

新型のコンクリート応力計とPC斜張橋の クリープ測定への応用

夏 目 忠 彦*
徳 山 清 治**
日 紫 喜 剛 啓***

1. はじめに

PC橋などのコンクリート構造物の応力測定は、通常コンクリートのひずみを測定し、これに弾性係数を乗じて応力を求める方法によっている。このような方法では、ひずみの測定値に、弾性ひずみのほかにクリープ・乾燥収縮ひずみも含まれているので、ひずみから求めた応力はいわゆる“みかけの応力”となる。特に測定が長期にわたる場合は、このクリープ・乾燥収縮ひずみの影響が無視できなくなる。このため弾性ひずみおよびこれに直接対応する“実応力”やクリープ・乾燥収縮ひずみの大きさを知らうとする場合には、両者を分離する必要が生じる。分離の方法で最も直接的なのは、コンクリート応力計による実応力の測定である。コンクリート応力計としては、カールソン型、グレーツェル型等が知られているが、PC構造物を始めとして実構造物への適用例は少ない。これは後述するように、これらの応力計には性能上および使用上種々の欠点があったためと推察される。このため、従来の応力計と比較してより実用性の高いコンクリート応力検出方法について検討を進め、新型のコンクリート応力計を開発した¹⁾。

この新型のコンクリート応力計は、室内試験結果および多数の実構造物の応力測定への適用実績から、性能・使用上高い実用性および有用性が認められるので、ここでその原理、室内試験で確認した諸性能、実構造物への

適用例を紹介する。なお、実構造物への適用例としてはPC斜張橋のクリープ測定への適用例である。

2. 新型コンクリート応力計の開発

2.1 開発の背景

従来型の応力計の性能および使用上の問題点として次の事項があげられる^{2),3),4)}。まず性能面からは、

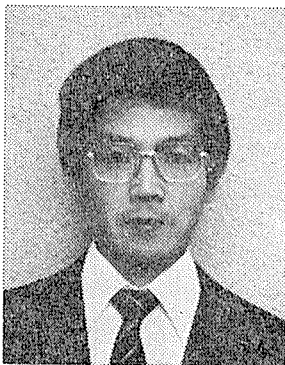
- 計器の検定手法が複雑で、明解な方法がない。
- 計器自体の弾性係数が一定であるため、測定対象コンクリートの弾性係数が計器のものと一致しない場合は測定誤差を生じる。したがって、弾性係数が増加途上にある若材令コンクリートでは正確な測定結果が期待できない。
- 引張応力度が測定できない。
- 温度変化に対する特性が複雑で、完全な温度補正が困難である。

また使用面からは、

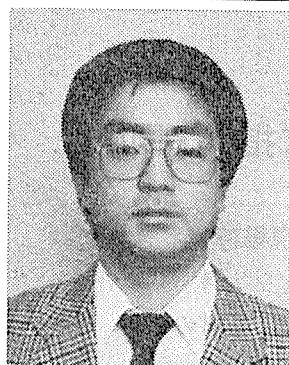
- 平板状の受圧面を測定対象コンクリートに空隙なく完全に密着させないと大きな測定誤差を生じる。このため、埋設に熟練技術を要するばかりでなく、取付け位置がコンクリートの水平打継部に限定される。打継部以外に埋設する場合は、あらかじめ応力計全体をコンクリートブロック中に入念に埋設しておき、更にこれを測定位置に埋設するなど予備作業を必要とする。

- 応力計によっては特殊な計測装置や油圧配管を必要とし、遠隔測定に不向きである（グレーツェル型応力計の場合）。

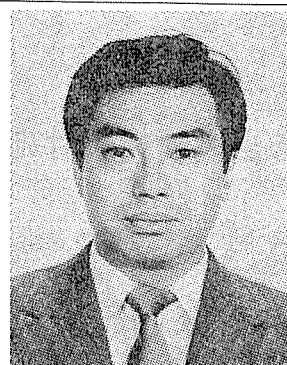
従来の応力計をたとえばPC構造物の応力測定に適用しようとする場合、PC構造物ではプレストレス導入等により比較的若材令での応力変化が大きい場合が多く、またPC鋼材や鉄筋の配置が複雑であるため、上記



* Tadahiko NATSUME
鹿島建設(株)技術研究所
土木部



** Seiji TOKUYAMA
鹿島建設(株)技術研究所
土木部



*** Yoshihiro HISHIKI
鹿島建設(株)技術研究所
土木部

のうち b, e が特に大きな制約になっていると考えられる。

ここに紹介する新型のコンクリート応力計は応力計として要求される基本的性能を有し、しかも従来の応力計にみられた欠点を解消してひずみ測定と同程度の手軽さで使用できる実用性の高い応力検出計器を目指して開発したものである。

2.2 測定原理

新型のコンクリート応力計（以下応力計と略称）の構造を図-1に示す。応力計はこの図に示すように、荷重検出器（以下ロードセルという）と、埋設の際測定対象コンクリートを打ち込んだ柱状のコンクリート部分（以下柱状部分という）を直列に配置したもので、全長にわたって縁切り材により測定対象コンクリートから応力に対して絶縁されている。縁切材は透水性のもので、柱状部分と測定対象コンクリート間の水分移動は自由である。測定すべき応力は、応力計両端から柱状部分を経てロードセルに伝達され荷重として検出される。この応力計の構造上のポイントは次の4点である。

- 柱状部分を、応力計埋設時に測定対象コンクリートを打ち込んで製作する。
- 柱状部分は、測定対象コンクリートと応力に対して絶縁されているが、水分移動は自由である。
- 柱状部分の長さに対しロードセルの長さが十分に小さい（例えば 1/10）。
- 広い受圧面を持たない構造である。

このような構造を採用することにより従来の応力計の問題点は次のように解消される。

2.2.1 応力計の検定

応力計の感度検定はロードセルの荷重検定のみでよ

く、応力度は検出した荷重を柱状部分の断面積で除せば求められるので、非常に簡単・明解である。

2.2.2 応力計の弾性係数および測定誤差

測定対象コンクリートの弾性係数が変化した場合、応力計のみかけの弾性係数と測定対象コンクリートの弾性係数の整合性を両者の比 (K_e) で表わすと次式のとおりである。

$$K_e = \frac{l_s + l_c}{\frac{E_c}{E_s} \cdot \frac{A_c}{A_s} \cdot l_s + l_c} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

K_e : 応力計と測定対象コンクリートの弾性係数比

l_c : 柱状部分の長さ

l_s : ロードセルの長さ

E_c : 測定対象コンクリート (= 柱状部分コンクリート) の弾性係数

E_s : ロードセルのみかけの弾性係数

A_c : 柱状部分の断面積

A_s : ロードセル起わい部の断面積

また、応力計の指示応力度 σ_m と測定対象コンクリートの応力度 σ_c の間には、

$$\sigma_m = K_e \cdot \sigma_c \dots\dots\dots (2)$$

の関係が成り立つので、弾性係数の不整合に起因する測定誤差 e は

$$e = \frac{\sigma_m - \sigma_c}{\sigma_c} = K_e - 1 \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。

図-2に(1)式より $l_s/(l_s + l_c)$ をパラメータにして求めた E_c の変化に伴う K_e を示す。図のように、 $l_s/(l_s + l_c)$ が小さいほど弾性係数の整合性は向上する。ここで、比較的簡単に実現できる $l_s/(l_s + l_c) = 0.1$ の場合に

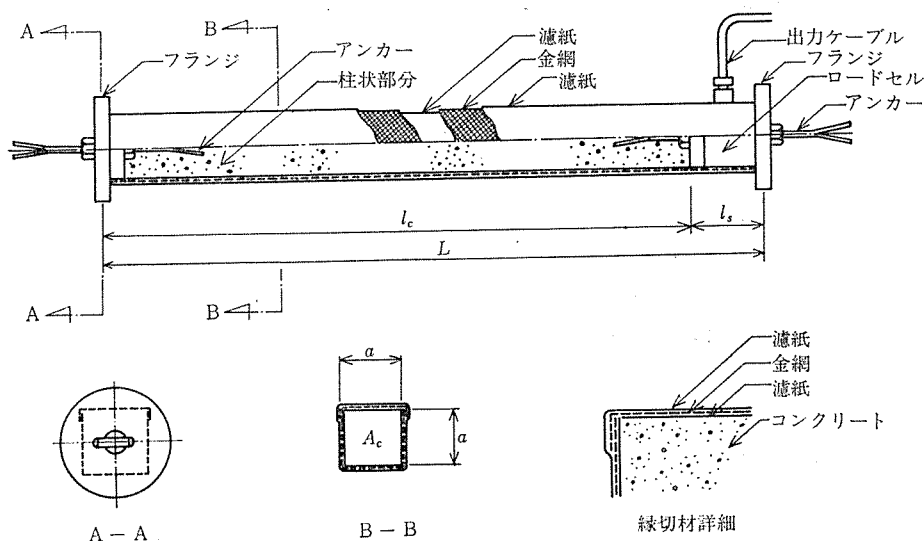
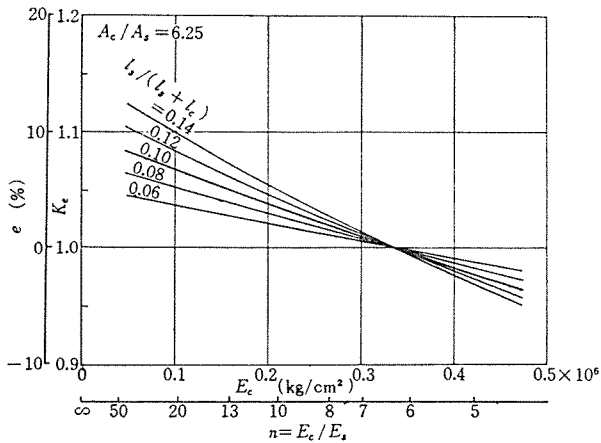


図-1 応力計の構造



図—2 応力計の弾性係数変化

ついてみると、通常の硬化コンクリートがとり得ると考えられる弾性係数 $E_c = 0.05 \times 10^6 \sim 0.4 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ の範囲において K_e の変化は 1.09~0.98 であり、弾性係数の不整合に起因する測定誤差 e を 10% 以内にとどめることができる。また、測定対象コンクリートの弾性係数が $0.2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 程度に達してから測定を開始する場合は、その後の弾性係数の変化に伴う測定誤差 e は 5% 以内である。

2.2.3 引張応力の測定

ロードセルと柱状部分およびこれらと測定対象コンクリートを付着機構によって連結し、引張力を伝達できるようにしたので、柱状部分にひびわれが発生するまでは引張応力が測定可能である。

2.2.4 温度変化に対する特性

応力計の見かけの線膨張係数と測定対象コンクリートの線膨張係数に差があると、温度変化を伴う場合に測定誤差を生じる。 α を測定対象コンクリートの線膨張係数、 α_s をロードセル起わい部材料の線膨張係数とすると、 α_c と応力計の見かけの線膨張係数との比 K_α は次式で表わされる。

$$K_\alpha = \frac{\alpha_s \cdot l_s + l_c}{\alpha_c} \dots\dots\dots (4)$$

2.2.1 と同様に $l_s / (l_s + l_c)$ を 0.1 とし、 α_s を $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ とすれば、 α_c の $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \sim 13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ の範囲での K_α は、1.01~0.98 となり、応力計の見かけの線膨張係数を測定対象コンクリートに十分近似できる。したがって応力計の出力に対する温度補正は実用上省略可能である。

2.2.5 埋設の容易性

埋設は、柱状部分に測定対象コンクリートを充填してからコンクリート中に埋設するのみでよく、広い受圧面を持たないので熟練技術を必要とせず、かつ埋設位置および埋設方向の自由度が高い。

2.2.6 応力計としての基本性能

応力計の柱状部分の応力度は、構造上測定対象コンクリートと常にほぼ等しく保たれている。また、柱状部分は測定対象と同質・同材令のコンクリートで、更に測定対象コンクリートと水分移動が可能なため含水状態も同様である。したがって、柱状部分のクリープ・乾燥収縮による変形量は測定対象コンクリートとほぼ等しくなる。このため、測定対象コンクリートにクリープ・乾燥収縮ひずみが生じてもロードセルには荷重として検出されず、実応力のみが測定できる。

また、柱状部分の応力度を荷重として検出する構造であるので、ひずみの拘束により生じる応力も測定可能である。

以上に述べた応力計の特長を従来の応力計と比較して示すと表—1 のとおりである。

2.3 性能確認試験

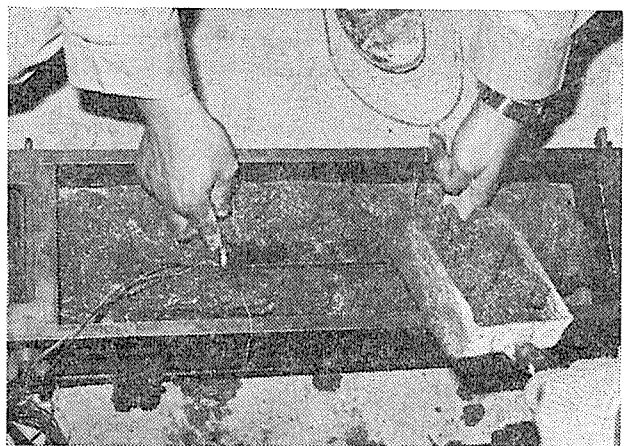
表—1 応力計の性能比較

項目		応力計種別	
		従来の応力計	応力計
性能	較正の容易性	複雑	※ 容易
	塑性ひずみに対する感度	なし	※ 容易
	拘束応力の測定	できる	できる
	計器の弾性係数	一定不変	※ 変化する
	引張応力の測定	できない	※ できる
使用上	温度補正	複雑	※ 不要
	埋設の容易性	熟練技術必要	※ 容易
	埋設位置の制約	あり	※ なし
使用上	特殊計測装置の必要性	必要(グレースェル型の場合)	不要

※ 印は特に改善された点

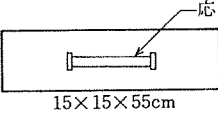
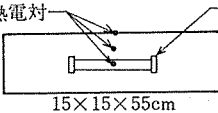
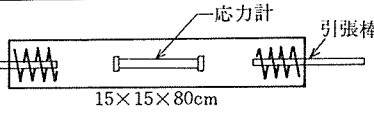
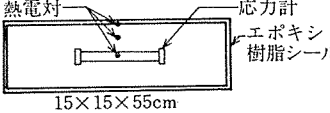
表—2 試作応力計の諸元

計器長	ロードセル長さ	柱状部分長さ	ロードセル断面積	柱状部分断面寸法	柱状部分断面積
L (cm)	l _s (cm)	l _c (cm)	A _s (cm ²)	a×a (cm)	A _c (cm ²)
20	2	18	0.85	2×2	4



写真—1 試作応力計の埋設状況

表—3 試験体の種類

試験体名称	試験体の構造寸法	モルタルの配合		数量
		C:S	W/C	
Type-A	 15×15×55cm	1:1	0.32	6
Type-B	 15×15×55cm	1:1	0.31	3
Type-C	 15×15×80cm	1:1	0.33	3
Type-D	 15×15×55cm	1:1	0.31	3

以上のような原理に基づいて応力計を試作し、表—1に示す新型応力計の各性能を試験によって確認した。

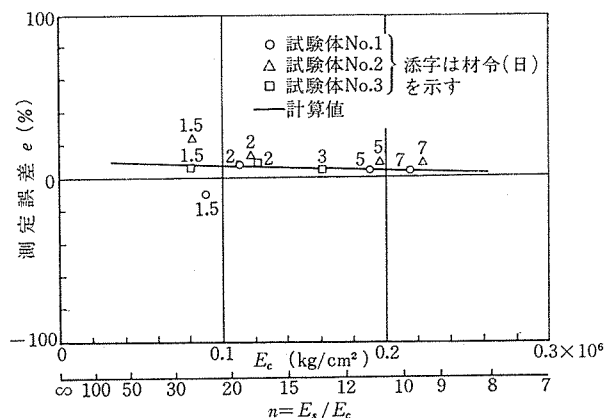
性能試験に用いた応力計はモルタルを対象に試作したもので、その構造および諸元は 図—1、表—2 に示すとおりである。また、試験体は 表—3 に示すように、性能試験の種類に応じて 4 種類のものを用いた。写真—1 に試験体製作状況を示す。

以下に各種性能試験結果について、その概要を述べる。

2.3.1 弾性係数変化に対する出力特性

Type-A 試験体を標準養生する過程で種々の材令時(1日~40日)に載荷試験を行い、試験体の弾性係数と、応力測定誤差の関係を調べた。

結果は 図—3 に示すとおりで、試験体モルタルの弾性係数が広範囲 ($0.08 \times 10^6 \sim 0.22 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$) に変化しても測定誤差はほぼ一定で、かつ (3) 式から求められる値とも対応している。これは応力計の弾性係数が測定



図—3 弾性係数変化に伴う測定誤差

対象モルタルの弾性係数変化に良好に追随していることを示す。

2.3.2 応力計の直線性

Type-A および Type-B 試験体を用いて圧縮および引張載荷を行い、応力計出力の負荷応力度に対する直線性を調べた。その一例を 図—4 に示す。この結果からみられるように引張応力度の測定も可能で、圧縮側・引張側とも破壊応力度に達するまで、良好な直線性が保たれている。

2.3.3 クリープひずみに対する特性

エポキシ樹脂でコーティングして乾燥を防いだ Type-D 試験体に長期一定荷重を載荷し、クリープひずみの進行に対する応力計の出力を調べた。結果の一例

を 図—5 に示すが、応力計の出力はクリープによる試験体のひずみ増加には無関係にほぼ一定値を示し、実応力に無関係なクリープひずみに対しては出力を生じない特性を有している。

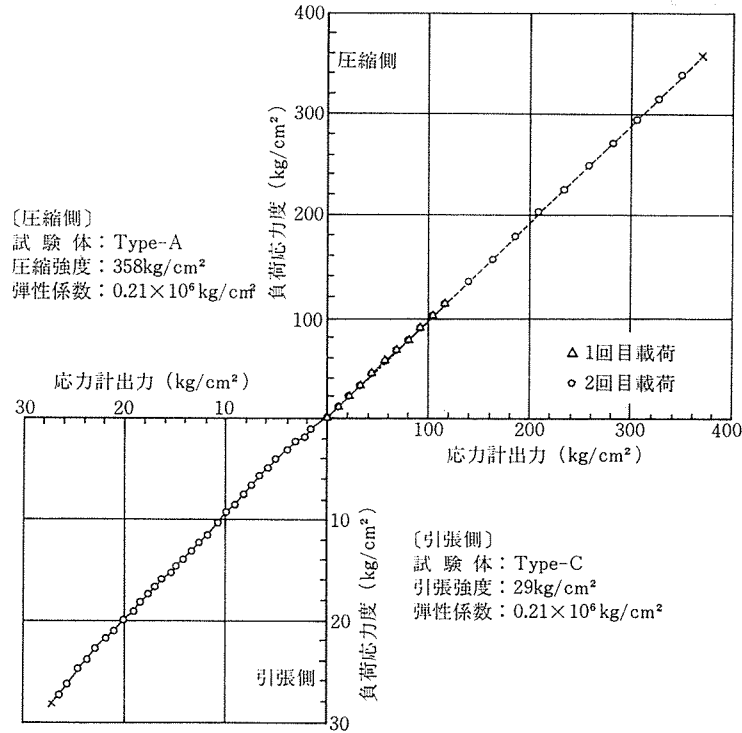
2.3.3 乾燥収縮に対する特性

28日間標準養生した Type-A 試験体に室温 $\sim 60^\circ\text{C}$ の温度サイクルを与えて強制的に乾燥収縮を促進させ、乾燥収縮ひずみに対する応力計の出力を調べた。結果の一例を 図—6 に示す。図にみられるように、始めは試験体の中心部より表面の方が乾燥が進むため、試験体断面内で不均一な乾燥収縮ひずみを生じ、内部拘束によって応力計は圧縮応力を検出する。しかし断面各部の乾燥度がほぼ一様となったと考えられる 800 時間経過後では、約 230×10^{-6} の乾燥収縮ひずみが生じているが応力計の出力はほとんど零になっている。これから応力計は乾燥収縮ひずみに対して出力を生じない特性を有することが確認できる。

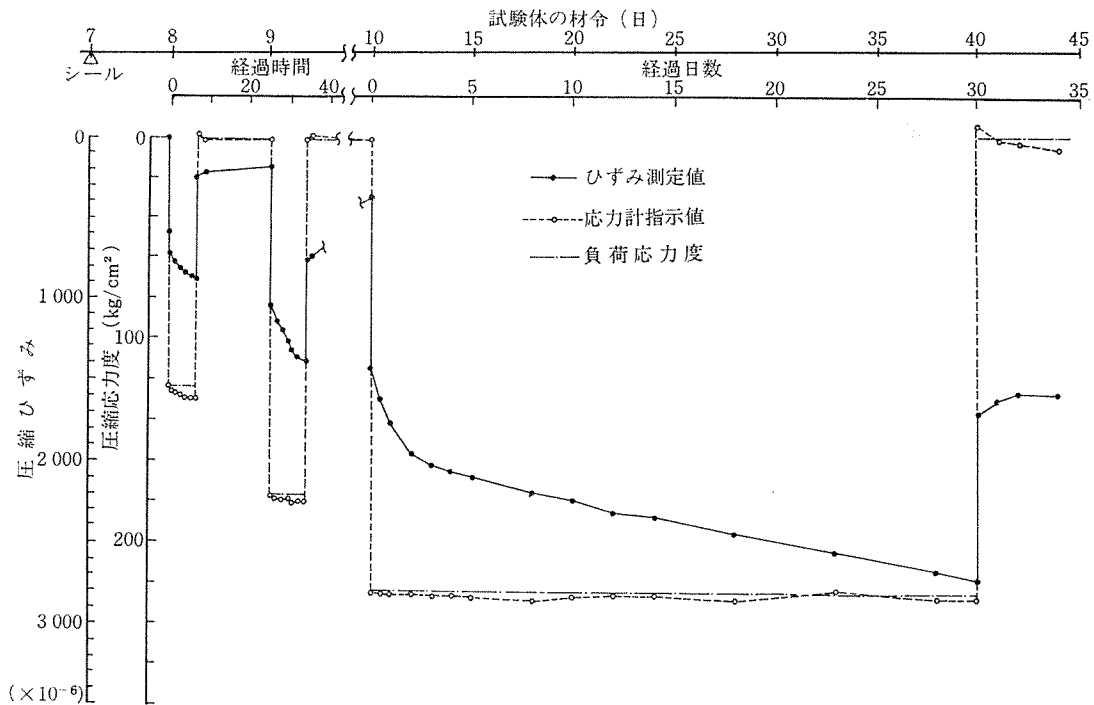
2.3.4 温度変化に伴うひずみに対する特性

乾燥を防いだ Type-D 試験体に無拘束で温度変化を与え、自由膨張・収縮ひずみに対する応力計の出力を調べた。結果は 図—7 に示すとおりで、温度昇降過程では試験体断面の温度差による温度応力が検出されるが、断面各部の温度が均一になった時点では応力計の出力はほとんど生じない。

一方、Type-D 試験体を温度上昇させ、生じる伸びを電気油圧式ジャッキで自動的に押し戻して完全拘束状態とし、拘束荷重および応力計の出力を調べた(写真—2)。結果は 図—8 に示すとおりで、試験体断面各部の温度が均一になった状態での応力計の出力は、拘束に必要な荷重から求めた値と一致する。



図—4 応力計の直線性



図—5 クリープに対する特性

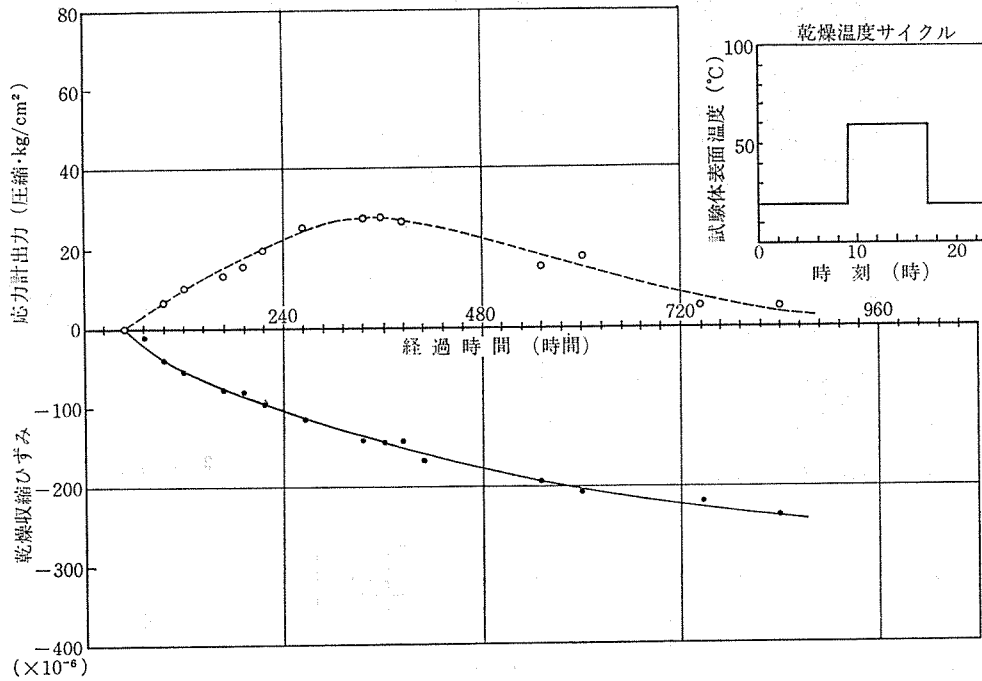
以上のように、応力計は測定対象コンクリートの温度変化に伴うひずみに対し、特別な補正なしにひずみの拘束状態に対応した出力が得られることが確認できる。

2.4 実構造物対応の応力計

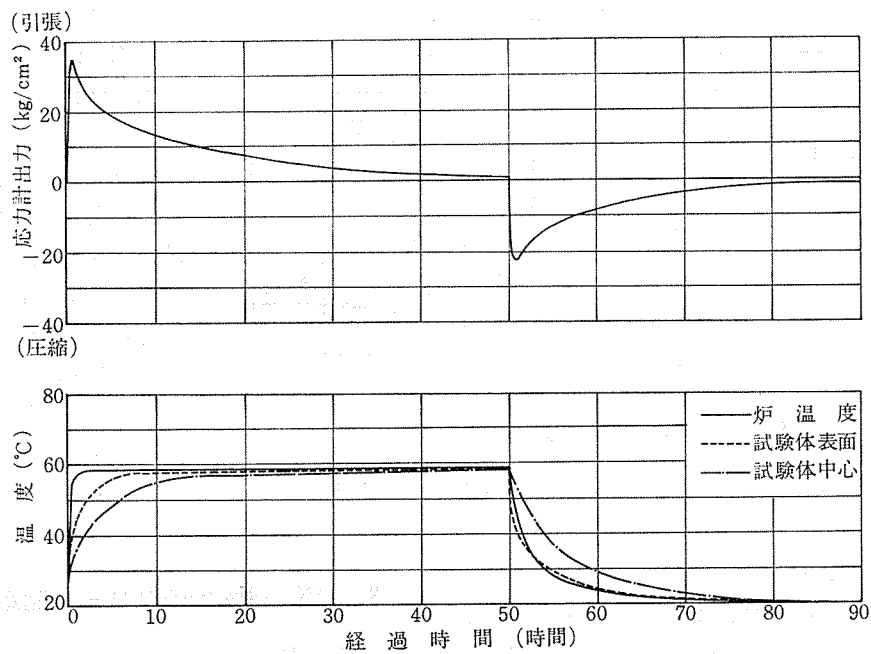
以上のモルタルを対象とした室内試験の結果から応力計の実用性について見通しが得られたので、コンクリー

ト構造物用の応力計を設計・製作した。応力計の主要寸法の決定要因は、

- a. 柱状部分の断面寸法(図—1, 一辺の長さ a) が測定対象コンクリートの粗骨材最大寸法の 2~3 倍は必要なこと。
- b. $l_s/(l_s+l_c) \leq 0.1$ の条件を満足するため、柱状



図—6 乾燥収縮ひずみに対する特性



図—7 無拘束温度ひずみに対する特性

表—4 応力計の諸元

計器長 L (cm)	ロードセル長 l_s (cm)	柱状部分長 l_c (cm)	ロードセル断面積 A_s (cm ²)	柱状部分断面寸法 $a \times a$ (cm)	柱状部分断面積 A_c (cm ²)
50	5	45	1.9	5×5	25

表—5 応力計の仕様

形式	測定量 (kg/cm ²)	感度 (mV/V)	精度 1 (%)	精度 2 (%)	入・出力抵抗 (Ω)	温度 範囲 (°C)	測温 精度 (°C)
〇〇-100	100	1	±10 FS	±5 FS	350	-10~90	1
〇〇-200	200						
〇〇-300	300						
〇〇-400	400						

(注) 精度 1; 弾性係数が未知の場合
 精度 2; 弾性係数が 0.2×10^6 kg/cm² 以上の場合

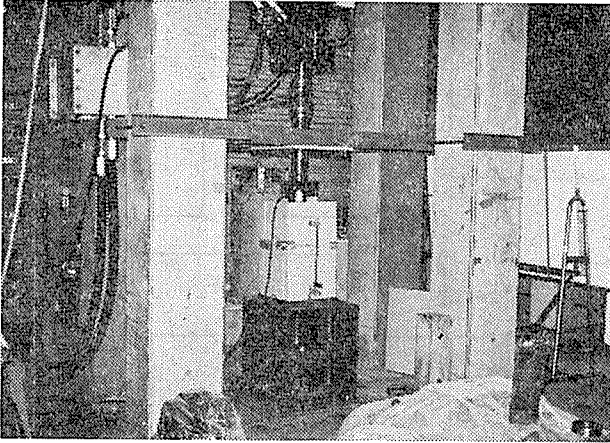


写真-2 温度ひずみ拘束試験状況

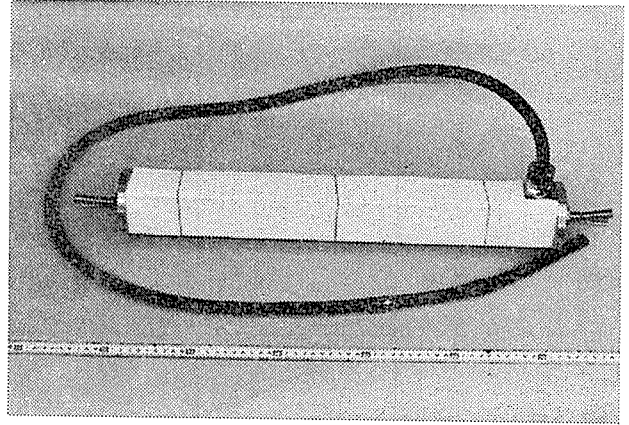


写真-3 応力計の外観

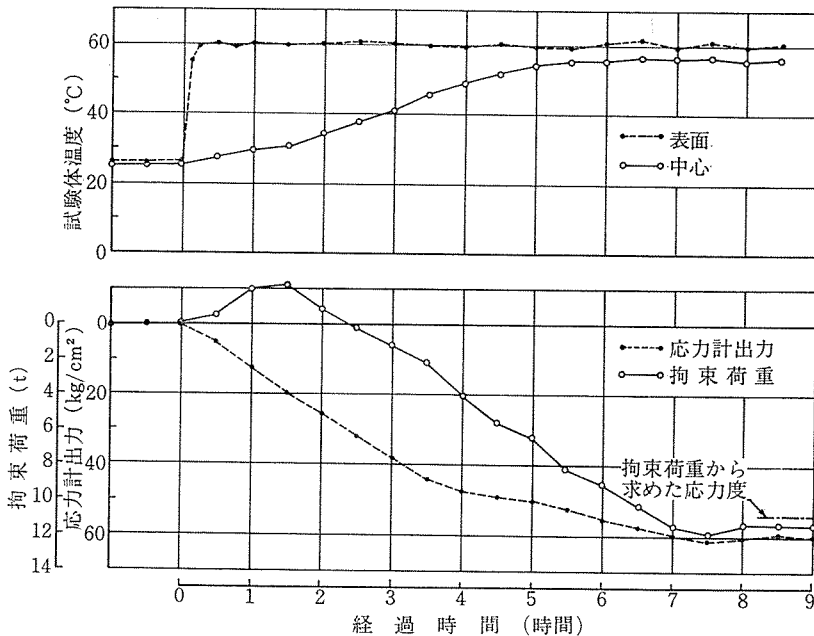


図-8 拘束温度ひずみに対する特性

部分の長さは製作可能なロードセルの最小高さの9倍以上必要なこと。

の2点であり、この条件を満足する種々の寸法の応力計が製作可能である。粗骨材最大寸法が20~25mm程度のコンクリートを用いる一般の構造物用として標準的に現在実用されている応力計の諸元および仕様を表-4、表-5に示す。なお、縁切材は2.5mmピッチの金網を厚さ0.8mmの濾紙で両面からはさんだものである。

実構造物への埋設手順は次のとおりである(写真-4, 5, 6参照)。

- 応力計の埋設個所を位置出しし、応力計を固定するための補助鉄筋等をあらかじめ設置しておく。
- 柱状部分の蓋を取り外すと同時に縁切材に水を含ませる。
- 埋設位置近傍までコンクリート打設が進んだ時点

で、柱状部分にもコンクリートを打ち込んで、表面を均す(写真-4)。

- 蓋をしてバインド線で固定する(写真-5)。
- 埋設個所に設置し、補助鉄筋等にバインド線で固定する(写真-6)。
- コンクリート打設を進め埋設する。

以上の手順に示すように、本応力計は従来の広い受圧面を有する応力計のように埋設に熟練技術を必要とせず、鉄筋やPC鋼材の配置および部材寸法の面から許される範囲で任意の位置・向きに埋設できる。一たん充填した柱状部分のコンクリートは縁切材および両端のフランジによって密閉されるので、水平・斜め・鉛直のいずれの方向にも埋設可能である。

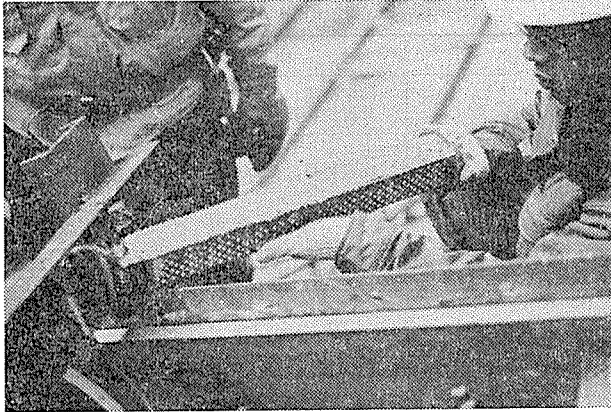
3. PC斜張橋のクリープ測定への応用

一般にPC橋の設計、施工では、有効プレストレス量、二次不静定力、および上げ越し量を算定するうえでコンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響に関する評価が重要になる。

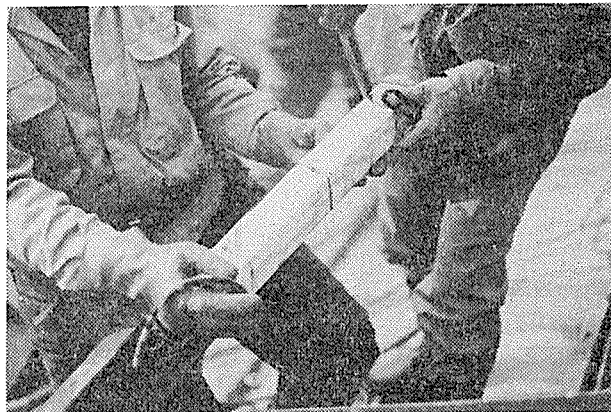
そのため、従来から実橋でのクリープ・乾燥収縮の測定が行われており、これら測定結果は設計、施工の貴重な資料となっている^{9)~11)}。

3.1 従来の方と応力計を用いた方法

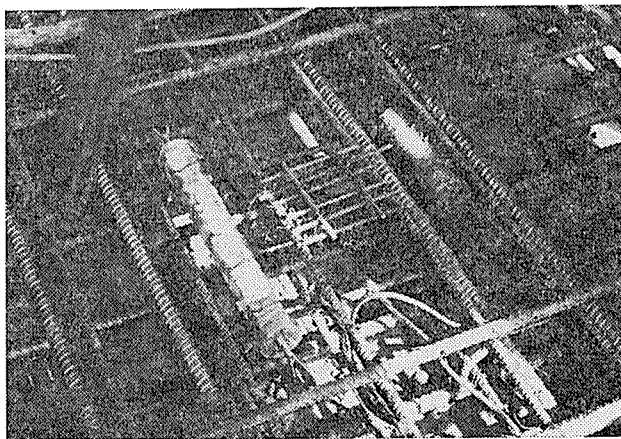
実橋での従来からのクリープ測定は、ひずみ量を基本とした応力測定で行われていたが、この方法は、はじめにも述べたとおり、ひずみの測定値(全ひずみ $\epsilon_{c,t}$)を何



写真—4 応力計へのコンクリート充填



写真—5 縁切材の取付け

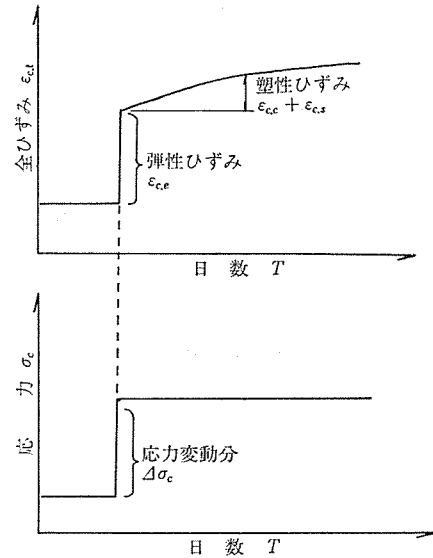


写真—6 埋設位置への取付け

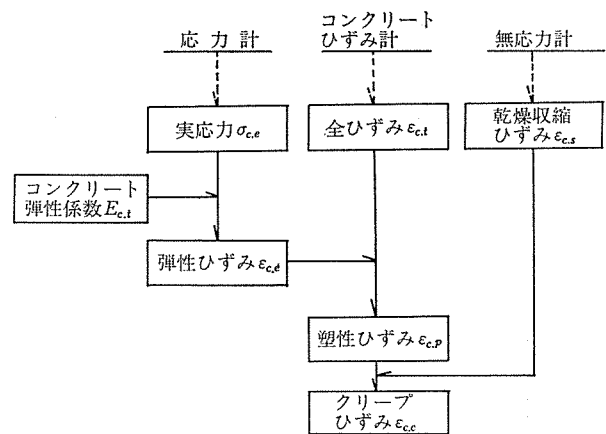
らかの方法で弾性ひずみ ($\epsilon_{c,e}$) と塑性ひずみ ($\epsilon_{c,p}$) に分離しなければならない。

その方法の一例としては、施工中の主桁断面で短期間に応力変化が生じるような工程、例えばプレストレス導入等に着目し、その工程前後でのひずみの変化分を弾性ひずみと考え、全ひずみからこれを減じて塑性ひずみとする方法がある (図—9)。

ただし、施工中の作業が短期間で終了しない場合には、このときのひずみ変化分には、弾性ひずみ以外にク



図—9 塑性ひずみの測定方法例

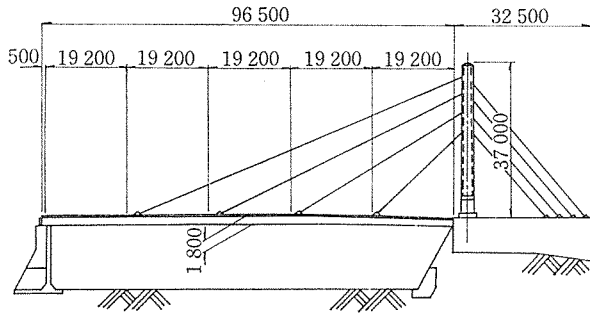


図—10 測定フロー

リープひずみが含まれる。また、完成後のクリープ・乾燥収縮による二次不静定力などで、断面内の応力が変化する場合には、それに応じた弾性ひずみの変化量が含まれるので、測定値はこれらを考慮して取り扱わなければならない。

これに対し、応力計とひずみ計を組み合わせることで、図—10 に示すような新しいクリープ・乾燥収縮の測定方法を提案することができる。すなわち、応力計で測定されるコンクリートの実応力とコンクリートの弾性係数を用いて弾性ひずみを求め、これをコンクリートの全ひずみから分離すれば、塑性ひずみが得られる。

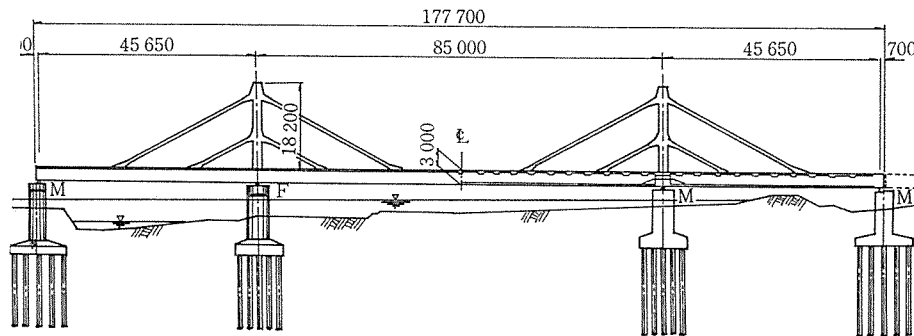
また無応力計で得られる乾燥収縮ひずみを塑性ひずみから減じれば、クリープひずみを得られる。本方法によれば、コンクリートの実応力とそのときのクリープひずみを把握することができるため、応力変動の複雑な施工中や、完成後に二次不静定力の影響が生じるような構造系に対してもクリープ測定が可能になる。



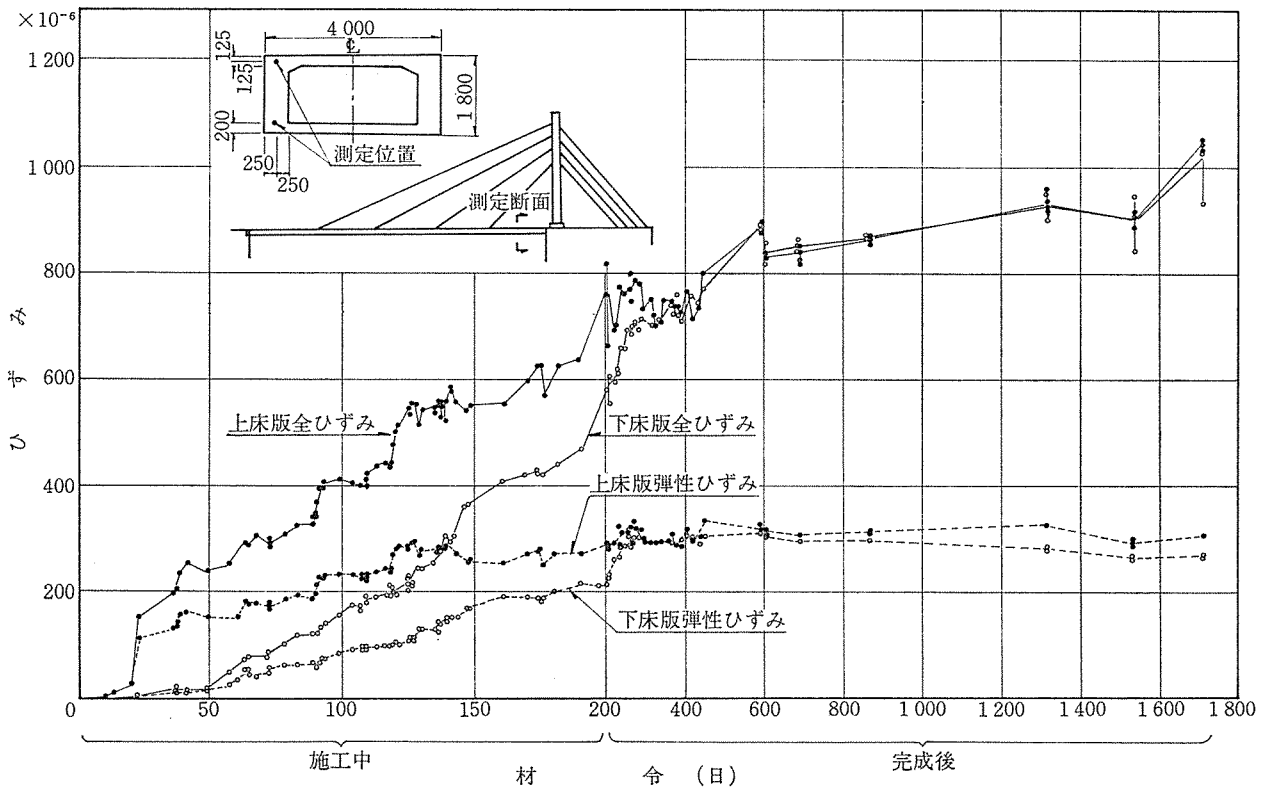
図—11 松ヶ山橋一般図

表—6 計測器仕様

名 称	仕 様	
コンクリート応力計	測定範囲; $\pm 100, 120 \text{ kg/cm}^2$, 計器長; 490 mm	
コンクリートひずみ計	カーボン型ひずみ計, 測定範囲; $\pm 800 \times 10^{-6}$	
無応力計	コンクリートひずみ計	同 上
	容 器	長さ; 250 mm, 径; 80 mm



図—12 小本川橋梁一般図



図—13 測定結果(松ヶ山橋)

3.2 実測例

応力計を用いたクリープ測定の実測例を示す。

測定の対象となったのは、松ヶ山橋¹⁰⁾(図—11)、および小本川橋梁¹¹⁾(図—12)で、それぞれ PC 斜張橋であ

る。

両橋での測定は、施工中から完成後に至るまでのクリープの影響を調べようとするもので、応力計の開発により実現された。

測定計器の仕様は表-6に示すとおりで、これらを一緒にして両橋のいくつかの主要断面の測定位置に埋設してある。

松ヶ山橋での測定結果の一例を 図-13 に示す。これは主桁断面の上床版、および下床版での全ひずみと弾性ひずみの経時変化を示したもので、塑性ひずみは、両者の差である。

同様に小本川橋梁での測定結果の一例を 図-14 に示す。

ここで示されている弾性ひずみ ($\epsilon_{c,e}$) は 図-10 で示したように、コンクリートの実応力 ($\sigma_{c,e}$) からコンクリートの弾性係数 ($E_{c,t}$) を用いて求めたものである。また弾性係数の材令による変化は (5) 式によって考慮されている¹²⁾。

$$E_{c,t} = k_e \cdot E_{c,28} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、

k_e : 材令が弾性係数に及ぼす影響に関する係数¹²⁾

$E_{c,28}$: 材令 28 日の弾性係数 ($\phi 10 \times 20$ cm の供試体の圧縮試験時のひずみ測定より両橋とも、 3×10^5 kg/cm²)

一方、全ひずみ ($\epsilon_{c,t}$) はカールソン型のコンクリートひずみ計による結果である。

3.3 応力計を用いたクリープ測定の有用性

先に掲げた測定結果の一例からもわかるように、全ひ

ずみと弾性ひずみの経時変化を照らし合わせると、全ひずみが弾性ひずみの挙動に追従し、時間の経過に伴い塑性ひずみが進行していくのがよく把握されており、応力計を用いたクリープ測定方法の有用性を窺い知ることができる。

そこで、道路橋示方書¹³⁾に示されているクリープ設計計算式をとり上げ、これによる計算値と実測結果例を比較し、塑性ひずみがどのような挙動を示しているかを調べた。計算に用いた各係数は前記示方書に従い、両橋の条件に合うように設定した (表-7)。

その結果は 図-15、図-16 に示すとおりで、全ひずみに対する計算値と実測値が、施工中から完成後にわたってほぼ対応した動きを示している。

このことは、現行のクリープ設計計算式および本測定

表-7 塑性ひずみ計算用条件¹³⁾

	松ヶ山橋	小本川橋梁
セメントの種類に関する係数; α	2 (早強セメント)	
遅れ弾性に対するクリープ係数; φ_{d0}	0.4	
フローに対するクリープ係数; φ_{f0}	2.0 (相対湿度 70%)	
基本乾燥収縮ひずみ; ϵ_{s0}	$+25 \times 10^{-5}$	
環境条件に関する係数; λ	3 (相対湿度 70%)	
部材の断面積; A_c (m ²)	3.15	4.84
外気に接する部材の周長; U (m)	20.30	33.40

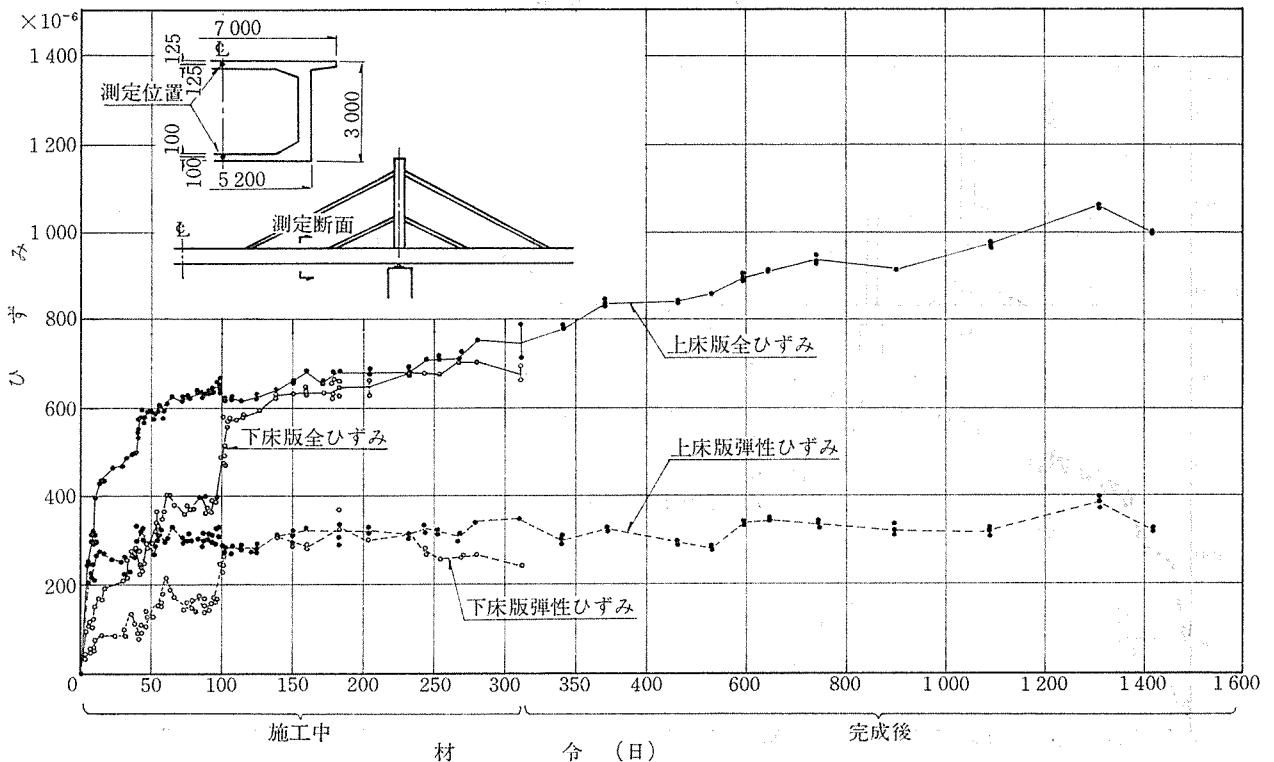


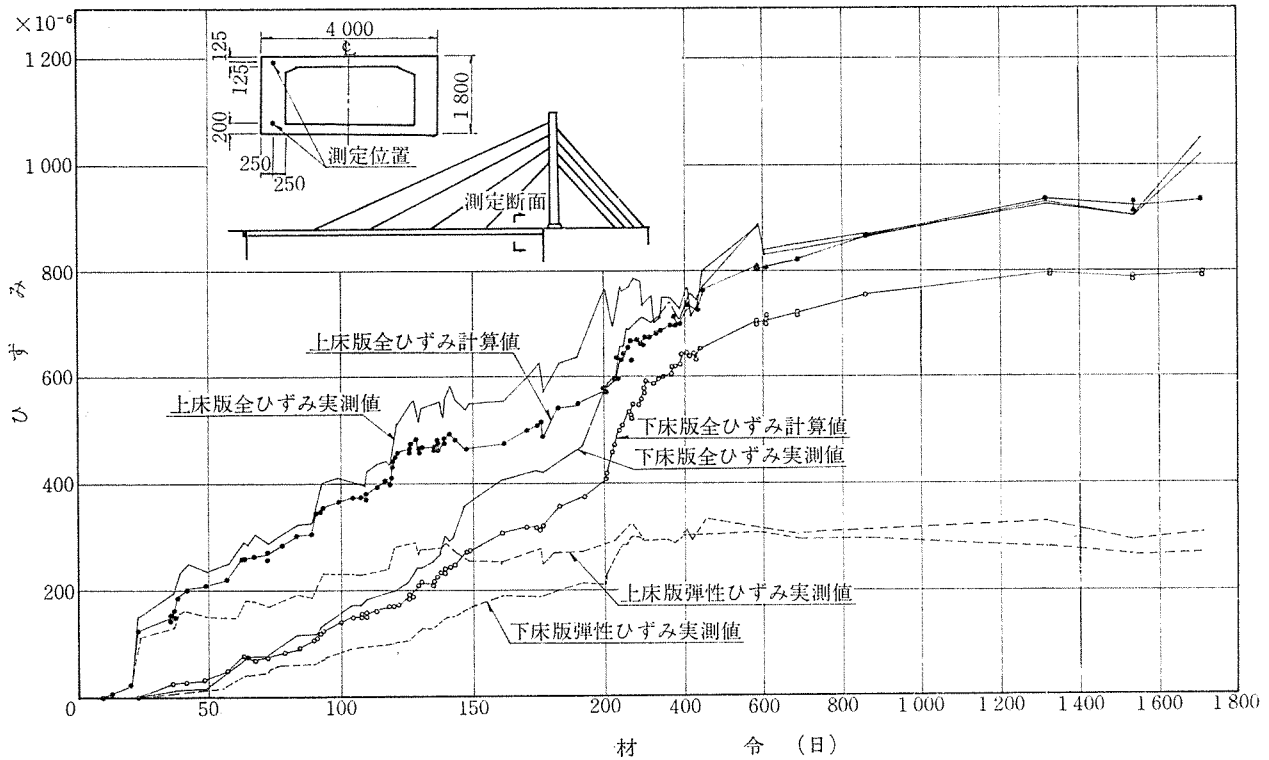
図-14 測定結果 (小本川橋梁)

方法が、PC 斜張橋の施工中から完成後に至る複雑なクリップの挙動を把えられることを示唆するものである。

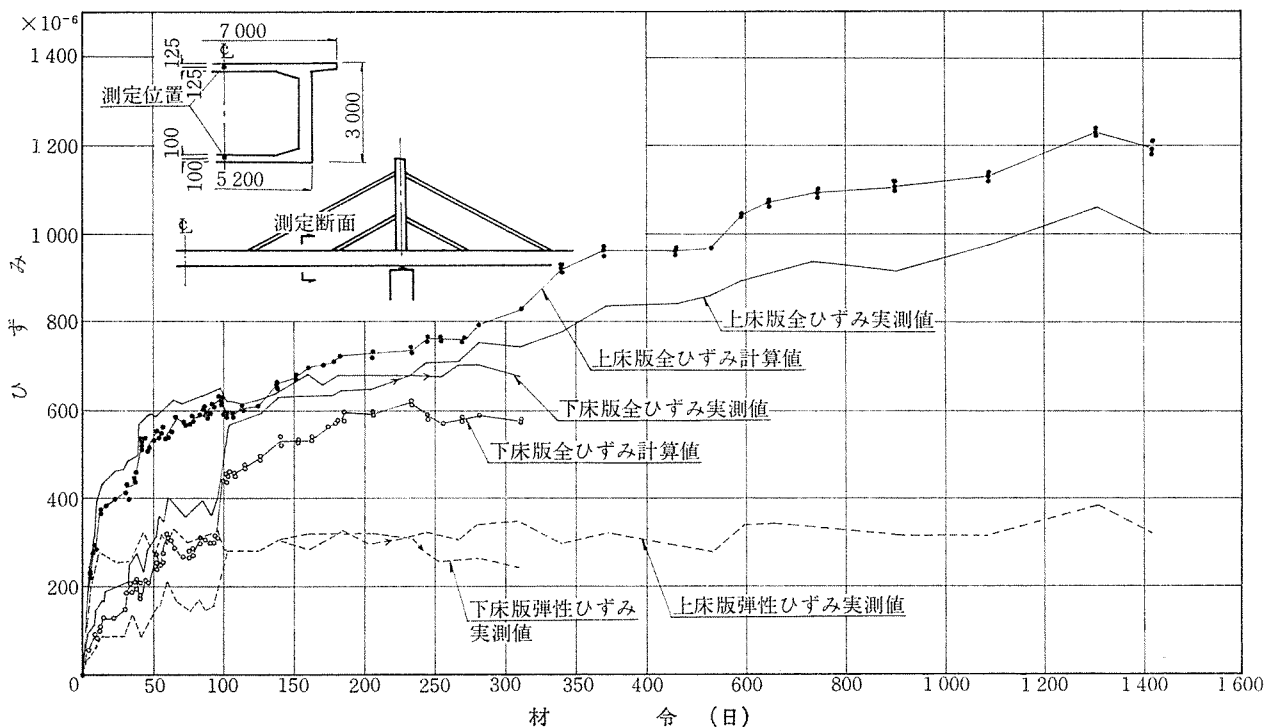
したがって、今後は本測定方法によるデータを蓄積することで、設計、施工資料の充実と、それらに基づいて設計方法の合理化を図ることができよう。

4. あとがき

コンクリート用として開発した応力計は性能・使用性両面から従来の応力計の欠点を補うことができる実用性の高いものであり、実構造物への適用例として、PC 斜



図—15 計算結果（松ヶ山橋）



図—16 計算結果（小本川橋梁）

張橋のクリープ測定に有効な手段として活用できることがわかった。

また、この応力計は測定対象コンクリートの打設直後からの広範囲の弾性係数変化に対応でき、温度補正も不要なので、従来困難であったセメントの硬化熱による温度応力の直接測定が可能である。温度応力測定においても、多くの適用実績から有用性が確かめられている¹⁴⁾。

最後に、PC斜張橋の長期クリープ測定を実施するにあたり深い御理解をいただき、また実測データの掲載を快諾していただいた、神奈川県企業庁酒匂川総合開発事務所および日本鉄道建設公団盛岡支社の関係各位に厚くお礼申しあげます。

参 考 文 献

- 1) 鷹原康夫, 夏目忠彦, 佐々木光夫, 正村芳久: コンクリート用応力計の開発, 鹿島建設技術研究所年報, 1978年
- 2) 中根博司: 土木計測ハンドブック, 日刊工業新聞社, 1969年
- 3) 渡辺 理: ひずみゲージとその応用, 日刊工業新聞社, 1971年
- 4) Y.C. Loh: Internal stress gauges for cementitious materials, Massachusetts Institute of Technology, NR 064-331, July 1951.
- 5) 百島祐信: 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
- 6) 後藤幸正, 外門正直, 梅原芳雄: 阿武隈川PC橋りょうのクリープと乾燥収縮, 土木学会第30回年次学術講演会講演概要集, V-114
- 7) 小林晋爾: プレストレストコンクリート橋のクリープ実測, 土木学会第34回年次学術講演会講演概要集, V-23
- 8) R.G. Tyler: Creep, Shrinkage and Elastic Strain in Concrete Bridges in the United Kingdom, 1963-71, Magazine of Concrete Research, Vol. 28, June, 1976.
- 9) Tibor J'AVOR: Creep Observation of Prestressed Concrete Bridges, Fundamental Research on Creep and Shrinkage of Concrete, 1982.
- 10) 浜田昌彦, 富田价彦, 鈴木寿紀, 中上昌二郎: 三保ダム松ヶ山橋(PC斜張橋)の設計と施工, 橋梁と基礎, 1978年8月
- 11) 高橋 昇, 生馬道昭: 久慈線小本川PC斜張橋の設計と施工, 土木施工, 1979年4月
- 12) 百島祐信訳: コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮, 鹿島出版会, 1976年
- 13) 日本道路協会: 道路橋示方書コンクリート橋編解説, 1978年
- 14) 岩城 良, 夏目忠彦, 村山八洲雄, 村田俊彦, 大貫博司: セメントの水和熱に起因する温度応力の解析手法に関する研究, 鹿島建設技術研究所年報, 1980年

転勤（または転居）ご通知のお願い

勤務場所（会誌発送、その他通信宛先）の変更のご通知をお願いいたします。

会誌発送その他の場合、連絡先が変更になっていて、お知らせがないため郵便物の差しもどしをうけることがたびたびあります。不着の場合お互いに迷惑になるばかりでなく、当協会としても二重の手数と郵送料とを要することになりますので、変更の場合はハガキに新旧の宛先を記入のうえ、ただちにご一報くださるようお願いいたします（ご送金の際、振替用紙裏面の通信欄に記入されても差し支えありません）。

ご転勤前後勤務先に送ったものがそのまま転送されないでご入手できない場合、当方として責任を負いかねますのでご了承ください。