

(19)  $\phi 21.8$  ストランドを使用したプレテンション工法 評価実験について

日本道路公団 名古屋建設局 構造技術課 正会員 池田 博之  
 日本道路公団 名古屋建設局 四日市工事事務所 加藤 照己  
 日本ピーエス・昭和・日本鋼弦 J V 正会員 原 幹夫  
 同 上 正会員 ○油野 博幸

1. はじめに

第二名神高速道路 長島高架橋 (PC上部工) は、PC連続箱桁橋で、主桁製作はマッチキャスト方式 (ショートライン) によるセグメント工法である。床版の横締は作業省力化のため、 $\phi 21.8$  ストランドによるプレテンション方式が採用される。

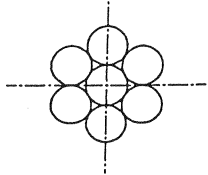
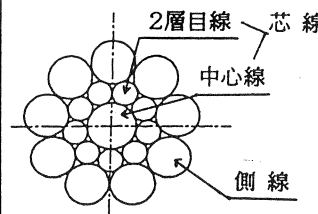
しかしながら、 $\phi 21.8$  ストランドをプレテンション方式に使用した実績は無く、従来使用されている  $\phi 15.2$  ストランドなどはストランドの構成 (表-1) が異なることから下記の問題点が想定された。

- (1) 緊張力/表面積が大きく付着定着長が増加。

表-1 ストランド構成

- (2) 3層構造による芯線 (中心・2層目線) のすべり。
- (3) 芯線のすべりによるプレストレス量の減少および付着定着長の増加。
- (4) 動荷重による芯線のすべりの進行。

これら問題点を整理解明し、設計・施工に反映すべく、本実験では「ストレス導入試験」と「載荷試験」を行った。

	$\phi 15.2$ ストランド	$\phi 21.8$ ストランド
ストランド構成		
表面積	634.6 cm <sup>2</sup>	953.8 cm <sup>2</sup>
緊張力	20.0 tf	45.0 tf
緊張力/表面積	31.5 kg/cm <sup>2</sup>	47.2 kg/cm <sup>2</sup>

2. 実験概要

- (1) ストレス導入試験

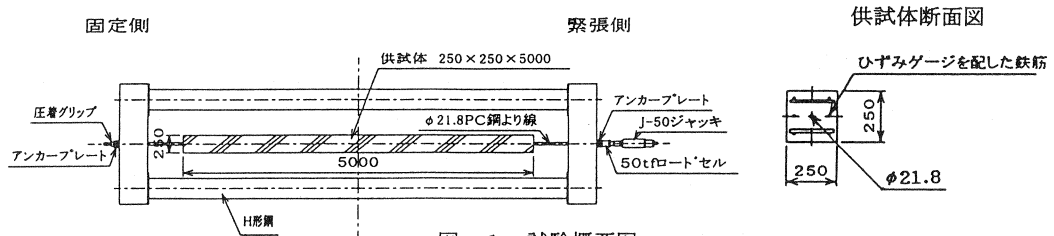


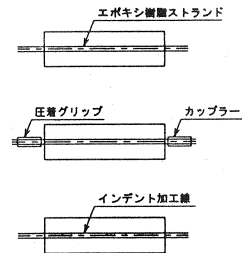
図-1 試験概要図

$\phi 21.8$  の素線と加工線について各供試体の芯線のすべりの有無、付着定着長、プレストレス量を把握するため、プレストレス導入による引き込み量、すべり量、コンクリートひずみを測定した。付着定着長を把握するためのコンクリートひずみの測定は、ひずみゲージ (125mmピッチ) を配した鉄筋のひずみにより間接的に測定。また、引き込み量及びすべり量については、ストランド端部に配した変位計により測定した。試験概要図を図-1に試験条件を表-2に示す。

表-2 試験条件

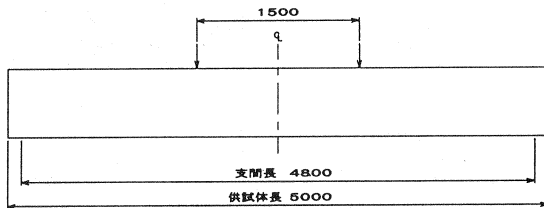
供試体の名称	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8
ストランド種類	素			線				
導入時強度 (N/mm <sup>2</sup> )	31.5	38.1	39.7	40.9	44.7	50.6	62.6	78.7
ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.64	2.92	2.85	2.84	2.84	3.15	3.63	3.87
導入材令	1日	5日	1日	5日	1日	5日	7日	7日
導入緊張力 (tf)	43.49	43.53	43.49	43.26	43.94	43.92	42.65	42.48

供試体の名称	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6
ストランド種類 (加工線)	エポキシ樹脂	インデント	グリップ カップラー	インデント		
導入時強度 (N/mm <sup>2</sup> )	38.7	43.1	39.3	39.3	33.0	36.2
ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.83	2.93	2.78	2.78	2.73	2.80
導入材令	1日					
導入緊張力 (tf)	40.84	42.89	43.40	43.42	43.70	44.02



(2) 荷重試験

φ21.8の素線とインデント加工線について2点荷重による繰り返し荷重試験及び破壊（付着限界）試験を行った。試験概要図を図-2に試験条件を表-3に示す。



供試体断面図

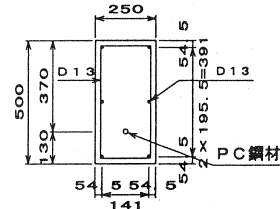


図-2 荷重試験概要図

各供試体の繰り返し荷重及び繰り返し回数は表-3の通り。87KNは、供試体下縁で引張が発生する限界荷重（推定値）である。S-2''は、他の供試体以上のきびしい条件下での繰り返し荷重試験を行ったもので、( )内はひびわれ荷重での繰り返し後、再度87KNで試験した繰り返し回数を示している。いずれの供試体も繰り返し荷重後、ストランドとコンクリートとの付着限界荷重まで荷重を行った。測定項目は、ストランドの側線・芯線の引き込み量、供試体のたわみ及びコンクリートひずみである。

表-3 試験条件

	供試体の名称	S-1	S-1'	S-2	S-2'	S-2''
		素線			インデント加工線	
ストレス 導入時	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	41.2	41.0	42.6	41.0	41.3
	ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.92	2.94	2.83	2.94	2.96
	導入緊張力 (tf)	42.96	44.08	43.56	44.31	43.25
荷重 試験時	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	51.1	49.3	54.9	49.3	57.6
	ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	3.09	3.08	3.32	3.08	3.35
荷重荷重 と 繰り返し 回数	下縁応力 = 0 87KN	10回	10回	10回	10回	100回 (20)
	計算ひびわれ荷重 130KN	—————				10回
	ひびわれ荷重 145KN	—————				10回
	200KN	—————				10回

3. 実験結果と考察

(1) ストレス導入試験によるストランドの引き込み量とすべり量

プレストレス導入により、ストランドがコンクリート内に引き込まれる量を引き込み量とし、芯線が側線以上に引き込まれる量をすべり量と定義する。(図-3)

ストレス導入試験による各供試体の引き込み量を表-4, 5に、また引き込み量の時間経過を素線及び加工線について代表例を図-4, 5に示す。

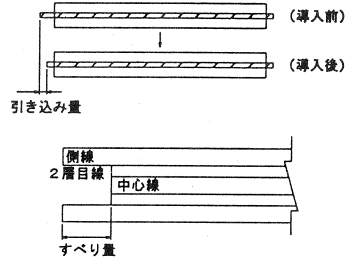


図-3 引き込み量とすべり量

表-4 素線の引き込み量

供試体No	引き込み量 mm			
	導入直後		導入48時間後	
	側線	芯線	側線	芯線
T-1	9.4	11.3	10.7	15.5
T-2	6.7	8.8	7.9	13.2
T-3	6.2	8.4	7.4	13.4
T-4	6.8	8.4	7.9	13.3
T-5	7.4	8.7	9.1	14.6
T-6	5.7	7.7	6.4	11.7
T-7	5.7	7.1	6.9	12.8
T-8	3.6	5.1	4.5	8.9

表-5 加工線の引き込み量

供試体No	引き込み量 mm			
	導入直後		導入48時間後	
	側線	芯線	側線	芯線
R-1	8.6	8.6	9.1	9.1
R-2	9.7	9.7	10.3	10.3
R-3	8.6	8.6	10.6	10.9
R-4	8.8	8.8	9.2	9.2
R-5	6.8	6.8	8.0	8.0
R-6	5.7	5.7	6.9	6.9

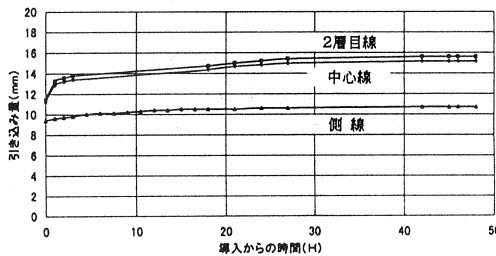


図-4 引き込み量の時間経過(素線)

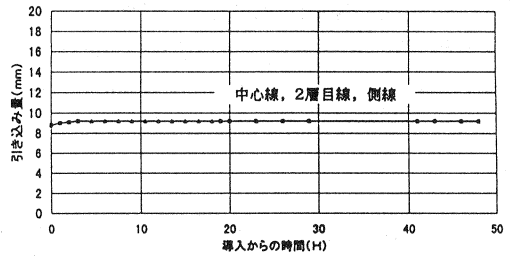


図-5 引き込み量の時間経過(加工線)

芯線と側線の引き込み量の差がすべりを表す。素線はすべりを生じ、3層は一体として挙動しなかったのに対し、加工線のすべりはほとんど無く、3層は一体として挙動していた。また、素線・加工線共に、引き込み量は導入直後以後も進行したが40時間程度で止まり、その後の進行はなかった。

(2) コンクリート強度と付着定着長及び付着定着長と引き込み量

導入直後のコンクリートひずみ結果の一例を図-6に示す。付着定着長はプレテンション鋼材が定着に要する長さで、プレストレス導入によるひずみ変化区間長により判定した。但し、直線を仮定して算出しているため、水平部との交点付近の曲線補正が必要である。

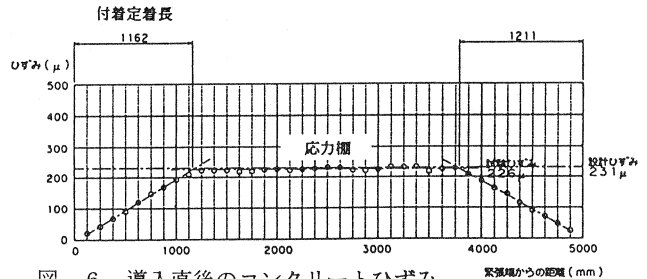


図-6 導入直後のコンクリートひずみ

導入時コンクリート圧縮強度と導入直後

のコンクリートひずみから得られた付着定着長の素線における結果を図-7に示す。コンクリート強度が大きいほど付着定着長は短くなる傾向を示した。また、加工線の付着定着長は同程度の強度の場合、素線より短い結果となった。

付着定着長と側線の引き込み量には多少のばらつきがあるものの相関関係が見られた。導入直後の測定値より素線及び加工線の関係を示したものが図-8である。同程度の引き込み量の場合、素線の方が付着定着長は長い。また、素線・加工線共に引き込み量が大きくなると、付着定着長も長くなる。側線引き込み量は40時間程度は進行するが、付着定着長もその進行に伴い増長し、引き込み終了時に最終の付着定着長になると考えられる。

(3) 設計付着定着長の算定

導入時コンクリート圧縮強度別に付着定着長を算定した。付着定着長の最終値は引き込み終了後のコンクリートひずみから測定すべきであるが、クリープ・乾燥収縮及び温度変化の影響のため測定が困難であった。そのため、進行終了後の側線引き込み量をパラメーターとし、フローにより算定した。

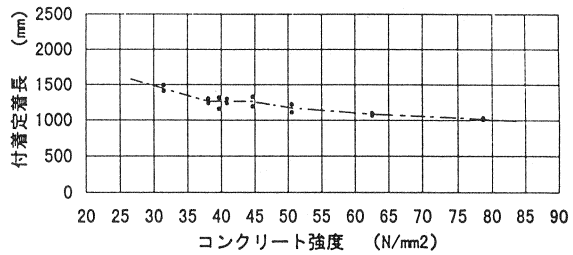


図-7 導入時圧縮強度と付着定着長 (導入直後)

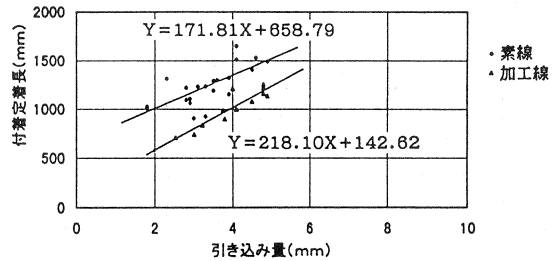


図-8 付着定着長と導入時引き込み量 (導入直後)

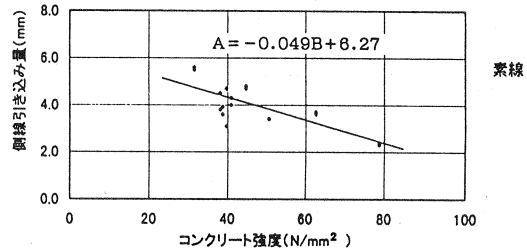
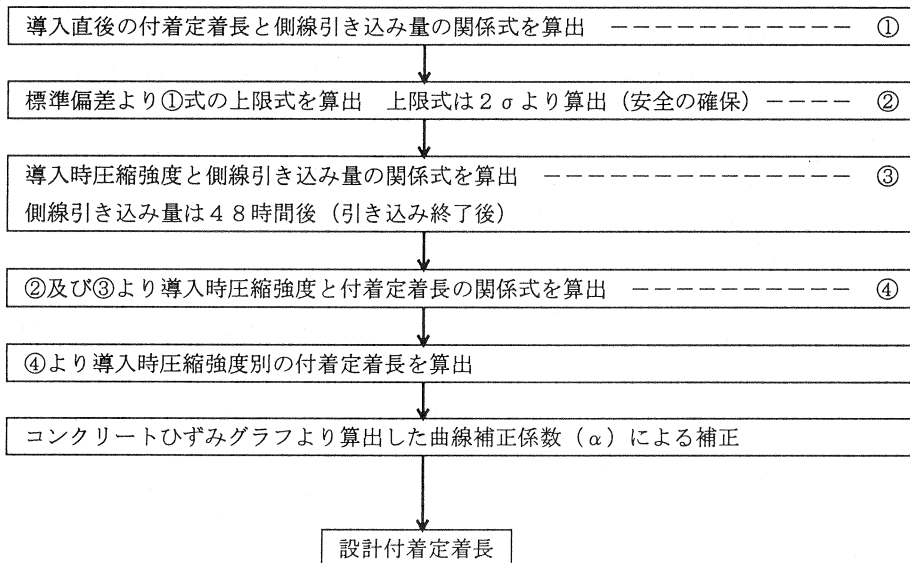


図-9 導入時圧縮強度と引き込み量 (48時間後)

算定フロー



(4) 設計プレストレス量の算定

芯線のすべりにより、導入プレストレスの低下が想定される。素線によるプレストレス導入試験は、固定側の反力台背面に定着グリップを使用して行ったので、芯線のすべりは緊張側のみ生じた。にもかかわらず、緊張側及び固定側の付着定着長にはほとんど差がなかった。緊張側に生じた芯線のすべりは供試体全長にまで影響し、ほぼ平均的にプレストレスを低下させているものと考えられる。フローにより設計導入プレストレスを算定した。

算定フロー

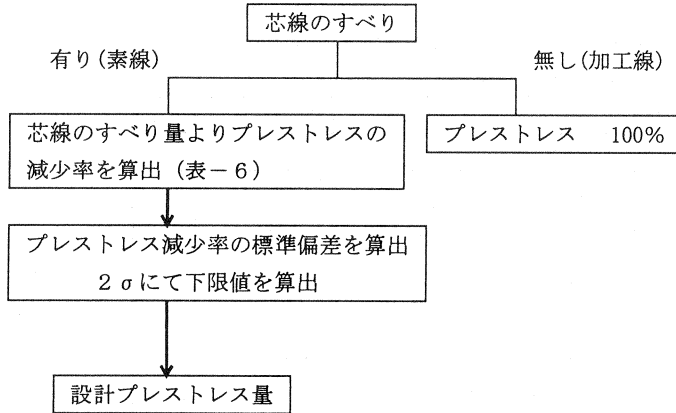


表-6 すべり量より算出したプレストレス減少量

供試体No	導入48時間後	
	すべり量 L1(mm)	プレストレス 減少量(%)
T-1	4.8	4.4
T-2	5.3	4.8
T-3	6.0	5.4
T-4	5.4	4.9
T-5	5.5	4.9
T-6	5.3	4.8
T-7	5.9	5.5
T-8	4.4	4.1
平均値		4.9

(5) 載荷試験結果

ストレス導入試験結果及び加工線についてはその経済性を考慮して素線及びインデント加工線にて載荷試験を行った。繰り返し載荷試験結果を表-7に示す。素線及びインデント加工線共に引張限界荷重では、側線、芯線の引き込みはほとんど無く、中央部のたわみも安定していた。S-2'におけるきびしい条件下での各種繰り返しでも引き込みはわずかであった。図-10, 11は荷重載荷時と除荷後のコンクリートひずみであるが、載荷の繰り返しによるひずみの変動はほとんど見られない。素線、加工線に関係なく繰り返し載荷では、コンクリートとの付着切れ、プレストレスの減少は無く、供試体は健全であった。

表-7 繰り返し載荷試験結果

	荷重	繰り返し回数	引き込み量 (mm)		中央部たわみ (mm)
			側線	芯線	
素線 S-1	87KN	1回目	0.0	0.0	2.7
		10回目	0.1	0.1	2.7
インデント S-2	87KN	1回目	0.0	0.0	2.8
		10回目	0.0	0.0	3.0
インデント S-2'	87KN	100回目	0.0	0.0	2.3
	130KN	10回目	0.0	0.0	3.6
	145KN	10回目	0.1	0.1	4.4
	87KN	20回目	0.1	0.1	2.9
	200KN	10回目	0.1	0.1	9.3

破壊(付着限界)試験の結果を表-8に示す。ひびわれ荷重は、全供試体で計算値を上回り、ほぼ同じ値を示した。付着の観点から見ると引き込み開始荷重が付着限界荷重と考えられる。本試験では引き込み開始荷重に注目し測定した。PC鋼材引張強度の70%にて算出した計算載荷荷重と比較すると、いずれもそれを上回る。

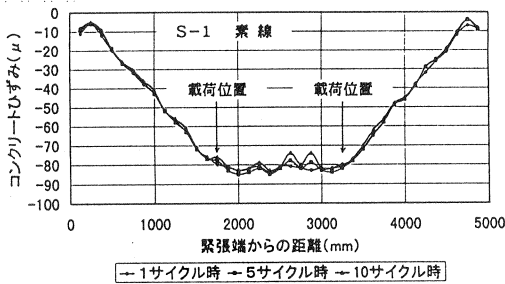


図-10 荷重載荷時のコンクリートひずみ

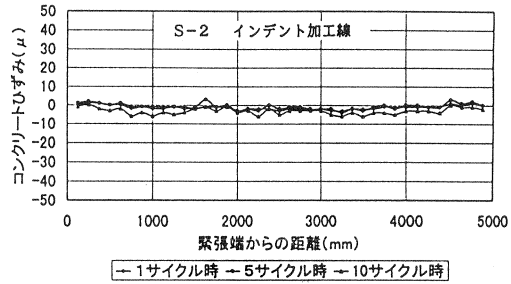


図-11 除荷後のコンクリートひずみ

表-8 破壊(付着限界)試験結果

供試体No		S-1	S-1'	S-2	S-2'	S-2''
		素線		インデント加工線		
ひびわれ	計算ひびわれ荷重	128	129	131	130	131
	試験ひびわれ荷重	150	150	150	150	145
中央部たわみ		4.7	4.6	5.2	5.1	4.1
発生時	引き込み量 (繰り返し載荷後)	側線	0.0	0.0	0.0	0.0
		芯線	0.0	0.0	0.0	0.0
引き込み開始時	計算引き込み荷重	206	206	207	206	208
	引き込み開始荷重	230	220	220	230	280

#### 4. 設計への反映

以上の実験結果より、φ21.8ストランドの素線及び加工線(インデント加工線)は、芯線のすべりの有無に相違はあるものの、付着限界荷重以内であればいずれもプレテンション用PC鋼材として使用可能であることがわかった。

以下に長島高架橋の上部工設計に使用するφ21.8ストランドの付着定着長、プレストレス量、破壊時鋼材応力度を示す。

##### (1) 付着定着長

導入時コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	付着定着長	
	素線	インデント加工線
30	100D	—
35	95D	90D
40	95D	
45	90D	

D: PC鋼材の直径

##### (2) 導入プレストレス

芯線にすべりがあるPC鋼材(素線)の導入プレストレスは8%減じて計算し、芯線にすべりの無いPC鋼材(インデント加工線)は減じない。

##### (3) 曲げ破壊時

破壊抵抗曲げモーメントを算出する場合の破壊時鋼材応力度は $0.7\sigma_{pu}$ とする。(σ<sub>pu</sub>; 引張強度)

長島高架橋では、プレストレスが有効に使用でき、鋼材ピッチが広く、施工性に優れる芯線のすべりの無いインデント加工線を床版横筋に使用する予定である。