

プレテンション方式PC桁の製作に関わる基礎的事項の調査

中田 智*1・小沢 恒雄*2・竹内 正喜*3

1. はじめに

わが国では、昭和 27 年に初めてプレテンション方式の橋桁を用いた橋梁が建造され、その後、昭和 34 年～昭和 38 年にかけて橋桁の JIS が制定された。これにより PC 桁の特色が一般に認められるようになり、それ以後、今日に至るまで数多くの PC 桁が橋梁に使用されている。

JIS では外観、曲げ強さ、形状寸法、そりなどの規格値が規定されている。しかし、従来の桁製作では少量多量の桁製作が多かったため、品質管理の基礎となる桁のそり、形状寸法に関わる統一したデータの蓄積が十分とは言えなかった。

一方、大阪府道路公社より発注された堺泉北有料道路 PC 上部工事（図-1）では約 2 250 本のプレテンション T 桁が採用されており、これを 12 社、14 工場ではほぼ同時期に製作した。このように同じ種類の桁を同時期に製作する機会はまれであるため、プレストレスト・コンクリート建設業協会ではそり、形状に関わる特性値を一斉に調査し、PC 桁の製作に関わる基礎データを蓄積することとした。

本報告では各工場で測定した PC 桁のそり、若材令におけるヤング係数、圧縮強度、および、製品の出来形寸法の結果とともに、PC 用コンクリートの圧縮強度の推定方法にシュミットハンマーによる方法を適用した結果

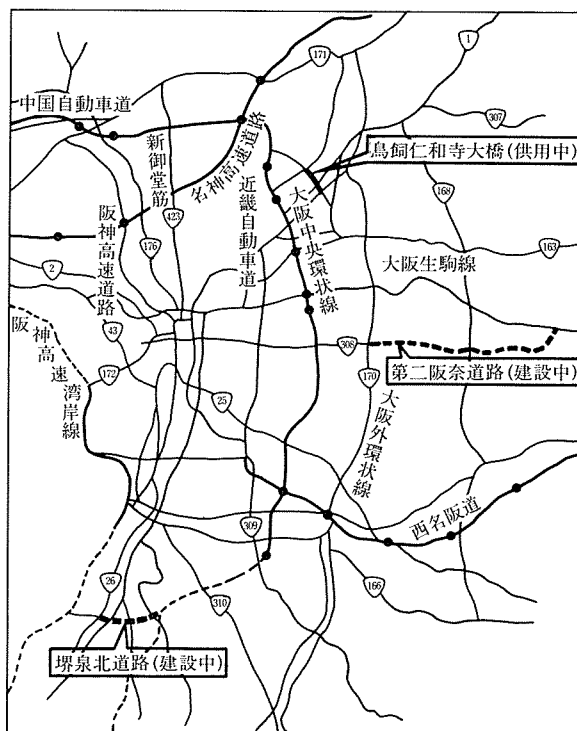


図-1 位置図

についても述べる。

2. 調査対象橋梁

今回の調査は堺泉北有料道路に使用するプレテンション T 桁を対象とした。堺泉北有料道路は府道泉天津美原

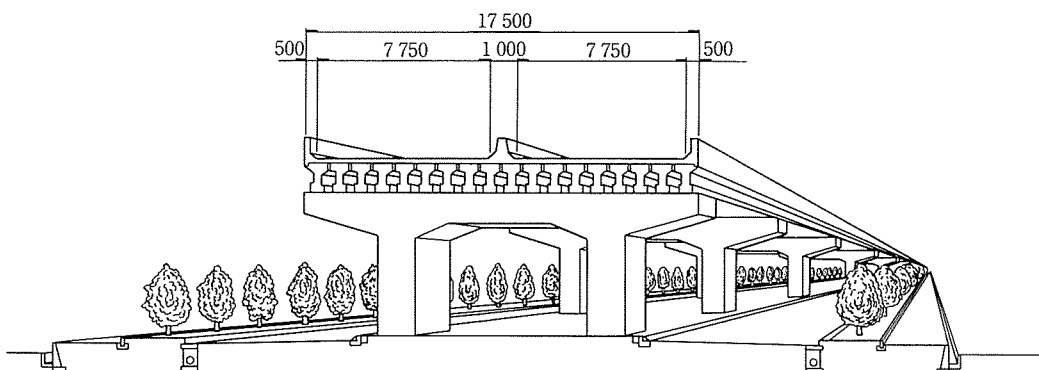


図-2 標準断面

*1 Satoshi NAKADA : 大阪府道路公社建設部建設第二課長

*2 Tsuneo OZAWA : (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

*3 Masaki TAKEUCHI : (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

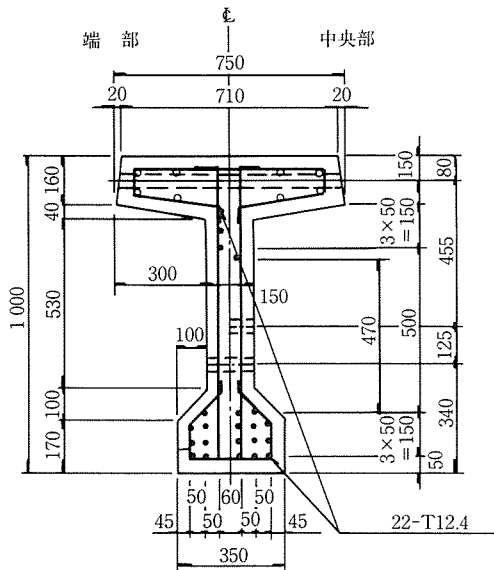


図-3 主桁断面形状とPC鋼材配置

線の中央部に建設される高架4車線の道路で、大阪都心部と大阪南部地域とを結ぶ交通を臨海部、内陸部へ分散させるとともに、関西新空港へのアクセス道路としての役割を果たすこととなる。上部工の構造形式は2~3径間PC連結T桁が基本となっている。本橋の標準断面図とPC桁の形状を図-2, 3に示す。

3. 蒸気養生したコンクリートの強度とヤング係数

3.1 測定項目および方法

コンクリートの物理特性として、コンクリートの配合、およびヤング係数、圧縮強度を初期（コンクリート打設～プレストレス導入）と長期（プレストレス導入～材令90日）にわけて測定した（写真-1）。測定項目と測定

表-1 測定項目

測定項目	測定時期
配合	
ヤング係数 圧縮強度	・コンクリート打設後9時間からプレストレス導入まで2時間ごと ・プレストレス導入時 ・材令1, 3, 7, 14, 28, 60, 90日
桁のそり	・プレストレス導入時 ・材令1, 3, 7, 14, 28, 60, 90日

測定条件を列記する。

- ・ヤング係数と圧縮強度の測定に用いた供試体の形状は $\phi 100 \times 200$ とした。
- ・ヤング係数は各工場で機種を統一したコンプレッソメーターにより測定した。また、ヤング係数は次式により算出した。

$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon - 50)$$

$$\sigma_2 : 1/3 \text{ 破壊荷重点における圧縮応力 (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_1 : \text{ひずみが } 50 \times 10^{-6} \text{ に達したときの圧縮応力 (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\epsilon : 1/3 \text{ 破壊荷重でのひずみ (} \times 10^{-6}\text{)}$$
- ・供試体の養生は材令3日までは桁と同一条件、材令7日～材令90日は標準養生とした。
- ・プレストレス導入までの桁の養生は図-4に示すように温度上昇勾配15°C/h、最高温度60°Cとした。
- ・桁のそりの測定は工場出荷時までとした。

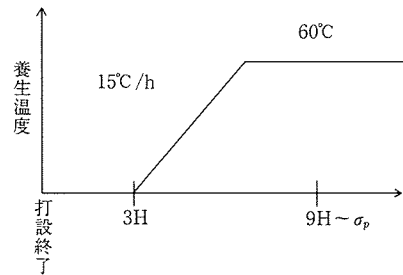


図-4 蒸気養生温度

定時期を表-1に示す。

3.2 測定結果および考察

各工場の配合を表-2に示す。なお、設計基準強度は $\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$ である。図-5は全工場の圧縮強度

表-2 各工場の勾配

工場名	骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (W/C) (%)	細骨材率 (S/a) (%)	絶対骨材量 (l)	単位量 (kg/m³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
A工場	20	6±1.5	2±1	36.7	41.0	685	158	430	730	1091	9.5
B工場	20	4±1.5	2±1	37.0	37.0	669	167	450	644	1138	11.7
C工場	20	4±1.5	3±1	36.0	38.0	659	165	458	651	1083	1.1
D工場	20	5±1.5	2±1	34.0	40.8	693	148	435	735	1087	3.5
E工場	20	8±2.5	2±1	35.0	38.0	675	161	450	673	1117	4.6
F工場	20	6±1.5	2±1	35.8	39.7	673	162	453	681	1222	4.5
G工場	20	8±2.5	2±1	33.6	37.0	672	158	470	634	1122	6.6
H工場	20	8±2.5	2±1	36.0	42.0	678	160	444	748	1053	4.4
I工場	20	5±1.5	2±1	40.0	40.0	679	168	420	700	1087	4.2
J工場	20	6±1.5	2±1	37.3	39.0	691	156	418	710	1220	5.0
K工場	20	3.5±1.5	2±1	33.8	40.0	705	142	420	732	1120	5.7
L工場	20	8±2.5	2±1	32.2	41.9	695	143	445	766	1082	4.5
M工場	20	5±1.5	2±1	30.0	36.0	689	141	470	637	1177	6.6
N工場	20	8±2.5	2±1	35.0	38.0	675	160	456	695	1151	3.4

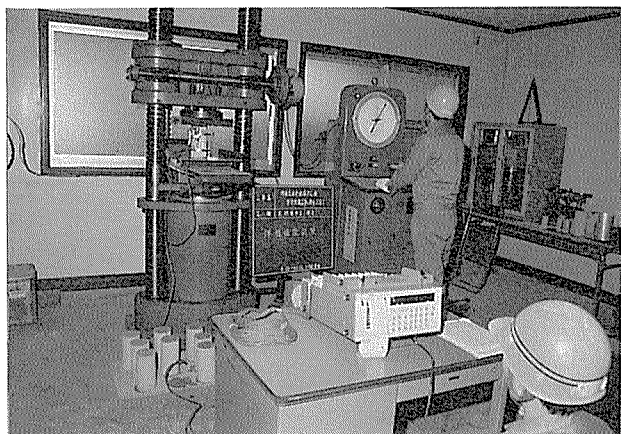


写真-1 ヤング係数の測定

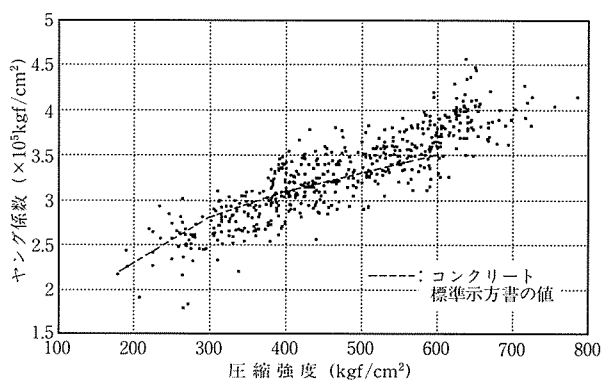


図-5 圧縮強度とヤング係数の関係

とヤング係数の関係である。多少ばらつきがあるが、平均的には「道路橋示方書」の値とほぼ一致している。ただし、図-5は設計基準強度の異なるコンクリートの $\sigma_c \sim E_c$ の関係ではなく、同じ設計基準強度のコンクリートを材令の進行とともに測定した結果である。

図-6と図-7はF工場の圧縮強度およびヤング係数と材令の関係であるが、片対数紙上で2本の傾きの異なる直線で表されている。その境界点はプレストレス導入時

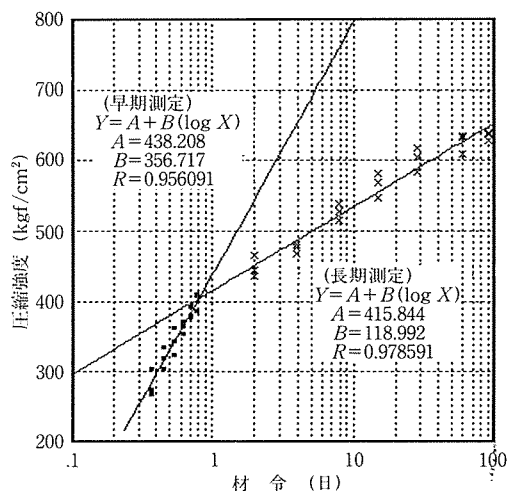


図-6 F工場の材令-圧縮強度の関係

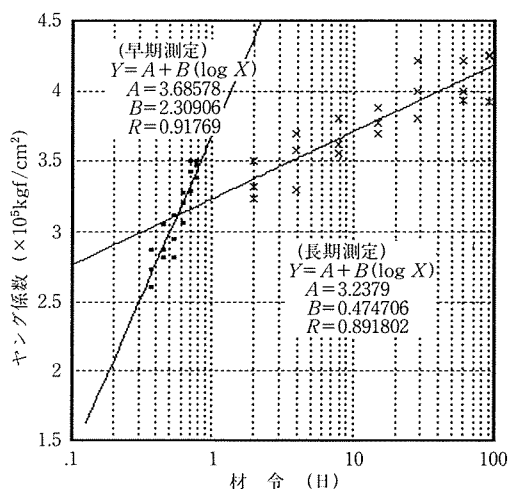


図-7 F工場の材令-ヤング係数の関係

であり、若材令の方が勾配が大きい。すなわち、蒸気養生されたコンクリートでは初期の強度、ヤング係数の発現が著しく、 $\sigma_c \sim t$, $E_c \sim t$ の関係を一つの指数曲線で表せないことがわかる。

表-3 各工場の E_c, σ_c, δ

工場名	プレストレス 導入時間 (h)	ヤング係数 (kgf/cm ² × 10 ³)		強 度 (kgf/cm ²)		標準径間中桁のそり (mm)	
		導入時	材令28日	導入時	材令28日	導入時	材令28日
A 工場	17.0	3.49	3.98	408	618	38	48
B 工場	16.5	3.25	3.71	402	586	38	48
C 工場	17.0	3.45	3.74	404	570	42	60
D 工場	17.0	2.90	3.45	439	569	43	57
E 工場	17.0	3.13	3.49	418	578	37	52
F 工場	19.0	3.49	3.86	407	582	43	61
G 工場	17.0	3.55	3.85	445	586	38	54
H 工場	20.0	3.43	3.57	446	610	31	56
I 工場	18.0	3.26	3.66	417	600	36	57
J 工場	16.5	3.15	3.77	421	596	44	62
K 工場	15.0	3.47	3.77	444	588	31	51
L 工場	17.0	2.80	3.23	391	561	48	64
M 工場	19.0	3.13	3.75	459	706	36	57

◇報告◇

各工場のプレストレス導入時と材令 28 日の圧縮強度、ヤング係数および桁のそりを表-3 に示す。桁のそりは標準桁 ($L=20$ m) の値であり、プレストレス導入時と材令 28 日におけるそりの設計値はそれぞれ 23 mm, 36 mm である。そりに関する JIS の規定は一径間内の桁のそりの差に対してであり、設計値に対するものではないが、測定されたそりは、設計値に比べて 10 ~ 20 mm 程度大きい。この原因としては、一般に桁の緊張力は設計緊張力に対して上方にばらつく傾向があること、円柱供試体と桁のヤング係数（プレストレス導入時のヤング係数は表-3 に示してある）との差が不明確であること、早期のクリープ変形は各種示方書で与えられている値より大きくなる可能性があることやクリープ係数には配合が影響することなどが考えられる。

4. シュミットハンマーによる強度推定

4.1 測定方法

シュミットハンマーによるコンクリート強度の推定は円柱供試体と PC 桁で行い、その材令は 7 日と 28 日とした。材令 7 日の円柱供試体の養生は桁と同一条件とし、材令 28 日のものは標準養生とした。

(1) 円柱供試体の測定

円柱供試体に 1 げの軸力を加え、側面を水平打点した。打点位置は図-8 に示すように 1 縦点 5 点とし、180 度反対面の 2 面、計 10 点とした。なお、平均値に対して 20% 以上のばらつきがある場合、そのデータを棄却し、打点線より円周方向に 30 mm 以上離れた任意の点を打点した (写真-2)。また、供試体の表面状態は以下のように条件を統一して行った。

<桁と同一の養生の場合>

布で表面を拭いた乾燥状態で測定した。

<標準養生の場合>

布で水気を拭いた湿潤状態で測定した。

(2) PC 桁の測定

PC 桁の測定は、図-9 に示すように桁端部および支間中央の下フランジを水平方向に打点した (写真-3)。1



写真-2 円柱供試体の打点



写真-3 PC 桁の打点

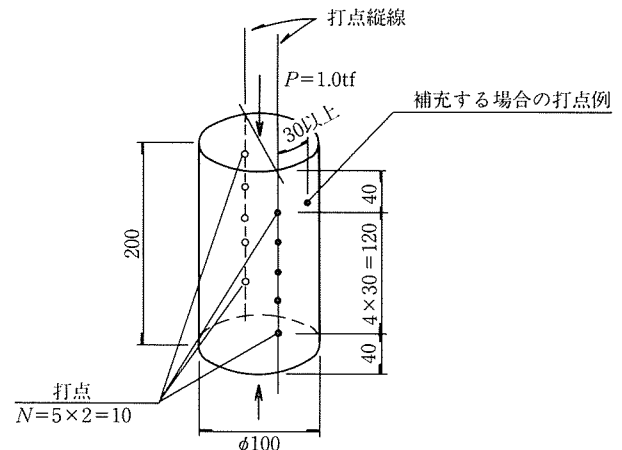


図-8 円柱供試体の打点

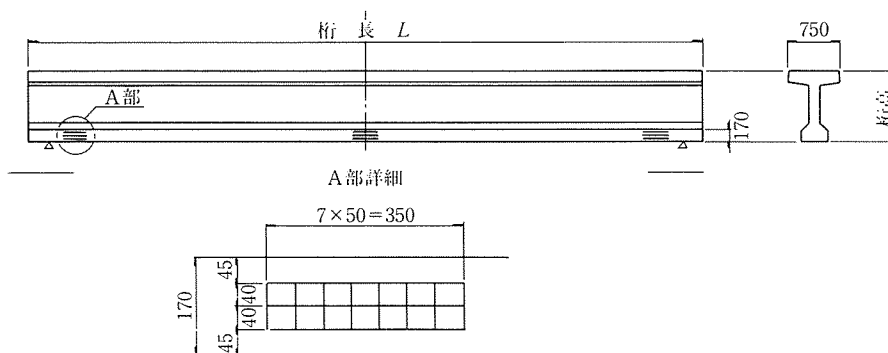


図-9 PC 桁の打点位置

箇所当りの打点数は 21 点とした。また、表面状態は布などで汚れを拭いた状態で測定した。

4.2 測定結果および考察

図-10 に円柱供試体、図-11 に PC 桁を打点した場合の圧縮強度 (σ_c) と反発硬度 (R) の関係を示す。円柱供試体および PC 桁ともに、 $\sigma_c \sim R$ の関係はばらつきが非常に大きく明確な関係式は決定できない。材料学会の推定式と比較した場合、測定値と推定式はほぼ同一の勾配を有するが、測定された圧縮強度の値は推定式よりかなり高い強度を示していることがわかる。また、同一強度の円柱供試体と PC 桁の反発硬度にもばらつきが大きく、明確な関係は得られない。 $\sigma_c \sim R$ の関係がばらつくことの原因として各工場で使用しているシュミットハンマーの各個誤差があること、コンクリート表面の乾湿の状態が一定でないこと、コンクリートの配合、骨材の種類が異なることなどが考えられる。なかでも、各工場毎の $\sigma_c \sim R$ の関係は図-12 のようにほぼ直線性を示していることからハンマーの各個誤差が $\sigma_c \sim R$ のばらつきに与える影響は大きいものと考えられる。一方、円柱供試体と PC 桁の反発硬度に差が生じる原因としては、部材寸法が違うこと、円柱供試体では打撃面が曲面であるため打撃方向の誤差を生じ易いこと、養生方法が異なることなどが考えられる。したがって、シュミットハンマーにより圧縮強度を推定する場合、予め圧縮強度-反発硬度の関係が明らかなシュミットハンマーを用い

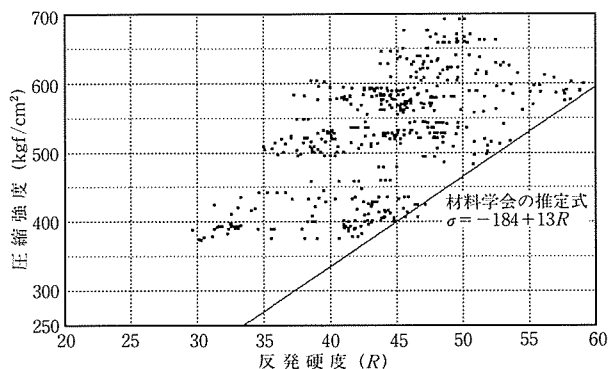


図-10 円柱供試体の反発硬度-圧縮強度の関係

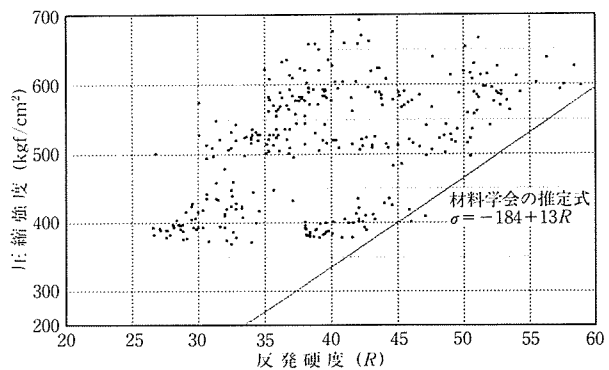


図-11 PC 桁の反発硬度-圧縮強度の関係

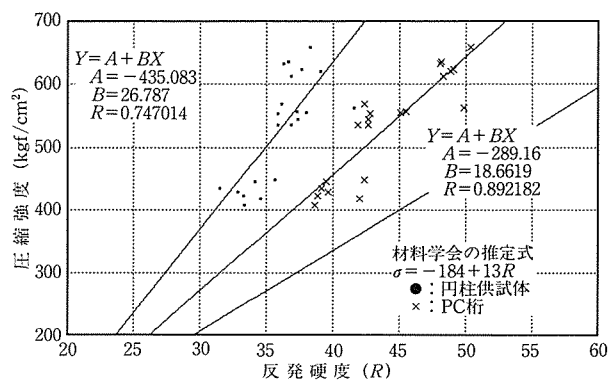


図-12 G工場の反発硬度-圧縮強度の関係

ることが望ましいと考えられる。

5. 出来形寸法の測定

5.1 測定方法

出来形寸法は図-13 に示すように桁長、断面寸法、横方向のそりをすべての桁で測定した(写真-4)。桁のそりは桁軸方向は支承位置間で、断面方向は桁下縁より 17 cm の位置で測定した。断面寸法は桁端と支間中央の 3 箇所で測定し、測定時期は材令 1~2 日とした。

5.2 測定結果および考察

各工場における出来形寸法の誤差の平均値と標準偏差

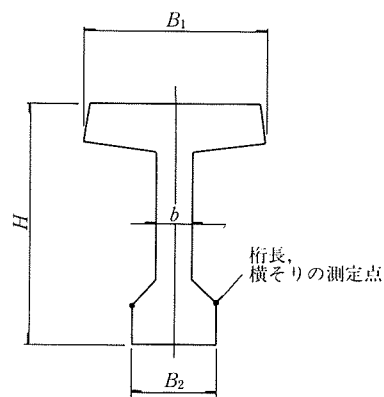


図-13 出来形寸法の測定

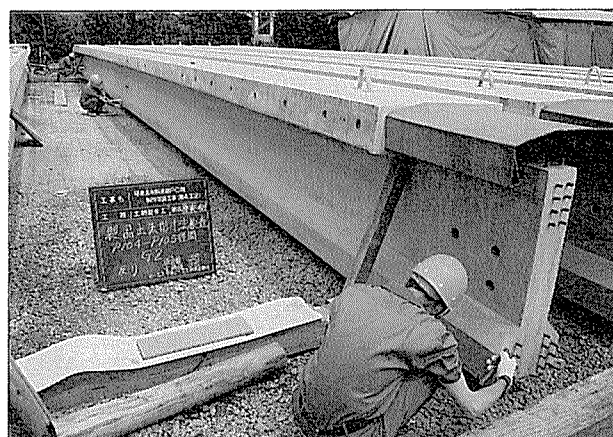


写真-4 出来形寸法の測定

表-4 出来形寸法測定結果

工場名	測定桁数	桁長(mm)		上フランジ幅(mm)		下フランジ幅(mm)		ウェブ幅(mm)		桁高(mm)		横方向そり(mm)	
		X_m	S	X_m	S	X_m	S	X_m	S	X_m	S	X_m	S
A工場	285	8.4	4.3	0.4	1.4	1.3	1.2	2.7	1.1	2.7	2.1	1.4	1.1
B工場	108	-1.5	4.8	2.3	2.0	0.2	1.4	3.1	1.5	2.5	2.5	1.8	1.3
D工場	220	0.9	5.2	1.2	1.3	0.9	1.3	1.3	1.4	-0.2	2.2	1.7	1.4
E工場	36	0.1	4.6	1.6	1.0	2.7	1.3	2.6	1.2	1.1	2.3	2.1	1.2
F工場	86	0.8	2.8	2.3	1.1	-0.1	0.8	2.1	1.0	0.9	1.5	2.9	2.1
G工場	156	-4.0	3.3	3.0	1.4	3.0	1.6	3.0	1.6	-1.0	2.7	2.0	1.6
H工場	12	-0.9	4.4	1.7	1.6	-0.2	1.4	-0.2	1.6	0.1	2.4	1.5	1.0
I工場	294	1.0	6.2	0.0	1.5	1.0	1.3	1.0	1.1	1.0	2.7	4.0	1.4
J工場	180	-0.7	4.0	2.2	2.4	2.3	2.3	2.8	1.4	3.6	1.7	0.9	1.6
K工場	180	0.3	3.1	1.0	2.2	0.8	1.2	3.9	1.8	1.1	2.7	1.4	2.4
L工場	180	-0.9	3.4	-1.5	1.9	2.2	1.5	3.0	1.4	1.7	1.8	2.7	1.9
M工場	126	2.0	3.8	-0.5	1.1	0.0	1.1	0.9	1.0	2.1	1.6	2.3	1.1
N工場	112	-5.8	3.3	2.3	1.2	2.2	1.1	1.8	1.7	3.4	1.9	1.4	1.1

X_m : 誤差の平均値 S: 誤差の標準偏差

表-5 許容差

(単位: mm)

区分	許容差
桁長 L^{*1}	$\pm \frac{L}{1000}$
断面の外形寸法	± 5
桁のそり *2	$\pm 8^{*3}$
横方向の曲がり	± 10

注 *1 桁長 L は、mmで表す。

*2 スパン中央の値とする。

*3 1径間に使用する桁の本数を1組とし、その平均値からの許容差とする。

を表-4に示す。また、JISの許容差を表-5に示す。出来形寸法はJISの許容差を満足しているが、誤差の平均値は桁長を除き正の値がほとんどであり、一般的に桁製作では、設計値より大きめに製作されていることがわかる。

6. おわりに

本調査はPC桁の製作における基礎的事項のデータを収集することを目的とした。本調査で明らかになったことを列記する。

① 各工場のヤング係数は多少ばらつきがあるものの「道路橋示方書」の値とほぼ等しい。

② 桁のそりは設計値より大きくなる傾向がある。

③ シュミットハンマーにより圧縮強度の推定を行う場合、ハンマー各個の誤差が大きいため、圧縮強度～反発硬度が明らかなハンマーを用いることが望ましい。しかし、測定結果のばらつきは大きい、いずれも材料学会の推定式より高い圧縮強度を示しており、高強度コンクリートの場合、推定式を補正する必要があると考えられる。

④ 出来形寸法はJISの許容差を満足しているが、誤差の平均値は桁長を除き正の値である。

以上、PC桁を工場で作成する場合の基礎的事項の調査結果を述べた。これらの結果が今後のPC桁の製作に対して多少でも参考になれば、本調査の目的は達せられたものと思われる。

最後に、今回の調査に際しご指導をいただいた立命館大学、尼崎省二教授、および、膨大な調査を実施した各工場の諸氏に深甚なる謝意を表します。

【1991年2月18日受付】