

I-564

劣化型履歴構造物の地震時損傷度  
評価指標に関する一考察

徳島大学工学部 学生員 四方康仁  
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

1. はじめに 一般に塑性変形を考慮した設計では、構造物の損傷度を表す指標として主に変位じん性率を用いられる。しかし、変位じん性率は応答継続時間中のある瞬間における値であり、地震動のような繰り返し荷重によって累積される損傷の程度を表現することは困難である。近年、このような累積型の損傷を表す指標として、構造物の強度と変形の両側面を包含し得る履歴吸収エネルギーが注目されており、その定量的評価法ならびにそれを用いた構造物の地震時損傷度評価指標に関する検討も盛んに行われている。本研究では、強震下における劣化型構造物のより合理的な損傷度評価式を導くための基礎的研究として、構造物の損傷を瞬間的損傷(変位じん性率)と累積的損傷(エネルギーじん性率)との複合であると考え、損傷度評価指標をY. J. Parkら<sup>1)</sup>と同様にそれらの損傷の線形結合と定義した。そして、低下耐力比を破壊規範として構造物破壊時の変位ならびにエネルギーじん性率を求め、それらを用いて損傷度評価式に含まれる2つの係数を定量的に評価し、これらに及ぼす構造特性パラメータ等の影響を比較検討した。

2. 解析モデルおよび解析法 本研究では、構造物をせん断型1質点系にモデル化し、その復元力履歴モデルとして3-parameterモデル<sup>1)</sup>(図-1)あるいは加藤・秋山モデル<sup>2)</sup>(図-2)を用いた。前者はRC構造物に対するモデルであり、3つのパラメータにより、荷重の繰り返しに伴うRC部材の剛性劣化( $\alpha$ )、耐力低下( $\beta$ )及びピンチング効果( $\gamma$ )等、を表現することができる。一方、後者は鋼構造物に対するモデルであり、繰り返しに伴う耐力の変動が考慮されている。このような復元力履歴モデルを有する1自由度系に、実地震動波を入力として、系の低下耐力比(低下耐力/最大耐力)が所定の値に達する時(破壊時)の変位ならびにエネルギーじん性率を、入力波の加速度振幅を適当に変化させながら繰り返し計算により求めた。

3. 損傷度評価指標と破壊規範 ここでは、強震下における構造物の損傷度評価指標として、式(1)のような変位じん性率 $\mu_D$ とエネルギーじん性率(降伏変位 $x_y$ と降伏復元力 $Q_y$ との積に対する履歴吸収エネルギー $W_H$ の比) $\mu_H$ との一次結合として定義される指標 $D_I$ を用いた。ここで、A、Bは定数、 $\mu_u$ 、 $\mu_p$ は図-3に示すような所定の低下耐力比 $Q_F$ に対する $\mu_D$ 、 $\mu_H$ の基準化パラメータである。

$$D_I = A \frac{\mu_D}{\mu_u} + B \frac{\mu_H}{\mu_p} \quad \dots (1)$$

また、本研究では、構造物の低下耐力比を破壊規範とみなして、破壊時の $\mu_D$ 、 $\mu_H$ を反復計算により求め、それらを用いて、 $D_I$ が1.0となるように最小2乗法により係数A、Bを求めた。図-4は、損傷度評価式として式(1)を用いた場合の各損傷領域を模式的に示したものである。

4. 解析結果の比較と考察 破壊規範としての低下耐力比 $Q_F$ を0.8とした場合の変位ならびにエネルギーじん性率 $\mu_D$ 、 $\mu_H$ を算定し、それらを

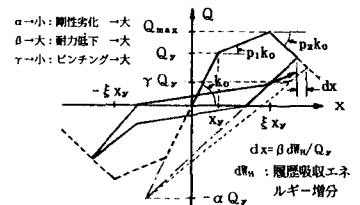


図-1 3-parameterモデル

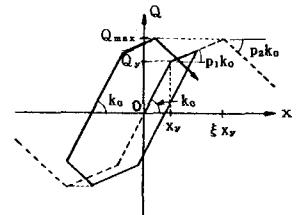


図-2 加藤・秋山モデル

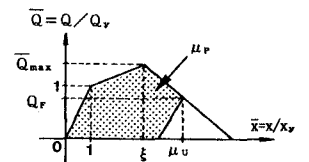


図-3  $\mu_D$ 、 $\mu_H$ の基準値 $\mu_u$ 、 $\mu_p$

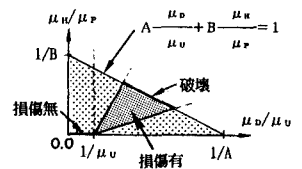


図-4 破壊ならびに損傷領域

用いて、 $D_r=1$  に対する式(1)中の回帰係数A, Bを求めた。そして、これらの係数A, Bならびに破壊時の損傷度指標 $D_r$ の変動係数COVに及ぼす各種構造特性パラメータの影響について、比較検討し若干の考察を加えた。但し、ここで紹介する結果は、すべてEL Centro波を入力とした場合のものである。表-1は、3-parameterモデルを用いた場合の各パラメータの影響を比較したものである。但し、変化させない各パラメータの値は、それぞれ弾塑性剛性比 $p_1=0.1$ , 劣化勾配 $p_2=-0.1$ , 劣化開始塑性率 $\xi=1.0$ , 減衰定数 $h=0.05$ ,  $\alpha=2.0$ ,  $\beta=0.1$ ,  $\gamma=\infty$ とした。また、固有周期T<sub>0</sub>は常に0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0秒の5通りに変化させている。この表より明らかなように、各CASEとも回帰係数A, Bの値は類似であるが、変動係数COVが $\beta$ を変化させた場合に他の3~4倍の値を示している。これは、 $\beta$ が回帰係数等に及ぼす影響が大きいことを示唆している。図-5は $\beta$ が回帰係数ならびに変動係数に及ぼす影響を示したものである。これより、係数A, Bは $\beta$ の影響を大きく受けていること、また $\beta$ が小さい領域で変動係数が大きいことがわかる。また、表-2は、加藤・秋山モデルを用いた場合の各パラメータの影響を比較したものである。変化させない場合の各パラメータの値は、表-1の場合と同じである。表-2より、3-parameterモデルを用いた場合に比較して、回帰係数Aが小さく、またBが大きくなっているのがわかる。これは、加藤・秋山モデルを用いた場合、構造物の破壊に対するエネルギーじん性率の寄与率が比較的高いためであると考えられる。式(1)の右辺第1項に対する第2項の比 $F_p$ は式(2)のように表される。

$$F_p = -1 + \frac{1}{A(\mu_D / \mu_U)} \dots (2)$$

表-1および表-2より、3-parameterモデルおよび加藤・秋山モデルに対するAの値をそれぞれ1.0および0.6と仮定し、各々の $F_p$  ( $\mu_D / \mu_U$ ) 関係を示したのが図-6である。解析結果より $\mu_D / \mu_U$ の値域は概ね0.4~0.7であることを考えると、加藤・秋山モデルの場合は、常に第2項の方が第1項より大きく、3-parameterモデルの場合は $\mu_D / \mu_U \geq 0.5$ で第2項の方が小さくなっているのがわかる。

5. おわりに 本研究により、3-parameterモデルを用いた場合、損傷度評価式に含まれる回帰係数は、低下耐力を支配するパラメータ $\beta$ の影響を最も大きく受け、回帰分析を行う際には $\beta$ を適当に細分する必要があること、また、加藤・秋山モデルを用いた場合には、回帰係数等に及ぼす構造特性パラメータの影響は小さいこと、等がわかった。これらのことより、低下耐力比を破壊規範とした場合の劣化型履歴構造物の損傷度評価指標を比較的容易に導き得るものと思われる。

参考文献 1) Y. J. Park, A. M. Reinhorn and S. K. Kunnath: Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete Frame-Shear-wall Structures, Technical Report NCEER-87-0008, July, 1987.  
 2) 加藤・秋山: 鋼構造剛接骨組の耐震極限設計, 日本建築学会論文報告集, 第237号, pp. 59~65, 1975年11月。

表-1 係数A, Bに及ぼす各種パラメータの影響 (3-parameterモデル)

変化させたパラメータ	A	B	COV	
$\xi$	1.0, 2.0, 5.0	0.972	0.068	0.175
$p_2$	-0.05, -0.1 -0.5, -1.0	0.938	0.052	0.164
$\alpha$	2.0, 5.0 $\infty$	1.030	0.042	0.121
$\beta$	0.1, 0.2, 0.3	1.143	0.047	0.492
$\gamma$	0.25, 0.5 $\infty$	1.038	0.034	0.121

→ T<sub>0</sub> = 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0

表-2 係数A, Bに及ぼす各種パラメータの影響 (加藤・秋山モデル)

変化させたパラメータ	A	B	COV	
$\xi$	1.0, 2.0, 5.0	0.601	0.406	0.149
$p_2$	-0.05, -0.1 -0.5, -1.0	0.605	0.378	0.288

→ T<sub>0</sub> = 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0

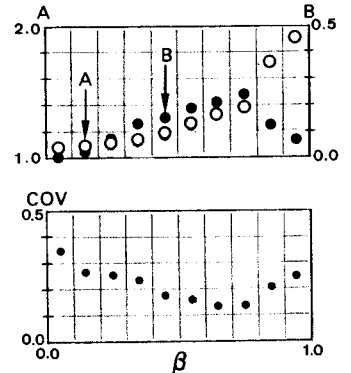


図-5 係数A, Bに及ぼす $\beta$ の影響

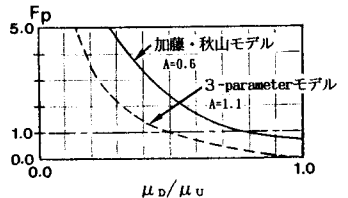


図-6 第1項に対する第2項の比