

太径 PC 鋼線に関する試験

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

小 沢 恒 雄*
 鏑 木 聰**
 川 内 康 雄***

1. ま え が き

プレストレストコンクリートの生産性を考えた場合、現場工事においては、各種工法の開発等によりそれなりの効果を上げている。一方、工場製品については、従来の方式に工夫、改良を加えるに止まっているのが現状である。

本来、工場作業そのものが極めて労働集約的であり、原価低減への努力にも自ら限界がある。しかし社会のニーズとしては大型化、多様化の傾向にあり、その対応を迫られると同時に省力化への努力を怠ることはできない。

現在プレテンション部材に使用されている鋼線は最大で $\phi 12.4 \text{ mm}$ であるが、さらに太径のものを採り入れるべき意見も多くなっている。

折から道路橋示方書の改訂を控え、当然それに伴い JIS および建設省の標準設計等の見直しも予定されている。

現在のところ、 $\phi 15.2 \text{ mm}$ をプレテンション部材に使用した場合の報告はほとんどなく、プレストレスト・コンクリート建設業協会として、このたび模型および実物を使い、付着性能および破壊性状を調べる目的で試験を実施することにした。

ちなみに最近、米国においても太径 PC 鋼線についての関心が高まり、一連の試験を計画しているようである。

2. 試験概要

2.1 試験場所

興和コンクリート(株)神戸工場

* ピー・エス・コンクリート(株)大阪支店
 ** 興和コンクリート(株)大阪支店
 *** 極東工業(株)大阪支店

表-1 供試体の形状および仕様(基礎試験)

供試体の名称	R-1	R-2
断面形状	矩 形	
長 さ	4 500	
導入時の圧縮強度 (kgf/cm ²)	450	300
PC 鋼線の本数	1	1
ボンドレスの有無	無	無
供試体の個数	3	3

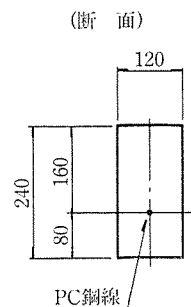
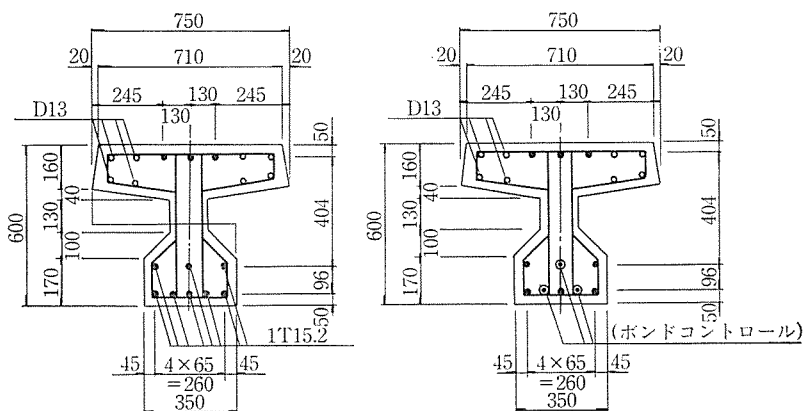


表-2 供試体の形状および仕様(実物試験)

供試体の名称	T-1	T-2
断面形状	T 形	
長 さ	10 600	
導入時の圧縮強度 (kgf/cm ²)	450	450
PC 鋼線の本数	11	11
ボンドレスの有無	無	無
供試体の個数	1	1

(断 面)



供試体 T-1

供試体 T-2

2.2 試験内容

(1) 基礎試験

a) PC 鋼より線の付着性能試験

b) 静的載荷試験

(2) 実物試験

a) PC 鋼より線の付着性能試験

b) 静的載荷試験

2.3 供試体

試験に用いた供試体の形状および仕様を 表-1, 表-2 に示す。

2.4 使用材料

(1) PC 鋼線 (SWPR 7 B φ 15.2)

$$\sigma_{pu} = 198.3 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{py} = 182.6 \text{ kgf/mm}^2$$

$$E_p = 1.96 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

(2) コンクリート (圧縮強度)

$$\sigma_{ck} = 452 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (R-1)}$$

$$\sigma_{ck} = 303 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (R-2)}$$

$$\sigma_{ck} = 443 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (T-1, T-2)}$$

2.5 供試体の製作および試験

(1) 基礎試験

a) 製作方法

供試体は、図-1 に示す方法で作成した。すなわち 1 本のアバットを使い 3 個の供試体を同時に作成し、PC 鋼材は許容値一杯まで緊張した。

また、型枠は鋼製とし、脱枠と同時にローラーコンベアで供試体を支持するようにし、摩擦の軽減をはかった。

供試体コンクリートは、打設後充分な表面保護をし、保温養生を行った。そして翌日型枠を外すと同時に、供試体の表面にひずみゲージを貼布した。ゲージは供試体

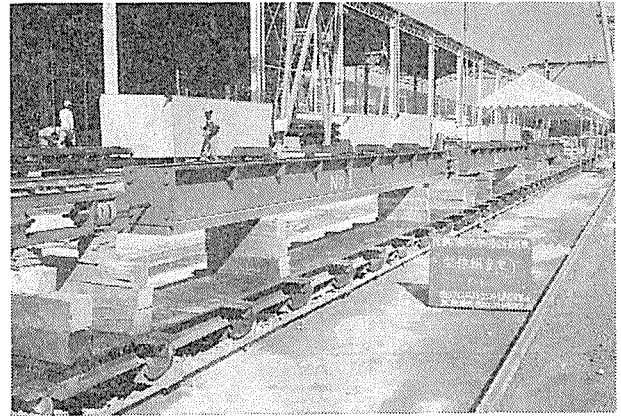


写真-1

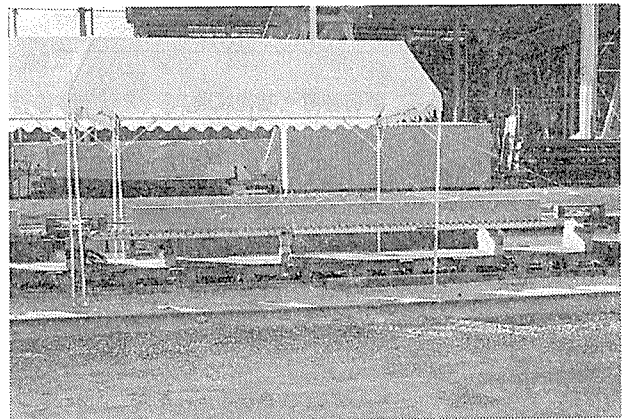


写真-2

の両面に 図-2 のような位置に貼布した。また PC 鋼線のめり込み量を測定するための変位計を供試体端面に取り付けた (写真-1, 2)。

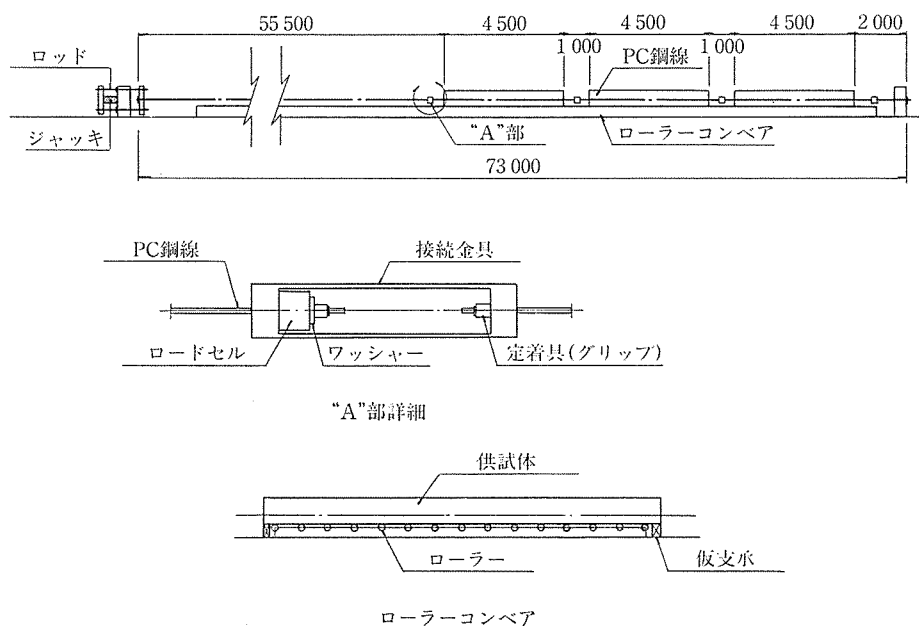


図-1 供試体の製作要領

◇論文報告◇

b) 試 験

- ① プレストレスの導入に伴うひずみ分布
コンクリートの圧縮強度が所定の値に達した時点

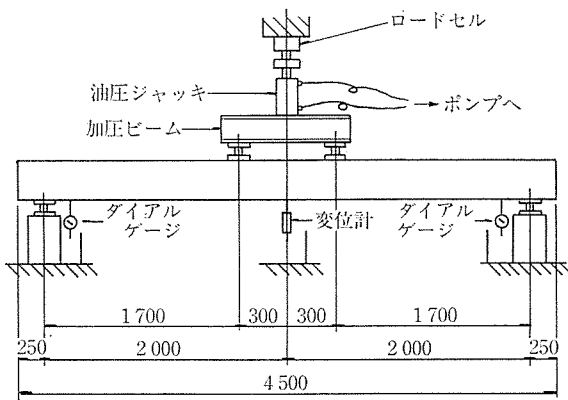


図-2 載荷装置 (基礎試験)

で、プレストレスの導入を行った。導入は段階的に行い、そのつど測定を行った。

② 載荷試験

図-2 に示す要領で載荷試験を行った。

載荷は、ひびわれ荷重まで2回行い、3回目で破壊させた (写真-3, 4)。

(2) 実物試験

a) 製作要領

製作は 図-3 に示すように、同一のアバットで2体同時に行い、模型試験と同様の手順で行った。

型枠は通常の JIS 桁のものを使用し、底枠の上に置いたまま試験に供することとした。コンクリート打設、養生も基礎試験と同様とし、ひずみゲージは基礎試験と同様に下フランジの両側に貼布するものとした。また桁端面の変位計は、11 ケーブル中の2ケーブルに取り付

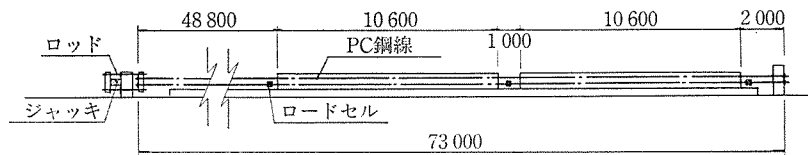


図-3 製作要領 (実物)

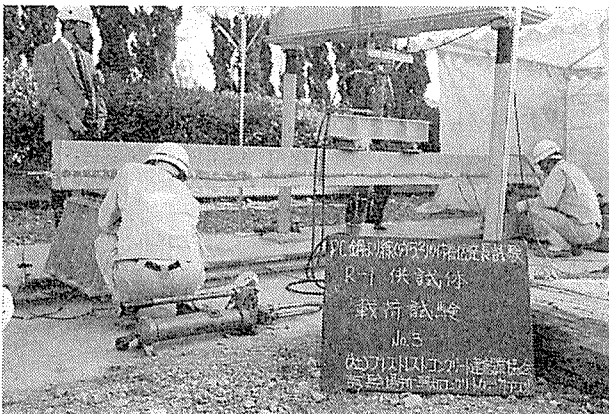


写真-3

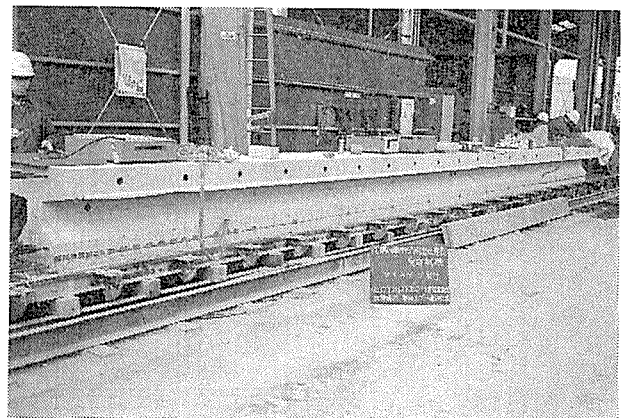


写真-5 ひずみゲージ貼布状況

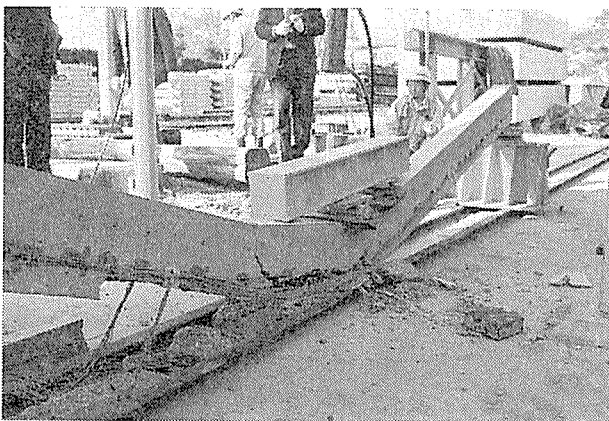


写真-4

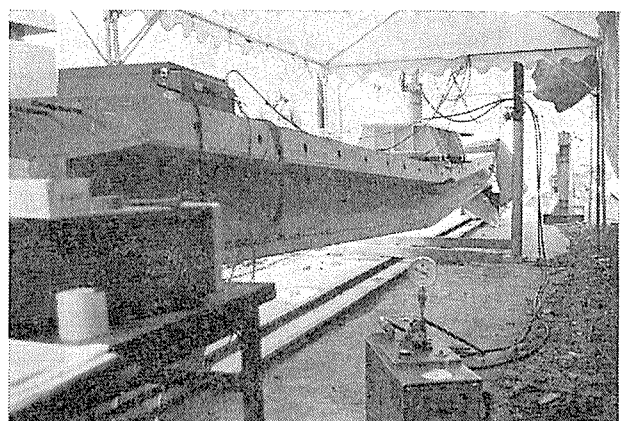


写真-6 破壊状況

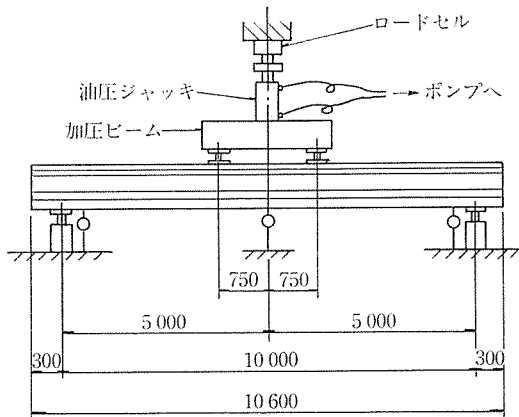


図-4 荷重装置 (実物試験)

けた (写真-5)。

b) 測定

基礎試験と同じ要領で行った。

荷重試験は 図-4 のような方法で実施した。

ただし、荷重は設計荷重、ひびわれ荷重、初亀裂荷重でそれぞれ3回荷重、徐荷を繰り返す、都合10回の荷重を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 付着伝達長の推定

プレテンション部材において、導入されるプレストレスは部材端から徐々にその値を増し、やがて付着が完全に働き一定値を示す。部材端から、その位置までの長さを一般に伝達長と呼んでいるが、在来のPC鋼より線では径の65倍を考えれば充分とされている¹⁾。

伝達長は以下の要因により影響を受ける。

- 1) 鋼材の導入力
 - 2) 鋼材の配置
 - 3) コンクリートのかぶり
 - 4) コンクリートの終局耐力に対する応力レベル
 - 5) 鋼材の種類、骨材、セメントの種類、配合
 - 6) 導入時の材令
 - 7) 鋼材の表面の状態
 - 8) 鋼材の応力解放の方法
 - 9) 荷重の方法 (静的, 動的)
- 一般に伝達長を推定する方法には次の3つがある。

- a) コンクリートに導入されたプレストレスの分布から読み取る方法 (FIPの方法)²⁾

- b) 定着ブロック供試体の定着耐力試験による方法 (材料学会の方法)³⁾

- c) 部材端における鋼材のめり込み量から計算する方法⁴⁾

以上、伝達長に関する一般事項を述べたが、今回は通常、工場で一般に行われている条件で供試体の製作、プレストレスの導入を行うこととし、推定手法としては a) および c) による。

以下に考察を行う。

図-5, 6 にプレストレス導入時のコンクリートのひずみ分布の例を示す。図中で各細線は導入途中 (最終導入力に対する割合で示す) の分布である (いずれも両面の値の平均で表わしてある)。この図から、ひずみが一定になる位置が導入力の増加とともにスパン中央に近づいていくのがわかる。

次にこれを応力度に変換したものが 図-7~10 である。ここでは供試体自重の補正を行っている。なおヤング係数は、この後に行った荷重試験の荷重-ひずみの関係より求めた値を使っている。またグラフは R 供試体 (基礎試験) については表裏左右の3供試体分計12個の平均を、T 供試体については4個の平均を表わしている。

いずれも理論値と非常に良く一致しているのがわかる。そこで、これらの図から伝達長を読み取ると以下のようなになる。

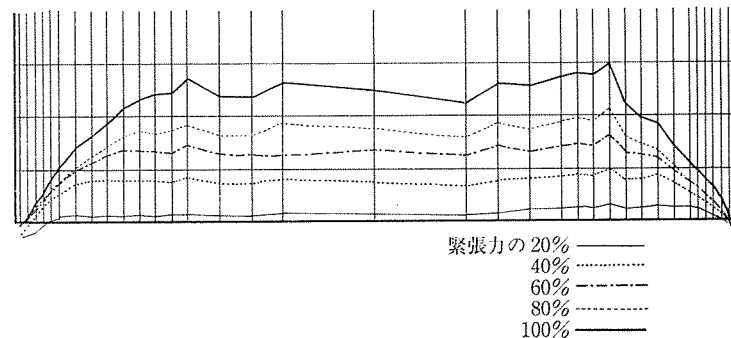


図-5 ひずみ分布の例 (R-1)

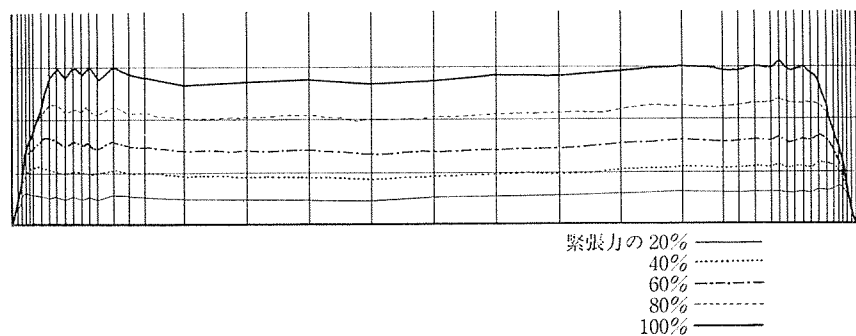


図-6 ひずみ分布の例 (T-1)

◇論文報告◇

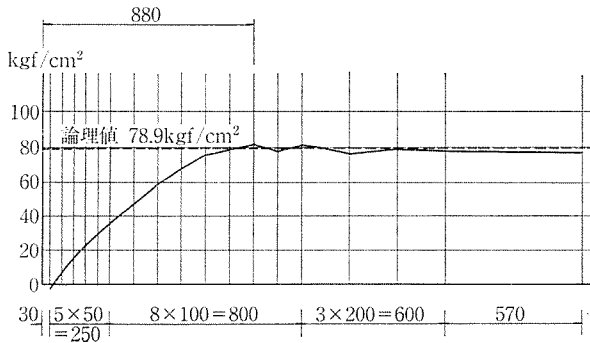


図-7 応力度分布 (R-1)

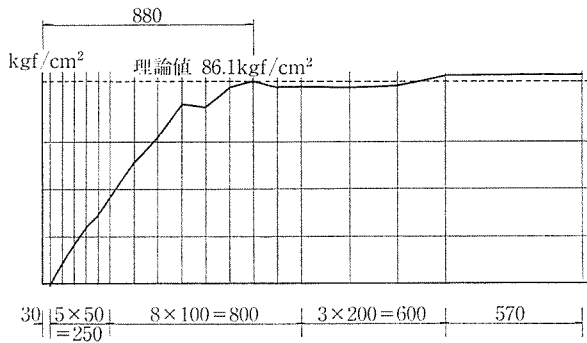


図-8 応力度分布 (R-2)

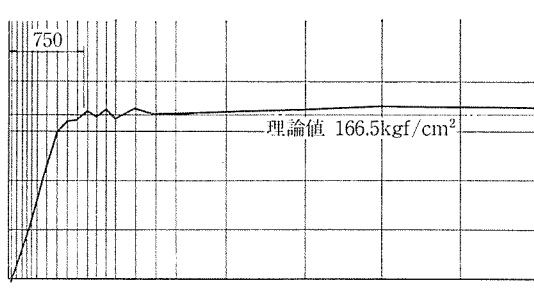


図-9 応力度分布 (T-1)

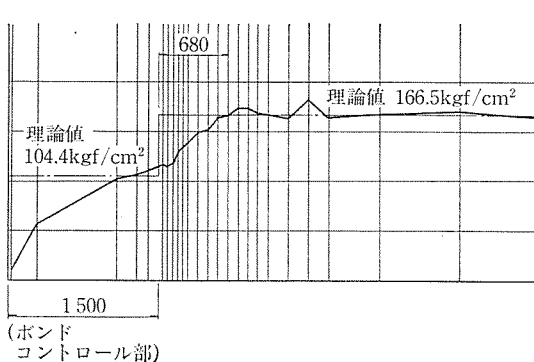


図-10 応力度分布 (T-2)

すなわち、R-1、R-2、T-1、T-2 の順に、750 mm、880 mm、750 mm、680 mm となる。

次に、部材端部のプレストレスによるひずみ分布を直線変化するものと仮定して、その変曲点を求め部材端からの距離を l_t とし、補正係数 α を用いることにより

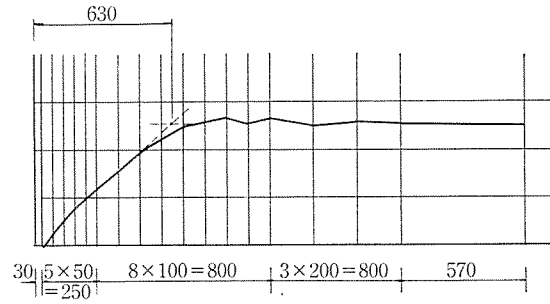


図-11 ひずみ分布の例 (R-1)

伝達長を求める。図-11 は R-1 のひずみ分布図であるが、この場合、変曲点は 630 mm 附近であり、 $\alpha=0.8$ とすると、 $l_t=790$ mm となる。通常 α の値は 0.7~0.8 と言われている。

次に、上の試算を補足する意味でプレストレス導入時の過程において、付着が切れると荷重-ひずみの相関図の直線性が失われることに着目し、各点に関する相関図を描く。表-3 は各供試体について直線性がなくなる測点およびその位置を表している。

表-3 直線性がなくなる位置

	測点 No.	端部からの距離	供試体別平均	試験項目平均
R-1-1	11	0.78 m	0.78	0.66
	25	0.78		
R-1-2	9	0.58	0.63	
	26	0.68		
R-1-3	9	0.58	0.58	
R-2-1	11	0.78	0.66	
	27~28	0.53		
R-2-2	9	0.58	0.56	
	27~28	0.53		
R-2-3	11~12	0.83	0.71	
T-1	8~9	0.53	0.56	0.56
	35	0.58		
T-2	14	1.98	2.08 (0.58)	2.08 (0.58)
	35~37	2.18		

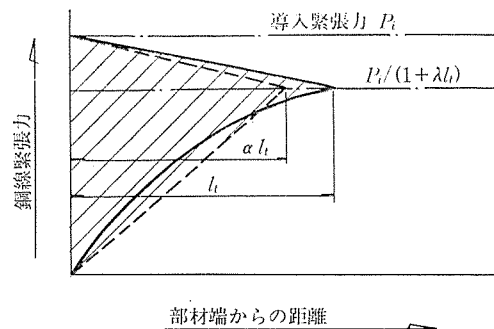


図-12 緊張力の分布モデル

したがって R-1 を例にとれば、 $l_s=660$ mm ゆえ、 $\alpha=0.8$ を採れば 830 mm となる。

他の供試体についても同様に計算できる。

今ひとつの伝達長の推定法として、部材端における PC 鋼材のめり込み量を用いるものがある。

すなわち部材端における鋼材のめり込み量は、図-12 に示す斜線部の面積を $E_p \cdot A_p$ で除したものになることから、部材端から鋼材緊張力が一定値に達する点までの長さ l_t は次式で与えられる。

$$l_t = \frac{2E_p \cdot A_p}{\alpha P_i} S_0 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

$E_p \cdot A_p$: 鋼材のヤング係数および断面積

P_i : 鋼材の導入緊張力

S_0 : 部材端における鋼材のめり込み量

α : 補正係数

この補正係数 α は、定着完了部付近で鋼材緊張力分布 P_x が曲線になるのを直線と仮定したために生ずる誤差を補正するものである。この値は文献によれば 0.7 ~ 0.8 とされている。

(1) 式に各値を代入して、 l_s を求めると R-1 では 520 mm となり、 $\alpha=0.8$ とすると $l_t=650$ mm となる。

以上、各種の推定法、すなわち、

- i) 応力度分布図による方法
- ii) ひずみ分布図による方法
- iii) 荷重-ひずみ相関図による方法
- iv) PC 鋼線のめり込み量より推定する方法

の4つの方法で試算した結果を表-4 に示す。

表-4 より、各推定法によりバラツキはあるものの、

表-4 各種推定法による試算結果

供試体	試算方法	伝 達 長 l_t					
		mm	N	$\alpha=0.8$		$\alpha=0.7$	
				mm	N	mm	N
R-1	i)	880	58	—	—	—	—
	ii)	—	—	790	52	900	59
	iii)	—	—	830	55	940	62
	iv)	—	—	650	43	740	49
R-2	i)	880	58	—	—	—	—
	ii)	—	—	810	53	930	61
	iii)	—	—	800	53	910	60
	iv)	—	—	610	40	700	46
T-1	i)	750	49	—	—	—	—
	ii)	—	—	690	45	790	52
	iii)	—	—	700	46	800	53
	iv)	—	—	560	37	640	42
T-2	i)	680	45	—	—	—	—
	ii)	—	—	790	52	900	59
	iii)	—	—	730	48	830	55
	iv)	—	—	580	38	660	43

(注) N は PC 鋼線径 (15.2 mm) に対する倍率である。

大略 40 D ~ 60 D の範囲にあることがわかる。一方、コンクリート強度の影響について考えるに、R-2 での値が特に異なっておらず、強度による差はないと考えられる。

3.2 静的荷重による破壊性状

荷重試験により発生したひびわれの状況は図-13、図-14 に示すとおりである。これらの結果から、荷重の増加とともに曲げひびわれが中立軸付近まで進展したのち斜ひびわれに発展し、最終的には圧縮縁のコンクリートの圧壊により破壊に至る様子が見えがえる。ひびわれ荷重、破壊荷重は表-5 に示すようにいずれも理論値を上回っている。

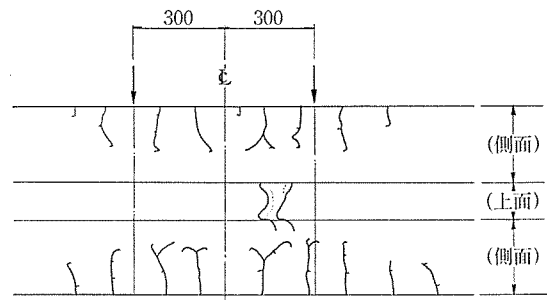


図-13 破壊状況 (R-2)

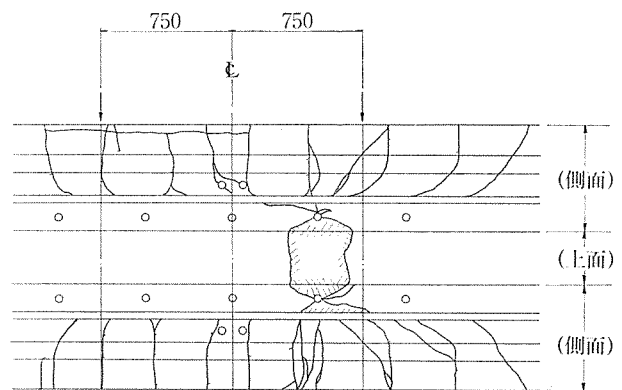


図-14 破壊状況 (T-2)

表-5 ひびわれ荷重および破壊荷重

	初亀裂発生時		破壊時	理論破壊荷重 (t)
	荷重 (t)	中央部たわみ (mm)	荷重 (t)	
R-1-1	2.19	7.21	3.67	3.51
R-1-2	2.19	7.71	3.60	
R-1-3	2.18	7.77	3.41	
R-1 平均	2.19	7.56	3.56	
R-2-1	2.04	8.79	3.40	3.11
R-2-2	1.93	8.43	3.11	
R-2-3	1.93	8.71	3.02	
R-2 平均	1.97	8.64	3.18	
T-1	28.70	21.03	43.99	42.67
T-2	28.98	20.96	43.99	42.50

◇論文報告◇

いずれも従来の PC 鋼線を使用した場合と何ら異なることはなく、使用上の問題はないものと思われる。

4. おわりに

一連の試験で明らかになった事柄をまとめると、以下のようになる。

① 付着伝達長は、600 mm～950 mm で、直径比で $40D \sim 60D$ 程度であり、従来、目安とされている $65D$ には充分納まっている。

また、コンクリートの圧縮強度による差はないと考えてよい。

② PC 鋼線とコンクリートの付着性状は、部材端での PC 鋼線のめり込み量、破壊状況等から判断する限り充分であると思われる。

③ PC 桁の耐荷力については、いずれも理論値を上回っており、問題はない。

以上の検討結果より、太径の PC 鋼線 (SWPR 7 B ϕ 15.2 mm) をプレテンション部材に使用することは特に問題がないと考えられる。

最後に、今回の試験に際し終始御指導をいただいた、京都大学 六車、藤井両教授に対し、また試験全般にわたり多大な御協力をいただいた興和コンクリート (株) の諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 建設省制定、「土木構造物標準設計」(第 19・20 卷) 昭 54
- 2) RILEM-FIP-CEB Committee Prescription for the testing of the determination of the adhesive quality of the prestressing reinforcement, RILEM, mai-iuim, No. 15, 1970
- 3) 坂 静雄, 六車 熙, 森田司郎: ストランド定着時の付着効果に関する研究, Vol. 8, No. 69, 昭 46
- 4) 藤井 学, 荒木 毅: プレテンション用 PC 鋼材の付着性能の評価法について

【1989 年 6 月 6 日受付】

◀刊行物案内▶

PC 斜 張 橋

(本誌第 29 巻第 1 号特集号)

現在、世界的にも、また我が国でも有力な橋梁施工法として台頭し始めた PC 斜張橋を特集した本書は、その歴史、変遷から始まって、将来展望に関する座談会、斜張ケーブルの現状、既に実施された、または計画中的の代表的な斜張橋 (白屋橋、東名足柄橋、猪名川第 2 橋梁、衝原大橋、呼子大橋、新丹波大橋) の報告等、多岐にわたり収録してあります。PC 橋梁の設計・施工関係技術者にとっては必携の参考図書と確信します。

在庫数が限られていますので、ご希望の方は至急代金を添え (現金書留か郵便振替東京 7-62774) プレストレストコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁 : B 5 判 108 頁

定 価 : 1 500 円 (送料 : 150 円)