f_c=0.8$, $\xi=5.0$, $p_1=0.1$, $p_2=-0.1$, $\alpha=2.0$, $\beta=0.1$ であり、本研究では、

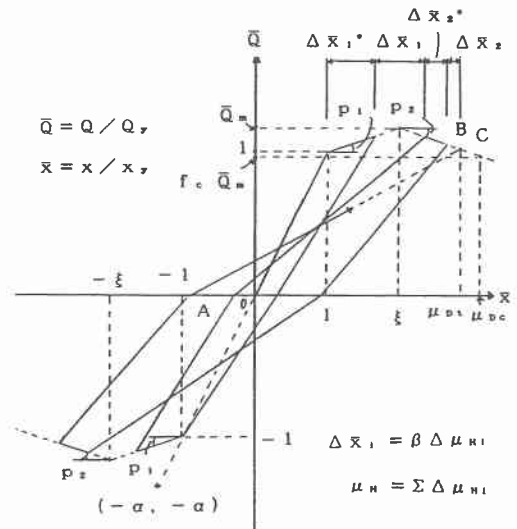
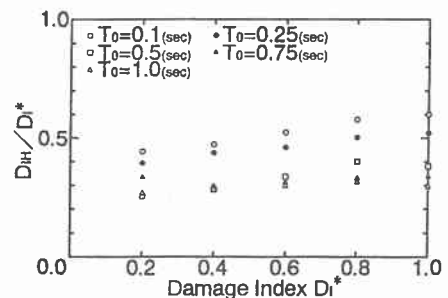


図-1 復元力履歴特性

図-2 各損傷レベルにおける D_{IH}/D_I^*

これを標準値としている。また、入力地震動はEl Centro 記録である。この図より、固有周期が短い場合 ($T_0 \leq 0.25$) には、 D_{IH} の割合は D_{I^*} が大きくなるに伴いほぼ直線的に増加しており、また、 $D_{I^*} \geq 0.6$ では、 T_0 が短いほど D_{IH} の割合が大きくなっているのがわかる。

図-3は、損傷度 D_{I^*} 及び D_{IH} の時刻歴を入力波の加速度波形とともに示したものである。この図より、入力地震動の強震部 ($t=2 \sim 5$ (sec)) で漸増変形による損傷が大きく進行しており、その後は履歴エネルギー吸収による損傷のみが、時間とともにほぼ線形的に増加していることがわかる。

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、 μ_{DP} と 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} の代わりに実際の最大応答量である塑性率 μ_{DP} (式 (5)) を用いた損傷度評価法について検討する。

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

図-4は、 μ_{DP}/μ_{DP} と D_{I^*} との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。各 D_{I^*} ごとに、6つの実地震動記録（八戸、釧路、室蘭、El Centro、Los Angeles、Ferndale）と5種類の固有周期 T_0 (0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0) に対する30個の点 (Δ) がプロットされている。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。したがって、式 (2) において $\mu_{DP} = \mu_{DP}$ とすれば、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。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。

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

図-5は各損傷度 D_{I^*} 、 D_I ならびに D_{IH} の時刻歴を示したものである。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、比較的精度良く安全側の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 の一次結合として導き、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、比較的精度良く、安全側の評価が可能であることも示した。各構造特性パラメータが D_{IH}/D_{I^*} 等に及ぼす影響については、講演会当日、OHP により発表する予定である。

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.

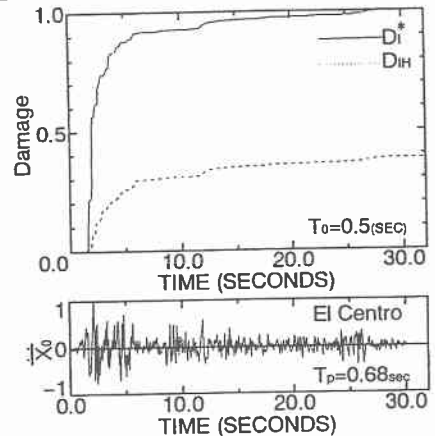


図-3 損傷の時刻歴

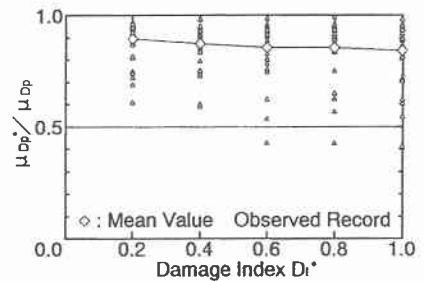


図-4 μ_{DP} と μ_{DP} の関係

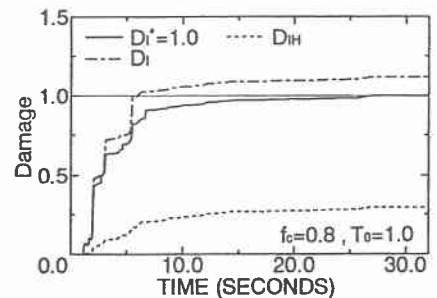


図-5 D_{I^*} 、 D_I ならびに D_{IH} の時刻歴