

(20) PC鋼材定着端の応力伝達に関する研究

名城大学 理工学部土木工学科 正会員 泉 満明
 (株)安部工業所 福岡支店工務部 ○正会員 井上 浩之
 (株)安部工業所 技術本部技術部 正会員 今尾 勝治
 同 上 正会員 西尾 浩志

1. はじめに

現在、PC鋼材の固定端の定着工法は、デッドアンカーと呼ばれる固定用定着具を用いて定着を行うのが一般的である。また、PC鋼材の接続が必要な場合には、カップラーと呼ばれる接続金具を用いて接続を行うのが一般的である。これに対し、作業の省力化およびコスト縮減を目的としてPC鋼材の定着とPC鋼材間の応力伝達を一般に使用されている定着具等を用いず、鋼材とコンクリートの付着力を有効に利用して機能させる構造が考えられる。本研究は、この構造の実用化のための基礎研究である。

本実験研究は、NC継手の原理¹⁾を採用しPC鋼材とコンクリートの付着による定着力と応力の伝達を研究するためにコンクリートの純引張供試体を製作し、PC鋼材間の応力伝達の可能性および合理的な定着長を確かめるために行った。その結果、PC鋼材間の応力伝達は圧縮場理論の適用が可能であることが判明した。

以下に、各国の規定によるPC鋼材定着長、NC継手の原理および圧縮場理論を示した後、本実験の概要および考察を述べる。

2. 各国の規定によるPC鋼材定着長

PC鋼材の応力伝達長とPC鋼材の必要定着には密接な関係があると考えられるため、ACI²⁾、CAN³⁾および日本道路協会⁴⁾のPC鋼材定着長の式を示す。

ACI

$$l_d = \left(f_{ps} - \frac{2}{3} f_{se} \right) \cdot d_b$$

ここに、 l_d : 定着長[inch]

d_b : PC鋼材径

f_{ps} : 名目上の強度におけるPC鋼材の応力度
 いわゆるPC鋼材の引張強度[kips/inch²]

f_{se} : すべてのプレストレス損失に対する供用範囲における
 PC鋼材の有効引張強度[kips/inch²]

CAN

$$l_d = 0.145 (f_{ps} - 0.67 f_{se}) \cdot d_b$$

ただし、定数0.145は[1/MPa]という単位を持つ。

日本道路協会

$$l_d = 65 \phi$$

ここに、 ϕ : PC鋼材径

各国の規定におけるPC鋼材定着長を表-1示す。

表-1 各国の規定におけるPC鋼材定着長

PC鋼材径(mm)	必要定着長 (cm)		
	ACI	CAN	日本道路協会
12.7	68.15	149.7	82.5
15.2	81.32	178.4	98.8
21.8	113.36	248.4	141.7

3. NC継手の原理¹⁾

鉄筋のNC継手とは、鉄筋と鉄筋とを接着し結束する通常のものとは異なり、鉄筋と鉄筋の間隔を置いて配筋し、コンクリートにより間接的に応力の伝達を行うというものである。この種の継手構造は、日本においては、一般に鉄筋継手として認められていないが、外国のコンクリート構造における設計基準では、条文化されており、実際の構造物にも適用されている。

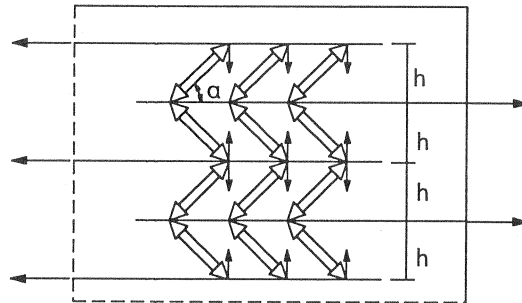


図-1 NC継手の力の伝達機構概念図

NC継手の力の伝達機構は図-1に示すように、コンクリートが斜め圧縮力を横方向鉄筋が横方向引張力を分担すると想定できる。そして、鉄筋の引張力により生じる横方向力(割裂力)をコンクリートあるいは横方向鉄筋が負担するので、特に横方向鉄筋量の算定が必要となる。したがって、その鉄筋量の合理的な算定法に圧縮場理論(Compression Field Theory)の力学的モデルを仮定する。次に、圧縮場理論について述べる。

4. 圧縮場理論¹⁾

図-2に示す力学的モデルの要素AおよびBの力のつり合いから

$$\begin{aligned} \tau &= f_d t_d \sin \alpha \cos \alpha \\ A_1 f_1 &= f_d t_d \cos^2 \alpha \cdot h \\ A_h f_h &= f_d t_d \sin^2 \alpha \cdot s \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 τ : 単位長さ当りせん断力

f_d : コンクリート斜材の圧縮応力度

t_d : コンクリート部材の厚さ

α : ひび割れ角度

A_1, A_h : 軸方向および横方向鉄筋断面積

f_1, f_h : 軸方向および横方向鉄筋応力度

s : 横方向鉄筋中心間隔

h : 軸方向鉄筋中心間隔

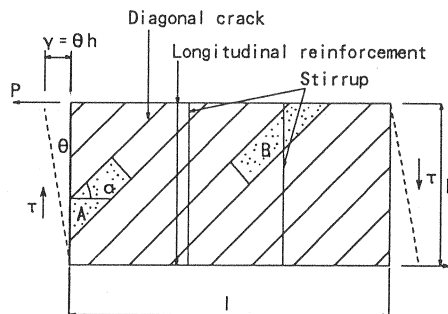


図-2 圧縮場理論の力学的モデル図

となる。

さらに、図-2に示すせん断変形角(θ)は

$$\theta = \frac{1}{t_d \sin \alpha \cos \alpha} (\varepsilon_1 \cos^2 \alpha + \varepsilon_h \sin^2 \alpha + \varepsilon_d) \quad (2)$$

ここで、

ε_1 , ε_h , ε_d : 軸方向および横方向鉄筋の歪, コンクリートの歪
となる。

$\partial \theta / \partial \alpha = 0$ の条件で、

$$\tan^2 \alpha = \frac{\varepsilon_d + \varepsilon_1}{\varepsilon_d + \varepsilon_h} \quad (3)$$

となり、式(3)から、以下の式が導かれ、

$$\cos^2 \alpha = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (4)$$

ここで、

$$A = \frac{f_d t_d}{E} \left(\frac{s}{A_h} - \frac{h}{A_1} \right), \quad B = -2 \left(\varepsilon_d + \frac{f_d t_d s}{A_h E} \right), \quad C = \varepsilon_d + \frac{f_d t_d s}{A_h E}$$

E: 鉄筋のヤング係数

ひび割れ角度 α の算定ができる。

式(4)により求めた α を式(1)に代入して、図-2のモデルを解くことができる。

5. 実験計画

本実験で使用した供試体を図-3に、載荷フレーム概要図を図-4に示す。本実験では片側2本のPC鋼材を固定側、もう片側2本を緊張側とした単調増荷重による純引張試験を実施した。本実験で使用した供試体はPC鋼材種類を $\phi 12.7\text{mm}$, $\phi 15.2\text{mm}$, $\phi 21.8\text{mm}$ の3種類、PC鋼材間隔を1 ϕ , 8 ϕ の2種類及び横方向鉄筋の有無等を考慮した表-2に示す9体とした。

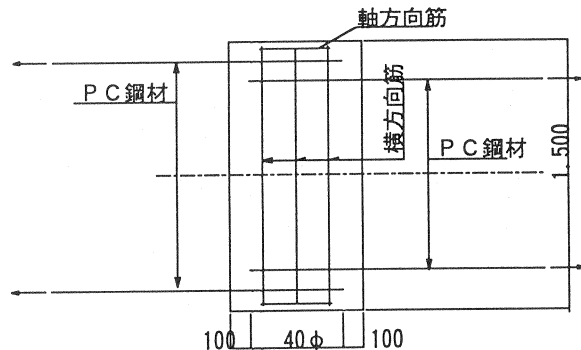


図-3 供試体概要図

コンクリートは早強セメントを使用し、設計基準強度は 500kgf/cm^2 とした。また、PC鋼材のラップ長は各供試体ともPC鋼材径の40倍(定着長はPC鋼材径の40倍+100mm)とした。表-3にコンクリートの示方配合表、表-4にPC鋼材の試験成績結果を示す。

なお、供試体寸法は、緊張方向についてはPC鋼材種類により変化し、 $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 15.2\text{mm}$ 、 $\phi 21.8\text{mm}$ 各々に対して、708mm、808mm、1072mm、また、緊張直角方向については各供試体とも1500mmで一定とした。また、部材厚は $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 15.2\text{mm}$ 、 $\phi 21.8\text{mm}$ 各々に対して、100mm、120mm、200mmとした。

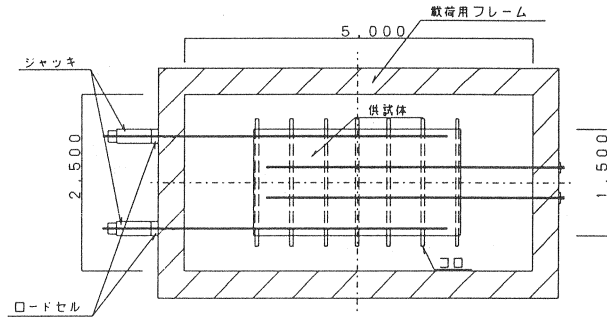


図-4 荷重フレーム概要図

表-2 供試体種類一覧及び実験結果

供試体番号	PC鋼材(mm)			横方向鉄筋	破壊形式	引抜け荷重(tf)	コンクリート強度(kgf/cm^2)		
	径	間隔	定着長				圧縮強度	引張強度	
T-(1)-5-12-A-8-O	$\phi 12.7$	8 ϕ	40 ϕ +100	無	PC鋼材引抜け	17.9	562.0	40.5	
T-(1)-5-12-A-8-R				有		14.2	538.0	35.1	
T-(1)-5-15-A-8-O	$\phi 15.2$			無		17.8	508.7	40.2	
T-(1)-5-15-A-8-R				有		19.4	535.1	42.0	
T-(1)-5-21-A-8-R	$\phi 21.8$			無		46.0	485.5	34.0	
T-(1)-5-21-A-8-R				有		40.7	482.5	41.5	
T-(1)-5-12-A-1-R	$\phi 12.7$			1 ϕ		有	15.6	599.7	40.1
T-(1)-5-15-A-1-R	$\phi 15.2$					有	19.6	606.0	39.9
T-(1)-5-21-A-1-R	$\phi 21.8$	有	36.5		538.7	44.2			

表-3 コンクリートの示方配合表

設計基準強度 (kgf/cm^2)	粗骨材最大寸法 (mm)	スラフの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 S/A (%)	単位量 (kg/m^3)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
500	20	10 \pm 2.5	2 \pm 1	38.0	44.0	150	395	820	1056	2.60

表-4 PC鋼材の試験成績結果

PC鋼材種別	$\phi 12.7$	$\phi 15.2$	$\phi 21.8$
破壊荷重 (kgf)	20.0×10^3	26.2×10^3	60.3×10^3
伸び (%)	7.2	7.8	6.3
降伏荷重 (kgf)	18.1×10^3	25.0×10^3	54.9×10^3
弾性係数 (kgf/cm^2)	20×10^5	20×10^5	20×10^5

6. 実験結果

表-2に各供試体の破壊形式、写真-1に破壊状況を示す。この結果より、全ての供試体においてその破壊形式はPC鋼材の引き抜けであった。また、図-5に載荷荷重とPC鋼材の抜け出し量との関係を示す。この結果より、φ12.7mm及びφ15.2mmのものでは、PC鋼材間隔による挙動の差異はほとんどないが、φ21.8mmのものでは、PC鋼材間隔が1φと8φの場合を比較して、前者の場合の方が後者よりも、荷重が低い段階から荷重に対するPC鋼材の抜け出し量は大きい。この理由としては、鋼材間隔が1φのものは、2本のPC鋼材が接触しているため、1本のPC鋼材のコンクリートとの付着面積が、8φのような2本のPC鋼材が接触して

いないものと比較して少なくなっているからであると推測でき、特にφ21.8mmのものでその傾向が現れたと考えられる。また、φ21.8mmのものに着目するとその破壊荷重は、鋼材間隔が1φの場合でPC鋼材引張強度の約65%、また、8φの場合でPC鋼材引張強度の約75%という結果であった。

図-5は、載荷荷重とPC鋼材間のコンクリート表面ひずみとの関係を示したものである。ひずみ量が小さいので明確に述べることはできないが、ひずみゲージの斜め方向のひずみが他の方向よりも大きいことから、PC鋼材間の応力伝達の解析に圧縮場理論の適用が可能であると推定できる。

図-6は、載荷荷重と横方向鉄筋のひずみとの関係を示したものである。これもコンクリート表面の場合と同様にひずみ量が小さいので明確に述べることはできないが、供試体の形状と載荷の方法により曲げモーメントの影響が現われていることに注意しなければならない。しかし、PC鋼材に直角の方向に引張応力が発生していることが明らかであり、図-5の説明で述べたことと同様に、PC鋼材間の応力伝達の解析に圧縮場理論の適用が可能であると推定できる。

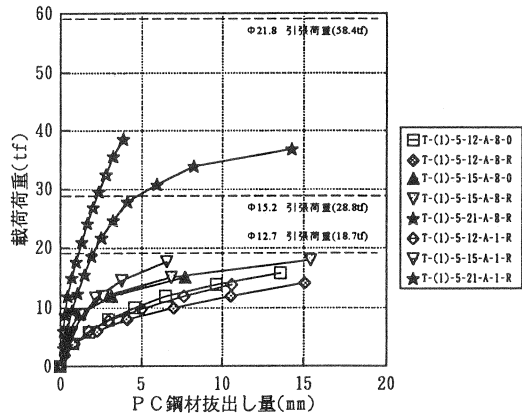


図-4 載荷荷重とPC鋼材の抜け出し量との関係

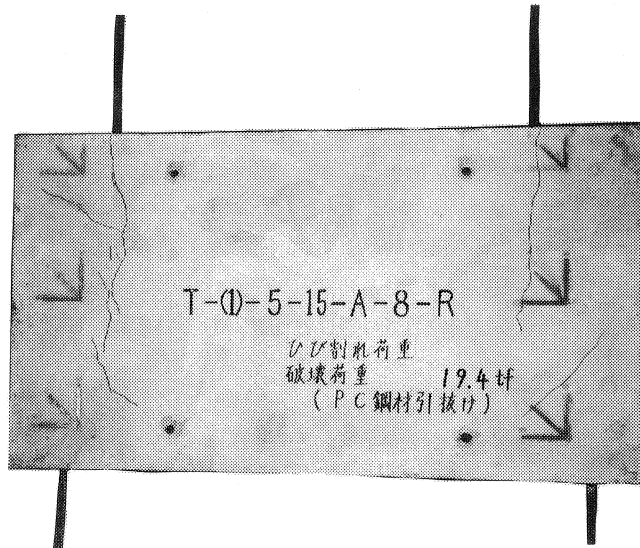


写真-1 供試体破壊状況

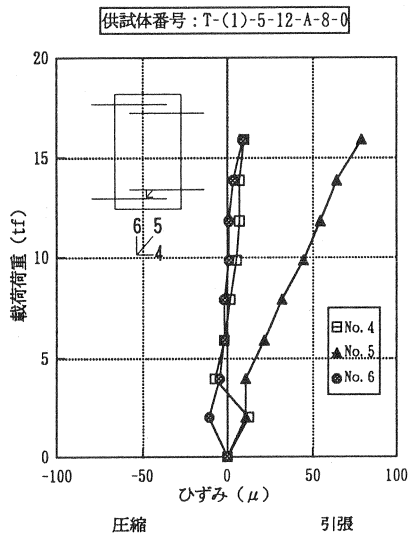


図-5 載荷荷重とP C鋼材間の表面ひずみとの関係

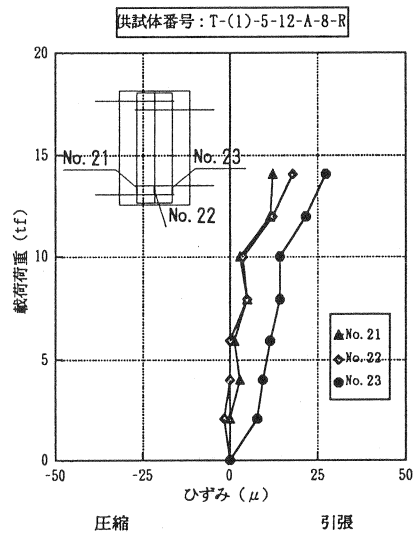


図-6 載荷荷重と横方向鉄筋のひずみとの関係

7. 結論

本研究の結論を以下にまとめて示す。

・P C鋼材間の応力伝達に関して

- (1) P C鋼材間の応力伝達は圧縮場理論的な応力分布が想定される。
- (2) 載荷荷重と横方向鉄筋のひずみとの関係を見ると、P C鋼材と直角の方向に引張応力が働いていたと考えられる。

以上の点から、P C鋼材間の応力伝達に圧縮場理論の適用が可能であることが確かめられた。

・P C鋼材の定着長に関して

- (1) 全ての供試体がP C鋼材の引張荷重以下の引き抜けであったことから、今回設定した定着長(40φ+100mm)では、定着長不足であったと考えられる。
- (2) 表-1のどの規定よりも今回設定した定着長は小さかった。

以上の点から、今回設定した定着長では、引張荷重値までの荷重を伝達するには定着長不足であることが明らかである。

よって今後は、定着長に変化をもたせた供試体による純引張試験を行い、必要定着長を求め、応力伝達および合理的な定着長に関する研究を進める必要がある。

本年も引き続き実験を行い、実構造物への適用の可能性を検討していきたいと考える。

参考文献

- 1) 泉 満明: NC 継手の力学的挙動について, 名城大学工学部研究報告第37号, 平成9年
- 2) ACI (American Concrete Institute) Committee: Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318/318R)
- 3) CAN 3-A-23,3-M84: Design of Concrete Structures of Building 1984 p113
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 平成8年12月 I共通編, IIIコンクリート橋編, p183~185