

釈迦池橋の試験および施工について(1)

金田 種太郎* 須 川 昭**
御子 柴 光春* 花 田 久**
牧 豊**

1. 概 要

本橋は名神高速道路における長大 P C 橋の一つであり、フレシネー工法による中央ヒンジ結合片持箱桁橋である(図-1 および写真-1 参照)。

橋 長: 114.3 m (スパン 26.7+60+26.7 m)

幅 員: 全幅員 23.100 m

有効幅員 2×9.4 m=18.8 m

工事場所: 大阪府吹田市岸部

工 期: 昭和 36 年 7 月~38 年 1 月(上部工)

施工業者: 下部工 日本国土開発 K K

上部工 九州鋼弦コンクリート K K

図-1

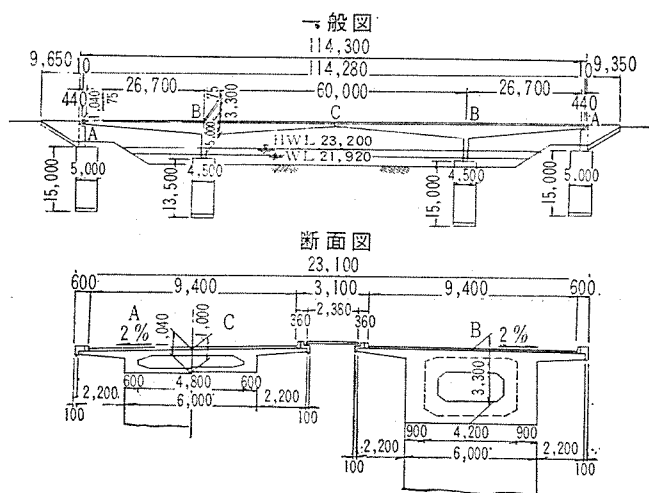
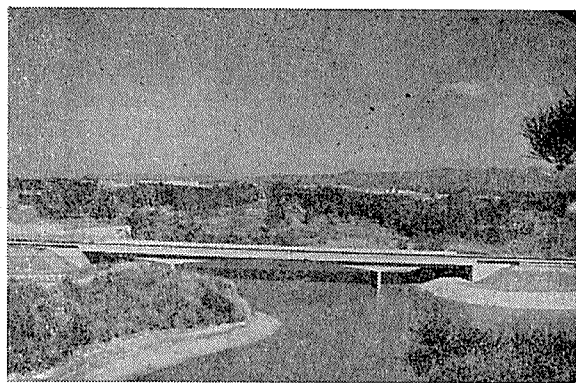


写真-1 釈迦池橋全景



* 日本道路公団大阪第二工事事務所

**九州鋼弦コンクリート K K

中央部のヒンジは水平方向に可動であり、鉛直方向には完全にせん断力を伝達する構造となっている(写真-2 参照)。

地震荷重等水平力は水平ロッカーにより橋台に伝えられ、また橋台に働く上向反力は P C 鋼棒によってとらせる(写真-3 参照)。橋脚は実際には上下両端とも固定されているが、主桁との剛比をいちじるしく小さくして、両端ヒンジと考えて計算されている。側径間では支保工によるコンクリート打設終了後、自重および作業荷重に抵抗できるように仮プレストレスを導入し(写真-4 参照)、また橋梁完成後は負の反力のみを受ける橋台構造となっているので、工事中大きな正の反力に抵抗できるように仮支柱を設けた(写真-5)。

中央径間では 3 m のブロックに分割し、支保工を利用してコンクリート打ちを行なうが、各ブロックごとにプレストレスを導入しながらスパン中央に向かって前進す

写真-2 ヒンジ シュー

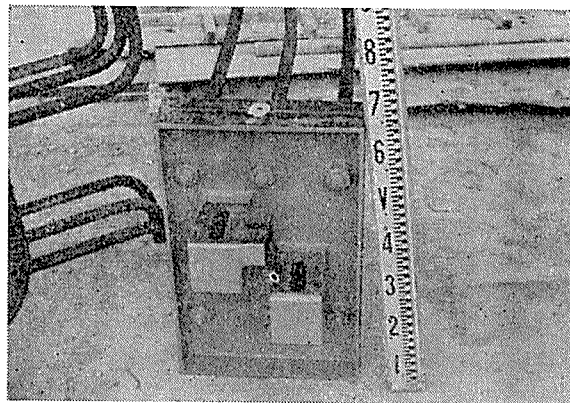
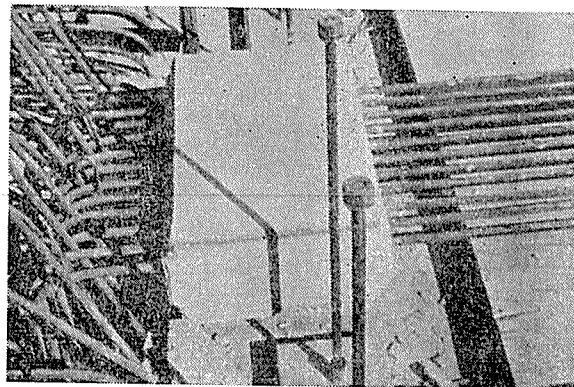


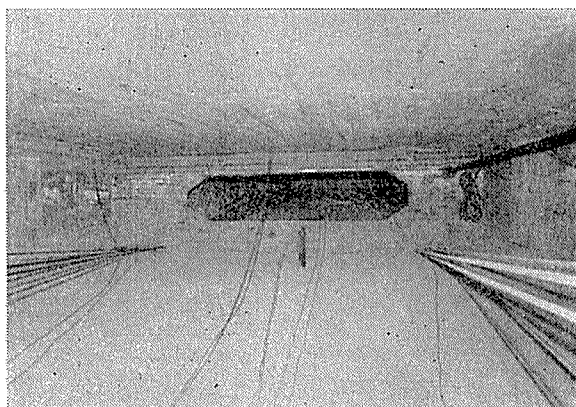
写真-3 コンクリート ロッカーおよび垂直鋼棒



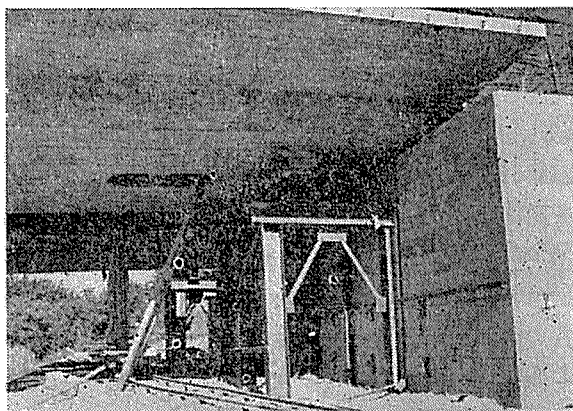
プレストレスト コンクリート

る（写真—6）。側径間の仮締プレストレスおよび仮支柱は中央径間が 80% 終了したときに取除いた。このような施工法の場合は、中央でヒンジ接合するまでは張出ばりとなり、静定構造であるので施工管理を容易にすることができるとともに、中央にヒンジを有するため対称荷重はすべて張出ばりの場合と同様に働くので、温度変化、プレストレス、クリープ、乾燥収縮等による 2 次反力は逃げられることになる。

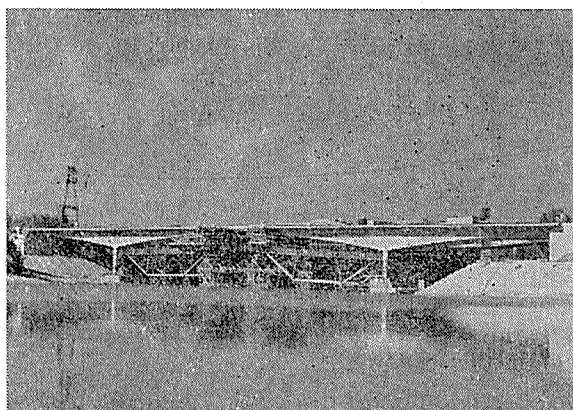
写真—4 仮締ケーブル



写真—5 仮支柱



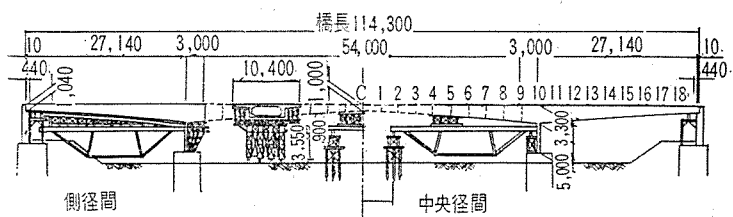
写真—6 中央径間支保工



2. 支保工および型わくの上越し

施工にあたっては 図—2 に示すごとく、まづ側径間神

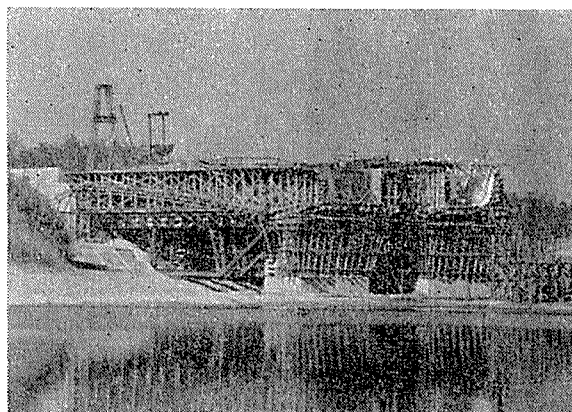
図—2 支保工図



戸側を上下線とも同時に、8 基のガーダー（補強桁形式）を基礎フーチング上に架設し、その上に支保工型わくを組立てた（写真—7）。ガーダー支点と基礎足場の間には 50 t オイル ジャッキをそう入してガーダーの支点沈下を調節し（写真—8）、またガーダーと上部支保工の間には多数の豆ジャッキを入れて、型わくの不等沈下を調節するとともに型わくの脱型に利用した（写真—9）。ガーダーは施工に先立ち設計荷重の 1.5 倍の試験荷重をかけてたわみの測定を行ない、計算値と比較してボルト継手部、ピン部のあそびが、たわみにおよぼす影響を求めた。測定の結果あそびによるたわみ量は設計荷重作用時に 4 mm 程度と考えられた（写真—10）。

ガーダー自重、支保工、型わく重量によるガーダーのたわみは、ガーダー中央点で約 4 mm であるが型わく組立後、上越しの調節を行なえば、型わくの上越し量には関係しない。したがって上越し量に考えらるべきもの

写真—7 側径間支保工型わく



写真—8 ガーダー沈下防止ジャッキおよび測定状況

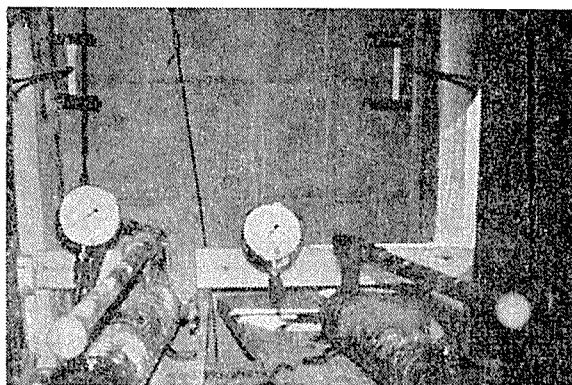


写真-9 豆ジャッキ

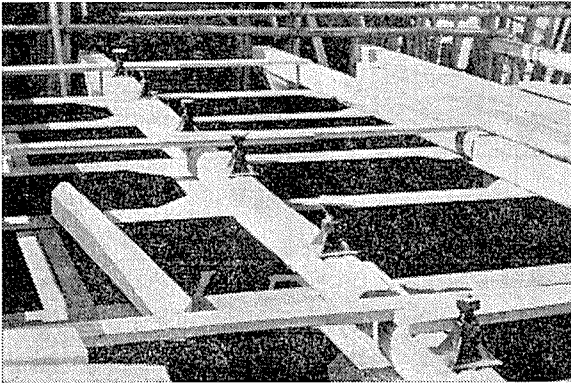
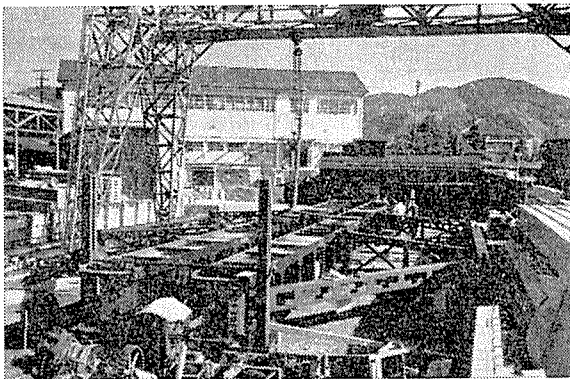


写真-10 ガーダーのたわみ試験



はコンクリート重量によるガーダーのたわみ、支保工型わく圧縮沈下量、自重、プレストレス、舗装高欄荷重、クリープ、乾燥収縮、桁上下縁の温度差によるたわみ等が考えられる。

(1) 木材接点の圧縮沈下量

支点工沈下量のうちで難解なものの一つに木材接点の圧縮沈下量がある。使用木材の許容支圧応力は、せんに平行な場合 20 kg/cm^2 であるので耐圧試験機により、この圧力の場合の沈下量を試験し、その結果より次のように仮定した。

コンクリートと型わく	0.15 mm
木材と木材 (せんに並行)	0.50 "
" (せんに直角)	0.50 "
木材と金属	1.00 "

以上の結果を用いて本橋支保工型わくのすべての圧縮沈下量を求めると 7 mm となった。しかし最初のコンクリート打設による実測の結果は $15 \sim 20 \text{ mm}$ 程度であったので、その後はこの上越し量を 18 mm とした。

(2) クリープ乾燥収縮によるたわみ (試験結果を用いず側径間に応用)

本橋は既述のごとく側径間完成後、中央径間は片持ばり式に張出して、主桁を伸ばしてゆく方式をとったため、クリープ、乾燥収縮によるたわみ、およびプレストレス、自重によるたわみが非常に大きくなる。したがって、こ

れらの諸係数の計算上の仮定が非常に重要である。そこで試験に先立ち試験桁を作って、これら諸係数の測定を行ない、施工時の資料とすることにしたが、側径間施工時までは、その結果が間に合わなかったので次の方法をとった。

a) クリープ係数乾燥収縮度は指針の規定値の $1/2$ ，すなわち $\phi=1$ ， $\epsilon_s=7.5 \times 10^{-5}$ をとり、全断面全ケーブル同時に締つけたものと仮定して、P C 鋼線の減少量を計算し、これよりクリープ乾燥収縮によるモーメントを算出してたわみを計算した。

b) 第二の方法は中央径間打設始めより6ヵ月後のクリープ、乾燥収縮の値を、それぞれ $\phi=1.0$ ， $\epsilon_s=7.5 \times 10^{-5}$ とし、クリープ乾燥収縮進行度表 (指針 p. 57 表-10) より、各断面、各ケーブル群ごとに締付け時期のずれによる ϕ ， ϵ_s の値を求め、それぞれの場合の P C 鋼線応力度の減少量を計算して、各断面ごとに平均し、この値を用いて、クリープ、乾燥収縮によるモーメントを算出してたわみを求めた。すなわち a) の場合より詳細な計算となっている。

以上二つの方法で計算した結果には大差がない。すなわち第一の方法で計算した中央C点のクリープ、乾燥収縮によるたわみ全量は 3.37 cm であるのに比し、第二の方法で計算したそれは 3.32 cm であった。したがって上越し量には第一の値を用いた。

(3) 予備試験

試験桁は幅 17 cm ，高さ 26 cm ，長さ 3 m の矩形ばりを実橋と同配合のコンクリートによって、クリープ測定用7本、乾燥収縮測定用1本、弾性係数測定用2本の合計10本を製作した。クリープ測定用桁では本橋工程に合わせて材令を変化させてプレストレスを導入し、材令の異なる桁にプレストレスを導入した場合のクリープ量の変化を見ることにした (写真-11)。

写真-11 試験桁によるたわみ測定

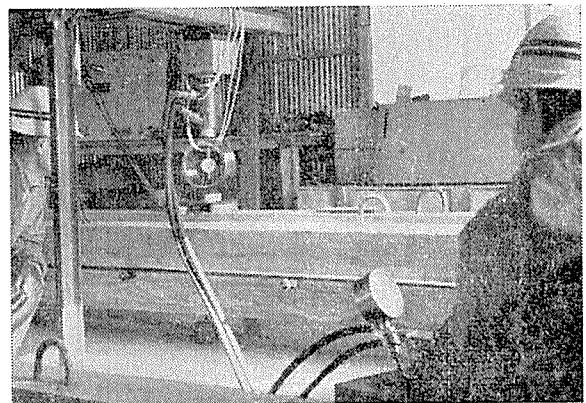
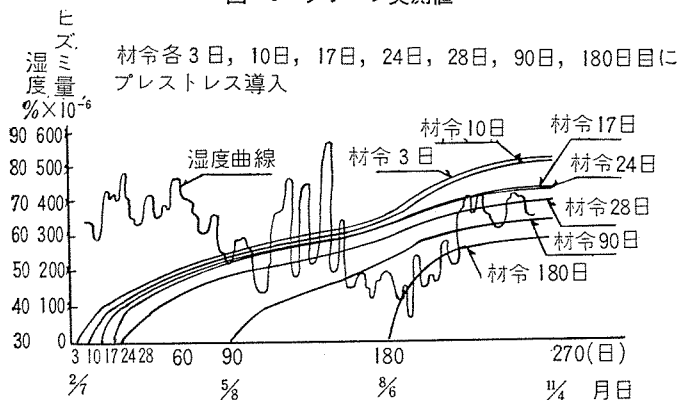


図-3 は試験桁に埋込んだカールソンひずみ計により測定したクリープ量をプロットしたものであり、8月に

図-3 クリープ実測値



クリープが急増しているものは、7、8月に湿度が低かったためと思われる。表-1は各材令のクリープ終局値をRössの式により計算したものである。

Rössの式

$$\varphi = \frac{t}{a+bt} \quad \frac{t}{\varphi} = a+bt$$

$$\varphi_{\infty} = \frac{1}{a/t+b} \quad \cot \alpha = \varphi_{\infty}$$

表-1 クリープの終局値

PS導入時 材令	3日	10日	17日	24日	28日	90日	180日
終極値	2.18	2.08	2.00	1.92	1.82	1.80	1.78

材令による弾性係数の変化については、試験桁に載荷して桁のたわみより求めた E_c と、試験桁にプレストレスを導入した際の弾性変形より求めた E_c および桁と同一条件で採取養生したテストピース (150×300 供試体) にストレインゲージを貼付し荷重をかけて求めた E_c との3種の試験を行ない、図-4の結果を得たが試験時の湿度の高低が測定して得られた弾性係数に相当影響を与えていると推定される。

図-4 材令と E_c との関係

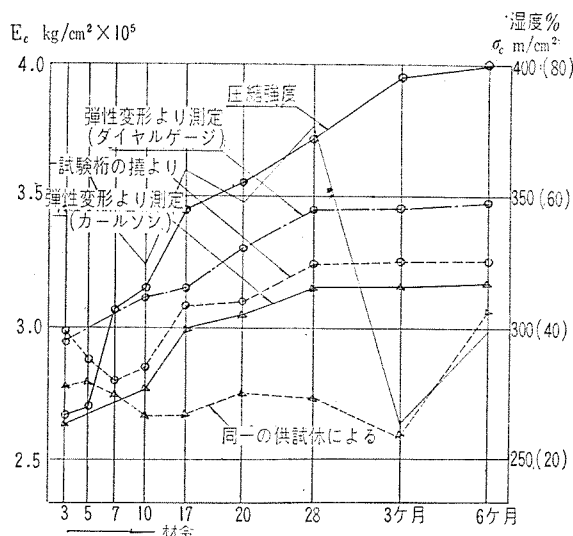
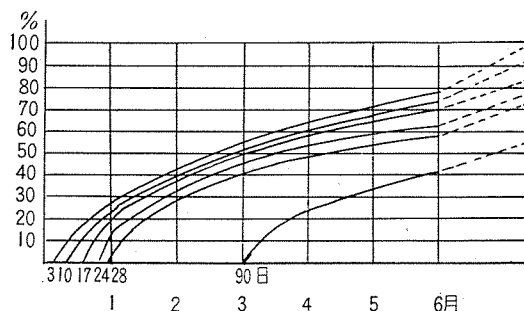


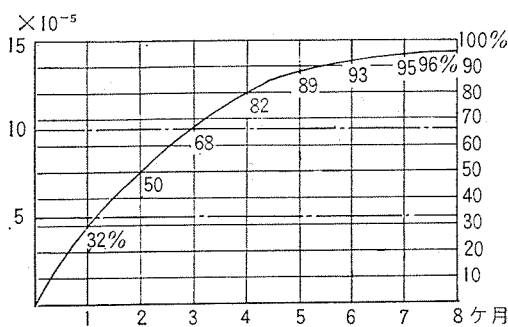
図-5 クリープ進行度図表



3日でプレストレスを導入したものの φ_{∞} を100としそれを基準として各材令の進行度を求めた。

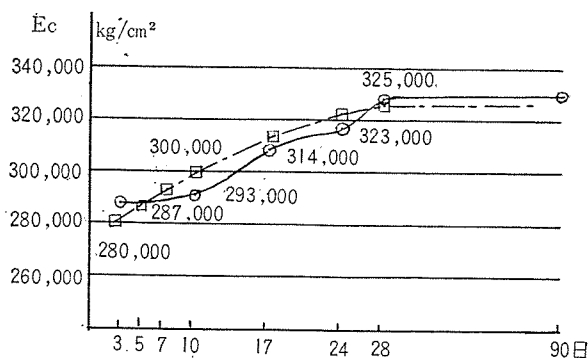
材令3日でPS導入	100%	材令38日でPS導入	69%
" 10日 "	92%	" 45日 "	66%
" 17日 "	83%	" 52日 "	64%
" 24日 "	78%	" 59日 "	62%
" 28日 "	74%	" 90日 "	57%
" 31日 "	73%		

図-6 乾燥収縮量



1ヶ月間で乾燥収縮は終了するものとし、最終値を 15×10^{-5} と考える。

図-7 弾性係数図表



この表は試験桁より求めた E_c とプレストレス導入時の弾性ヒズミをカールソン歪計及びダイヤルゲージにて求めた E_c との三者の平均値である。
鎖線は実測値より推定したものである。

これらの試験結果を基礎にして 図-5, 6, 7 に示すごとく、クリープ、乾燥収縮、弾性係数進行度の値を定めて実橋のたわみ計算に用いた。なおクリープ進行度表は工期的に測定期間の初期の結果のみ用いて推定せざるを得なかったもので、実測値 表-1 の値と多少異なるものを採用する結果となった。

(4) クリープ乾燥収縮によるたわみ（試験結果を用い中央径間に応用）

以上の試験結果を基礎にして材令3日でプレストレスを導入した場合のクリープ係数を、それぞれ $\varphi_{\infty}=1.0, 1.50, 1.75, 2.0$ 、乾燥収縮度は $\varepsilon_s=15 \times 10^{-5}$ の4とおりの場合を次の方法により計算した。

a) 3日でプレストレスを導入した場合の φ_{∞} の値を基準値として、異なった日時にプレストレスを導入した場合の材令の変化にともなうクリープ係数の変化の割合を各断面各ケーブル群ごとに求め、これより平均クリープ係数を求める。すなわち

$$\varphi_m = \frac{\varphi_i \cdot \sigma_{ci}}{\sum \sigma_{ci}}$$

σ_{ci} : ある断面において i 番ケーブル締つけによるコンクリートの応力度

φ_i : ある断面において i 番ケーブル締付け時のプレストレス導入時期に対するクリープ進行度図表（図-5）より求めたクリープ係数の値

b) 乾燥収縮度、弾性係数もクリープと同様に図-6, 7より平均値を求めた。

c) 以上の平均値を用いて鋼線応力の減少量を求める。

d) クリープおよび乾燥収縮によるモーメント

$$\text{クリープ } M_{\varphi} = \frac{r^2}{r^2 + e_p^2} \left(\frac{A_p \cdot \sigma_{ps} \cdot e_p}{n \cdot \mu} + M_d \cdot \varphi_m \right)$$

$$\text{乾燥収縮 } M_s = \frac{r^2}{r^2 + e_p^2} \left(\frac{A_p \cdot \sigma_{ps} \cdot e_p}{n \cdot \mu} + E_{cm} A_c \cdot \varepsilon_{sm} \cdot e_p \right)$$

e) このモーメントを用いモールの定理を利用して、たわみを求める。

f) また側径間の仮締め期間中と、ゆるめたのちのクリープによるPC鋼線応力の減少量は、それぞれ別個に求めたものに前者に4割、後者に6割かけたものを合計して求めた。

以上の計算方法により係数が4とおりの場合のスパン中央C点におけるたわみは次のとおりである。

表-2 クリープ乾燥収縮によるたわみ（単位 mm）

クリープ係数	1.0	1.5	1.75	2.0
たわみ	23.5	35.0	40.6	46.9

$\varepsilon_s=15 \times 10^{-5}$ とする

(5) 型わくの上越し量

以上、支保工型わく上越し計画の考え方の概要を述べたが各項目ごとに計算した計画値は次のとおりである。

a) 側 径 間

① コンクリート打設によるガーダー、支保工木材の沈下量の合計値

表-3 （単位 cm）

断 面	18	17	16	15	14	13	12	11
ガーダー	0	0.88	1.45	1.74	1.85	1.67	1.30	0.38
木 材	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)	1.8 (0.7)
計	1.8 (0.7)	2.68 (1.58)	3.25 (2.15)	3.54 (2.44)	3.65 (2.55)	3.49 (2.37)	3.10 (2.00)	2.18 (1.08)

() 内の数値は当初計画である。図-1 のコンクリート打設結果後は上段の値を用いた。

② プレストレッシング後のたわみ

表-4 （単位 cm）

断 面	18	17	16	15	14	13	12	11
初 期 PS	+0.49	+0.96	+1.30	+1.47	+1.48	+1.34	+1.01	+0.56
桁自重	-0.52	-1.03	-1.42	-1.63	-1.65	-1.48	-1.14	-0.69
クリープ乾燥	-0.16	-0.31	-0.43	-0.49	-0.49	-0.44	-0.33	-0.18
地高舗	-0.09	-0.18	-0.25	-0.29	-0.30	-0.27	-0.21	-0.13
合 計	-0.28	-0.56	-0.80	-0.94	-0.96	-0.85	-0.67	-0.44

+沈下 -そり

③ 全上越し量

表-5 （単位 cm）

断 面	18	17	16	15	14	13	12	11
上越し量	1.52 (0.42)	2.12 (1.02)	2.45 (1.35)	2.66 (1.50)	2.69 (1.59)	2.64 (1.52)	2.43 (1.33)	1.74 (0.64)

() 内の数字は表-3 の場合と同様である。

b) 中央径間

① コンクリート打設によるガーダー、支保工木材の沈下量の合計値

表-6 （単位 cm）

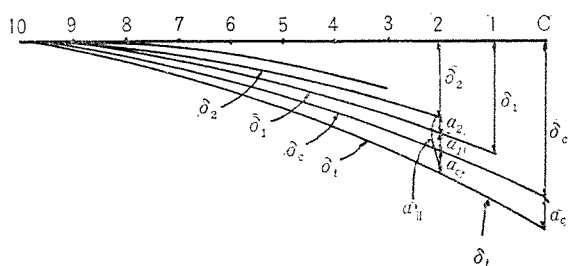
断 面	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C
ガーダー	0	0.57	0.94	0.78	0.68	0.67	0.66	0.25	0.11	1.37
木 材	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
計	1.8	2.37	2.74	2.58	2.48	2.47	2.46	2.05	1.91	3.17

② プレストレッシング後のたわみ

型わく上越し量の基本的な考え方は次のとおりである。

たわみ量

図-8

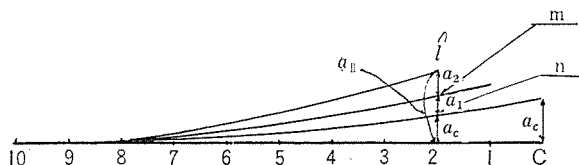


δ_t 曲線…桁自重, プレストレス, クリープ, 乾燥収縮, 舗装高欄荷重等すべての荷重を加えた最終的全たわみ量曲線

δ_1, δ_2 曲線…1, 2……点締付直後のたわみ量曲線, すなわち各点締付時の桁自重, プレストレス, および各点締つけまでに進行するクリープ, 乾燥収縮等の合計たわみ量

導入直後の上越し量

図-9



導入直後の上越し量は

$$C \text{ 点においては } a_c = \delta_t - \delta_e$$

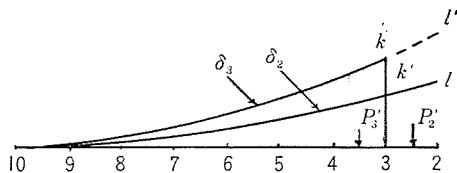
2 点においては P S 導入直後 1 点にあるとすれば, 1 点導入直後 m 点, C 点導入直後 n 点となる。さらに最終的に 2 点に達する。ゆえに

$$a_4 = a_2 + a_1 + a_c = \delta_t - \delta_2$$

型わく組立時の上越し量

同様に 2 点に例をとれば, 1 点の位置はプレストレス導入直後の値であるから, 型わく組立時には, これよりさらに上げておく必要がある。

図-10



3 ~ 4 部打設締付け後 3 点は k 点にある。その後 2 ~ 3 部打設締付け後すなわち荷重 P_2' を加えることにより k 点は k' 点に移動し, 2 点は 1 点にあるようにしなければならない。したがって型わく組立時の 2 点の位置を l' 点とすれば, これは δ_3 曲線の 2 点上の仮空位置を求めればよいことになる。すなわち $l l'$ の値 b_2 だけ導入

直後の値より上越しておく必要がある。

上越し量の計算値

以上の考え方にしたがって $\delta_t, \delta_1, \delta_2, \dots$ 曲線に相当するたわみ量をそれぞれ計算し, 各点の最終的な上越し量を求めると次のようになる。

表-7 神戸側 (単位 cm)

断面	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C
DL+PS	0.17	0.34	0.43	0.41	0.39	0.92	1.50	2.15	2.82	1.20
クリープ乾燥収	(0.18)(0.38)	(0.61)(0.89)	(1.23)(1.63)	(2.05)(2.61)	(3.15)(3.54)	(4.10)	(5.34)	(6.97)	(8.62)	(10.39)
地, 高, 舗	0.14	0.32	0.52	0.77	1.07	1.41	1.79	2.21	2.65	3.09
合計	(0.49)(1.04)	(1.56)(2.09)	(3.19)(3.96)	(5.34)(6.97)	(8.62)(10.39)	(12.61)	(15.69)	(19.00)	(22.07)	(26.38)

() 内は $\varphi=1.50$ の値である。実際には下段 $\varphi=1.75$ の値を用いた。

③ 上下縁の温度差によるたわみに対する上越し量: 片持ばりにおいては桁の上下縁の温度差によるたわみがかなり大きいことが工事中に判明したので, 中央径間に対しては上越し量に考慮することにした。温度差はカールソンひずみ計による測定の結果では最大 10°C くらいであったが通常は 5°C 以内であることより, その $1/2$ の 2.5°C に相当するたわみ量を上越し量とした。

表-8 上下縁温度差による上越し量 $\Delta t=2.5^\circ\text{C}$

(単位 cm)

断面	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C
たわみ	0.05	0.10	0.17	0.25	0.35	0.45	0.57	0.72	0.87	1.07

④ 全上越し量

表-9 (単位 cm)

断面	9	8	7	6	5	4	3	2	1	C
上越し量	(2.34)(3.51)	(4.47)(5.08)	(6.02)(6.88)	(8.37)(9.74)	(11.40)(12.07)	(12.61)	(15.69)	(19.00)	(22.07)	(26.38)

() 内の数字の説明は表の場合と同様である。

次号には「(5) 実測値との比較」以下を掲載の予定。

1963.6.19・受付

最新のプレハブ建築の動きを紹介した Housing from the factory と題する印刷物の注文をうけるとの文書が F.I.P. 本部からきましたので, 必要な方は東京都中央区日本橋通 2 丁目 丸善書店洋書部 会田氏あて御申込み下さい。当協会から丸善には連絡してあります。価額は約 2400 円の予定です。

HOUSING FROM THE FACTORY: Proceedings of a Conference on Industrial Housing organized by the Cement and Concrete Association and held in London on 4th and 5th October 1962 about ¥ 2,400.-