

## PC 鋼より線のプレストレス定着長

㈱安部工業所	技術本部技術部	正会員	○國富 康志
名城大学	理工学部建設システム学科	正会員	泉 満明
㈱安部工業所	大阪支店工務部	正会員	高野 茂晴
㈱安部工業所	技術本部技術部	正会員	横山 博司

### 1. まえがき

鋼材の定着機構については、RC構造における異形鉄筋、PC構造におけるPC鋼線やPC鋼より線は、それぞれコンクリートとの定着に関する機構において異なる面を有している。すなわち、異形鉄筋の場合は鋼材表面の凹凸による摩擦抵抗が主なるものであり、PC鋼線では鋼材とコンクリートの付着が主なものと推定できる。一方、PC鋼より線は、より線の凹凸が異形鉄筋と同様な摩擦抵抗を示し、また、コンクリートとの付着の影響も無視できない。その為PC鋼より線の定着はこの2つの機構の和によるものと推定される。

本研究では、現在JISプレテンション桁で使用されているPC鋼材の最大径がφ15.2であるため、径がそれを超えるPC鋼材を太径として取り扱った。ここでは、細径及び太径を使用した供試体におけるコンクリートのひずみとPC鋼材のひずみを計測する事により、PC鋼材径やコンクリート材齢などがプレストレス定着長に及ぼす影響を確認し、道路橋示方書に記述されているプレストレス定着長との比較を行った。また、微分方程式<sup>10)</sup>を用いたPC鋼材応力度の理論値と実験結果との比較も行った。本研究はプレテンション部材におけるPC鋼より線の定着長に関する基礎的資料となることを目的としている。

### 2. 実験概要

#### (1) 実験供試体

本研究で使用した供試体形状・概要を図-1および表-1に示す。供試体はPC鋼材の種類により5種類とし、1体につき2本のPC鋼材および補強鉄筋を配置する。なお、供試体に使用したコンクリートの設計基準強度は50N/mm<sup>2</sup>とした。

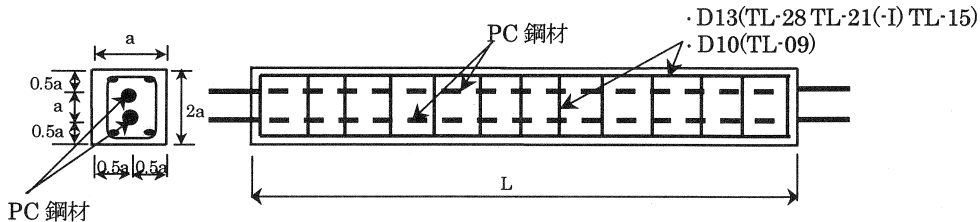


図-1 実験供試体

表-1 実験供試体概要

供試体	鋼材径 (mm)	供試体数(本)	部材長 L(mm)	a (mm)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>c</sub> (mm <sup>2</sup> )	導入プレストレス応力 σ <sub>c</sub> (MPa)	PC鋼材2本の緊張力 (kN)	PC鋼材応力度 σ <sub>s</sub> (MPa)
TL-28	28.6	2	7000	290	532.4	168200	6.56	1103.8	1036.6
TL-21	21.8	2	5000	240	312.9	115200	7.04	810.1	1295.9
TL-21-I	21.8	2	5000	240	312.9	115200	7.01	808.0	1291.1
TL-15	15.2	2	4000	160	138.7	51200	7.27	372.1	1341.4
TL-09	9.3	2	3000	95	51.61	18050	7.52	135.8	1315.4

I : インデント鋼材

#### (2) 計測方法

PC鋼材のひずみは、PC鋼より線の素線に貼り付けたワイヤーストレインゲージ (WSG) にて、プレストレス導入後1週間計測した。一方、コンクリートのひずみは、コンクリート表面に貼り付けた評点をコンタクトゲージにて約1年間の長期計測を行う。また、PC鋼材の引き込み量は、PC鋼材に取り付けた変位計にて、

PC 鋼材のひずみ計測と同様にプレストレス導入後1週間計測した。

### 3. 実験結果

ここでは紙面の都合上、PC 鋼材の細径と太径の比較を確認すべく、TL-09、TL-28の結果を記載する。

#### (1) コンクリート表面ひずみ計測結果

図-2にTL-28、TL-09の5ヶ月後までのコンクリートのひずみ計測結果、実線にてプレストレス導入直後の設計値、および点線で65φの位置を示す。TL-28のコンクリートのひずみ分布は、プレストレス導入直後と導入1週間後以降で明確に別れているが、TL-09はプレストレス導入直後から導入5ヶ月後まで順次ひずみが増加しており、コンクリートのひずみ分布に違いがあることが確認できる。しかし、プレストレス定着長に関しては材齢の変化による明確な違いは確認できなかった。また、プレストレス導入直後におけるひずみ分布は、TL-28およびTL-09ともに設計値と同様の傾向を示している。この結果はここに記載していない供試体についても同様のことが言える。

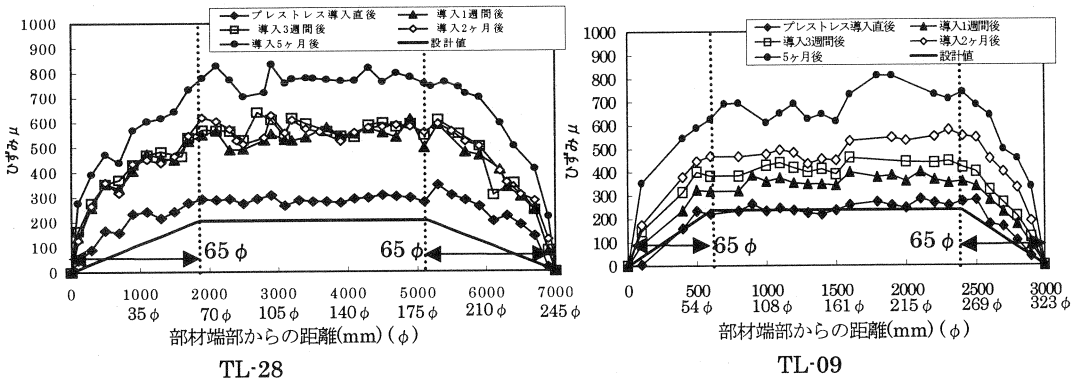


図-2 コンクリートのひずみ測定結果

#### (2) PC 鋼材ひずみ計測結果

図-3にTL-28、TL-09のプレストレス導入直後および最終計測時におけるPC 鋼材のひずみ計測結果、実線にてプレストレス導入直後の設計値、点線で65φの位置を示す。プレストレス導入直後から計測最終時を比べると、TL-28およびTL-09ともにPC 鋼材応力度が減少している区間があり、PC 鋼材応力度が一定となる部材端部からの距離が変化していることが確認できる。この結果から、プレストレス定着長は時間の経過と共に変化する可能性がある。他の供試体についても同様の結果となった。また、TL-09におけるプレストレス定着長は65φより長くなっている。これはPC 鋼材に20cm 間隔 (TL-28は35cm 間隔) で貼り付けたWSGによる付着の低下が影響していると考えられる。

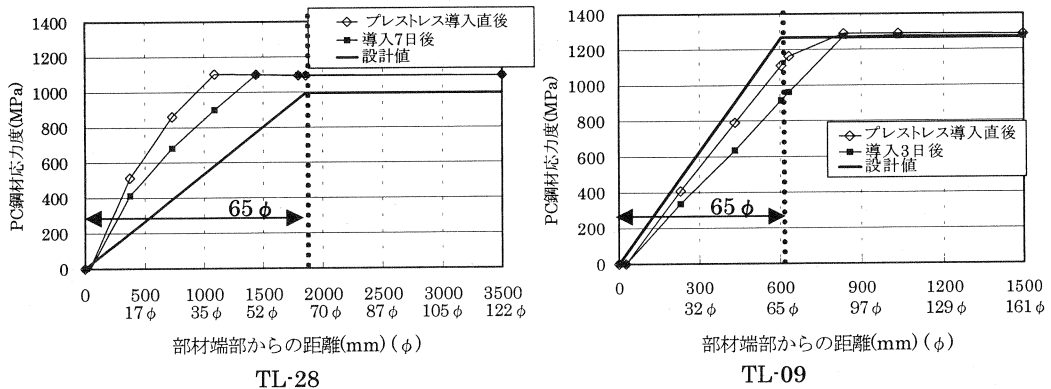


図-3 PC 鋼材のひずみ測定結果

4. 実験結果と微分方程式による理論値との比較

(1) コンクリート中のPC鋼材の応力分布

プレストレス導入後コンクリートとPC鋼材が滑らない部分では、最大の引張応力度を受けた状態であり、最初の直径(d)よりも細いものになっている。部材端では、PC鋼材応力が0となるため、最初の直径に戻る。PC鋼材周囲の応力状態および鋼材径の変化を図-4に示す。

定着部ではPC鋼材とコンクリートのポアソン効果により、コンクリートと鋼材間に圧力をおよぼし、この圧力により摩擦抵抗が働いているものと仮定する。

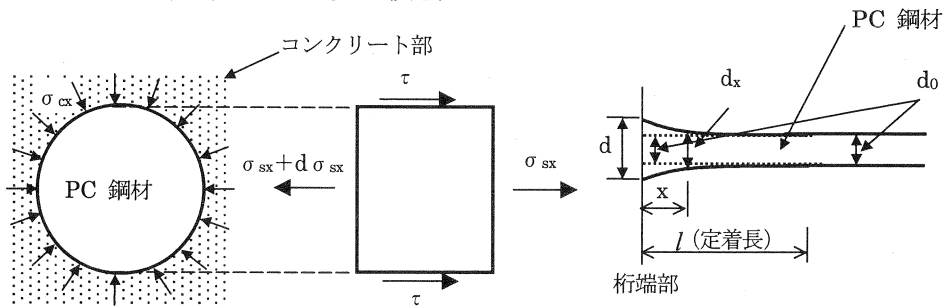


図-4 PC鋼材の応力・変形分布

定着におけるPC鋼材の応力( $\sigma_{sx}$ )分布は式(1)の微分方程式<sup>10)</sup>で示される。

$$\frac{d\sigma_{sx}}{dx} = \frac{U}{A_s} \tau \quad (1)$$

$$\tau = f \cdot \sigma_{cx}$$

ここで、U：PC鋼材の周長、 $A_s$ ：PC鋼材公称断面積、f：PC鋼材とコンクリートの間の摩擦係数

$\sigma_{cx}$ ：PC鋼材周囲におけるコンクリートの圧縮応力

コンクリートとPC鋼材接触面でのひずみは等しいので、

$$\sigma_{cx} = \frac{\mu_s (\sigma_{s0} - \sigma_{sx})}{1 + (1 + \mu_c) \frac{E_s}{E_c}} \quad \text{となる。}$$

$\sigma_{s0}$ ：引張端でのPC鋼材応力度

式(1)の一般解に、プレストレス導入定着長に関連した境界条件を適用すると、

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s0} \left[ 1 - \frac{\sinh \alpha (l - x)}{\sinh \alpha l} \right] \quad \text{となる。} \quad (2)$$

$$\text{ここで、} \quad \alpha = \frac{Uf}{A_s} \cdot \frac{\mu_s}{1 + \frac{E_s}{E_c} (1 + \mu_c)}$$

$\mu_s$ 、 $\mu_c$ ：鋼材、コンクリートのポアソン比、 $l$ ：プレストレス定着長

$E_s$ 、 $E_c$ ：鋼材、コンクリートのヤング係数

上記の様にプレストレス導入の定着に関する式を、弾性理論に基づいて誘導ができる。しかし、コンクリートは完全な弾性体では無い事、及び鋼材との接触面では局部的に塑性化していると推定されるので、理論値の算定に用いるコンクリートのポアソン比は、通常の0.17では不適當であるため実験値から推定する必要がある。

(2)理論値と実験値の比較

ここでは、プレストレス導入定着長について理論値と実験値との比較を行う。

図5に TL-09 および TL-28 の PC 鋼材のプレストレス導入時の WSG による測定結果の実験値と理論値の比較図を示す。また、ここでは理論式(2)において、鋼材のポアソン比 0.3, コンクリートのポアソン比を 0, 摩擦係数は 0.35 としている。

この図から、理論式による PC 鋼材の応力分布は実験値による応力分布状態を推定可能である事が分かる。同様に定着長も推定可能といえる。すなわち、理論式(2)により示される PC 鋼材の応力分布がほぼ一样了な点の桁端からの距離がプレストレス導入定着長であると考えられる。

また、実験値と理論値との比較において、TL-09 以外の供試体は摩擦係数を適切に選ぶ事で PC 鋼材の応力度と応力伝達長が実験値と理論値でほぼ同様の値となった。TL-09 に関しては、理論値より小さくなっており、これは WSG による付着の低下の影響を受けた為と考えられる。

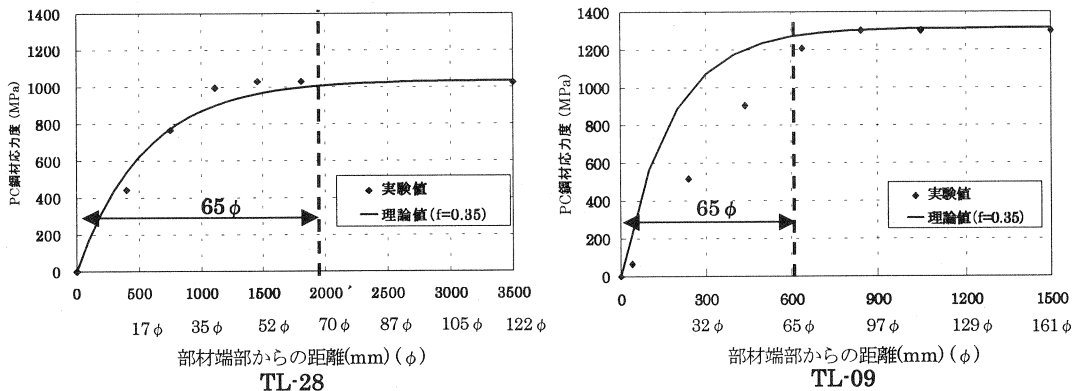


図-5 PC 鋼材のひずみ測定結果および理論値

5.結論

- (1) プレストレス導入時の定着長は、PC 鋼材の径に関係なく規定値の 65φ を満足している。
- (2) 定着長は導入時から時間の経過と共に次第に長くなる傾向にある。これは他の研究<sup>8)9)</sup>からも示されている。
- (3) 以上の結論より今後の計測も必要であるが、理論式 (2) における各種係数を適切に仮定する事で、PC 鋼材の応力分布や定着長を推定する事も可能である。

インデントの効果はコンクリートひずみや PC 鋼材応力度に対しては大きな値を示しており、その効果が確認できた。しかし、プレストレス定着長に関しては明確な違いは現れなかった。

過去において太径に関するプレストレス定着長についての報告は少なく、本研究の結果が今後の研究に参考となる事を期待する。

参考文献

- 1) (財) 高速道路技術センター：PC 橋の耐久性保証に関する技術検討  
「3.大容量プレテンション方式の検討」平成 11 年度 P.82~100
- 2) プレ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  
「PC 鋼材定着端の応力伝達に関する研究」1998 年 10 月 P.111~116
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (I 共通編・III コンクリート橋編) 平成 8 年 P.183~185
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 (設計編) 平成 8 年 P.136~P.137
- 5) 猪俣 俊司：プレレストコンクリートの設計・施工 1982 年 P.9~11, 221~223, 229~230  
：プレレストコンクリートの設計および施工 1957 年 P.252~P.255
- 6) 泉 満明：PC 鋼材定着端の応力伝達に関する研究報告書 平成 12 年 3 月
- 7) 池田 尚治・足立 順一・偉川 哲光：「PC 鋼材の付着の影響について」概要
- 8) 泉 満明：名城大学理工学部研究報告書 第 43 号 「PC 鋼材の定着長」平成 15 年
- 9) G. Marshall : "Endanchorage and bond stress in pre-stressed Concrete."  
Magazine of Concrete Research, No.3, 1949
- 10) セメント協会：セメント技術年報IX「プレレストコンクリート鋼線の碇着長させん断応力」1955 年