

月夜野大橋上部工の挙動の計測

広 岡 実*
羽 田 義 治**

1. はじめに

一般国道 17 号の交通渋滞の緩和と関越自動車道新潟線との接続を目的とした、群馬県沼田市井土上町から新治村羽場まで全長 5.6 km の月夜野バイパスは、昭和 54 年度から建設を開始し、昭和 60 年秋の完成をめざして鋭意工事を進めている。

月夜野大橋は、このバイパスが利根川を渡河する地点に架橋されたプレストレストコンクリート橋（以下 PC 橋という）である。本橋は、全長 431.9 m で、そのうち

306.80 m については、4 径間連続有ヒンジラーメン構造で、移動架設術を用いた張出し架設工法（P & Z 工法）により昭和 57 年 3 月に橋体が完成し、57 年度の土木学会田中賞を受賞している。

本橋の構造形式である有ヒンジ PC 橋においては、完成後のクリープによる挙動（たわみ）を適確に予測し、施工時の上げ越し管理に反映させることが、供用後の走行性・管理・美観等の面から特に重要である。しかしながら、我が国において現在までに、数多くの張出し架設による PC 橋が施工されているにもかかわらず、実態調

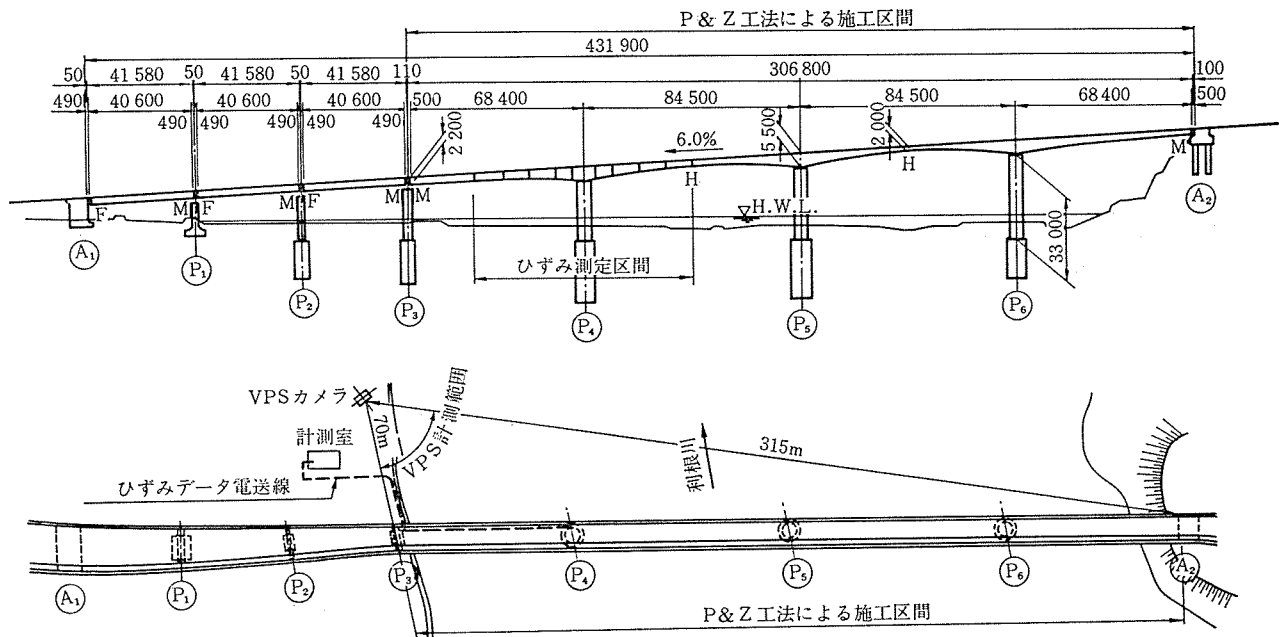
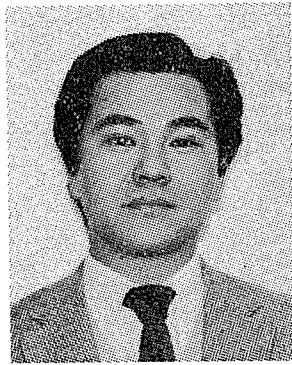


図-1 構造一般図



* Minoru HIROOKA
建設省関東地方建設局
高崎工事事務所調査課長



** Yoshiharu HATA
清水建設（株）土木本部
設計部

査の報告は比較的少なく、調査結果のばらつきも大きいのが現状である。本計測は、新しい架設工法を採用した本橋のクリープ挙動に関するデータを収集し、今後の設計・施工管理に役立てることを目的としている。

竣工後 2 年半を経た現在、まだクリープ変形は進行中であり、今後の舗装による死荷重増や、供用開始後の活荷重により今までと異なった挙動を示すものと予想されるが、本稿では、中間報告の形で、実橋の上部工の挙動について報告する。

2. 橋梁概要

橋 名：月夜野大橋

路線名：一般国道 17 号月夜野バイパス
 工事箇所：群馬県利根郡月夜野町字川原～字上川原
 工事期間：昭和 56 年 1 月 15 日～昭和 57 年 3 月 30 日

橋 格：1 等橋 (TL-20)
 構造形式：4 径間連続有ヒンジ PC ラーメン橋
 支 間：68.4 m + 2 @ 84.5 m + 68.4 m
 幅 員：9.75 m (車道 7.75 m, 歩道 2.00 m)
 架設工法：移動架設桁による張出し架設工法
 PC 定着工法：主ケーブル；フレシナー工法

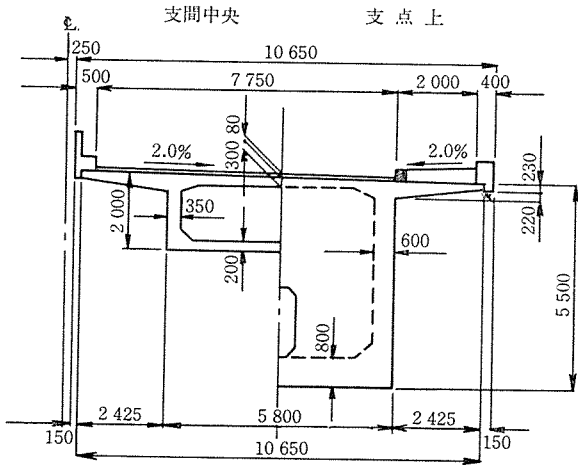


図-2 上部工断面図

表-1 主要材料表

項 目	品 質 形 状	単 位	数 量	摘 要
コンクリート	早強セメント $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$	m^3	2924	
PC 鋼材	PC 鋼より線	SWPR 7 A 12T12.4	t	97 主ケーブル用
	PC 鋼 棒	SBPR 95/120 $\phi 26$	〃	横締め鋼棒
	PC 鋼 棒	SBPR 95/120 $\phi 32$	〃	斜締め鋼棒
鉄 筋	SD 30	〃	240	
支 承	ローラー沓	〃	10	
	ヒンジ沓	〃	5	

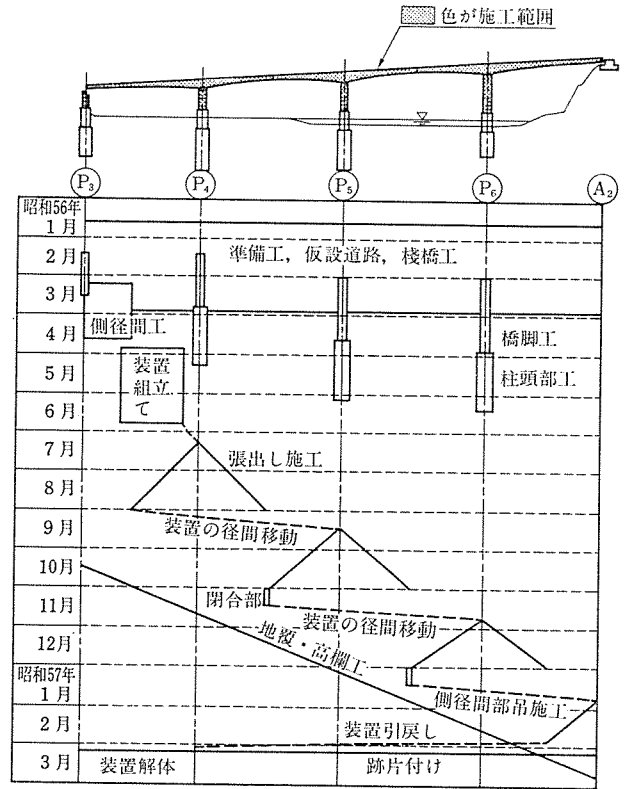
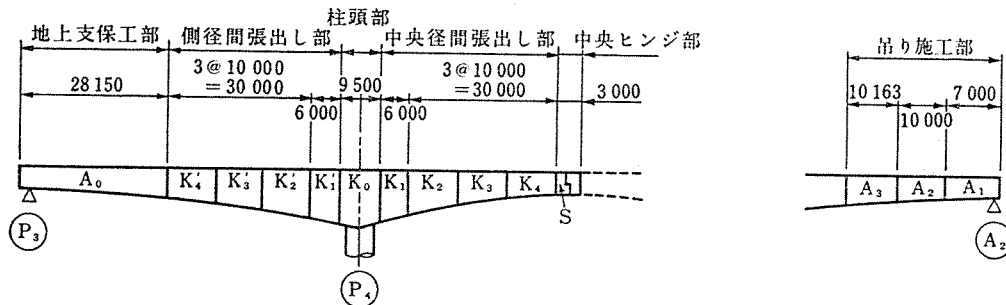


図-4 工事全体工程表

表-2 コンクリートの配合

σ_{ck} (kg/cm^2)	セメントの 種 類	最 大 骨材寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 1 m^3 あたりの配合(kg)					水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	備 考
					セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤			
400	早強ポルト ランドセメ ント	25	8 \pm 2.5	4	423	165	639	1108	1.0575	39.0	37.1	夏 季 用
					440	167	629	1099	1.10	38.0	36.9	春秋冬季用



ブロック	K ₄	K ₃	K ₂	K ₁	K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	S	A ₃	A ₂	A ₁
vol. (m^3)	64.0	78.6	100.7	71.3	67.7	90.3	67.5	57.6	16.5	60.7	57.7	53.9	
重量 (t)	160.1	196.5	251.7	178.2	169.3	225.8	168.8	143.9	41.2	151.8	144.3	134.6	

図-3 ブロック割り図

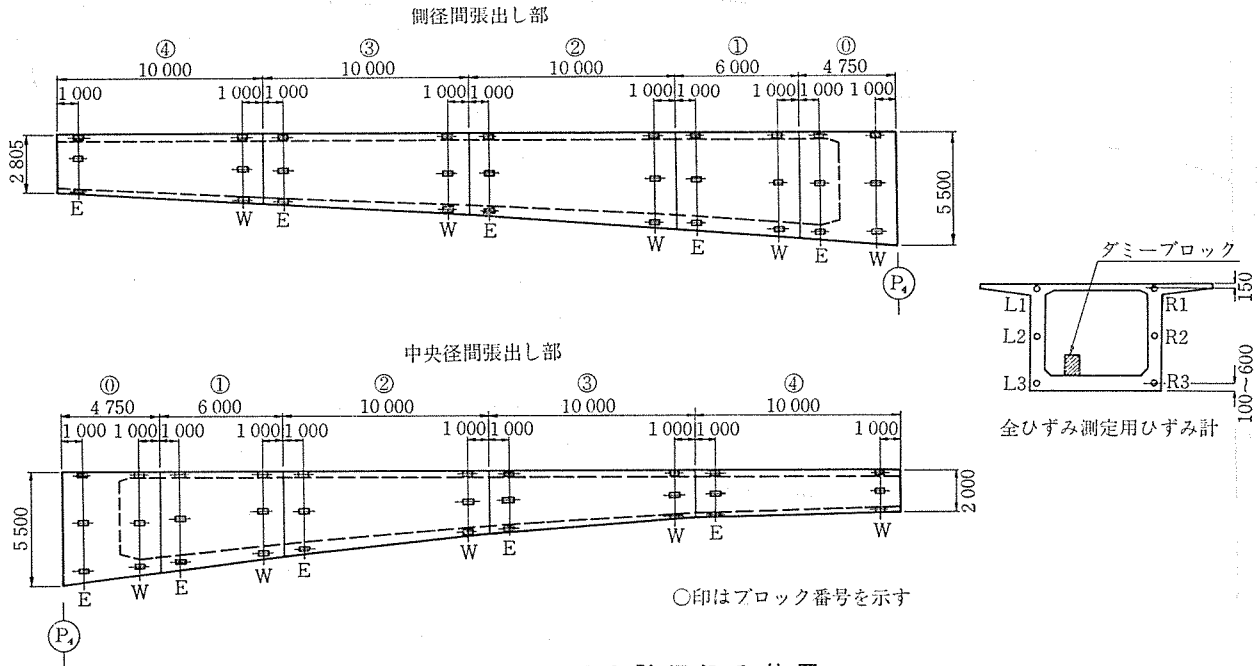


図-5 ひずみ計埋込み位置

横締め・斜締め；PC 鋼棒工法

主要材料は表-1，構造一般図は 図-1, 2 に示すようである。

コンクリートの設計基準強度は 400 kg/cm^2 であり，表-2 に配合を示す。

また，張出し架設によるブロック割りを 図-3，工事全体の工程表を 図-4 に示す。

3. 計測の概要

本計測の計測項目は，橋体コンクリートのひずみ・温度計測，上部工のたわみ計測，支承の移動量計測の 3 項目であり，以下にこれらの概要を述べる。なお，本橋は竣工の時点では橋面荷重のうちその約 1/3 が施工された状態であり，残り 2/3 に当たる歩道コンクリートおよび舗装の施工は昭和 60 年春，また供用開始は同年秋の予定である。

3.1 橋体コンクリートのひずみ・温度計測

コンクリートのクリープ進行曲線は，昭和 53 年の道路橋示方書の改訂に際し，CEB-FIP モデルコードに示された式が取り入れられた。この式が我が国のコンクリート橋においてどのように適用されるのかを調査し，本橋におけるクリープの進行曲線およびクリープの最終値を得ることを目的として，コンクリートが硬化した直後からコンクリートのひずみおよび温度を計測することとした。

計測は，P₄ 橋脚からの張出し部について行い，図-5 に示す位置に 120 個の全ひずみ測定用ひずみ計，30 個の乾燥収縮ひずみ測定用ひずみ計および 60 個の熱電対

を埋め込んだ。

読み取られたひずみの生データは次の手順で補正してコンクリートの真ひずみを求め，クリープ係数を算出した。

① 温度による補正

$$\varepsilon_T = AT^3 + BT^2 + CT + D$$

ここに， ε_T ：温度によるひずみ計の自己ひずみ

T ：コンクリートの温度

A, B, C, D ：ゲージに固有の温度補正係数

② ゲージ率等による補正

$$\varepsilon_0 = (\varepsilon_m - \varepsilon_T) \frac{K_m}{K_g} + (\beta - \alpha) \cdot (T - IT)$$

ここに， ε_0 ：全ひずみ ($\times 10^{-6}$)

ε_m ：測定器の読取りひずみ ($\times 10^{-6}$)

K_m ：ひずみ測定器のゲージ率設定値 ($= 2.0$)

K_g ：ひずみ計 (センサー) のゲージ率

β ：拘束わくの線膨張係数 ($= 11.7 \times 10^{-6}$)

α ：コンクリートの線膨張係数 ($= 10.0 \times 10^{-6}$)

IT ：コンクリートの初期温度

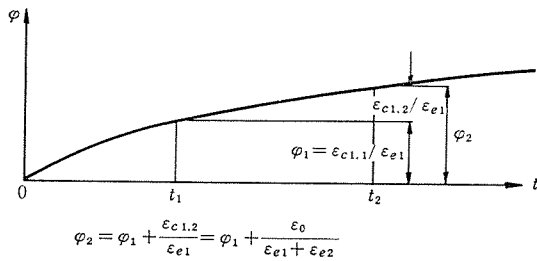
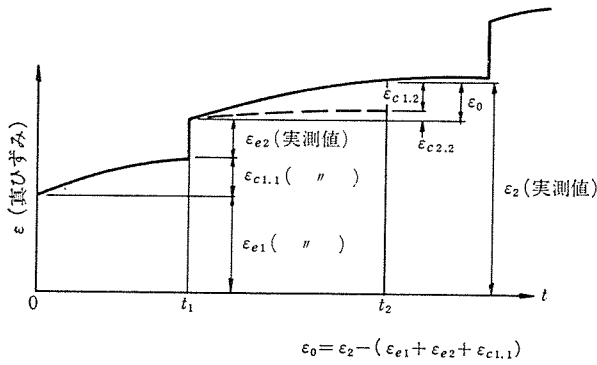
③ 乾燥収縮による補正

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \varepsilon_s$$

ここに， ε ：真ひずみ ($\times 10^{-6}$)

ε_s ：乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)

乾燥収縮ひずみは，橋軸直角方向に埋め込んだひずみ計，および実際のウェブと同一の乾燥条件となるよう端面をコーティングしたダミーブロックに埋め込んだひずみ計により測定し①，②の補正をした値を用いた。



$\varepsilon_0 = \varepsilon_2 - (\varepsilon_{e1} + \varepsilon_{e2} + \varepsilon_{c1.1})$
 $\varphi_0 = \varphi_1 + \frac{\varepsilon_{c1.2}}{\varepsilon_{e1}} = \varphi_1 + \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{e1} + \varepsilon_{e2}}$
 $\varepsilon_{e1}, \varepsilon_{e2}$: 弾性ひずみ
 $\varepsilon_{c1.1}$: ε_{e1} による時刻 t_1 におけるクリープひずみ
 $\varepsilon_{c1.2}$: ε_{e1} による時刻 t_2 におけるクリープひずみ
 $\varepsilon_{c2.2}$: ε_{e2} による時刻 t_2 におけるクリープひずみ
 ε_0 : $= \varepsilon_{c1.2} + \varepsilon_{c2.2}$ (実測値)
 φ_1 : $t=t_1$ におけるクリープ係数
 φ_2 : $t=t_2$ におけるクリープ係数

図-6 クリープ係数の算出方法

④ クリープ係数の算出

張出し架設される橋体は、ブロックが施工される毎に順次弾性ひずみが生じ、その間のクリープひずみもそれぞれの弾性ひずみの影響をうける。ここでは、クリープ係数を次式で定義することとし、測定されたクリープひずみをそれぞれの弾性変形の大きさに応じて比例配分して求めた(図-6 参照)。

$$\text{クリープ係数} = \frac{\text{最初の弾性ひずみによるクリープひずみ}}{\text{最初の弾性ひずみ}}$$

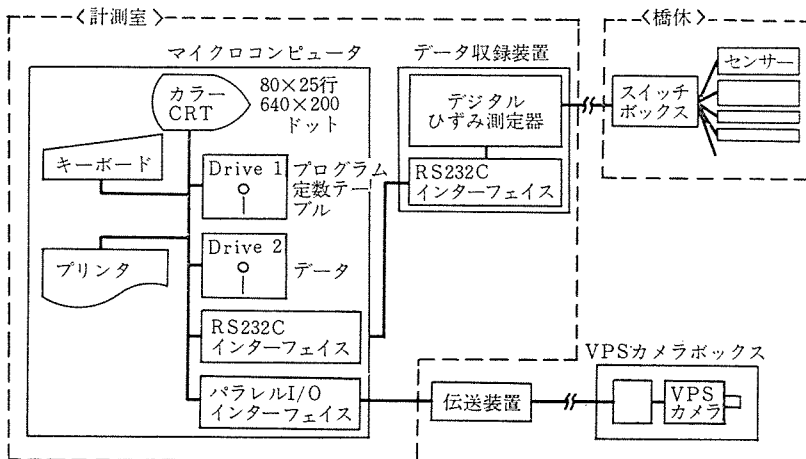


図-7 ハードウェア構成

工事期間中の計測は 図-1 に示す計測室内のマイクロコンピュータの制御により行い、計測データもフロッピーディスクに記憶させた。ハードウェアの構成は 図-7 に示すようであり、必要に応じ処理されたデータを出力できるシステムとした。

竣工後は、スイッチボックスは橋体内に設置したままとし、ひずみ測定器を計測の都度 P₃ 橋脚の下まで運搬して測定した。プリント出力されたひずみ・温度のデータは、手入力によりコンピュータに入力されデータ格納用のフロッピーディスクに格納された。

3.2 上部工のたわみ計測

上部工のたわみは、橋の重要な機能である走行性に大きな影響を与える。特に本橋のような中央ヒンジ形式の橋では、完成後のクリープなどに起因するたわみが大きな問題となる場合もあるので、施工中の線形管理は重要な施工管理の一つとなる。本橋では、道路橋示方書に示されたクリープ進行度の式を用いて計算した上げ越し量を基に型枠の設置高さを決めた。実際には、既に張出しの終了した上部工に施工誤差がある場合、これをなめらかに吸収するように型枠の最終高さを定めたので、この既張出し部の線形を迅速かつ正確に把握する必要があった。このため、VPS (Video Position Scale) システムと呼ばれる非接触型画像式変位計測装置を用いて、測量作業の省力化・迅速化を図った。

地覆・高欄は、橋体の施工完了後直ちに施工にとりかかったが、この時点で橋体コンクリートの材令は 10 日~200 日であった。この時までのクリープ計測の結果によれば、道路橋示方書による計算値の 70~90% のクリープが進行していると考えられた。しかしながら、この時点でクリープの最終値も計算値 ($\varphi_{\infty} \doteq 2.6$) の約 80% になると判断することは危険であると思われたので、地覆・高欄の線形は、クリープがこの時点での測定値から計算上の最終値まで進むものとして決定した。

工事竣工後は、たわみの経時的変化と橋体の最終的な線形を把握すべく、前述のクリープ計測とあわせて上部工のたわみを計測している。計測は、図-8 に示すように橋体上流側の地覆上に設けた 43 点の測点をレベル測量で行い、実測値は温度変化による橋脚の伸縮による影響を考慮して補正した。

3.3 支承の移動量計測

支承は、橋脚の構造解析上の仮定に対し忠実に作動するものでなければならぬ。本計測では、この支承

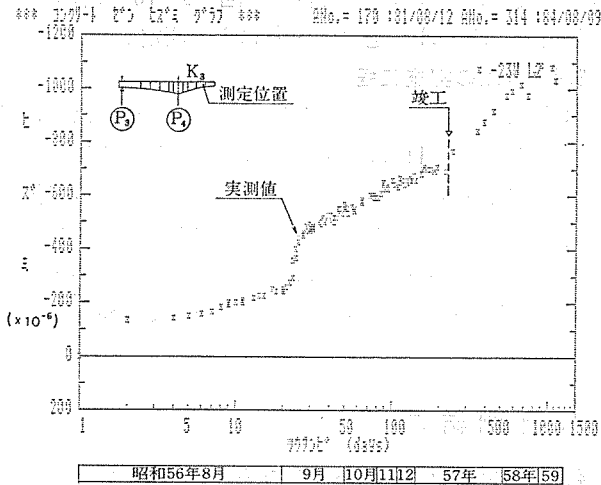


図-12 コンクリートの全ひずみグラフ
(マイコンによる出力)

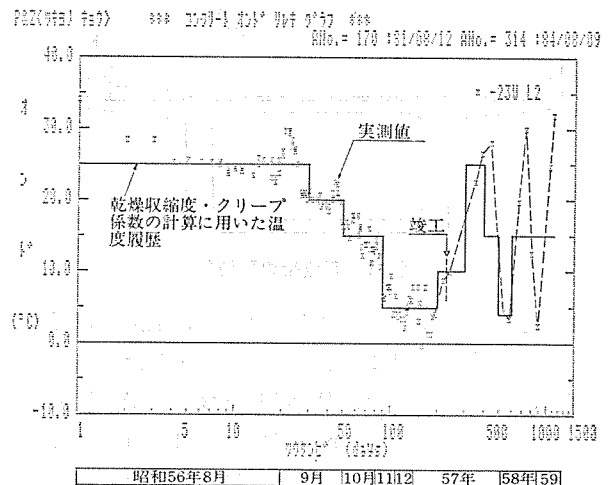


図-15 コンクリートの温度履歴グラフ

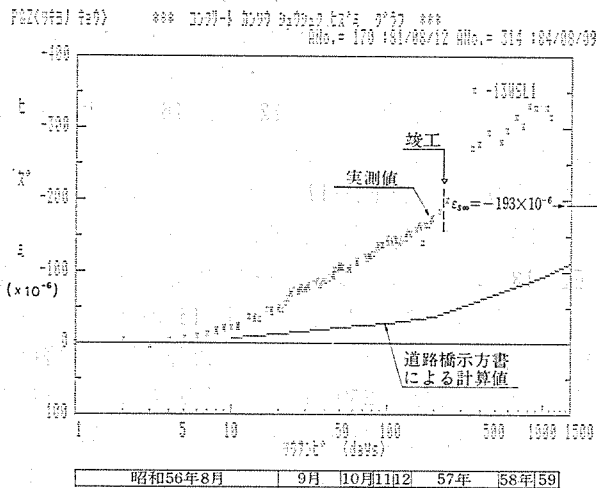


図-13 コンクリートの乾燥収縮ひずみグラフ

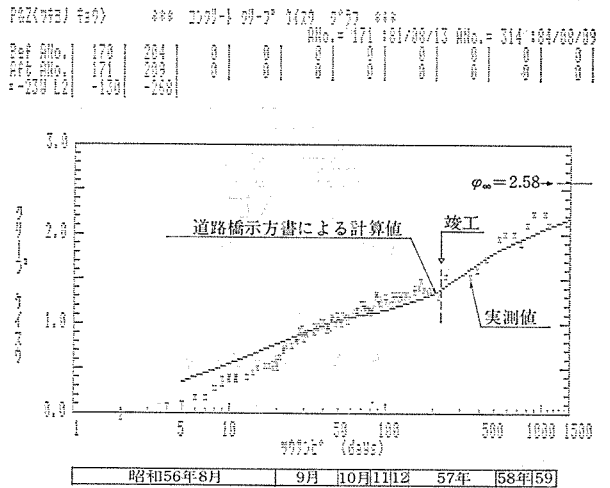


図-16 コンクリートのクリープ係数グラフ

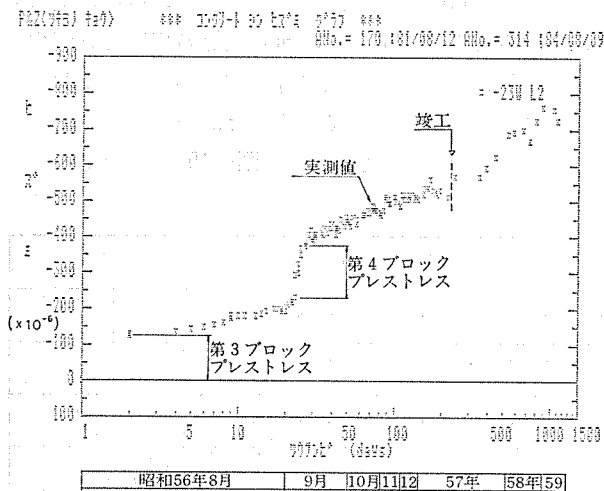


図-14 コンクリートの真ひずみグラフ

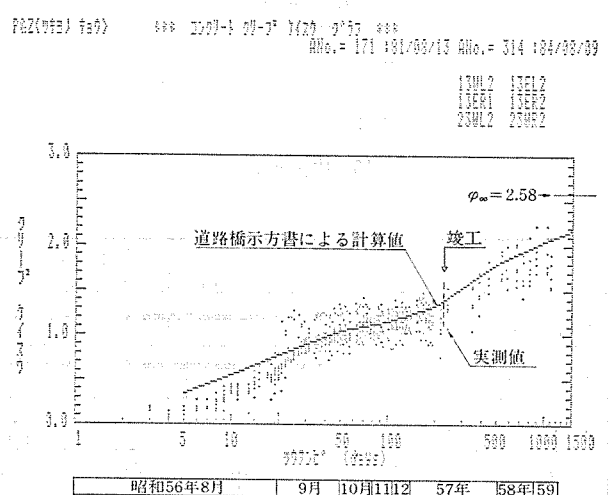


図-17 第3ブロックのクリープ係数グラフ

に、気温の季節変動とほぼ一致しており、実測値を上床版と下床版との熱電対設置位置別に分類すると、上床版と下床版との温度差は、夏期で約 2°C 、冬期で -1°C の差が計測されている。

4.2 上部工のたわみ計測

上部工の全橋にわたるたわみは、竣工後約2年半の期間、橋体コンクリートのひずみ・温度計測と同時に計測されている。図-18に橋梁全体のたわみ変化を、図-19に中央ヒンジ部のたわみ変化を示す。

図-19に示された実線は、橋体コンクリートの温度

計測より得られた実測温度を用いて、実測たわみから、上・下床版の温度差の影響によるたわみを取り除いた値を示し、この補正された値に対し、最小二乗法により求めた回帰曲線が、破線で示された曲線である。これによると、 $P_4 \sim P_5$ 間の中央ヒンジ部では 35mm 、 $P_5 \sim P_6$ 間の中央ヒンジ部では 38mm のたわみが、コンクリートのクリープにより、竣工後2年半の間に進行したことがわかる。

ここで、橋体コンクリートのひずみ計測による実測クリープ係数と設計における上げ越し計算とをもとに、竣

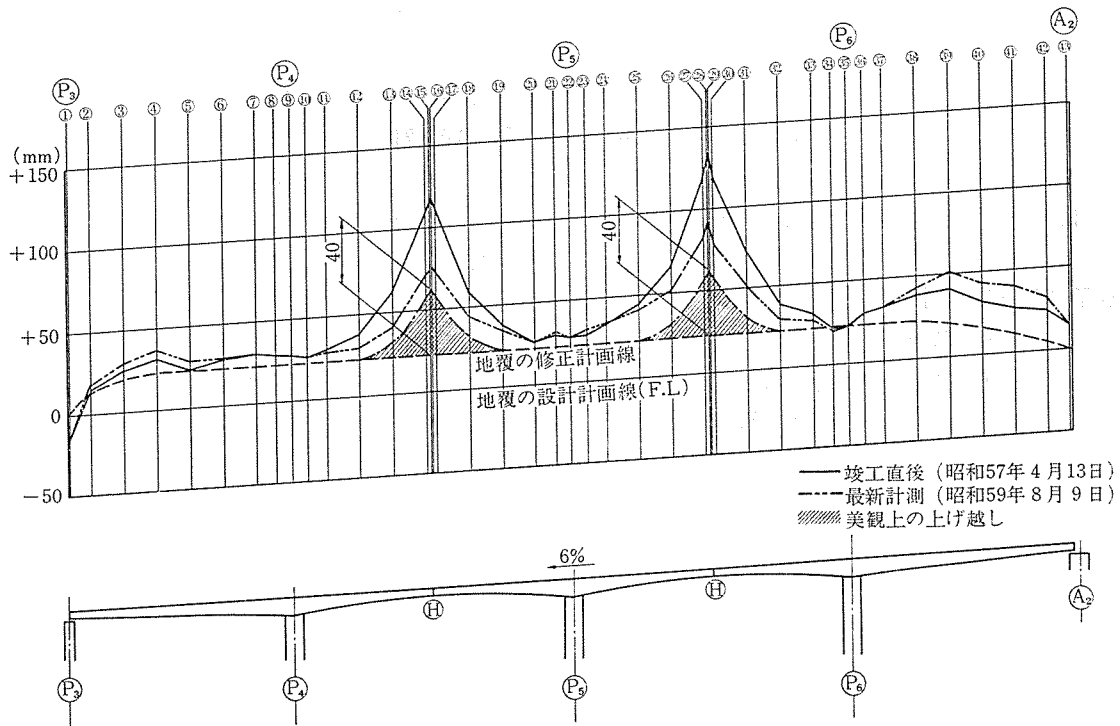


図-18 橋梁全体のたわみ変化

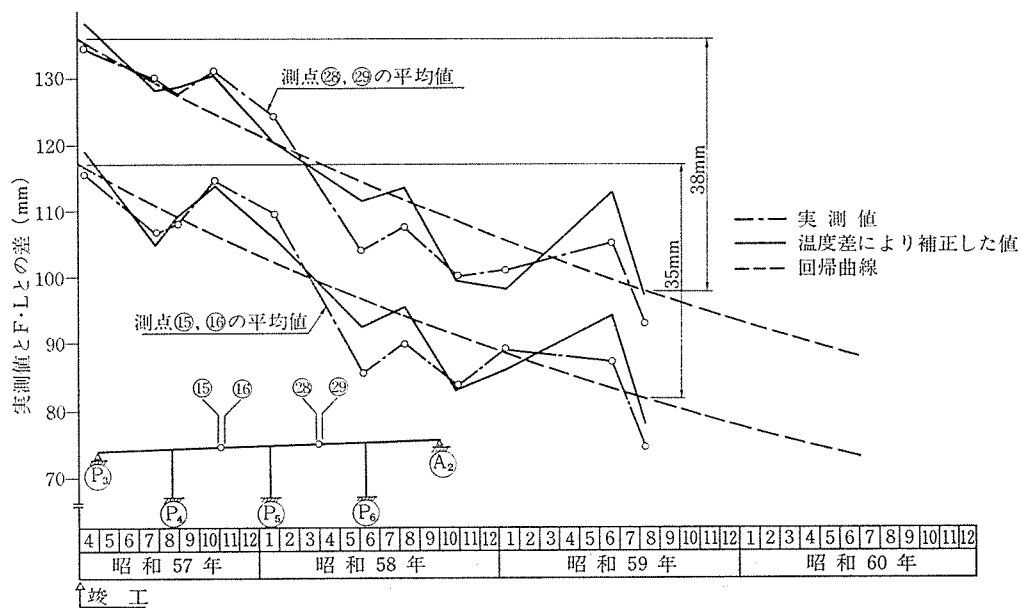


図-19 中央ヒンジ部のたわみ変化

工後から2年半の時間経過に伴って起こる中央ヒンジ部のたわみを計算すると、

	$P_4 \sim P_5$ 間	$P_5 \sim P_6$ 間
主桁自重によるクリープたわみ	66 mm	65 mm
初期プレストレスによるクリープたわみ	-62 "	-61 "
プレストレス減少による弾性たわみ	2 "	1 "
プレストレス減少によるクリープたわみ	2 "	1 "
橋面荷重によるクリープたわみ	8 "	8 "
合計	16 mm	14 mm

となり、計算値の2倍以上のたわみが実測されている。また、図-19より、たわみの進行は、時間の経過とともに、緩やかになってきていることがわかる。

4.3 支承の移動量計測

支承の移動は、昭和57年8月より、約2年にわたり、橋体コンクリートのひずみ・温度計測および上部工のたわみ計測と同時に計測されている。図-20に、 A_2 側ロ

ラー沓の移動の経過を、図-21に $P_5 \sim P_6$ 間中央ヒンジ沓の移動の経過を示す。この支承の移動は、上部工主桁の伸縮に対応するものであり、温度変化、クリープおよび乾燥収縮の影響により起こるものである。

図-20および図-21に示された実線は、昭和57年8月の第1回計測時の橋体コンクリートの平均実測温度を基準温度とし、各計測時の平均実測温度を用いて、実測移動量より、温度変化の影響による支承の移動量(=桁の伸縮量)を取り除いたものである。また、破線は、これらの温度補正された値について、最小二乗法により求めた回帰曲線である。この曲線により示される変化がコンクリートのクリープおよび乾燥収縮による上部工の橋軸方向の収縮を示している。

図-20, 21より明らかに、支承の移動は1年周期で変化しており、温度変化による影響が顕著であることがわかる。また、クリープと乾燥収縮による収縮量は、2年間で A_2 側ローラー沓で13mm、 $P_5 \sim P_6$ 間中央ヒンジ沓で6mmである。

ここで、橋体コンクリートのひずみ・温度計測により、昭和57年8月以降に実測されたクリープ係数および乾燥収縮ひずみをもとに、計算収縮量を求めると、

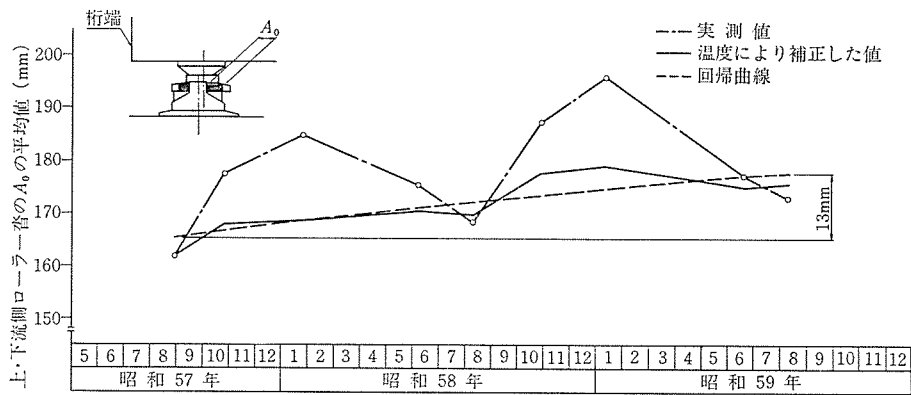


図-20 A_2 側ローラー沓の移動の経過

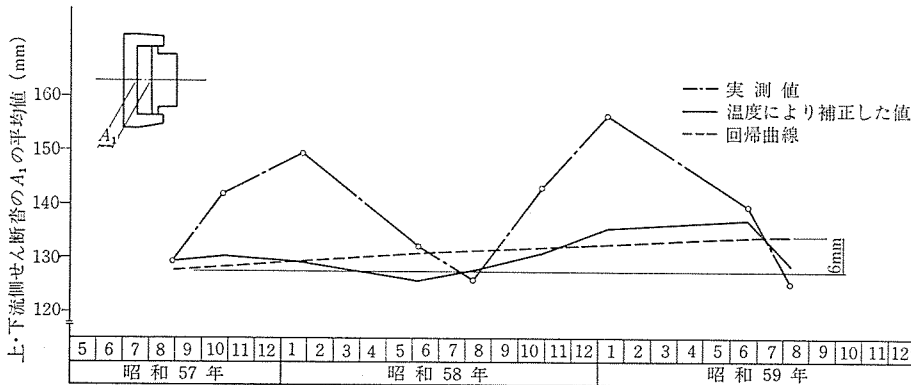


図-21 $P_5 \sim P_6$ 間中央ヒンジ沓の移動の経過

	A ₂ 側 ローラー沓	P ₅ ~P ₆ 間 中央ヒンジ沓
クリープによる収縮量	5 mm	6 mm
乾燥収縮による収縮量	4 "	5 "
合 計	9 mm	11 mm

となり、実測値は、A₂ 側ローラー沓では計算値に近い値であるが、P₅~P₆ 間中央ヒンジ沓については、小さな値が得られている。

4.4 ま と め

4.1~4.3 項にわたり、計測項目毎に、計測結果を報告してきたが、実測値と計算値とでは、2倍以上の差があるものも見られる。特に、本橋のような中央ヒンジ形式の橋梁では重要となる上部工のたわみが、実測クリープ係数が道路橋示方書による計算値に近いにもかかわらず、計算値の2倍以上実測されている。この相違は、1断面に配置された鋼材（鉄筋・PC鋼材）の量の違いにより、実際にはクリープが断面内で一様に進行せず、配置鋼材量の異なる上床版と下床版との間にクリープ差が生じることにより起こるといふ意見がある。今後、データを集積するとともに、この点に着目し、ひずみ-クリープ係数-たわみの関係を、検討・解析したいと考えている。

5. お わ り に

PC 橋、特に中央ヒンジ形式の PC 橋の竣工後のクリープによるたわみ量は、かなり大きい。

一般に、橋桁が垂れ下がりが味より、上反りにある方

が美観上にすぐれ、維持管理上の対処も容易であるので、たわみの予測計算値に「美観上の上げ越し」と称する余裕量を加えることが行われており、この点が技術者の苦心するところであろう。それでもなお、たわみが当初予測を大きく上回ったり、かなりの年数が経っても、わずかしか生じなかったり、その現れ方は多様である。

一定の施工管理基準に則っても、なおバラツキが大きいという事実は、計算法・施工管理の方法に改善の余地があることを示しているが、今回はそこまで言及できず計測データを中心に実橋の挙動を紹介するにとどまった。更にデータを集積し、次の機会に報告したい。

参 考 文 献

- 1) 中村, 樺, 國島, 渡辺: 月夜野大橋上部工の設計・施工, プレストレストコンクリート, Vol. 25, No. 1, 1983 年 1 月
- 2) 榎波, 國島, 渡辺: P & Z 工法による月夜野大橋の設計と施工, セメント・コンクリート, 1982 年 6 月
- 3) 石川, 樺, 久保田, 高橋, 三藤: P & Z 工法における施工管理システム, 橋梁, 1983 年 5 月
- 4) 三藤, 渡辺ほか: マイクロコンピュータを利用した PC 橋の現場自動計測, 土木学会第 7 回電算機利用に関するシンポジウム講演概要, 1982 年 10 月
- 5) 国広, 今井, 佐藤: PC 長大橋のクリープタワミ, 橋梁と基礎, 1968 年 5 月
- 6) 百島: カンチレバー架設したプレストレストコンクリート橋における断面力および挙動の研究, 土木学会論文報告集第 240 号, 1975 年 8 月
- 7) H. リュッシュ, D. ユングビルト: コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮, 鹿島出版会

◀刊行物案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集 (第 2 集)

本書は協会設立 20 周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならい編集した、その第 2 集です。協会誌第 10 巻より 21 巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になる PC 構造物についてとりまとめた設計図集で、PC 技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金（現金為替または郵便振替 東京 7-62774）を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁: B 4 判 224 頁

定 価: 9,000 円 (会員特価 7,000 円) 送 料: 1,000 円

内 容: PC 橋梁 (道路および鉄道) 74 件, PC 建築構造物 25 件, その他タンクおよび舗装等 10 件

申 込 先: (社) プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麴町 1-10-15 (紀の国やビル) 電話 03 (261) 9151