

近畿高速道路（大阪線）におけるプレキャストPC桁などの たわみ管理について

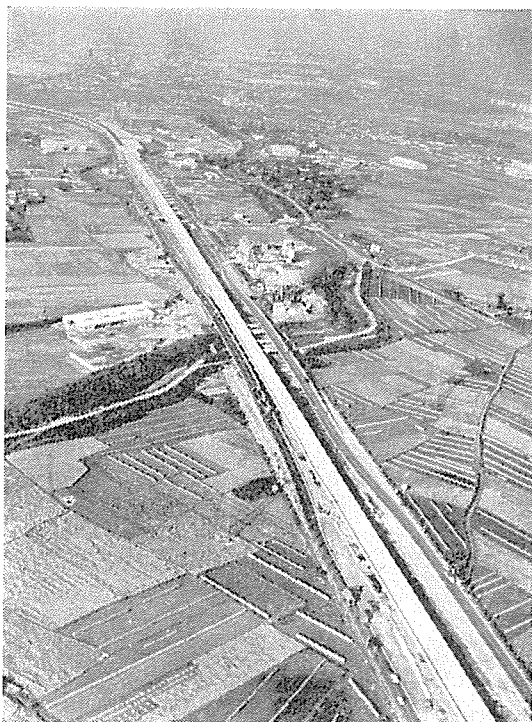
市 原 誠 夫*
楠 原 和 典**

1. はじめに

近畿高速道路（大阪線）は、大阪府松原市から吹田市までの約 27.5 km の区間である。このうち門真市から吹田市まで約 10.5 km の区間の片側 2 車線分は万博関連事業に指定されており、昭和 45 年 3 月 15 日までの完成を以て工事中である。本文では、吹田市側約 3.5 km のプレキャスト高架橋の上部工のたわみ管理について述べる。

本高架橋は、大阪府の都市計画街路中央環状線の上下線の間施工するため、幅員構成、縦断線形、平面線形等を自由に決定することは不可能で、すでに供用を開始している両側の中央環状線により規制される。中央環状線の 1 日最大交通量が 10 万台にも達すること、および

写真-1 近畿高速道路全景



* 日本道路公団 大阪工事事務所長
** 日本道路公団 大阪工事事務所工事長

本高架橋の上・下部工の工期は合計約 1 年しかないこと等の理由で、上部工の形式は現場作業量の少ないプレキャストPC単純桁とした。標準スパンは下部工を考慮した経済比較から 20 m に決定した。実際にスパン割りをはかった結果としては、20 m スパン 70%、22 m スパン 15%、その他が 15% となっている。今回施工したプレキャストPC桁は約 3 000 本で、そのほかにベンドアップ工法によるPC桁も試験的にこなって、良好な成績をおさめたので、本報告書では、これも含めて記述することにする。

2. 工事概要

工事場所：大阪府摂津市～吹田市
高架延長：3 478 m
有効幅員：9.75 m（片側車線 2 車線分）
荷 重：TL-20
施 主：日本道路公団大阪支社
施 工：興和コンクリート（株）、九州鋼弦コンクリート（株）、オリエンタルコンクリート（株）、PSコンクリート（株）、住友建設（株）

3. 設 計

プレキャストPC桁の桁長は 18、20、22 m で桁高は 1.15 m である。有効幅員（片側車線）は、9.75 m である。構造はT型断面のプレキャスト桁を 10 本併列したPC単純桁で、図-1、図-2（a）、（b）に示すとおりである。形式はPC（プレテンション、ポストテンション

図-1 標準横断面図

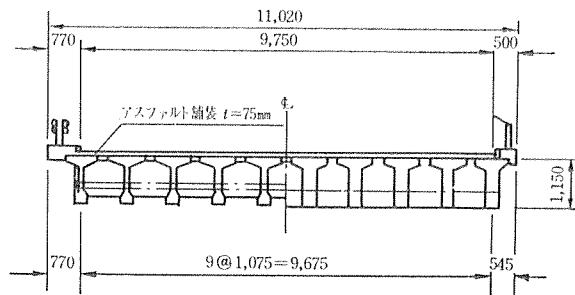


図-2 (a) プレボス PC 桁の構造図

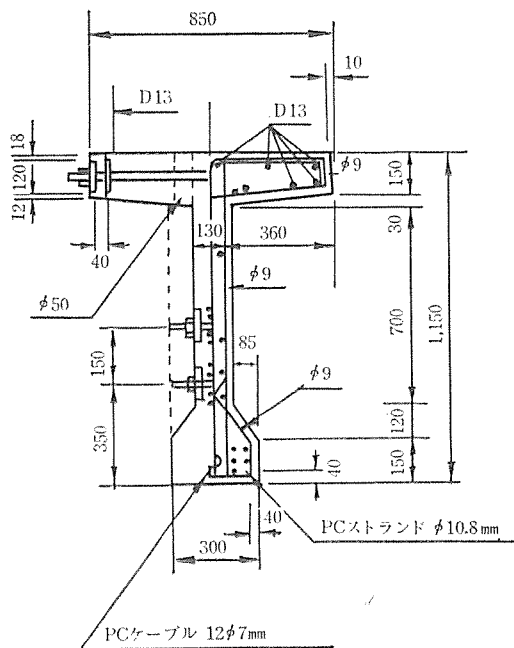


図-2 (b) プレボス PC 桁の PC 鋼線配置図

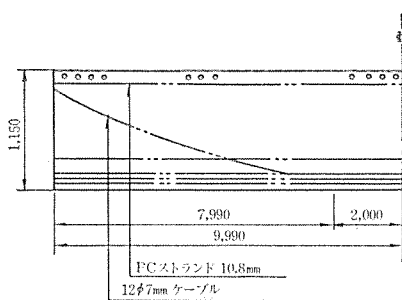


図-3 (a) ベンドアップ工法による PC 桁の構造図

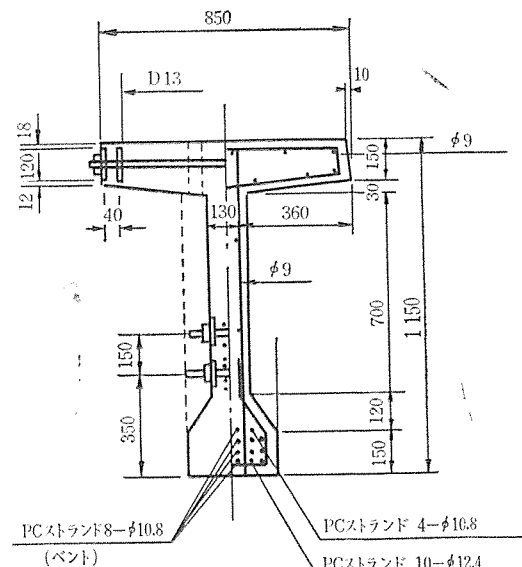
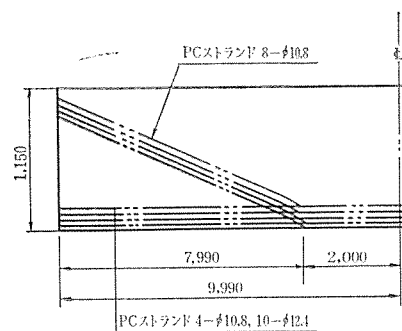


図-3 (b) ベンドアップ工法による PC 桁の PC 鋼線配置図



併用方式) 単純桁橋であり, 工場で製作されたプレキャスト桁を架設後桁間を現場打ちし, 横方向にプレキャストを導入する形式である。プレキャスト桁の PC 鋼線は, PC ストランド $\phi 10.8$ mm (プレテンション) を直線状に, $12\phi 7$ mm ケーブル (ポストテンション) を曲線状に併用し, 横締床版の横締めは PC 鋼棒 (SBPC 95) $\phi 24$ mm を使用した。

プレボス PC 桁では, プレテンション (ストランド $\phi 10.8$ mm) によって桁の端部の上縁に引張応力が生ずるので, プレテンション終了後ただちにポストテンション ($12\phi 7$ mm) を行なえば問題はないが, ポストテンションの時期がずれる場合は, 桁の取扱いに十分な検討を行なう必要がある。コンクリートのクリープ係数 ϕ および PC 鋼線のレラクセーション (μ) は, 蒸気養生を行なうため $\phi=3$ および $\mu=7\%$ とする。乾燥収縮度は $\epsilon=35 \times 10^{-5}$ とする。

また桁長 20 m 25 本をベンドアップ工法で製作したが, 図-3 (a) および (b) に示すように, この工法は PC ストランド $\phi 10.8$ mm, $\phi 12.4$ mm を使用して,

この鋼線を直線および曲げ上げて配線し, プレテンションを行なったプレキャスト桁である。

プレボス PC 桁では, 2 次緊張のケーブルとして PC 鋼棒 $\phi 33$ mm (2 種) および SEEE ケーブル (F02) を使用した。SEEE ケーブル (F02) は, $\phi 4$ mm の PC 鋼線の周囲に $\phi 10.8$ mm のストランド 4 本をよってケーブルとしたものである。定着装置は, 上記の鋼棒とほとんど同じである。この工法は, 定着装置のすべりがなく, 引張力 (51.8 t) が大きいのが特長である。20 m 桁の設計の諸元および各段階におけるたわみ量は表-1 のとおりである。

表-1 でベンドアップ工法による PC 桁のプレストレス導入直後のプレストレスによるたわみの値は, 次のようにして求める。PC 鋼線の図心線は, 直線変化するので, プレストレスを与えるときの鋼線応力度を用いたモーメントより次の式が

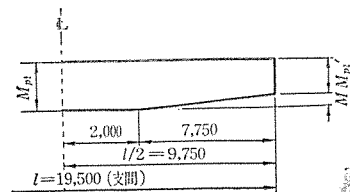


表-1

桁長 20 m (バンドアップ工法によるPC桁)

		M ×10 ⁵ kg-cm	E ×10 ⁵ kg-cm ⁻²	I ×10 ⁵ cm ⁴	α (mm)
①	主桁自重	δ _{d0} 36.12 (")	3.50 (")	4.882 (5.037)	8.4 (8.1)
②	現場打ちコンクリート	δ _{d1} 3.50 (")	4.00 (")	4.972 (5.037)	0.7 (")
③	上部構造物	δ _{d2} 11.22 (")	4.00 (")	5.143 (5.210)	2.2 (2.1)
④	舗 装	δ _{d3} 7.81 (")	4.00 (")	5.143 (5.210)	1.5 (")
⑤	1次緊張直後のプレストレス	δ _{pt1} -70.70 (-60.63, -52.71)	3.50 (")	4.707 (4.772)	-20.4 (-29.1)
⑥	2次緊張直後のプレストレス	δ _{pt2} -32.13 (0)	3.85 (")	4.882 (0)	-8.1 (0)
⑦	プレストレスおよび荷重によるクリープ	δ _{φt}			-56.5 (-60.1)
Σ					-72.2 -76.8

得られる。

$$\delta_p = \frac{M_{pt}' l^2}{8 EI} + \frac{M l^2}{8 EI} - \frac{M l^2}{6 EI}$$

$$M_{pt} = (92.9 \times 10 + 70.3 \times 12) \times 103 \times 62.08$$

$$= 11\,334\,000 \text{ kg-cm}$$

$$M_{pt}' = (92.9 \times 10 + 70.3 \times 12) \times 103 \times 33.21$$

$$= 6\,063\,000 \text{ kg-cm}$$

$$M = M_{pt} - M_{pt}' = 5\,271\,000 \text{ kg-cm}$$

$$\delta_{pt} = \ominus \frac{6\,063\,000 \times 1950^2}{8 \times 350\,000 \times 4\,772\,000}$$

$$- \frac{5\,271\,000 \times 1950^2}{8 \times 350\,000 \times 4\,772\,000}$$

$$+ \frac{5\,271\,000 \times 775^2}{6 \times 350\,000 \times 4\,772\,000} = -29.1 \text{ mm}$$

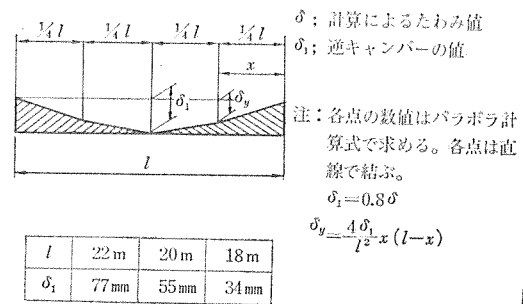
表-1 の 1 次緊張および 2 次緊張時のコンクリート材令は、1 次緊張が 1~2 日、2 次緊張が 7 日である。

4. 施 工

プレストレスおよびコンクリートのクリープ等によって生ずる桁のキャンバーは、桁の製作のとき、桁の上面に逆キャンバーをつけて施工した。逆キャンバーの値と計算値との関係が問題となるが、当初の計画では、計算値の 8 割の逆キャンバーで施工した。当初の桁の長さごとの製作時の逆キャンバーの値および施工図は、図-4 とおりである。製作時の逆キャンバーの値は、たわみの進行状況を測定し、その結果によって、再調整を行なうことにした。

桁のコンクリートの示方配合および骨材の生産地は、表-3、表-4 に示すとおりである。クリープの進行によるたわみの実測値と計算値との関係は、表-5 のとおりである。表-5 のたわみの計算値は、実測値が桁間の

図-4



中詰コンクリートを打設する前の測定値であるよために、表-1 の ①+⑤+⑥ および ⑦ (コンクリートの材令によって変化するもので、下記の計算結果による) の合計されたものである。表-5 のたわみの計算値は下記の方法で求めた。ただし、コンクリートの材令によるクリープの進行度は、プレストレストコンクリート道路橋示方書(日本道路協会発行)を参考にした。

(1) プレストレスおよび荷重によるクリープたわみ

a) プレボスPC桁の場合

① t=0 → t=60 日間に生ずるクリープたわみ

$$\delta_{\phi t} = \phi f(60-0)(\delta_{d0} + \delta_{pt1} + \delta_{pt2})$$

$$= 3.6 \times 0.52 \times (8.4 - 20.4 - 8.1) = -37.6 \text{ mm}$$

.....⑧

② t=0 → t=90 日間に生ずるクリープのたわみ

$$\delta_{\phi t} = \phi f(90-0)(\delta_{d0} + \delta_{pt1} + \delta_{pt2})$$

$$= 3.6 \times 0.60 \times (8.4 - 20.4 - 8.1) = -43.4 \text{ mm}$$

.....⑨

③ t=0 → t=120 日間に生ずるクリープのたわみ

$$\delta_{\phi t} = \phi f(120-0)(\delta_{d0} + \delta_{pt1} + \delta_{pt2})$$

$$= 3.6 \times 0.65 \times (8.4 - 20.4 - 8.1) = -47 \text{ mm}$$

.....⑩

④ $t=0 \rightarrow t=150$ 日間に生ずるクリープのたわみ

$$\delta_{\varphi t} = \varphi f(150-0)(\delta_{d_0} + \delta_{pt_1} + \delta_{p_2})$$

$$= 3.6 \times 0.7 \times (8.4 - 20.4 - 8.1) = -50.6 \text{ mm}$$

.....⑩

⑤ $t=0 \rightarrow t=180$ 日間に生ずるクリープのたわみ

$$\delta_{\varphi t} = \varphi f(180-0)(\delta_{d_0} + \delta_{pt_1} + \delta_{p_2})$$

$$= 3.6 \times 0.72 \times (8.4 - 20.4 - 8.1) = -52.1 \text{ mm}$$

.....⑫

$$\delta_{\varphi t} = \varphi f(40-0)(\delta_{d_0} + \delta_{pt_1})$$

$$= 3.6 \times 0.48 \times (8.5 - 29.1) = -35.6 \text{ mm}$$

.....⑬

② $t \rightarrow 0 \rightarrow t=60$ 日間に生ずるクリープたわみ

$$\delta_{\varphi t} = \varphi f(60-0)(\delta_{d_0} + \delta_{pt_1})$$

$$= 3.6 \times 0.52 \times (8.5 - 29.1) = -38.6 \text{ mm}$$

.....⑭

ただし φ : クリープ係数 (3.1.2)

f : クリープの進行度

δ_{d_0} : 主桁自重によるたわみ (表-1 より)

δ_{pt_1} : 1次緊張直後のプレストレスによるたわみ, またはバンドアップ工法によるPC桁のPC鋼線直後のプレストレスによるたわみ (表-1 より)

δ_{pt_2} : 2次緊張直後のプレストレスによるたわみ (表-1 より)

b) バンドアップ工法によるPC桁の場合

① $t \rightarrow 0 \rightarrow t=40$ 日間に生ずるクリープのたわみ

表-2

(桁長 20 m)

	たわみを計算する時期	計 算 式	たわみ値 (mm)
プレボスPC桁	$t=60$ 日間	①+⑤+⑥+⑧=8.4-20.4-8.1-37.6	-57.7
	$t=90$ "	①+⑤+⑥+⑨=8.4-20.4-8.1-43.4	-63.5
	$t=120$ "	同上 +⑩= 同上 -47	-67.1
	$t=150$ "	" +⑪= " -50.6	-70.7
	$t=180$ "	" +⑫= " -52.1	-72.2
ペアPCCドブ桁	$t=40$ 日間	①+⑤+⑬=8.5-29.1-35.6	-56.2
	$t=60$ "	①+⑤+⑭=8.5-29.1-38.6	-59.2

(2) たわみの合計

たわみの合計は表-1 および上記計算結果より 表-2 のとおりである。

表-3 桁のコンクリート示方配合表

	圧縮強度 σ_{28} (kg/cm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	最大粗骨材 (mm)	水セメント (%)	砂率 (%)	1 m ³ あたり重量配合 (kg/m ³)				
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和材
興和コンクリート (株)	500	0~3	2~4	20	36	37	455	160	650	1170	ポゾリス 4.55
九州鋼弦コンクリート (株)	500	0~3	2~4	20	36	42.5	455	164	716	996	"
オリエンタルコンクリート (株)	500	0~3	2~4	25	32	34	455	145.6	600	1219	"
同上 (バンドアップPC桁)	500	0~3	2~4	20	36	36	455	164	627	1133	"
PSコンクリート (株)	"	"	"	"	32.1	40	"	146	718	1105	"
住友建設 (株)	"	"	"	25	34.8	38	460	160	694	1140	4.6

表-4 骨材の生産地

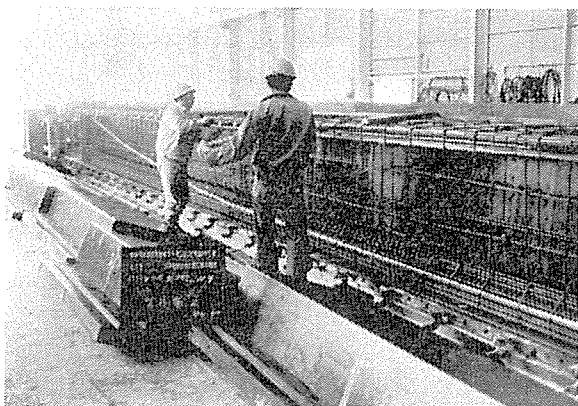
	セメント製品名	細骨材生産地	粗骨材生産地	細骨材粗粒率	砕石混入率 (%)
興和コンクリート (株)	小野田	吉野川 比重 2.60	市川 (砕石) 比重 2.75	2.55	100
九州鋼弦コンクリート (株)	アサノ	木津川 " 2.25	紀ノ川 (砕石) " 2.62	3.13	"
オリエンタルコンクリート (株)	小野田	野州川 " 2.56	愛知川 (砂利) " 2.68	2.42	0
オリエンタルコンクリート (バンドアップPC桁)	"	岡山県旭川産	岡山県御津町 (砕石)	2.89	100
PSコンクリート (株)	アサノ	野州川 比重 2.60	野州川 " 2.67	3.19	47
住友建設 (株)	住友	愛知川 " 2.63	愛知川 " 2.64	3.25	20

表-5 たわみの計算値と実測値との関係

(桁長 20 m)

桁のコンクリート材令	40日				60日				90日			
	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)
会社名												
興和コンクリート(株)					57.7	33~35	0.59	9	63.5	34~39	0.58	9
九州鋼弦コンクリート(株)					〃	43~49	0.80	4	〃	48~52	0.79	3
オリエンタルコンクリート(株)					〃	30~32	0.54	3	〃			
(バンドアップPC桁)	56.2	42	0.75	3	59.2	43~47	0.76	3				
PSコンクリート(株)					57.7	32~34	0.57	3	〃			
住友建設(株)					〃	32~35	0.58	6	〃			
桁のコンクリート材令	120日				150日				180日			
会社名	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)	計算値 A (mm)	実測値 B (mm)	B/A	測定桁数 (本)
興和コンクリート(株)	67.1	35~39	0.55	4								
九州鋼弦コンクリート(株)	〃	53~54	0.80	3								
オリエンタルコンクリート(株)					70.7	34~39	0.52	6				
(バンドアップPC桁)												
PSコンクリート(株)	〃	40~42	0.61	3								
住友建設(株)									72.2	41~48	0.62	6

写真-2 プレロス PC 桁のケーブル配置



第1回の逆キャンパー値の修正は、コンクリートの材令60日間におけるたわみの実測値を参考にして行なった。表-5のコンクリート材令60日間の実測値は、計算値に対して、プレロスPC桁の場合、九州鋼弦コンクリートが0.8、他の4社が0.54から0.59の割合とな

る。したがって、第1回の修正キャンパー値は計算値に対して、九州鋼弦コンクリート(株)は当初計画と同じく8割とし、他の4社は6割とした。

引き続いて、たわみの進行状況を測定していったが、実測値の計算値に対する割合は、表-5のように、60日間の結果と大体同じであったので、その後製作キャンパー値の変更は、行なわなかった。九州鋼弦コンクリート(株)のたわみが他社より大きいのは、コンクリート示方配合の水セメント比および砂率が他社より大きい理由によると考えられる。プレロスPC桁およびバンドアップ工法によるPC桁では、たわみが大きいので、同一径間内の桁の中で、一本でもたわみ量の違った桁があると横締鋼棒(上フランジに40cm間隔にある)の施工に問題が生ずる。したがって、たわみの管理は特に重要である。今回の施工でたわみ管理について行なったことは次のとおりである。

- 1) いずれの桁も1次、2次緊張のコンクリートの材

令は同一とすること。すなわち緊張時のコンクリートの材令は1次緊張（ストランド $\phi 10.8\text{ mm}$, $\phi 12.4\text{ mm}$ ）が1～2日2次緊張（ $12\phi 7\text{ mm}$, ケーブル, $\phi 33\text{ mm}$ 鋼棒, SEEE ケーブル）が7日とする。

2) 工場のプラント設備は、生コンクリート工場の基準を適用して検査を行ない、これに合格してから桁の製作を行なうこと。

3) 骨材の生産地および粗骨材の中の砕石の混入率は一定とすること。しかしこれは現在の骨材事情から十分に守られなかった。

4) 桁の養生温度および養生時間は、いずれの桁も同一とすること。桁の両端と中間に自記温度計およびそれをチェックするため棒状温度計を設置して桁内の温度差が生じないようにすること。

5) 緊張力がいずれの桁にも等しく導入さされていること。

6) たわみ管理の条件を変更する場合があっても、同

写真-3 ベンドアップ工法による PC 桁の緊張装置

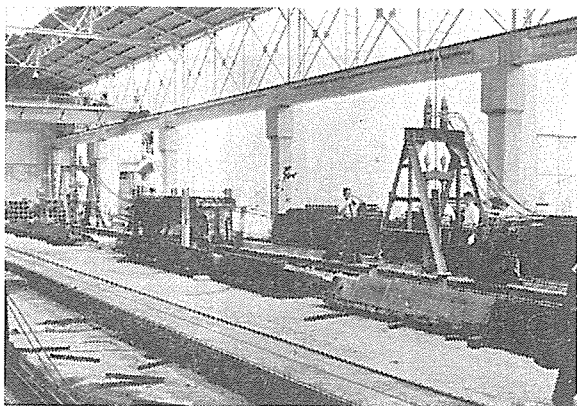
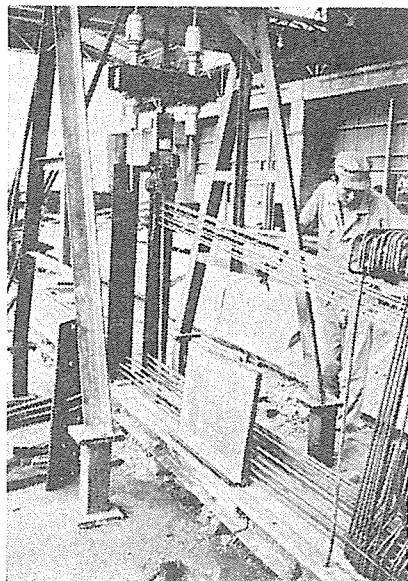


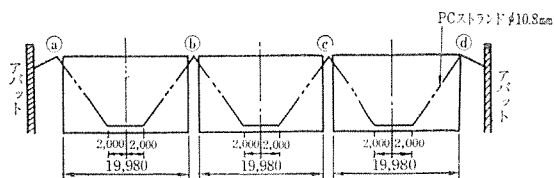
写真-4 ベンドアップ工法による PC 桁の緊張作業中



一径間内の桁については、たわみ管理の条件は、必ず同じでなくてはならない。

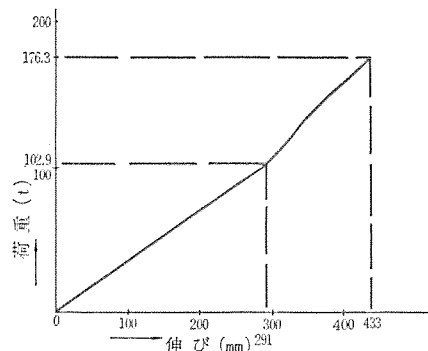
以上のほか、たわみの違いによる施工を容易にするために、上フランジの鋼棒穴の径を若干大きく（40 mm）した。バンドアップ工法による PC 桁は、オリエンタルコンクリート（株）岡山工場で、桁 25 本の製作を行なった。曲げ上げ鋼線は、図-5 の ①、②、③、④ の 4 カ

図-5



所を所定高さまでつり上げることによって、緊張力を与える。つりあげは、①、②、③、④の4カ所を同時につりあげないと、緊張力が均等に桁に導入されない。直線 PC 鋼より線は、所定の緊張力に達する前に、曲げ上げ PC 鋼より線にも、応力が生ずるので、荷重-伸び線図（図-6）は、比例しない折線となる。鋼線の曲げ上げ

図-6 直線 PC 鋼線の荷重-伸び線図



始点には、鉄筋で補強したコンクリートブロックを埋込んで、これによって緊張時の緊張力を支持している。この点の実際の応力状態は重要なことであるが、オリエンタルコンクリート（株）岡山工場で最近行なったバンドアップ工法による PC 桁の破壊試験の結果が参考になるとと思われる。桁のたわみの実測の結果は、表-5 のとおりである。

5. おわりに

プレキャスト PC 桁の施工は、現在まで施工された実績がないので、最も心配したのは、プレストレストレスおよびクリープ等によるキャンバーが大きいため各桁のたわみ量が違って、横締鋼棒の施工に問題が生ずるのではないかと。いうことであったが、結果的には問題なく施工が行なわれた。

報 告

これは当初から、たわみの管理を特に厳重に、関係者共々、行なったからであろう。多量に桁製作を行なう場合は、途中から逆キャンパー値の調整を行なうと、混乱を生じ、床版のでき上がりがよくないので、当初逆キャンパー量を決めるときは、慎重に行なう必要がある。ベントアップ工法によるPC桁は、曲げ上げ鋼線の緊張を確実に行なうこと、緊張力が桁に均等に導入されていること、鋼線の曲上げ始点の対策等に若干の問題があるが

プレロスPC桁が2回に分けて緊張を行なうに比べ、1回で緊張が終ること、工費がプレロスPC桁より安価であること等、本工法は今後期待される工法であると思われる。

この報告にあたって、種々御協力をいただいた施工5社の関係各位に謝意を表すものである。

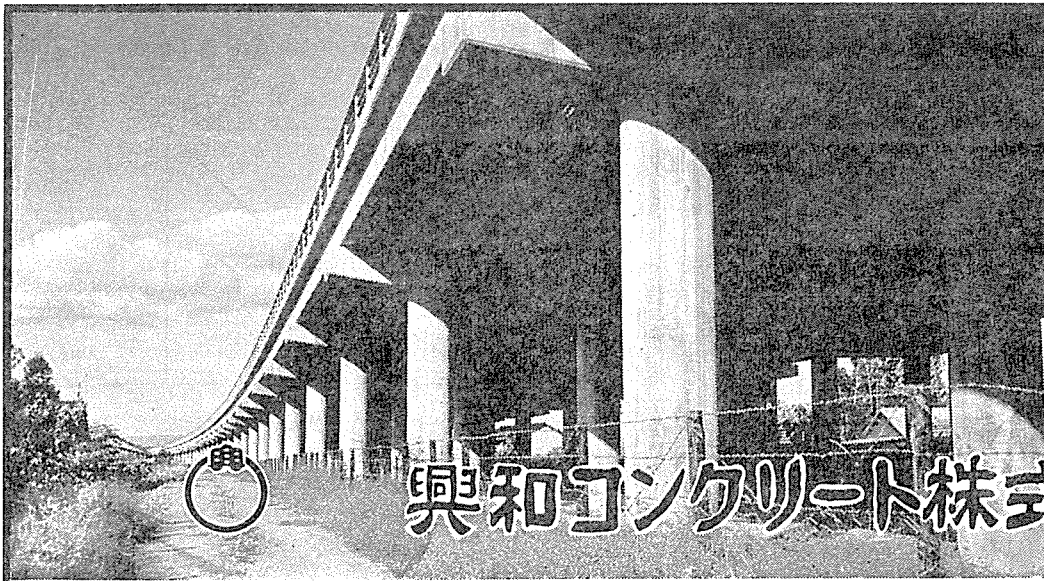
1967. 1. 28・受付

講演概要集頒布について

協会で毎年行なっております講演会の概要集の残部がありますので御入用の方は代金を添えて、協会へお申し込み下さい。

○第3回 (200円 〒35円)

○第5回, 6回, 7回, 8回, 9回 (各250円 〒35円)



興和コンクリート株式会社

本 社	東京都中央区銀座6-2-10	TEL (571)	8655~7
東京営業所	東京都中央区銀座5-1-15	TEL (573)	0431~4
名古屋営業所	名古屋市中区矢場町2丁目42番地	TEL (262)	5678
大阪営業所	大阪市北区芝田町97番地	TEL (372)	2062
仙台出張所	仙台市向山町4丁目19番地	TEL 仙台(23)	4895
建 築	東京都中央区銀座西5丁目4番地	TEL (573)	0431~4
大月工場	山梨県大月市大月町駒橋1278番地	TEL 大月(2)	1111~4
豊橋工場	愛知県宝飯郡小坂井町小坂井	TEL 小坂井(2)	2121
神戸工場	神戸市垂水区神出町字南苧屋谷	TEL 神出	220

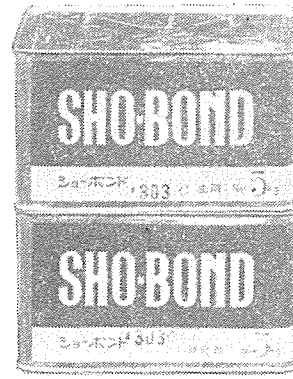
常に新工法の開発をリードする

SHO-BOND

株式会社 **ショーボンド**

本社：東京都千代田区神田小川町2-1
(木村ビル) ☎03(292) 6947~8

営業所：札幌・釧路・盛岡・仙台・新潟
富山・水戸・宇都宮・前橋・浦和
東京・横浜・千葉・静岡・名古屋
岐阜・三重・大阪・京都・神戸
和歌山・奈良・高松・岡山・広島
福岡・宮崎 工場：川口・四日市



このごろ 土木現場で 目につく この缶は――

高性能エポキシ樹脂《ショーボンド》のセット缶です
土木用構造物・接着剤として 真価を認められ
道路・橋梁・隧道・ダムなどの設計に組み入れられて
いまや我が国で最も多く使用されている製品です
工期を短縮しコンクリートに数倍する強度が特長です

