

## 船場工区における量産PC桁の製作管理例

田井戸 米 好\*  
沖 野 真\*\*

### 1. ま え が き

阪神高速道路公団では、万博関連道路として 45 年 3 月 9 日に竣工した阪神高速道路大阪東大阪線船場工区において、幅 40 m (12 車線)、延長 830 m にわたり大量の桁橋用橋桁および、スラブ橋用橋桁を使用した(表-1 参照)。

表-1

区分	種類	標準スパン (m)	本数 (本)
S107	プレ I 桁	6.9	6 017
B114	プレ T 桁	13.8	2 245
計			8 262

これらの橋桁の製作は、11 社、15 工場におよんだため、桁の製作管理については、品質水準の統一をおもねらいとした。

### 2. 工 事 概 要

船場工区のもっとも大きな特色は、4 階建 10 棟のビル群上に建設される高速道路という点であり、この形式の本格的採用はわが国で初めてである。

大阪市内の河川上の空間に設けられた道路といい、当工区のビル群上の道路といい、都市再開発の新しい方向を示唆するものといえよう(写真-1)。

本工区的设计基

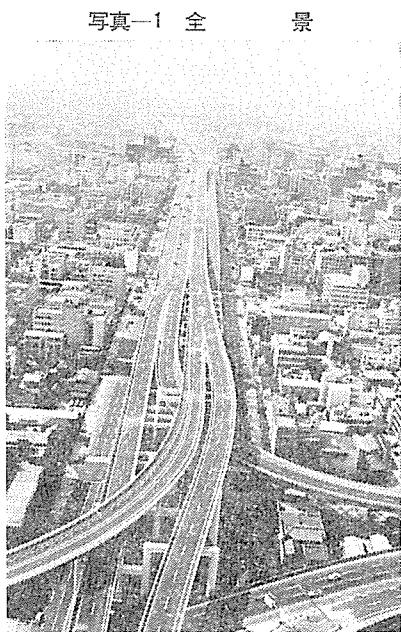


写真-1 全 景

準は、表-2 のとおりであり、幅員構成の標準を 図-1 (a), (b), (c) に示す。

表-2

種別	高 速 道 路	高 架 街 路
設計速度	60 km/h 一部 50 km/h	50 km/h
縦断勾配	0.3~6%	0.3~7%
横断勾配	1.5~10%	1.5%
最小半径	80 m	—
標準幅員	本線 3 車線×2=23.6 m 連絡線 2 車線×1= 9.5 m	3 車線×1=11.05 m 3 車線×1=11.05 m
延長	830 m	830 m
道路面積	22 430 m <sup>2</sup>	19 130 m <sup>2</sup>

図-1 (a)

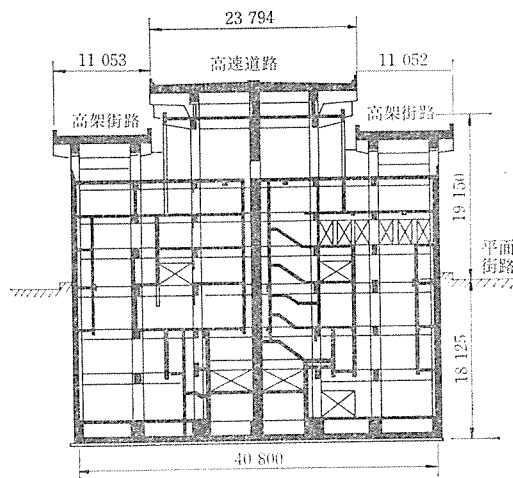
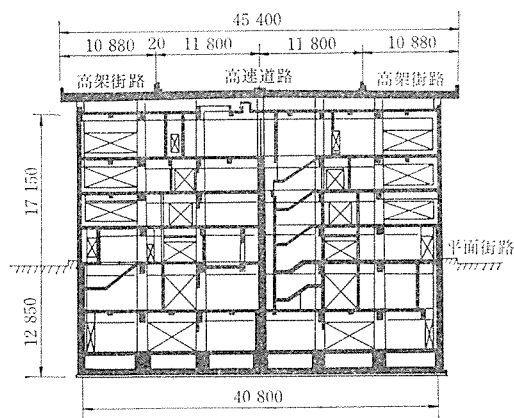


図-1 (b)



\* 阪神高速道路公団工務部設計課長

\*\* 阪神高速道路公団工務部工務第 1 課主査

図-1(c)

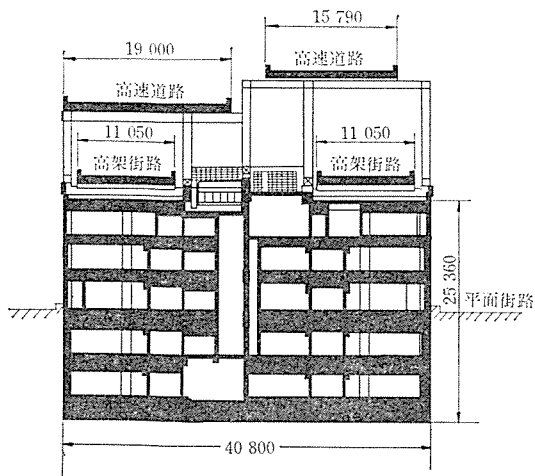


写真-2 架設中の全景



スパンならびに桁断面の決定にあたっては、図-1(a)、(c)部分には B114 を用いて標準スパンを 13.8 m とし、図-1(b)部分には S107 を用い、標準スパンを 6.9 m とした(写真-2)。

### 3. 高架橋に使用されるプレテンション工法

船場工区の特徴として 2. で述べたことのほかに

- 1) 万国博関連工事で、工期がきわめて短いこと。
- 2) 工区が多いこと(8工区)。
- 3) インターチェンジを含むため、線形が複雑となり、そのため桁の形状寸法に対する要求がきびしいこと。があげられる。

これらに加うるに市街地における構造物であるため、防音、防振の考慮も必要であり、都市美への調和という点から色調を白色に統一することとし、経済性・将来の保守の容易さなどを勘案してPC桁を採用することにした。

高架橋としては工期短縮、品質管理の徹底、機械化による現場施工の円滑化のメリットの確立により近年PC桁、特にプレテンション桁使用の施工例が多く、表-3に主として関西地方における施工例の一部を掲げたが、

表-3 施工例(主として関西地方)

件名	事業主体	工事概要	施工年度	摘要
黄金跨線橋	名古屋市	延長員 568 幅員 11.5~20	38.8~40.7	跨線部鋼橋を含む
いろは高架橋	中部地建	延長員 186 幅員 20	39.2~40.4	
小牧高架橋	道路公団	延長員 1740 幅員 2@10.95	41.8~42.12	ポストテンションを含む
豊中大阪池田線工区	阪神公団	延長員 2160 幅員 17.6	40.12~42.6	
1号線6工区高架橋	"	延長員 234.2 幅員 2@7.8	41.10~42.7	ポストテンションを含む
門戸跨線橋	兵庫県	延長員 328.6 幅員 11.5	41.10~42.8	跨線部鋼橋を含む
松ヶ代跨線橋	"	延長員 181.2 幅員 9.5	43.6~43.12	
真鶴道路橋	道路公団	延長員 78.5 幅員 7.5	43.2~43.7	ポストテンションを含む
天理立体交差橋	奈良県	延長員 155 幅員 7.0	施工中	
守口高架橋	近畿地建	延長員 192 幅員 17.6	44.8~45.1	
池田インター2号橋	大阪府	延長員 147 幅員 2@7.5	44.8~44.12	
近畿高速自動車道	道路公団	延長約 2000 幅員 8.75	43.10~44.10	
御堂筋線高架橋	大阪府	延長約 2500 幅員 2@7.5	42.10~44.10	

各地の諸官庁で大幅に採用されつつある工法の一つである。

### 4. PC 各社の設備概要

施工業者は(株)安部工業所、北海道ピーエスコンクリート(株)、日本鋼弦コンクリート(株)、九州鋼弦コンクリート(株)、中央ピーエスコンクリート工業(株)、ピー・エス・コンクリート(株)、興和コンクリート(株)、極東工業(株)、日本ピーエスコンクリート(株)、住友建設(株)およびオリエンタルコンクリート(株)の11

表-4 工場設備概要

現場工場間距離 (km)	ベンチ能力		プラント 計量装置	養生方法	緊張方法
	緊張力 (t)	ベンチ長 (m)			
15	200	200	自 動	蒸 気	同時緊張
	400	140			
80	100	200	"	"	"
	200	300			
	300	120			
90	250	107	"	"	"
	300	275			
100	150	280	"	"	"
	250	280			
100	250	300	"	"	"
	200	400			
120	300	70	"	"	"
	200	600			
168	150	80	手 動	"	"
	250	240			
	300	120			
170	300	320	自 動	温 水	"
	190	320			
290	150	190	"	"	"
	120	90			
300	160	250	手 動	"	"
	200	130			
	150	600			
330	200	90	自 動	"	1 本 引
	250	130			
	150	312			
500	250	384	"	"	同時緊張
	150	250			

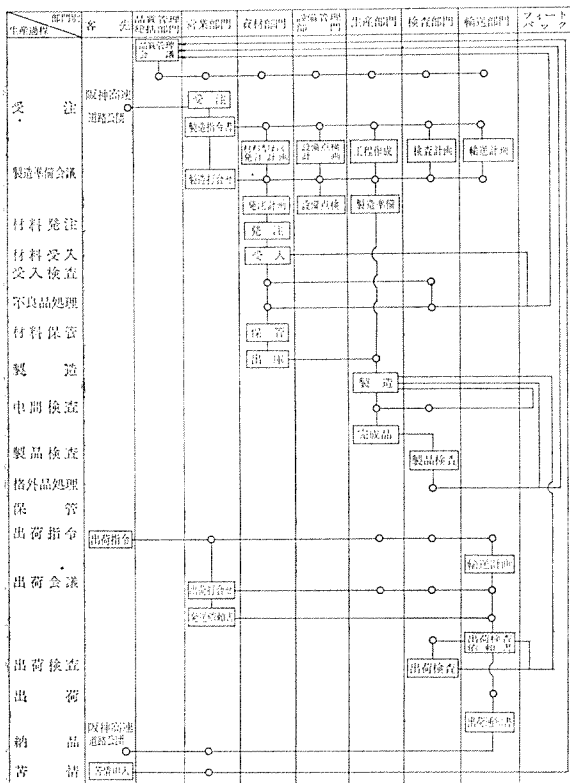
社 15 工場である。

表—4 に工場設備概要を示す。

5. 施工管理の手順の概要

管理手順に関しては、各社により多少の相違がみられたが、管理についての基本的考え方、その手順の標準的タイプは、表—5 のようなものであった。

表—5 品質管理の手順標準図



表の生産過程の中で □ 書きの内容は、主部門の作業、○印は、関連作業部門を示す。

矢印は、フィードバックの方向を示すものである。

生産過程中の各項目は、それぞれ該当する社内規格によって管理されている。

なお、このような品質管理の系統は、PC桁の製作一般に適用され運営されているものであるが、公団としてはそれらの手順を尊重しつつ、より管理を徹底させるため細部に関して若干具体的に追加し図—4のような管理系統図を作成した。

6. 本工区の PC 桁製作管理基準

本工区 PC 桁製作管理基準の概要は、次のとおりである。

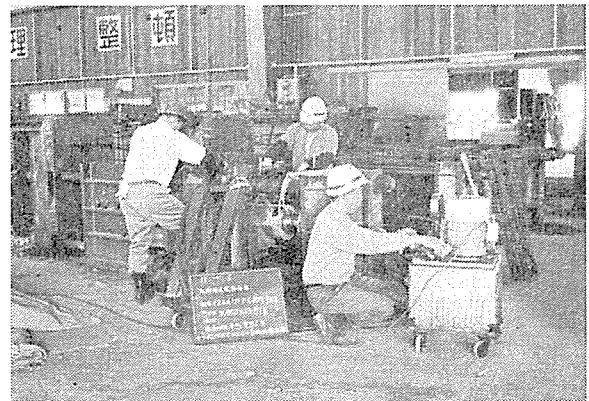
1) この船場工区 PC 桁製作管理基準は阪神高速道路公団土木工事共通仕様書とともに PC 桁の製作にあたっての主要なる作業の管理基準を制定したものである。

2) プレストレッシングの管理

① 緊張装置のキャリブレーション：緊張装置のキャリブレーションは 2 ヶ月に 1 回および異常が認められた場合に行なう。

② プレストレッシングの確認……①：緊張にあたってはジャッキの圧力計の読みと PC 鋼線の伸びの関係図表を作成して緊張の確認を行なう。その許容誤差は 3% 以内とする（写真—3）。

写真—3 PC 鋼線緊張



3) コンクリートの管理

① 材料：コンクリート材料の試験は次の要領により行なう（骨材の比重、吸水量、ふるい分け、物理、洗い試験の 5 種類）。

② 製作前の試験：プラントの検査は製作前と 3 ヶ月に 1 回動的試験を行なう。

③ 製作中の試験：

- i) 骨材表面水量は毎日製作前に 1 回測定する。
- ii) スランプ測定は圧縮強度供試体を採取するごとに行なう。……②
- iii) 圧縮強度供試体は、1 ベンチより 9 ヶ所採集する。……④

その用途は表—6 のとおりとする。

表—6 供 試 体

種 別	個 数	養生方法
プレストレス導入時	3	桁と同一養生
予 備	3	〃
$\sigma_{ck}$	3	標準養生
計	9	

④ コンクリートの品質検査……⑥：コンクリートの圧縮強度の試験値が  $\sigma_{ck}$  の 80% を 1/20 以上の確率で下らないことおよび  $\sigma_{ck}$  を 1/4 以上の確率で下らないことが必要である。

4) コンクリートの温度管理……③：

① プレストレス導入までの養生は自然養生または促進養生を行なう。

② 蒸気養生を行なう場合は原則として図—2 の要領で行なう。

図-2 養生温度曲線

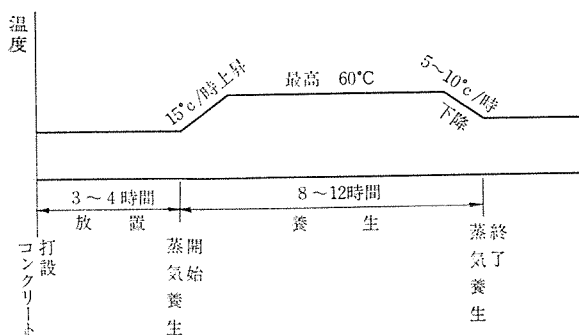


表-7 寸法の許容値

区 分	許 容 量	
	スラブ橋桁(mm)	桁 橋 桁(mm)
桁 長	±10	±10
断面寸法	+5 -3	+5 -3
横方向最大たわみ	(2l-6) < 10	(1.5l-6)
横 締 孔 位 置	± 5	± 5

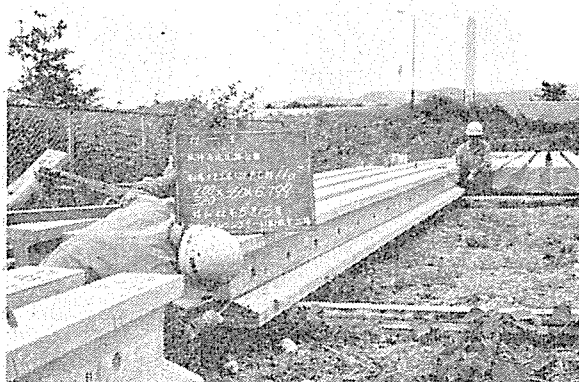
5) 製品検査……⑤: 外観および寸法検査は全数検査とする。

桁寸法の許容値は JIS 規格をそのまま適用することとした(表-7)。

ただし、桁長については、型わく長を上記基準値とする(桁を短かめに作り、仕上げで長さを調整する方法は採用しない)。

仕上げ面のはく離、防水目地効果の減少などの原因になりがちであるので、端面はグラインダー仕上げとし修正は行なわないものとする(写真-4)。

写真-4 製品検査



6) 載荷試験……⑦:

① 方法は JIS A 5313 および JIS A 5316 によることとする。

② 試験桁の本数は製作1工場につき最大5本までとするが、その割付けは次のとおりとする。

- 第 1 回試験 50 本につき 1 本
- 第 2 回試験 つぎ 100 本につき 1 本
- 第 3 回試験 つぎ 200 本につき 1 本

第 4 回試験 つぎ 350 本につき 1 本  
第 5 回試験 つぎ 550 本につき 1 本  
載荷装置の概要を図-3 に示す。

以上の要領により項目別に品質管理を行なったが、これを系統図で示すと図-4 のようになる(写真-5)。

図-3 載荷装置

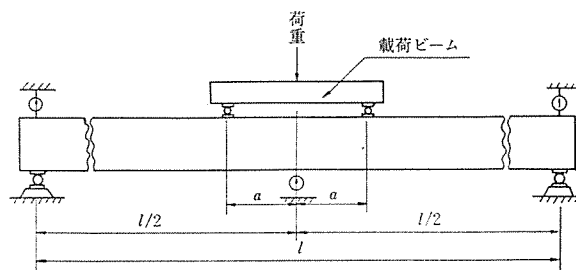


図-4 品質管理系統図

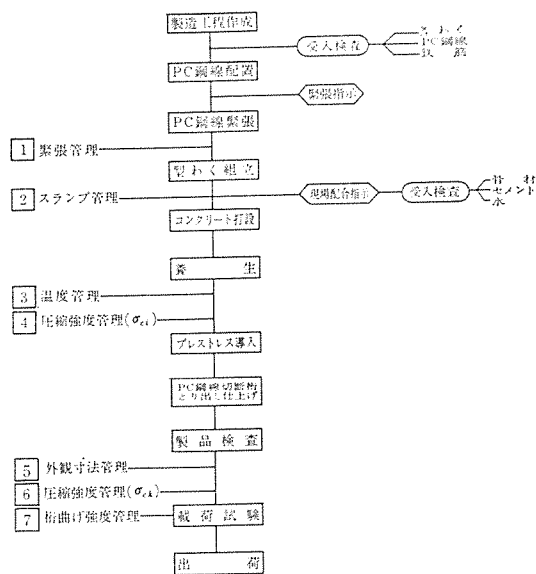
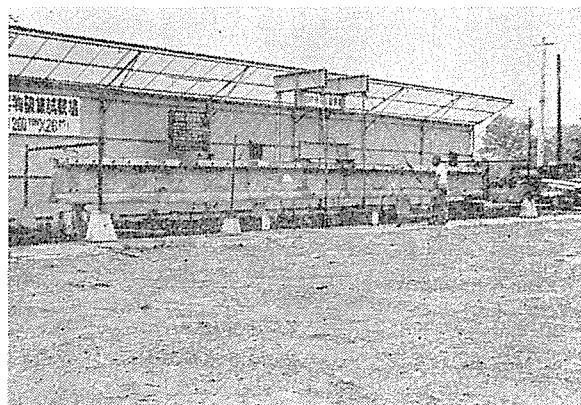


写真-5 載荷試験



## 7. 項目別品質管理状況

### (1) 緊張力

緊張力そのものではなく所要の緊張力と実際に作用させた緊張力との差を誤差として求め、それを品質特性値として取り上げヒストグラムで表わした。図-5 にそれ

を示す。

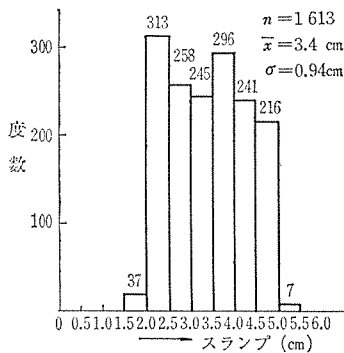
許容誤差 3% を多少上まわるものが若干あるが、大部分は許容誤差の範囲内に収まっている。誤差 3% を応力度で示すと導入直後においては約 6 kg/cm<sup>2</sup> となる。

緊張力の測定はマンメーターの読みと PC 鋼線の伸びと両方で行なっているが、さらに PC 鋼線に振動を与え、それをシンクロスコープで電氣的に取り出してチェックする方法を定期的に併用すれば、よりいっそう信頼度を高めることができると思われる。

(2) スランプ

ヒストグラムで示すと 図-6 のようになる。川砂利を使用している工場もあり、碎石を使用している工場もあり、骨材の種類が多岐にわたっているため、スランプを一様に規定することはせず、各社ごとに管理させることにしたためスランプの値は指定しなかった。

図-6 スランプ (全工場)



ヒストグラムをみると 2~5 cm の範囲内ではほぼ均等に分布し、平均値としては 3.4 cm であった。スランプは満足できる程度に管理されている。

(3) 温度管理

いずれの工場においても初期強度の発現を高めプレストレスを早期に導入できるように高温促進養生(蒸気あるいは温水使用)を行なっている。そのパターンは管理基準に示すとおりで、各社とも大同小異であるので省略する。

自記温度記録計を用いて温度管理を行なった。

(4) 圧縮強度管理 (プレストレス導入時および材令 28 日)

圧縮強度に影響を及ぼすと考えられる材料の品質性状が各社ごとに相違しており、全体をひとつにまとめるこ

図-5 緊張力誤差 (全工場)

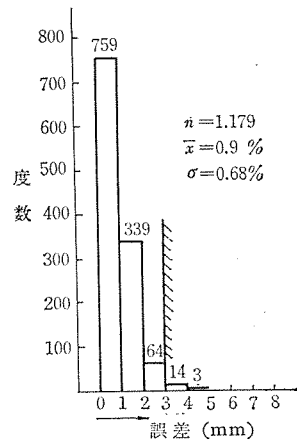


図-7 プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度 (桁と同一養生)

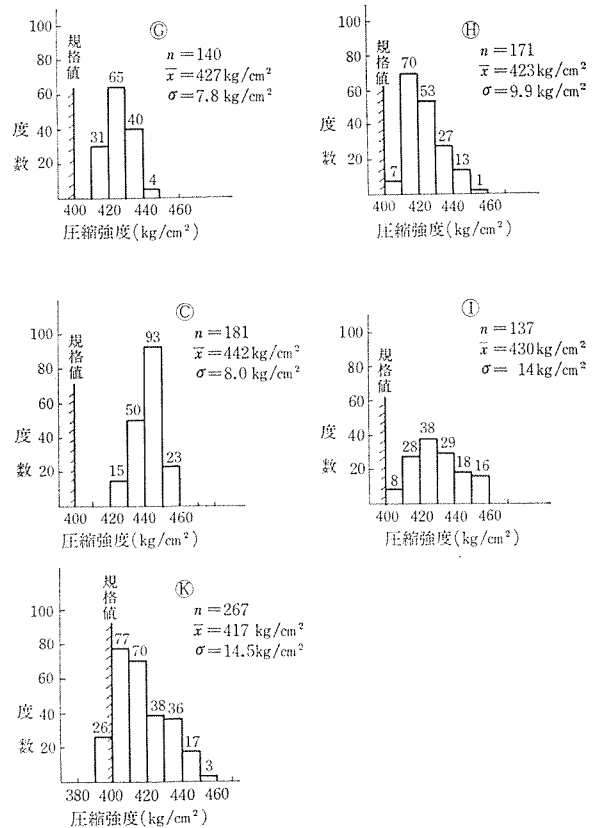
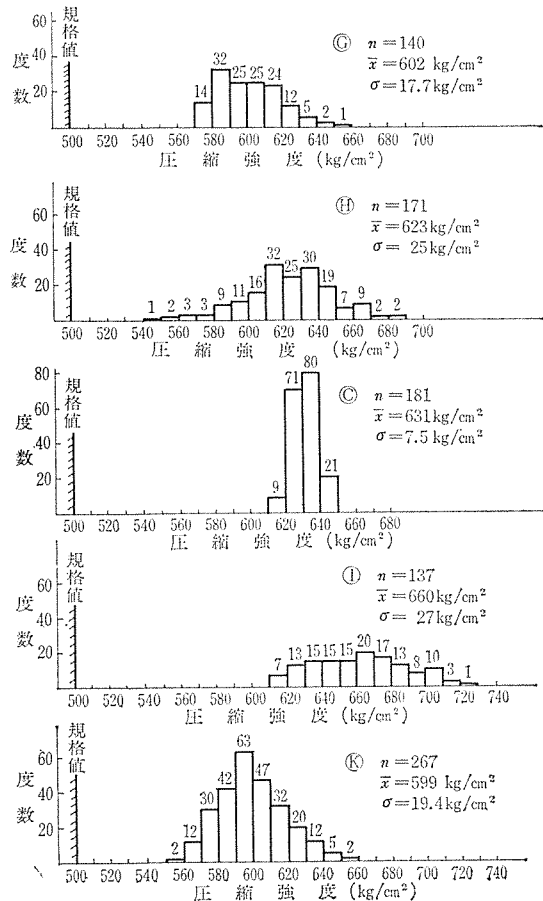


図-8 材令 28 日のコンクリート圧縮強度



とは無意味なので各社ごとにまとめることとする。

便宜上100個以上のデータを有する場合のみ取り上げヒストグラムを作成した。

図-7 および 図-8 にこれを示す。

プレストレス導入時の圧縮強度についていえば、規格値を下まわるものが若干みられるほか、各工場とも規格値に対してはあまり余裕がみられない。

導入時の圧縮強度は 図-7 ㊸㊹㊺ 程度の管理が望ましい。導入時の所要強度 400 kg/cm<sup>2</sup> で、配合その他を決めているため当然材令 28 日の圧縮強度については規格を十分上まわる値となっている。

コンクリートの配合の範囲は 表-8 に示すとおりである。

表-8 示 方 配 合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプトの範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	粗骨材率 S/a (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G (kg)
20	2~4	31.4~39.6	31~43	140~180	430~500	592~718	996~1229

(5) 外観寸法管理

形状寸法の測定項目は

- 1) 桁 長
- 2) 桁 高
- 3) 腹部幅
- 4) 上突縁幅
- 5) 下突縁幅
- 6) キャンパー
- 7) 横方向反り

の7つである。各項目についてヒストグラムを作成し 図-9~図-15 に示す。2)~5) の各項目については下限

規格値に対しては多少の余裕をもっているが、上限規格値についていえばまったく余裕がないか、あるいは規格値を上まわるものが若干ある。

これらは多くの場合、型わくのはらみに原因があるものと思われる。

図-10 桁 高

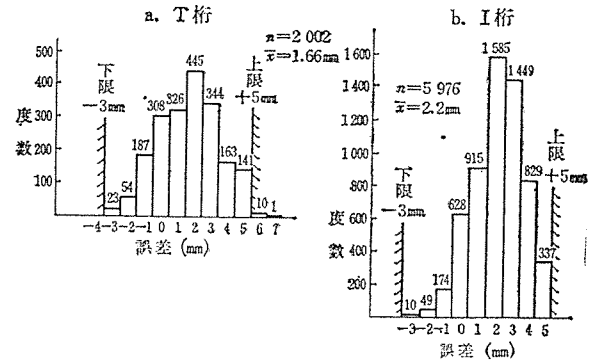


図-11 腹 部 幅

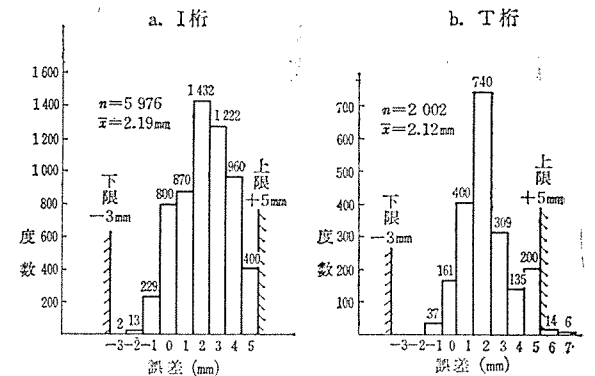


図-12 上 突 縁 幅

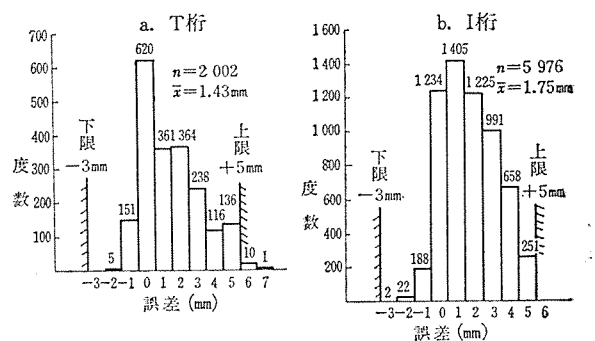


図-13 下 突 縁 幅

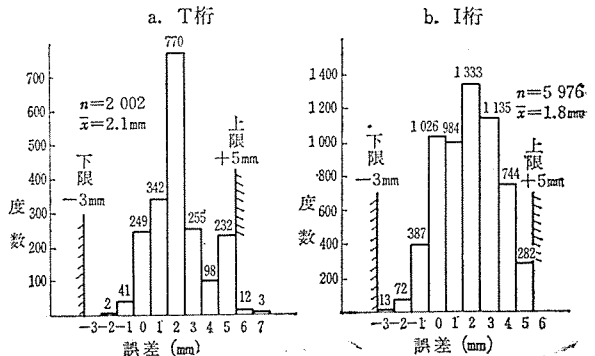


図-9 桁 長

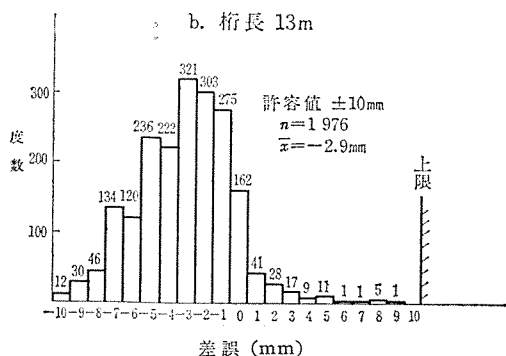
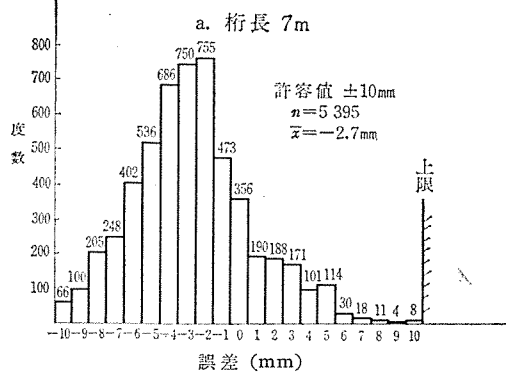


図-14 キャンバーヒストグラム

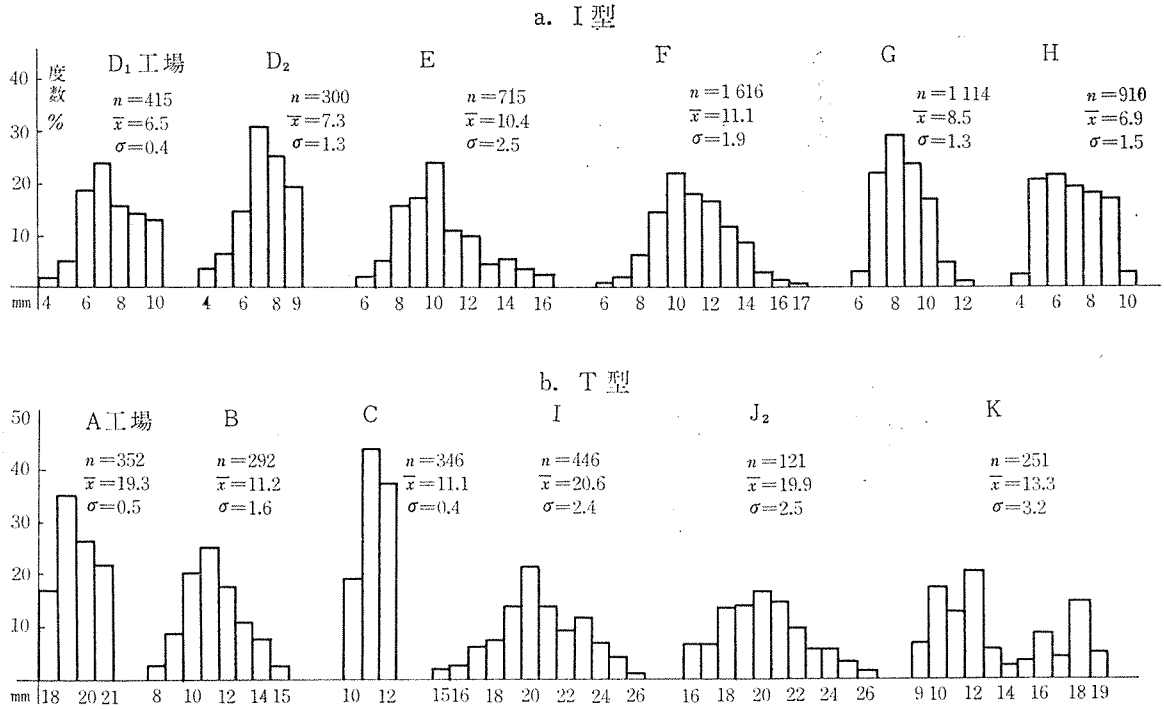


図-15 横反り

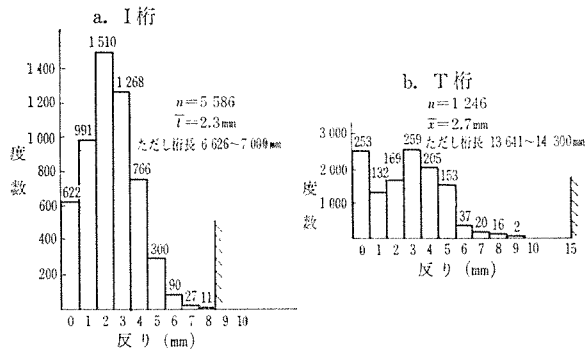


図-16 材令に伴う I 桁のキャンバー進行図

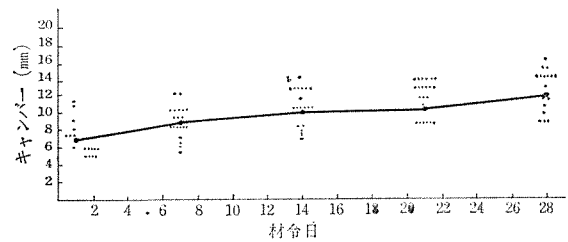
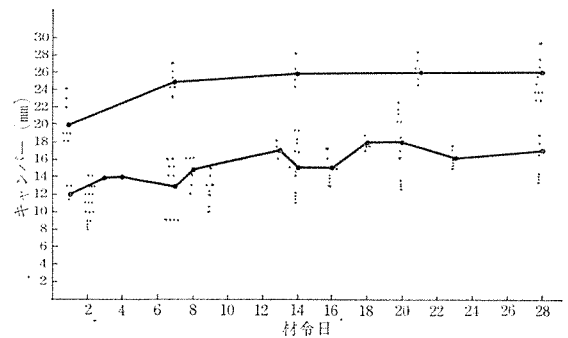


図-17 材令に伴う T 桁のキャンバー進行図



キャンバーについては工場別にヒストグラムであらわしたものを 図-14 に示す。横軸にキャンバー、縦軸に度数を%で示した。

I 桁についていえばその平均値の最小値は 6.5 mm, 最大値は 11.1 mm である。T型についていえばその平均値の最小値は 11.1 mm, 最大値は 20.6 mm である。

両者ともに最大値と最小値との比は 2 に近く、一見すると各工場別による値の相違が大きいようにも感じられるが、これは弾性係数の相違、桁製作時期の相違（温度差の影響）などの要素が複雑に作用した結果と思われる。

I 桁については大体 1 つのグループにまとめられると思われるが、T桁については 2 つのグループにわかれるものと思われる。これは ①と ②が他の 4 工場に比して大きい値を示しているため、これは弾性係数の値が小さいためと思われる。

材令に伴うキャンバーの進行状況を 図-16、図-17 に示す。材令 28 日の値はプレストレス導入時のものに

比較して 20~30% 増にすぎず、これは促進養生を行なったためと考えられる。

横方向反りについては I 型と T 型の間には大きな差異は認められない。

(6) 載荷試験

載荷試験においては、計算上のひびわれ荷重まで載荷し、ひびわれ発生の有無を肉眼で判別すると同時に、そのときの桁の中点のたわみを測定した。なお、このときのコンクリートの曲げ引張強度は 40 kg/cm<sup>2</sup>, コンクリートの弾性係数  $E_c = 400\,000$  kg/cm<sup>2</sup> と仮定した。い

れの場合においても、ひびわれの発生は認められなかった。

たわみの実測値と計算値との比較を表-9に示す。実測たわみ/計算たわみの平均値は0.902であり、全体を一括して考えると  $E_c=400\,000\text{ kg/cm}^2$  は確保されているものと思われる。

表-9 たわみの比較表

スパン (m)	ひびわれ荷重 (t)	計算たわみ (mm)	実測たわみ (mm)	実測たわみ/計算たわみ	試 験		
					断面積	桁 高 (mm)	本 数
13.186	18.32	13.13	12.79	0.974	T	850	1
6.58	5.7	10.6	12.0	1.132	I	350	5
13.10	21.9	15.51	15.62	1.007	T	850	2
6.20	6.7	10.23	9.35	0.914	I	350	1
13.00	21.6	12.32	12.45	1.011	T	900	1
13.186	19.33	14.01	13.06	0.932	T	850	4
6.328	5.99	9.73	8.76	0.900	I	350	2
13.326	19.2	1.44	1.47	1.020	T	850	1
9.388	31.7	0.79	0.84	1.063	T	850	1
13.386	19.1	1.43	1.47	1.020	T	850	1
6.684	5.06	9.6	8.54	0.889	I	350	2
9.458	6.31	15.1	13.99	0.926	I	450	1
12.652	14.07	12.57	11.43	0.909	T	750	1
5.543	5.46	6.0	5.52	0.920	I	350	1
9.440	6.2	14.3	13.00	0.909	I	450	4

### 8. 断面寸法公差に関する諸外国の規定

#### (1) British Standard Code of Practice. CP 116 : 1965

##### a) 長 さ

- $l < 3.3\text{ m}(10')$   $\pm 6.4\text{ mm}(1/4')$
- $3.3\text{ m} < l < 5.0\text{ m}(10' \sim 15')$   $\pm 9.5\text{ mm}(3/8')$
- $5.0\text{ m} < l < 6.6\text{ m}(15' \sim 20')$   $\pm 12.7\text{ mm}(1/2')$
- 6.6 を加えるごとに  $\pm 6.4\text{ mm}(1/4')$

##### b) 断面寸法

- $l < 50\text{ cm}(20')$   $\pm 6.4\text{ mm}(1/4')$
- $50\text{ cm} < l < 75\text{ cm}(20'' \sim 30'')$   $\pm 9.5\text{ mm}(3/8')$
- 25 cm 加えるごとに  $\pm 3.2\text{ mm}(1/8')$

#### (2) Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast Prestressed Concrete Products (PCI-1966)

- 桁 長  $3.3\text{ m}(10')$  あたり  $\pm 3.2\text{ mm}(1/8'')$ ,  $< 19\text{ mm}(3/4'')$
- フランジ幅 }  $+9.5\text{ mm}(3/8'')$ ,  $-6.4\text{ mm}(1/4'')$
- ハンチ幅 }
- 高 さ  $+12.7\text{ mm}(1/2'')$ ,  $-6.4\text{ mm}(1/4'')$
- 腹部幅  $+9.5\text{ mm}(3/8'')$ ,  $-6.4\text{ mm}(1/4'')$
- フランジ, ウェブ }  $\pm 6.4\text{ mm}(1/4'')$
- ハンチの高さ }

#### (3) Recommended Practice for Concrete Fo-

#### rmwork (ACI 347-68)

a) 長 さ 3 m につき  $\pm 3\text{ mm} < \pm 19\text{ mm}$

##### b) 断面寸法

- $l < 15\text{ cm}$   $\pm 3.2\text{ mm}$
- $15\text{ cm} < l < 45\text{ cm}$   $\pm 4.8\text{ mm}$
- $45\text{ cm} < l < 90\text{ cm}$   $\pm 6.4\text{ mm}$
- $90\text{ cm} < l$   $\pm 9.5\text{ mm}$

c) 直線のまがり 3 m につき 3.2 mm をこえない。

#### (4) 本工区の管理基準と外国規格との比較

表-10 B114

種 別	桁 長 (mm)	断 面 寸 法 (mm)	横方向最大 たわみ (mm)
管 理 基 準 (JIS)	$\pm 10$	+5 -3	15
(1) イギリス規格	$\pm 19.1$	$\pm 6.4$	
(2) P C I	$\pm 12.8$	+12.7 -6.4	
(3) A C I	$\pm 12$	$\pm 3.2 \pm 6.4$	12.8

表-11 S107

区 分 種 別	桁 長 (mm)	断 面 寸 法 (mm)	横方向最大 たわみ (mm)
管 理 基 準 (JIS)	$\pm 10$	+5 -3	8
(1) イギリス規格	$\pm 19.1$	$\pm 6.4$	
(2) P C I	$\pm 6.4$	+12.7 -6.4	
(3) A C I	$\pm 6.0$	$\pm 3.2 \pm 4.8$	6.4

表中の数字は許容誤差を示すもので、これを見ると短スパンに関しては船場工区の管理基準は諸外国に比して若干ゆるやかであるが、長スパンになると、むしろきびきくなっている。

### 10. ま と め

本工事は桁製作が44年1月~10月にわたり、その間の季節的要因が養生その他にかなりの影響を及ぼしており、しかも製作が15工場で行なわれたという事情を考慮すると、全工区を一括した上述の管理データは良好な結果を示しているといえ、施工会社の努力の跡がうかがえる。

出来形については外観形状寸法のチェックのみしかできず、それはそれで一応意味のあることであるが、品質を決定する重要な要素は材料の品質、コンクリートの配合、練混ぜ、打込み、養生、PC鋼線の緊張などにあることは論をまたない。

したがって、いわば製品の内部に作り込まれてしまうこれらの諸要素について今後とも高水準の管理をされんことをPC業界のために希望したい。

なお、本稿をまとめるにあたり御世話になったPC工業協会関西支部の方々に誌上をかりてお礼申上げる。

1970.11.11・受付