

V-372

RCはり部材の累積消散エネルギーの定式化と損傷評価

京都大学工学部 学生員 中田 聖志 学生員 服部 篤史
正員 井上 晋 正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

1. はじめに コンクリート構造物が地震を受けた場合、被災後の補修・補強を早期に実施するためには、その損傷程度を的確に判断する事が必要である。この損傷の程度は、各部材の最大応変位や履歴消散エネルギーと密接な関係があると考えられているが、繰返し荷重を受ける場合は後者の影響が卓越すると考えられ、損傷評価に際しては損傷の累積を考えた履歴消散エネルギーに基づく指標を用いることが望ましい。本研究では、矩形断面のRCはり部材を対象として、鉄筋比およびせん断補強筋比が、部材の破壊時までの累積消散エネルギーに及ぼす影響を2種類の正負交番繰返し載荷試験を実施することにより検討し、その結果より、破壊時までの累積消散エネルギーの定式化を試みた。また、同時に、消散エネルギーに基づくコンクリート部材の損傷評価指標の考え方の一例を示した。

2. 実験概要 供試体は、いずれも幅×高さ=10×20cmの矩形断面を有し、断面内に鉄筋を対称複筋配置したRC単純はりとした。載荷形式はスパン140cm(全長160cm)に対して、曲げスパン20cm, せん断スパン60cmの対称2点載荷とした。引張鉄筋比 p (= A_s/bd)としては0.0143(2D13)および0.0226(2D16), せん断補強筋比 p_w (=間隔 s 内に配置されるせん断補強筋の断面積をせん断補強筋配置間隔 s と断面幅 b の積で除したもの)としては、0.63%, 0.95%, および1.26%の3レベルを設定した。また、載荷方法は引張鉄筋が降伏したときのスパン中央たわみ δ_v を測定し、その整数倍の各変位レベルで各1回の正負交番繰返し載荷を行なうAシリーズ, および各5回の正負交番繰返し載荷を行なうBシリーズの2種類とした。

3. 試験結果および考察 破壊時までの累積消散エネルギー ΣE_d を降伏時のスパン中央たわみ δ_v と降伏荷重 P_v の計算値の積で除して無次元化した累積消散エネルギー $\Sigma E_d'$ は、図1に示すように鉄筋比 p が大きくなれば小さくなり、またその減少率は p の増加とともに小さくなる。また、図2に示すように、 $\Sigma E_d'$ はせん断補強筋比 p_w の増加とともに増大するが、その増加率は p_w の増加とともに小さくなる。以上の結果から、Aシリーズの $\Sigma E_d'$ を、

$$\Sigma E_d' = d \times (1/p)^a \{1 - \exp(-b p_w^c)\}$$

で表わし、係数 a, b, c, d を実験値より求めたところ、 $a=1.7, b=10^7/3, c=3, d=1/6$ が得られた。

次に、Bシリーズの $\Sigma E_d'$ をAシリーズにおける $\Sigma E_d'$ が求められているとの条件のもとで推定する。まず、各変位でのAシリーズの E_d' に対するBシリーズにおけるそれと同変位での1回目の E_d' の比($E_d'(B)-1/E_d'(A)$)は、図3のようにせん断補強筋比によって大きさは異なるものの負の傾きを持つ直線と仮定でき、

$$E_d'(B)-1/E_d'(A) = 1 - a \times \{(\delta/\delta_v) - 1\} \quad (\delta \geq \delta_v)$$

と表わされる。ここで a を実験データから決定すると、 $p_w=0.0063$ のとき $a=0.111$, $p_w=0.0095$ のとき $a=0.069$, $p_w=0.0126$ のとき $a=$

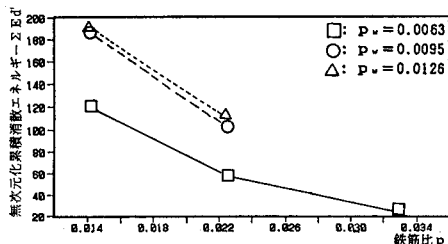


図1 $\Sigma E_d'$ と鉄筋比の関係

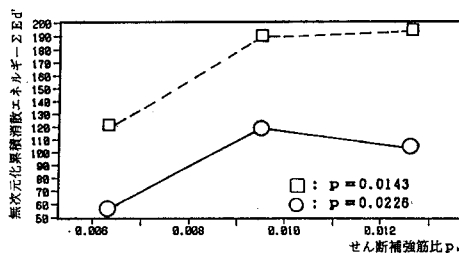


図2 $\Sigma E_d'$ とせん断補強筋比の関係

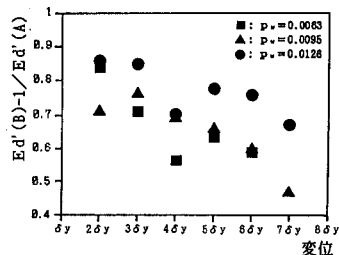


図3 $E_d'(B)-1/E_d'(A)$ と変位の関係

0.044となる。

また、同一変位での繰返し载荷時の1回目のサイクルにおける消散エネルギーに対するその後のサイクルにおける消散エネルギーの比 $(E_d'(B)-N/E_d'(B)-1)$ は、繰返し数5回程度の場合、鉄筋比、せん断補強筋比の影響を受けないことから、繰返し数Nのみの関数と考えられ、その低下挙動は図4に示す通り、 $1\delta_v$ 時とそれ以降の変位ではかなり大きな差があることを考慮すると、

$$\delta = 1\delta_v \text{ のとき } E_d'(B)-N/E_d'(B)-1 = 1 - 0.8 \times (N-1) / 4 \quad (N \leq 5)$$

$$\delta \geq 2\delta_v \text{ のとき } E_d'(B)-N/E_d'(B)-1 = 1 - 0.2 \times (N-1) / 4 \quad (N \leq 5)$$

と表わされる。以上、二つのことから、Aシリーズの消散エネルギーの累積挙動が把握されているのならBシリーズの $\Sigma E_d'$ は推定可能と言える。

上述の方法で求めたA, B両シリーズの計算値 ($\Sigma E_d'_{cal}$) と実験値 ($\Sigma E_d'_{mea}$) とを比較したものを図5に示す。この図より、 $\Sigma E_d'$ はかなりの精度をもって推定できると考えられる。

次に、これらの消散エネルギーを用いた損傷評価指標の一例を示す。同要因を有するはりのAシリーズとBシリーズでの $\Sigma E_d'$ の違いを、同変位で2回目以降の繰返しを受けた場合、部材の受ける真の損傷は、1回目のサイクルでのそれよりも小さいことに起因すると考え、各変位における真の損傷の累積値DEは低減係数f(N)をかけて以下のように表わす。

$$DE = \Sigma (f(N) \times E_d'(N))$$

ここで、f(N)は繰返し数Nおよび鉄筋比pの関数で、Nの増加によって消散エネルギーに対する真の損傷は小さくなるとの仮定から、

$$f(N) = \frac{1}{N} \times \left[\frac{1 + (a-1)N}{a} \right]$$

と表わし、実験結果からaを決定すると、 $p=0.0226$ の場合は $a=1.1$ 、 $p=0.0143$ の場合は $a=1.9$ が得られた。上述の式を用いて計算した各変位のDEの累積値を、次式のように基本となる载荷、すなわちAシリーズでの $\Sigma E_d'(A)$ で除したものをダメージインデックスD ($D=0$ のとき部材は全く損傷を受けておらず、 $D=1$ のとき部材は終局状態にあるとする) とすれば、繰返しによる損傷の蓄積を評価することが可能となる。

$$D = \Sigma DE / \Sigma E_d'(A)$$

このようにして求めたBシリーズのダメージインデックスの推移の一例をAシリーズのそれとともに図6に示す。この図よりBシリーズの破壊時のダメージインデックスはかなりの精度をもって推定できること、また、Bシリーズのような繰返し载荷においては、繰返しによる損傷が蓄積されAシリーズよりも小さな変位で破壊に至ることがわかる。

4. あとがき 本研究ではRCはり部材の破壊時に至るまでの累積消散エネルギーを2種類の载荷方法においてそれぞれ定式化を行なった。その結果、かなりの精度を持って累積消散エネルギーを推定ことができ、消散エネルギーを用いた損傷評価指標の可能性についても明らかにした。今後は、载荷履歴や最大応答変位との関係も含めた考察が必要であると思われる。

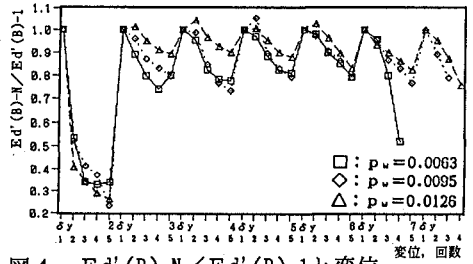


図4 $E_d'(B)-N/E_d'(B)-1$ と変位、繰返し数の関係

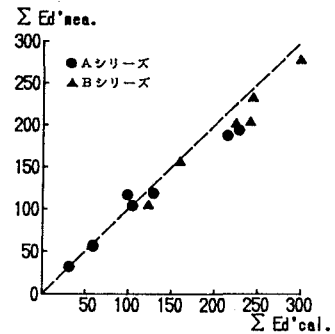


図5 $\Sigma E_d'_{cal}$ と $\Sigma E_d'_{mea}$ の関係

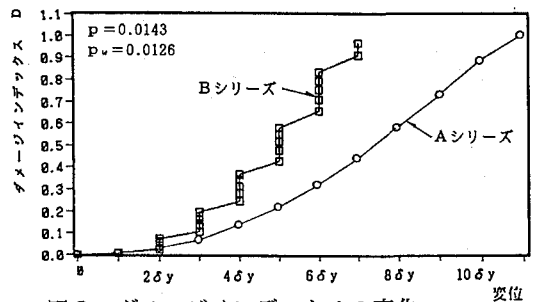


図6 ダメージインデックスの変化