

須川橋梁施工管理試験報告

Investigation Report on Construction of Sukawa Bridge

得能達雄 *
Tatsuo TOKUNO
 松井邦夫 **
Kunio MATSUI
 小西市郎 ***
Ichiro KONISHI
 越後滋 ****
Shigeru ECHIGO

1. はじめに

須川橋梁は、東北新幹線が福島市内で須川を渡河する地点に架けられたポストテンション複線一室箱型単純桁であり、その架設にはTL押出し工法が採用された。

押出し工法は、その施工上の数多い利点から近年隆盛を極めており、今まで各種の調査・測定・試験がなされているが、本橋梁においても施工上の安全性を確認し、更に今後の合理的な設計の資料を得る、という発注者側の意向により、施工にともない次のような項目について測定試験を行った。

(1) 主ケーブル周辺のコンクリート応力の測定

桁の支間中央部は、主ケーブルシースがウェブ下部に集中し、空洞の多い断面となっている。この断面が押出し途上において、沓を通過し一時的に大きな反力を受けた場合、シース周辺にはどのような応力が生じるかを調べる。

(2) 断面応力の測定

押出し施工にともない構造系は逐次変化していくが、この時桁には交番する断面力が働く。更に、桁下面の不陸や支点沈下の影響、クリープ・乾燥収縮等が桁に生じるが、これらによる桁断面応力が設計上のものと比較して異常ないか、等を調べる。

(3) 淫反力による支圧応力分布の測定

押出し施工中の滑り沓面における反力分布の状態を調べる。

(4) コンクリート弾性係数の測定

(1)又は(2)で測定される歪から応力を求めるために、実際のコンクリートの弾性係数を測定する。

以上の各項目について得られた結果を、若干の計算値と比較検討し、考案を加えたのでここに報告する。

また、押出し作業完了後、発注者側の御好意により前記(2)の測定で用いた歪ゲージを利用させて戴き、主ケーブル緊張時の断面歪測定をも行ったので合わせて報告する。

なお、本橋梁の構造一般及び施工法等の詳細については、「須川橋梁（P C 押出し工法）の設計・施工」（P 148～168）を参照されたい。

2. 測定位置及び時期

前述の測定目的から言って、測定断面は押出し施工中に最大反力及び最大・最小曲げモーメントを受ける位置とするのが望ましいが、測定作業の簡易化から測定断面は1断面とし、これらの条件をほぼ満たす図-1に示す断面（Sect A）を選定した。但し、測定項目(1)と(2)を同一断面とすると、歪ゲージやコードが輻輳するため、(1)については Sect A から 20cm 離した Sect B を測定断面とした。

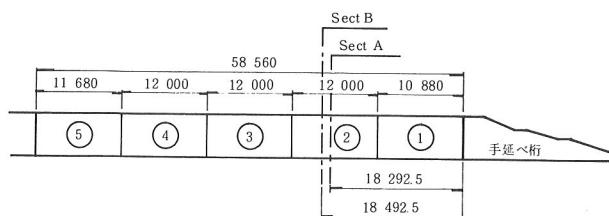


図-1 測定断面位置

また、各測定項目については次のような場合に主眼を置いて行った。

(1) 主ケーブル周辺のコンクリート応力

Sect B が $P_1 \cdot K_1 \cdot P_2$ 上の沓を通過する時。

(2) 断面応力

Sect A の断面力が極大・極小となる時（即ち、Sect A が沓上又は支間中央にある時）、他。

(3) 淫反力による支圧応力分布

Sect B が $P_1 \cdot K_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4$ 上の沓に載った時、他。

(4) コンクリート弾性係数

材令 3・7・28 日

3. 主ケーブル周辺のコンクリート応力

3-1 測定方法

測定には埋込型ひずみゲージ（東京測器研究所製、K

* 川田建設株式会社工事本部工務二部・工務二課課長 ** 川田建設株式会社東京支店工事部工事二課課長 *** 川田建設株式会社東京支店工事部工事二課係長 **** 川田工業技術本部研究室

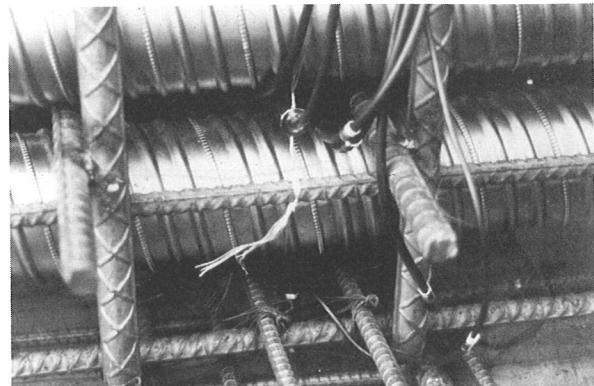
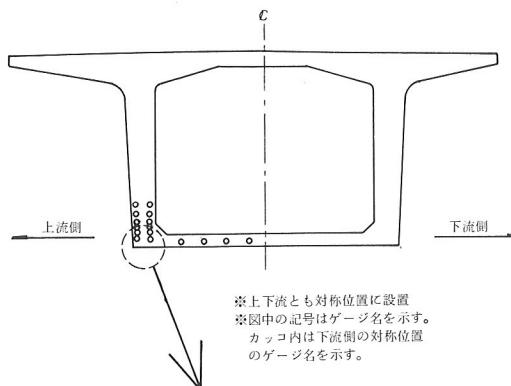


写真-1 シース周辺歪測定用埋込ゲージ

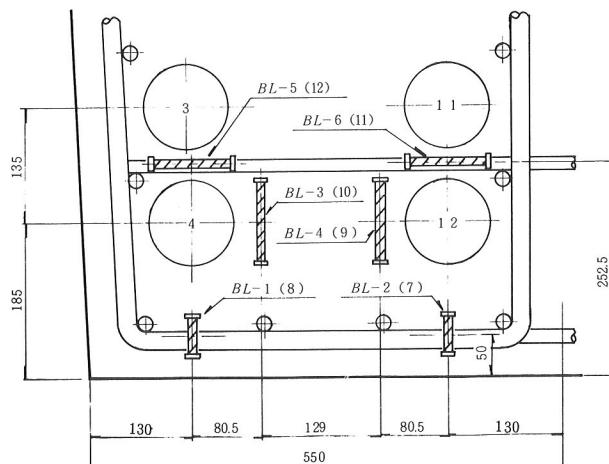


図-2 ゲージ設置位置 (Sect B)

M-100, KM-50) を用い、前述の Sect Bにおいて図-2 のように結束線等にて付近の鉄筋に懸架固定した(写真-1)。

また、この測定は Sect B が滑り台面を通過する際の歪変化を見るものであり、Sect B が台面に載る手前約 1 m から台面を出た後約 1 m の範囲にわたって、動歪測定装置(写真-2)により連続的に行なった。

3-2 測定結果

3-2-1 主ケーブル周辺の歪の連続的変化

歪変化は動歪測定装置により連続的に測定されるが、実際の桁移動は押し出しジャッキのストロークの関係から断続的である。それ故、桁が停止している間の測定結果を削除し、あたかも桁が連続的に移動したかのように書き直したものの一例を図-3に示す。

3-2-2 主ケーブル周辺の最大歪

図-3に示したような、Sect B が $P_1 \cdot K_1 \cdot P_2$ の各滑

写真-2 動歪測定装置
(左より、電磁オシログラフ、データレコーダ、動歪計)

り台面上を通過する際の連続的歪変化の記録の中から、各ゲージにおいて記録された最大歪の結果のみを図-4及び表-1に示した。また図-4には、同時に行われた台面反力分布の結果(5-2参照)をも示したが、これら両者の結果は測定を行った時間内に生じた最大値であって、ある瞬間の状態を示すものではないことに留意しなければならない。

3-2-3 有限要素法による計算値

設計時に、シース周辺の応力状態の検討を、有限要素法を用いて行なっているが(P155 参照)，同様にして各測定時に対応する計算値を求めた。計算には外力として、Sect B が $P_1 \cdot K_1 \cdot P_2$ の各台面上に載った時の設計反力を滑り台面積で割った値を用いた。その結果を表-1に示した。

3-3 考察

以上の結果より、次のような考察を行なった。

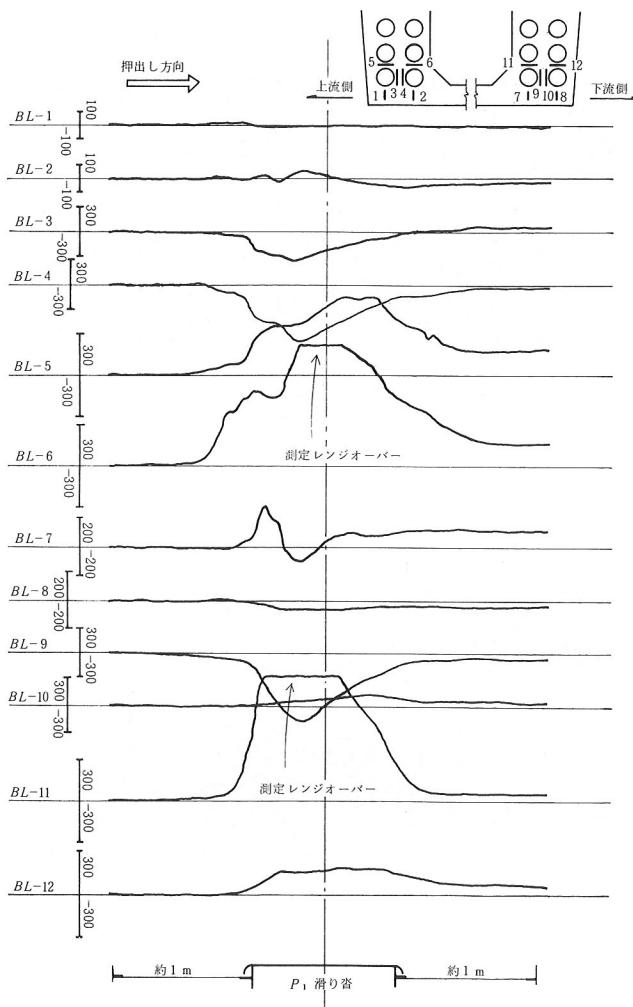


図-3 主ケーブル周辺のコンクリート歪測定結果
(Sect BがP₁上を通過)

- (a) 連続的歪変化の記録は波打っており、桁下面の不陸の影響と思われるが、その値は小さい。
- (b) 脱反力の影響は、測定断面が脱に載る前後でも現われているが、その範囲は本橋脚の兼用脱より仮支柱の滑り脱の場合の方が広い。
- (c) 桁に対する脱反力の影響は図-5のように現われており、本橋脚上の脱と仮支柱上の脱ではその性状が異なる。これは、本橋脚上の滑り脱は完成時に本脱となるものであり、ある程度の回転を起し得るのに対し、仮支柱上の滑り脱は比較的剛なコンクリート製ブロックであることによると思われる。更に、P₂脚の場合には、上下流側で反力による影響のピークが、それぞれ福島方と東京方の脱に分かれたのは、4つの滑り脱に若干の高低差があったためと推定される。
- (d) Sect Bが滑り脱上にある間に生じた最大歪のみを取

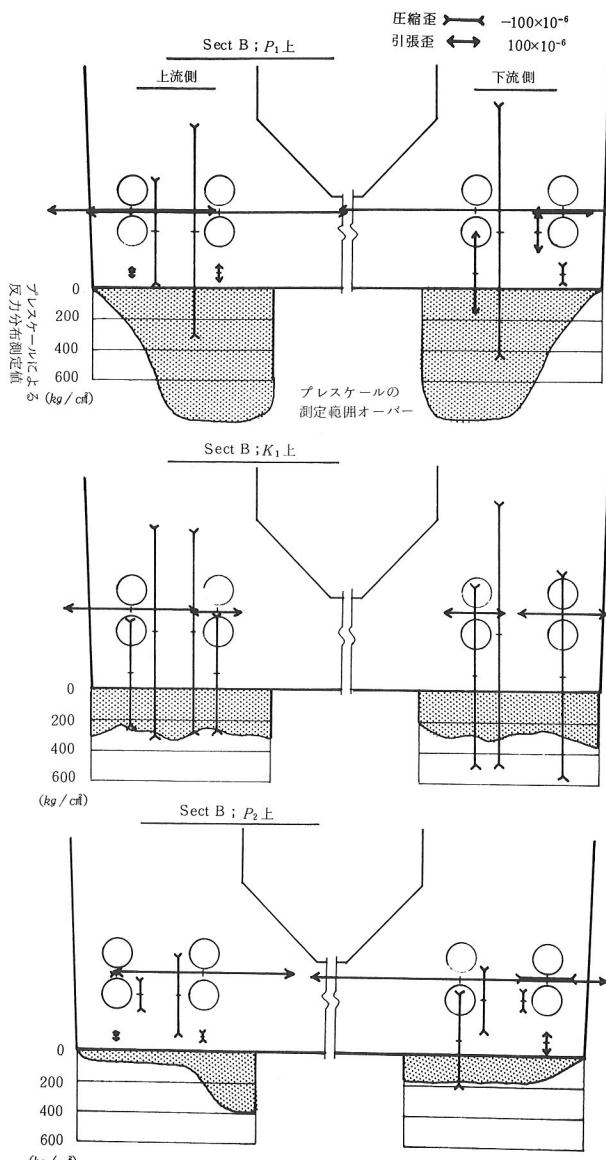


図-4 主ケーブル周辺のコンクリート最大歪測定値

表-1 主ケーブル周辺のコンクリート歪 (単位×10⁻⁶)

ゲージ名	Sect B : P ₁ 上		Sect B : K ₁ 上		Sect B : P ₂ 上	
	測定値	計算値	測定値	計算値	測定値	計算値
BL-1	25	-303	-350	-260	30	-180
BL-8	-57		-650		75	
BL-2	60		-380		-15	
BL-7	276		-580		-300	
BL-3	-350		-680		-98	
BL-10	135		-406		-60	
BL-4	-680		-650		-255	
BL-9	-808		-850		-195	
BL-5	560		450		-12	
BL-12	188		300		77	
BL-6	870以上		150		612	
BL-11	915以上		200		1000以上	
		137		117		80

り出した図-4から、測定断面が本橋脚(P_1, P_2)上に載った時と仮支柱(K_1)上に載った時では、シース周辺の歪状態に大きな差違があることがわかる。即ち、本橋脚の場合、上下流側ともウエブの内側のシース周辺に外側のシース周辺より大きな歪が生じているのに對し、仮支柱の場合には内側と外側のシース周辺で大

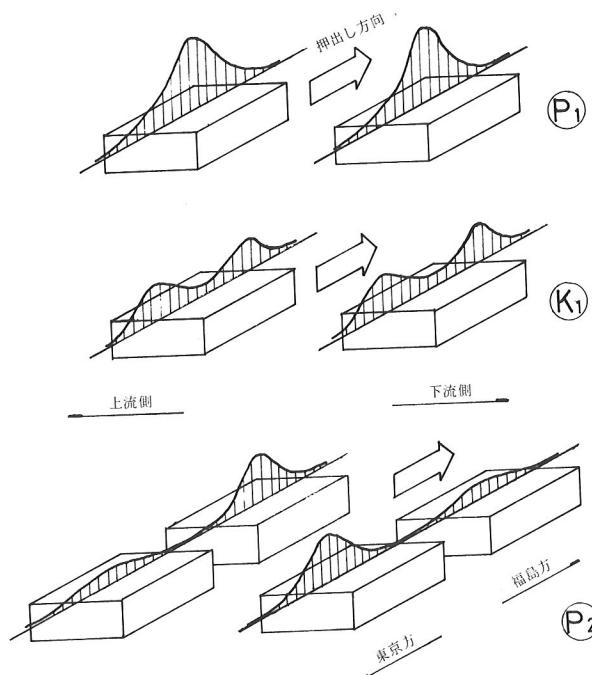


図-5 脊反力の橋軸方向分布

差ない。また、計算値と比較しても、本橋脚の場合には傾向も値も全く異なっているのに対し、仮支柱の場合にはほぼ一致している。これは反力の横方向分布が、本橋脚の場合内側に大きく偏心しているのに対し、仮支柱の場合にはほぼ平均的な分布になっていることによる。

(e) 上下のシース間の水平歪を見ると、本橋脚上に載った時極端に大きな引張り歪が生じており、計算値より予想した歪の2倍以上にセットした測定器のレンジをオーバーしてしまった場合もあった。この値から考えると、この位置にはシースとシースを結ぶような鉛直方向のクラックが入っていることが推定される。その原因としては、(1)シースとシースの純間隔が20mmと小さい。(2)有限要素法による計算結果でも、一般に言われる引張強度 ($\sigma_{CK} = 400 \text{ kg/cm}^2$ に対し約 40 kg/cm^2) より大きな値が出ている。(3)脊反力は、脊の滑り面上で等分布ではなく、橋軸方向にも横方向にも局部

的に偏心しており、シース周辺には計算値より相当大きな引張り応力が働いた。——等が考えられる。しかしながら、クラックが入った後にこの周辺に働く引張り力が、コンクリートの歪ではなくクラック幅の変化として現われるものとすれば、そのクラックの開口幅は概算で

1000×10^{-6} (測定最大歪) $\times 100 \text{ mm}$ (ゲージ長) $= 0.1 \text{ mm}$ 程度であり、また図-3でもわかるように、脊を通過した後にはこの大きな引張り歪もほとんど元に戻っている。更にこの上下のシース間には 200 mm ピッチで鉄筋が配されている事などを考慮すれば、それ程危険なものではないと思われる。

4. 断面応力

4-1 測定方法

測定には埋込型ひずみゲージ（東京測器研究所製 KM-100T）を用い、前述の Sect Aにおいて図-6に示す位置に、付近の鉄筋を利用して結束線にて懸架固定した（写真-3）。

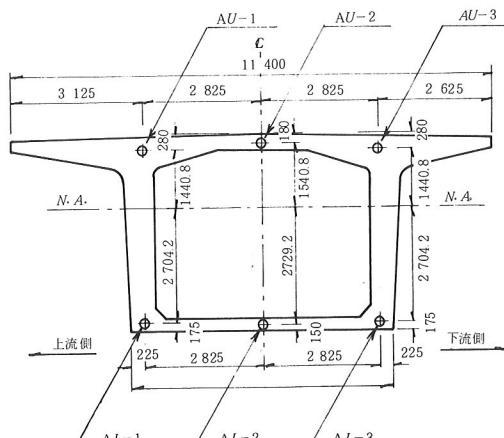


図-6 ゲージ設置 (Sect A)

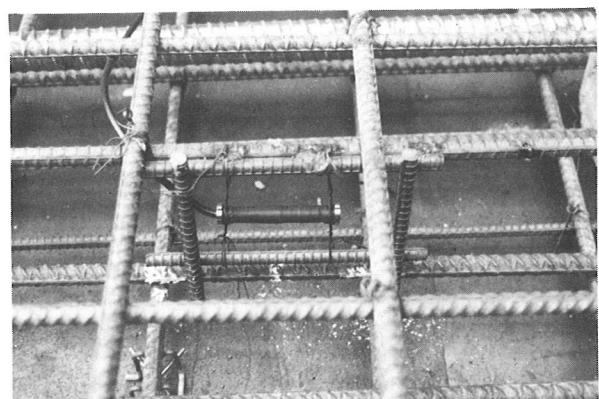


写真-3 断面歪測定用埋込ゲージ

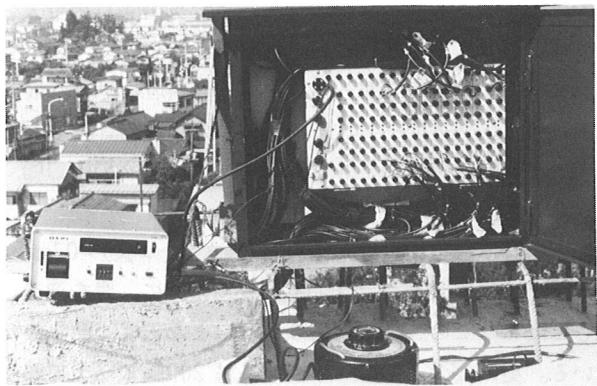


写真-4 静歪測定装置
(左:ストレインメータ, 右:スイッチボックス)

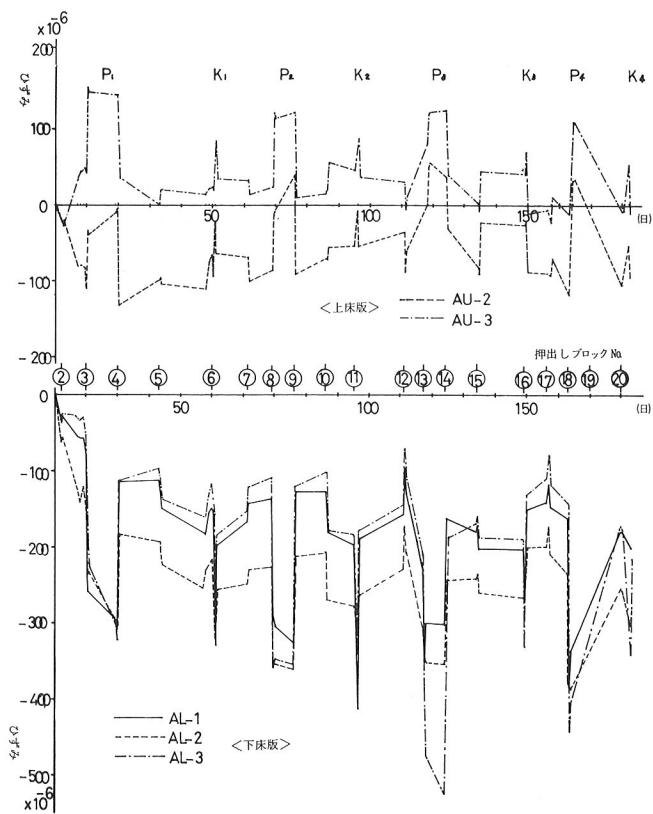


図-7 断面歪測定結果 (No. 2 縦締め緊張時を基準)

このように桁コンクリート内にセットされた歪ゲージは、静歪測定装置に結線され、Sect Aが所定の位置に来た場合に測定を行った(写真-4)。

4-2 測定結果

4-2-1 押出し施工とともに断面歪測定結果

押出し施工期間中に測定された歪変化の結果をNo. 2ブロック縦締め鋼棒緊張直前を基準として図-7に示した。

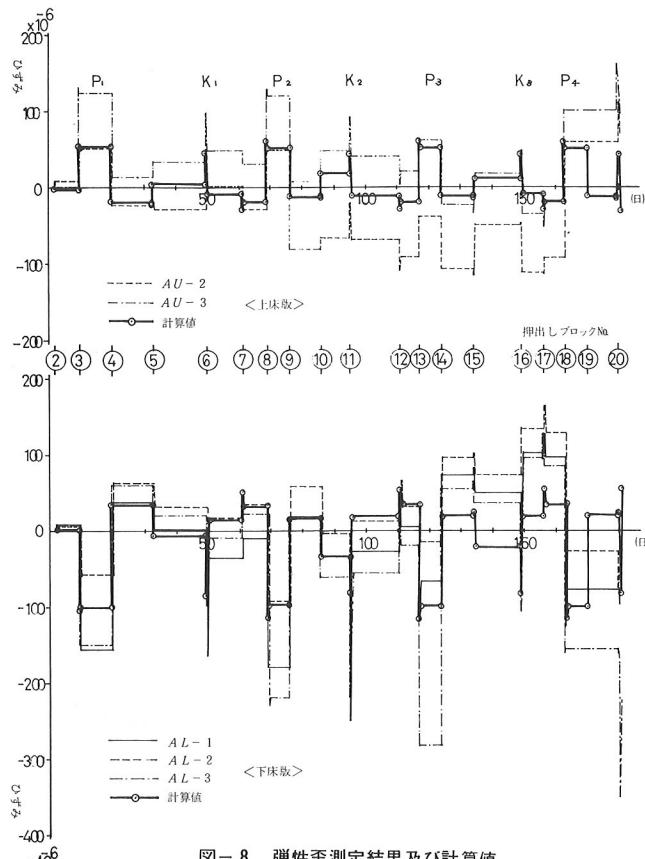


図-8 弾性歪測定結果及び計算値

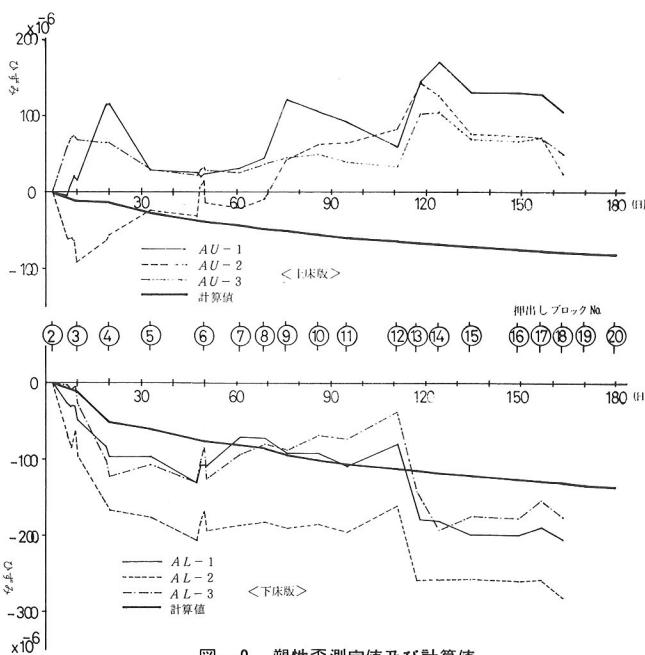


図-9 塑性歪測定値及び計算値

図の横軸には日数を、また縦軸には歪をとつてある。

この図に示される歪測定値には、押し出しにより死荷重状態が変化することによるもの、クリープ・乾燥収縮に

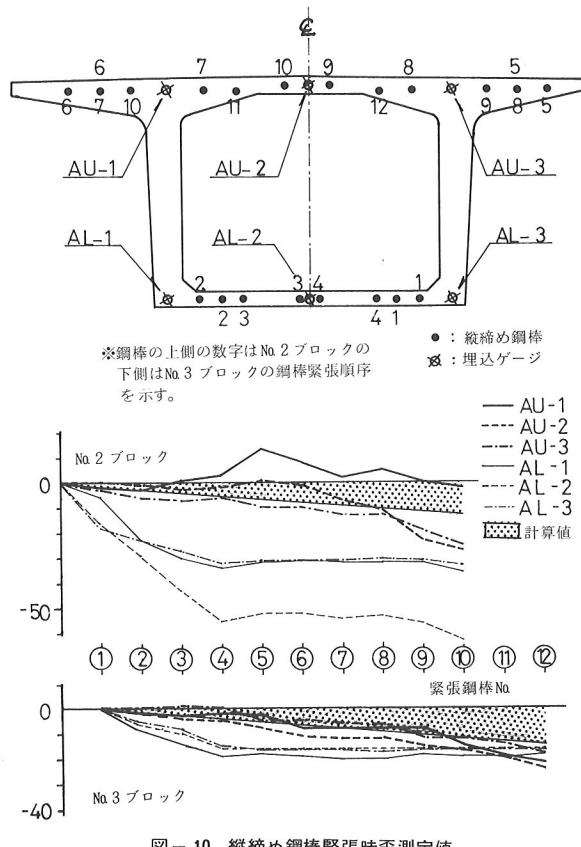


図-10 縦締め鋼棒緊張時歪測定値

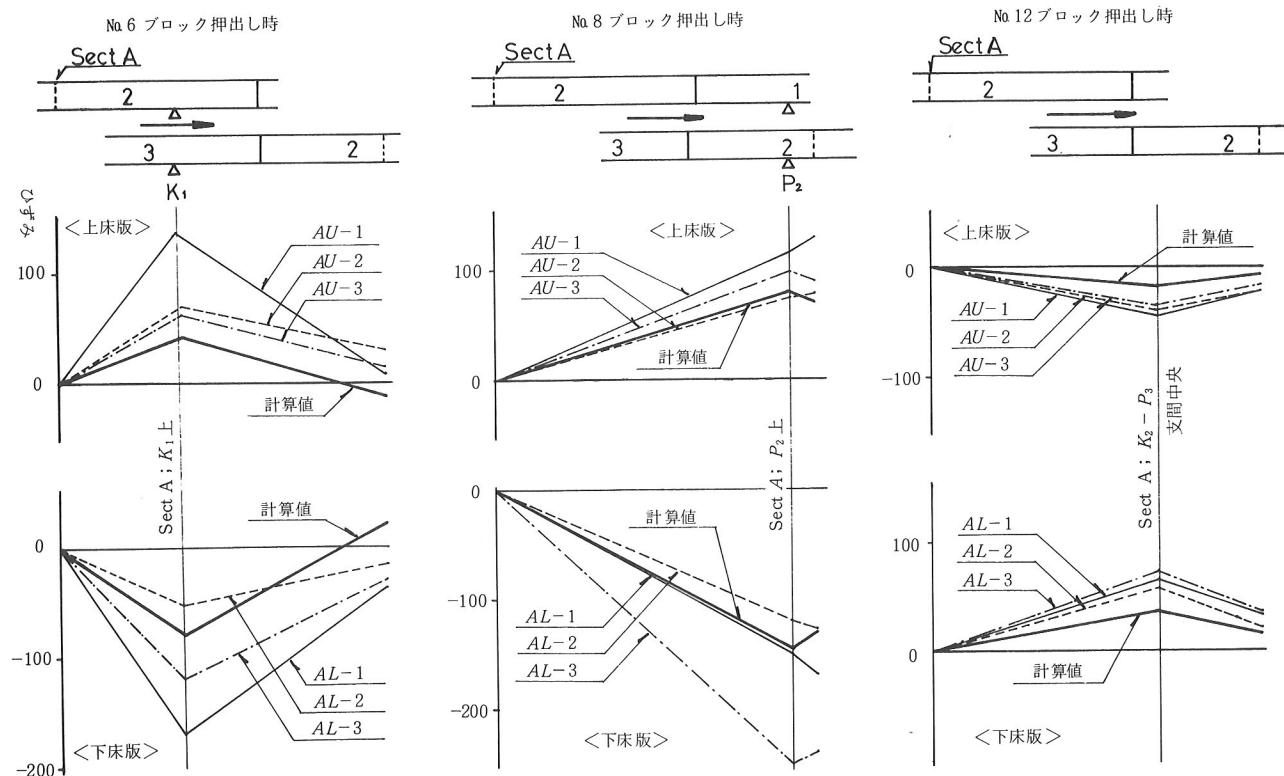


図-11 各ブロック押出し時の断面歪変化測定値及び計算値

よるもの、縦締めプレストレスによるもの、等の施工中の全ての歪変化が含まれている。

4-2-2 弾性歪及び塑性歪測定値

図-7に示した歪測定結果を、施工に応じて構造系が変化することによる歪変化(弾性歪)と、クリープ・乾燥収縮による歪変化(塑性歪)とに分離し、各々図-8と図-9に示した。即ち、あるブロックの押出し開始直前から押出し完了後までの間に得られた歪変化は弾性歪とし、次のブロック押出しまでの構造系が変化しない期間において得られた歪変化は塑性歪と考え、各々累計して得たものである。

なお、図-8には縦締め鋼棒緊張による歪は含まれず、押出しのみによる歪変化である。

4-2-3 縦締め鋼棒緊張時の断面歪測定結果

各ブロックは、押出し直前に施工中の応力に耐えられるように縦締め緊張されるが、各ブロックともその次のブロックとともに緊張される。

ここでは、Sect Aを含むNo.2ブロックにプレストレスを導入したNo.2, 3ブロック緊張時の断面歪測定結果を図-10に示した。

図中の計算値は、製作ヤード上での緊張なので、断面には曲げが生ぜず軸力のみが入ると仮定し、各鋼棒に順次導入された緊張力 (52 ton/本) を桁の全断面積で割った平均的なプレストレス量である。

4-2-4 各ブロック押出し時の断面歪測定結果

各ブロックごとに、押出し直前を基準とし完了後までの歪変化をとった例を図-11に示した。これらの図は、それぞれNo.6, 8, 12ブロック押出し時の結果であり、Sect Aが仮支柱、本橋脚、支間中央を通過した場合の代表例であるが、他の場合もほぼ同様な傾向を示している。

4-2-5 断面歪計算値

測定値との比較検討を行うため、各測定値に対応する概略の計算値を求めた。計算値は測定値と直接比較できるように歪の値で求めたが、コンクリートの弾性係数は設計で用いた $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした。

1) 施工とともに生ずる断面歪(弹性歪)計算値

設計々算書に示された断面諸定数及び各施工時のSect Aにおける曲げモーメントを用い、次の簡易式により計算した。

$$\epsilon_{u,t} = \frac{M}{E_c \cdot W_{u,t}} \quad M: \text{設計曲げモーメント}$$

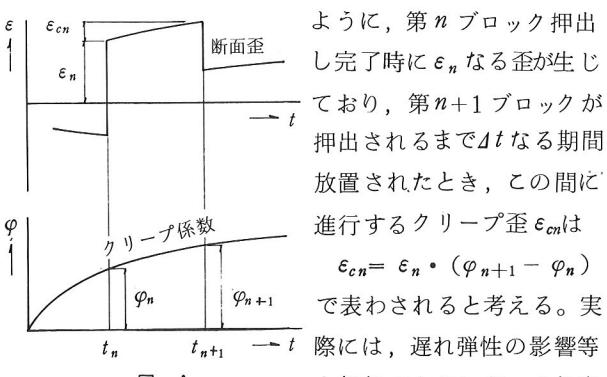
$W_{u,t}$: 断面定断(ゲージ位置)

E_c : コンクリート弾性係数

この結果は、図-8の中に測定値とともに示した。

2) クリープ歪計算値

あるブロックの押出しが完了し、次の押出しが行われるまでの期間に生ずるクリープの進行につき、次のような仮定により簡単な計算値を求めた。即ち下図の



考慮した計算値を求めるのは計算が非常に煩雑となるため、このような簡易式によった。クリープ係数として

は、PC標準示方書に示された値から、実際の施工日数にあわせて、直線補間ににより求めた。

計算結果を、図-12に示す。

3) 乾燥収縮歪計算値

乾燥収縮の進行については、桁が一本の棒のように全断面が一様に収縮するものとして、次のようにクリープとは切離して概略の計算値を求めた。即ち、 t_n から t_{n+1} までの間に進行する乾燥収縮歪は、次式で得られるものとする。

$$\epsilon_{sn} = \epsilon_{s0} \cdot (k_{n+1} - k_n)$$

ここに ϵ_{s0} は基本乾燥収縮度で -350×10^{-6} 、また k_n は有効材令 t_n における乾燥収縮の進行度を表わす係

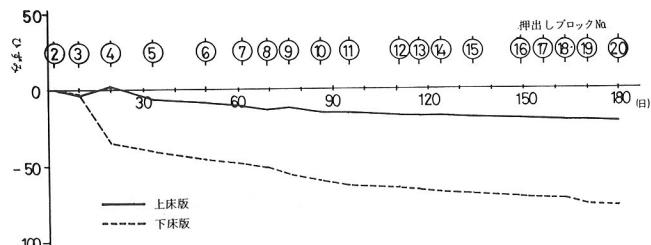


図-12 クリープ歪計算値

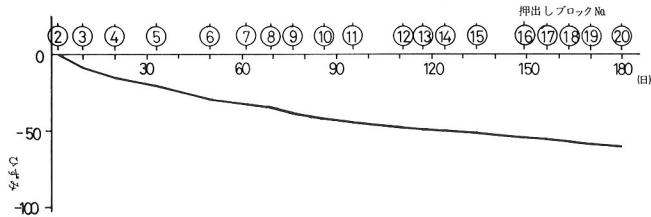


図-13 乾燥収縮歪計算値

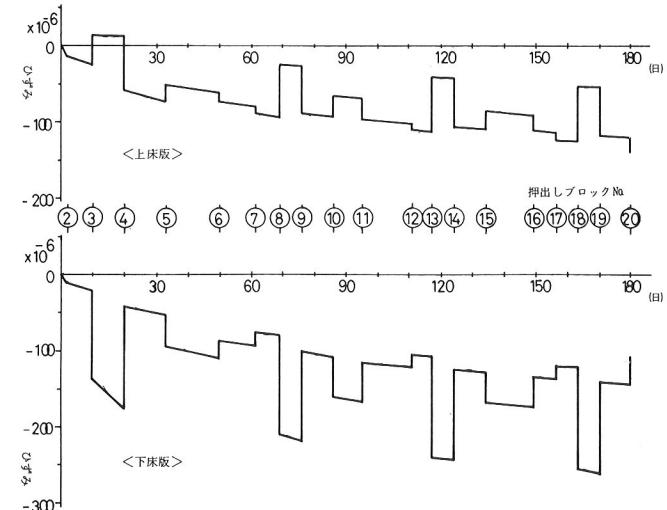


図-14 塑性歪を考慮した断面歪計算値

数で、これには断面形状・断面積・断面周長等の影響が含まれる。

実際の施工日数に対応させて計算した結果を図-13に示す。また、図-12と13の結果を加えたものが塑性歪ということになるが、その結果は図-9中に測定値とともに示されている。

4) 塑性ひずみを考慮した断面歪計算値

前述の弾性歪及び塑性歪を累計したものが、実際の桁の挙動(図-7)に対応する訳であるが、その結果は図-14に示す。

4-3 考察

以上、測定された歪変化と概略の計算値から、次のような考察を得た。

- (a) 図-7を見ると、押出し初期においては上下床版とも、各々3つのゲージはその挙動に大きな差があるが、ある程度の時間が経った後はよく似てきている。また図からは省いてあるが、Sect Aが沓上に載った時にAU-1には極端に大きな歪が記録され、沓からはずれると他のゲージと同様に挙動することから、その近傍に軸直角方向の内部ひびわれがあることが予想される。しかしながら、完成後はこの位置は常に圧縮側となり問題はない。
- (b) 図-8は弾性歪のみ取り出し計算値と比較したものである。上床版においては3つのゲージにばらつきがあるのに対し、下床版ではAL-2のみに若干異なる傾向が見られる。全体として測定値の方がやや大きめである。
- (c) 図-9はクリープ・乾燥収縮について計算値と比較したものであるが、上下床版とも中央のゲージが多少異った変化を示している。また上床版においては、計算値と全く逆の傾向が表われている。
- (d) 図-11は各ブロック押出し時の歪変化の例であるが、全ブロックについてのこのような図を見ると、一般にSect Aが径間中にある時には上下床版とも3つのゲージはほぼ同様の傾向を示し、また計算値とも比較的よく合っている。これに対しSect Aが沓上にある時は、3つのゲージの値はバラつき、特に下床版にその傾向は大きい。このようにSect Aが沓上にある場合の断面内歪分布を書いてみると図-15の例のようになる。
- (e) 図-10にはNo.2及び3ブロック押出し直前に行った縦縫め鋼棒緊張時の歪測定結果を示したが、No.2ブロック緊張時にはプレストレスの導入状態が不均一であ

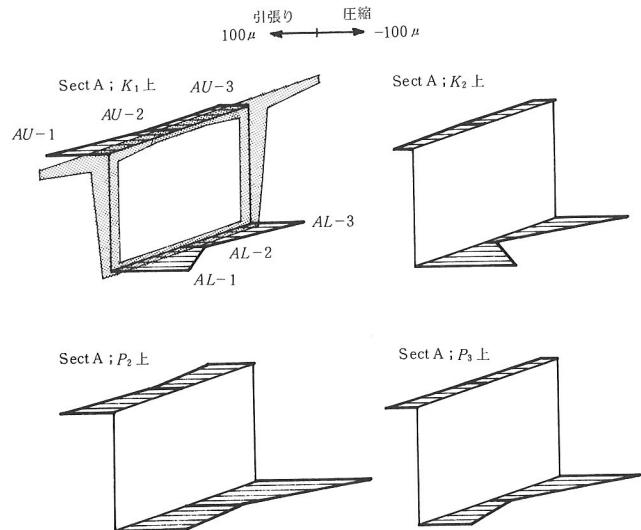


図-15 断面内歪分布の例

ったのに対し、No.3の時にはほぼ理想的に導入されていると言ってよい。これは、No.2のプレストレッシングがこのコンクリートにとっての処女載荷であり、これがならし載荷的な効果をもたらしたものと思われる。

(f) 以上、全般的に見て大きな異常は見られないが、上下床版とも中央のゲージが他と異った性状を示している。これは、このゲージをはさんですぐ近くに縦縫め鋼棒があることと、マッシブなウエブに対し床版部は薄いこと等により、せん断遅れ及びクリープ・乾燥収縮の進行の度合の差が現われていると思われる。特に床版の有効幅については設計では考慮されていないが、この検討をも行ってみるのが望ましい。

(g) 各測定値に対応する簡単な計算値を求め、比較検討を試みたが必ずしも良く一致しているとは言えない。これは—①手延柄とコンクリート桁、及び4径間の主桁間はプレストレッシングにより完全一体に連続であると仮定し、更に各径間端部の断面拡幅部を無視し、桁は全長にわたり一様断面であるとして計算している。②測定断面が沓に載った時には、桁はディープビーム的に挙動し、断面内歪直線分布の仮定が成り立たず、その近傍の歪は乱れた状態になっており、通常の弾性理論では解析できない。③測定値には、桁断面内での温度勾配や橋軸方向の温度分布の差によって生じる不静定力が含まれるが、これを計算で求めることはできない。④実際の桁において生ずるクリープには遅れ弹性の影響や乾燥収縮による2次クリープ等が含まれ、また乾燥収縮も断面内で一様には生じないが、これら

を計算で求めることは構造系が常に変化することもあり非常に困難である。⑤計算に用いたヤング率と実際のヤング率とに差がある。——等の理由によると思われる。

5. 脱反力による支圧応力分布

5-1 測定方法

測定には圧力測定シート（富士フィルム製プレスケール）を用い、下図のように滑り板とともに桁と脱の間に

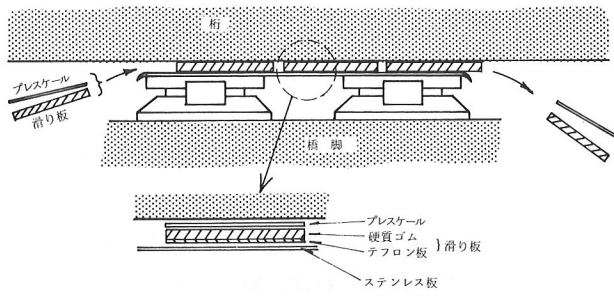


図-B

挿入し、桁の移動とともに前方より取出した。この圧力シートは、圧力を受けるとその大きさに応じた濃度の赤色を発し、その濃度から換算して圧力を求めるものである。

このようにして発色したプレスケールの上に2cmピッチのメッシュを引き、各マスの中央の濃度を濃度計（写真-5）により読みとり、得られた圧力の等しい点を結んで等支圧応力線図を描いた。

このような測定を、下表に示した様な時期に行った。

表-2 脱反力による支圧分布の測定

押出ブロック	測定時期	測定対象 脱
No. 3	Sect B : P ₁ 到達時	P ₁
No. 6	" : K ₁ "	P ₁ , K ₁
No. 8	" : P ₂ "	P ₁ , K ₁ , P ₂
No. 13	" : P ₃ "	P ₁ , P ₃
No. 18	" : P ₄ "	P ₁ , P ₃ , K ₃ , P ₄
No. 20	桁先端 : P ₅ "	P ₁ , P ₃ , K ₃ , P ₄ , K ₄ , P ₅

5-2 測定結果

測定には、設計々算から得られる各脱の反力支圧の大きさに応じて、低・中・高圧用のプレスケールを使い分けたが、部分的に予想以上の圧力が生じて測定範囲をオーバーしてしまったものや、滑り板に塗布する洗剤水がついてしまい発色しなかったもの等があり、プレスケール使用の不慣れからくる失敗があった。

実際に発色したプレスケールの例を写真-6に、また

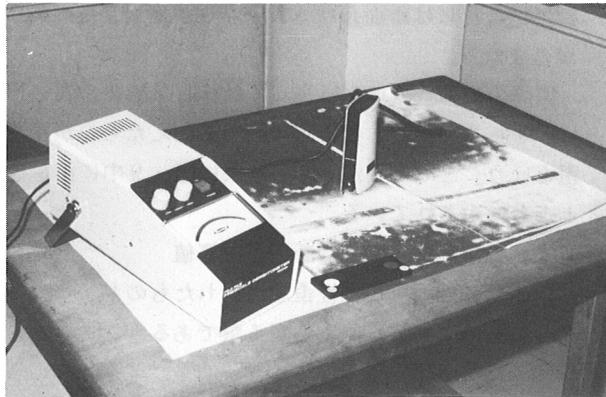


写真-5 プレスケール濃度計

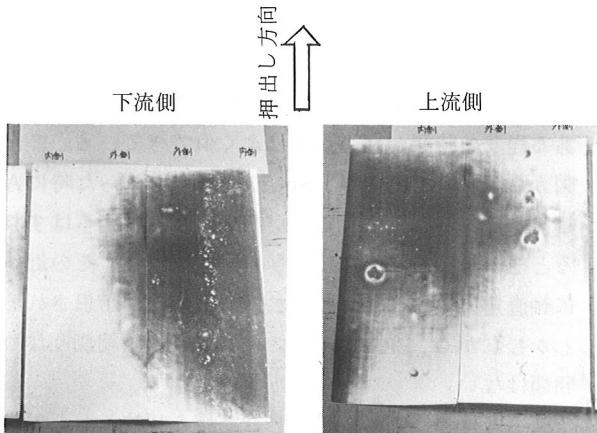


写真-6 発色したプレスケールの例 (Sect A:P1上)

それから得られた等支圧応力線図の例を図-16に示す。ただし、このような等支圧線図は、プレスケールが脱を通して通過する間に生じた最大値のみの記録であり、ある瞬間の支圧分布ではない。それ故、この図の進行方向の分布状態には意味がないが、直角方向の分布は脱反力の横方向分布をある程度示していると言える。

そこで、得られた等支圧応力線図のほぼ中央での横方向の分布状態に着目して書いたものの例を図-17に示す。

5-3 考察

設計々算上の反力を滑り脱面積で割った平均支圧応力から、低～高圧用のプレスケールを使い分けたが、予想以上に大きな支圧が局部的に働いていた場合があった。これは、実際の反力分布は3-3(図-5)で述べたように橋軸方向にも、また図-17で示されるように横方向にも均一でないことによる。

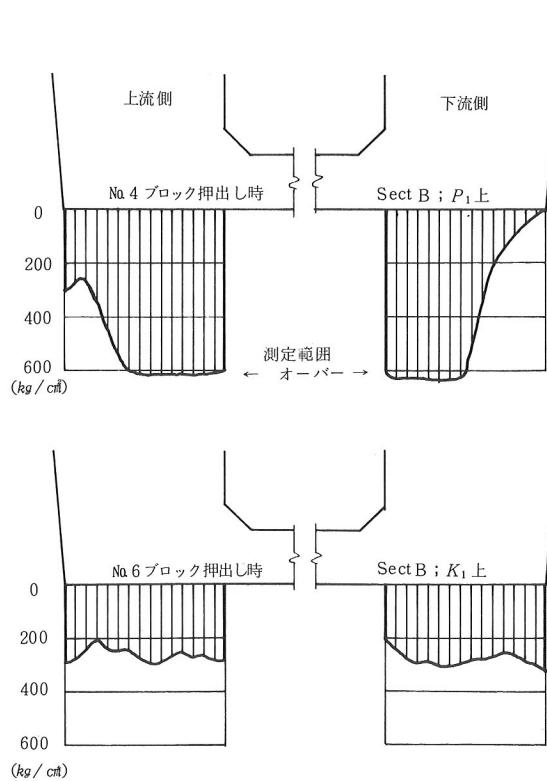
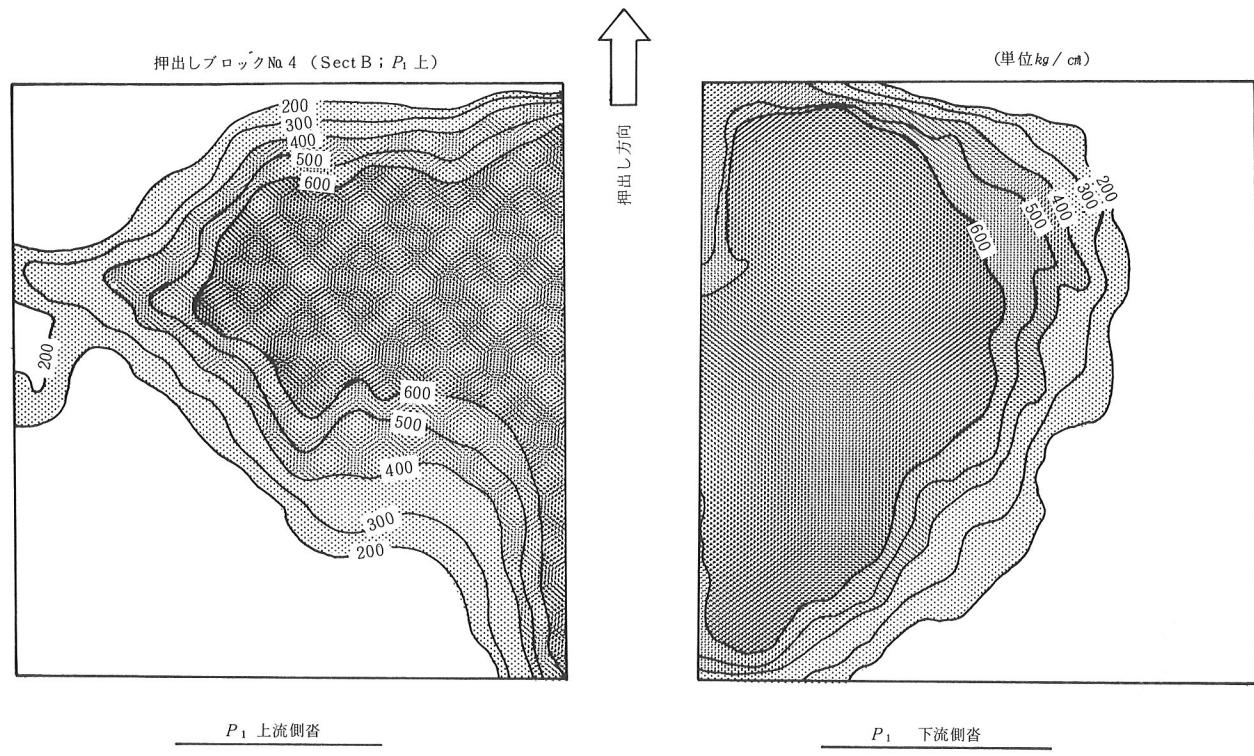


図-17 畠反力の横方向分布の例

材令	圧縮強度	弾性係数	ポアソン比
3 日	293 kg/cm²	2.78×10^5 kg/cm²	0.18
7 日	342	2.82×10^5	0.19
28 日	461	3.31×10^5	0.22

表-3 コンクリートの力学的性質測定値

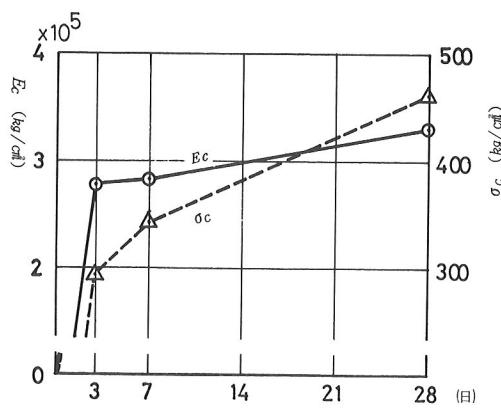


図-18 弾性係数及び圧縮強度測定結果

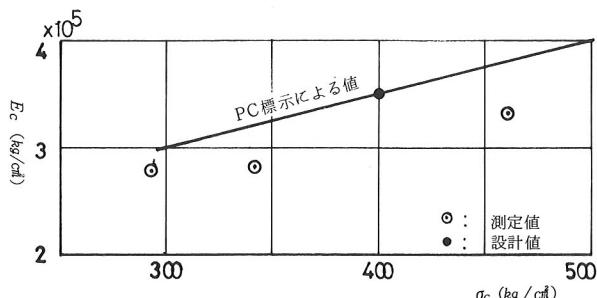


図-19 圧縮強度と弾性係数の関係

今、図-17のような横方向分布のみに着目してみると、一般に本橋脚上の沓では反力は沓の内側に偏心しているが、仮支柱上の沓の場合にはほぼ全幅にわたって一様に分布している。これから、下床版がその中央で多少垂れ下がるような形状になっていることが推測される。ただし、仮支柱の場合は沓自体は剛なコンクリートブロックであっても、それを支持する枕梁が変形しやすい鋼製であるため、反力分布の偏心になじむような変形を生じているものと思われる。

本橋脚上の沓においては、桁に対し局部的に集中する反力が働いている訳であるが、これが好ましくないとすれば、沓の構造を改良して横方向の回転を許すようにするか、または滑り板の硬質ゴム厚を増して反力の偏心を吸収できるようにする必要がある。一方仮支柱の場合は、桁に対しては集中的な反力は作用しないが、逆に枕梁に対して局部座屈を引き起こす恐れがあり、その設計においては十分配慮することが望まれる。

6. コンクリート弾性係数

材令に応じた測定結果を表-3及び図-18に示す。

この測定された弾性係数は、圧縮強度との関係をとつてみると（図-19）、PC標準示方書に与えられている値より小さい。材令28日における圧縮強度 469 kg/cm^2 に対し PC 標示から得られる弾性係数は $E_c = 3.85 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であり、また設計上は $\sigma_{CK} = 400 \text{ kg/cm}^2$ に対する $E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の値を用いており、実測値はこれらのそれぞれ 86% 及び 95% であった。

7. 主ケーブル緊張時の断面歪測定結果

桁の押出し施工完了後に行われた PC 主ケーブル緊張時に、押出し中に断面歪の測定に用いた Sect A の歪ゲージを利用してプレストレッシングによる断面歪を測定した。以下にその結果を計算値と比較して検討する。

7-1 計算値

この測定の目的は、設計通りのプレストレスが導入されるかどうかの確認を行うことであったが、設計上の導入プレストレスの計算は完成時の構造系で行われており、実際の施工とは対応しない。即ち、実際の緊張作業は工事報告(P148~168)にも説明されているように、次の3段階に分けて施工されている。

- ① 1次緊張——構造が単純桁となった時の自重に耐えられるだけのプレストレスを、連続桁のままで導入。
- ② 桁切離し——押出し施工中に各径間を継ぎ、一時的に桁を連続としている桁継ぎ鋼棒と、上床版鋼棒のプレストレスを解放。
- ③ 2次緊張——単純桁として、残りのプレストレスを導入。

それ故、測定された歪と設計上の値との比較はできず、次のように各施工段階に応じて計算値を求め、これとの比較を行った。

7-1-1 1次緊張

1次緊張時には桁は連続しており、構造は本橋脚及び仮支柱によって支持された8径間連続桁であるが、仮支柱は剛な本橋脚と異なりバネ支承と見なされる。その上押出し施工中に沈下が生じていると思われるが、このバネ支承のバネ定数や沈下量の程度はわからない。

また測定断面 Sect A がある $P_4 \sim P_5$ 径間の緊張時には、他の径間は既に1次緊張を終えており、仮支柱の反力は減少しているが、その量も把握しかねる。

そこで、1次緊張に対する計算値としては下図のような可能な構造系の両極端、即ち8径間連続桁と4径間連続桁の両者について求めた。但し8径間とした場合の仮支柱のバネ定数は、設計上で用いられた $k = 3.86 \times 10^5 \text{ t/m}$ とし、不等沈下はないものとした。

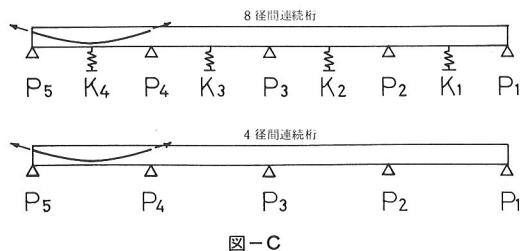


図-C

7-1-2 桁切離し

本橋脚上で桁継ぎ鋼棒及び上床版鋼棒を解放すると、

支点のバネ定数や1次緊張による反力の減少の程度によって、桁の構造の変化は下図のような4通りが考えられる。ここでは実際の変化がどの場合に近いのか不明であるから、図の4つのケースについて計算値を求めた。

なお計算値としては、構造系の違いによる死荷重モーメントの変化量と、1次緊張により生じているプレストレスによる不静定2次モーメントの変化量を考えた。

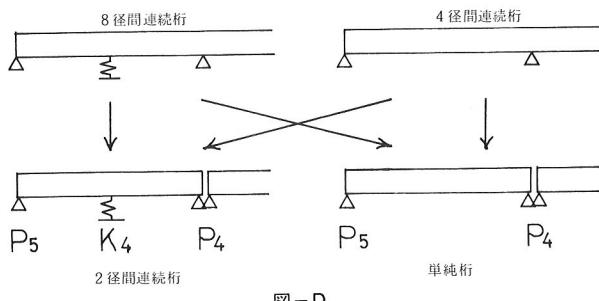


図-D

7-1-3 2次緊張

緊張前の構造は2径間連続桁又は単純桁である。もし2径間連続桁であったとしても、前述のように中間支点反力は不明確であり、更にこの中間支点は負の反力に全く抵抗しないから、ある程度のプレストレスが導入されると、桁は上反りになって支点から浮き上がり単純桁となる。

この間の桁挙動の経過は模式的に下図のように示される。即ち、2次緊張直前で桁が単純桁であれば Md_1 、連続桁であれば Md_2 なる死荷重モーメントが働いており、

プレストレスを増していくに従って各々(1)又は(2)の線に沿って曲げモーメントが変化するが、連続桁の場合は中間支点反力が0になった時点から単純桁として(1)の線に従う。

しかしながら、測定においては初期の死荷重モーメント Md_1, Md_2 は把握できず、これが作用している状態を基準としてその後の変化を見るものであるから、予想される測定値は単純桁及び連続桁の場合それぞれ図-Fの(1), (2)のようになる。

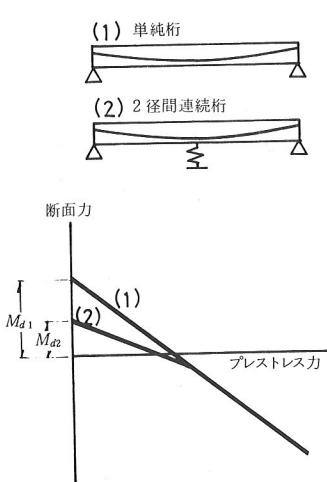
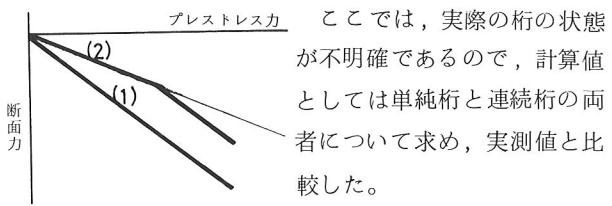


図-E



ここでは、実際の桁の状態が不明確であるので、計算値としては単純桁と連続桁の両者について求め、実測値と比較した。

7-2 測定結果及び考察

7-2-1 1次緊張

図-20に1次緊張時の測定値及び計算値の結果を示す。この結果を見ると、緊張初期には測定値の傾向に乱れがあるが、その後は緊張とともに断面内ではほぼ一様に歪が増加している。しかしながら上下床版ではその挙動に差違があり、上床版は8径間連続桁の場合に、また下床版では4径間の場合に近い傾向を示しており、この結果から1次緊張時に桁がどのような構造系であったかの判断は下せない。

7-2-2 桁切離し

図-21に桁切離し時の測定値と計算値を示した。測定値は鋼棒解放直前の測定を行っていないかったため、1次緊張完了時の値を基準とした。

この結果から見て、構造は8又は4径間から2径間に移行した場合の計算値に近い傾向が見られるが、あまり明確ではない。特に測定値、計算値ともに小さなオーダーの数値であり、測定誤差の範囲内に入る恐れがあることから、これだけでは十分な検討はできない。

ただし、切離しにより異常な断面力は全く生じていなかったことは確認できる。

7-2-3 2次緊張

図-22に2次緊張時の歪測定結果を計算値とともに示したが、緊張直前及び最初の8本のケーブル緊張時の測定値が得られなかったため、桁切離し完了時の値を基準値とした。

このため、前半の8本のケーブル緊張時に、2径間から単純桁へ移行するような挙動を示したかどうかは不明であるが、後半の8本のケーブル緊張時の測定値が単純桁の場合の計算値によく一致していることから、ほぼ最初から単純桁に近い挙動を示していたものと思われる。

また、この2次緊張時の測定値が計算値によく一致しているということは、プレストレッシングの作業が非常にうまく行われたことを示していると言える。

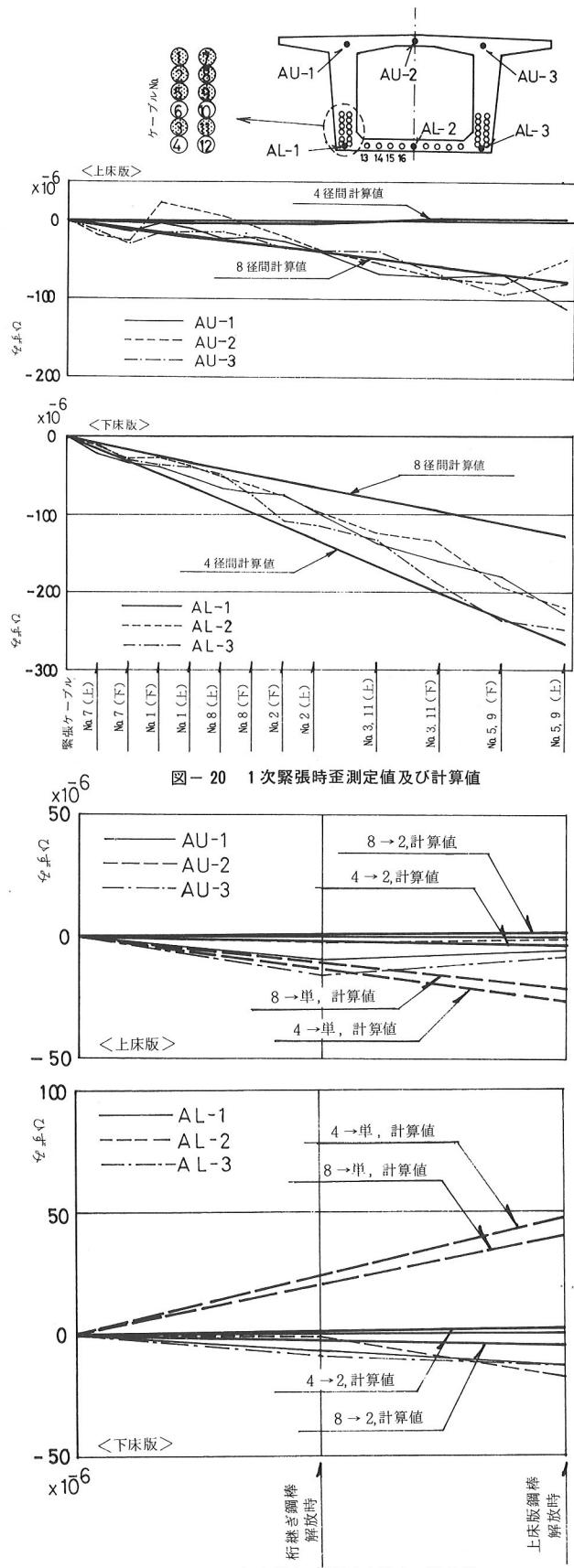


図-20 1次緊張時歪測定値及び計算値

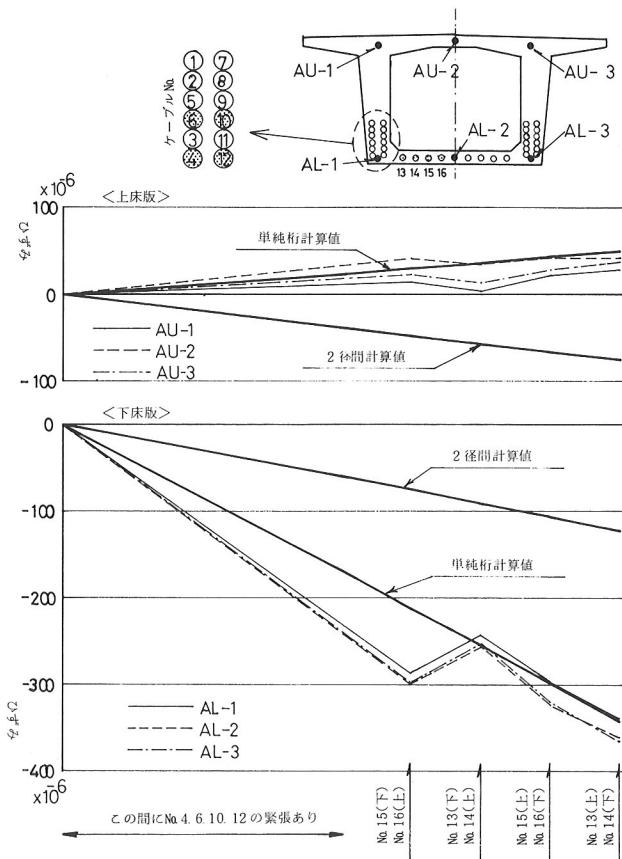


図-22 2次緊張時歪測定結果及び計算値

8. 結 論

以上述べてきた結果から、次のように総括することができる。

- (a) 主ケーブルシースが断面の下部に集中配置されている桁中央部が滑り板上に載る時、シース周辺、特に上下シース間には大きな局部歪が生じる。従って設計にあたってはシース間隔について十分検討することが望ましい。
- (b) このシース周辺の歪は、荷重分布の偏心状態に著しく影響される。
- (c) それ故、この反力分布の偏心を少なくするために、滑り板の確質ゴム厚を大きくするか、滑り板構造を改める等することが望ましい。
- (d) 断面歪の変化には、構造系の変化にともなう弾性的なものと、クリープ・乾燥収縮による塑性的なものがあり、これらがお互いに関係しあって複雑に変化するため、単純な解法によって説明することはできない。
- (e) 桁はディープビーム的な挙動をしており、特に滑り

近の断面では歪の直線分布の仮定が成り立たない。

(f) 断面内での歪分布にはせん断遅れの影響が見られるので、設計において床版有効幅について検討することが望ましい。

(g) 傷反力の橋軸直角方向の分布は、仮支柱上ではその鋼製枕梁の弾性支承的挙動のためほぼ一様であったのに対し、本橋脚上では内側に偏心していた。

(h) 押出し施工完了後の主PCケーブル緊張により、桁に設計通りのプレストレスが導入されたかどうかは、設計値が完成系の桁について求められているので、今回の測定値からだけでは判断できない。

しかしながら、測定値には異常な値や傾向が全く見られず、プレストレッシング作業そのものはうまく行われたものと考えられる。

以上、各測定項目より得られた結果をまとめたが、この結果を今後の設計施工の参考とし、また更に多くの資料を収集してより合理的な設計施工の方法を見い出していくことが望まれる。

最後に、本報告書を作成するにあたり、御指導御協力を戴いた日本国有鉄道仙台新幹線工事局福島工事事務所、及び南福島工事区の方々、株式会社日本構造橋梁研究所の方々に対し深く謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 「プレストレストコンクリート標準示方書」
(昭和53年制定) 土木学会
- 2) 「東北新幹線東京起点 252 K 515 M 付近須川橋りょう詳細設計計算書」
日本国有鉄道仙台新幹線工事局福島工事事務所
- 3) 「郡・福間須川Bけた調査他報告書」(昭和55年3月)
日本国有鉄道仙台新幹線工事局福島工事事務所
株式会社 日本構造橋梁研究所
- 4) 「コンクリート構造物のクリープと乾燥収縮」
百島祐信訳 鹿島出版会