

野 積 橋 工 事 報 告

——補助支柱を使用した全径間張出し架設工法——

後 上 政 身*
藤 田 和 仁**

1. はじめに

本橋は、新潟県 間瀬～寺泊間を結ぶ県道の信濃川分水河口部に、既設の老朽木橋に代るべく、架設された県道橋である。

架設地点より上流約 6 km に信濃川本流と分水への流量調整を目的とする水門があるため、架設地点での流量は非常に不安定である。また、流水幅も非常に広く、特に右岸側は、橋台前面まで水が流れているので、下部工基礎施工のための水中築島や、上部工施工のための支保工建込みは非常に困難である。

そこで、本工事では、橋脚基礎工事に浮きシューを用いたケーソン工法、上部工側径間施工に補助支柱 (Hilfs Joch) を用いた全径間張出し架設工法を採用した。

浮きシューによるケーソン工は、別の機会に述べることとして、この報告書では、補助支柱を使用した全径間張出し架設工法について記述することにする。

形 式：ディビダーク式プレストレスト コンクリート橋

設計・施工：鹿島建設株式会社

上部工数量：コンクリート $\sigma_{28}=400 \text{ kg/cm}^2$
1 060 m³

鉄 筋 SD 30 68 t
P C 鋼棒 $\phi 27$ 2種 79 t

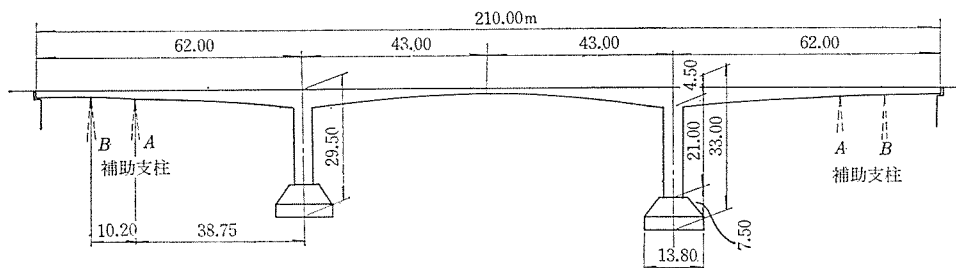
3. 設 計

まず、上部工の施工順序を概説する。

橋脚が完成すると、橋脚頭部に埋め込んだ鋼材 (I ビーム, H 鋼等) を利用して支保工を組み、橋脚上 8.20 m 区間の桁コンクリートを打設する。この区間にプレストレスを導入したのちこの上にフォルパウワージェン (移動式作業車、以後“ワージェン”と略称) を 2 基組立て、中央、および側径間に 1 ブロック 3.40 m ずつ均衡を保たせながら張出す (図-2~3 参照)。

中央径間 22 ブロック、側径間 21 ブロックまで、おのおの 41.5 m 張出すと中央径間では中央ブロック 73.0 m を残すのみとなる。側径間は、その後、21 ブロック先端より 2.75 m 橋脚側に入った点を補助支柱 A で支え、さらに 3 ブロック

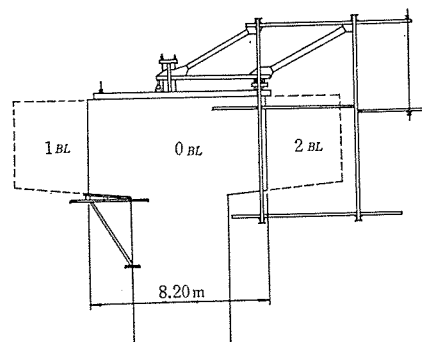
図-1 一 般 図



2. 工 事 概 要

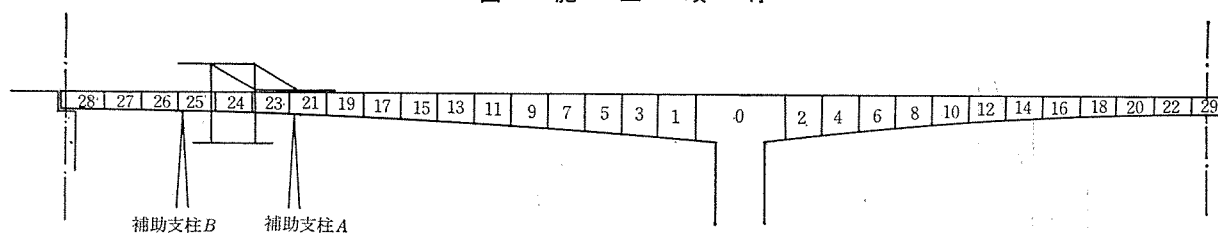
工 事 名：野積橋橋梁架換工事
企 業 者：新潟県
施 工 場 所：信濃川大河津分水河口部
径 間：62.0+86.0+62.0 m
幅 員：全幅 6.50 m 有効幅員 6.00 m
橋 格、荷 重：二等橋 TL-14
構 造：中央ヒンジ付 3 径間連続ラーメン桁

図-2 柱頭部支保工およびフォルパウワージェン



* 新潟県土木部道路建設課
** 鹿島建設株式会社土木設計部

図-3 施 工 順 序



10.2 m 張出して、同様に 25 ブロック先端から 2.75 m 入った点に補助支柱 B を当てる。

補助支柱 B では、補助支柱 A の反力が 0 になるまでジャッキアップし、さらに最終的に橋脚に作用する曲げモーメントを考慮して、41.0 t の上揚力を加える（理由については後に述べる）。

以後、26, 27 ブロックを同じくワーゲンをを使って張出し架設したのち側径間最終ブロック 3.50 m をつり型わくを使って施工する。最後に、中央径間の 29 ブロック 3.0 m をつり型わくで施工して、主桁架設を完了する。

全体の構造は、中央にせん断力のみ伝達するヒンジをもつ 3 径間連続ラーメン桁で、橋台上は可動とし、地震時橋軸方向の水平力はすべて橋脚で抵抗する構造になっている。また、橋脚と主桁の結合は、天草 4 号橋（PC 協会誌 Vol. 8, No. 1, 1966）と同様にトラス形の横桁を設け各部材にプレストレスを導入して剛結している。

このようなタイプの橋梁に補助支柱を使用した場合の利点としてつぎの二点を特記することができる。

- a) 側径間主桁架設上の簡易性、経済性
- b) 応力調整の簡易性

(1) 側径間主桁架設上の簡易性、経済性について

中央ヒンジ付 3 径間ラーメン橋の場合、コンクリートのクリープが進行した時点で、死荷重とプレストレスによって橋脚に作用する曲げモーメントを 0 に近くするためには、スパン割りを、1.3 : 2.0 : 1.3 から、1.4 : 2.0 : 1.4 程度にしなければならない。

ディビダーク式張出し架設工法を使って主桁の架設を行なう場合、橋脚から対称に桁を張出すので、最終に側径間の約 0.25 l 区間の架設がつり合いに残ることになる。一般にこの区間は支保工上で施工することが多いが、補助支柱を用いるとこの部分を続けてワーゲンで張出し架設することが可能になる。

特に本工事のように、水中に支保工を組まねばならないような架設条件の場合には、支保工の代りに補助支柱を用いることは、施工を容易にし、経済的にもすぐれた結果が得られる。

(2) 応力調整の簡易性

施工完了後、橋脚に作用する曲げモーメントが常に大きければ、下部構造に偏圧力がかかり基礎岩盤に塑性変

形が生じて、上部構造にもその影響がおよぶ恐れがある。補助支柱を用いた場合には、補助支柱上にジャッキをすえ付けて、加圧力を調整することにより自由に橋脚に作用する曲げモーメントを調整でき、最終的な曲げモーメントを小さくすることができる。また、橋脚に作用する曲げモーメントに限らず、主桁に作用する曲げモーメントの調整を目的とした反力調整も容易に実施できる。

反力調整自体は目新しい作業ではなく、橋台上にその設備を備えて実施したりしているが、補助支柱を使用した主桁架設工法では、それがいとも簡単に実施できることに利点がある。

補助支柱を使用した場合の大体の傾向を知るために、ここで、本橋梁の設計を曲げモーメントを中心に述べてみよう。

本橋のように施工中と完成後の力学的な系が異なる構造物では、完成後、コンクリートのクリープが進行するにしたがい、支点反力、曲げモーメント、せん断力等の断面力が漸次変化する。この変化を示せば一般に次式のようなになる。

$$M_{t=\infty} = M_B + (M_L - M_B)(1 - e^{-\varphi'})$$

$\varphi' = 2.0$ 施工完了時のクリープ進行度 40% として

$$\varphi = 2.0(1 - 0.4) = 1.2$$

$$(1 - e^{-\varphi}) = 0.8$$

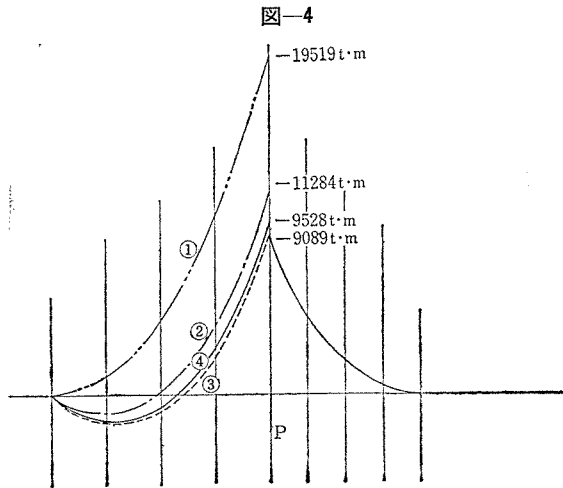
ここで、 M_B : 施工完了時の曲げモーメント

M_L : 全体を支保工上で一時に施工したと仮定した場合の曲げモーメント

$M_{t=\infty}$: コンクリートのクリープが完了したのちの曲げモーメント

このような構造では、施工完了直後 ($t=0$) と、クリープが終了した時点 ($t=\infty$) の二つの時点について応力を検討しなければならない。

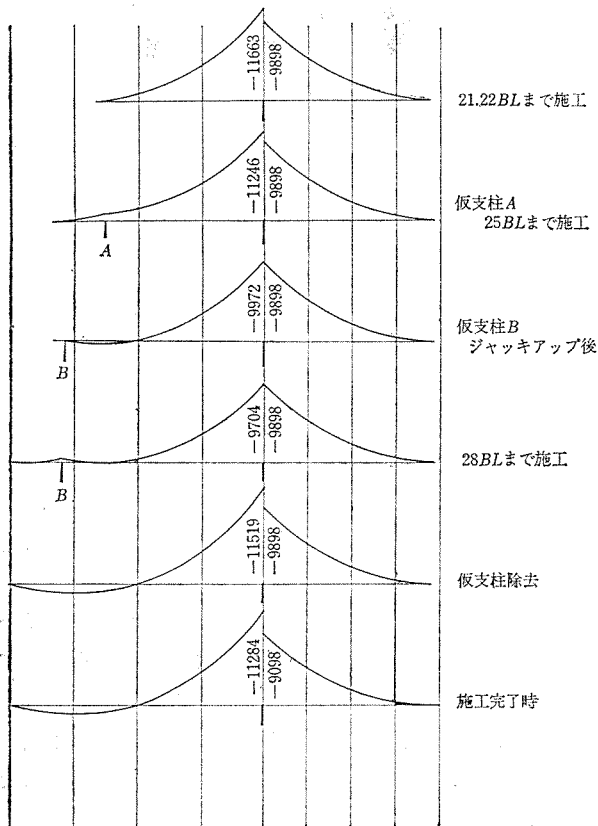
それゆえ、最も経済的な設計は施工完了後コンクリートにクリープが進行しても系の変化による不静定反力に変動が生じない方法、すなわち、構造物全体を支保工上で一時に施工したときの曲げモーメント (M_L) と同一の曲げモーメントを生ぜしめる施工方法が最も良いことになる。



- ① 仮支柱を用いないでフォールバウしたときの $M_{t=0}$
- ② 仮支柱を用いてフォールバウしたときの $M_{t=0}$
- ③ 全体を支保工上で施工したときの M_L
- ④ $t=\infty$ のときの $M_{t=\infty}$ (②, ③より求める)

本橋梁に補助支柱を用いないで全径間張出し架設した場合と、補助支柱を用いて全径間張出し架設した場合の主桁曲げモーメントを比較すると 図-4 のようになり、明らかに補助支柱を使用した方が有利であることがわかる。なお、図-4 中 ② の線は、補助支柱Bの上になすえたジャッキで 41 t の上揚力を与えて、施工完了後解放したときの曲げモーメント図であるが、理論的には、ジャッキによる上揚力をもう少し大きくすると、③線の曲げモーメント、すなわち、全体を支保工上で施工

図-5 曲げモーメントの推移



したときの理論値に一致させることができ、②, ③, ④の線を同一のものにすることができる。しかし、この設計では、つぎに述べる橋脚に作用する曲げモーメントを $t=\infty$ 時において小さくするために、ジャッキによる上揚力を 41 t と定めた。

つぎに、各施工段階における自重の曲げモーメントの推移を図示すると 図-5 のようになる。また、施工完了直後 ($t=0$ 時) と、コンクリートのクリープ終了後 ($t=\infty$ 時) の自重、静荷重、およびプレストレスの支点上における曲げモーメントを 表-1~4 に示し、自重、およびプレストレスの曲げモーメント図を 図-6 に示す。

表-1 自重曲げモーメント

	M_B ($t=0$) (t·m)	M_L (t·m)	0.8 ($M_L - M_B$) (t·m)	$M_{t=\infty}$ (t·m)
側径間側支点上	-11 284	-9 089	1 756	-9 528
中央径間側支点上	-9 098	-9 142	-35	-9 133
橋脚	2 186	-53	-1 791	395

表-2 プレストレス

	M_B ($t=0$) (t·m)	M_L (t·m)	0.8 ($M_L - M_B$) (t·m)	$M_{t=\infty}$ (t·m)
側径間側支点上	11 078	8 829	-1 799	9 279
中央径間側支点上	9 266	9 276	8	9 274
橋脚	-1 812	447	1 807	-5

図-6

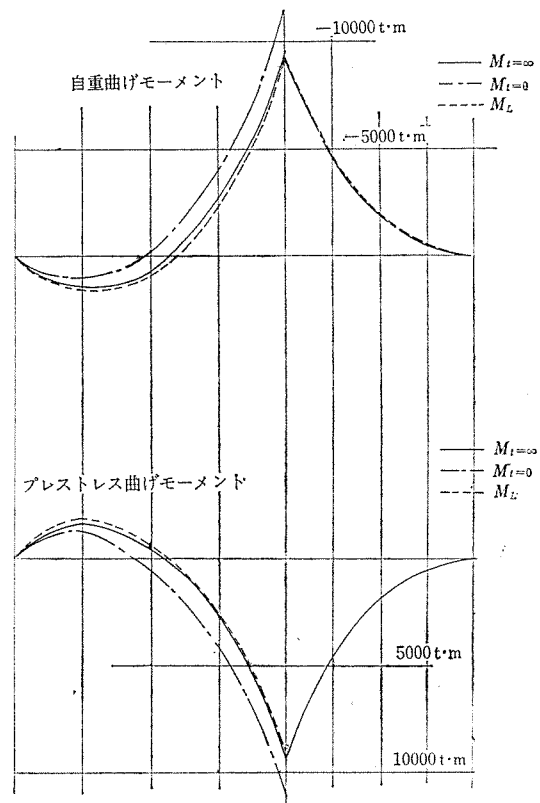


表-3 クリープおよびレラクセーション

	$M_{t=\infty}$ (t·m)	$\varphi+\gamma$ (t·m)	$M_{t=\infty}$ (t·m)
側径間側支点上	9 279	-1 187	8 092
中央径間側支点上	9 274	-1 449	7 825
橋 脚	- 5	-262	-267

表-4 静 荷 重

	M (t·m)
側径間側支点上	-1 127
中央径間側支点上	-1 246
橋 脚	-119

ただし、PC鋼棒のレラクセーション、およびコンクリートのクリープ短縮による鋼棒応力度の減少により、プレストレスによる曲げモーメントはさらに減少する。

また、静荷重は、主桁架設完了後に載荷するので、系の変化に対する考慮は必要としない。

以上の曲げモーメントを $t=\infty$ 時について集計すると、表-5 のようになり、終局的に橋脚に作用する曲げモーメントは、 $M=9\text{ t}\cdot\text{m}$ ときわめて小さな値となる。

なお、施工完了直後の橋脚に作用する曲げモーメントは、 $M=255\text{ t}\cdot\text{m}$ である。

表-5 曲げモーメント集計表 ($t=\infty$ 時)

	自 重 (t·m)	プレ ス テ ス (t·m)	静 荷 重 (t·m)	計 (t·m)
側径間側支点上	-9 528	8 092	-1 127	-2 563
中央径間側支点上	-9 133	7 825	-1 246	-2 554
橋 脚	395	-267	-119	9

4. 施 工

(1) 基 礎

図-1 よりわかるように補助支柱は左右両側径間ともに橋脚の中心より 38.75 m および、48.95 m 離れた所に組み立てる。左岸側は、その位置が陸上になるので約 1.0 m の厚さでベースコンクリートを打設した。右岸側は 2 基ともに全く水中に建てることになるので、建込む位置の河床を整地し、その上に直径 5.0 m のコルゲートを設置し、コルゲートの中には粒径 50~100 mm の砂利を投入し、水面上約 50 cm をコンクリートで固めて支柱のベースとした。

なお、各ベースには、25 mm 鉄筋を埋め込み、補助支柱のアンカーとしている。

(2) 支柱およびジャッキ (写真-1~5 参照)

補助支柱には、1 基 160~200 t ほどの荷重がかかる。この荷重を受けるために、350 mm の H 鋼 4 本で 10 m の支柱を組み立て、その上に H 鋼、I ビーム等で 3 m

ほどのやぐらを組み立て、ジャッキをすえつけた。

支柱とやぐらを別々にしたのは、工期の短縮をはかったためである。すなわち、やぐらを用いないで 13 m ほどの支柱の上に直接ジャッキを設置する計画をすれば、ワーゲンが、図-3 で、23 ブロック施工の状態に移動した後に、はじめて支柱を建て始めることになり、23 ブロックを施工するに当たって多大の時間を無駄に過ごさねばならない。

写真-1 左岸側補助支柱

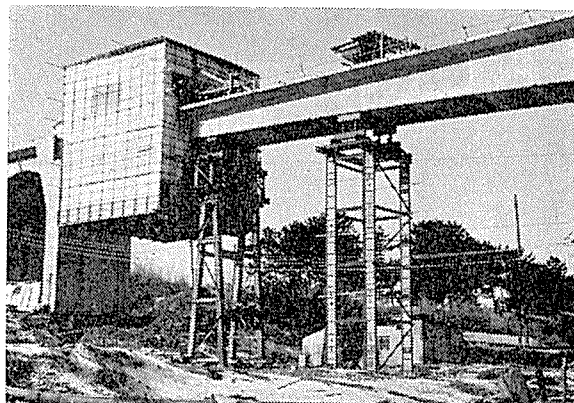


写真-2 右岸側補助支柱

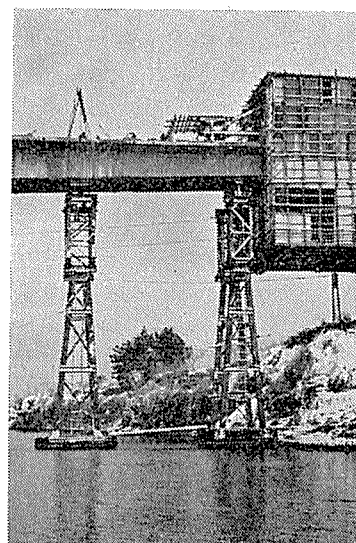


写真-3 支柱上のやぐら



写真-4 ジャッキアップ作業

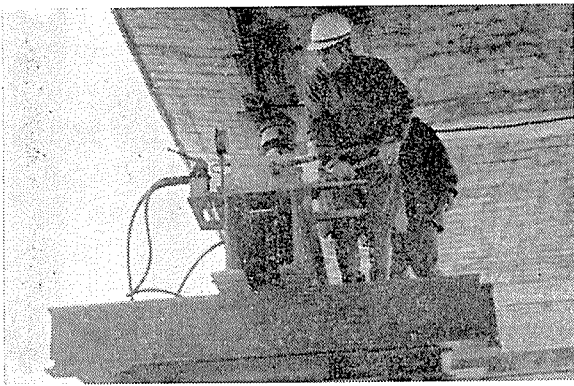


写真-5 側径間最終ブロック施工

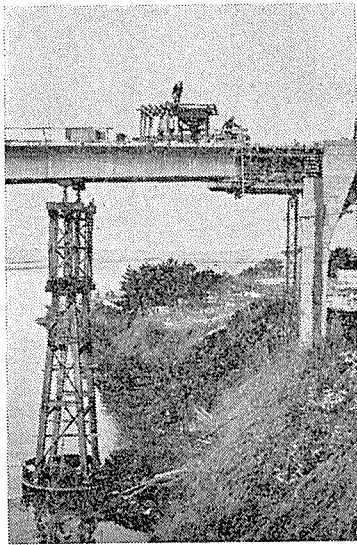
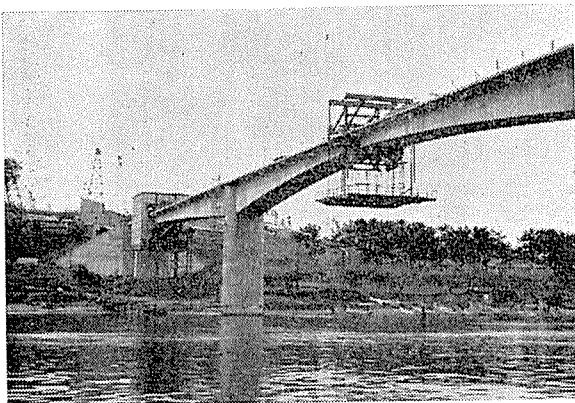


写真-6 中央径間最終ブロック施工



支柱をワーゲンが通過しうる最大の高さにしておけば、ワーゲンを 23 ブロック施工用にセットする以前に支柱を組み立て、ワーゲン通過後、地上であらかじめ組立てたやぐらを支柱上につり込み、ジャッキをすえつけることができる。23 ブロックの型わく、鉄筋、鋼棒組に二、三日かかるので、その間にやぐら、およびジャッキのすえつけは、十分に完了し、主桁架設作業の遅滞はほとんどなかった。

補助支柱上に使用したジャッキは、補助支柱 A ではジャッキ アップする必要がないので、50 t 油圧ジャッキ 4 台、補助支柱 B ではマンメーターのついた 100 t 油圧ジャッキを 2 台使用した。

つぎに、補助支柱作業に関係する施工順序を列記し、計画と結果を表示する。

- 1) 21, 22 ブロックまで交互に張出し架設する（中央径間は、29 ブロックを残すのみとなる）。
- 2) 21 ブロックの下に補助支柱 A のジャッキを当てる。
- 3) 23, 24, 25 ブロックをワーゲンにて施工。
- 4) 25 ブロックの下に補助支柱 B のジャッキを当て、補助支柱 A のジャッキが主桁から離れるまでジャッキ アップし、さらに 41 t 加圧する（補助支柱 A 除去）。
- 5) 26, 27 ブロックをワーゲンにて張出し架設。
- 6) 28 ブロックをつり型わくを使って施工。
- 7) 側径間の桁、および底スラブに配置された鋼棒を緊張後、補助支柱を除去する。
- 8) その後、中央径間 29 ブロックを施工して、主桁の架設を完了する。

補助支柱作業の管理は、補助支柱を設置した真上の橋面上に、上流側、下流側と 2 つの測点を設け、橋面高の変動を測量するとともに、ジャッキのマンメーターで圧

表-6 右岸側補助支柱 A

経過日数	施工状態	上流側測点	下流側測点
	計画値(計算)	EL. 18.863	EL. 18.863
0 日	23 BL 打設直前	18.870	18.857
12 日	25 BL 打設直前	18.871	18.857

50 t 油圧ジャッキ 4 台使用

表-7 右岸側補助支柱 B

経過日数	施工状態	上流側測点	下流側測点
	計画値(ジャッキアップ前)	EL. 18.760	EL. 18.760
0 日	ジャッキアップ直前	18.753	18.757
	計画値(ジャッキアップ後)	18.838	18.838
0 日	ジャッキアップ後	18.825	18.830
1 日	26 BL 打設後	18.824	18.830
3 日	"	18.820	18.824
9 日	27 BL 用にワーゲンセット	18.817	18.823
10 日	"	18.820	18.823
10 日	さらにジャッキアップ後	18.836	18.841
11 日	"	18.834	18.837
15 日	27 BL 打設後	18.826	18.829
27 日	28 BL 打設後	18.826	18.831

100 t 油圧ジャッキ 2 台使用

力を確認しながら作業を進めた。

補助支柱 A を設置したのち、21, 23, 25 ブロックを施工したときに補助支柱 A のジャッキには 130 t の圧力がかかっている。このとき、表-6 をみてもわかるように、支柱の沈下はほとんど認められない。

主桁の真下に 1 台ずつの 100 t ジャッキ、計 2 台をすえつけ、橋面上で主桁の変位を測量しながら 10 t きざみに加圧した。計算では、130 t の加圧で主桁に 77.5 mm のたわみが生ずる予定であったが、実際には 130 t ではたわみ量がたりなかつたので、1 台 67 t、計 134 t で加圧し、主桁の応力に影響のない程度にたわみ量の調整を試みた。

つぎの日にジャッキ圧力をチェックしたところ、128 t まで低下していたので、これを 134 t まで加圧した。また、10 日後にチェックした結果を表-8 に示す。

10 日後には、支柱部材のシニ、および基礎の沈下等が生じ、特に下流側のジャッキ圧力が大きく低下していたので、さらにジャッキアップし調整した。

表-8 右岸補助支柱 B ジャッキ圧力

経過日数	施工状態	上流側ジャッキ (t)	下流側ジャッキ (t)
	計 画 値 (計算)	84.5	84.5
10 日後	27 BL 用ワーゲンセット	85	77
10 日後	さらにジャッキアップ	85	85

表-9 左岸側補助支柱 A

経過日数	施工状態	上流側測点	下流側測点
	計 画 値 (計算)	EL. 18.863	EL. 18.863
0 日	23 BL 打設直前	18.870	18.877
2 日	23 BL 打設後	18.865	18.871
2 日	調整ジャッキアップ	18.868	18.876
9 日	24 BL 打設直前	18.869	18.876
12 日	24 BL 打設後	18.860	18.867
16 日	調整ジャッキアップ	18.870	18.875
17 日	25 BL 打設後	18.856	18.859
20 日	調整ジャッキアップ	18.868	18.874
25 日	26 BL 用にワーゲンセット	18.866	18.870

表-10 左岸側補助支柱 B

経過日数	施工状態	上流側測点	下流側測点
	計 画 値 (ジャッキアップ前)	EL. 18.760	EL. 18.760
0 日	ジャッキアップ直前	18.772	18.784
	計 画 値 (ジャッキアップ後)	18.830	EL. 18.830
0 日	ジャッキアップ後	18.840	18.853
1 日	"	18.836	18.852
4 日	26 BL プレストレス導入後	18.833	18.847
8 日	27 BL 打設後	18.827	18.844

左岸補助支柱 B においても右岸側と同様に計算では、130 t で 70 mm たわむ予定であったが、実際には、それだけ上昇しなかつたので 1 台 70 t、計 140 t でジャッキアップを実施した。つぎの日にジャッキ圧力をチェックしたところ、上流側が 68 t、下流側が 66 t に低下していたが、初めに計算値より多く加圧していたので、あらたに圧力を加えることはひかえた。

つぎに補助支柱基礎沈下の測量結果を示すが、大きな沈下は認められない。

表-11 右岸側補助支柱 B 基礎 (コルゲート天端)

経過日数	施工状態	測点 1	測点 2	測点 3
0 日	ジャッキアップ直前	EL. 0.613	EL. 0.591	EL. 0.641
0 日	ジャッキアップ直後	0.613	0.592	0.640
10 日	さらにジャッキアップ後	0.612	0.592	0.640
17 日	27 BL 打設後	0.608	0.586	0.637

左岸側補助支柱 B 基礎

経過日数	施工状態	測点 1	測点 2	測点 3	測点 4
0 日	ジャッキアップ直前	EL. 2.751	EL. 2.744	EL. 2.749	EL. 2.744
1 日	ジャッキアップ後	2.750	2.741	2.744	2.741
4 日	26 BL 打設後	2.749	2.741	2.744	2.740

補助支柱 B におけるジャッキアップ作業の結果を表示し、ジャッキ圧力と主桁のたわみ量の関係を図-7, 8 に示す。

表-12 補助支柱 B におけるジャッキアップ

ジャッキ 1 台圧力 (t)	右岸側		左岸側	
	たわみ量		たわみ量	
	上流側 (mm)	下流側 (mm)	上流側 (mm)	下流側 (mm)
0	0	0	0	0
10	4.5	4.0	10	3.0
20	7.0	7.5	20	7.0
30	12.0	11.5	30	11.0
40	17.0	16.5	40	16.0
50	25.0	24.5	50	22.0
60	48.0	46.5	60	34.0
65	67.5	66.5	65	47.0
67	73.5	72.5	70	66.0

設計計算上では、補助支柱 B において 89 t でジャッキアップすれば、補助支柱 A にかかっている反力 (130 t) は 0 となる。それからさらに反力調整の目的で 41 t 加圧するから、補助支柱 B での加圧量は、

$$P = 89 + 41 = 130 \text{ t}$$

となる。しかし、前述したように実際には計算したような桁のたわみが生じなかつたので、左右岸側ともに少し

多めに加圧している。

図-7, 8 に加圧力と主桁のたわみ量の関係を図示したが, 明らかに, 45 t 近辺よりたわみ量が急に増大している。これは, ジャッキ 1 台についての加圧トン数が 44.5 t ($P=1/2 \times 89=44.5$ t) になるまでは, 主桁が補助

図-7 右岸側

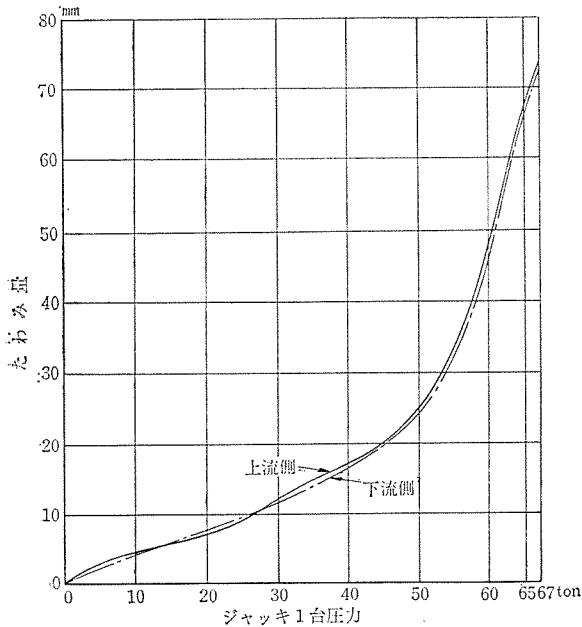
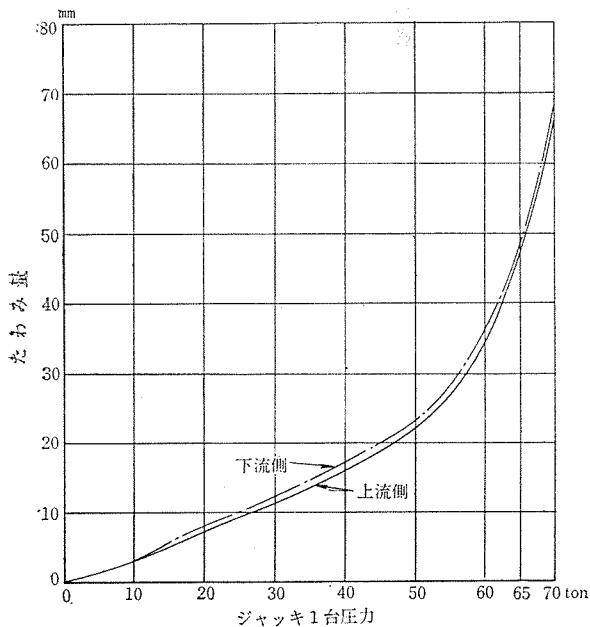


図-8 左岸側



支柱 A に接しているので, 補助支柱 A から先端までの 10.2 m 区間のたわみだけであり, 44.5 t を越えると主桁が補助支柱 A から離れるので, 橋脚から先 48.95 m 区間の片持ばりのたわみが生じたことを示している。

補助支柱 A にはマンメーターを設けなかったが, この結果からみても支柱 A にかかっていた反力は計算値 130 t に近い値であったと思われる。

補助支柱 B におけるジャッキ アップ作業は, 上記のように設計計算とは必ずしも一致しなかった。この結果は, 実際に施工したコンクリートの強度が $\sigma_{28}=400$ kg/cm² よりも相当に大きな値であったので, ヤング係数も計算に用いた $\sigma_{28}=400$ kg/cm² に相当する $E_c=3.5 \times 10^5$ kg/cm² よりも大きく, そのためにたわみが生じにくかったのではないと思われる。

5. おわりに

本工事の特色は, 補助支柱を使用し全径間を張出し工法で施工した点である。本文にも記述したとおり本工事では河川の流水幅が広く, 流量も多い。さらに, 上部構造の架設位置が高い (約 17 m) ので, 側径間の主桁架設に当って支保工による施工は不利であるとの判断から補助支柱を用い, 全径間を張出し架設することにしたものである。

結果として, 支保工を用いて架設した場合に比べて, PC 鋼材を, 多少多く使用しなければならないが, このような地点に支保工を組立てるために要する工費を考えれば十分経済的な結果が得られる。なによりも, 最後までワーゲンで架設できるということは, 労務者の慣れ, 施工の精度の観点から非常に有利であると思われる。

また, 反力調整も補助支柱作業の一環として, ごく自然に実施できるし, 補助支柱作業自体も支柱の建込みと, ジャッキ アップだけですこぶる容易なものである。

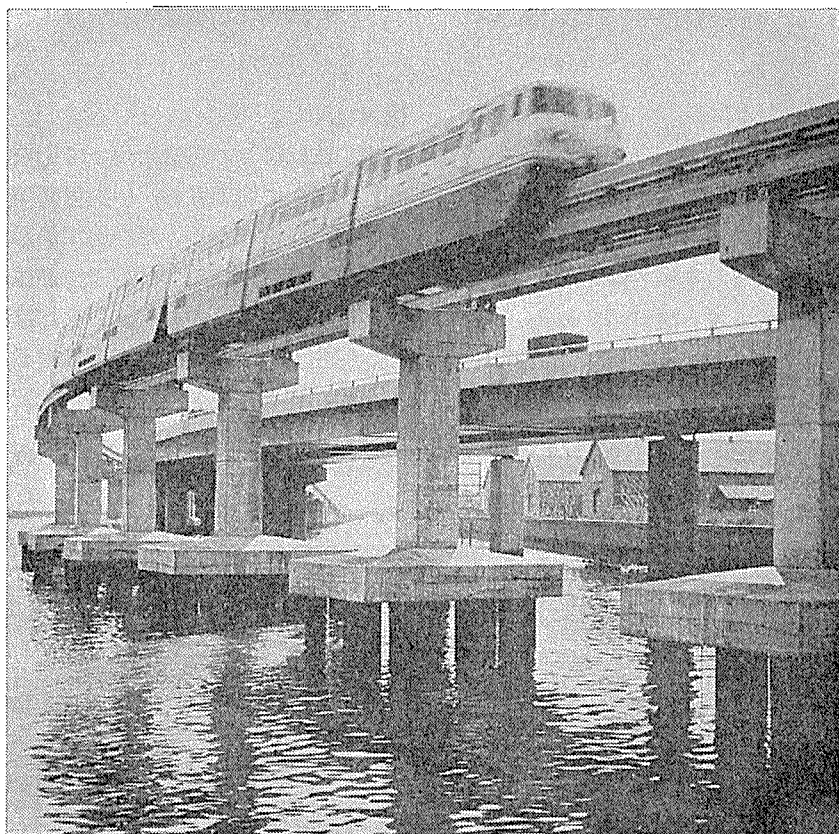
補助支柱を用いた全径間張出し架設工法は, この工事のように条件が満足される場合には積極的に考慮されるべき工法であり, 今後の張出し架設工法の進みうる一方を示すものではないだろうか。

最後に, この工事の設計施工に深い理解を示され, 御指導と御援助下さった新潟県土木部道路建設課の方々に誌上をかりて厚く御礼申し上げます。

1967.10.31・受付

NCS-PCパイプ

プレテンション方式 NCS溶接継手



NCS-PCパイプの特長

- ① 継手—全強であるから支持力の低減がいらぬ。
- ② 耐撃性—頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よつて支持力に全材強を活用できる。
- ③ 曲げ剛性—プレストレスの効果によつて曲げ剛性が大きい。よつてパイプ施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



日本コンクリート工業株式会社

本社 東京都港区新橋1丁目8番3号(住友新橋ビル) 東京(573)大代表0361番
営業所 大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 大阪(718)1881~5番
名古屋市中村区下広井町1丁目66番地(三建設備工業ビル) 名古屋(58)代表9706番
工場 川島(茨城県下館市) 下館 代表2181番
鈴鹿(三重県鈴鹿市) 鈴鹿(8)代表1155番
研究所 茨城県下館市川島工場内 下館 3942番