

京都大学工学部 正員 岡田 清 正員 小林 和夫
正員 井上 晋 ○学生員 勝野 由弘

1. まえがき

本研究は、設計基準強度 800 kg/cm^2 の高強度コンクリートを用いたポストテンション方式の PC 単純はりにおいて、降伏ヒンジ領域に配置する横拘束筋の有無を要因として取上げ、高応力レベルでの定荷重片振繰返し試験ならびに定変位正負交番繰返し試験を実施し、その耐力力および塑性変形特性を検討するとともに、同程度の鋼材指数を有する普通強度 PC はり（設計基準強度 550 kg/cm^2 ）とその基本的性状を比較検討することにより、この種のコンクリートを用いた PC 曲がり部材の耐震特性を評価する上での基礎資料を得ることを目的としたものである。

2. 試驗概要

本研究では、PC鋼より線を用いた矩形断面のポステンションPC単純はりを用いて、高応力レベルの定荷重片振繰返し試験(Cシリーズ)および定変位正負交番繰返し試験(Dシリーズ)を実施した。コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=800\text{ kg/cm}^2$ とし、比較のために $\sigma_{ck}=550\text{ kg/cm}^2$ の普通強度コンクリートを用いた2種類のはりを作製した。鋼材指数 γ は0.18を選定し、PC鋼材断面積を変化させることにより両コンクリート間で γ 値がほぼ等しくなるようにした。ただし、 γ 値はコンクリートの設計基準強度と実際の圧縮強度との違いから、若干相異なる。また、横荷束筋に関しては、ニュージーランド規準等を参考にしてスパン中央50cm区間の降伏ヒンゲ領域に $\frac{1}{4}$ (d :有効高さ)ピッチで $\phi 6\text{ mm}$ 閉合矩形スターラップを配置したはり(ピッチ $S=\frac{1}{4}$)と配置しないはり($S=\infty$)の2種類を選定した。PC鋼材としては、7本よりPC鋼より線12.4mmおよび15.2mm(定降伏点 170 kg/mm^2)を使用し、図1に示すように両端を圧着グリップで固定したPC鋼より線をカップラーとネジ付プレートを用いて2本同時に緊張し、定着用ナットで固定することにより一様プレストレスを導入した。また、導入後、鋼材とシースの間隙にはセメントペーストグラウトを注入した。以上の要因の組合せにより作製した各シリーズの供試はりの種類を表1および表2に、また、供試はりの断面形状・寸法を図2に示す。なお、いずれのPCはりも土木学会PC標準示方書のせん断補強規定に従い、 $\phi 6\text{ mm}$ 矩形スターラップをスパン中央50cm区間のせん断スパン内に配置した。各シリーズの載荷方法を以下に示す。

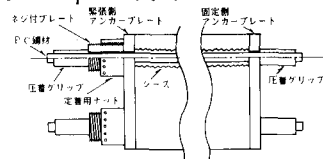


图1 定着部概略图

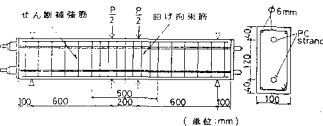


図2 はりの断面形状・寸法

1) 高応力定荷重片振繰返し試験 (Cシリーズ) : 上限荷重比 R をコントロール用はり供試体の実測静的最大曲げ耐力の 80% ($CH-1 \sim 2, CN-1 \sim 2$) と 90% ($CH-3 \sim 4, CN-3 \sim 4$) の 2 種類、下限荷重を 0.5 t とした定荷重片振繰返し載荷を行なった。なお、載荷速度は 12 回/分 (波形: $\sin$ 波) とし、最大繰返し回数は 2.5×10^4 回とした。繰返し回数 N が所定の回数に達した時点で、上限荷重を静的に与え、載荷点たわみを測定し、また、 2.5×10^4 回の繰返しに耐えたものについては、その後静的単調漸増載荷を行ない残存耐力を調べた。

2) 変位正負交替繰返し試験 (Dシリーズ): DH-1~2, DN-1~2 については、変位レベルとして各 PC はりの静的載荷における最大耐力時付近の載荷点たわみ ($\pm 8 \sim 10 \text{ mm}$) を設定し、原則として 100 回の交替繰返しを行ない、所定の回数に達した時に静的載荷によって、荷重～載荷点たわみの履歴ループを求めた。また、DH-4, DN-3~4 については、荷重上昇域の最大耐力の 90% 程度の荷重に対応する載荷点たわみ ($\pm 5 \text{ mm}$) で 100 回の交替繰返しを終えた後、さらにフォー

表1 はりの種類および試験結果

供試はり	上層層出厚 (mm)	鋼筋径 (mm)	縦筋間隔ピッチ (mm)	スラブ厚 (mm)	上層層出厚 (mm)	縦筋径 (mm)	鋼筋間隔ピッチ (mm)	耐力力 (kN)	
CH-1	80	0.87	∞	19.7	11.97	1.7	150	15.25	
CN-1		0.162	∞	11.3	8.25	1.7	150	9.60	
CH-2		0.187	d/4	2.01	10.64	1.7	150	14.05	
CN-2		0.162	d/4	11.7	8.25	1.760	1.7	150	—
CH-3	90	0.187	∞	19.1	11.97	1.7	150	15.25	
CN-3		0.162	∞	11.6	9.30	1.7	150	8.9	
CH-4		0.187	d/4	19.6	11.97	3.50	1.7	150	—
CN-4		0.162	d/4	10.7	9.30	4.30	1.7	150	—

※上張荷重11.97tで25000回繰返した後、13.78tで繰返し
載荷を行なった結果、64回で破壊した。
(供試はり名のHは高強度、Nは普通強度を示す)

表2はりの種類・載荷点たわみレベル

仕工程序	鋼材 形状	桁架鋼 ピッチ	挿入ス プレ 厚さ t_p (mm)	敷面板 たわみレ ベル
DH-1	0367	∞	193	±6mm
DN-1	0169	∞	103	±10mm
DH-2	0167	g/4	199	±8mm, ±10mm
DN-2	0169	g/4	98	±10mm
DN-3	0162	∞	106	±5mm, ±8mm, ±11mm
DH-4	0167	g/4	197	±5mm, ±14mm
DN-4	0162	g/4	111	±5mm, ±15mm

リングブランチ領域において載荷点たわみが $\pm 8, 11, 14, 15 \text{ mm}$ の変位レベルで交番繰返し載荷を行なった。なお、載荷速度は6回/分で波形はsin波を採用した。

3. 試験結果および考察

1) Cシリーズ：Cシリーズより得られた各P- δ 曲線の疲労寿命、残存耐力を表1に、また、繰返し回数Nとたわみ δ の関係を図3-(1),(2)に示す。表1に示すように、上限荷重比 $R=80\%$ では4体中1体が、 90% では4体中3体がいずれも中央曲げスパン内コンクリートの圧縮疲労によって破壊した。一方、 2.5×10^4 回の繰返しに耐えたはりの残存耐力は静的最大曲げ耐力と較べてほとんど低下しないことが示された。コンクリート強度、横拘束筋の有無が疲労寿命に及ぼす影響はほとんど認められないが、横拘束筋を配置しないPCはりでは曲げスパン内コンクリートが圧潰すると同時に急激に破壊するのに対し、それを配置したPCはりではかぶりコンクリートが圧潰した後も数回の繰返しに対しては、上限荷重に近い荷力を保持し、じん性に富んだ破壊形式を示した。また、繰返し回数にともなうたわみの変化については、横拘束筋の有無による明瞭な差異は認められないが、高強度コンクリートを用いたPCはりの方が全般的にたわみが小さく、また、その増加率も小さいようである。なお、いずれのPCはりにおいても定着部の疲労破壊はみられず、本試験はりに採用した両端圧着グリッパによる定着法は 2.5×10^4 回以内の繰返しでは安全であることが確認された。

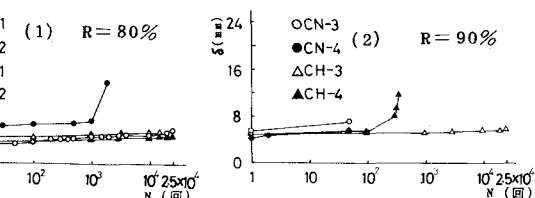


図3 繰返し回数にともなう載荷点たわみの変化

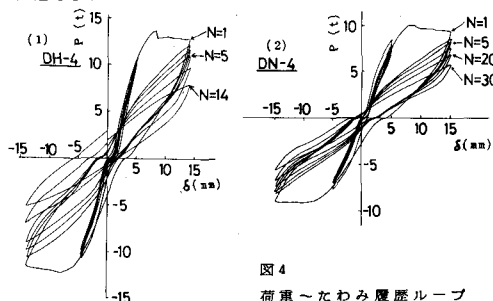


図4 荷重～たわみ履歴ループ

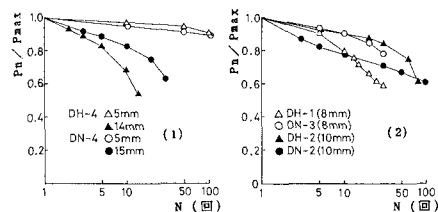


図5 繰返し回数にともなう耐力の低下

2) Dシリーズ：Dシリーズより得られた荷重～たわみ履歴ループ、繰返し回数Nにともなう耐力の低下および等価粘性減衰定数 h_{eq} の変化をそれぞれ図4-(1),(2)、図5-(1),(2)、図6に示す。最大耐力到達以前の $\pm 5 \text{ mm}$ の繰返し下においては、コンクリート強度に関係なく、いずれのPCはりも $N=100$ 回後の $N=1$ 回に対する耐力の低下は10%程度とさわれて少ない。これに対して、最大耐力直後の $\pm 8 \sim 10 \text{ mm}$ 程度の繰返し下では、横拘束筋を配置しない高強度PCはりでは普通強度のものに較べ、耐力の低下が顕著となる。この耐力低下は、横拘束筋を配置することによりかなり改善できるが(図5-(2))、変位レベルが $\pm 15 \text{ mm}$ (部材角 $\theta=0.025$)程度に達すると、横拘束筋を配置しても低下率はかなり大きくなる傾向にある。(図5-(1))一方、図6より、等価粘性減衰定数 h_{eq} の繰返し回数にともなう変化をみると、高強度PCはりでは一度減少した後、比較的早期に増大し始め、普通強度PCはりに較べて部材損傷が激しくなることを示している。また、横拘束筋を配置しないPCはりの h_{eq} 値は、配置したものに較べ繰返し回数に関係なく全般的に大きく、前者の方が部材劣化が著しいことが示される。

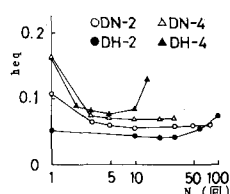


図6 等価粘性減衰定数

4. 結論

本試験結果より、PCはり部材において鋼材指数を同一とした場合、コンクリート強度($\sigma_{ck}=550, 800 \text{ kg/cm}^2$)、横拘束筋の有無により、最大耐力到達以前の荷重レベルでの一方方向、正負交番繰返し載荷下における耐力特性、塑性変形特性に顕著な差異は認められないが、最大耐力到達以降のフォーリングブランチ領域での正負交番繰返し載荷下においては、これらの要因により著しく影響されることが示された。