

## 押出し工法による幌前大橋の設計と施工について

水 沢 和 久\*  
 小 谷 實\*\*  
 島 泰\*\*\*  
 三 浦 弘 志\*\*\*\*  
 内 藤 隆 史\*\*\*\*\*

### 1. 計 画

#### (1) ま え が き

幌前大橋は、道々室蘭環状線が室蘭市幌前町の陣屋川の谷を通過する地点に架設された道路橋で、押出し工法によるPC3径間連続箱桁橋である。上部工は昭和48年5月に着工され、6か月の工期を要し無事竣工した。押出し工法による橋梁の施工は、日本においては本橋が最初であるので、ここに上部工の設計と施工の概要を報告する。

#### (2) 橋梁形式の選定

形式の選定にあたり、架橋地点の地形が急峻で、谷が深いため、できるだけ支保工の施工をなくすような工法の選定が望ましく、また、基礎は地質が良く直接基礎で十分であるため、3径間の連続桁とし、次の4案について比較を行った。

- 第1案：押出し工法PC3径間連続桁
- 第2案：現場打ち片持方式PC3径間連続桁
- 第3案：鋼3径間連続上路トラス
- 第4案：鋼3径間連続箱桁橋

上記各案の概算工費の比較では、鋼橋案はメンテナンスなどを考慮するとコンクリート橋案より約3～5%の工費増となった。押出し工法案と現場打ち片持方式案(ディビダーク方式)との比較では、前者が工費の面でやや経済的であり、工期が6か月と短いので、施工速度が早い押出し工法を採用するに至った。

#### (3) 工事概要

施工場所：北海道室蘭市幌前町地内  
 橋 格：一等橋 TL-20  
 橋 長：170 m  
 支 間：52.5+63.0+52.5 m

\* 北海道土木部道路課長  
 \*\* 同 技術第一係長  
 \*\*\* 北海道札幌土木現業所橋梁係長  
 \*\*\*\* 北海道土木部道路課技術第一係  
 \*\*\*\*\* 大成建設株式会社土木設計部設計課主任

幅 員：10.7 (車道幅員7.0m 歩道1.5m 両側)  
 構造形式：ポストテンション プレストレスト コンクリート3径間連続箱桁橋  
 PC工法：VSL 工法 (アウトサイドケーブル方式)  
 架設工法：バウルレオンハルト押出し工法  
 工 費：上部工 約1億4200万円  
       下部工 約 9400万円  
       附帯工 約 1000万円  
       合 計 約2億4600万円  
 工 期：下部工 昭和47年7月～昭和47年12月  
       上部工 昭和48年5月～昭和48年12月  
 施工業者：大成建設株式会社  
 主要使用材料：

上部工 コンクリート 1189.35 m<sup>3</sup> (地覆部 55.35 m<sup>3</sup> 含)  
 鉄筋 (SD 30) 101.02 t  
 PC鋼材 φ12.4 ストランド 31.45 t  
       PC鋼棒 (B種2号) 51.07 t  
 下部工 コンクリート 2771.1 m<sup>3</sup>  
 鉄筋 (SD 30) 223.03 t

### 2. 押出し工法の概要

押出し工法は、Takt-Schiebe-Verfahren と呼ばれ、

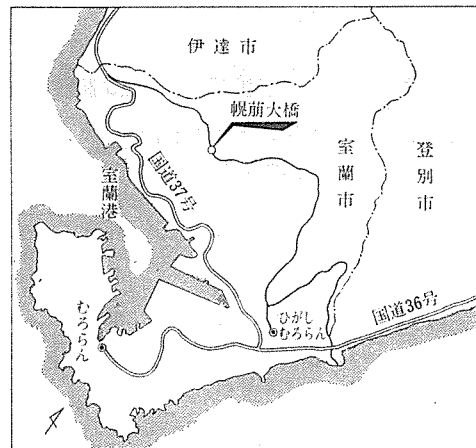
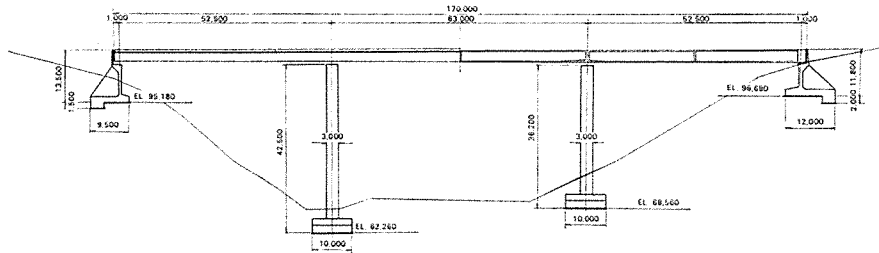


図-1 幌前大橋架設箇所

<一般図>

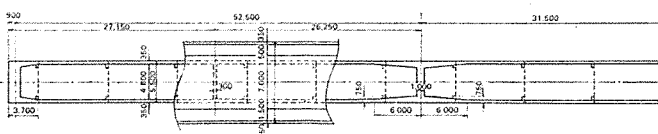
●側面図



●側面図



●平面図



●断面図

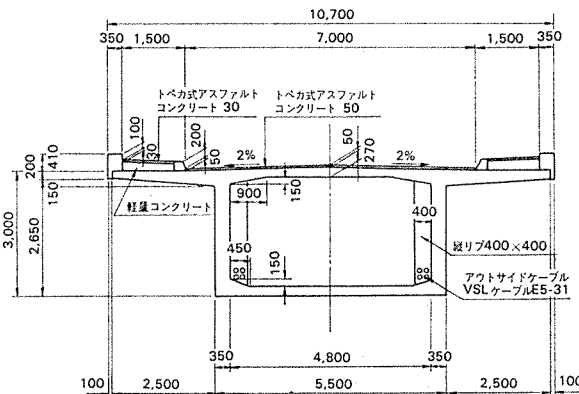


図-2 一般図・断面図

西ドイツのレオンハルト事務所で開発され、1964年にカロニ橋（ベネズエラ）で実施されて以来、多くの橋梁がこの方法により施工されている。

押し出し工法は、従来鋼桁の架設に用いられていた押し出し方式を、重量の重いコンクリート桁の架設に発展させたもので、橋台の後方にコンクリート打設のための型わく設備（製作ヤード）を準備し、そこで橋桁を長さ 10

～20 m 分ずつコンクリートを打ち継ぎながら製作し、順次押し出して架設する工法である（図-3）。

この工法で施工する場合の設計施工上の問題点は、押し出し中の桁に作用する曲げモーメントにどう対処するかという点にある。このために、桁を製作する際に PC ケーブルを継ぎながら軸方向に配置し、軸力としてプレストレス力を与えることによって打ち継いでいくコンクリートを橋桁として一体化するとともに、桁に生じる曲げ引張り応力に対処できるようにする。また、曲げモーメントを低減するために、桁先端には手延桁を取付け、橋脚の中間に仮支柱を設置する。西ドイツの実績では、最大支間 102 m のインブリュケーフスタイン橋が仮支柱方式で架設されている。

押し出し工法の特徴

- 1) 仮設備が少なくすむ。
- 2) 短い長さの型わくを多数回使用する。
- 3) 型わくの組立、脱型が早い。
- 4) 鉄筋、コンクリートなど資材の運搬距離が短い。

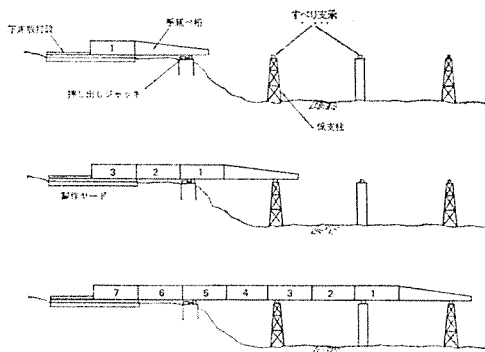


図-3 押し出し工法説明図



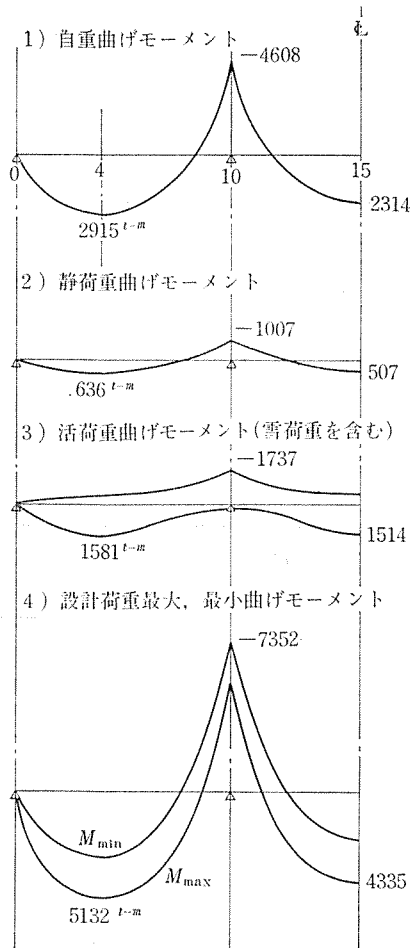


図-5 荷重による曲げモーメント図

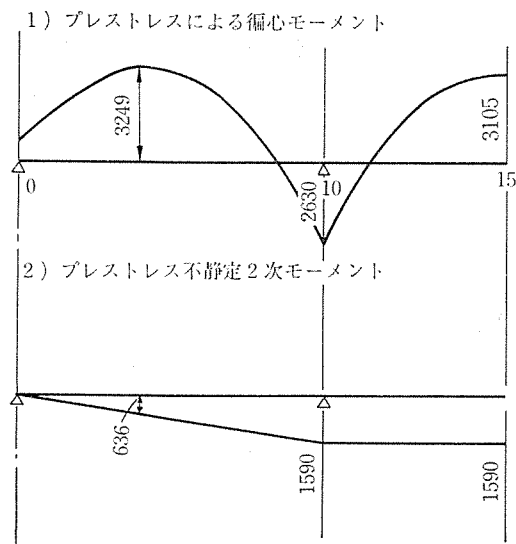


図-6 プレストレスによるモーメント

の腹部に沿って配置した。アウトサイドケーブルを採用した理由は、分割施工のために桁が完成後にケーブルを配置する際に作業を確実に容易なものとするためと、シーがないことにより緊張時の摩擦によるロスが少なく、今回のように全長 170 m のケーブルでも、緊張力がそれほど落ちないで非常に経済的となるためであ

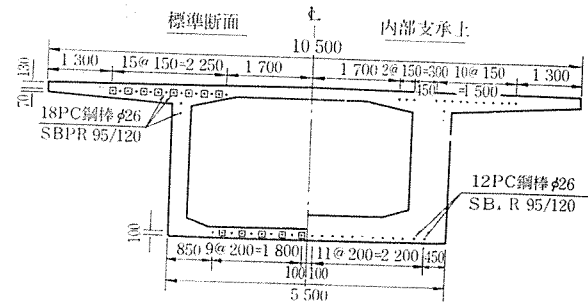


図-7 PC 鋼棒断面方向配置図

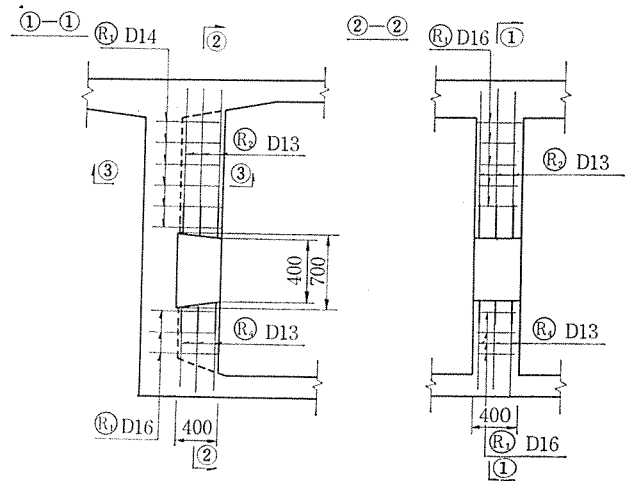


図-8 縦リブ部補強鉄筋

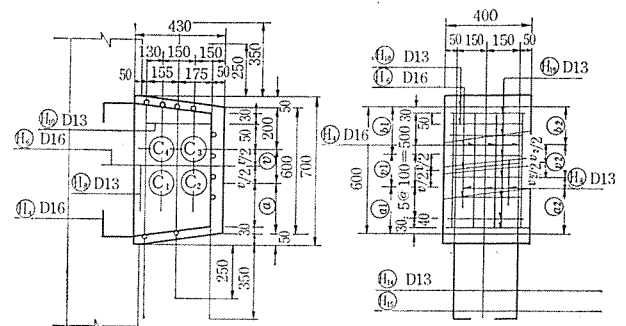


図-9 屈曲部シープレキャストブロック

る。

アウトサイドでなく通常のシーを使用して配置した場合との摩擦係数は、桁中央断面で

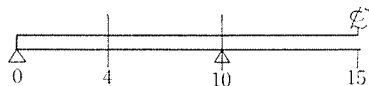
$$\text{通常の場合} \quad \eta_t = 0.606 (\mu = 0.3, \lambda = 0.004)$$

$$\text{アウトサイドの場合} \quad \eta_t = 0.848 (\mu = 0.3, \lambda = 0.004)$$

となり、アウトサイドケーブルにすることにより約 25% 鋼材を減らすことができる。

ケーブルを所定の形状に配置するために、各ブロックの打継目部分のウェブに縦リブを付け、所定の位置にあらかじめ曲げ加工した鋼管シーをセットしておき、ここにケーブルをとおして屈曲させるようにする。内部支

表-1 曲げ応力度集計表



(kg/cm<sup>2</sup>)

断面	面	縁	①	②	③*	④*	⑤	⑥
			自重	静荷重	プレストレス (軸力-1)	プレストレス (軸力-2)	プレストレス 偏心モーメント	プレストレス 2次モーメント
4	上	縁	43.5	9.5	29.5	40.6	-48.5	9.5
	下	縁	-70.5	-15.4	29.5	40.6	78.5	-15.3
10	上	縁	-58.6	12.8	19.8	25.2	33.4	20.2
	下	縁	64.9	14.2	19.8	25.2	-37.0	-22.4
15	上	縁	34.5	7.6	29.7	36.2	-46.3	23.7
	下	縁	-54.3	-12.2	29.7	36.2	75.0	-38.4

\* プレストレス (軸力-1) とは、仮設時のために配置されたPC鋼棒による軸力である。

\* プレストレス (軸力-2) とは、メインケーブルによる軸力である。

断面	面	縁	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
			雪荷重	活荷重 (max)	活荷重 (min)	①+②+③+ ④+⑤+⑥	⑩+⑦+⑧	⑩+⑦+⑨
4	上	縁	3.1	20.5	-5.7	87.2	107.7	81.5
	下	縁	-5.0	-33.2	9.2	42.4	9.2	51.6
10	上	縁	-4.2	2.7	-17.9	23.0	65.8	5.1
	下	縁	4.6	-3.0	19.9	69.3	74.6	89.2
15	上	縁	2.5	20.1	-7.6	87.9	108.0	80.3
	下	縁	-4.0	-32.6	12.3	32.0	-0.6	44.3

承付近と桁端部はウェブが厚くなるので縦リブを使用せず、直接シースをウェブに埋め込む。縦リブ部は、ケーブルが屈曲していることにより生じるプレストレスの鉛直方向の力についてもつように設計する (図-8, 9)。

屈曲部の計算

支圧応力度  $\sigma_c$  は

$$\sigma_c = \frac{P_t}{Rb}$$

$P_t$ : プレストレス導入力 360 t  
 $R$ : 屈曲部シースの半径 8.0 m  
 $b$ : 支圧幅 80 mm

シースは内径  $\phi$  105 の鋼管を使用しているが、支圧の有効幅としては 80 mm をとる。

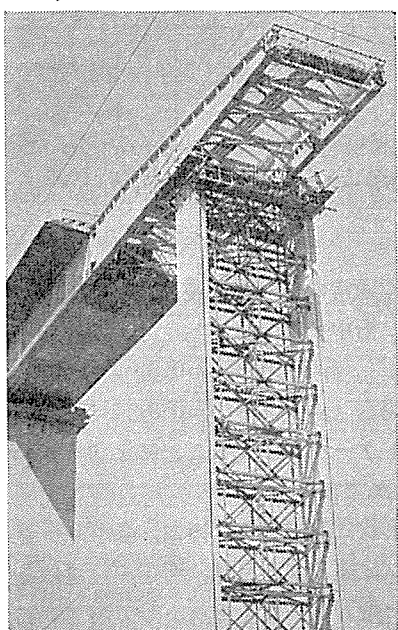


写真-1 施工中の幌萌大橋

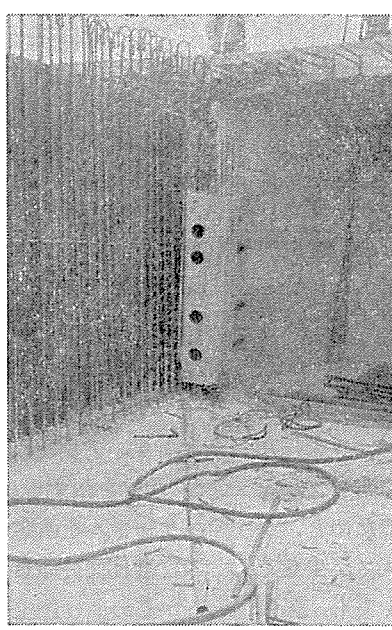


写真-2 屈曲部シースプレキャストブロック

$$\sigma_c = \frac{360 \times 10^3}{800 \times 8} = 56.3 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ca} = \frac{\sigma_c k}{3} = 115 \text{ kg/cm}^2$$

縦リブ部の計算

$$\text{鉛直分力 } P_v = n \cdot d\alpha \cdot P_t = 4 \times 0.04 \times 360 = 57.6 \text{ t}$$

$n$ : ケーブル本数

$d\alpha$ : ケーブルの角変化

コンクリートの部分を無視して鉄筋だけでとるとする。

$$\text{鉄筋量 } A_s = \frac{P_v}{\sigma_{sa}} = \frac{57.6 \times 10^3}{1200} = 48 \text{ cm}^2$$

屈曲部シースはあらかじめプレキャストブロックとして製作し、縦リブはウェブと一緒にコンクリートが打設されるのに十分安全である。

縦リブと縦リブの中間部分は、緊張後にコンクリートを打設して被覆する。この被覆コンクリートと本体とを一体化するために、あらかじめ腹部にインサートを埋め込み、これにボルトをつけて、鉄筋をケーブルのまわりに組んでからコンクリートを打設する（図-10、写真-4を参照）。

(4) シューの構造

シューは桁架設終了後にセットするために図-11に示すような構造となっている。桁本体にはシュー取付用のプレートだけを埋め込んでおき、橋脚上部のあらかじめ

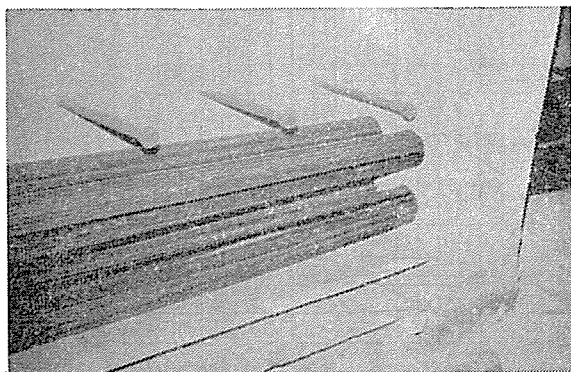


写真-3 配置されたアウトサイドケーブル

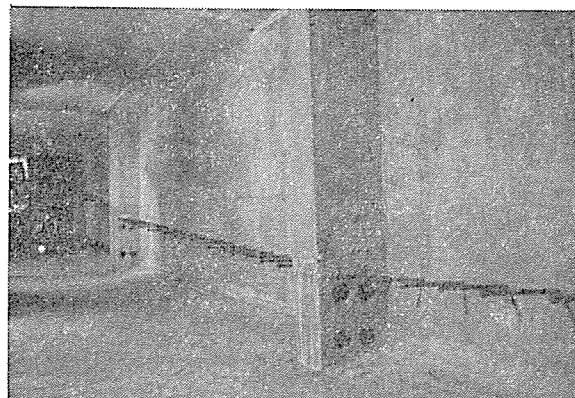


写真-4 インサートにボルトをセットした状態

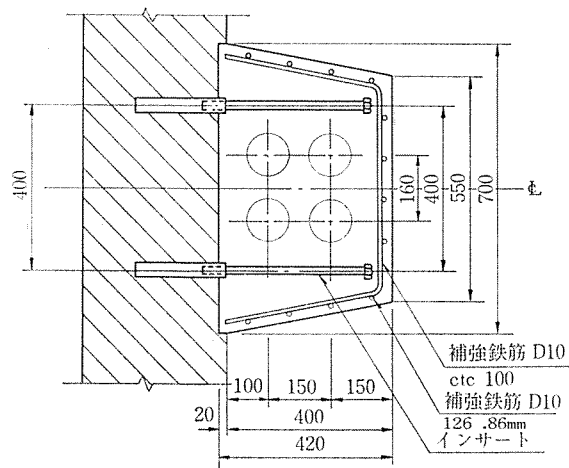


図-10 アウトサイドケーブルの被覆

め箱抜きしてある部分にシュー本体を置いておく。桁架設終了後にジャッキでシューを持ち上げて桁本体に取付け、橋脚上部の箱抜き部に膨張性のモルタルを注入してセットを終了する。

4. 施工時の応力検討

施工時に主桁に作用する曲げモーメント、せん断力などの断面力は、桁が押し出されていくに従って常に変化する。桁先端には鋼製のガーダーが剛結されているが、これは桁本体と非常に剛性が異なるので正確に断面力を計算するために電算機で計算を行った。

(1) 施工時の断面力

図-12に施工時の断面力を示す。図中の②、⑨などの数字は最大値が生じる断面の位置を示す。この結果より、

最大曲げモーメント  $M_{max} = 1364 \text{ t}\cdot\text{m}$  ⑨断面  
 最小曲げモーメント  $M_{min} = -2540 \text{ t}\cdot\text{m}$  ③断面

(2) 応力度の計算

桁本体の断面諸元

断面積  $A = 5.843 \text{ m}^2$  断面係数（上縁）  
 $W_o = 6.702 \text{ m}^3$   
 断面係数（下縁）  
 $W_u = 4.137 \text{ m}^3$

軸力として入れるPC鋼棒による導入力  $P_{t0} = 2019 \text{ t}$   
 曲げ応力度は  $\sigma = P_{t0}/A \pm M_{max}/W$

⑨ 断面

上縁  $\sigma = 2019/5.843 + 1364/6.702$   
 $= 346 - 204 = 550 \text{ t/m}^2 = 55.0 \text{ kg/cm}^2$   
 下縁  $\sigma = 2019/5.843 - 1364/4.137$   
 $= 346 - 330 - 16 \text{ t/m}^2 = 1.6 \text{ kg/m}^2$

③ 断面

上縁  $\sigma = 2019/5.843 - 2540/6.702$   
 $= 346 - 379 = -33 \text{ t/m}^2 = -3.3 \text{ kg/cm}^2$   
 下縁  $\sigma = 2019/5.843 + 2540/4.137$   
 $= 346 + 614 = 970 \text{ t/m}^2 = 97.0 \text{ kg/cm}^2$

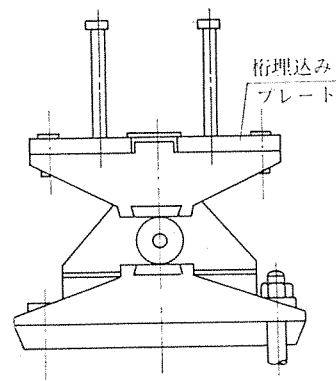


図-11 シューの構造図

下図に示す位置はErection girderの先端位置

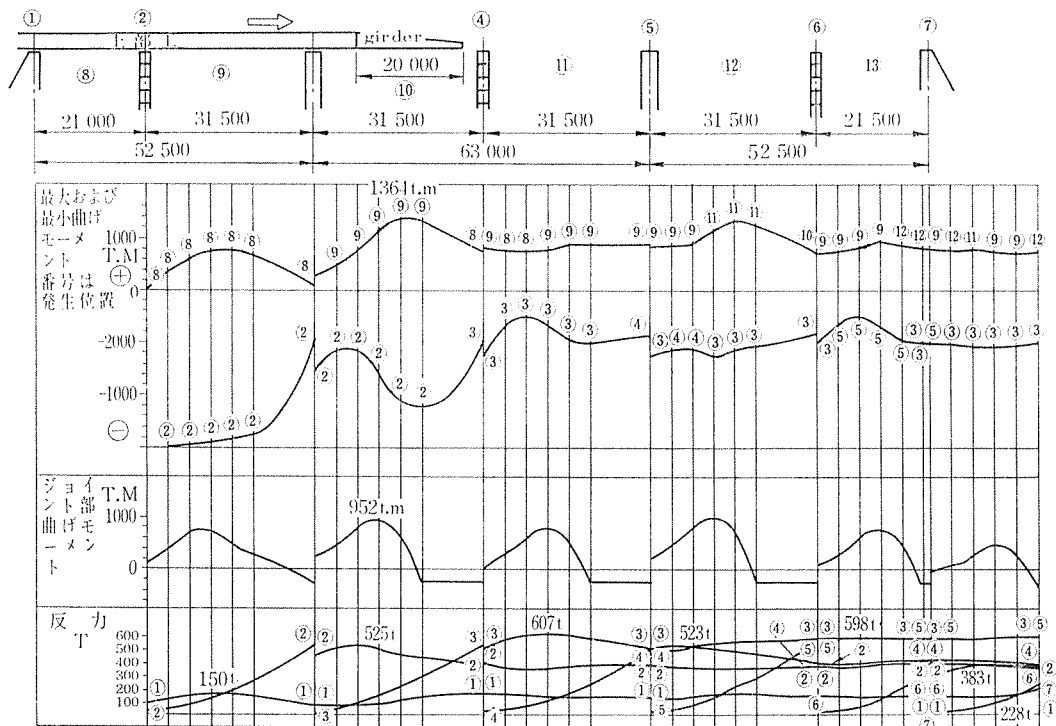


図-12 圧出時の施工工程時断面力

押し出し施工中の許容曲げ引張応力度は  $5 \text{ kg/cm}^2$  までとし、引張鉄筋を配置する。施工中は支承部が不等沈下をする可能性があるので許容引張応力度はあまり大きく取らないことにした。

(3) 手延桁取付部の構造

桁先端に取り付けた手延桁は、支承間隔の約 60% の長さが適当であるので、全長 20 m のプレートガーダーを使用する。また、大きな曲げモーメントとせん断力を受け、特に、フランジ部分は支承上を移動中に大きな集中荷重をうけ、たわみ変形も小さいほうが望ましいのでトラスなどを使用せずガーダーとする (写真-5)。

取付部の構造は図-13 に示すように PC 鋼棒を桁本体に埋め込み、これによって手延桁を締結する。せん断力はコンクリート部を切り欠きせん断キーとして作用さ

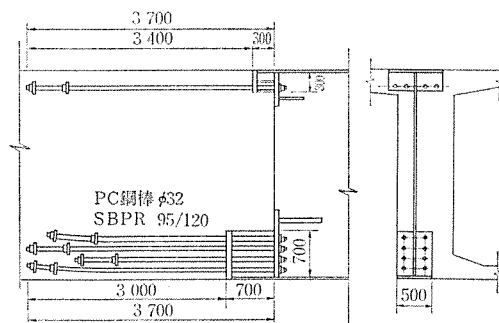


図-13 手延桁取付部

せ、曲げモーメントは PC 鋼棒 ( $\phi 32$  SBPR 95/120) 8 本を上部に、16 本を下部に配置し、これで持たせるように設計した。

取付部の曲げモーメントは、図-12 のジョイント部曲げモーメントより最大値は  $952 \text{ t}\cdot\text{m}$  である。PC 鋼棒による抵抗モーメントは約  $1200 \text{ t}\cdot\text{m}$  である。

5. 施 工

施工に関しては誌面の都合で以下に概略だけの報告にとどめる (押し出し施工図を 図-4 に示す)。

(1) 桁の製作と工程

桁の製作は橋台の後方のアプローチ部分をヤードとし、長さ 9 m 分の型わくを設置し、ここでコンクリートを打設する。桁製作の 1 ブロック長は 9 m としたが、これはアウトサイドケーブルの屈曲点のピッチと同じとするためである。ヤードを写真-6 に示す。

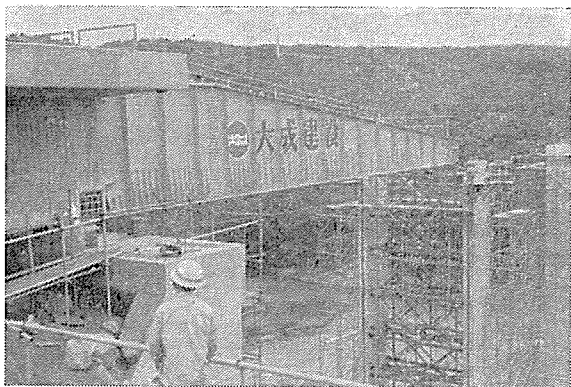


写真-5 手延桁

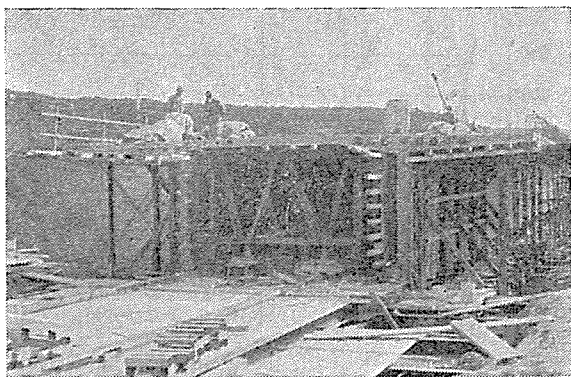


写真-6 桁製作ヤードと型わく

表-2 1 サイクル工程表

作業内容	日	1	2	3	4	5	6
下床版	外型わくセット	■					
	配筋, PC鋼棒配置	■					
	コンクリート打設	■					
上床版	アンカーボルト取付		■				
	内型わく引き入れ		■				
	配筋, PC鋼棒配置		■	■			
	コンクリート打設			■			
養生					■	■	
プレストレッシング							■
押し出し							■

1 ブロックの製作および押し出し架設工の1サイクル所要日数は5~7日で行われたが、表-2にその標準的な作業工程表を示す。

(2) 仮支柱

この構造は、下部を場所打ちし、上部の立上り部分にはプレキャストブロックを使用し、これを鋼材でプレッシングするとともに縦方向にはPC鋼棒で緊結して一体化を図っている。プレキャストブロックは2.0m×2.0m×0.5mの大きさのRC版である(写真-7参照)。

仮支柱の安定計算には、押し出し施工中の桁反力にすべり支承の摩擦係数( $\mu=0.05$ )を考慮する場合と、地震係数( $K_h=0.05$ )を考慮する場合を行い、頭部より両側の橋台または橋脚にPCストランド(2-17.8mm)を張り、おのおの12tの張力を与えて水平外力の分担を行った。

(3) 押し出し装置とすべり支承

コンクリートが打設され、硬化を待って軸力のプレストレスが導入された桁は、型わくが脱型され、各支承部に置かれたすべり支承によって支持される。このような状態で桁はジャッキによって押し出される。

すべり支承は、ニッケルクロム鋼板上を30cm×30cmのテフロン板を順送りにすべらせる構造で、摩擦係数は $\mu=0.05$ 以下である(図-14、写真-8参照)。

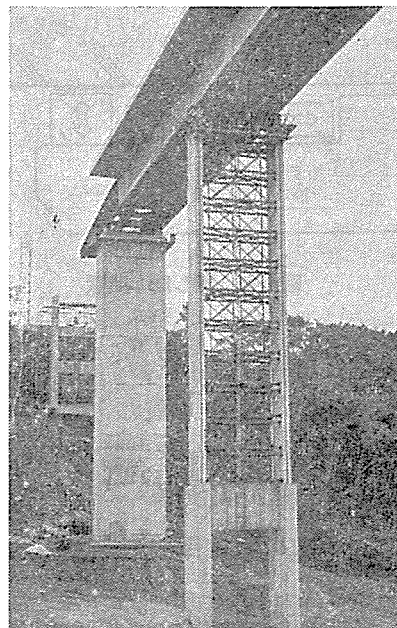


写真-7 仮支柱

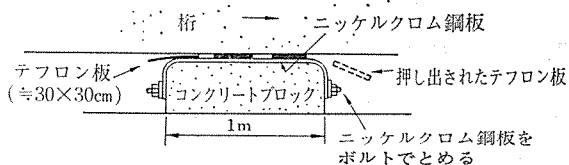


図-14 すべり支承部構造図

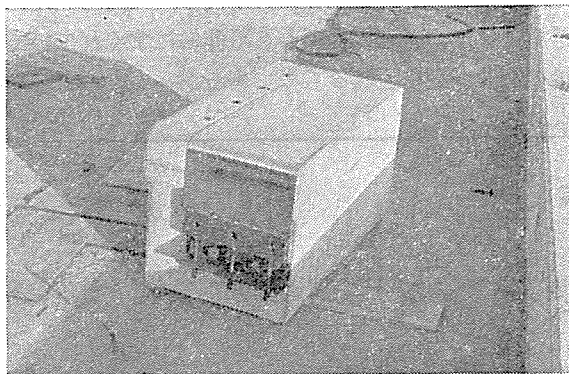


写真-8 すべり支承

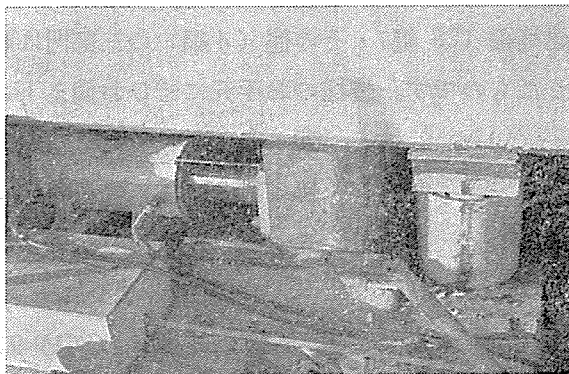


写真-9 押し出し装置



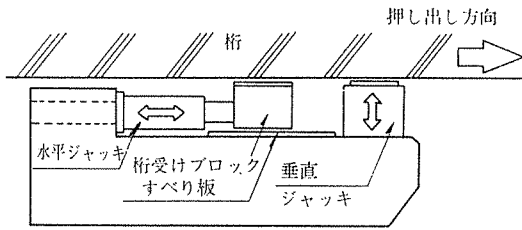


図-15 押し出し装置

押し出し装置は図-15 に示すように桁受けブロックで桁を受けてこれをジャッキ（能力 100 t、ストローク 3 cm）で押し出し、垂直ジャッキで桁を持ち上げてブロックをもどすことを繰り返す構造である（写真-9）。

### 6. テフロン板の摩擦係数測定実験

すべり支承に使用するテフロン板の摩擦係数は施工上の重要ポイントであるため、これの測定実験を行った。

実験の結果は図-16, 17 に示すとおりであるが、一般的なテフロン特性を満足するものであった。

### 7. おわりに

押し出し工法による幌崩大橋の施工は無事に終了し成功を見たが、これは、関係各方面の努力のお蔭であり、この誌面を借りて感謝の意を表したいと思う。

押し出し工法は、比較的仮設工が簡単で工期も早く、また、施工管理、省力化の面からも非常にすぐれていて、今後の発展が期待されるものであるが、この報告がこれ

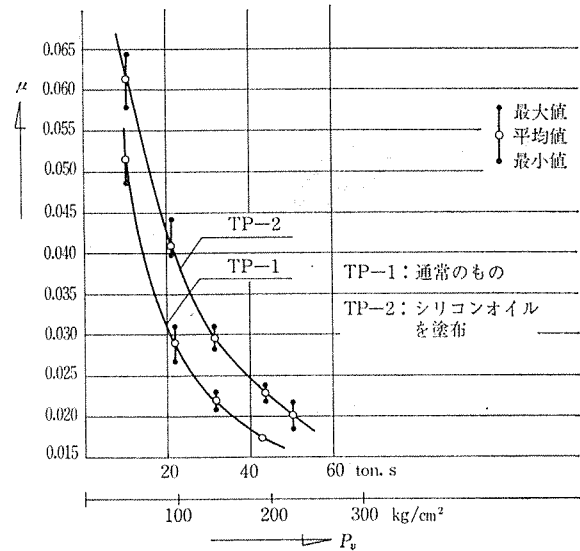


図-16 テフロン板の支圧強度 ( $P_u$ ) と摩擦係数 ( $\mu$ ) の関係

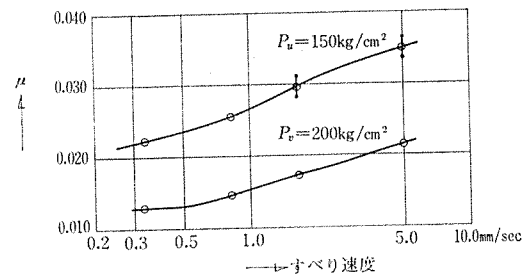


図-17 テフロン板のすべり速度と摩擦係数 ( $\mu$ ) の関係

になんらかの参考になれば幸いである。

1974.4.16・受付

## PC 構造物設計図集発売について

当協会では、「PC構造物設計図集」を本会編集、(株)技報堂発行の形で出版しておりますのでお知らせします。

本書は、本協会誌「プレストレスト コンクリート」の末尾に掲載致しておりました折込付図を、協会誌編集委員会の手により、PCの設計・施工にたずさわるの方々のご使用に便利のように、土木編 (32 編)・建築編 (28 編)・その他 (4 編) の三部門にわけ、それぞれに写真・説明等を入れ、わかりやすく編集したものです。皆様のお手元にぜひお備え下さいませよう、おすすめ申し上げます。

体 裁：B4判 133 ページ 活版印刷

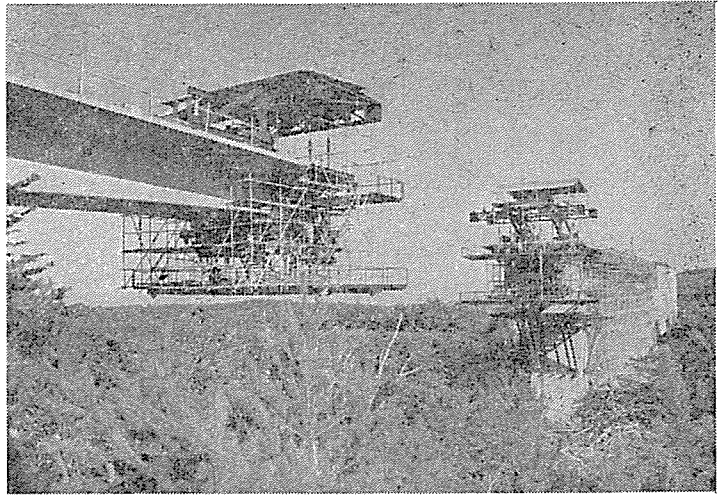
定 価：1500 円 会員特価：1200 円 (〒200 円)

申 込 先：〒102 東京都千代田区麴町1の10の15 紀の国やビル2階

社団法人 プレストレスト コンクリート技術協会

TEL (261) 9151 振替 東京 62774 番

# PC架設機 の 設計・製作



180T-M  
現場打架設車

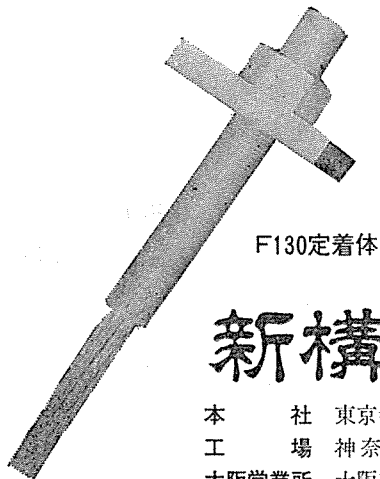
## 三信工業株式会社

東京都千代田区神田錦町1-4 (滝本ビル5階)

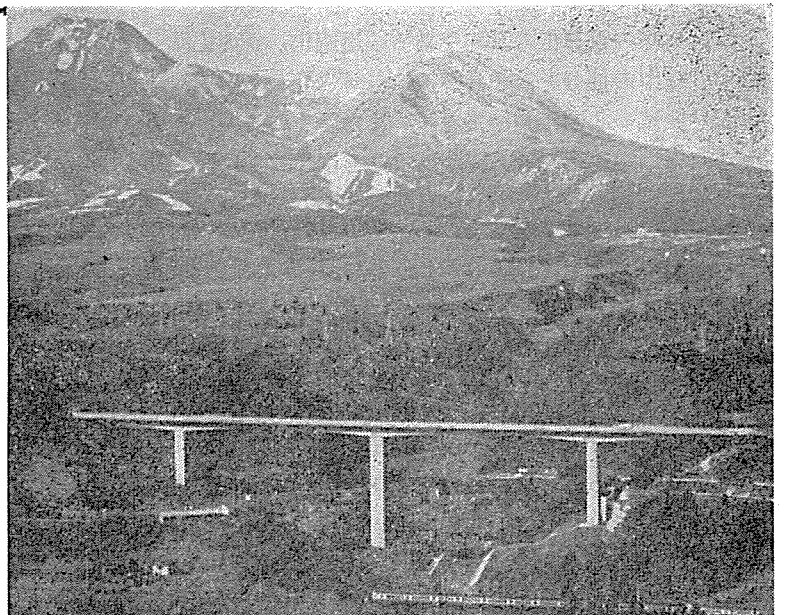
TEL (294) 5 1 3 1 ・ 5 1 3 2



S.E.E.E.工法は  
最も安全・確実な  
PC工法です。



F130定着体



妙高大橋(北陸地方建設局)

## 新構造技術株式会社

本社 東京都新宿区内藤町1番地(渋谷ビル) TEL 03 (354) 3851 (代) 千160  
工場 神奈川県厚木市戸田長淵2514 TEL 0462(22)2199・3418 千243  
大阪営業所 大阪市西区鞠本町2-86(西本町ビル) TEL 06 (443) 7 6 6 5 千550