

首都高速 232 工区の施工について (II)

—各種測定試験について—

津 野 和 男*
金 光 宏**

1. ま え が き

本報告は、本誌 Vol. 9, No. 1 に発表した長大プレキャストブロックを用いた PC 箱桁橋の施工についての第 2 報となるものであって、施工時に実施した各種測定試験について述べる。本橋の架設方法の概要および完成写真については、それぞれ 図-1、写真-1 に示すとおりである。構造形式および設計施工の詳細については前

図-1 一般図

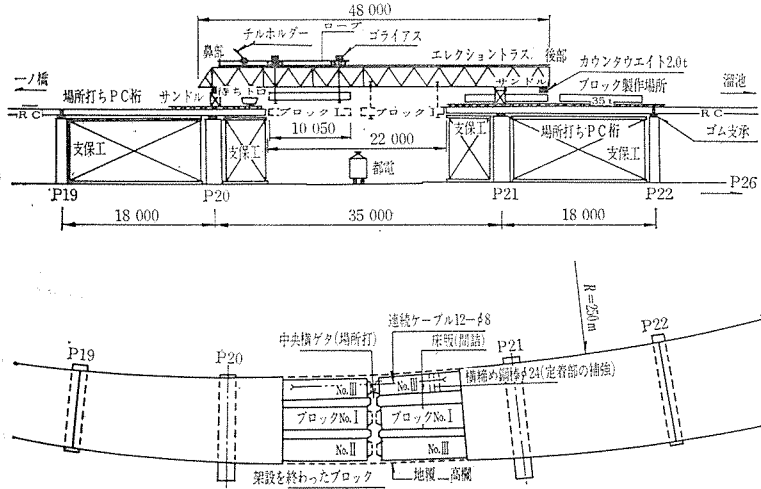
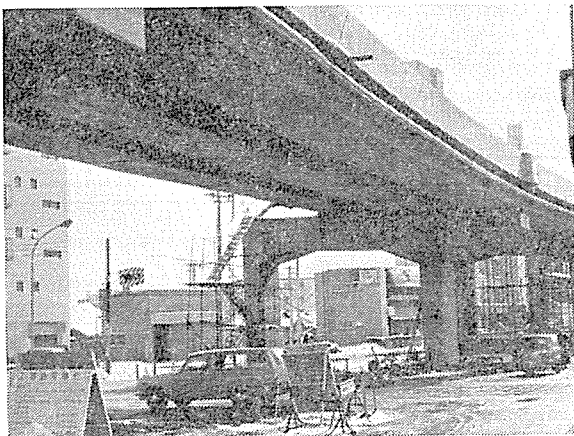


写真-1 中央径間および橋脚 P19, P20 がみえる



*首都高速道路公団 神奈川建設局設計調査課長
** 第 3 建設部設計調査課主査

記報告を参照されたい。

2. 試験の目的

(1) クリープ係数測定試験

本橋の設計計算は、連続桁になるまでの左右静定系を同時施工するものとし、連続桁になるまでの左右静定系の間には、材令差はない。すなわちクリープ差と乾燥収縮差はないものとして計算した。また連続桁となるまでに、左右静定系のコンクリートのクリープは $\phi=0.5$ 進行するものとしてある。したがって、残りのクリープの進行にともなって自重と静定ケーブルによって生じる 2 次の不静定モーメント量は、それぞれ $\phi=1.5$ を用いて計算している。

しかし実際の施工にあたっては、型わく、支保工の転用を考えた分割施工を実施しており、左右静定系の間には、台風時と一致したものと重さなっており、工程表表-1 に観られるような材令差が生じている。そこで上記仮定値の妥当性を確認することとともに、材令差によって生じている連続ケーブル緊張後のクリープ差と乾燥収縮差を、

それにまた、連続ケーブルを緊張する時点において、左右静定系それぞれのクリープ進行度と乾燥収縮進行度とを知るために実橋に埋め込んだカーソンひずみ系によって測定されるコンクリートのひずみ度から推定し、本橋の安全性を確認することを、試験の第一目的とする。あわせて静定ケーブル、連続ケーブルそれぞれにおいて、緊張直後のプレストレスを、コンクリートのひずみ度から換算し、計算値と比較して、プレストレス導入作業のチェックを試みることにした。

(2) クリープによって発生する不静定反力測定試験

連続桁に構造系が変わるのち、コンクリートのクリープの進行にともなって、桁に発生する 2 次の不静定モーメントの量を確認するために実施するものである。

2 次の不静定モーメントによって生じるコンクリート

プレストレス コンクリート

表-1 工程表

工 種	月 日		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月	
			10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
コンクリート打ち	側径間 P ₂₁ ~ P ₂₂	腹部まで	-											
		上床版			-									
	側径間 P ₁₁ ~ P ₁₂	腹部まで					-							
プレキャストブロック	No. I と No. II No. III							-						
ケーブルの緊張	1次ケーブルの緊張	側径間 P ₂₁ ~ P ₂₂												
		側径間 P ₁₁ ~ P ₁₂												
	2次ケーブルの緊張	ブロックNo. I												
		ブロックNo. II ブロックNo. III												
連続ケーブルの緊張	中央径間中央												-	

の応力度は、自重によるものと、静定ケーブルによるものとが互いに打ち消され、絶対値としては、非常に小さなものとなり、測定誤差を考えると、ひずみ測定は不可能に近い。このため2次の不静定モーメントの発生にもなって生じる支点反力の変動を図-4の装置によって測定することにし、これによってひずみ測定にかえた。なお連続ケーブル緊張終了直後に発生する支点反力も測定して、連続ケーブルを緊張することによって発生する不静定モーメント量を確認した(表-2 参照)。

表-2 応力度表 (kg/cm²)

種 別	格 点 圧 力 度	0.4		1.4		2.6	
		σ_{co}	σ_{cu}	σ_{co}	σ_{cu}	σ_{co}	σ_{cu}
プレストレス (1次ケーブル)	現 場	23	85	-	-	18	86
	打 ち	27	-35	-	-	27	-39
1次ケーブル導入直後		50	50	-	-	45	47
プレストレス (2次ケーブル)		-	-	22	-6	-	-
プレキャスト桁		-37	47	-4	4	-32	45
2次ケーブル導入直後		13	97	18	-2	13	92
桁間中埋, 横桁		-13	17	-5	5	-11	16
		0	114	13	3	2	108
プレストレス (連続ケーブル)		-	-	-43	223	-	-
連続ケーブルによる不静定力(I)		19	-24	43	-61	16	-23
連続ケーブル導入直後		19	90	13	165	18	85
コンクリートのクリップによる発生モーメント	自 重(II)	20	-25	47	-62	16	-23
	静定ケーブル(III)	-16	20	-34	45	-12	17
上部構造物		0	0	15	-20	1	-1
プレストレスの変化		-3	-12	4	-39	-2	-12
全静荷重作用時		20	73	45	89	21	66
活 荷 重	max	23	-29	35	-47	23	-33
	min	-14	17	-4	6	-12	17
全設計荷重時	max	43	44	80	42	44	33
	min	6	90	41	95	9	83

(3) プレキャストブロック張り出しどきの桁のたわみの測定

エレフシヨントラスで長大プレキャストブロック (35 t, 10.5 m) を張り出したとき、桁の示す挙動を調べると同時に、設計計算値との比較を行なうため、桁のたわみ測定を実施するものである。

3. 測定結果

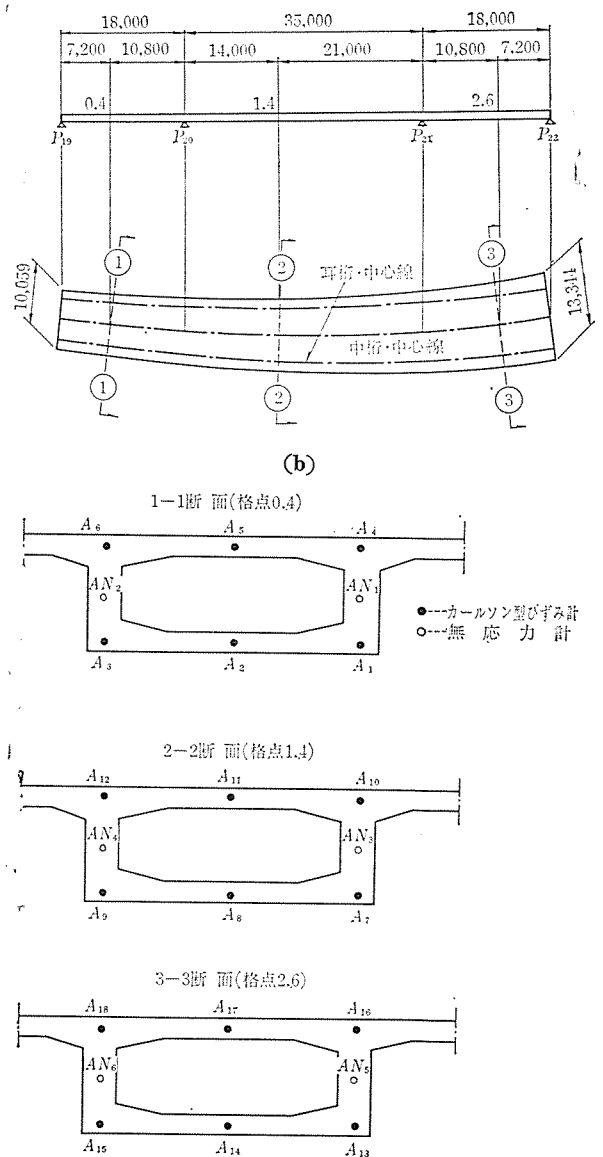
(1) クリップひずみ測定試験

a) 測定位置 測定位置は、プレストレスおよび桁自重による曲げ応力度が比較的大きくて、クリープによる応力変動の小さい断面である格点 0.4, 1.4, 2.6 の中桁断面に選び、図-2 に示す断面位置に、カールソンでひずみ計を埋め込んで

測定した(写真-2 参照)。

なお測定したひずみ度から、乾燥収縮によるひずみ度を分離するために、無応力計を上記3断面の中立軸に埋め込んで、乾燥収縮度を測定することにした。

図-2 (a) クリップ測定試験計器設置図



b) 測定方法

ひずみの測定期間は約2年とし、まず表-3に示すPCケーブルグループの緊張順序にしたがって各グループの緊張終了直後に測定を行なう。つぎに、1次ケーブル、2次ケーブル、それぞれの緊張終了後と、連続ケーブル緊張終了後とにおいて継続して行なわれる測定は、それぞれ第1周目は毎日、第2周目は隔日、第3周目は2回、以後周1回の測定を継続し、連続ケーブル緊張終了後1カ月目から、0カ月、1カ月、3カ月、6カ月、12カ月、24カ月目に測定を行なう（折込付図参照）。

写真-2 カールソン型ひずみ計を底版にセットしたところ



表-4 実測値と計算値との比較

断面		1次静定ケーブルの緊張		2次静定ケーブルの緊張		連続ケーブルの緊張	
		実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値
①-①	上縁	44	50	-60	-37	7	19
	下縁	83	50	74	47	-11	-24
②-②	上縁			26	18	3	0
	下縁			20	-2	83	162
③-③	上縁	39	45		-32	7	16
	下縁	75	47	45	45	-10	-23

ため、支保工上で、腹部にある程度強度が出てからスラブを打ち継いだために、スラブ自重の一部が、1次ケーブル緊張前に、すでに腹部に作用していた。したがって腹部が桁の作用をし、緊張中の桁自重が完全に作用しなかったためと思われる。いずれにして測定誤差その他を考慮すれば、この程度の結果からはプレストレスは、ほぼ予期どおり導入されたものと思われる。

2次ケーブルと連続ケーブルの緊張終了時の実測値は、それぞれ、緊張直前直後の測定ひずみ量の差を、一段階前のケーブル緊張終了時の実測値と合成して求めたものである。2次ケーブル緊張時の①断面の実測値は計算値よりもかなり大きい値を示しているが、③断面の実測値は、ほぼ計算値どおりになっている。これは2次ケーブルの緊張期間（表-1）が11月5日～12月1日の約1カ月に渡っており、かつまた①断面が③断面にくらべて2カ月材令が若いことを考慮すると、すなわちクリープ差、ヤング係数差の影響を考慮すると、この程度の結果は、むしろ結果としては良好であると思われる。

連続ケーブルが緊張時の実測値は、計算値の約1/2になっている。しかし連続ケーブル緊張終了直後の不静定反力が、ほぼ計算値どおり出ていることと、表-4の実測値と計算値がほぼ比例関係にあることを考え合わせると、いちがいに導入プレストレスの不足を、云々することはできないと思われる。これには、測定誤差の影響が考えられる。

クリープについては架設時より現在までに約1年を経過したのみであり、いまの時点でクリープ進行度の状態を抜き出すことは時期尚早であるが、参考のために図-3にその一部を示す。

連続ケーブル緊張終了後3カ月間のひずみ進行度をグラフからとりだすと、①断面 90×10^{-6} 、②断面 68×10^{-6} 、③断面 -45×10^{-6} となっており、大体材令（表-1）に反比例した値を示している。

乾燥収縮度は、無応力計によって測定しており、これは、応力変動には無関係であるので、材令6カ月までの乾燥収縮度を、土木学会PC指針による進行度を用いて最終値を予測すると、表-5のとおりになる。この値

表-3 PCケーブルグループについての緊張順序 1~7

緊張順序	摘 要
1. 1次の静定ケーブル No. 1, 3, 5 緊張	張出し部支保工の除去 中間橋脚上横桁のコンクリート強度 150 kg/cm^2
2. 残りの1次ケーブル No. 2, 6 緊張	側径間の支保工の除去
3. さらに残りの1次ケーブル No. 4, 7, 8 緊張	
4. 2次の静定ケーブル No. A, B の緊張	継目コンクリート強度 150 kg/cm^2
5. 残りの2次ケーブル No. C, D の緊張	” 200 kg/cm^2
6. 連続ケーブル No. a, e, h の緊張	中央継目コンクリート強度 150 kg/cm^2
7. 残りの連続ケーブル No. b, c, d, f, g, i	” 350 kg/cm^2

c) 測定結果および考察

1次ケーブル、2次ケーブル、および連続ケーブルそれぞれの緊張終了時における実測値と計算値とを比較すると表-4のとおりになる（実測値は、緊張中に生じるクリープと乾燥収縮をふくんだ値で、計算値とも、 $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で計算してある）。

1次ケーブル緊張時の下縁の実測値は、断面①、③ともに計算値よりもかなり大きな値になっているが、上縁の実測値は、計算値よりもやや小さいだけで大体等しくなっている。これは側径間のコンクリート打ちが2回に分けて行なわれたためだと思われる。すなわちスラブコンクリートを打つときに腹部に生じるクラックを避ける

図-3

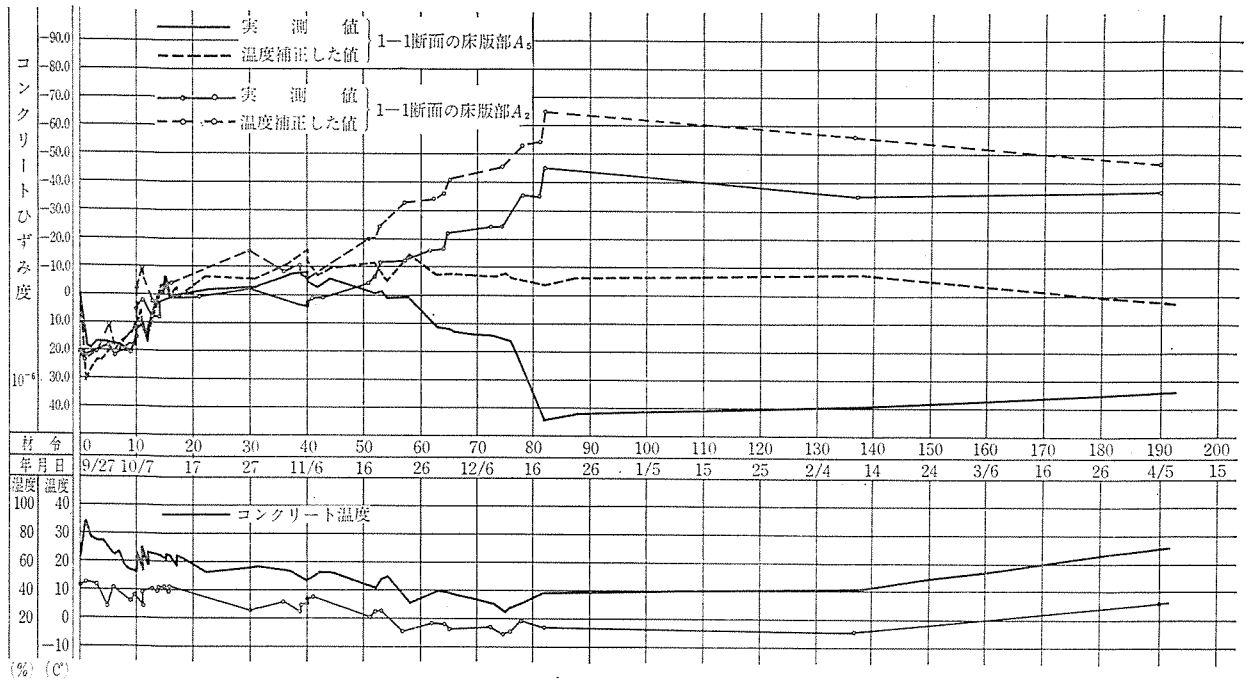


表-5 乾燥収縮度最終予想値

		ひずみ実測値	最終予想値	平均
I 断面	AN-1	-50	-100×10^{-6}	10×10^{-5}
	AN-2			
II 断面	AN-3			
	AN-4			
III 断面	AN-5	-100	-200×10^{-6}	15×10^{-5}
	AN-6			

表-6 反力集計表 (計算値)

		R ₁₉	R ₂₀	R ₂₁	R ₂₂
第1次施工時		101.47	228.01	239.40	112.85
支点横桁		6.46	16.90	23.66	13.22
プレキャスト桁		-68.56	173.82	173.82	-68.56
桁間中理中間横桁		-24.19	54.77	54.77	-24.19
上部構造物		12.12	111.81	116.97	15.75
不 静 定	I (連続ケーブル)	33.00	-33.00	-33.00	33.00
	II (自重)	35.05	-35.65	-33.29	33.89
	III (静定ケーブル)	-29.33	31.12	24.04	-25.83
全静荷重作用時		66.02	547.78	566.37	90.13
活荷重	max	77.37	166.16	174.79	89.80
	min	-24.96	-7.13	-6.12	-24.96
橋脚反力	max	143.39	-113.94	741.16	179.93
	min	41.06	540.65	560.25	65.17
主桁反力 (一主桁分)	全静荷重作用時	22.01	182.59	188.79	30.04
	max	47.80	237.98	247.05	59.98
	min	13.69	180.22	186.75	21.72
負の活荷重(中央径間) が2倍に載荷した場合		16.10			40.21

は PC 指針に示された値とほぼ等しく、おおむね妥当な進行状態を示しているものと思われる。

(2) クリープによって発生する不静定反力の測定

a) 測定位置および測定方法 測定位置は、反力集計表(表-6)から分るように、反力変動の大きい端支承部 P₁₉ と P₂₂ にとった。測定方法は、側径間施工時に図-4と写真-3に示すような装置のフラットジャッキを支承として桁と橋座の間にそう入し、高压管で、フラットジャッキと圧力計とを、ストップバルブをかいして連結する(配管系統図-4を参照、オイルのクリープ無視)。

圧力計の読みから直接に圧力度の変動をよむ。圧力計の読みは連続ケーブル緊張直前直後、プレキャストブロック張り出し終了時、連続ケーブル緊張終了後、0 カ月、1 カ月、3 カ月、6 カ月、12 カ月、24 カ月目に実施する。また地覆高欄施工時、アスファルト舗装施工時にも測定を行なう。

図-4 不静定反力測定装置

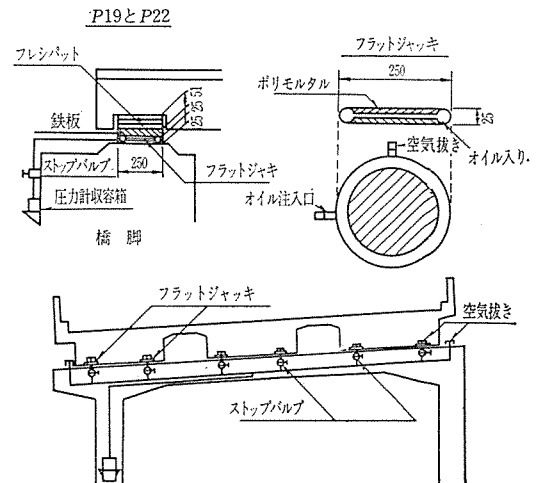
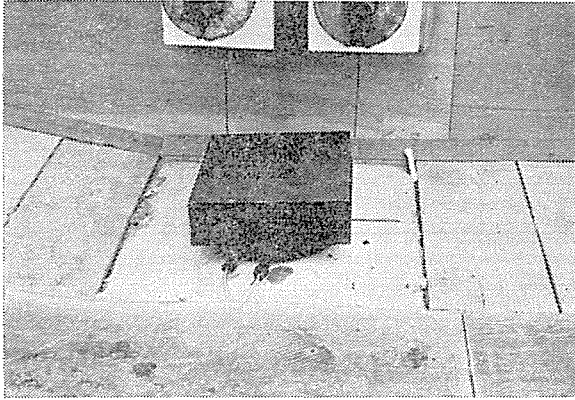


写真-3

下から順にフラットジャッキ、鉄板、重層フレシパット



なお、換算は $R=0.4ab$ によって行なう。ここに R : 全反力 (t), a : 圧力計示度 (kg/cm^2), b : フラットジャッキの個数である。

b) 測定結果および考察 端支承 P_{22} における測定結果を表-7に示す。表-7は、アスファルト舗装施工時前後までの測定結果を示したものである。

表-7 P_{22} における支点反力の測定結果

	計算値	実測値 (R)	測定日
側間施工終了時 ($P_{21} \sim P_{22}$)	126.07 t	124.8 t (52 kg/cm^2)	41年9月1日
プレキャストブロックの張り出し終了時	57.51	56.4 (23.5 ")	41年11月29日
間詰床版および中央継目のコン打終了時	33.32	33.6 (14 ")	41年12月11日
連続ケーブル緊張終了時	66.32	66 (27.5 ")	41年12月21日
42年1月21日		67.2 (28.0 ")	42年1月21日
地覆高欄施工終了時	72.42	74.4 (31.0 ")	42年1月27日
42年5月20日		82.8 (34.5 ")	42年5月20日
舗装施工終了時	82.07	91.6 (38.2 ")	42年5月24日現在
コンクリートのクリープ終了時	90.13		

注 () 内はブレッシャーゲージの読み

連続ケーブル緊張終了直後までの実測値は、ほぼ表-6の計算値と等しい。これは、反力値が静定系においては自重のみの関数であり、連続ケーブル緊張終了直後に発生する不静定反力 $E_c I$ はを一定とすれば、ケーブル形状とストレス導入量の関数であることを考えると当然ともいえる。

連続ケーブル緊張終了後の2次の不静定反力の変動量は、5カ月目の実測値で9.6t発生しており、すでに計算値の100%を出している。アスファルト舗装によって生じる反力の計算値は10tであり、実測値は9tになっているが、これは舗装合材の量も影響しているものと思われる。

4. プレキャストブロックを張り出したときの桁のたわみ

【(1) 測定位置

図-5

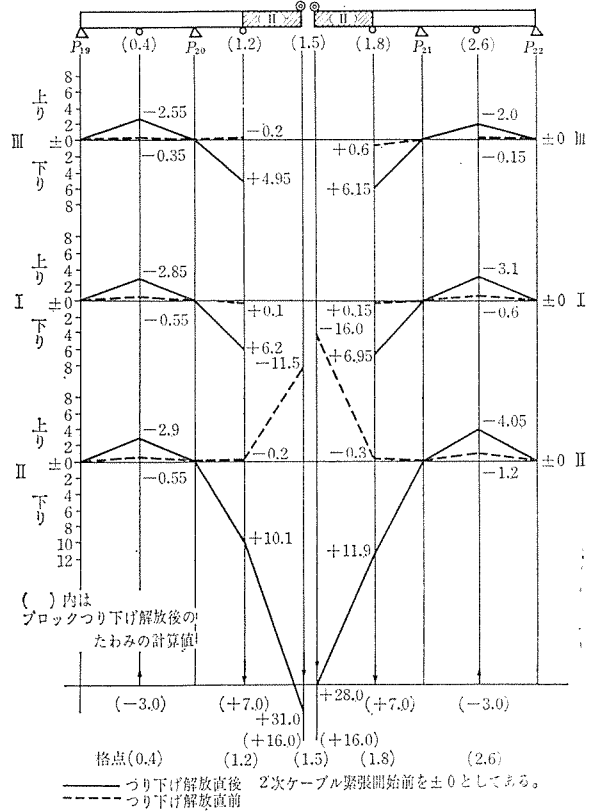


図-6 (a)

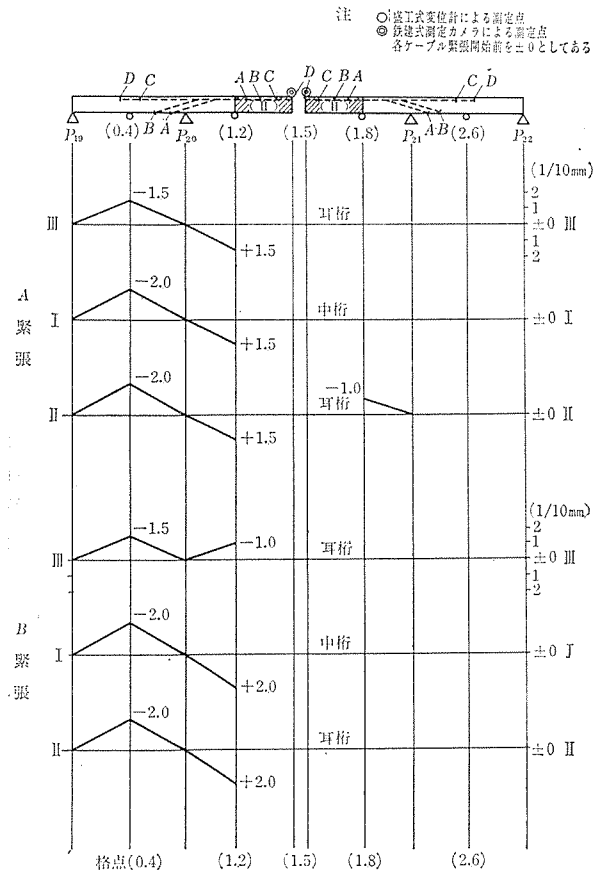
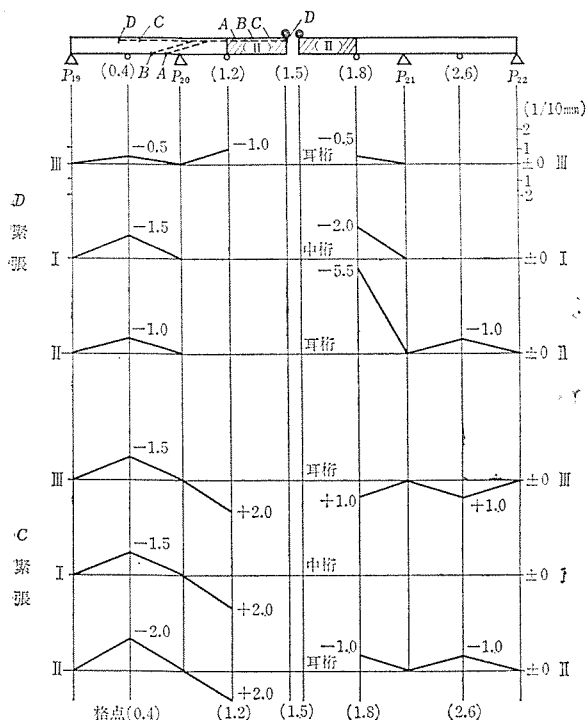


図-6 (b)



たわみの測定は、盛工式変位計と測量カメラにより測定した。測定位置は、図-6 (a), (b) に示すように、桁下面において、各主桁ごとに、格点 0.4, 2.6 および格点 1.2, 1.8 近傍の側径間張り出し部先端の計 12 点については、盛工式変位計により 1/100 mm まで測定した。格点 1.5 近傍のブロック先端の計 6 点については、交通量が多いので震動が激しく、盛工式では測定できないので、測量カメラにより、約 15 m 離れた平面街路の歩道から撮影して、1 mm まで読みとった。

(2) 測定方法

1) ブロック No. I, No. II, No. III のおのおのについて、2次ケーブル A, B, C, D の緊張ごとに側径間のたわみを測定する一例として No. II ブロック (耳桁) の場合について図-6 (a), (b) に示す。

2) プレキャストブロック No. I, No. II, No. III, それぞれの2次ケーブル緊張終了直後において、エレクショントラスからのつり下げ解放直前直後の桁のたわみを測定する。一例として No. II ブロック (耳桁) の場合について図-5 に示す。

(3) 測定結果および考察

プレキャストブロックを張り出したときのたわみの計算値は表-8のとおりである。プレキャストブロック架設時の上げ越し量および連続桁になってからクリープが終了するまでに桁の示すであろうたわみ変化は、図-7 のようになる。この図は、中央径間中央継目を場所打ちする時点において、左右静定系のブロック先端のレベルが等しくなり、かつクリープ終了時に、中央径間中

表-8 たわみの計算値

1) 1次施工時のたわみ

(単位: mm)

	0.4	継目	1.5	継目	2.6
第1, 第3径間を支保工架設した時	5	-2		-2	6
1次ケーブル	-3	-16		-17	-3
	2	-18		-19	3

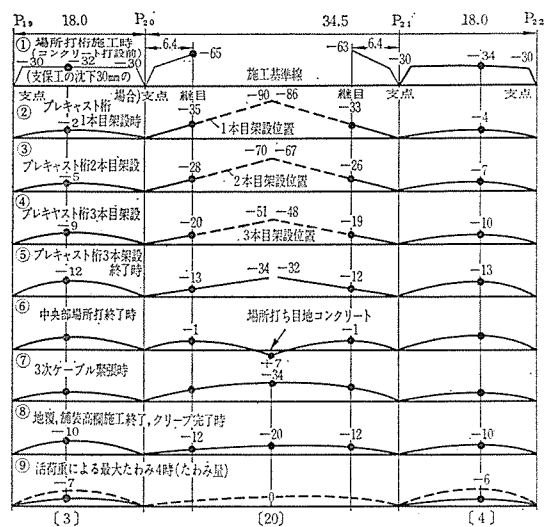
2) 片持施工時のたわみ

	0.4	継目	プレキャスト桁先端			プレキャスト桁先端			継目	2.6
			①	②	③	①	②	③		
プレキャスト桁自重によるもの	-11	34	107	85	63	102	81	60	32	-10
2次ケーブルによるもの	1	-12	-51	-42	-33	-48	-39	31	-11	1
架設直後	-10	22	56	43	30	54	42	29	21	-9
桁間中埋によるもの	-2	6		18			17		5	-2
中央部現場打ちによるもの	-2	6		23		41	22	39	6	-2
	-14	34	97	84	71	93	81	68	32	-13

3) 連続となってからのたわみ

	0.4	1.5	2.6
上部工によるもの	-1	12	-1
活荷重によるもの	3	20	4
連続ケーブルによるもの	5	-41	5
不静定力 (連続ケーブル) によるもの	0	0	0
不静定力 (自重および1次ケーブルによるクリープにともなう) によるもの	0	2	0
	7	8	8

図-7

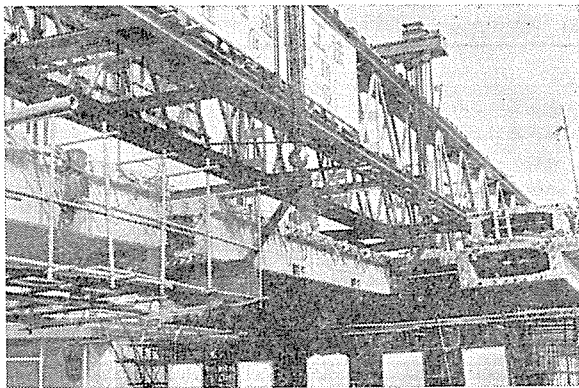


央のライズが 20 mm となるように作成したものである。最初のプレキャストブロックを張り出すときのブロックの橋軸方向の傾きは、側径間張り出し部先端の反り方向に一致させるものとし、ケーブル緊張時のコンクリートのヤング係数は、桁全長に渡って $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の一定とし、コンクリートのクリープは無視して作成してある。

図-6 (a), (b) のたわみ図を観ると、2次ケーブル A, B, C, D の緊張によるたわみ分布は、格点 0.4, 1.2

近傍ともに、横方向のたわみ分布は、全断面に渡ってほぼ等しい。したがってケーブル A, B, C, D の緊張による側径間のストレス分布は全断面を有効幅にとっても差し支えないと推察される。また 図-6 (a), (b) をみると、プレストレスを導入しない側の静定系に 2 次ケーブルの緊張の影響が生じている。これは 図-5 のつり下げ解放直前直後のたわみ分布から分ることだが、エレクショントラスのたわみの復元によるものであるが、この現象をいっそう助長したと思われるものに、写真-4 にあるように、2 ブロックつり下げ後、台風等に備えて、パイプサポートでわくを組み、かつブロック先端相互を鉄筋のトラスで連続にしてから、2 次ケーブルを緊張したので、曲線桁のための偏心の影響が多分にある。

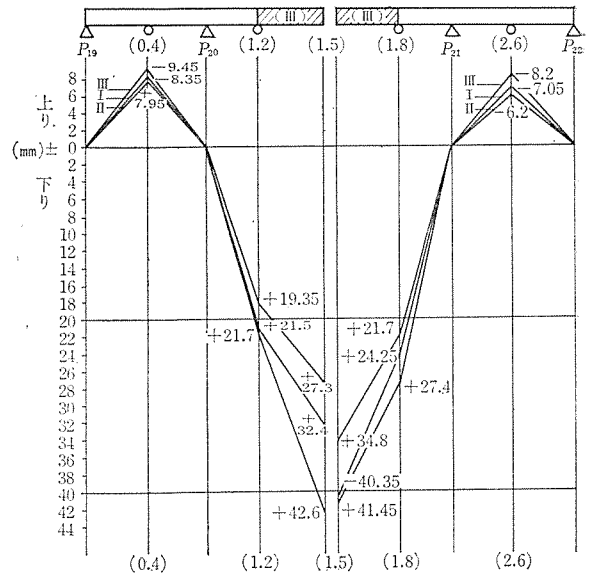
写真-4



トラスの復元力によるものとしてつぎのような問題があった。すなわち 1 次ケーブル導入直後の格点 1.1 or 1.9 近傍の桁下縁には、RC とちがって、計算値および実測値によると、 $\sigma_{cu} = -15 \text{ kg/cm}^2$ 程度の引張応力が生じており、トラスの復元によって最初のプレキャストブロック No. I の架設中に予期以上の引張応力が桁下縁に生じるのではないかという問題があった。しかし一方の No. I ブロックのつり下げ解放後、他方の No. I ブロックの 2 次ケーブルを緊張したので、危惧したことは起らなかった。図-7 の格点 0.4 と 2.6 のたわみ分布を観察すると、プレキャストブロックを張り出すごとに、カウンターウエイトの側径間に生じる横方向の応力分布は、側径間の全断面に等分布するとみなして、計算しても差し支えなかったことを示している（構造計算において、この仮定に近づけるために、中間橋脚上の橋桁の横桁に非常に剛なものを設けてある）。

なお、図-8 は 3 主桁分のプレキャストブロックの張り出しを終わったときまでに、各主桁の示したたわみの量を表わすもので、表-8 のたわみの計算値とよく一致している。したがって品質管理も良好であったものと確信している。また $\sigma_{28} = 400$ のコンクリートに対する E_c は $3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ にとって計算してよさそうである。

図-8



床版の横締めケーブルがらくにおったところをみると No. I, No. II, No. III ブロック相互の上げ越しの調整もうまくいったものと思われる。もっとも長大プレキャスト ブロックを用いたので、小型ブロックにした場合のようなブロックごとの上げ越しの調整がないので当然ともいえる、また連続ケーブルをとおすのは、中央径間中央継目の間隔が 1.5 m あったことと、シースと P C ケーブルの余裕が若干あったので、ブロック先端のたわみ差によっては、どうなることかと心配したが、危惧に終わったようである。この程度の橋梁では、クリープの影響を無視して上げ越しの計算をしてもよさそうである。

5. あとがき

P C ブロック工法は、品質管理、急速施工化、経済性等の有利性からその採用がさかんになってきた。首都高速道路公団においても 214 区で、継手に接着剤を利用したブロック工法を採用し、ほぼこれと前後して、本橋によって、継手に場所打ちコンクリートを打設して閉合する例を完成した。ともに、都市内で交通に支障なく施工可能な P C 工法の例として、さらに発展させる必要があると思われる。しかし、設計、施工、測定について、なお究明して行かねばならない点も多々あると思われる。今後、同種の構造形式の設計施工のために、本報告がその資料の一助ともなれば幸いである。本報告をまとめるにあたって、御協力を頂いた首都高速道路公団第 3 建設部霞町出張所 田口 靖氏、(株)日本構造橋梁研究所 猪股俊司氏、鉄建建設(株)高木 元氏その他関係各位に心から感謝の意を表してむすびとする。

1967.9.20・受付

プレストレスト・コンクリート
建設工事の設計・施工



宮崎県日南市
みなど大橋



ピー・エス・コンクリート株式会社

本社 東京都千代田区丸の内3-4 (新国際ビル) 電話 (216) 1981 代表



最高の技術を誇る
鋼弦コンクリート用



是政第1橋

PC

ワイヤ
インデントワイヤ
ストランド
2本ヨリ，7本ヨリ

日本工業規格表示工場 B.B.R.V.工法用鋼線認定工場 P.C.I. (アメリカP.C.協会) 会員

興國鋼線索株式会社

本社 東京都中央区宝町2丁目3番地 電話 東京 (561) 代表 2171
工場 東京・大阪・新潟