

V-349

パーシャルPCはり部材の消散エネルギーの累積挙動に及ぼす載荷履歴の影響

京都大学 正員 ○井上 晋 西日本旅客鉄道(株) 正員 高尾 賢一  
 京都大学 学生員 中田 聖志 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構造物の損傷は、構成部材の履歴消散エネルギーと密接な関係がある。しかし、部材の消散エネルギーに影響を及ぼす要因は多く、特に、載荷履歴が異なれば消散エネルギーの累積挙動が異なることが指摘されている。本研究では、従来研究例の少ないパーシャルPC（以下PPC）はり部材を対象として、載荷履歴が消散エネルギーの累積挙動に及ぼす影響を、緊張率および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（幅×高さ×全長=10×20×160cm）とし、載荷形式はスパン140cm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、0.46、0.71および0.87の3レベル、また、横拘束筋体積比ρ<sub>s</sub>の値としては0.61、1.22および2.43%の3レベルを設定した。さらに、載荷履歴として、図1に示す単調漸増型載荷（Aシリーズ）、単調漸減型載荷（Bシリーズ）および漸増-漸減型載荷（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シリーズの載荷を行い、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）の載荷変位振幅を求めた後、各ステップの載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シリーズの載荷変位の増（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間の比較を行うため、本研究では、各変位における消散エネルギー（E<sub>d</sub>）を降伏荷重の計算値P<sub>ycal</sub>と降伏変位の計算値δ<sub>ycal</sub>の積（P<sub>ycal</sub>δ<sub>ycal</sub>）を用いて次式のように無次元化した。

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

載荷変位と無次元化消散エネルギーE<sub>d</sub>'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。

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

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、

$$\alpha = -3.44\lambda + 3.82, \quad \beta = 5.89\lambda - 5.24 \quad (\lambda \geq 0.46) \quad \dots\dots\dots(3)$$

なる関係が得られた。また、横拘束筋体積比ρ<sub>s</sub>はその直線の勾配に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、E<sub>d</sub>'値は変位の減少とともに二次関数的に減少し、

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

と定式化することとした。式中の係数γは緊張率λおよび最初に履歴する最大

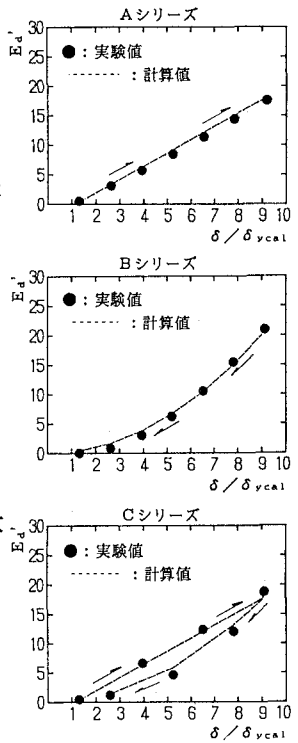


図2 載荷変位とE<sub>d</sub>'の関係 (λ=0.46, ρ<sub>s</sub>=1.22%)

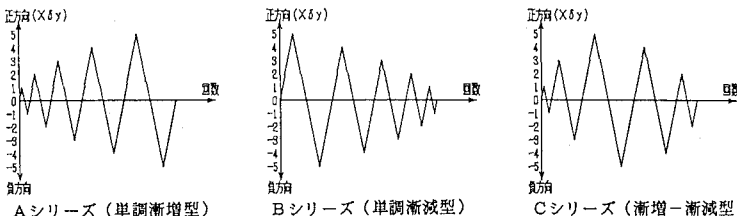


図1 載荷履歴

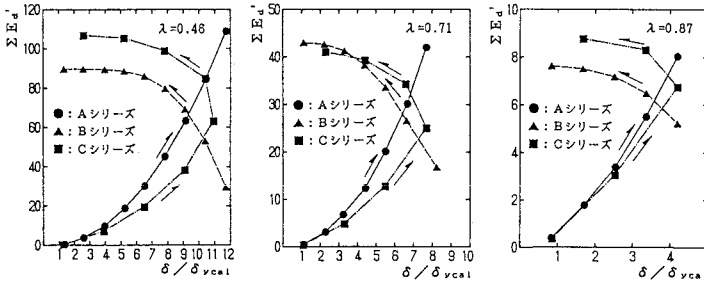


図3 載荷履歴がE<sub>d</sub>'の累積挙動に及ぼす影響(ρ<sub>s</sub>=2.43%)

変位 δ<sub>max</sub>の影響を受け、本研究の場合次式が得られた。

$$\gamma = -0.016 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.39 \quad (\lambda = 0.46) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\gamma = -0.034 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.52 \quad (\lambda = 0.71) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\gamma = -0.092 \delta_{\max} / \delta_{vcal} + 0.63 \quad (\lambda = 0.87) \quad \dots\dots\dots(7)$$

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<sub>d</sub>'値は、変位増加過程ではδ/δ<sub>vcal</sub>の一次式として、また変位減少過程ではδ/δ<sub>vcal</sub>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(ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>)の値に及ぼす載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λ=0.46の場合、Bシリーズのような単調漸減型載荷下では、Aシリーズのような単調漸増型載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、λ=0.46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シリーズのような載荷下では、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、除荷時に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載荷履歴の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、載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ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>と緊張率λおよび横拘束筋体積比ρ<sub>s</sub>の関係を図4に示す。図より、ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>値はρ<sub>s</sub>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<sub>s</sub>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、緊張率λと横拘束筋体積比ρ<sub>s</sub>は互いに影響を及ぼし合うことから、ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>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 (ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>の標準偏差3.94) が得られた。上記の式を用いたΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>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載荷下で緊張率が小さい場合には、前述のようにΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>値が単調漸増型載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、種々の載荷履歴における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適度な精度で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今後の検討が必要である。

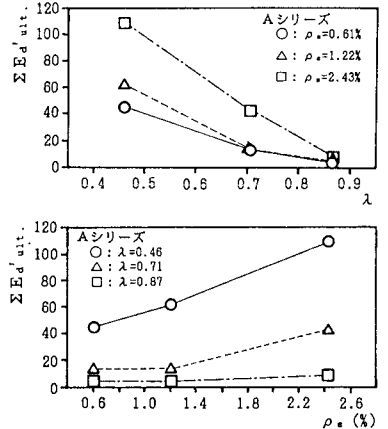


図4 ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>とλおよびρ<sub>s</sub>の関係

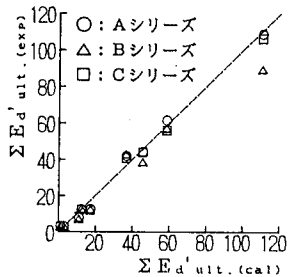


図5 ΣE<sub>d</sub>'<sub>ult.</sub>の実験値と計算値の比較