

## (52) アンボンドPC鋼材の低強度時緊張に関する実験的研究

東急建設技術研究所 山本俊彦

### 1. はじめに

プレストレス鉄筋コンクリート(III種PC)構造<sup>1)</sup>では、ポストテンション方式の場合、設計基準強度は240kgf/cm<sup>2</sup>以上、プレストレス導入時のコンクリートの圧縮強度は200kgf/cm<sup>2</sup>以上と規定されている。しかし、プレストレスをたわみ制御に用いる場合、設計基準強度は210kgf/cm<sup>2</sup>程度が多く、施工上からはより低強度での緊張が望まれる。既に定着具に関しては普通コンクリートで180kgf/cm<sup>2</sup>で緊張可能なことが実験的に確認されているが、軽量コンクリートおよびさらに低強度での緊張の可能性については明らかになっていない。このため、本実験では市販の定着具を用い、普通、普通(Sチーフイン:SF)、および軽量コンクリートにおける低強度時の定着具の性能を調べた。更に、PRC造スラブ試験体3体により、低強度時緊張が及ぼす長期・短期の構造性能への影響を明らかにした。

### 2. 定着具実験

#### 2.1 実験概要

実験は、普通コンクリートの圧縮強度200kgf/cm<sup>2</sup>で性能が確認されている図-1に示すS型、TC型定着具(φ15.2mm用)を用い、コンクリート圧縮強度が150kgf/cm<sup>2</sup>と180kgf/cm<sup>2</sup>の時点で行った。コンクリートの種類は、普通、普通(SF)、および一種軽量コンクリートである。試験体の一覧を表-1に示す。普通および軽量コンクリートでは、補強筋はD10一段とし、普通(SF)ではなしとした。試験方法は、建設省告示1320号<sup>1)</sup>のうち「アンボンド状態で用いる緊張材定着部コンクリートの疲労試験方法」に従った。加力段階および調査項目を表-2に示す。

#### 2.2 使用材料

表-3にコンクリートの配合、表-4に横補強筋の機械的性質を示す。普通(SF)コンクリートは、スチールファイバーを1.13(体積)%混入した。

#### 2.3 実験結果

表-5に実験結果の一覧を示す。低強度時における定着具の性能は、コンクリートの種類によって差が見ら

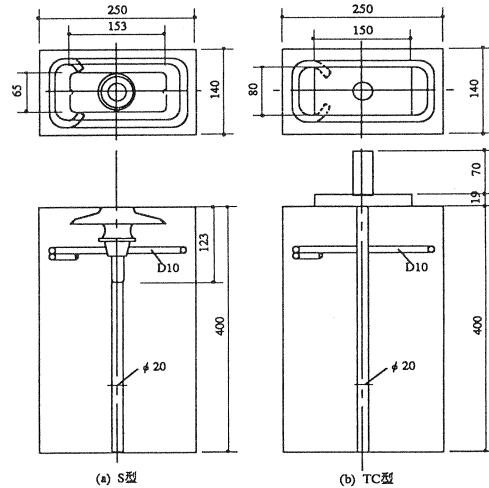


図-1 試験体の形状寸法

表-1 試験体一覧

定着具名称	試験時目標強度	補強筋	コンクリートの種類	試験体数
S	150 kgf/cm <sup>2</sup>	D 10 7-φ'筋 1段	普通	3
			軽量	3
TC	180 kgf/cm <sup>2</sup>		普通	3
			軽量	3
S	150 kgf/cm <sup>2</sup>		普通(SF)	3
			普通(SF)	3

表-2 荷重段階および調査項目

載荷の種類	荷重段階 (kgf)	調査項目	適合段階	
単調増加	4000kgf ピッチ	4,000 8,000 12,000 16,000	①, ②	a
	0.85Py	19,210		
	0.85Py × 1.1	21,131	①, ②	b
	Py	22,600	①, ②	
50サイクル繰返し	0.9Pu ↑	23,940 ↑	①, ② 10サイクル毎	c
	0.5Pu	13,300		
単調増加後5分間保持	0.95Pu	25,270	①, ②	d
単調増加	破壊まで		最大荷重	

①定着具めり込み量、有害な変形・損傷の有無  
②コンクリートのひび割れ状況

表-3 コンクリートの調合

コンクリート	スラブ (cm)	W/C (%)	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	細骨材 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材 (g/m <sup>3</sup> )	混和材 (kg/m <sup>3</sup> )
普通*	18	63.1	271	171	910	949	2.71
軽量	18	59.4	296	176	868	444	2.96

\*普通(スラブ厚18cm):SF=1.13V%

表-4 鉄筋の機械的性質

種別	径 (mm)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	降伏点 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
普通鉄筋	D10	0.71	3,610	5,140

れ、普通(SF)、普通、一種軽量コンクリートの順に性能が良かった。S型定着具は、普通コンクリートでは150kgf/cm<sup>2</sup>以上、軽量コンクリートでは180kgf/cm<sup>2</sup>以上で所定の性能を満足した。TC型定着具は、S型にくらべめり込み量が大きくいずれのコンクリートにおいても180kgf/cm<sup>2</sup>まででは、所定の性能を満足しなかった。これは、TC型定着具のプレート剛性が低く載荷とともにプレート自体が変形し、実際の加圧面積が減少したためと考えられる。

### 3. PCスラブ実験

#### 3.1 実験概要

定着具の実験結果から、低強度時緊張が可能であることが確認されたが、ここでは、PRC部材としての影響を調べた<sup>2)</sup>。コンクリートの圧縮強度が設計基準強度の0.7、0.8、1.0となる材令でプレストレスの導入と載荷を行ない、PRCスラブの長期的な性状におよぼす若材令クリープやひび割れの影響を調べた。試験体を図-2に示す。幅60cm・厚さ16cm・スパン400cmで、4週圧縮強度を210kgf/cm<sup>2</sup>とした。鉄筋は6-D10(Pt=0.53%)、PC鋼材はアンボンド1-φ12.4で偏心距離を5cm、また平均導入軸方向応力は10kgf/cm<sup>2</sup>とした。定着具は大きさは90mm×90mm、厚さ19mmのTC型で、コンクリート圧縮強度0.7Fcの時点で定着具の面積でPC鋼材の緊張に耐えられるものとした。必要導入プレストレス力は9.6tfで、有効率を0.85として緊張力を11.3tfに割増した。

#### 3.2 使用材料

表-6に使用材料の性質を示す。コンクリートは、材令10日で0.7Fc、14日で0.8Fc、28日1.0Fcに達した。長期載荷実験終了後の抜き取りコアによるコンクリートの圧縮強度は、いずれの試験体もほぼ同じ値を示した。

表-5 定着具実験結果一覧表

コンクリート	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	定着具	0.85Py:めり込 (mm)	ひび割れ 荷重(tf)	最大荷 重(tf)	適合 段階	判定	
普通	150 (155)	S	0.29	23.9	30.1	d	○	
			0.23	23.9	28.5	d		
			0.30	22.6	27.6	d		
		TC	0.71	19.2	23.5	a	×	
			0.41	19.2	23.9	b		
			0.48	19.2	23.3	a		
普通 (SF)	150 (172)	S	0.32	22.6	32.7	d	○	
			0.30	22.6	31.5	d		
			0.23	22.6	33.3	d		
		TC	0.50	19.2	25.3	c	×	
			0.62	19.2	25.3	a		
			0.39	19.2	27.1	b		
普通 (SF)	150 (172)	S	0.26	32.2	34.9	d	○	
			0.34	23.4	32.4	d		
			0.22	23.9	36.4	d		
		TC	0.44	22.6	25.3	c	×	
			0.58	23.9	28.0	d		
			0.48	22.6	26.0	d		
	軽量	150 (150)	S	0.45	23.9	25.3	c	×
				0.50	23.9	23.9	b	
				0.57	23.9	26.8	d	
			TC	0.52	20.5	22.3	-	×
				0.87	20.1	22.7	a	
				0.77	22.0	22.9	a	
普通	180 (175)	S	0.35	23.9	30.7	d	○	
			0.28	19.2	27.4	d		
			0.26	22.6	30.7	d		
		TC	0.45	22.5	23.5	b	×	
			0.36	19.2	23.0	a		
			0.24	22.6	23.5	b		

( ) 試験時強度、適合段階:告示1320号の判定基準による

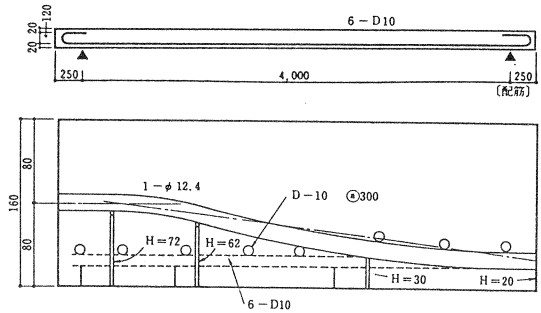


図-2 試験体

表-6 使用材料の性質

[コンクリート]	材令(日)			抜き取りコア		
	10	14	28	A	B	C
圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	145	163	216	235	240	247
弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )*	1.80	1.90	2.25	2.22	2.25	2.38

[鋼材]	径	断面積	降伏点	引張強度	伸び	弾性係数
	(mm)	(cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(%)	(kgf/cm <sup>2</sup> )
普通	D10	0.71	3,860	5,410	24	2.1×10 <sup>6</sup>
PC	φ12.4	0.93	13,900	16,300	3.5	2.0×10 <sup>6</sup>

3.3 載荷

プレストレスの導入直後に、自重とコンクリートブロックにより460kgf/m(自重の2倍相当)の等分布荷重を載荷した。この荷重による曲げ応力は36kgf/cm<sup>2</sup>で、平均軸方向応力10kgf/cm<sup>2</sup>を考慮しても、曲げ強度を2√fcすればコンクリートの圧縮強度170kgf/cm<sup>2</sup>以下では曲げひび割れが生じることを想定した。載荷は、材令131日まで継続し、この時点で除荷した。

3.4 実験結果

1) プレストレス導入・載荷

表-7にプレストレス導入時、およびその直後の載荷によるたわみを示す。プレストレス導入によるそり上がりはほぼ計算値に等しく、所定のプレストレスが導入されたことが確認された。また、載荷によるたわみもほぼ計算値に等しかった。しかし、コンクリート圧縮強度0.7Fcで緊張・載荷したA試験体にはひび割れが生じた。

2) 長期たわみの変化

図-3に長期たわみの変化を示す。たわみは、外気温・湿度の影響を受けるが、いずれの試験体もほぼ同様にたわみの増大傾向を示した。表-8にCEB-FIP<sup>3)</sup>によるクリープ計算値との比較を示す。材令の進展に伴いすべての試験体にひび割れが生じ、載荷当初に比べ15%~20%の剛性低下が生じた。乾燥収縮によるたわみ<sup>4)</sup>も除いた変形を曲げクリープ変形とし、低下剛性に基づいて下式のCEB-FIPの流動係数と対応させて求めた。

$$\delta t = \delta a + \delta b + ((\beta t - \beta t') \phi b + 1) \delta o + \delta sh \dots \dots \dots (1)$$

ただし、

- δ t: 全たわみ
- δ a: 初期急速たわみ
- δ b: 遅れ弾性たわみ
- (β t - β t'): 流動係数
- φ b: 曲げクリープ係数
- δ o: 除荷時たわみ
- δ sh: 乾燥収縮たわみ<sup>4)</sup>

曲げクリープ係数は3.3前後となりいずれの試験体もほぼ同じ値を示した。このことから、ひび割れ等による剛性低下が生じても載荷材令の影響を考慮して長期変形を求めることが可能と考えられる。

3) 除荷・プレストレス解除

材令131日で荷重を除荷し、またその後プレストレスを解除した。この時のたわみのもどりを表-9に示した。材令の進行に伴いすべての試験体に曲げひび割れが生じた。このため、除荷時のたわみのもどりは、載荷時に比べ20%程度大きい値を示した。載荷時にひび割れの生じた試験体Aは、他に比しやや大きなたわみのもどりを

表-7 プレストレス導入、載荷時たわみ

試験体	PS導入時そり上り (mm)			載荷時たわみ (mm)		
	実測値	計算値	比	実測値	計算値	比
A	2.00	2.17	0.92	3.93	3.68	1.08
B	1.85	2.06	0.90	3.42	3.49	0.98
C	1.95	1.86	1.05	3.27	3.16	1.03

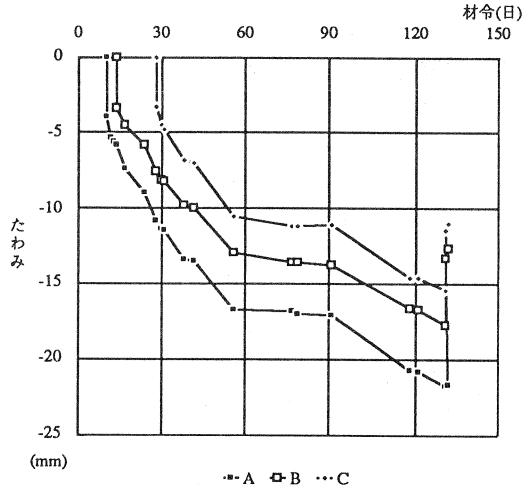


図-3 長期たわみの変化

表-8 長期たわみ

試験体	説明	(mm)		
		A	B	C
δ t	材令131日での全たわみ	21.94	17.79	15.48
δ o	材令131日除荷時もどり	4.55	3.96	3.89
δ a, δ b	初期急速遅れ弾性たわみ	2.75	2.22	1.79
δ sh	乾燥収縮たわみ	4.13	4.13	4.13
δ cr	材令131日クリープたわみ	10.51	7.51	5.67
β t - β t'	CEB-FIP流動係数	0.66	0.60	0.45
φ b	曲げクリープ係数	3.50	3.16	3.24

表-9 除荷・プレストレス解除時のたわみ

試験体	(mm)					
	除荷時のたわみのもどり			プレストレス解除時のたわみ		
	除荷時	除荷時 載荷時	比 C試験体	除荷時	除荷時 載荷時	比 C試験体
A	4.55	1.16	1.17	3.63	1.82	1.09
B	3.96	1.16	1.02	3.17	1.71	0.95
C	3.89	1.19	1.00	3.34	1.71	1.00

示した。プレストレス解除時のたわみのもどりは、プレストレス導入時に比べ1.8倍程度となり、載荷後のひび割れ発生による剛性低下の影響が大きくあらわれた。

既往の実験結果では、鉄筋コンクリート造スラブ<sup>5)</sup>の曲げクリープ係数は $5 \sim 10$ 程度で、PRC造スラブに比して長期たわみはかなり大きくなることが示されている。

本実験結果では、低強度時に緊張・載荷した場合でもPRC造スラブの有効性が示された。

#### 4) 振動数の変化

表-10に振動数の変化を示す。プレストレスの導入によって、振動数はほとんど変化しなかった。載荷による質量の増加によって振動数は低下するが、4週の時点では、いずれの試験体もほぼ同じ値を示した。除荷後の振動数は、載荷時より低下し、4週載荷前の試験体Cの値に比べ9割程度となった。ひび割れによる剛性低下の影響が見られたが、試験体間の差は小さかった。

#### 4. まとめ

実験結果から以下のことが明らかになった。

- 1) 低強度時における定着具の性能は、コンクリートの種類によって差が見られ、普通(スチールファイバー)、普通、軽量の順に性能が良かった。
- 2) コンクリートの圧縮強度 $150 \text{ kgf/cm}^2$ 程度でも通常の定着具を用いてPC鋼材の緊張は可能である。しかし、定着具の形状による差が見られた。
- 3) PRC造スラブでは若材令時の緊張・載荷により、長期的なたわみは大きくなり、またひび割れ等による剛性低下もやや大きくなるが、ひび割れ等によるPRC造スラブの長期的な剛性低下を考慮することによって、緊張・載荷の材令による影響を検討することができる。
- 4) 若材令時に緊張・載荷した場合でもPRC造スラブは、鉄筋コンクリート造スラブに比べて長期たわみはかなり小さく、たわみ制御効果は大きい。

#### 謝辞

定着具の実験を行なうにあたり、大阪大学工学部鈴木計夫教授にご助言を、また神鋼鋼線工業(株)に協力を戴きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：プレストレス鉄筋コンクリート (III種PC) 構造設計・施工指針・同解説、pp.271-276.
- 2) 山本俊彦：載荷材令の異なるPRC造スラブの実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、C、pp.13-14、昭和61.8.
- 3) CEB-FIP：Model Code for Concrete Structures, 3rd Edition, Comite Euro-Internationale du Beton-Federation Internationale de la Precontrainte, Paris, 1978, Appendix E.
- 4) ACI Committee 318：Building Code Requirement for Reinforced Concrete, 1983.
- 5) 山本俊彦：載荷材令の異なる一方向スラブの長期たわみ実験、コンクリート工学年次講演会論文集、No.5、pp.269-272、1983.

表-10 振動数の変化

試験体	PS導入前	PS導入後	載荷後	4週	(Hz)	
					除荷後	除荷後 C載荷前
A	14.5	14.5	7.7	8.1	14.2	0.90
B	15.0	15.0	7.7	7.9	14.6	0.92
C	15.7	15.8	8.0	8.0	14.5	0.92
計算値	14.0Hz ( $E_c=2.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ) - 自重					
	8.1Hz ( $E_c=2.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ) - 載荷後					