

PPCはり部材の消散エネルギーに及ぼす荷履歴の影響

京都大学 学生員○高尾 賢一 学生員 中田 聖志
正員 井上 晋 正員 宮川 豊章 正員 藤井 学

1. はじめに 地震荷重によるコンクリート部材の損傷の程度は履歴消散エネルギーと密接な関係があり、損傷を的確に評価するためには部材の消散エネルギーに及ぼす種々要因の影響を明らかにしておくことが必要である。本研究では、従来研究例の少ないパーシャルプレストレストコンクリート（PPC）はり部材を対象として、荷履歴の違いが消散エネルギーの累積挙動に及ぼす影響を緊張率、横拘束筋体積比を要因として検討するとともに、これらの諸要因と消散エネルギーの関係の定式化を試みた。

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、PC鋼棒と異形鉄筋を断面内に対称複筋配置したPPC単純はりとした。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点集中荷重載荷とした。緊張率 λ の値としては、0.460、0.706および0.866の3レベル、また、横拘束筋体積比 ρ_s の値としては0.609、1.217および2.434%の3レベルを設定した。さらに、荷履歴として、図1に示す単調漸増型荷（Aシリーズ）、単調漸減型荷（Bシリーズ）および漸増-漸減型荷（Cシリーズ）の3パターンを考慮した。なお、試験は最初にAシリーズの荷を行い、各供試体の終局時（本研究では各変位振幅における耐力が最大耐力の80%に低下した時点）の荷荷変位振幅を求めた後、各ステップの荷荷変位振幅の総和がAシリーズと等しくなるようにBおよびCシリーズの荷荷変位の増（減）分を定めた。

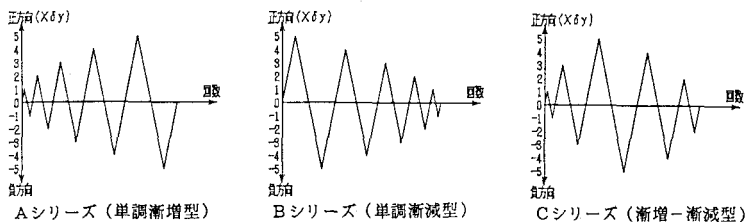


図1 荷履歴

荷履歴として、図1に示す単調漸増型荷（Aシリーズ）、単調漸減型荷（Bシリーズ）および漸増-漸減型荷（Cシリーズ）の3パターンを考慮した。なお、試験は最初にAシリーズの荷を行い、各供試体の終局時（本研究では各変位振幅における耐力が最大耐力の80%に低下した時点）の荷荷変位振幅を求めた後、各ステップの荷荷変位振幅の総和がAシリーズと等しくなるようにBおよびCシリーズの荷荷変位の増（減）分を定めた。

3. 試験結果および考察 断面諸定数の異なる部材の消散エネルギーを比較するために、本研究では消散エネルギー（ E_d ）を降伏荷重の計算値 P_{ycal} と降伏変位の計算値 δ_{ycal} を用いて次式のように無次元化した。

$$E_d' = E_d / (P_{ycal} \delta_{ycal}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

変位と無次元化消散エネルギー E_d' の関係の一例を各シリーズごとに図2に示す。なお、図中には以下に示す方法で求めた計算値を併記した。

Aシリーズでは、無次元化消散エネルギーは終局時に至るまで変位の増加とともにほぼ直線的に増加し、次式で定式化できることが明らかとなった。

$$E_d' = \alpha (\delta / \delta_{ycal}) + \beta \quad \dots\dots\dots (2)$$

上式中の係数 α 、 β は緊張率 λ の影響を受け、実験結果より、

$$\alpha = -3.44\lambda + 3.82, \beta = 5.89\lambda - 5.24 \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる関係が得られた。また、横拘束筋体積比 ρ_s はその直線の勾配にはほとんど影響を与えず終局時の変位の大きさに影響を及ぼすことが明らかになった。

一方、Bシリーズでは、消散エネルギーは変位と二次曲線的な関係を示し、

$$E_d' = \gamma (\delta / \delta_{ycal})^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

と定式化できることが明らかとなった。式中の係数 γ は緊張率 λ および最初に履歴する最大変位 δ_{max} の影響を受け、本研究の場合次式が得られた。

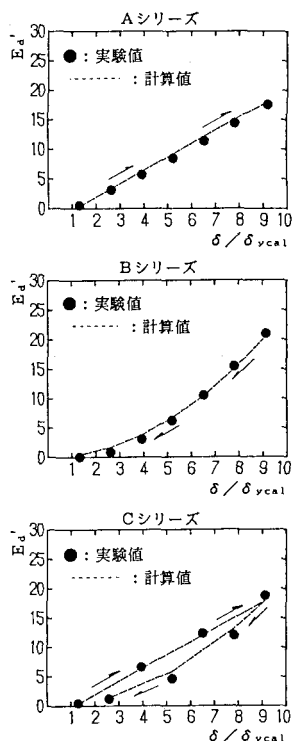


図2 荷荷変位と E_d' の関係
($\lambda=0.460$, $\rho_s=1.217\%$)

Kenichi TAKAO, Seiji NAKATA, Susumu INOUE, Toyoaki MIYAGAWA and Manabu FUJII

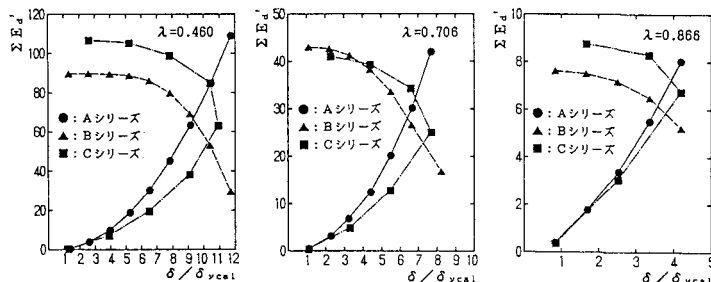


図3 荷履歴が E_d' の累積挙動に及ぼす影響($\rho_s=2.434\%$)

$$\gamma = -0.0161 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.393 \quad (\lambda = 0.460) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\gamma = -0.0341 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.521 \quad (\lambda = 0.706) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\gamma = -0.0919 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.627 \quad (\lambda = 0.866) \quad \dots\dots\dots(7)$$

また、Cシリーズの消散エネルギーは、変位増加過程ではAシリーズと同様の、また変位減少過程ではBシリーズと同様の挙動を示す。したがって E_d' 値は、変位増加過程で δ / δ_{vcal} の一次式として、また変位減少過程で δ / δ_{vcal} の二次式として定式化できることがわかる。

一方、終局時までの無次元化累積消散エネルギー($\Sigma E_d'_{ult.}$)の値に及ぼす荷履歴の影響は緊張率 λ の値によって異なり、図3に示すように $\lambda = 0.460$ の場合、Bシリーズのような単調漸減型荷下では、Aシリーズのような単調漸増型荷下の場合に較べその値が15%程度減少することがわかる。これは、 $\lambda = 0.460$ の場合は導入プレストレスが比較的小さいため、最初に大きな変位を受けるBシリーズのような荷下では、徐々に変位を大きくしていくA、Cシリーズのような荷履歴と較べると繰返し初期の段階で比較的大きな斜めひびわれが発生し、これらが残留することにより荷重-変位関係においてピンチ効果が卓越し、履歴ループの囲む面積が小さくなるためであると考えられる。一方、高緊張率の場合はプレストレスの効果により大変形下でも顕著な斜めひびわれが発生せず、ひびわれの回復性にも優れているため荷履歴の違いによる影響が顕著に現れなかったものと思われる。これらのことから、荷履歴が消散エネルギーの累積挙動に及ぼす影響は緊張率 λ の増加とともに小さくなると考えられる。

次に、終局時までの無次元化累積消散エネルギー $\Sigma E_d'_{ult.}$ と緊張率 λ および横拘束筋体積比 ρ_s の関係を図4に示す。図より、 $\Sigma E_d'_{ult.}$ 値は ρ_s が一定の場合は λ の増加とともに反比例的に減少し、一方 λ が一定の場合は ρ_s の増加とともに二次関数的に増加することがわかる、また、これらの影響は互いに独立でないことから、 $\Sigma E_d'_{ult.}$ 値を次のように定式化した。

$$\Sigma E_d'_{ult.} = a \rho_s^2 + b (1/\lambda) + c (\rho_s^2/\lambda) + d \quad \dots\dots\dots(8)$$

係数 a 、 b 、 c 、 d をAシリーズの結果を用いて最小自乗法により回帰したところ、 $a = -9.20$ 、 $b = 40.23$ 、 $c = 9.60$ 、 $d = -45.94$ ($\Sigma E_d'_{ult.}$ の標準偏差3.936)が得られた。上記の式を用いた $\Sigma E_d'_{ult.}$ 値の実験値と計算値を比較したものを図5に示す。図に示すように、実験値と計算値はほどよく一致しており、終局時までの無次元化累積消散エネルギーはかなりの精度で推定できると考えられる。しかし、Bシリーズのような単調漸減型荷下で緊張率が小さい場合には、前述のように $\Sigma E_d'_{ult.}$ 値が単調漸増型荷下と較べ減少するため、より正確な評価を行う際には何らかの低減係数を設定することが必要であると考えられる。

4. あとがき 本研究結果より、種々の荷履歴におけるPPCはり部材の消散エネルギーの累積挙動や終局時までの累積消散エネルギーはかなりの精度をもって推定できることが明らかとなった。しかし、本研究で示した式は限られたデータに基づくものであり、その実用性については更なる検討が必要である。

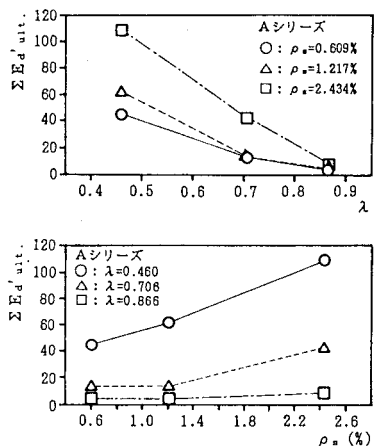


図4 $\Sigma E_d'_{ult.}$ と λ および ρ_s の関係

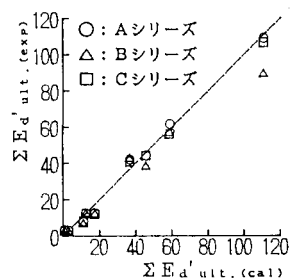


図5 $\Sigma E_d'_{ult.}$ の実験値と計算値の比較