

(47) 3段の曲上げPC鋼材を配置したPC桁のせん断耐ひび割れ性状に関する検討

東日本旅客鉄道株式会社 建設工事事部 構造技術センター 正会員 ○小林 薫

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下「PC」という)桁では、通常、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される場合が多い。このような支点付近でPC鋼材が曲げ上げ配置となるPC桁のせん断耐荷機構には、導入プレストレスによる軸力の効果とPC鋼材の曲げ上げの効果によって、RC桁でのせん断耐荷特性よりも複雑になると思われる。また、このようなPC桁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、PC鋼材が多数段の曲げ上げ配置となようなPC桁のせん断破壊試験例なども極めて少ない状況にある。

そこで、本研究では、曲上げPC鋼材がPC桁のせん断耐ひび割れ性状に与える影響に着目し、PC鋼材を曲上げ配置した場合と直線配置とした場合のせん断耐ひび割れ発生状況について検討を行ったものである。具体的な検討方法としては、まず、PC鋼材を3段配置した試験体のせん断破壊試験結果を行い、試験結果を非線形有限要素法(以下「非線形FEM解析」という)で解析を行った。その結果、ひび割れ発生状況を比較的精度よく求めることが確認できた。次に、試験体と同じ諸元でPC鋼材を直線配置した場合のひび割れ発生状況を解析的に求め、両者の比較検討から、曲上げPC鋼材を有するPC桁のせん断耐ひび割れ性状について考察したものである。

2. 試験概要

(1) 試験体の概要

図-1に、試験体の一般図を示す。試験体のPC鋼材には、PC鋼棒φ17(SBPR930/1080)を用いた。なお、本試験体は、PC鋼材の曲上げの影響を検討する目的でせん断補強鉄筋や軸方向鉄筋は配置していない。試験体の形状寸法は、断面高さが60cm、幅19cm、スパンが4.7mである。試験体のスパンは、せん断耐力に対する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鋼材の曲上げ半径は3.5mで、各PC鋼材共通とし、曲上げ位置の調整によって所定の配置となるようにした。

試験体へのコンクリートの打設では、試験体のスパン中央位置で3本のPC鋼材用のシーが密着した状態での配置となったため、コンクリートに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、試験時の目標圧縮強度が400kgf/cm<sup>2</sup>となる配合のものを用いた。載荷試験時のコンクリート圧縮強度は、現場養生の標準供試体(円柱供試体φ=100mm)から確認し、3個のテストピースの平均圧縮強度は411kgf/cm<sup>2</sup>であった。

試験体へのプレストレスの導入は、コンクリートの圧縮強度が350kgf/cm<sup>2</sup>以上で行うこととした。試験体に導入したプレストレス力は、

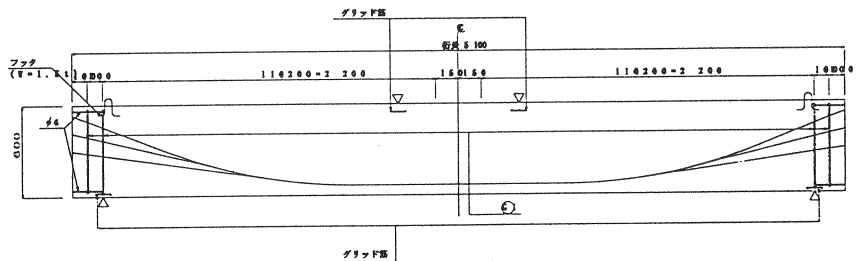


図-1 試験体一般図

PC鋼材1本当たり約10tfとした。これは、プレストレス導入時に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、アンカープレートで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した。

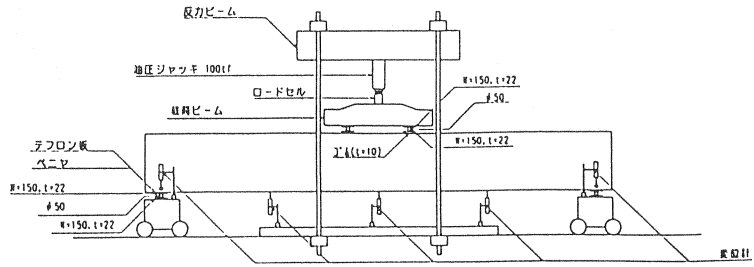


図-2 荷重試験状況

(2) 荷重方法

荷重方法は、図-2に示すように2点集中荷重とし、試験は油圧ジャッキ(100tf用)にて0.5tfピッチで荷重し、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ピッチで荷重した。

3. 荷重試験結果

(1) 破壊性状及び荷重・変位関係

図-3に、荷重試験後の試験体のひび割れ発生状況を示す。また、写真-1に、試験体の破壊状況を示す。試験体の破壊状況は、圧縮側コンクリートの圧壊によってせん断破壊するせん断圧縮破壊の破壊形態を示した。ひび割れ発生状況は、PC鋼材の曲上げ位置付近から発生した曲げひび割れが荷重荷重が大きくなる

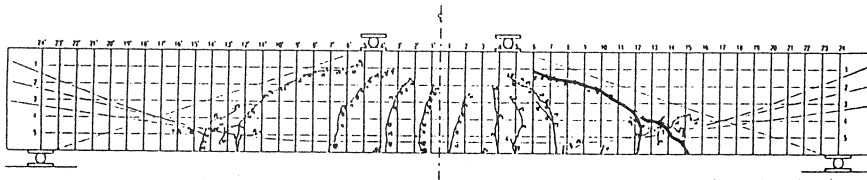


図-3 荷重試験後のひび割れ発生状況

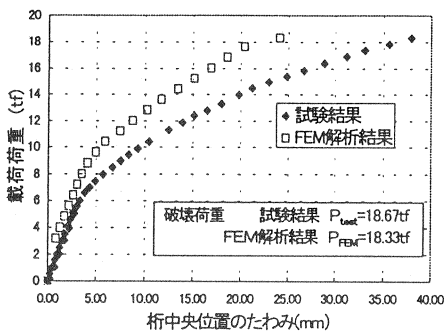


図-4 荷重荷重とスパン中央の変位

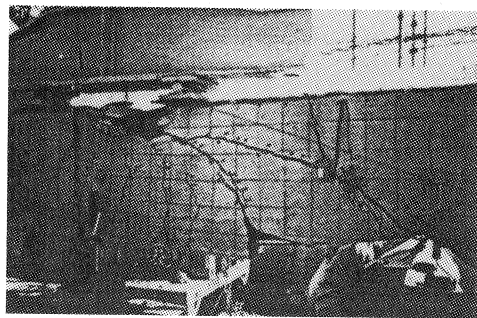


写真-1 試験体の破壊状況

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荷重荷重点方向に向かう斜めひび割れへと進展した。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。試験結果として、図-4に荷重荷重とスパン中央の変位量と関係を示す。

#### 4. 非線形FEM解析の概要

##### (1)解析モデル

試験結果に対して、非線形 FEM 解析から検討を行った。図-5に、解析モデルを示す。解析モデルに用いたコンクリートの材料構成則は、圧縮破壊後のひずみ軟化特性を考慮し、破壊基準は Kuppfer らの包絡線を多点折れ線近似したものを用いた<sup>1)</sup>。ひび割れモデルについては、分布ひび割れモデルを用いた。P C鋼材の応力・ひずみ関係については、バイリニア型でモデル化を行い、ビーム要素として配置した。なお、P C鋼材とグラウトとの付着性状については、本解析モデルでは付着劣化が生じないものとして扱っている。なお、解析モデルにおけるプレストレスの導入方法については、P C鋼材をモデル化したビーム要素に導入プレストレスに相当する初期ひずみを与えて考慮した。図-6に、解析に用いたコンクリートの応力・ひずみ曲線を示す。

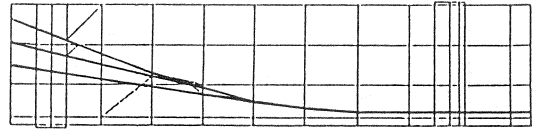


図-5 FEM 解析モデル

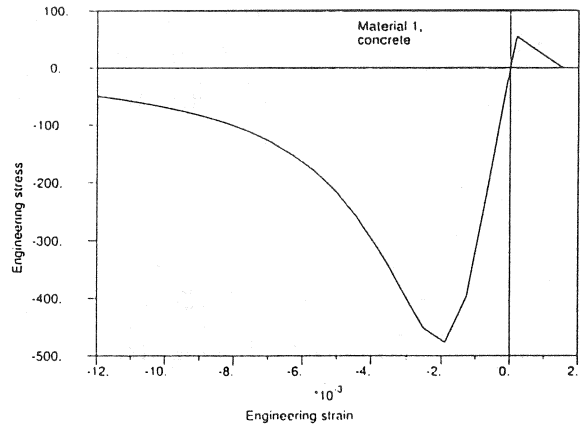


図-6 解析に用いたコンクリートの応力・ひずみ曲線

##### (2)解析結果

破壊荷重については、図-4に示したように試験体での値が 18.67tf、非線形 FEM 解析結果での値が 18.33tf とほぼ一致した。しかしながら、スパン中央でのたわみ量は、FEM 解析結果の方が試験体の 65%程度と小さくなった。この理由は、解析モデルが P C鋼材とグラウトの付着切れが生じないとしていることや載荷試験が初期ひび割れを導入してから行っていることなどの相違によるものと思われる。

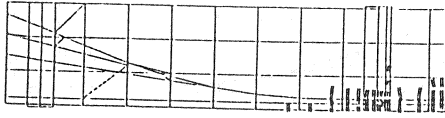
#### 5. 非線形 FEM 解析結果からPC鋼材の曲上げがせん断ひび割れ性状に与える影響の検討

P C鋼材の曲上げの影響について、試験体と同じ諸元でP C鋼材を直線配置した解析モデルでの非線形 FEM 解析結果との比較検討を行い、ひび割れの発生状況に着目して考察する。なお、非線形 FEM 解析結果での両者の破壊形態は、ともに圧縮側コンクリートが圧壊により解析が終了し、P C鋼材を直線配置したときの破壊荷重は 25tf で、P C鋼材を曲上げた場合の約 35%程度大きくなった。図-7に、P C鋼材を曲上げ配置した場合と直線配置した場合の非線形 FEM 解析結果における各載荷荷重時のひび割れ発生図を示す。

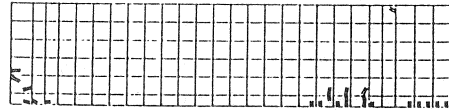
載荷荷重 10tf (①の状態) の場合は、載荷初期の段階で曲げひび割れの発生から僅かに進展した状況である。両者を比較すると、大きな差は見られず、ほぼ同程度のひび割れ発生状況となっている。さらに、載荷荷重を増加した場合 (②の P=16tf の状態) では、P C鋼材を曲上げ配置していると曲げひび割れの発生が載荷点位置から断面高さの2倍程度 (せん断破壊試験では断面高さの1.8倍程度) の範囲まで進展するのに対し、P C鋼材を直線配置にすると載荷点位置から断面高さ程度の範囲までとなり、狭くなった。ひび割れ先端は、両者ともに荷重載荷点方向に向かうような斜め方向になった。

P C鋼材を曲上げ配置した試験体が破壊荷重に達する直前の状況 (③の P=18tf の状態) では、進展する

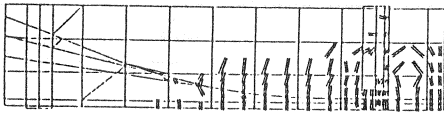
① P=10tf の場合



① P=10tf の場合



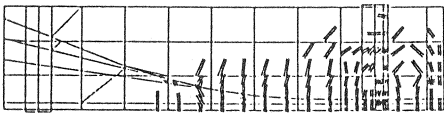
② P=16tf の場合



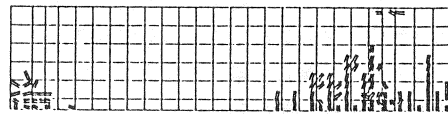
② P=16tf の場合



③ P=18tf の場合



③ P=18tf の場合



(a) 曲上げ配置の場合

(b) 直線配置の場合

図-7 非線形 FEM 解析結果 (ひび割れ発生状況)

ひび割れ全てが斜め方向のひび割れとなり、そのときのひび割れ角度は P C 鋼材を曲げ上げ配置している場合では部材軸に対して約 30 度となるのに対して、P C 鋼材を直線配置にすると約 45 度になった。この角度は、荷重載荷点と最外縁のひび割れを結ぶ角度とほぼ一致する。ひび割れ発生範囲は、P C 鋼材を曲げ上げしていると支点に近づくほどプレストレスによる負の曲げモーメントが小さくなるため、P C 鋼材を直線配置した場合よりも広がったものと思われる。なお、P C 鋼材を直線配置とした場合で、桁端部にひび割れの発生が見られるが、これは P C 鋼材を全て同一位置箇所に集中して定着したため、定着具からの支圧応力によるポアソン効果によって生じたものである。

## 6. まとめ

本検討結果を以下にまとめる。

- ① P C 鋼材を 3 段曲げ上げ配置した試験体のせん断破壊試験結果を非線形 FEM 解析で行った結果、破壊荷重は、ほぼ一致した。
- ② P C 鋼材を曲上げた場合では、P C 鋼材を直線配置した場合よりも曲げひび割れ発生範囲が広がる。これは、プレストレスによる曲げモーメントが P C 鋼材を曲上げ配置している場合、支点に近づくほど小さくなるためである。
- ③ 斜めひび割れの発生角度は、P C 鋼材を曲上げた場合では部材軸に対して約 30 度、P C 鋼材を直線配置した場合は約 45 となった。

### 【参考文献】

- 1) ADINA 理論とモデル化の手引き、(株)構造計画研究所