

正負交番繰返し荷重下のRCはり部材の累積消散エネルギーに関する基礎的研究

京都大学 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などの超過荷重を受けた場合、以後の補修・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、各部材の最大応答変位と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必要となる。本研究では、矩形断面のRCはり部材を対象として、鉄筋比、せん断補強筋比等の要因が、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载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るとともに、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を構築した。

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腹筋配置したRC単純はりとした。载荷形式はスパン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点载荷とした。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面積/せん断補強筋配置間隔 s ×断面幅 b)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、载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_y 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载荷を行なうAシリーズ、および δ_y の整数倍の各変位レベルで各5回の正負交番繰返し载荷を行なう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 を降伏たわみ δ_y と降伏荷重 P_y 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、Aシリーズの場合、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、 $\Sigma E_d'$ 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。以上のことから、Aシリーズの $\Sigma E_d'$ は、

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

で表わされ、係数 a , b , c , d は最小自乗法より

$$a = 1.7, \quad b = 10^7/3, \quad c = 3, \quad d = 1/6$$

と求められた。次に、Bシリーズの $\Sigma E_d'$ をAシリーズの $\Sigma E_d'$ 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 $\Sigma E_d'$ に対するBシリーズにおけるそれと同変位での第1回目のサイクルでの $\Sigma E_d'$ の比($E_d'(B)-1/E_d'(A)$)は、図1のようにせん断補強筋比によって大きさは異なるが負の傾きを持つ直線と仮定でき、

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

と表わされ、ここで a を実験データから決定すると、

$$p_w = 0.0063 \text{ のとき } a = 0.111, \quad p_w = 0.0095 \text{ のとき } a = 0.069, \quad p_w = 0.0126 \text{ のとき } a = 0.044$$

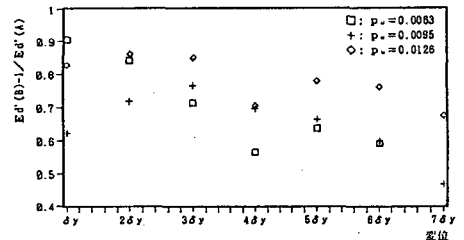


図1 $E_d'(B)-1/E_d'(A)$ と変位の関係

($p = 0.0143$)

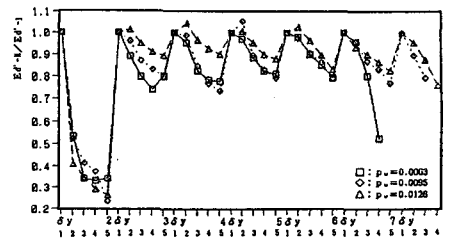


図2 $E_d'(B)-N/E_d'(B)-1$ と変位、繰返し数の関係

($p = 0.0143$)

となる。また、同一変位での繰返し載荷時の各変位1回目のサイクルでの消散エネルギーに対するその後の各繰返しサイクルにおける消散エネルギーの比 $(E_d' (B) - N / E_d' (B) - 1)$ は鉄筋比、せん断補強筋比の影響を受けないことより、繰返し数 N のみの関数と考えられ、その低下挙動は図2に示す通り、 $1 \delta_y$ 時とそれ以降ではかなり大きな差があることを考えると、

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

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

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挙動が把握されているのならばBシリーズでの $\Sigma E_d'$ は推定できる。このようにしてA、Bシリーズとも $\Sigma E_d'$ は推定可能となり、 $\Sigma E_d'$ の実験値 ($\Sigma E_d' \text{ mea}$) と計算値 ($\Sigma E_d' \text{ cal}$) を比較すると図3のようになる。この図から、 $\Sigma E_d'$ はかなりの精度をもって推定できると考えられる。

次に、これらのエネルギー消散能を用いた損傷評価指標の構築を試みる。同性質のはりの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回目以降繰返されたときの部材の受ける E_d' に対する真の損傷は、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、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 、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、

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

と表わし、実験結果から、 $p = 0.0226$ の場合は $a = 1.1$ 、 $p = 0.0143$ の場合は $a = 1.9$ と決定された。

そして、この DE を基本となる載荷、すなわちAシリーズでの $\Sigma E_d' (A)$ で割ったものをダメージインデックス D とする。ここで、 $D = 0$ 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。

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

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4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 $D = 1$ 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載荷においては、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 本研究ではコンクリート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種類の載荷方法においてそれぞれ定式化を行ない、これらを用いて損傷評価指標を構築した。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することができ、消散エネルギーを用いた損傷評価指標の可能性を明らかにした。今後、様々な場合においてのさらに多くのデータを得ていくことが必要であると思われる。

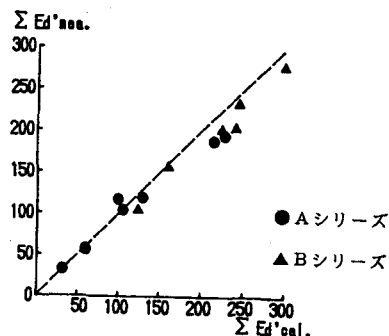


図3 $\Sigma E_d' \text{ (mea)}$ と $\Sigma E_d' \text{ (cal)}$ の比較

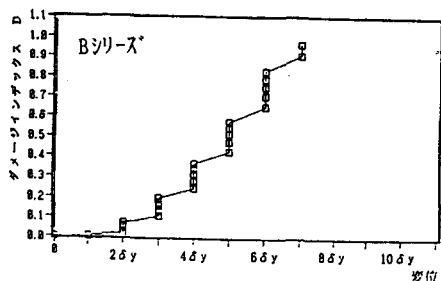
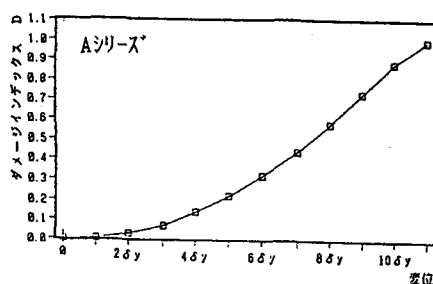


図4 ダメージインデックスの変化

($p = 0.0143$, $p_a = 0.0126$)