

新豊橋の設計施工について

大 谷 光 信*
木 元 喬 之*

1. ま え が き

新豊橋は、一般国道230号線の改良計画の一部として豊平川に架設されたものである。

この国道は、札幌と道南、および本州を最短距離で結ぶ北海道の幹線道路であり、北海道においては歴史が古く、明治4年北海道の開拓当初に東本願寺の手によって開削されてから100年を経過しているが、地形の急しゅんさと、地質の不良などから、抜本的な改良工事は行なわれず、本願寺道路を骨格としながら、戦後局部的な改良工事によって、辛うじて自動車が行き通れるようになった道路である。

しかし、自動車の発達、経済圏の拡大、敏速化などからこの道路の改良が望まれ、昭和39年から抜本的な改良工事に着手した。工事は、昭和44年を完成目標にしており、本年末にはほとんどの改良工事を終了する。

架設地点は、平面、縦断線形から高さ15m程度の盛土となり、また河床こう配が急であり、洪水時の出水が早く、流木とか雪どけの流水からの安全を計るため、中央径間をできるだけ大きくとることなどから構造の選定を行なった。

一般の連続構造（例えば、3径間連続）では、盛土中に橋台、橋脚を施工しなければならず、施工性、経済性が良くない。またπ型ラーメン構造（例えば、鋼ラーメン、P.R.C.）とすると片持部のたわみの問題がある。

これらの欠点を克服する構造として種々検討した結果、幸い前後の盛土が岩くずとなり土圧の問題が比較的少ないこともあり、斜材つきπ型一次不静定PCラーメンが適切であると考えた。

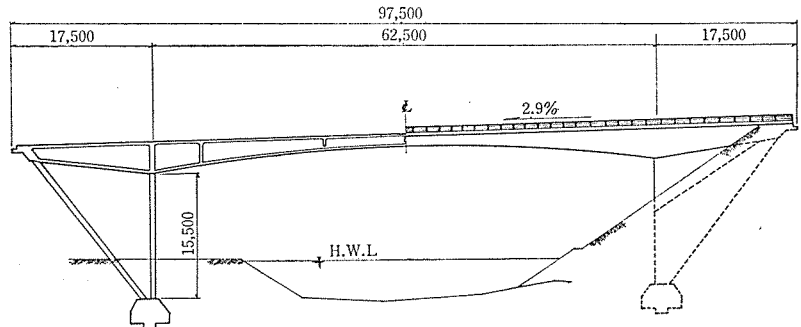
なお、本橋形式としての道路橋は数が

少なく（ドイツの Dishger 橋、わが国の寺地橋）、ここに設計と施工について報告するものである。

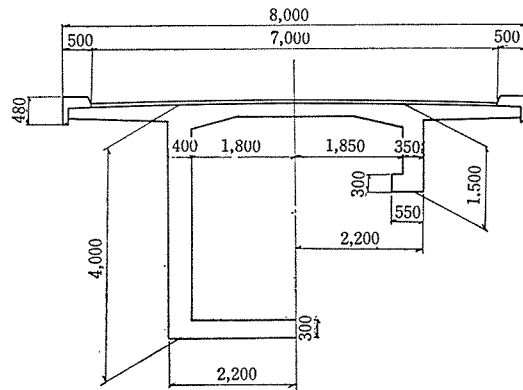
2. 工 事 概 要

路 線 名	一般国道230号（定山溪国道）
橋 格	一等橋
橋 長	97.5 m (17.5 m + 62.5 m + 17.5 m)
橋 幅 員	7.0 m
形 式	斜材付きπ型一次不静定PCラーメン (パーシャルプレストレスング)
工 法	V.B.W. (ハンガー式) によるディビダー式カンチレバー架設法
材 料	(フーチングをのぞく) コンクリート 623.5 m ³ 鉄筋 (SDC 40) 55.2 t 89 kg/m ³

図-1 一般側面図



断面図



* 北海道開発局

P C鋼棒 (SBPC 80/105)

37.2 t 60 kg/m³

工 期：昭和 41 年 8 月より

昭和 42 年 10 月まで

施 工：住友建設株式会社

3. 設 計

本形式は、盤の沢橋、嵐山橋のような橋台を対重とする形式ではなく、図-1 のとおり、橋脚を圧縮(直壁、引張(斜壁)、の両部材にわけたπ型ラーメン形式である。直壁は主桁に比べ剛度が非常に小さく(実際はピン構造である)、曲げモーメントを受けないものであるとともに、主桁の左右曲げモーメントを等しくせしめている。斜壁は盛土の中に埋設されるので土圧、もしくは載荷土の影響を受ける。この影響を少なくするために3本の柱構造とした。またウィングウォールはピン構造とし、π型ラーメン構造の変形を拘束しないものとした。

(1) 床 版

曲げモーメントは、A. Pucher の弾性板影響面から、T荷重による荷重項を求め、G. Kani の曲げモーメント分配法で求めた。

(2) 主桁、直壁、斜壁

全構造を一体として、支保工式で架設を行なった場合と、側径間を支保工式、中央径間を片持ばり式で架設(本形式で施工を行なった)を行なった場合に分け、前者を構造設計、後者を施工設計として記述してゆく。なお、クリープ等が完了すれば、両者の応力度には、ほとんど差異がなくなる。

a) 構造設計 一方の橋脚基礎をローラー支承と仮定すれば静定系となり、ここにおいて、荷重 P が作用したとき、曲げモーメント M_1 、軸力 N_1 が生ずる(このときローラー支承が δ_x だけ変位したとする)。また、この構造物は本来一次不静定系であるから、 $-\delta_x$ の変位を与えるような不静定水平力 X が作用する。この不静定水平力 X による曲げモーメント \bar{M} 、軸力 \bar{N} が生ずる。よってこの不静定系の曲げモーメント M 、および軸力 N は、式(1)、(2)、

$$M = M_1 + \bar{M} \dots\dots\dots(1)$$

$$N = N_1 + \bar{N} \dots\dots\dots(2)$$

となり、不静定量 X は、式(3)、

$$X = - \frac{\int \frac{M_1 \bar{M}}{EI} dx + \int \frac{N_1 \bar{N}}{EA} dx}{\int \frac{\bar{M}^2}{EI} dx + \int \frac{\bar{N}^2}{EA} dx} \dots\dots\dots(3)$$

となる。不静定量 X の影響線は図-2、最大、最小曲げモーメントは図-3のとおりである。これらより、応力度を算定した。

図-2 不静定量 X の影響図

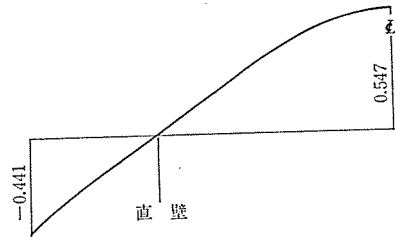
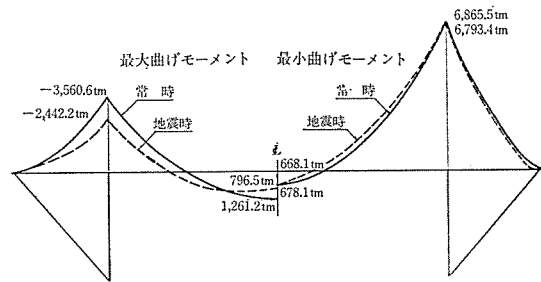


図-3 最大、最小曲げモーメント



b) 施工設計 全構造を一体として、支保工で架設を行なった場合の応力度とあまり差のないような施工方法でなければならないから、施工設計計算上、つぎの仮定をした。

- 1) 側径間のコンクリートを支保工上で打設。
- 2) 側径間仮鋼棒φ27 6本を緊張。
- 3) 斜壁鋼棒φ27 15本を緊張。
- 4) 中央径間架設中对重不足があり、仮支柱をもうけ、ジャッキをセット(300t)。
- 5) 側径間仮鋼棒φ27 6本の解放。
- 6) 最終ブロックコンクリート打設後、V.B.W.を撤去し、仮支柱ジャッキダウン(100t)。
- 7) 連結ブロックコンクリート打設後、連結鋼棒緊張。
- 8) 仮支柱ジャッキを解放。
- 9) 中央部下床版鋼棒緊張。

施工時における曲げモーメントは、図-4、5のとおりである。

中央部連結以前は、V.B.W.ごとの断面を考え、主桁

図-4 支保工部の桁自重による曲げモーメント図

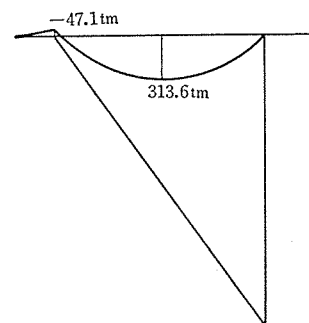
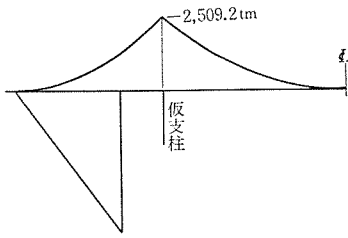
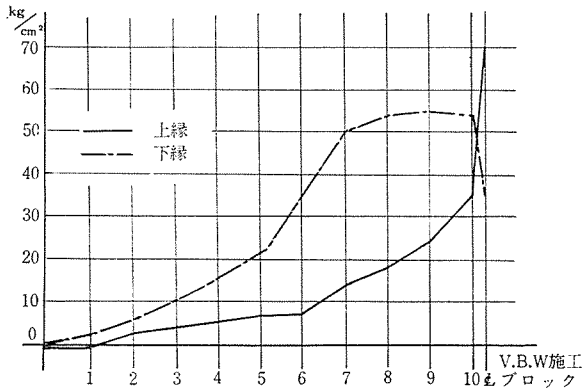


図-5 施工ブロック時の自重による
曲げモーメント図



の死荷重, V.B.W. 自重 (V.B.W. 残留をふくむ), プレストレス, 側径間仮鋼棒によるストレス, およびストレス解放等の応力度を算定し, 中央部連結以後は, 主桁の死荷重, プレストレス (連結分をふくむ), 側径間仮鋼棒によるストレス解放および中央支柱のジャッキダウン等の応力度を算定した。つぎに直壁上の応力度変化を図-6 にしめす。

図-6



施工完了後の応力度は, 完了時に働いている不静定水平力がコンクリートのクリープによって漸次減少してゆくにしたいが, 構造設計の応力度に近づいて行く。

3. 施 工

施工は, 設備工, 躯体工, 工事工程に別けて記述してゆくこととする。

(1) 設 備 工

動力として, 受電点が近いことより, 全て電力を使用することとし, 50kVA トランス 2 台をすえつけた。また, 立地条件より, 資材運搬 (コンクリート, 鉄筋, PC 鋼棒等) のため, 橋軸方向に 1.5t (0.6m³) づりのケーブルクレーンを設備した。

(2) 軀 体 工

昭和 41 年 8 月より, フーチング基礎工の掘削を始めた。掘削余掘部分は, 岩の風化, および凍上による疲労を考慮し, 貧配合のコンクリートを埋めもどし, 安全を計った。41 年はフーチング施工のみとし, 冬期間の 12 月から翌年 3 月までは工事を中止し, 42 年 4 月より,

図-7



斜壁, 直壁, 主桁の施工にとりかかった。

まず, 側径間の支保工を組み立てた。側径間支保工は, 鋼製と木製組合せとし, 鋼製には, 鋼管バタ角, ビティー, ペコサポート等を使用し, クランプによって結合させた。両端には側径間架設後支保工を解体するための仮支柱を施工した。支保工が完成するとケーブルクレーンを使用して, まず斜壁を施工し (図-7・1), つぎに直壁を施工した (図-7・2)。

この場合, 斜壁も直壁もともに上端, 下端がピンの不安定な構造であるので, 斜壁緊張, および側径間施工完了まで, それぞれ斜のペコサポート, および支保工との結合を考え安全を計った。つぎに側径間を施工し (図-7・3), 仮鋼棒 $\phi 27$ 6 本 (31t/本) の緊張をし (図-7・4), 支保工をとりはずした。

主桁に, V.B.W. (33t) ハンガー式をすえつけ, 3m を 1 ブロックとし (片側 10 ブロック), PC 鋼棒 $\phi 27$ を緊張しながら漸次施工を進めて行なった。2~3 ブロック進んだとき, 斜壁を緊張し (図-8・1), 斜ペコサポートをとりはずした (写真-1, 2)。5 ブロックまで施工すると,

図-8

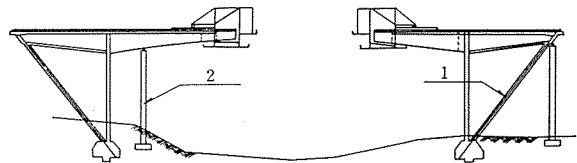
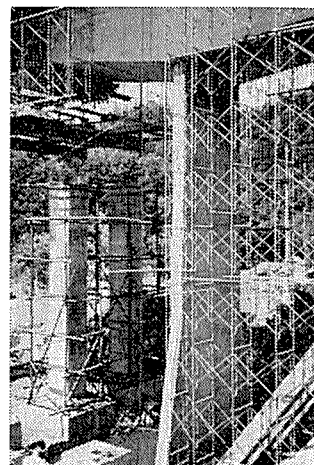


写真-1 V.B.W. をすえつけ 3 ブロック目を施工中



プレストレスト コンクリート

写真-2 仮支柱をジャッキアップ

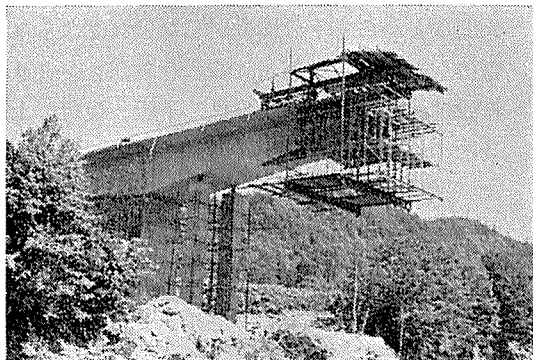


図-9

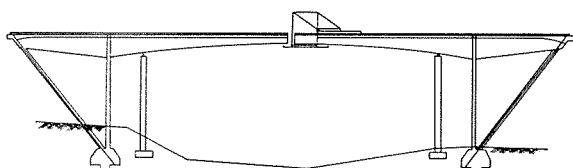


写真-3 中央部連結前
(片方の V.B.W. をてっ去)

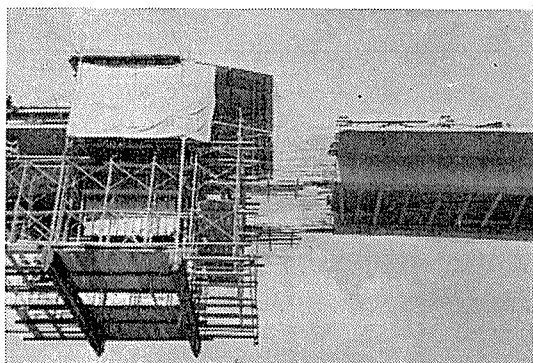
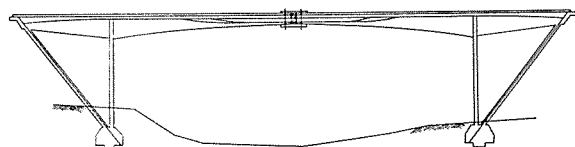


図-10



$$\text{転倒安全率} = \frac{\text{転倒モーメント}}{\text{抵抗モーメント}} = 1.01$$

のような状態となり主桁の施工が進めなくなるので、中央仮支柱を施工し(図-8・2)、転倒の安全を高めた。7ブロックまで施工したとき、側径間の仮鋼棒を解放する。左右の主桁が互いに10ブロックまで施工した状態でV.B.W.を撤去し(図-9)、支保工によって中央部連結コンクリートを打設する(図-10)。つぎに橋長全長にわたる両引きの14本のPC鋼棒、上床版に曲げ上げ定着の24本のPC鋼棒、そして中央下床版に配置した24本のPC鋼棒を順序よく緊張した。

完了後、グラウトを行ない、ウィングウォールを施工し、仮支柱(すでに力がかかっていない状態にある)を

解体し完成した。

a) コンクリート工 基本的な考え方として、 $\sigma_{ck} = 385 \text{ kg/cm}^2$ (変動係数 10% を見込んだもの)、および $\sigma_{cut} = 245 \text{ kg/cm}^2$ (約 50 時間後) の条件を満足しなければならない。このような高強度のコンクリートを得るために良質な材料を使用し、数多くの試験を行なった。

セメントは貧配合であると、高強度にならず、過度に富配合であるとひびわれ、乾燥収縮、硬化熱等の悪影響を与える。

種々の試験から、側径間は普通ポルトランドセメント 400 kg/m^3 、中央径間は早強ポルトランドセメント 380 kg/m^3 を使用した。骨材はなるべく少ない単位水量で所要のワーカビリティをもつコンクリートができるような粒度をもつものでなければならぬので、粗骨材は、常磐産碎石、最大粒径 25 mm 、比重 2.65、吸水 1.48、粗粒率 6.56、細骨材は、錦岡産の砂、最大粒径 1.0 mm 、比重 2.71、吸水 0.79、粗粒率 2.67 を使用した。混和材はレミコン使用のコンクリートであるから、遅延剤としてプラスチックセメントをセメント重量の 0.2% 使用した。

ここで問題となることは、1) スランプドロップ、2) σ_{ck} と σ_{cut} との相関関係における不経済性、の2点である。スランプドロップの原因と考えられるものは、湿度、気温、運搬時間等であると考えられるので、この影響を明らかにするため工場および現場において観測した。この結果一番の原因をなすものは気温であることは予想したことであったが、結果からも明らかであった。湿度、空気量、練り上り温度には顕著な影響はみられず、ミキサー車のコンクリートの体積が少なれば少ないほどドロップ量は大きくなるという傾向が明らかとなった。いずれにせよ夏におけるレデーミクストコンクリートの運搬時間はスランプドロップの影響を考慮すれば約1時間の限界に近いものと思われる。特にプレストレストコンクリートのごとく高強度の品質を必要とするものについては施工計画に当って十分検討されるべきものであると考える。つぎに σ_{ck} と σ_{cut} との相関関係は、図-11、12 のコンクリート管理図に示されているとおりでである。

以上管理試験の結果より問題となることは、設計強度に対して実際の強度が非常に高い値になることである。この現象はここだけの問題ではなく、プレストレストコンクリート構造物のほとんどの現場において遭遇している問題である。設計強度と実強度とを等しくしようとすれば、導入時において強度が不足することになり、工期の問題ともからみあって種々の問題を生じる。現在の段階では、工期とも関連させてプレストレスト導入時におけるコンクリート圧縮強度の 28 日強度に対する比率

図-11 σ_{ck}

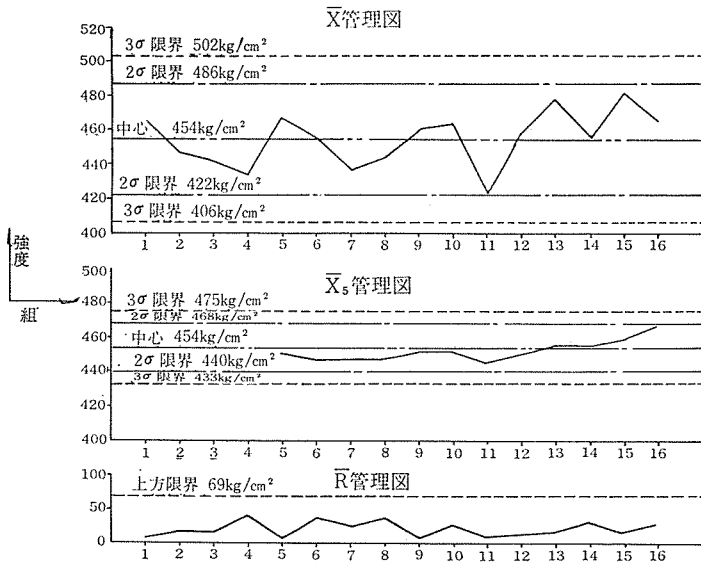
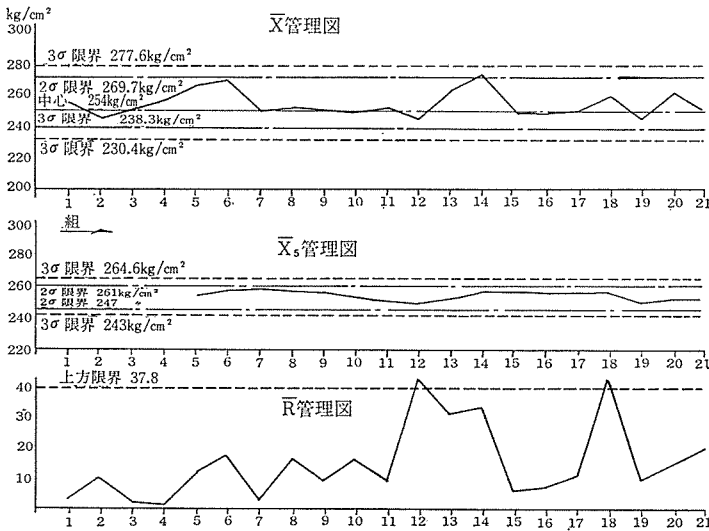


図-12 σ_{cut}



を下げることも一方法であると考えられるが、この場合コンクリートのクリープ、乾燥収縮の影響をそのように補正する必要があり、またクリープ係数にある幅を持たせるといった工学的な取扱いも実際問題として止むを得ないと考えられる。いずれにせよこの問題はクリープ係数、弾性係数といった、コンクリートの諸係数の問題、および最終強度と構造物の安全性の問題、特に北海道の

ような寒冷地におけるコンクリート構造物の施工期間などからも十分に検討しなければならない性質のものであると思われる。なお、コンクリート打設は、側径間においては、下版、腹版、上版と3回にわけ、中央径間においては1回打ちとした。バイブレーターは3IP（内振）2台、3/4 IP 3台を使用し、均一なコンクリートにするようにした。

b) グラウト工 グラウトは十分にPC鋼棒を包み、これをさびないように保護し、確実に十分な付着が得られるものでなければならない。

配合については、現場において6種類の配合を考え、おのおのについて試験練りを行ない、強度、コンシステンシー、ブリージング率、膨張率等を測定し、検討の結果表-1のとおり決定した。

表-1 グラウト配合表

セメント (kg)	水 (kg)	水・セメント比 (%)	ポゾリス No. 5 (l)	アルミ粉 (g)
100	44	44	2	5

なお、施工については、PC鋼棒数が多いため8回に分割して行なった。注入は、グラウトポンプにて3~4 kg/cm²でゆっくり行ない出口をふさいでから20~30 sec 圧入し、付着を完全ならしめた。本橋におけるグラウトは100%完全であった。

c) PC工 ディビダーク工法で用いられるPC鋼棒はφ27 mm 圧延鋼棒である。このPC鋼棒の両端部には転造ねじがあり、このねじによってPC鋼棒はカップラーを使って自由に所望の長さに継ぎたすことができる。PC鋼棒の曲げ加工はバーベンダーによって行なう。アンカーはカラーナット付きアンカープレートを使用した。なお、本橋に使用したPC鋼棒、定着具および接続具は表-2のとおりである。

プレストレス導入は、 $\sigma_{cut}=245 \text{ kg/cm}^2$ に達したとき行なった。本橋においては50時間後においてほぼ満足した。ジャッキはキャリブレーションを行なったディビ

表-2 P C 鋼 棒

種 類	記 号	平 行 部					ね じ 部	備 考
		直 径 (mm)	引 張 強 度 (kg/mm ²)	降 伏 点 強 度 (kg/mm ²)	伸 び (%)	リ ラ ク セ ー シ ョ ン (%)		
ディビダーク 2 種	SBPC 80/105	26.2±0.5	105 以上	80 以上	7.0 以上	1.0 以下	105 以上	指 針 試 験
"	"	26.35	108.8	89.8	10.5	0.42	111.5	"
"	"	26.45	108.8	—	9.5	—	—	"
"	"	26.27	107.6	90.7	11.5	0.48	107.3	"
"	"	26.22	108.5	—	10.0	—	—	"

写真-4 鋼棒に縦振動を与えている

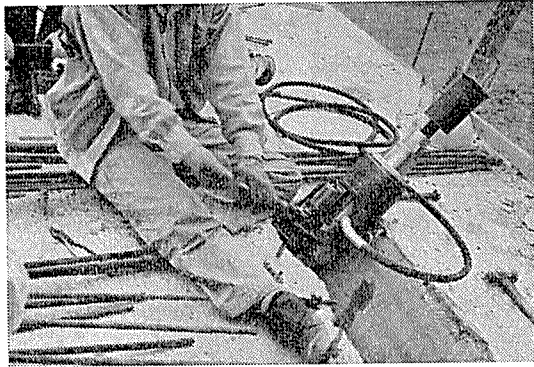


表-3 定着具および接続具

種 類	規 格	材 質
アンカープレート	SBPC 80/105 φ 27	S 35C
カラーナット	"	"
カップラー	"	"

ダーグ ジャッキ 50 t (受圧面積 98.3 cm²) を使用し導入応力度はポンプのゲージの読みとオートカウンターに出る鋼棒の伸びより確認する方法をとった。なお、マンメータの示度が所定の圧力に達しても伸びが計算値に達しない場合は鋼棒に縦振動を与え、予定の伸びが出るまで引いた。緊張計算は、導入緊張応力度とこれによる伸び量の算定である。

d) 緊張応力度 有効緊張力を有効係数で除して固定側の導入緊張応力度を求めた。この固定側緊張応力度を基礎に、所定の摩擦係数を乗じ導入緊張応力度を求めた。なお、導入緊張応力度がディビダーグ工法設計施工指針 2 節 76 条をこえる場合は、その分だけ引きもどしを行なって導入緊張応力度を降下せしめた。有効係数 η は、式 (4)、

$$\eta = \frac{\sigma_{pe}}{\sigma_{pt}} = \frac{\sigma_{pt} - (\sigma_{p\phi} + \Delta\sigma_{p\phi})}{\sigma_{pt}} \dots\dots\dots (4)$$

σ_{pt} : 鋼棒応力度

$\sigma_{p\phi}$: コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による PC 鋼材の応力度減少量

$\Delta\sigma_{p\phi}$: PC 鋼棒のレラクセーションによる鋼材の応力度減少量

となる。よって導入緊張応力度 σ_A は、式 (5)、

$$\sigma_A = \sigma_B (1 + \lambda \cdot l + \mu \cdot \alpha)$$

σ_B : 固定側緊張応力度

$$\mu = 0.26$$

$$\lambda = 0.52 \mu \times 10^{-2}$$

となる。有効緊張力と有効係数は表-4 のとおりである。

表-4 有効緊張力と有効係数

	有効緊張力	有効係数
主 桁	28 t/本	0.81
桁・斜張	28 "	0.90
斜 壁	24 "	0.80

なお、計算に使用した諸数値はつぎのとおりである。

$$E_s = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 3.25 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 2.0$$

$$S_s = 15 \times 10^{-5}$$

$$R = 3\%$$

e) 伸び量 伸び量は、コンクリートの弾性変形量と鋼棒の伸び、規定割り増し量を加算したものである。

一般に設計計算で与えられるプレストレス導入量および、伸び量と実際の伸び量とはかならずしも一致しない。本橋においても実際にプレストレスの作業を行なった結果、荷重計の圧力から推定される引張力と伸び量から推定される引張力の間には 図-13 に示すように差異がある。この原因はつぎのものと考えられる。

図-13

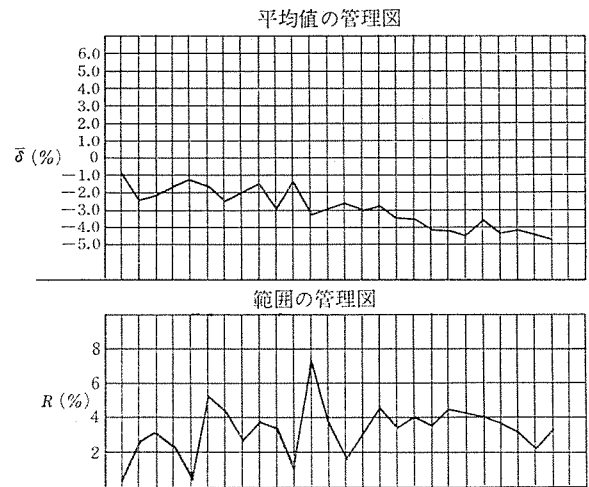


表-5 架設工事工程表

種別	工 種	数量	単位	日数	出来高	4	5	6	7	8	9	10
						10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20	10 20
準備	除管及進入路											
	仮設建物、仮設動力、用水設備											
	ケーブルクレーン組立											
工	仮支柱工											
	垂直壁工											
本体	斜 壁 工											
	ウイングウォール工											
	サイドスパン床版工											
	センタースパン床版工											
工	仮設物撤去工											

■ 実施工程

報 告

- 1) PC鋼材断面積のばらつき
- 2) 摩擦係数の仮定値の問題
- 3) 伸び量および荷重計の測定誤差
- 4) 弾性係数のばらつき

本橋における管理図からもわかるようにつぎの結果を得た。緊張計算による引張力 P_0 、実測による引張力 P_1 とすれば、

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = 1.016$$

となった。この結果からも明らかのように、本橋において仮定した、 λ 、 μ 、の値が必ずしも適正な値ではなかったものと推定される。この場合角度に対する摩擦損失を減少させ、長さによるものを大きくとることが良いと思われる。この原因として考えられるものは、PC鋼棒の平面的な角変化を無視したことにあるものと思われる。

(3) 工事工程表

工事工程は表-5のとおりである。

施工は、実施工程とネットワークによる工程とを常に比較し管理して行なった。

4. あとがき

本橋の設計施工について記述してきたが、これらからつぎのようなことがいえる。

- 1) 架設工法として、側径間の仮鋼棒、および中央径間の V.B.W. 使用は、経済的にも安全的にも有効であった。
- 2) PC鋼棒は、ねじのピッチ 3 mm のものを使用し

たことにより緊張時の事故が皆無であった。

- 3) グラウトは、 $w/c=44\%$ で施工したため完全であった。
- 4) 側径間には鋼製支保工、仮支柱としてコンクリート柱を使用したことにより施工中の沈下、あげ越し量等が計算とあまり差異がなかった。また地震に対しても一体に作用し安全であった（施工中弱震あり）。
- 5) クリープによる沈下量（2ヵ月後）は計算どおりであった。

これからのPC橋は、より高度な条件の設計施工になると思われるが、設計上の材料の諸数値（クリープ係数、弾性係数、摩擦係数）の仮定、および架設工法などについてさらに研究が必要であると考ええる。

おわりに、本橋の設計施工に御協力いただいた、北海道開発コンサルタントの高谷 弘氏、吉田希男氏、住友建設(株)の大坪 功氏に対し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 新谷 進：寺寺橋の設計施工についてプレストレス コンクリート
- 2) 横道英雄：コンクリート橋
- 3) 高谷 弘外：新豊橋架設工事について、北海道支部、技術資料 24 号
- 4) G. Worontzot：片持梁施工法によるPC橋、セメント新聞社発行
- 5) 齊藤 昇：プレストレスの管理のための提案と報告、プレストレスト コンクリート

1968.3.8・受付

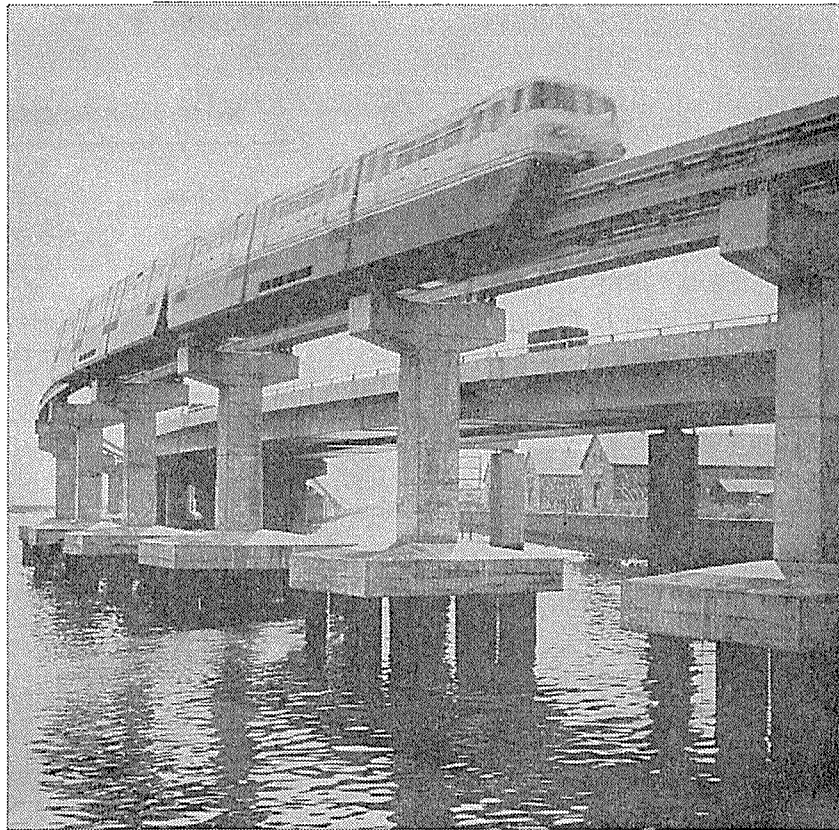
御 寄 稿 の お 願 い

この雑誌は、プレストレストコンクリートのわが国でただ一つの総合技術雑誌です。会員諸兄の技術向上にいささかでも役立つよう日夜苦心して編集に当たっておりますが、多くの問題を広くとりあげるのはこれでなかなか大変なことです。一方的になっても困りますし、とにかく皆様の卒直な声をお聞かせ願えませんでしょうか。自由に気楽に意見を述べて頂く会員欄、疑問点を相談していただきたい質疑応答欄、工事の状況、施工の苦心点を、現場から速報してほしい工事ニュース欄、口絵写真欄、その他報告、質問など、お気軽にどしどし原稿をお寄せ下さい。また、新設してほしい欄とか、もっと充実してほしい欄、雑誌に対する建設的な御意見なども募ります。少しでも多く皆様の声を反映した親しみやすい雑誌に育て上げたいと念じておりますので御協力願います。以上の原稿、御意見などはすべて下記へお送り下さい。

東京都中央区銀座東2の1 銀鹿ビル3階 PC技術協会編集委員会 電話 (541) 3595

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