

四国側陸上部の PC 鉄道高架橋の設計・施工

—北浦港橋梁—

神 弘 夫*
 松 田 大 六**
 大 坪 正 行†
 山 岸 明††

1. ま え が き

本州四国連絡橋，児島一坂出ルートは，道路・鉄道併用橋であり，昭和 63 年春の開業を目ざし，土木工事も最終段階を迎えている。

そのうちの四国側陸上部の鉄道・本四備讃線は，南備讃瀬戸大橋を渡った後，番ノ州高架橋共用部，鉄道単独部の北浦港橋梁，大東川橋梁を通り，新宇多津駅に至る約 6.1 km と，北浦港橋梁終点方で分岐し，坂出方に向かう予讃本線（線路付替線）に接続する約 1.3 km である（図—1）。

四国側陸上部の本四備讃線に用いられている構造物

は，新宇多津駅付近のラーメン高架橋を除き，殆んどが PC 桁を用いた桁式高架橋および橋梁であり，その約 80 % 近くが PC 桁で占められている。

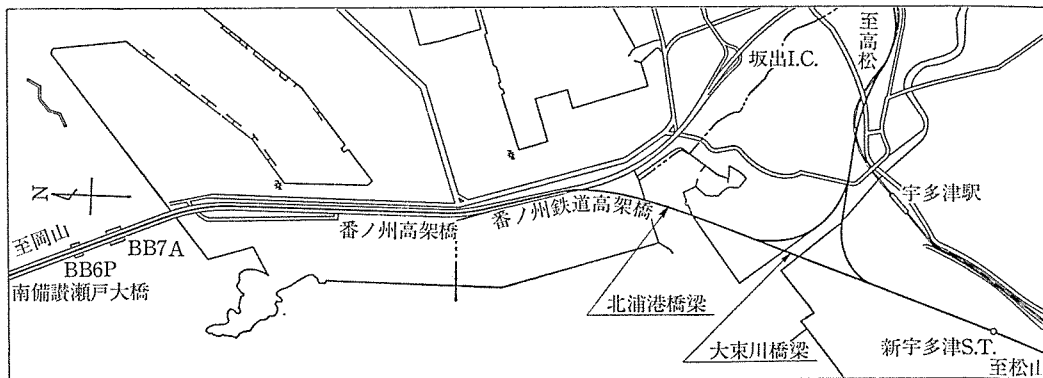
それらの PC 桁の一覧を表—1 に示すが，PC 桁の架設工事はすべて終了している（写真—1）。

本報告は，これらのうち PC 鉄道橋としては日本最長のスパン 120 m を有する北浦港橋梁の設計・施工の概要について述べるものである。

2. 設 計

2.1 構造形式の選定

北浦港橋梁は北浦漁港を跨ぐ海洋構造物で，構造形式



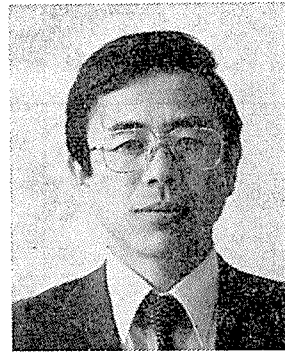
図—1 位置平面図



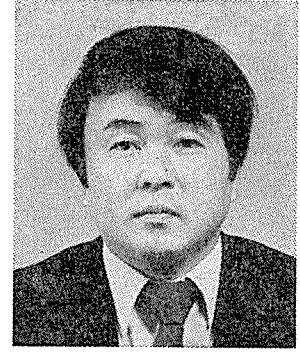
* Hiroo JIN
 本州四国連絡橋公団坂出
 工事事務所副所長



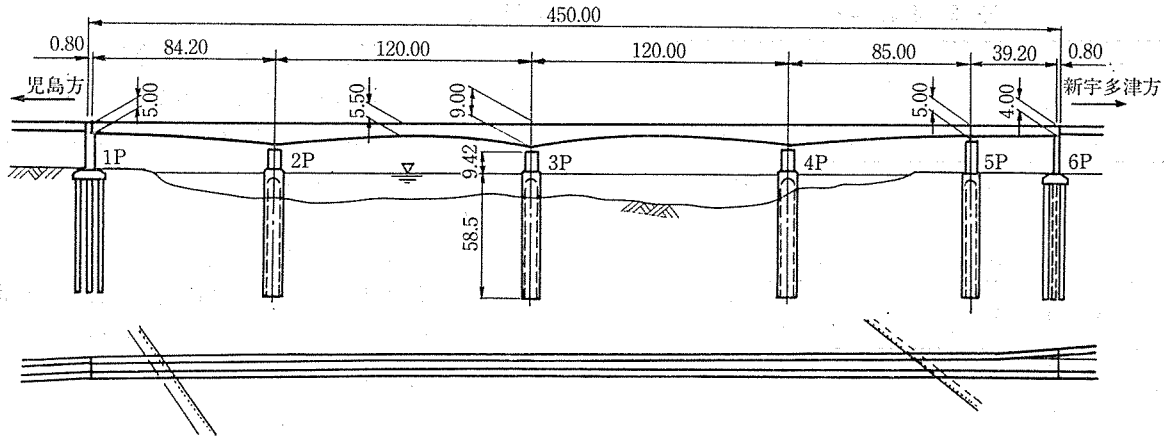
** Dairoku MATSUDA
 本州四国連絡橋公団坂出
 工事事務所第 7 工事長



† Masayuki OTSUBO
 本州四国連絡橋公団坂出
 工事事務所第 7 工事長代理



†† Akira YAMAGISHI
 本州四国連絡橋公団坂出
 工事事務所第 6 工事長代理



図—2 北浦港橋梁全体図

表—1 本四備讃線（四国側）の PC 桁一覽表

桁形式	桁形状	線数	橋長 (m)	連数	備 考
5 径間連続桁	1 Box	複線	73×5=365	1	番ノ州高架橋 共用部
4 径間連続桁	"	"	72×4=288	2	
3 径間連続桁	"	単線	72×3=216	4	
"	2 Box	3線 対応	72×3=216	3	
"	1 Box	複線	72×3=216	2	
5 径間連続桁	"	"	45×5=225	1	番ノ州鉄道高架橋
4 径間連続桁	"	"	45×4=180	1	"
5 径間連続桁	"	"	85+120×2+ 85+40=450	1	北浦港橋梁
4 径間連続桁	"	単線	50+80×2+ 50=260	2	大東川橋梁
2 径間連続桁	"	単線	45×2=90	2	宇多津北高架橋
単 純 桁	1 Box	複線	30.6, 39	2	番ノ州鉄道高架橋
"	"	単線	36.6, 40, 40	3	
"	2 主 I 形	"	20~30	88	
"	3 主 I 形	"	20	2	
"	3 主 I 形	複線	30	1	
"	4 主 I 形	"	23, 30, 30	3	
"	ホロー桁*	単線	15	3	

* プレキャスト Box 桁



写真—1 本四備讃線全景

の選定にあたっては、航路の確保、工事中の海水汚濁および騒音、冬季の波浪対策等の地元協議の経過を踏まえ、海上部における下部工の施工性、長大 PC 橋梁の施工実績、経済性、工期等について種々検討を行った。

その結果、図—2 に示すように、下部工は海洋構造物の基礎として初めて採用する連続地中壁基礎 4 基と場所打ち杭基礎 2 基とし、上部工は 5 径間連続 PC 箱形桁とした。なお、1, 6 P の基礎を経済的な場所打ち杭とし、連続桁で異種の基礎を用いたことに対しては、地震応答解析により、その安全性を確認した。

非対称の 5 径間連続桁としたのは、5~6 P 間を単純桁とすると、その間に設置される分岐器に悪影響を与えること、また、4~5 P 間の側径間の施工については、海上部で支保工施工するか、または仮連結による張出し架設する方法とが考えられるが、いずれも当案と比べて不経済となること等の理由による。なお、5~6 P 間のスパンを大きくすることは、桁が 3 線構造となること、3 線とも施工基面高が異なることから構造上無理であった。

また、北浦港橋梁は工程上のネックとなっており、上部工についても種々工期短縮の検討を行った。

その結果、ワーゲンの転用をなくすことは勿論のこと、柱頭部を長くし、2~4 P の大型ワーゲンを補強 (350 t・m → 400 t・m) することで、張出しブロック数を減ずること、そして、下部工の工程上から先行している 2, 4 P からの張出しブロック数を多くし (27 ブロック)、3 P のブロック数 (24 ブロック) を減ずること等で対処することとした。

2.2 設計条件

基本的な設計条件を表—2 に、許容応力度を表—3 に示す。

なお、設計基準は、国鉄、建造物設計標準（鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、プレストレストコンクリート鉄道橋、昭和 58 年 2 月）によった。

2.3 構造解析

構造解析は変断面の棒梁として行い、設計断面は 59

表—2 設計条件

項目		設計条件
鉄道規格		甲 線
軌道構造		複線スラブ軌道
線形	平面	一部 1300 m
	縦断	Level
活荷重		KS-16
衝撃係数		1~5P $i=0.143$ 5~6P $i=0.259$
震度	水平	0.16~0.18
	鉛直	0
温度変化		-5~+35°C (沓移動量)
温度差		5°C
風荷重		300 kg/m ²
支点沈下		1P, 6P 20 mm 2~5P 25 mm
破壊荷重		1.7×(死+活+衝撃)

表—3 許容応力度

コンクリート	設計基準強度 σ_{ck}		400 kg/cm ²
	プレストレス導入時圧縮強度		280 "
	許容曲げ圧縮応力度	プレストレス導入時	180 "
		設計荷重作用時	140 "
	許容曲げ引張応力度	プレストレス導入時	15 "
		全静荷重作用時	0 "
		設計荷重作用時	10 "
許容斜め引張応力度	せん断力またはねじりモーメント	13 "	
	せん断力とねじりモーメント	17 "	
基準の許容付着応力度 (異形鉄筋)		20 "	
鉄筋	基準の許容引張応力度 (SD 35)		2000 "
PC鋼材	プレストレス中	0.80 σ_{pu} または 0.90 σ_{py}	
	プレストレス直後	0.70 σ_{pu} または 0.85 σ_{py}	
	設計荷重作用時	0.60 σ_{pu} または 0.75 σ_{py}	

箇所とした。

張出し施工の場合、施工時と完成時とは構造系が異なり、クリープにより断面力が変化する。この移行断面力については次式により求めた。その一例として、自重による曲げモーメントを図—3に示す。

$$X_{\phi} = (X_L - X_B) \times (1 - e^{-\phi})$$

ここに、 X_{ϕ} ：クリープ終了後の断面力

X_L ：支保工上で一度に施工した場合の断面力

X_B ：張出し架設で施工した場合の断面力

ϕ ：クリープ係数=1.6

なお、クリープ、乾燥収縮によるプレストレス力の減少は、平均的な値として、クリープ係数を2.0(横方向は2.6)、乾燥収縮度を 18×10^{-5} (横方向は 20×10^{-5})として算定し、プレストレス力の減少分についても上記の検討を行った。

断面は、通常のPC連続桁と同様、列車荷重載荷時に、斜鋼棒は破壊時に決定している。

橋脚の不同沈下については5cm(1, 6Pは4cm)と仮定し、コンクリートのクリープの影響を考慮して設計には2.5cm(1, 6Pは2cm)の不同沈下を考慮した。その結果、5P付近ではこの荷重ケースで断面が決定した。

横方向についてはウェブ下端を支点とするボックスラーメンとして解析した。

2.4 構造寸法および鉄筋の配置

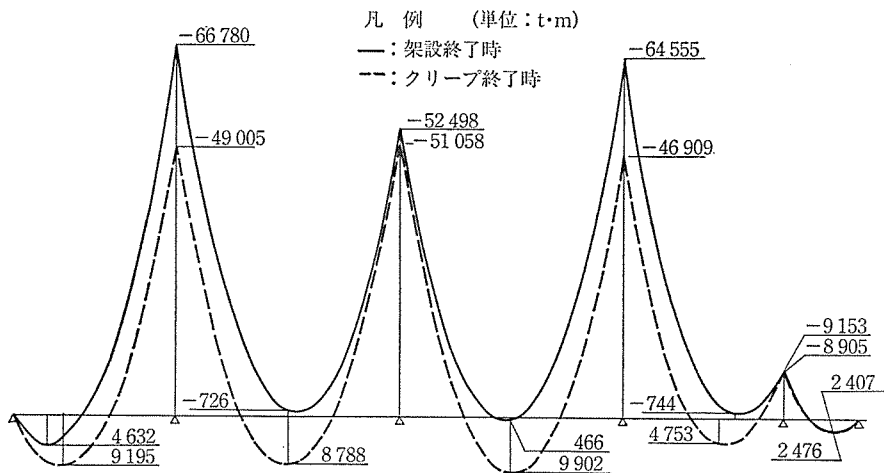
桁高は長大橋梁の実績、断面力、経済性、美観等を考慮し、最大スパンにおける支点で9m、スパン中央で5.5mとした。

部材構造寸法については、断面力のほか、PC鋼材の配置および定着、コンクリートの締固め等を考慮し、図—4に示すとおりとした。かぶり厚は、海洋構造物であることを考慮し、ボックス外面については5cm、内面については3cmとした。

なお、国鉄標準により、支点の局所的な引張応力に対処するための鉄筋を支点部(桁高の2倍の範囲)に、また、ブロック打ち継目の温度ひびわれを防止するための鉄筋を新ブロック50cm間に配置した。

2.5 PC鋼材の配置

PC鋼材については、最近の鉄道PC連続桁では経済性、施工性から、張出しにはPC鋼棒を、連結には緊張力の大きいPCケーブルを用いていること



図—3 自重による曲げモーメント図

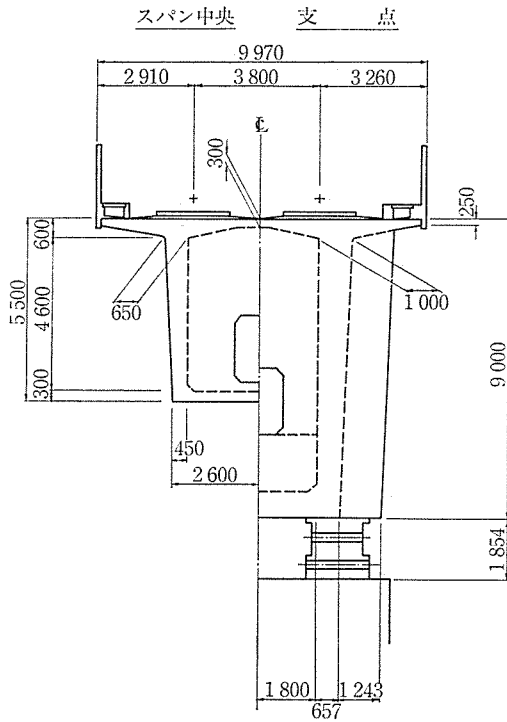


図-4 断面一般図

を考慮し、本橋梁においても、張出しにはディビダーク鋼棒 (SBPR 95/120, $\phi 32$) を、側径間および中央径間連結には PC ケーブル (SWPR 7 B, 12 T 15.2) を用いた。

PC 鋼棒の配置を 図-5 に示すが、架設時の検討結果から、配置本数は、2, 4 P 支点で 206 本、3 P で 184 本、5 P で 66 本となった。

PC ケーブルの配置を 図-6 に示す。また、PC ケーブルの配置形状については 図-7 に示すようなタイプとし、端部定着するケーブルについては、本橋梁の架設が最後となるのでデッドアンカーを用いた。

また、ケーブル長の長い R タイプのシースには低摩擦シースを用い、今までの施工実績等を考慮し、 $\mu=0.25$ 、 $\lambda=0.00333$ として、緊張力の計算に反映させた。

PC ケーブルは、主に、クリープによる移行断面力、上載死荷重および列車荷重に対して配置するもので、1~2 P 間スパン中央で 32 本、2~3 P 間で 44 本、3~4 P 間で 46 本、4~5 P 間で 24 本、5~6 P 間で 18 本、全数で 164 本となった。その長さは R タイプで約 55~129 m (34 本)、K タイプで 30~81 m (66 本)、T タイプで 36~63 m (64 本) である。

なお、斜鋼材および横締め鋼材にはそれぞれディビダーク鋼棒 SBPR 95/120, $\phi 32$, $\phi 26$ を用いた。

2.5 支 承 部

支承は大反力を支持できるローラーシューとし、2~4 P には 4 本ローラーを、1, 5, 6 P には 1 本ローラーを

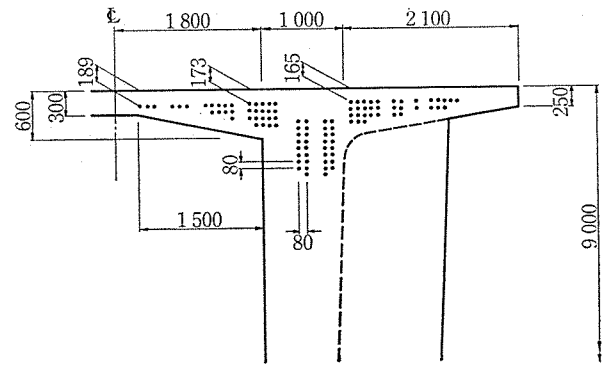


図-5 2 P 支点部張出し鋼棒配置図

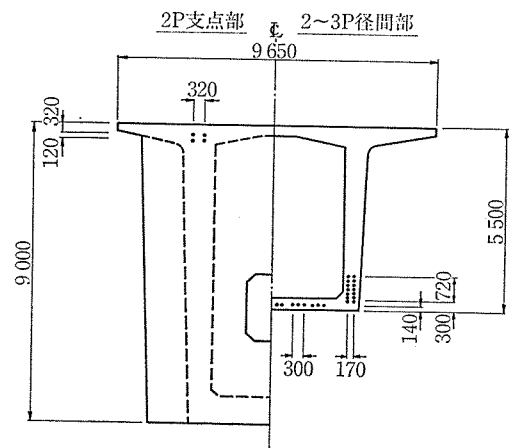


図-6 PC ケーブル配置図

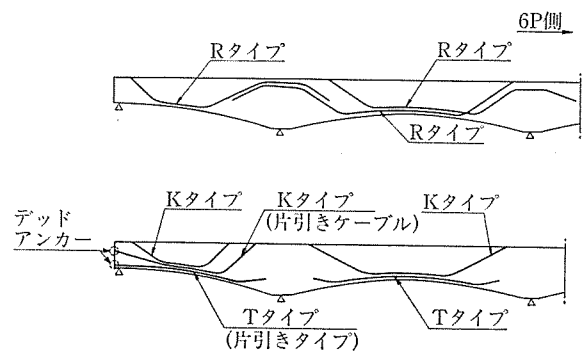


図-7 PC ケーブル形状図

用いた (写真-2)。

ストッパーは地震時水平力を分散支持できるダンパー式ストッパーとし、常時において固定となるバネ付きのダンパー式ストッパーは桁の移動による分岐器への影響を小さくするために 4 P に用いた。

ただし、6 P については、線路方向の水平力を分担支持させると鉛直力とのバランスがくずれ、水平力を受けもたせるための杭が必要となるので地震時においても橋軸方向の水平力を支持しない可動の鋼角ストッパーを用いた。

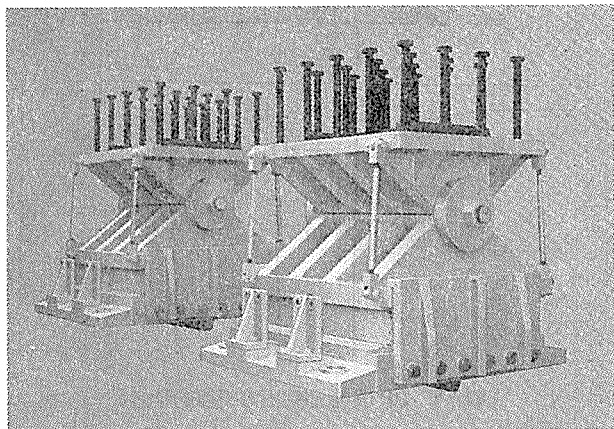


写真-2 4本ローラーシュー

3. 施 工

主要工事数量を表-4に、実施工程を図-8に示す。

なお、工所用器材の運搬は、下部工で設置した仮栈橋を利用して行った。

3.1 柱 頭 部

2~4Pの支承は完成重量で約30tあるため、現場への搬入は底版、ローラー、下沓、上沓に分割して行い、組立は橋脚上で行った。据付けは特製の架台を用い、箱抜き部にはプレミックスタイプの無収縮モルタルを注入した。

また、ストッパーの据付けは四角に支持ボルトを設置して行った。

柱頭部の施工は図-9に示すように、H形鋼を用いたブラケット方式で行い、ブラケットは橋脚を貫通させたPC鋼棒と埋込みボルトにより固定した。

柱頭部のコンクリート打設は桁高が高く、コンクリー

ト数量も約530m³あり、コンクリートの締固め、鋼材および型枠の組立て、温度、乾燥収縮ひびわれ等を考慮し、底版部、桁部、上床版部の3回打ちとした(5Pについては2回打ち)。なお、1,2回目のコンクリート(5

表-4 工事数量

	単位	数 量	備 考
コンクリート	m ³	8 440	橋体 $\sigma_{ch}=400 \text{ kg/cm}^2$
PC鋼材	主鋼棒	t	220 SBPR 95/120 $\phi 32$
	斜鋼棒	t	65 "
	横締め鋼棒	t	28 " $\phi 26$
	主鋼線	t	146 SWPR 7 B 12 T 15.2
鉄筋	t	523	SD 35, SD 30 A
支 承	t	193	ローラー沓
ス ト ッ パ ー	t	58	ダンパーおよび鋼角式

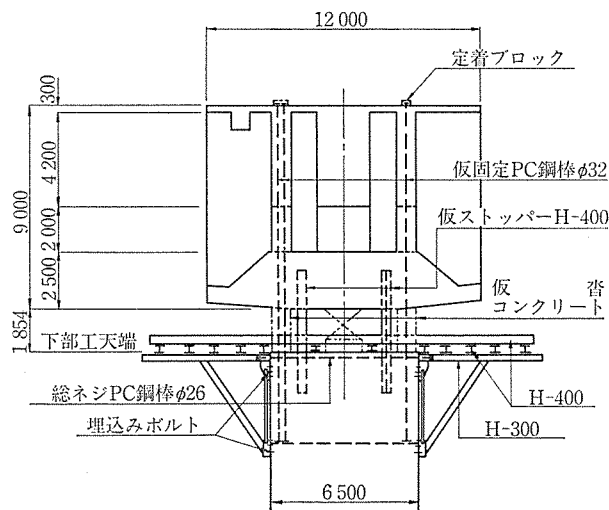


図-9 柱頭部施工図

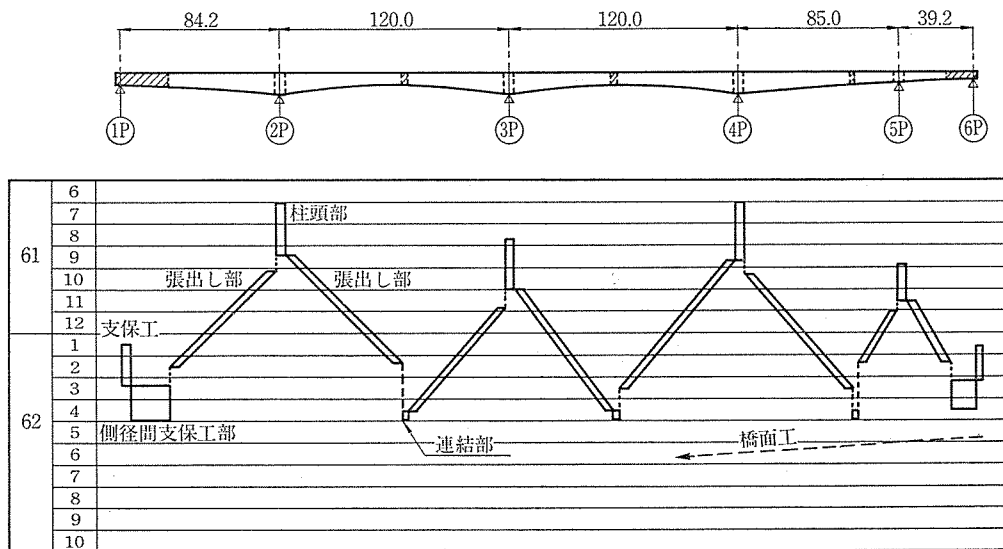


図-8 実施工程表

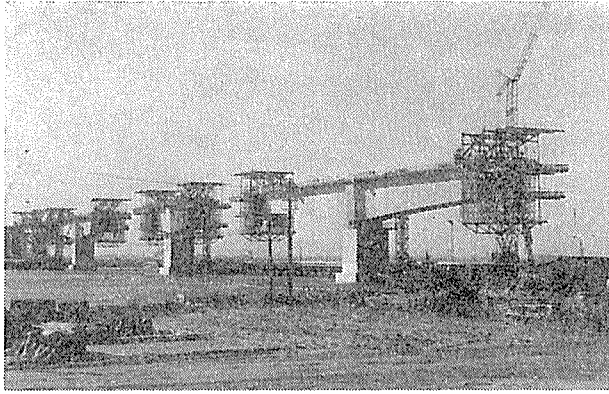


写真-3 ワーゲン施工

P は 1 回目) については、早期強度を必要としないため、マスコンクリートの温度ひびわれおよび打継目の拘束ひびわれを軽減する目的で、普通ポルトランドセメントによる配合とした。

3.2 張出し部

2~4 P からの張出し施工は補強した大型ワーゲン、5 P からは大型ワーゲンの計 8 基のワーゲンを用いて行った(写真-3)。ただし、5 P の 6 P 側のワーゲンについては、主桁中心間隔が 5.1 m から 6.3 m に変化するため、横スライド可能な構造とした。

張出し長は 3.0 m~4.5 m で、コンクリート数量は 50 m³~65 m³ になっている。コンクリート打設は柱頭部下の仮栈橋上にコンクリートポンプ車を据え、打設ブロックへは柱頭部からの配管で行った(5 P はクレーン車による)。

また、コンクリート打設は桁高が高いため、ウェブ内の型枠を取りはずし、そこからコンクリートの打設およびバイブレーターの挿入を行うことで、材料の分離と締固め不足に対処した。

なお、斜鋼棒については 4 ブロックにわたる場合もあり、継手を設けることで対処した。

3.3 側径間部

側径間の長さは、1 P 側で 26.35 m、6 P 側で 15.94 m で、コンクリート数量はそれぞれ 350 m³、240 m³ である。

支保工は H 形鋼を主体とする支柱方式とし、基礎は地盤が埋立地であることから H 鋼杭基礎とした(写真-4)。

コンクリート打設はウェブ付け根までと上床版とに分ける 2 回打ちとし、1 回目については柱頭部と同様、普通ポルトランドセメントによる配合とした。

なお、コンクリート打設時には、支保工の沈下を測定したが、支保工のなじみ程度で、基礎の沈下はみられなかった。

3.4 吊支保工部

Vol. 29, 特別号, 1987



写真-4 側径間部の施工

吊支保工は H 形鋼を主体としたもので、仮栈橋上から 150 t クローラクレーンで取り付けられた。

コンクリート打設は設計仮定と合わせるため、3 台のコンクリートポンプ車を用い、3 か所同時施工とした。

3.5 PC ケーブルの緊張

端部緊張力は設計における不動点の緊張力を確保できる値とし、引止め線については、試験緊張の結果(データー数 12)、見かけのヤング係数が 1.96~2.14×10⁶ kg/cm² (平均値 2.05×10⁶ kg/cm², 標準偏差 0.060×10⁶ kg/cm²)、見かけの摩擦係数が 0.05~0.25 (平均値 0.14, 標準偏差 0.062) であることを考慮し、若干の引越しの可能性はあるが、本四公団施工管理試験要領、プレストレストコンクリート構造物工(案)(昭和 54 年 11 月)に基づき、ヤング係数を 1.9×10⁶ kg/cm² の 3% 低減値 1.85×10⁶ kg/cm² とし、摩擦係数の管理限界を 0.15±0.20 とした。

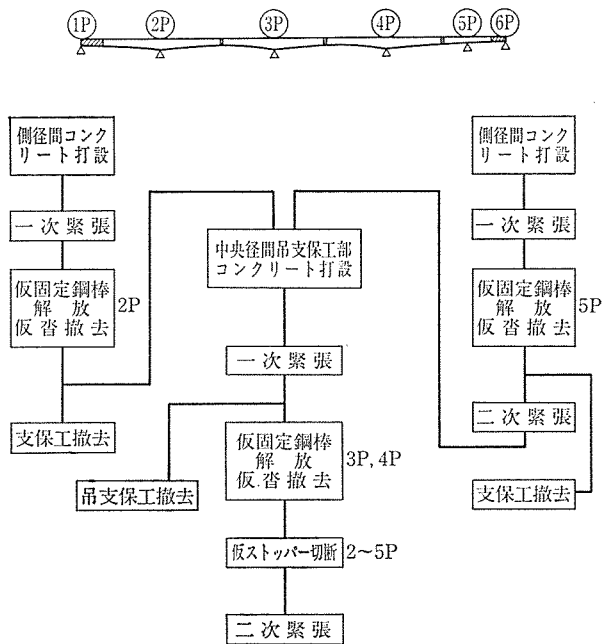
PC ケーブルの緊張結果によると、 $E=2.0 \times 10^6$ kg/cm² とした場合の摩擦係数の平均値は R タイプで 0.07, K タイプで 0.08, T タイプで 0.04 となっており、標準偏差はそれぞれ 0.021, 0.032, 0.030 となっていた。また、引止め線 ($E=1.85 \times 10^6$ kg/cm²) での摩擦係数の平均値は R, K, T タイプ、それぞれ 0.17, 0.23, 0.24 となっており、標準偏差もそれぞれ 0.035, 0.038, 0.051 となっていた。

これらの値からみれば、低摩擦シースと普通シースとでは差がなく、比較的小さな値であった。また、試験緊張の結果においても有意差はみられなかった。

側径間のコンクリート打設後の仮設物の撤去と PC ケーブルの緊張の施工順序のフローを図-10 に示す。

3.6 グラウト注入

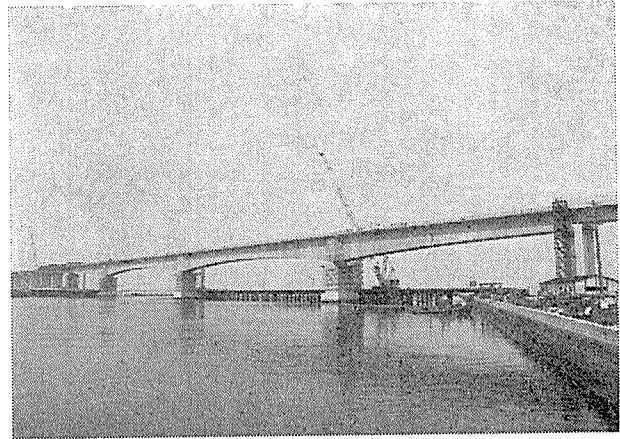
シース内は注入に先立って、十分水洗いを行った後、高圧空気により残水を排出した。この作業で閉そくの疑いのあるもの(斜鋼棒に若干みられた)については改め



図—10 施工順序図

て真空ポンプにより注入を行った。

PC ケーブルのグラウト注入は、一番低い所から順次注入する方法とし、長いケーブルでは注入に 30 分近くを要した。また、グラウトホースはブリージング水を排出させるために、先端に綿をつめ、橋面から 1m 以上出して鉛直に立てておいた。しかし、ホース先端が開き、ブリージング水が排出しないものが多くあったの



写真—5 桁完成

で、それらについては綿を取りはずし、ブリージング水の排出をはかった。

4. あとがき

北浦港橋梁では橋体工も終了し（写真—5）、現在、高欄、路盤コンクリート、等の橋面工の工事が進められており、その他的高架橋上では、軌道、電気工事が急ピッチで進められている。

最後に、無事故による工事完了を願うとともに、関係各位の御指導、御協力を願う次第である。

【昭和 62 年 7 月 2 日受付】

協会誌「プレストレストコンクリート」用ファイル発売のご案内

このファイルは 2 年分（12 冊）綴込み用で、紺の布クロス表紙に金文字で「プレストレストコンクリート」と刻印したものです。散逸を防ぎ、取外しも自在ですので、重宝されると思います。

価格は、会員用に大変低廉になっておりますが、送料は割高になりますので、できる限りまとめて注文なさるか、協会事務局に立ち寄りお持ち帰ることをお勧めいたします。

体 裁：B 5 判（背幅 60 ミリ）、12 冊綴込み用、布クロス張り（紺）

価 格：400 円

送 料：1 冊の場合 300 円

2 冊以上 10 冊まで @ 200 円×冊数

11 冊以上 実費請求