

V-265

パーシャルPCはり部材の正負交番荷重下の
消散エネルギーに及ぼす各種要因の影響

京都大学工学部

学生員 福島 祐治

正員 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 近年、鉄筋コンクリート構造とプレストレストコンクリート構造の中間領域をカバーするパーシャルプレストレストコンクリート（以下PPC）構造が注目されている。しかし、これらの部材の地震荷重による損傷と消散エネルギーの関係に関する研究はほとんど行われていない。地震荷重による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ると考えられ、著者らは昨年度PPCはり部材の消散エネルギーに及ぼす各種載荷履歴の影響について報告した¹⁾。ここではせん断スパン有効高さ比を変化させた実験を新たに追加し、各種載荷履歴における消散エネルギーに及ぼす影響を、緊張率および横拘束筋体積比の影響と併せて検討し定式化を試みた。

2. 実験概要 供試体は幅×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（全長180cm）とした。緊張率 λ として、0.46, 0.71および0.87の3レベル、横拘束筋体積比 ρ_s として0.61%, 1.22%および2.43%の3レベル、せん断スパン有効高さ比 a/d として2.29, 2.86および3.43の3レベルを設定した。また、載荷方法としては単調漸増型正負交番繰返し載荷（Aシリーズ）、単調漸減型正負交番繰返し載荷（Bシリーズ）の2パターンを選定した。その詳細については図1に示すとおりである。

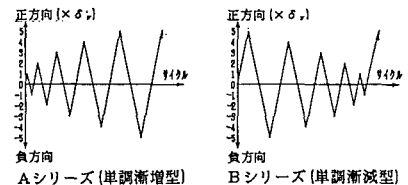


図1 載荷履歴

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。

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

変位と無次元化消散エネルギー E_d' の関係の一例を載荷履歴ごとに図2に示す。

Aシリーズでは、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することがうかがえ、次式のように定式化した。

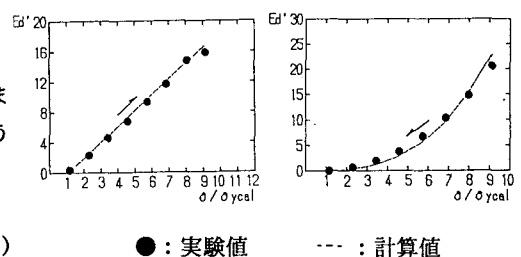
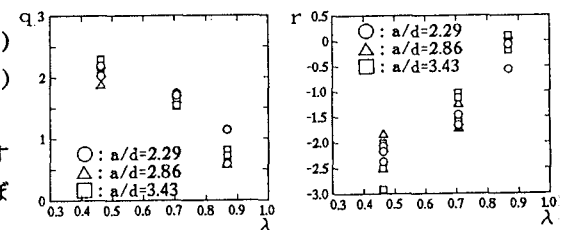
$$E_d' = q (\delta / \delta_{ycal}) + r \quad (\delta \geq \delta_{ycal}) \quad \text{----- (2)}$$

λ と上式中の係数 q 、 r の関係を図3に示す。この図より係数 q 、 r は緊張率 λ の影響を受け、実験結果を2次曲線で回帰することにより次式が得られた。

$$q = -9.946\lambda^2 + 9.840\lambda - 0.326 \quad \text{----- (3)}$$

$$r = 12.816\lambda^2 - 11.595\lambda + 0.340 \quad \text{----- (4)}$$

また、横拘束筋体積比 ρ_s は係数 q 、 r 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。また、 a/d が q 、 r に及ぼす有意な影響は認められなかった。

図2 載荷変位と E_d' の関係
($\lambda=0.46$ $\rho_s=1.22\%$)図3 λ と q 、 r の関係

一方、Bシリーズでは、消散エネルギーは変位の減少とともにほぼ 3 次曲線的に減少することがうかがえ、次式のように定式化した。

$$E_d' = S (\delta / \delta_{ycal})^3 \quad (\delta > \delta_{ycal}) \quad \text{----- (5)}$$

図4に $\delta_{max} / \delta_{ycal}$ と上式中の係数 S の関係を示す。この図より係数 S 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、実験結果を回帰することにより次式が得られた。

$$S = 0.422 (\delta_{ycal} / \delta_{max}) - 0.016 \quad (\lambda = 0.46) \quad \text{----- (6)}$$

$$S = 0.565 (\delta_{ycal} / \delta_{max}) - 0.037 \quad (\lambda = 0.71) \quad \text{----- (7)}$$

$$S = 0.763 (\delta_{ycal} / \delta_{max}) - 0.122 \quad (\lambda = 0.87) \quad \text{----- (8)}$$

このようにAシリーズとBシリーズで同一変位に対する消散エネルギーが異なる理由としては、Aシリーズのような漸増型の载荷では、変位の増加とともに新しいひび割れの進展、発達がみられ、それに従って消散エネルギーが直線的に増加するのに対して、Bシリーズのような漸減変位型载荷の場合は最初に大変形を与えるためそのループで消散するエネルギーはAシリーズと比べると大きくなるものの、以降の変位振幅では新しいひび割れの発生、進展はほとんどないため、対応するAシリーズの供試体と比べて同一変位での E_d' 値が減少することが挙げられる。

次に、Aシリーズにおける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5に示す。最終的にせん断破壊した供試体を除くと、終局時までの $\Sigma E_d'_{ult}$ 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、 λ が一定の場合は ρ_s の増加とともに2次関数的に増加することがわかる。また λ と ρ_s は互いに影響を及ぼし合うこと、最終破壊形式が曲げである限り a/d は $\Sigma E_d'_{ult}$ 値に影響を及ぼさないことから次式のように定式化した。

$$\Sigma E_d'_{ult} = a \rho_s^2 + b (1/\lambda) + c (\rho_s^2/\lambda) + d \quad \text{----- (9)}$$

係数 a 、 b 、 c 、 d は最小自乗法より $a = -37.69$ 、 $b = 4.073$ 、 $c = 34.28$ 、 $d = -5.691$ (標準偏差 5.793) と求められた。無次元化累積消散エネルギーの実験値 $\Sigma E_d'_{ult. (exp)}$ と上式による計算値 $\Sigma E_d'_{ult. (cal)}$ および式(2)で求めた各供試体の各サイクルの無次元化消散エネルギーの計算値を終局時まで合計したもの $\Sigma (E_d'_{cal})_{ult.}$ を比較したものを図6に示す。これらから判断すると、Aシリーズの $\Sigma E_d'_{ult. (cal)}$ 値は $\Sigma E_d'_{ult. (exp)}$ 値を多少の誤差はあるものの適度に推定できているといえるが、 $\Sigma (E_d'_{cal})_{ult.}$ 値のほうが実験値との精度は良いようである。これは、無次元化消散エネルギーが非常に良い精度で推定できていて、終局変位は計算値ではなく実験値を用いているためと考えられる。したがって、終局時までの無次元化累積消散エネルギーは、各変位における無次元化消散エネルギーの計算値を終局変位まで累積することによって推定可能であると考えられ、正負交番繰返し荷重下の終局変位をいかに精度よく推定することができるかが今後の課題となると考えられる。

【参考文献】1) 井上 晋ら：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荷重履歴の影響、土木学会第47回年次学術講演会概要集、第5部 1992 pp.728~729

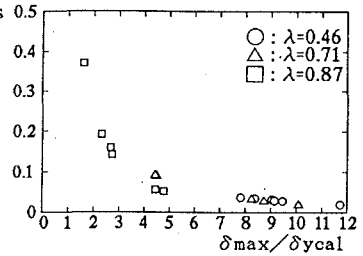


図4 $\delta_{max} / \delta_{ycal}$ と S の関係

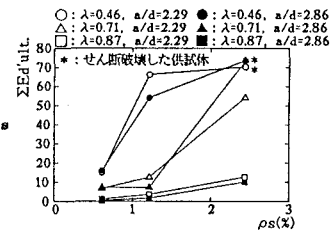
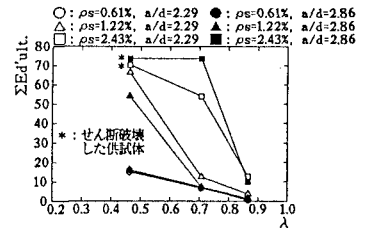


図5 $\Sigma E_d'_{ult}$ と λ 、 ρ_s の関係

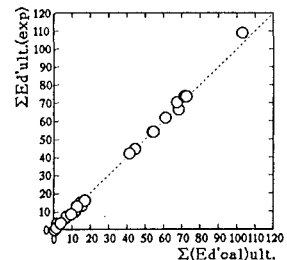
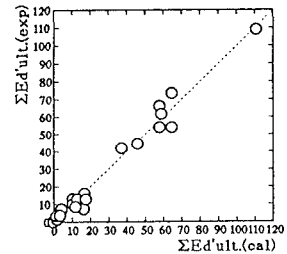


図6 $\Sigma E_d'_{ult.}$ の実験値と計算値の比較