

(17) PC鋼材途中定着部における実験的研究

J R 東日本 建設工事部 正会員 ○小林 将志  
 同 千葉支社 正会員 岩田 道敏  
 同 投資計画部 片岡 賢司

1. 目的

PC桁橋において各断面に所要のプレストレスを導入するため、上、下スラブ、ウェブに突起定着を設けてPC鋼材を定着する場合がある。この時、定着部付近のコンクリートには割裂応力、応力集中、偏心圧縮力、腹圧力が働き、複雑な応力状態となることが指摘されている。渡辺ら<sup>1)</sup>は、突起定着部の複雑な応力状態を2次元FEM解析により簡便に解析し、鉄筋量を計算する手法を示した。また、高橋ら<sup>2)</sup>は、道路橋示方書に示されている特に床版内に働く橋軸方向の引張り作用力に着目し、平面FEM解析を行い計算式を示した。しかし、実際の設計では、突起定着部の形状を決める際には標準ディテールに従うことが多く、形状の変化による使用状態のひび割れ性状は明らかにされていない。そこで今回は、途中定着部が単体で存在した場合(横桁、ウェブの影響を受けない場合)の応力状態を把握するため、縮小モデルの突起定着部の模型試験体の載荷試験を行い、曲げひび割れと形状の関係を検討したのでここに報告する。

2. 試験概要

2.1 試験体の概要

図-1に試験体の形状を示す。今回紹介する試験体は、幅115.0cm、厚さ15.0cmの床版に幅20.0cmの定着突起を取り付けた3体である。試験体のパラメータは、突起高さや定着角度である。本試験体の突起部分を比較的薄いものとしたのは、定着部付近における応力状態を再現するためである。コンクリートの試験時の目標強度は40N/mm<sup>2</sup>であり(表-1参照)、セメントには早強ポルトランドセメントを用いた。載荷用のPC鋼棒にはΦ32mm(C種1号SBPR1080/1230)を用い定着具及びシースもこれに準じたものを使

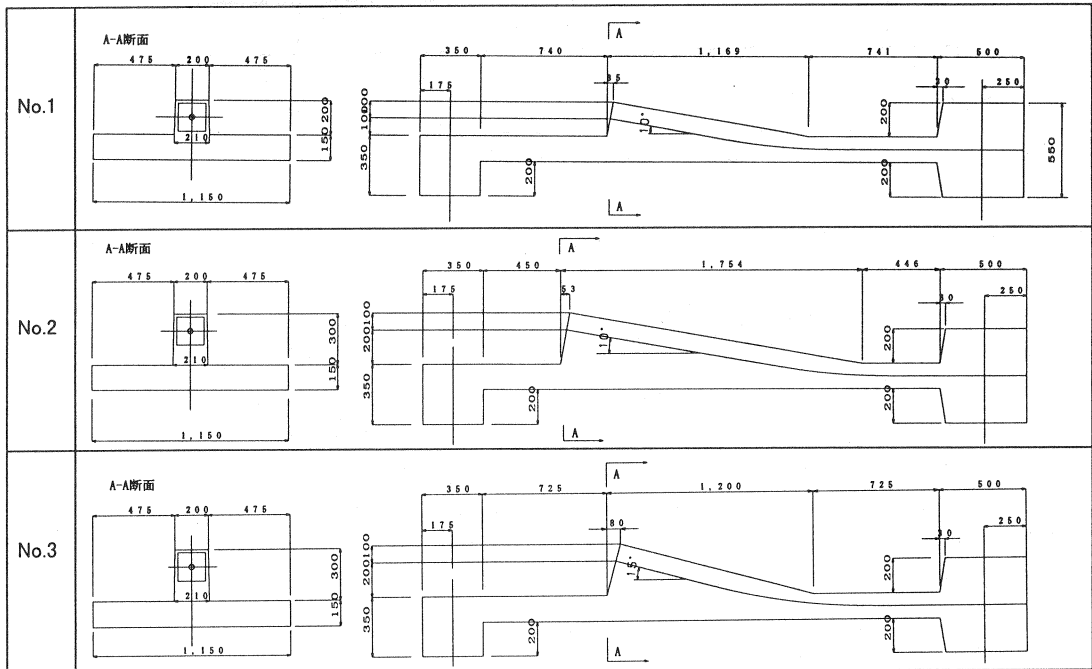


図-1 試験体概要図

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スラブ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	
									マイティ150	ピンゾル
20	8.0±2.5	3.0±1.0	40.0	41.5	160	400	739	1062	4.00	1.60

用した。内部の鉄筋は、SD 345 の D10 を組み立て及び計測用に配置し、ひび割れ性状になるべく影響を及ぼさないよう、定着部の軸方向及び鉛直方向の鉄筋比はそれぞれ0.3~0.5%程度とした。

### 2. 2 載荷装置及び試験方法

図-2に試験体の載荷装置の概要を示す。試験体は枕木上に設置した補剛板付きH形鋼により所定の位置に設置し前後の固定部をゲビンデΦ 32mmを用いて鉛直方向の緊張力を与える事により固定した。

載荷は、躯体内のアンボンド鋼棒を突起定着部の定着具を設置後、反対側の端部でセンターホールジャッキ(100tf)により緊張する事により行った。緊張力の管理にはセンターホールジャッキの前面に設置したロードセルにて行った。載荷ステップは、1 tfピッチの単調増加載荷を基本とし、突起定着部付近のひび割れが発生した時点で一旦除荷し、再度単調増加させる事により行った。躯体内部におけるひずみの状況を鉄筋に貼付けたひずみゲージにて計測した。また、実際のひび割れの発生状況は、載荷ステップ毎に目視にて確認して直接躯体に記入し、これを基に後にスケッチによりまとめた。

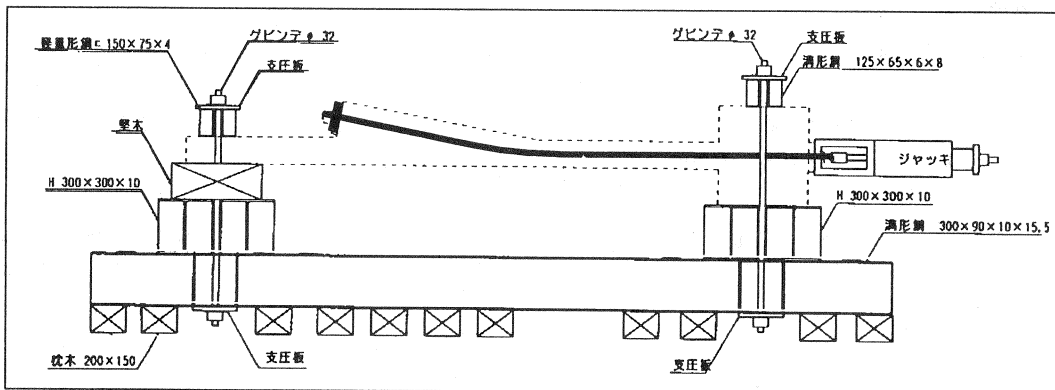


図-2 載荷装置の概要

### 3. 試験結果

#### 3. 1 各ひび割れ発生荷重と試験状況

図-3に示すように、ひび割れの種類を発生要因別に分類して説明する。分類は、①定着部に作用する緊張力が部材軸に対して偏心していることにより発生する曲げモーメントによるひび割れ (以下、曲げひび割れ)、②定着部に作用する緊張力が定着具を押すことにより生じる割裂ひび割れ (以下、支圧ひび割れ)、③緊張材の曲率率が腹部のコンクリートを押し上げることによって生じるひび割れ (以下、腹圧ひび割れ) の代表的な3種類に着目し説明する。

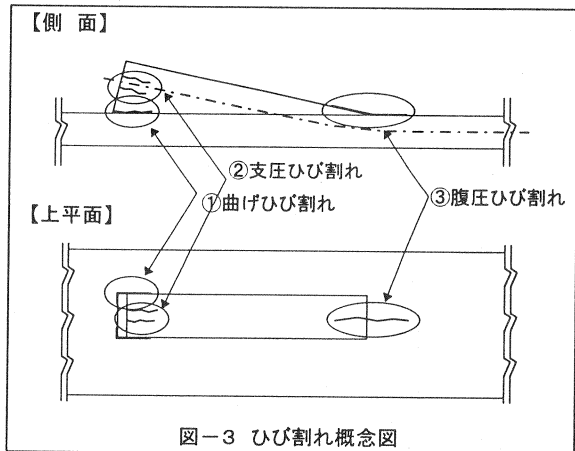


図-3 ひび割れ概念図

表-2は、試験時に目視により確認した各ひび割れ発生時の有効緊張力である。なお、ここで言う有効緊張力とは、コンクリート標準示方書に従い、長さ及び角度による摩擦損失分を補正した値である。この表から分かるように、曲げひび割れ及び突起上部の支圧ひび割れ発生

荷重は、No.1、2ではほぼ近い値を示していた。No.3試験体は、No.1、2に比べ大きな荷重時にひび割れが確認された。側面における支圧ひび割れ発生荷重は、No.2、3で同等であったが、No.1では、2割以上低い緊張力でひび割れが発生した。腹圧ひび割れ荷重は、No.3、1、2の順で大きくなったが、発生荷重の差は余り大きくなかった。載荷は、緊張材の引張限界 ( $0.8 \sigma_{py}$ ) まで行ったが、全試験体とも耐力の低下を生じなかった。

以上より、側面における支圧ひび割れ発生荷重は、突起高さが高い方が大きい。腹圧ひび割れの発生荷重は、今回の試験範囲では1割程度の差であった。

### 3.2 ひずみ性状

ひずみの計測位置を図-4に示す。S1、S2の他、腹圧力を発生する曲線部中心の鉛直鉄筋のひずみ (S3) も同時に計測した。ひずみと緊張力の関係を示したのが図-5(a)~(c)である。

図-5(a)は、定着部背面の鉄筋のひずみ S1 を表し、支圧力の影響を示す。鉄筋ひずみと有効緊張力の関係において、40tf程度の緊張時では No.1~3 に大きな差は無い。しかし、No.1 は 40tf を超えるとひずみが増大している。図-5(b)は、定着部下面のひずみ S2 (床版内) の挙動を表し、曲げによる影響を表す。このひずみは No.1、2 で、ほぼ同等であったが、No.3 は同一荷重時における発生ひずみが大きいことが分かる。図-5(c)は、腹圧によるひずみ S3 の挙動を表している。このひずみは、曲線長と偏心高さの比 ( $L/h$ ) が 3.0 程度の No.1 と 3 は、ほぼ同程度のひずみを生じており、 $L/h = 2.0$  の No.2 では、発生ひずみも大きいことが分かる。また、No.3 は、No.1 に比べ偏心量が大きいので、腹圧に働く緊張力の鉛直分力が大きいので 50tf 程度でひずみが増大している。

以上から、支圧による突起定着部背面のひずみは突起高さが低い試験体ほど、小さい荷重により大きなひずみが発生していることが分かる。また、曲げによるひずみは、定着板の角度が大きいと床版内部における鉄筋の引張りひずみが大きいことが分かる。腹圧によるひずみは  $L/h$  が小さいほど作用応力が大きくなりひずみが増大することと、偏心量が大きいほど作用力が大きくなりひずみが増大する(ひび割れが進展する)ことを確認した。

### 3.3 試験終了時のひび割れ状況

曲げひび割れの初期の発生位置は全試験体において、突起定着と床版の境界部分に発生した。試験終了時でも曲げひび割れの長さは、

表-2 各ひび割れ発生緊張力 tf

No.	曲げひび割れ	支圧ひび割れ		腹圧ひび割れ
		上面	側面	
1	37.6	50.8	52.6	77.2
2	33.8	49.8	67.7	83.7
3	55.0	64.2	66.0	72.4

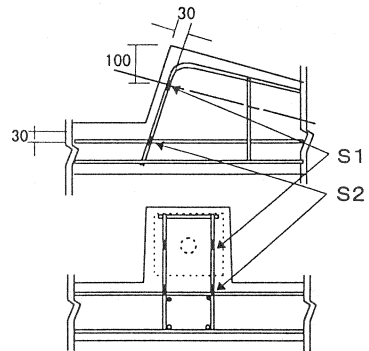


図-4 ひずみゲージの配置

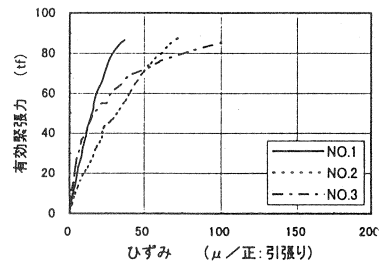


図-5(a) S1ひずみと緊張力

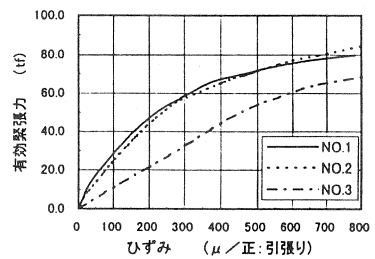


図-5(b) S2ひずみと緊張力

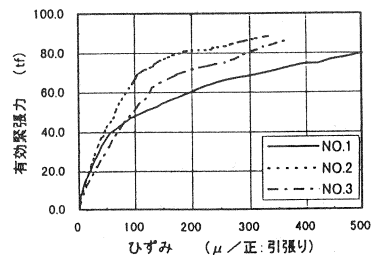


図-5(c) S3ひずみと緊張力

全試験体で3~5cm程度であり、支圧及び腹圧ひび割れよりも早く発生したが、荷重が増加しても長さに変化が見られなかった。支圧により側面に発生するひび割れは、No.2、3ではシースに沿って側面に発生し、主ひびわれが1本発生したが、No.1では、シースの線よりも床版側に寄った角度のひび割れが出来ており、曲げひび割れの影響を受けているものと予想される。腹圧ひび割れは、No.1では緊張材の曲線部の上面において50cm程度の長さとなった。No.2では部材中心軸で発生したものの5cm程度であった。No.3では、部材中心軸において120cm程度の長さになった。

### 3. 4 曲げひび割れの算定方法

曲げひび割れが、他のひび割れの中で最も早く発生したことから、この算定方法を示す(図-6参照)。

曲げひび割れ耐力を算定する場合、仮想引張縁にひび割れを生じるはりとして考え、突起定着と床版の境界面における換算はり高さ(L')における曲げひび割れ耐力を算定することとする。換算はり高さは、今回の実験から求めた曲げひび割れ発生荷重と偏心距離から作用曲げモーメント(Mcr)を算出し、引張り縁の曲げ応力が曲げ引張り強度( $\sigma_{tk}$ )に達したときにひび割れが発生すること及び、曲げモーメントと軸力(緊張力の鉛直分力: Ncr)が突起底部の換算はり高さ全域に作用すると仮定して式(1)により逆算した。

$$\sigma_{tk} = \frac{Mcr}{W} - \frac{Ncr}{A} \quad \dots \quad (1)$$

表-3より、換算はり高さは、突起高ささと定着角度に影響され、有効抵抗長との突起高さの比(Lc/h)に対し、定着角度10°で2.6、15°で3.1倍程度の長さを仮定すれば使用時の曲げひび割れ発生に対する検討が出来ると思われる。

### 4. まとめ

- 1) 定着高さが低く、曲げひびわれの近傍で支圧ひび割れが発生する場合、曲げひび割れが誘発されるため、ひび割れ発生荷重が3割程度も低下することがあるので、設計上注意する必要がある。
- 2) 曲げひび割れは、定着高さや定着部の角度に関わらず最初に発生するが、今回程度の緊張力(0.8  $\sigma_{py}$ )ではひび割れは進展しない。
- 3) 腹圧ひび割れは、形状によるひび割れ発生荷重の差は小さいが、発生すると偏心量が大きく、L/hが小さいほど大きなひび割れを生じるので曲げ上げ角度を変える場合には注意して設計する必要がある。
- 4) 突起定着部が今回の実験のように曲げ上げ角度と定着具の角度が直交する直角三角形の場合では、使用時の曲げひび割れ発生荷重を算出する場合の換算はり高さは、突起の高さと角度に影響を受け、定着角度10°で突起高さの2.6倍、角度15°で3.1倍程度の長さを仮定すれば算定できると思われる。

### 参考文献

- 1)高橋誠・新井英雄：PC鋼材途中定着部の設計手法，プレストレストコンクリート技術協会第4回シンポジウム論文集，P251~256，発行年月日 1994.10
- 2)渡辺泰充，Hussein M. Hassan：PC鋼材定着用突起の設計，コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン，(社)JCI，発行年月日 1989.3

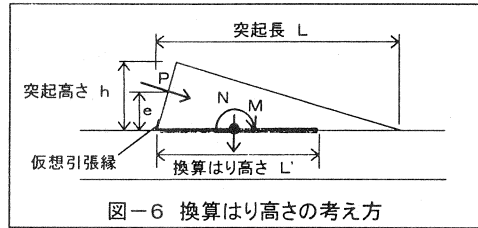


表-3 曲げひび割れ算定に用いる換算はり高さ

No	算出モーメント M=P·e (tf·m)	算出軸力 N (tf)	換算はり高さ L' (m)	L'/h
1	3.70	6.53	0.565	2.84
2	6.66	5.87	0.781	2.60
3	10.62	14.20	0.933	3.11