

(16) PC鋼材を3段・4段配置したプレストレストコンクリートはりのせん断破壊性状

東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 正会員 ○小林 薫
 東日本旅客鉄道株式会社 建設工事部 正会員 川崎 徹

1. はじめに

一般に、プレストレストコンクリート(以下「PC」という)桁では、部材に発生する曲げモーメントの形状に合わせてPC鋼材が配置される。このため、支点付近ではPC鋼材定着のため、PC鋼材が多数段曲げ上げ配置となっている。このような支点付近でPC鋼材が曲げ上げ配置となるPCはりのせん断破壊性状については、研究例も少なく、不明確な点も多い。特に、多数段の曲げ上げ配置となるPCはりのせん断破壊性状については実験例も極めて少ない状況にある。

本研究は、PC鋼材を3段・4段配置したPCはりのせん断破壊実験を行い、その破壊性状について実験的に検討を行ったものである。

2. 試験概要

2.1 試験体の概要

図-1に、試験体の一般図の例を示す。表-1に、試験体の各諸元を示す。今回の試験に用いた試験体は6

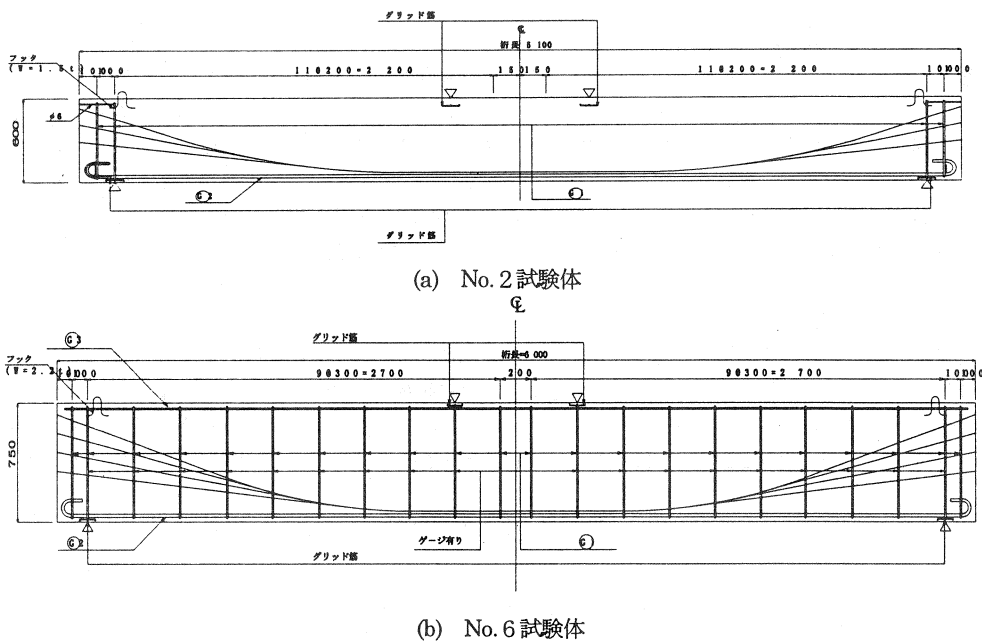


図-1 試験体一般図の例

表-1 試験体諸元表

試験体No	断面形状 b × h(mm)	PC鋼材 A _p (cm ²)	軸方向 鉄筋量 A _s (cm ²)	せん断補 強鉄筋量 A _w (cm ² /m)	プレストレス力 P _e (tf)
1	190 × 600	6.809(φ 17-3)	0.0	0.0	30(10 × 3)
2	190 × 600	6.809(φ 17-3)	11.46(D 19-4)	0.0	30(10 × 3)
3	190 × 600	6.809(φ 17-3)	11.46(D 19-4)	5.706(D 10@250)	30(10 × 3)
4	190 × 750	9.079(φ 17-4)	0.0	0.0	30(7.5 × 4)
5	190 × 750	9.079(φ 17-4)	11.46(D 19-4)	0.0	30(7.5 × 4)
6	190 × 750	9.079(φ 17-4)	11.46(D 19-4)	4.755(D 10@300)	30(7.5 × 4)

体で、断面形状は全て矩形断面とした。

試験体のPC鋼材は、PC鋼棒φ17(SBPR930/1080)を用いた。試験体の寸法は、PC鋼棒を3段配置とした試験体の断面高さが60cm、幅19cm、スパンが4.7mである。PC鋼材を4段配置とした試験体では、断面高さが75cm、幅が19cm、スパンが5.6mである。試験体のスパンは、せん断スパン比の影響が小さくなるように、せん断スパン(a)と断面高さ(h)の比(a/h)を3.0に設定したことから決定した。各試験体に用いたPC鋼材の曲率半径は3.5mで、各PC鋼材共通とし、曲げ上げ位置の調整によって所定の配置となるようにした。PC鋼材の配置状況は、特にPC鋼材を4本配置とした試験体のスパン中央位置で、PC鋼材用のシー스가密着した状態での配置となったため、コンクリートの打設、締め固めにはコンクリートの欠陥が生じないように入念な施工を行った。

試験体の製作に使用したコンクリートは、表-2に示す配合で、試験時の目標圧縮強度は、400kgf/cm²とした。なお、プレストレス導入時、載荷実験時材令におけるコンクリートの圧縮強度は、現場養生の標準供試体

表-2 コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	単位量(kg/m ³)						設計基準強度 (kgf/cm ²)		
					水		セメント		粗骨材			混和剤	
					W	C	S	G	MT	Vin			
20	8±2.5	3±1	40	41.5	160	400	739	1062	4	1.6	400		

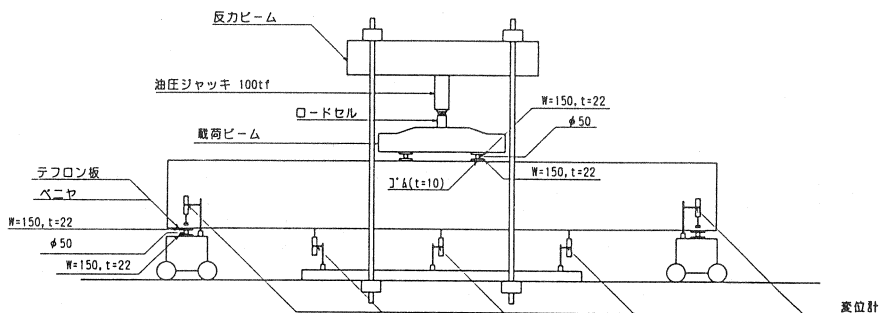
(円柱供試体φ=100mm)により確認した。

試験体へのプレストレス力の導入は、コンクリートの圧縮強度が350kgf/cm²以上で行うこととした。試験体に導入したプレストレスは、PC鋼材を3段配置したものでPC鋼材1本当たり約10tf、4段配置した試験体でPC鋼材1本当たり7.5tfとした。これは、プレストレス導入時の曲げひび割れが発生しないように決定した。PC鋼棒の定着は、アンカープレートにナットで固定して行い、PC鋼棒の定着後、セメントグラウトを注入(シース径φ=45mm)した。なお、せん断補強用の鋼材を配置していない試験体には、PC鋼棒定着部の補強のために支点からPC鋼棒定着部付近にはスターラップを配置した。

2.2 測定項目及び載荷方法

図-2に、載荷試験装置の概要を示す。本試験における測定項目は、PC鋼材のひずみ、コンクリートの表面ひずみ、たわみ、ひび割れ状況及び載荷荷重とした。PC鋼棒およびコンクリートの表面のひずみ測定には、測長3mmと測長60mmのワイヤーストレインゲージ(以下「ひずみゲージ」という)をそれぞれ使用した。コンクリート表面のひずみ測定では、断面の上・下縁では単軸のひずみゲージ、断面図心位置にはロゼッタ型

図-2 載荷試験装置



(直角三軸型)配置にひずみゲージをそれぞれ貼り付け、ひび割れ発生までの断面上・下縁のひずみおよび図心位置の主ひずみ、主応力角の測定を行った。特に、ロゼッタ型ゲージの位置については、載荷実験前の非線形FEM解析結果を参考として決定した。

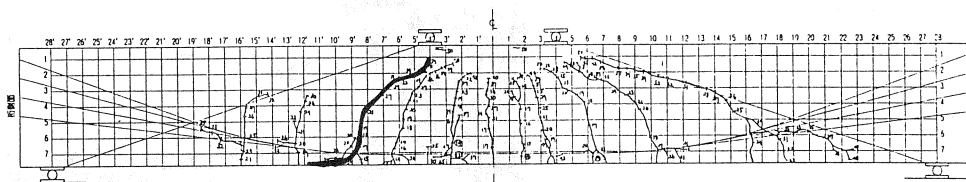
コンクリート表面のひび割れ発生状況は、ひび割れ発生後、載荷荷重毎にコンクリート表面のひび割れをスケッチで記録した。試験体に発生したひび割れがせん断破壊面と想定される場合に、そのひび割れを跨ぐように2軸亀裂変位計を部材図心位置付近に取り付けた。この2軸亀裂変位計では、コンクリート表面のひび割れ幅をX方向(部材軸方向)とY方向(断面高さ方向)同時に測定を行うことができるものである。

載荷方法は、図-2に示すように2点集中載荷とし、油圧ジャッキ(100tf用)にて0.5tfピッチで載荷し、曲げひび割れが発生した時点で一旦除荷し、その後破壊まで1.0tfピッチで載荷した。

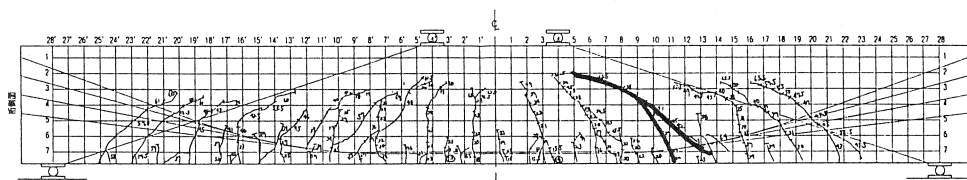
3. 試験結果および検討結果

3.1 破壊性状

図-3に、主な試験体の載荷試験後のひび割れ発生状況を示す。



(a) No. 4 試験体



(b) No. 6 試験体

図-3 載荷試験後のひび割れ発生状況

破壊形態は、No. 1、No. 2、No. 4、No. 6の各試験体で、圧縮側のコンクリートが圧壊によってせん断破壊するせん断圧縮破壊となり、No. 5試験体では斜め引張破壊、No. 3試験体では曲げ破壊となった。

No. 1試験体の破壊状況を写真-1に示す。No. 1試験体では、PC鋼材曲げ上げ位置付近に発生した曲げひび割れが載荷荷重を大きくするにつれて垂直に立ち上がり、下縁から約20cm位の高さまでひび割れが進展した段階で45度方向の斜めひび割れとなった。PC鋼材とひび割れが交叉したところでは、PC鋼材に沿ったひび割れの発

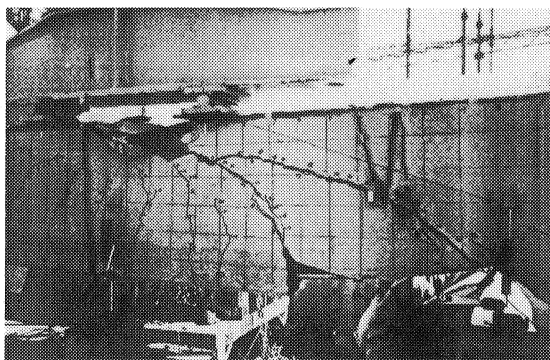


写真-1 No. 1試験体破壊状況

生も観察された。ひび割れの発生状況は、スパンセンターを中心にしてほぼ対称となった。

No. 4 試験体の破壊状況を写真-2に示す。No. 4 試験体のひび割れ発生状況は、No. 1 のように試験体のスパンセンターで対称とはならなかった。せん断破壊面では、P C鋼材曲げ上げ位置付近に発生した曲げひび割れが、載荷荷重の増加とともに図心位置付近まで垂直に立ち上がり、その後載荷点方向を目指して斜めひび割れへと成長した。一方、せん断破壊しなかった側では、P C鋼材の曲げ上げ開始位置から断面高さ程度支点側に入った位置付近に発生した曲げひび割れが載荷荷重の増加に伴い、垂直に立ち上がり、断面図心位置付近まで達してから荷重載荷点方向を目指して斜め方向にひび割れが進展した。この斜めひび割れは、荷重載荷点支圧板縁端と支点部支承用プレート縁端を結ぶ線上で成長した。

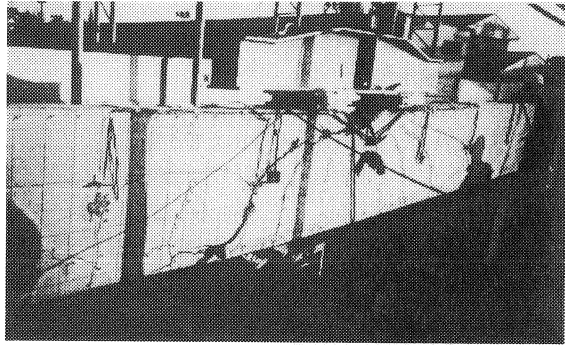


写真-2 No. 4 試験体破壊状況

軸方向鉄筋を配置したNo. 2 試験体とNo. 5 試験体では、軸方向鉄筋のひび割れ分散効果により曲げひび割れ発生間隔は小さく、ひび割れ本数が多く発生した。No. 2 試験体では、P C鋼材曲げ上げ位置付近の下縁に発生した曲げひび割れが、そのまま荷重載荷点を目指して斜め方向に進展し、最終的には圧縮側コンクリートの圧壊によってせん断圧縮破壊した。

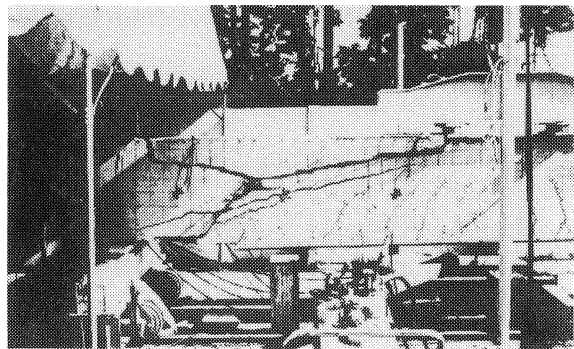


写真-3 No. 5 試験体破壊状況

写真-3に、No. 5 試験体の破壊状況を示す。No. 5 試験体については、せん断破壊時の上縁コンクリートの圧縮ひずみが2000 μ 程度と終局ひずみに達する前にせん断破壊となり、破壊形態は斜め引張破壊となった。ひび割れの発生状況は、支点部から断面高さ程度離れた位置に曲げひび割れが発生し、載荷荷重の増大とともに約15cm程度垂直に立ち上がったあと、荷重載荷点支圧板縁端と支承部プレート縁端を結んだ線上でひび割れが大きく成長した。しかしながら、載荷初期段階から成長し、かなり大きな斜めひび割れとなったにも関わらず、そこではせん断破壊とならず、せん断破壊荷重に達する直前に反対側の側面に大きな斜めひび割れが急激に発生し、荷重を保持している状態でひび割れ幅が大きくなった。その後、僅かな載荷荷重の増加によりせん断破壊した。なお、No. 3 試験体は、斜めひび割れが大きく成長したものの、曲げ破壊となった。

3. 2 スターラップのひずみの発生状況

No. 3 試験体とNo. 6 試験体に配置されているスターラップのひずみ発生状況について述べる。スターラップには、断面図心位置と断面図心位置から上・下縁までを等分する位置にひずみゲージを貼り付け、荷重の増加に伴うスターラップのひずみの変化を計測している。図-4にNo. 3 試験体、図-5にNo. 6 試験体のスターラップのひずみの計測結果ををそれぞれ示す。No. 3 試験体は、曲げ破壊となったが参考としてスターラップのひずみ計測結果を示す。

この図は、X軸に桁長を表し、桁端からもう一方の桁端までを表し、Y軸はひずみの計測値である。この図から、スターラップに発生するひずみは、No. 3 試験体で上段位置で350 μ 程度、中段位置で最大6000 μ 程度、下段位置で2000 μ 程度となった。また、No. 6 試験体では、上段位置で300 μ 程度、中段位置で最大16000 μ 、下段位置で2400 μ 程度であった。スターラップに発生するひずみは、中段位置が最も大きく、上段位置

が最も小さくなった。スターラップ上段位置では、ひび割れとの交叉がないこと、中段位置ではせん断破壊時のせん断変形が一番大きくなることから、このような計測結果になったと思われる。なお、ひび割れと交叉している付近のスターラップのひずみは2000 μ 前後となっていた。

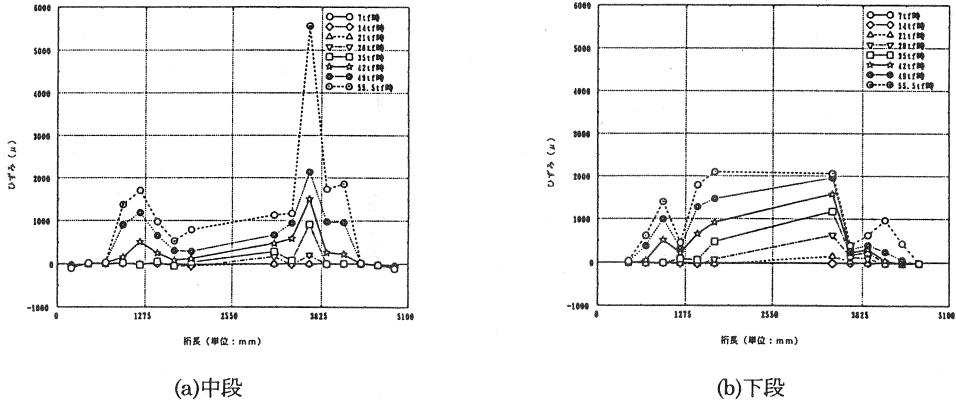


図-4 No.3 試験体スターラップひずみの発生状況

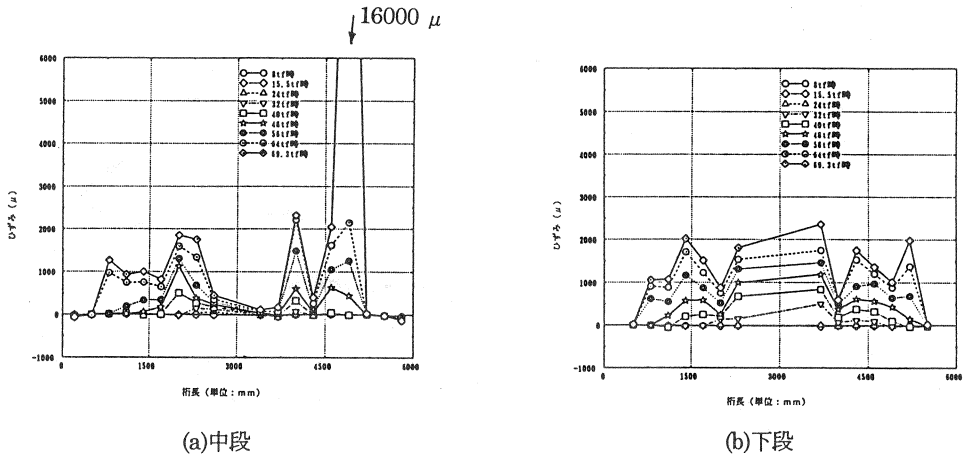


図-5 No.6 試験体スターラップひずみ発生状況

3. 3 せん断破壊面におけるせん断ひび割れ挙動の測定結果

2軸亀裂変位計におけるせん断破壊面でのひび割れ挙動の計測結果について述べる。本計測は、せん断破壊面でのせん断破壊直前のひび割れ挙動を把握することを目的として行った。2軸亀裂変位計の測定値からは、載荷荷重の増加に伴うひび割れ開口幅のX方向(部材軸方向)、Y方向(断面高さ方向)の挙動を2方向同時に把握できる。図-6に、せん断破壊面の挙動を計測できた測点としてNo.1試験体測点4、No.2試験体測点3、No.4試験体測点1での計測結果を示す。また、図-7に、せん断破壊がせん断破壊面ですれるようなせん断変形が卓越した挙動として、そのずれる方向の推移を部材軸に対する角度として示す。なお、ここでの部材軸に対する角度は、2軸亀裂変位計の計測結果から、 $\theta = \tan^{-1}(Y/X)$ (ここで、XはX方向変位量(mm)、YはY方向変位量(mm)を表す)で算定した。

これらの図から、せん断破壊面でのひび割れの幅は、載荷荷重の増加とともに部材軸方向よりは断面高さ方向への増加が著しくなること、断面図心位置付近でのせん断破壊は、概ね部材軸に約40~60度の角度で交叉し斜めにずれるように挙動して破壊に到ることがわかる。

4. まとめ

本実験結果から、PC鋼材を3段・4段配置したPCはりのせん断破壊性状を以下にまとめる。

- ①破壊形態は、No.5試験体において斜め引張破壊となり、他の試験体は圧縮側コンクリートの圧壊に起因するせん断圧縮破壊となった。
- ②スターラップに発生するひずみは、上段位置で約350 μ 程度、中段位置で最大16000 μ 程度、下段位置で2400 μ 程度となり、ひび割れと交叉している箇所では概ね2000 μ 前後となっていた。
- ③せん断破壊直前のせん断破壊面のひび割れ挙動は、断面はり方向の挙動が卓越する。
- ④せん断破壊の進行方向は、約40~60度の角度で部材軸と交叉し、斜めにずれるよう挙動して破壊に至る。

【参考文献】

- 1) 鳥取、涌井：プレストレストコンクリートはりのせん断耐力、プレストレストコンクリート技術協会、第3回シンポジウム論文集、1992
- 2) 小林、川崎：曲げ上げケーブルを有するプレストレストコンクリートはりのせん断破壊試験と解析、プレストレストコンクリート技術協会、第8回シンポジウム論文集、1996

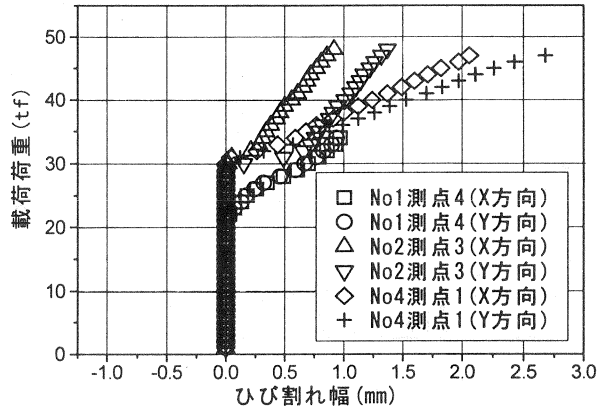


図-6 2軸亀裂変位計での測定結果

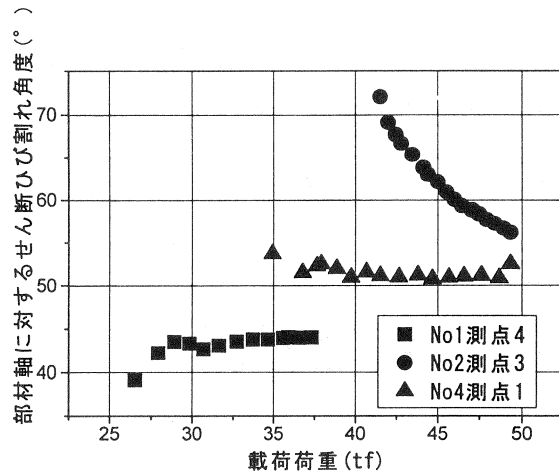


図-7 部材軸に対するひび割れ角度