

米代川橋梁におけるプレストレッシングの管理

村 上 温*
武 井 稔**

1. はしがき

PC桁の施工に際し所定のプレストレスを確実に導入することが最も重要な作業であることは、いうまでもない。

一般にプレストレッシングの管理については、緊張時の荷重計の読み、およびPC鋼線の伸び量にもとづく方法が確立されており（たとえば、橋田・斉藤著「PC橋梁のプレストレッシングと設計施工」参照）、施工現場では、この方法のほか、補助的に桁の反り、および短縮量を測定してプレストレッシングの管理を行なっている。

一方、最近PC桁のスケールが大きくなり、また多スパン連続桁など不静定次数の多い構造が増えてきており、施工方法もブロック方式など多岐にわたってきてい

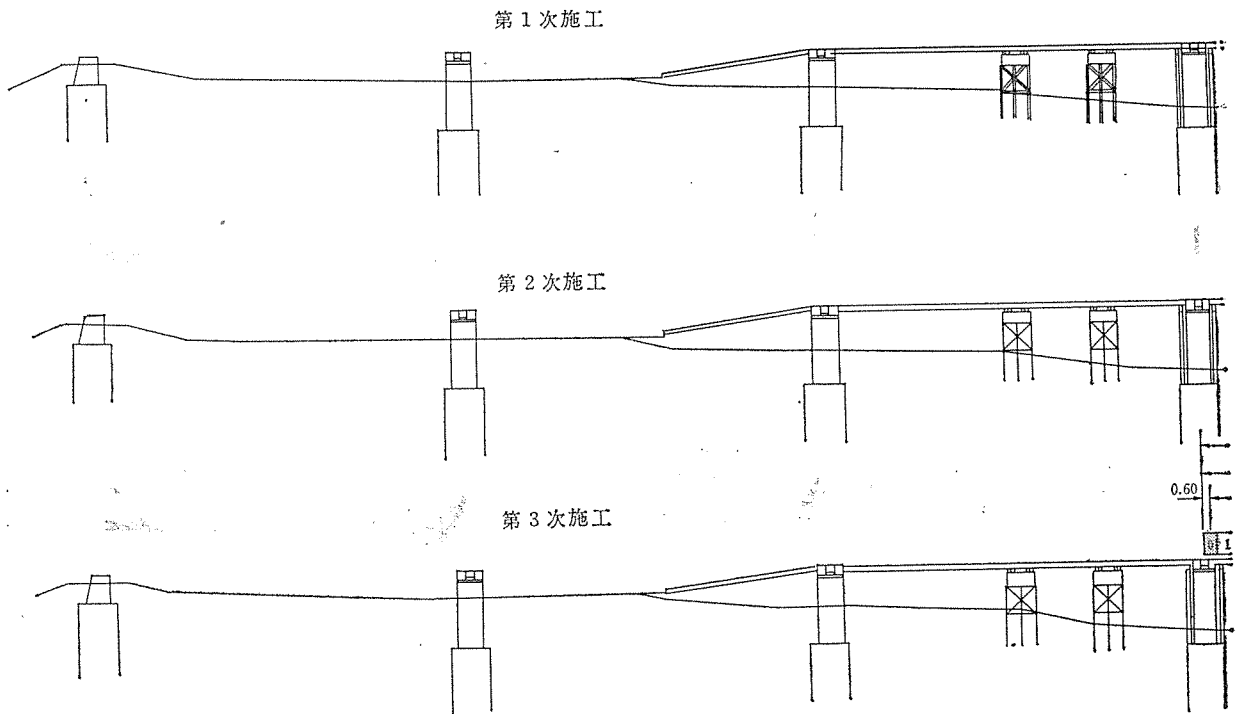
る。

これらの連続桁や特殊な工法を用いた桁では、一般にケーブルが長く複雑であり、また設計断面、すなわち、所定のプレストレスを要する断面も多いので、确实均等にプレストレスの導入される必要がある。

したがって、プレストレッシングの管理についても、ケーブル端における荷重と伸びの検定によるほか、有効な補助的手段があるのが望ましい。

奥羽本線の富根、二ツ井間線増工事に伴って施工された米代川橋梁は、足場式ブロック工法を用いた3径間連続上路PC桁であるが、施工に際しては、示方書に4～5の測定を義務づけ、この測定結果によって導入されたプレストレスの量を検定し、次の段階での施工に資するよう企図した。

図-2 米 代 川 橋 梁



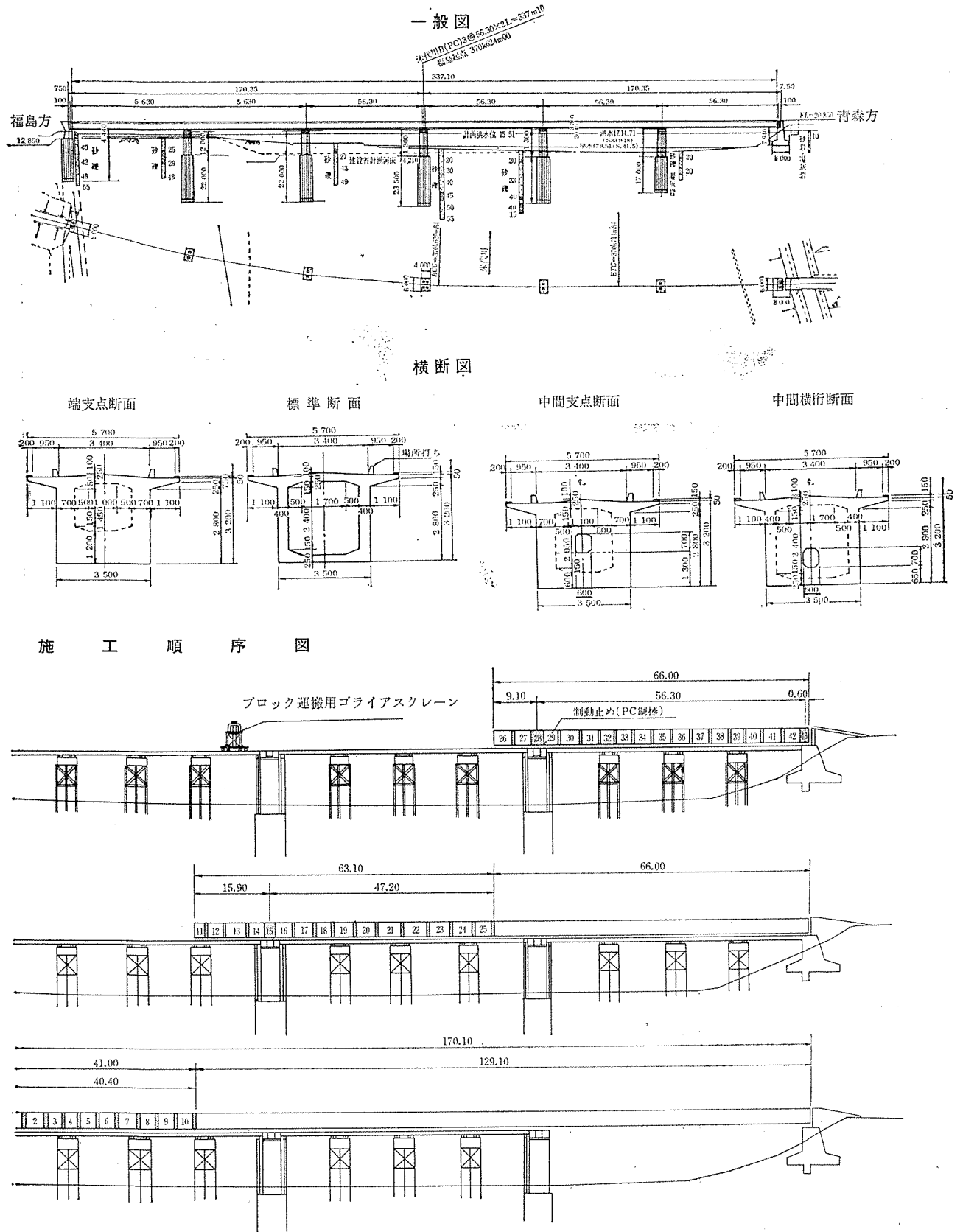
* 国鉄施設局土木課（前盛岡工事局）

** 国鉄東京第一工事局線増第3課（前盛岡工事局）

また、これらの測定の経験よりプレストレスの量を間
接的に推定する有効な方法を見い出そうと試みた。

以下その結果について報告し、参考に供したい（な
お、データ収集は青森方の桁を対象としている）。

図-1 米代川桥梁構造図



2. プレストレス検定の計画

米代川橋梁は 図-1 のような構造で、国鉄では初めて主桁に曲がり桁を採用したのが特長である。

この橋梁は開業時期の関係、および渇水期が台風期、融雪期を除く 11~3 月の 4 ヶ月ということで冬期短期間の施工を要し、かつ河川中の足場の設置期間を短縮する必要があった。

このため種々検討の結果 図-2 のような足場式ブロック工法を採用し、その示方を次のように定めてプレストレスの検定を行なうよう計画した。

奥羽本線富根~ニッ井間土工その他その 4 (米代川橋梁上部) 工事示方書抜粋

1 条 (施工の順序, 方法) この工事の PC 桁は設計図に示すように支保工上に設置したプレキャストブロックを順次緊張する施工法とし緊張方式はフレシナー工法として設計されている。

14 条 (プレストレスング) 1. PC 鋼材の緊張作業に先立ち緊張作業計画書を提出しなければならない。

2. 引張装置の荷重計はこれを使用する前にキャリブレーションをしなければならない。

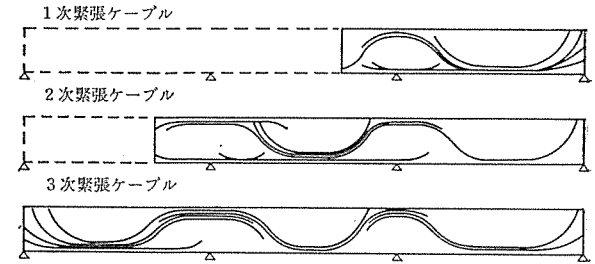
3. プレストレスングはあらかじめ承諾を得た方法で監督員の立合いのもとに行ない次の記録を提出しなければならない。

- (1) 摩擦、およびヤング係数の測定結果
- (2) 荷重計の読み、PC 鋼より線の伸び、PC 鋼線定着時のすべり量を緊張作業計画書と照合したグラフ
- (3) 桁の反りとシュアのすべり
- (4) 支保工の変形量、および下部構造の沈下量

4. あらかじめ主要断面に埋込んだカーソンゲージによってプレストレス導入時のひずみを測定しなければならない。

その数量は 40 個とし、埋込み場所については現場長の指

図-3 米代川橋梁 PC 鋼線形状図



主方向ケーブル
1次ケーブル

緊張順序	ケーブル番号	ケーブル長さ (m)	ケーブル形状
1	⑩	65.000	—
2	⑪	63.157	—
3	⑫	66.416	—
4	⑬	66.402	—
5	⑭	42.615	—
6	⑮	58.692	—
7	⑯	63.407	—
8	⑰	63.352	—
9	⑱	29.582	—
12	㉑	22.080	—

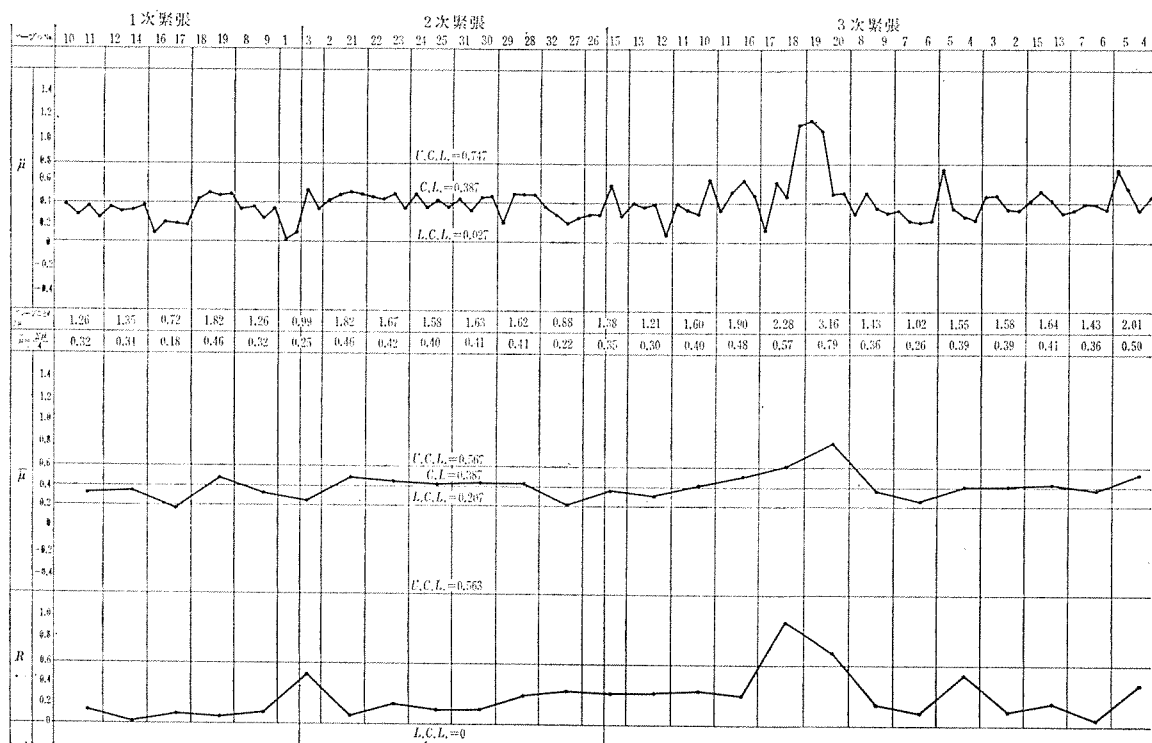
3次ケーブル

緊張順序	ケーブル番号	ケーブル長さ (m)	ケーブル形状
1	⑲	71.752	—
2	⑳	69.739	—
3	㉑	66.416	—
4	㉒	66.402	—
5	㉓	65.000	—
6	㉔	63.157	—
7	㉕	38.111	—
9	㉖	40.817	635
10	㉗	80.264	—
11	㉘	63.407	—
12	㉙	63.352	—
13	㉚	63.352	—
14	㉛	63.610	—
15	㉜	63.633	—
16	㉝	62.526	—
17	㉞	62.889	—
18	㉟	88.253	—
19	㊱	88.919	—
20	㊲	71.752	—
21	㊳	69.739	—
22	㊴	63.610	—
23	㊵	63.633	—
24	㊶	62.526	—
25	㊷	62.889	—

2次ケーブル

緊張順序	ケーブル番号	ケーブル長さ (m)	ケーブル形状
1	③	88.252	—
2	④	88.919	—
3	⑤	86.324	—
4	⑥	80.466	—
5	⑦	80.624	—
6	⑧	70.074	—
7	⑨	74.992	—
8	⑩	54.059	—
9	⑪	45.905	—
10	⑫	41.906	—
12	⑬	25.578	—
13	⑭	28.214	—
14	⑮	25.214	—
15	⑯	22.080	—

図-4 緊張管理図



示をうけること。

5. 緊張作業中に代表的な5ヶ所のケーブルの伸びを観測窓をもうける方法などによって検定すること。
- 15条（緊張の検定と補正）プレストレスングに際し、第14条の指示にもとづき得た記録の結果をもとにしてプレストレスングの検定を行ない、桁完成までに少なくとも3回以上緊張計画書を補正すること。以上なお、図-3は本橋梁のケーブルの配置、およびケーブル形状図である。

3. プレストレッシング管理の実施および、その結果

2. に述べたような示方により測定を実施しプレストレスの検定を行なったが、その結果を項目別に述べると次のとおりである。

(1) 荷重計の読みと鋼より線の伸びによる管理（通常の緊張管理図による管理）

図-4はこの桁の緊張管理図である。

ブロック製作に際してはシースの配置に特に注意し、コンクリート打設中にはシースが変形しないよう硬質塩化ビニールパイプをそう入した。

また、多数のケーブルについて緊張に先立ち摩擦を少なくするため石けん水を用いて洗浄を行なった。これらの配慮の結果、緊張の管理状態はほぼ良好で、当初考えたような緊張計画の変更は必要としなかった。

通常の管理限界を越える摩擦係数 μ の値を示したのは桁の端部、下方に配置されたNo. 18、およびNo. 19ケーブル($\mu=0.80\sim 1.20$)である。

これらのケーブルは縦断形状が単純で、ケーブル長が短いので曲げ上げ角度とケーブル長のみにもとづく計算上の摩擦は少なくなるが、平面形状の変化、ブロック相互間のシースのずれなど、他にも多くの摩擦の原因があるので計算で求めたものより大きい摩擦係数 μ を示すことになったものであると考えられる。

(2) 桁の縮み、および反り

桁の縮みは示方書に示したようにシューの移動という形で測定したほか、全長をスチールテープで測定するという方法をも試みた。

シューの移動量は図-5に示すように、上シューに0.5mm読みのスケールを貼り、下シューに基準針を設けて測定した。

図-6は測定結果をまとめ、 $E=3.5\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ として計算した理論値と比較したものである。

図-5 桁移動量測定方法

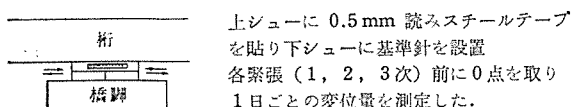
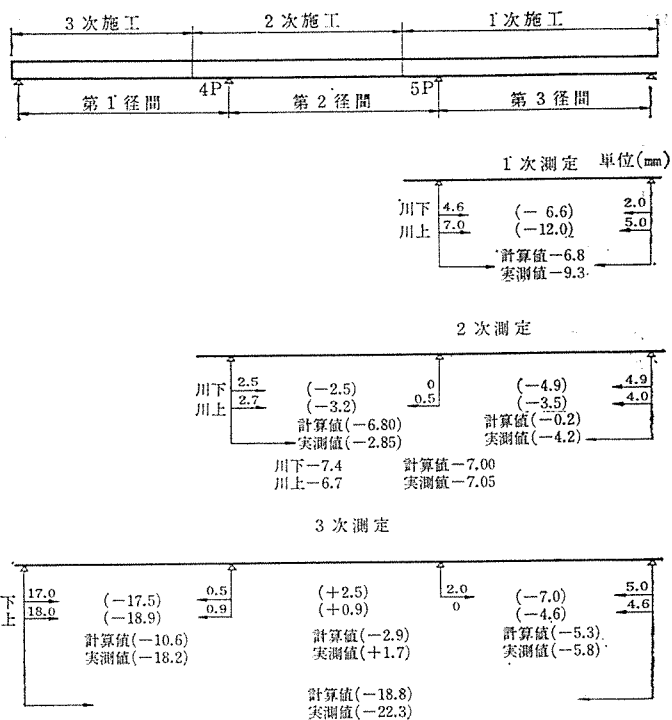


図-6 断面図心位置のコンクリート応力度の各径間ごとの平均値より求めた変形量と実測値の比較



実測値と理論値を比べると縮みの全体の量についてはほぼ一致しており、スパンごとの縮み量については一部に若干の差がみられる。

たとえば3次緊張時の4P~5P間では計算値が2.9mmの縮みであるのに対し実測値は1.9mmの伸びになっている。これは各支点相互において下部構造の剛性に差があるためであると思われる。

シューの移動量とは別に桁の全長をスチールテープで測定し、桁の縮みを求めた。測定は、ばねばかりを用い補正を施して慎重に行なったが結果については表-1に示すとおりであり、理論値と実測値の照合結果は良好でない。

このようにスチールテープを用いての測定は、桁のスケールが大きく、しかも曲線桁となっている今回のような場合には不適當であったといえる。

次に桁の反りについては図-7に示すようにレベルを用いて測定した。

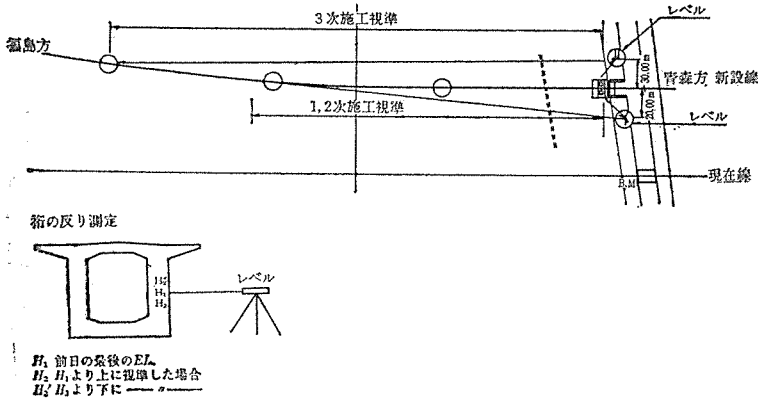
結果は図-8に示すとおりで、キャンバーを取りはず

表-1 桁の伸縮量の測定結果
(スチールテープによる測定) (単位 m)

	1次施工	2次施工	3次施工	摘要			
緊張前	65.440	0	126.860	0	169.018	0	1次施工は鉄建建設測定
第1日	65.420	-0.020	126.866	+0.006	169.017	-0.001	
第2日	65.418	-0.022	126.853	-0.007	169.014	-0.004	
第3日	—	—	126.842	-0.018	168.990	-0.028	
第4日	—	—	126.836	-0.024	169.001	-0.017	

注: 1) 測定は1日の緊張が終るとスチールテープにて測定する。
2) 測定の際ばねばかりを使用。

図-7 プレストレスによる桁のデフレクション，支点沈下の測定方法



す前には桁にアップリフトがかかっているが、キャンバーを取りはずすと自重が働き、桁がたわむ様子がよく現われている。

以上の測定結果より判断すると桁の縮みおよび反りの測定は、緊張量検定の補助手段として十分有効と思われる。

(3) 観測窓による鋼より線の移動量の測定

図-9 に示す支間中央および支点上の5カ所に 300×300 mm の大きさの観測窓を設け表-2 に示したようなケーブルについて緊張時の伸びをスケールで測定した。

図-10 は代表的な測点における 荷重と鋼よ

図-8 桁 の 反 り

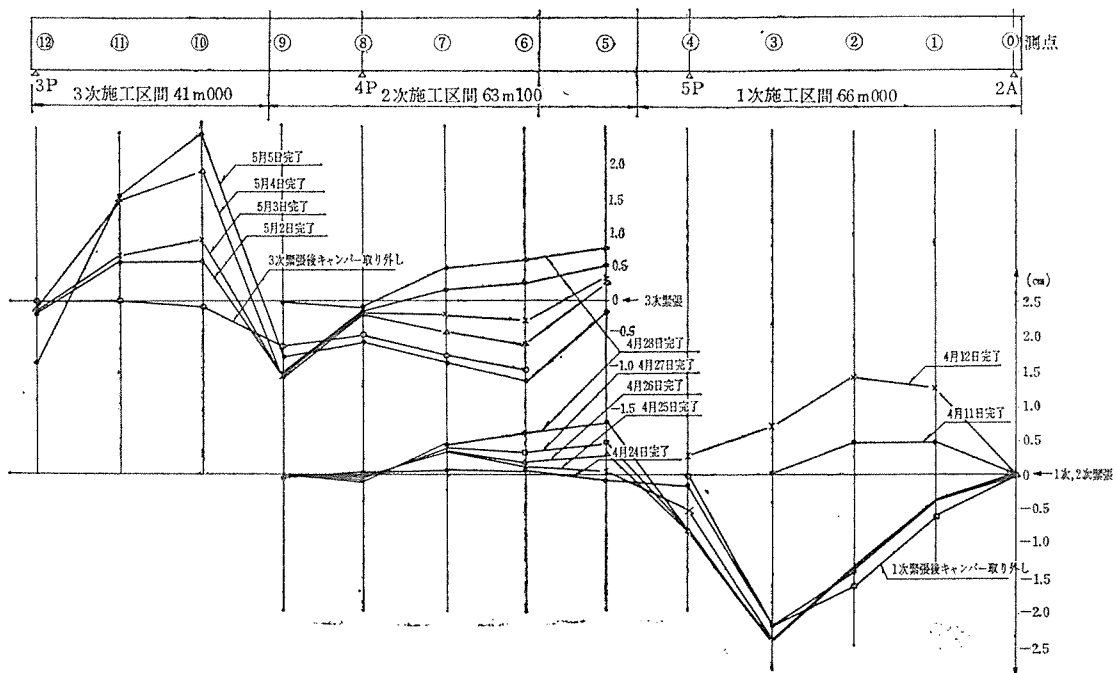


図-10 観測窓における鋼線の移動

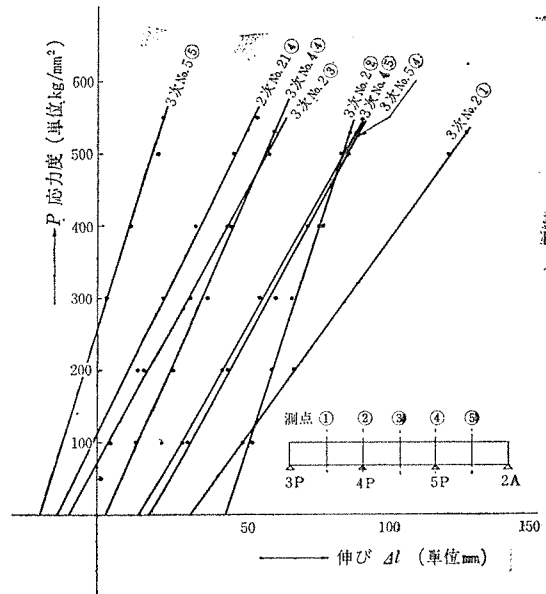


図-9 測定位置

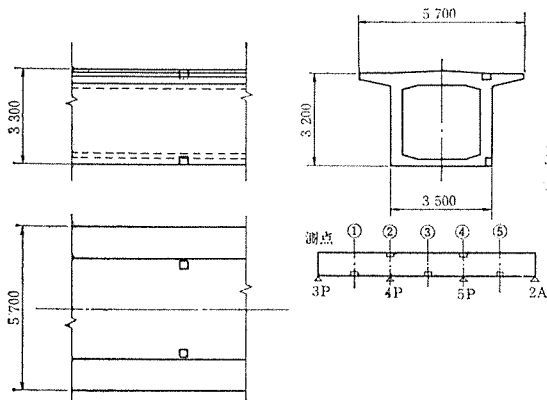


図-11(a) 区間ごとの伸びと応力分布の比較

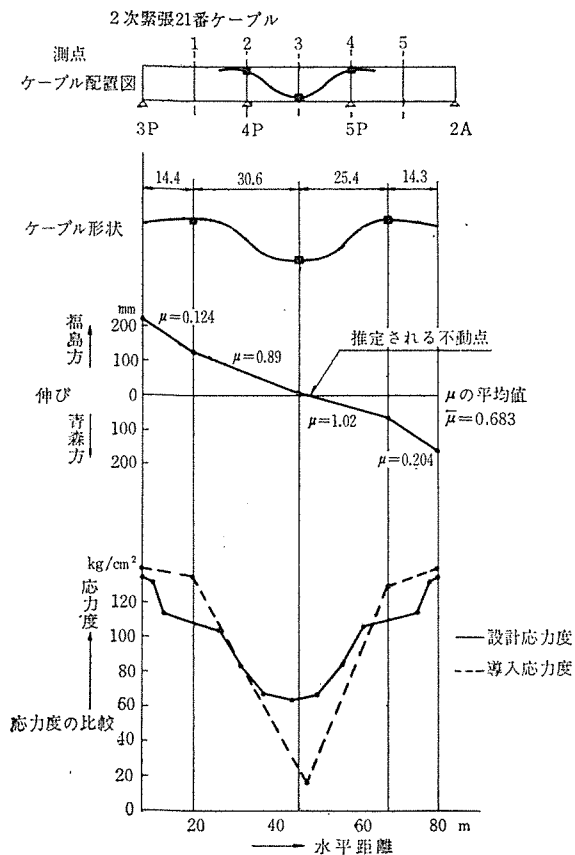


図-11(b) 区間ごとの伸びと応力分布の比較

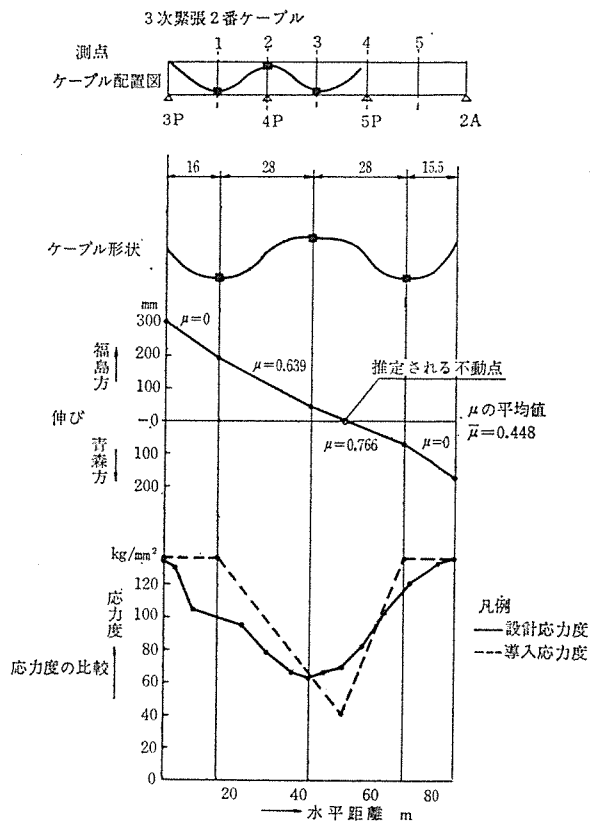


図-11(c) 区間ごとの伸びと応力分布の比較

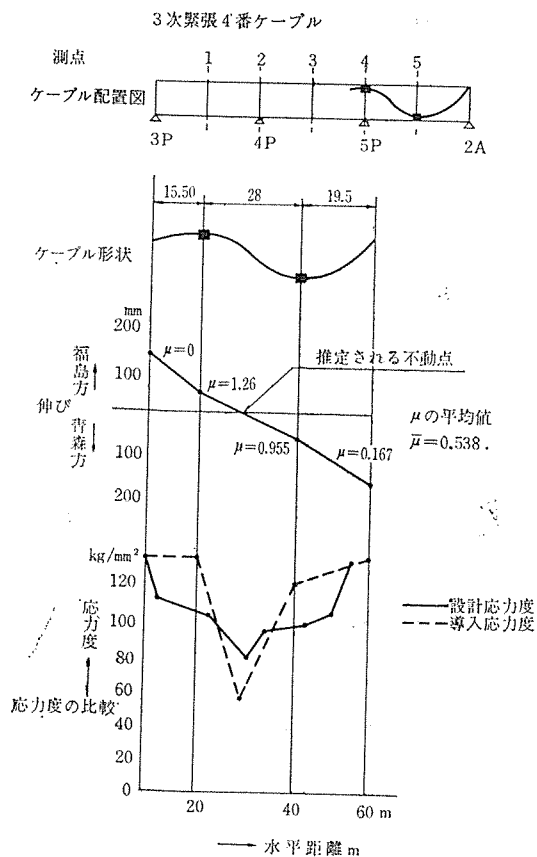


図-11(d) 区間ごとの伸びと応力分布の比較

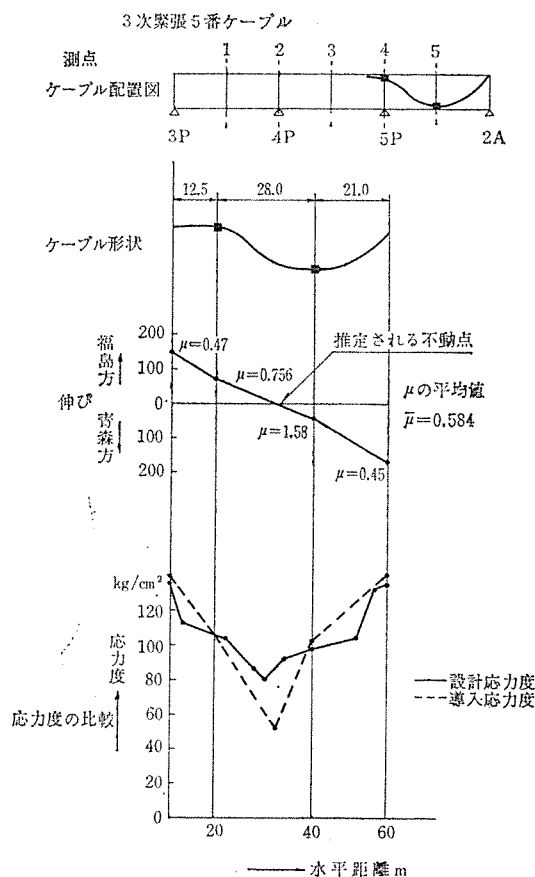


表-2

ケーブル No.	測定時点および箇所
No. 3	2次 ③ ④ ⑤
No. 2	2次 ③ ④ ⑤
No. 21	2次 ② ③ ④
No. 20	3次 ② ③ ④
No. 2	3次 ① ② ③
No. 5	3次 ① ② および ④ ⑤
No. 4	3次 ① ② および ④ ⑤

り線の伸び量との関係を示すグラフである。

図-11 の 4 枚のグラフの上半部は測定ケーブルの箇所ごとの最大伸び量を緊張端も含めて描いたグラフである。図-10 によれば鋼より線の伸び

が荷重に応じて円滑に進んでいる様子がよくわかる。次に図-11 によれば No. 2 ケーブルの例にみるように両引きケーブルについても若干は片引きの傾向になり必ずしも不動点がケーブルの中央にならないことがわかる。特に注意を要するのは No. 21 ケーブルの例にあるようにケーブルの伸び率が全長にわたって一様でない場合があることで、これは摩擦の大きさが一様でないためである。通常の緊張管理は両端の伸びより算出した平均化された摩擦係数 μ を用いて処理されているが、実際には μ がケーブルの区間ごとに、かなり違っているわけである。

したがって、ケーブルに生じている応力についても μ が一様であるとして推算したものと実際の応力とでは差が生ずることになる。

図-11 の下半部はこの点を比較したグラフであるが、実際にケーブルに生じている応力が平均値の μ より計算した応力とかなり相違していることがよくわかる。

このように観測窓を設けてケーブル各点の伸びをチェックし実際の摩擦の分布状態を知ることは正確な応力分布の状態を知るうえに大いに有用であると思われるので、連続桁のように所定のプレストレスを要する断面の多い場合には、今後さらに活用されることを期待したい。

(4) 応力の測定による緊張量の管理

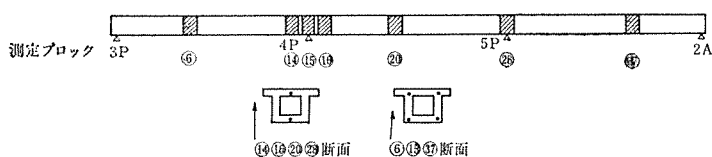
図-9 の観測窓を利用して移動量を測定した鋼より線にストレインゲージをはりつけ、導入時のひずみを直接測定した。

また、示方にもとづき図-12 に示す位置にカールソングージを配置してコンクリートの応力を多くの労力を費して測定した。

しかし、いずれの測定についても測定値と理論値は一致せず、プレストレスの量の検定という観点からいっても目安をつける役目も達せられなかった。

他の報告書をもても、応力測定の結果によりプレスト

図-12 カールソングージ埋込み位置図



レスの量を正確に検定するのは困難で、せいぜい目安をつける程度といわれているが、今回も例外ではなかったわけで、桁のスケールが大きく測定点が多かったので、目安の役目もむずかしかったわけである。

応力の測定値を施工管理に活用するには正確なゲージの設置、確実な測定、測定値からのクリープ乾燥収縮の影響の除去など、測定の実施および結果の処理に多くの技術経験を要するが、これらの技術力を確保するのが施工現場では困難であるというのが実情のようである。

たとえば、今回の測定でも鋼より線にはったゲージでは、鋼より線全体の伸びにつれてゲージのはられた鋼線がよじれながら伸びたため、ゲージがはがれるという失敗があり、カールソングージでは多くの測定値からクリープの影響などを消去して測定値を短時間でまとめるのが困難であった。

しかし、応力測定は円滑に実施されれば有効な施工管理の方法であると思われるので、今後いっそうの測定技術の蓄積を期待し今後の施工でも経験を重ねたい。

(5) 各種の管理方法の比較

以上 (1)~(4) に述べたように、各種の測定を行なったが、その結果をまとめ、かつ各方法を比較すると次のようにいえる。

1) 結局、通常の鋼より線の伸びと荷重計の読みによる管理がもっとも確実で、今回の施工でも施工の途中の段階における検討は、もっぱら緊張管理図により行なった。

2) 桁の縮みや反りはプレストレス導入の全体の目安をつけるのに有効で、特にシューの位置で縮みを正確に測定するのがよい。

3) 観測窓を設けケーブルの移動量を測定するのは、ケーブルの摩擦が一様になっているかどうかのチェックに大いに有効で、今後さらに活用が期待される方法である。

4) 応力の測定によるプレストレスの管理は、測定技術力を十分確保しなければ困難で、現段階ではあまり有効でない。

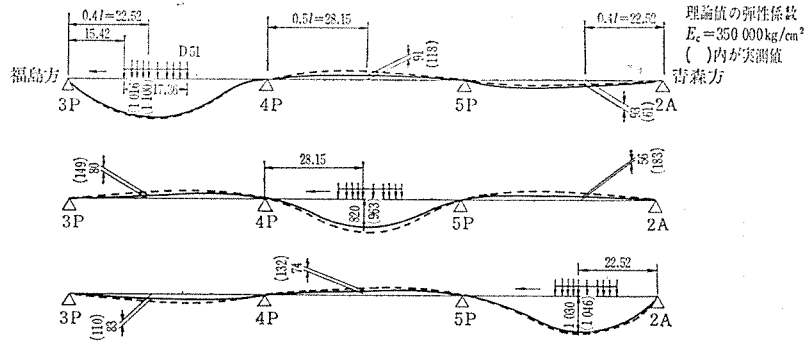
(6) 完成後の载荷試験

(1)~(5) にのべたような方法でプレストレスの管理を行ない桁を完成したが、桁完成後行なった機関車による载荷試験では図-13 に示すように測定値と理論値がほぼ一致しており、桁が健全であることが証明された。

4. その他の測定結果について

プレストレス管理のための測定のほか二、三の測定を行なったので、あわせて結果を報告する。

図-13 載荷試験結果



(1) 支保工の沈下

河中部分の支保工は図-14に示すような構造である。H型鋼はP & Hで打設し、打止まり15mm、支持力20tで規制した。鋼材のつなぎはボルトφ22で、サンドル相互間は、かすがいで連結した。

本工法では、ブロックをゴライヤスクレーンで運搬し所定の位置で足場上に降置するので運搬中は支保工の外側に荷重がかかり足場上にブロックを置いたときは内側に荷重がかかる。

そこでこのような偏心荷重に対し支保工が十分に働かぬか、および荷重の移し変えによりどのように杭にかかる荷重が変化するかを調べるため図-15に示すように荷重を動かし、図-16に示すようにサンドル部分とH型鋼部分に分けて沈下を測定し、また、図-17に示すように各杭にストレインゲージを張りつけ応力を

測定した。図-18, 19は沈下の、図-20は応力の測定結果をまとめたものである。

これらによると次のようにいえる。

1) 荷重点が近づくにつれて荷重に近いほうの支保工の沈下は増加する。荷重より遠い部分は当初浮き上がる傾向にあるが、荷重が支保工上にくると沈下する。

2) 支保工上に荷重のきた時点における沈下量はサンドル部分1.5~10mm、H鋼部0~2.0mmで、沈下の

図-15 測定時荷重点位置略図

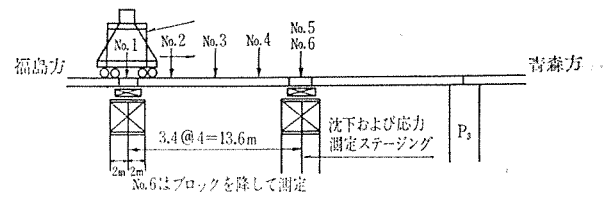


図-14 河中部支保工全体図

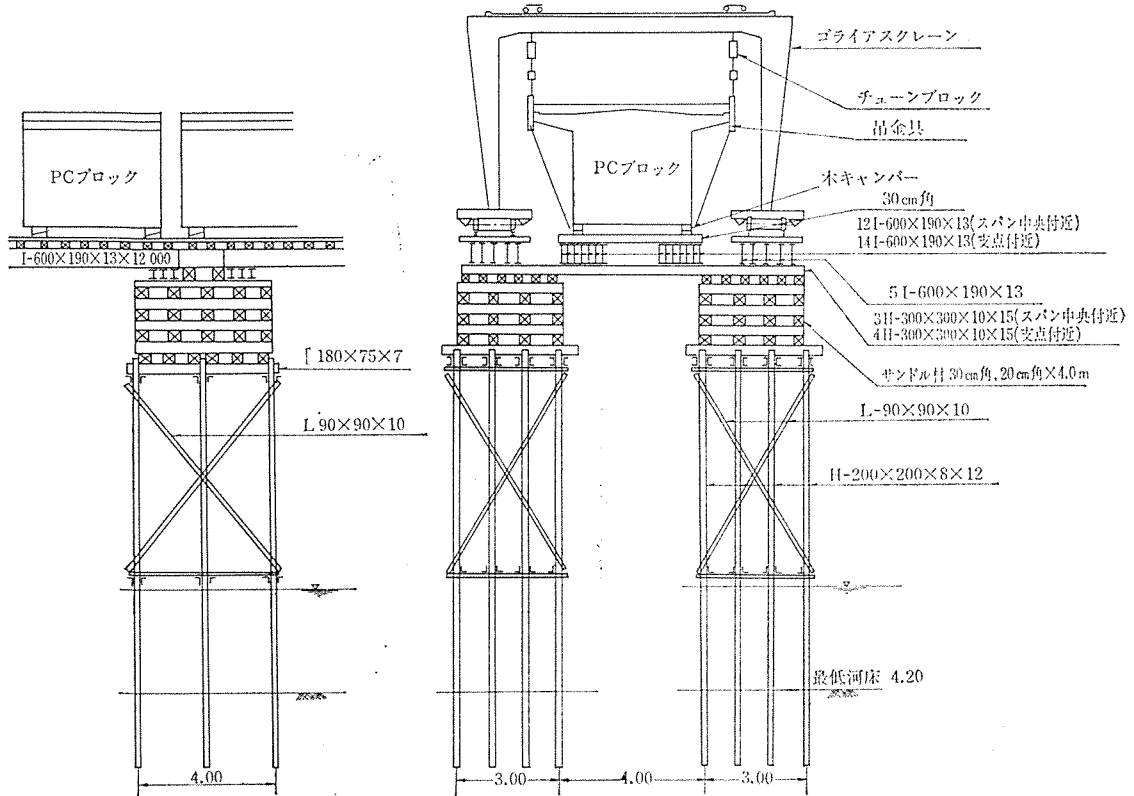


図-16 支保工沈下測定位置略図

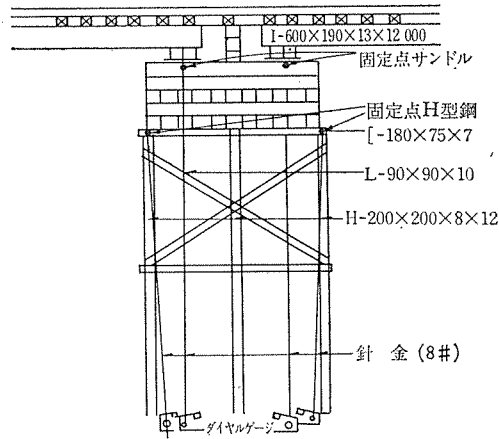


図-17 支保工応力測定位置略図

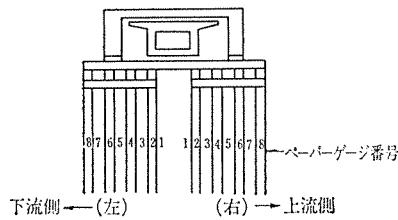


図-18 線路直角方向支保工沈下 (サドル部分)

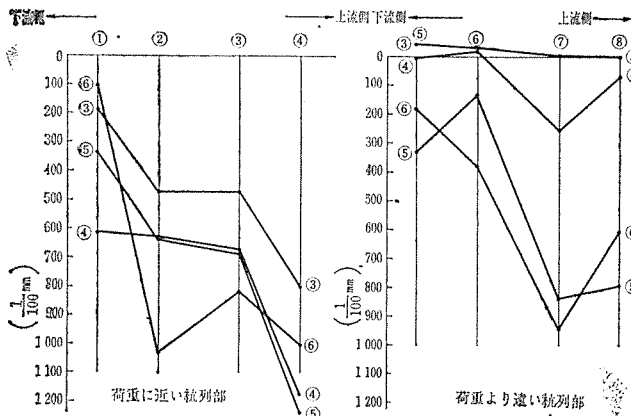
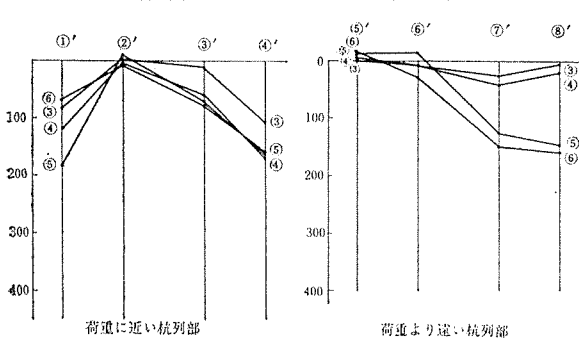


図-19 線路直角方向支保工沈下 (H型钢部分)



大部分はサドル部分に生じている。

3) 荷重点⑤のときの読みと⑥のときの読みを比べると明らかなように、荷重の移し替えによる沈下の異動はかなり明瞭で、載荷点⑤で支保工外側にかかっていた荷重が⑥では内側にかかってくるのがわかる。

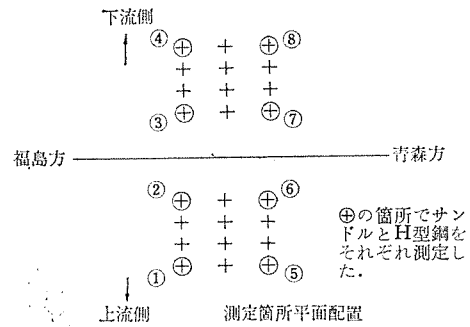
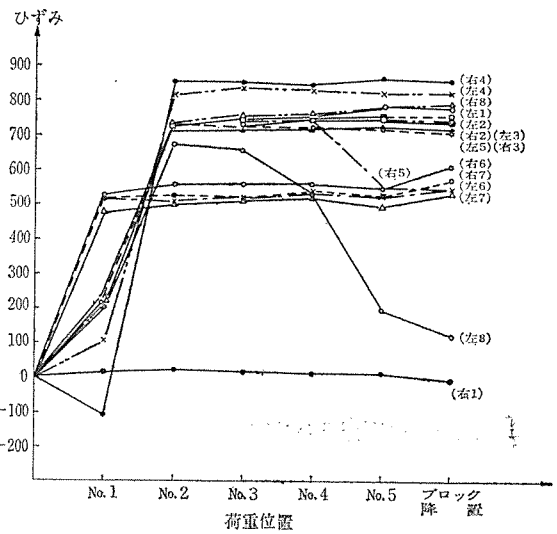


図-20 支保工応力測定結果



4) 応力測定結果にみるように最終的には各杭に働く荷重は、かなり一様になるといえる。

以上の結果、支保工については特に設計を修正せず施工を続行した。

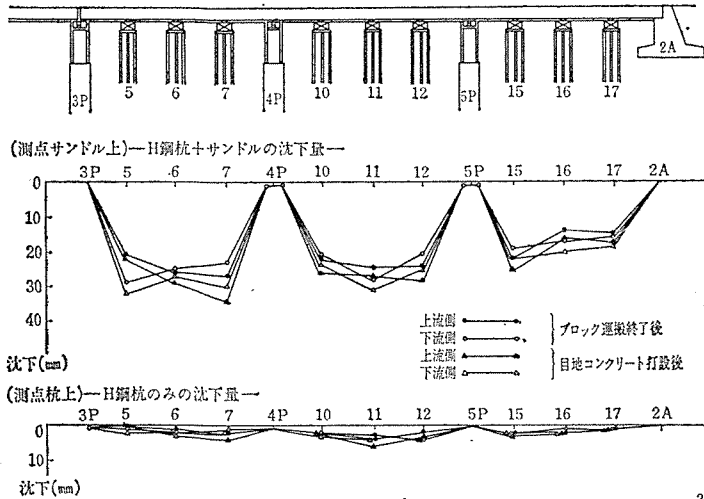
実際の施工時に、ブロック設置、およびコンクリート打設による沈下量を全部の支保工について測定したが、その結果を 図-21 に示す。

これによれば、支保工の沈下はほぼ一様で、サドル部分 20 mm, H型钢部分 3 mm であり、ブロックの運搬設置によって 20 mm コンクリート打設によって 3 mm となっている。

サドル部分の沈下は予備試験のときより多く、サドルの積重ね部分の数は5ヵ所であるから1ヵ所あたり4 mm となっていて、他の報告の例や支保工沈下の標準とされている木材と木材の接合箇所で2 mm というのにくらべるとかなり多い。

本工法は、本格的な場所打設にくらべて足場が簡易にできるのが特長であり、また、予備試験の結果サドル

図-21 桁ブロック設置後の支保工の沈下測定結果



ルはかすがいで止めるだけで十分ということで、そのように施工したが結果的にはモルタルを接合部につめるなど、もう少ししていねいな施工が望ましかったといえる。

(2) 水平変位の測定

曲線主桁を採用したので緊張時にどのくらい桁が水平に変位するか、図-22 に示すようにトランシットで測定した。その結果は図-23 のとおりである。

これによると水平移動量は最大 80 mm くらいであるが、必ずしも曲線の内方へのみ異動する傾向はなく、また、まだカーブに少ししか入っていない1次緊張のときの変位 20~30 mm と、それ

図-22 水平変位測定法略図

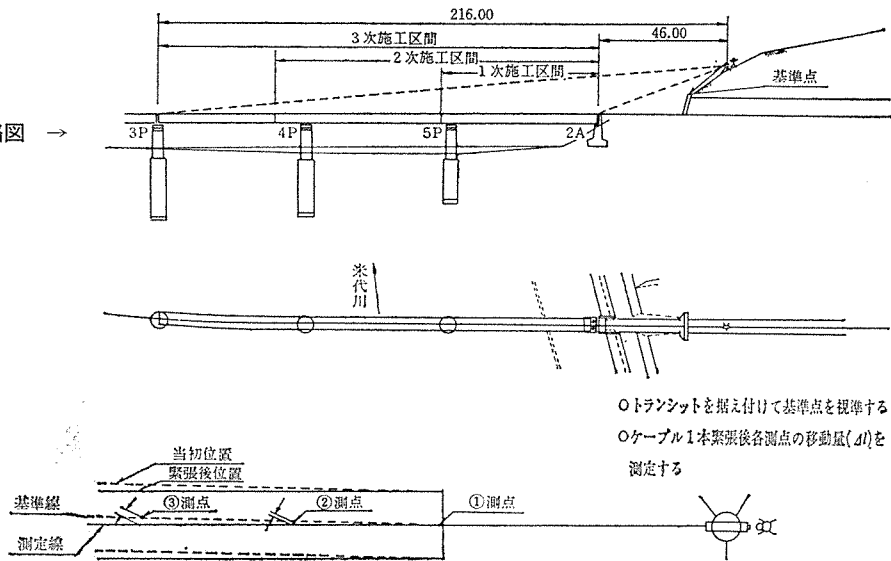
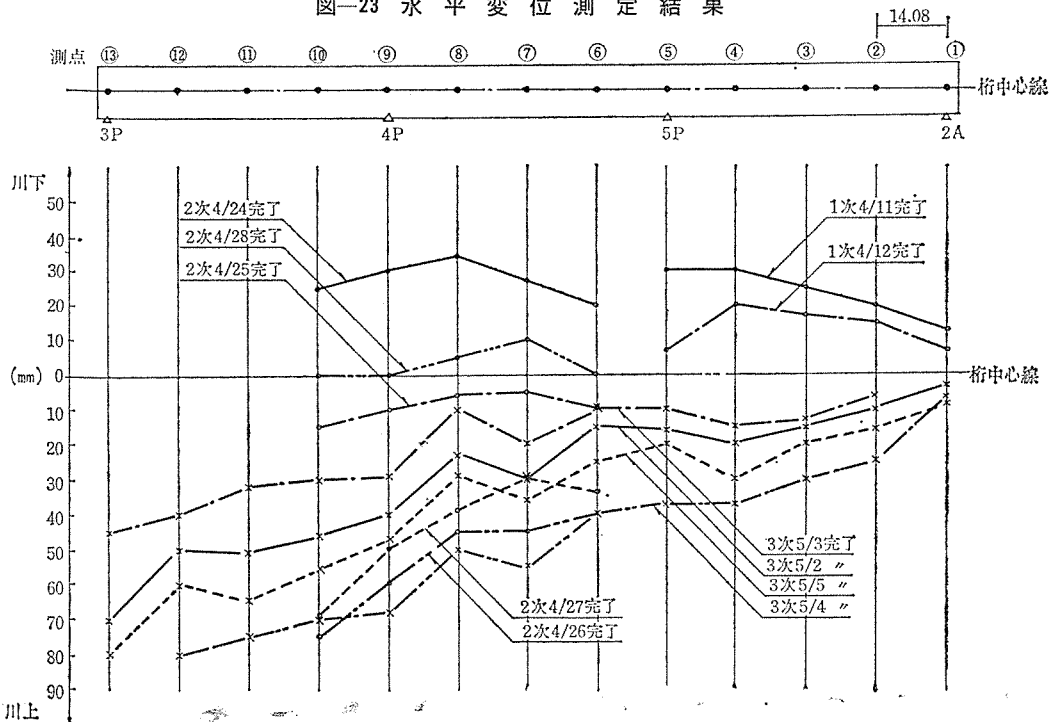


図-23 水平変位測定結果



以後の変位にも大差がないので曲線桁を採用したことによる影響は、あまり認められない。

5. おわりに

以上で簡単ではあるが報告を終る。

今後、PC桁についてはスケールも大きくなり、施工法も新しいいろいろの手法で行なわれるようになって思うが、施工にあたっては、その場その場に応じてきめの細かい配慮をし労力を惜しまず、良好な管理をしたいもので、そのためには少々の無駄があっても多くの測定を行ない実態を把握しながら施工を進めることが必要であると思われる。そういう意味で、今回は若干の失敗や無駄もあったが、多くの測定を行なったわけで、この小文が今後のPC技術の向上に、いささかでも役立てば幸甚である。

なお、米代川橋梁の設計施工については次のように多

くの報告が発表されているので参照されたい。

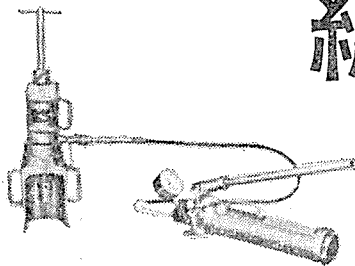
- 1) 小池, 小須田: 米代川橋梁の設計, 土木技術, 24 卷 10 号
- 2) 池原, 尾坂, 村上: PC連続桁による米代川橋梁の耐震設計, コンクリートジャーナル, 7 卷 12 号
- 3) 村上, 堀松: 米代川橋梁のコンクリート温度測定, 土木技術, 25 卷 4 号
- 4) 皆川, 近藤: 米代川橋梁の設計施工, 土木学会誌, 55 卷 5 号
- 5) 石田, 生田: 米代川橋梁の施工と試験, コンストラクション, 8 卷 6 号

参 考 文 献

- 1) 丸安, 他: 型枠支保工の設計と施工, 技報堂
- 2) 森田: 常盤線那珂川橋梁PC桁施工について, プレストレストコンクリート, 10 卷 5 号
- 3) 谷島, 加藤: 六郷川橋梁改良工事(後篇), 橋梁, 1969 年 2 月
- 4) PC研究グループ: 実施橋梁におけるPC桁の工事データ, 橋梁, 1969 年 5 月

1970.11.20・受付

PC 用 油 圧 機 器 の 総 合 メ ー カ ー



センターホールジャッキ・モリプラー
PAT.No. 4 6 7 1 5 4

住友 DWジャッキ
PAT.No. 2 2 6 4 2 9

製 造 元

K.K 平林製作所

京都市宇治市槇島町目川 8
TEL 宇治(0774) 22-3770番

発 売 元

草野産業株式会社

本 社
大阪市東区備後町 1 丁目 11 番地
TEL 大阪(261) ~ 8 7 1 0 - 8 7 2 0
東京事務所
東京都千代田区神田錦町 3 丁目 21 番地
柴田錦橋ビル TEL (201) ~ 3546



プレストレスト・コンクリート

○各種構造物の設計・施工

BBRV, フレシナー, MDC, SEEE工法

○セメント二次製品の製造・販売

PC製品(桁, ハリ, 版類, マクラギ)

ポール

パイル(PC, RC)

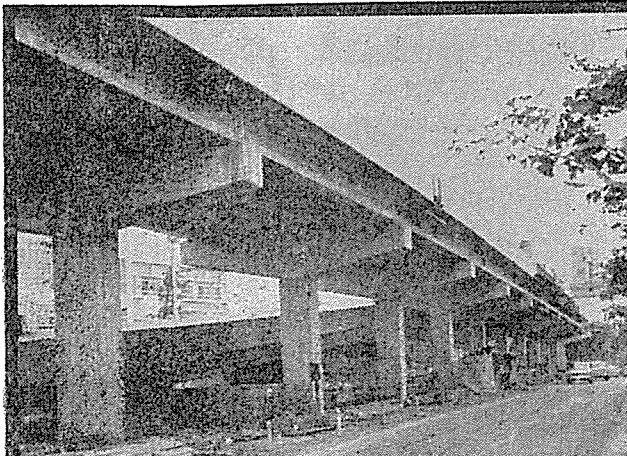
ブロック類

帝都高速度交通営団 5号線長島町工区
延長 643m 複線



北海道ピー・エス・コンクリート株式会社

本社・東京営業所	東京都豊島区北大塚1丁目16番6号(大塚ビル)	電話 東京(918)6171(代)
札幌営業所	札幌市北三条西4丁目(第一生命ビル)	電話 札幌(241)5 1 2 1
大阪営業所	大阪市北区万才町43番地(浪速ビル東館)	電話 大阪(361)0995~6
福岡営業所	福岡市大名1丁目1番3号(石井ビル)	電話 福岡(75)3 6 4 6
仙台事務所	仙台市本町1丁目1番8号(日本オフィスビル)	電話 仙台(25)4 7 5 6
名古屋事務所	名古屋市中区錦3丁目23番31号(栄町ビル)	電話 名古屋(961)8 7 8 0
美唄工場	美唄市字美唄1453の65	電話 美唄 4 3 0 5 ~ 6
幌別工場	登別市千歳町130番地	電話 幌別(5)2 2 2 1
掛川工場	静岡県掛川市富部	電話 掛川(2)7171(代)



首都高速度道路高架橋

プレストレスト
コンクリート
建設工事 フレシナー工法
MDC工法
設計・施工
部 材
製造・販売

豊田コンクリート株式会社

取締役社長 西田 赫

本 社	愛知県豊田市トヨタ町6	電話 0565 (2) 1818(代)
名古屋営業所	名古屋市中村区笹島町1-221-2	電話 052 (581)7501(代)
販売本部販売部	東京都港区西新橋2-16-1 全国タバコセンタービル2階	電話 03 (436)5461~3
工 場	豊田工場・海老名工場	