

(112) エクストラードーズドPC橋の押出し架設

北海道旅客鉄道株式会社 工務部 小西 康人
 北海道旅客鉄道株式会社 工務部 吉田 徹
 大成建設株式会社 札幌支店 正会員 塚本 敦之
 大成建設株式会社 関西支店 正会員 ○塚本 英樹

1. まえがき

JR北海道・札幌線(愛称:学園都市線)の複線鉄道高架化事業において、国道5号線および並行する札幌自動車道との交差部に橋長111.0mの中規模橋梁が架設される。複線鉄道高架化事業は、沿線の大規模な宅地開発に伴う輸送量の増強と、市街地の一体的発展、土地の有効利用、踏切による交通渋滞の緩和を目的としている。交差する自動車道は既に一般市道と立体交差化されており、本橋梁はその道路高架橋のさらに上を跨ぐことになるため、経済性の点から施工基面高を低く押える下路桁形式とし、維持管理・用地限界・景観性・騒音や電波障害等の周辺環境への影響等を総合的に判断して、エクストラードーズドPC下路桁橋を採用した。

道路横断面部押出し施工時は、主桁に作用する断面力を低減するために、通常の手延べ桁以外に、仮設外ケーブル、仮設斜ケーブル、および本設斜ケーブルを主桁の移動状況に合わせて緊張あるいは除荷・解放し、主桁に発生する断面力を調整した。写真-1に道路横断面部の押出し架設状況を示す。本稿は、世界的にも類がない施工の状況や管理手法を報告するものである。

2. 橋梁概要

事業主体:札幌市、日本鉄道建設公団

および北海道旅客鉄道株式会社

工期:平成9年9月~平成11年12月(予定)

(下部工工事から仮支柱撤去工事まで)

橋種:プレストレストコンクリート鉄道橋

構造形式:2径間連続エクストラードーズドPC下路桁橋

橋長:111.000m 支間:51.375m+58.375m

幅員:13.2m 桁高:2.6m

主塔高:9.9m 列車荷重:EA-17

平面線形:R=∞ 縦断勾配:レベル

主要数量:表-1に示す。全体一般図:図-1に示す。

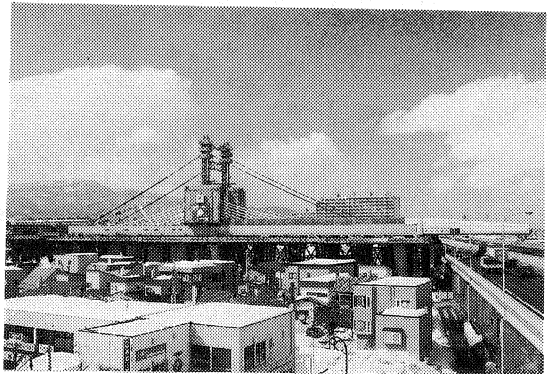


写真-1 道路横断面部押出し架設

表-1 主要工事数量

部位	項目	仕様	単位	数量
上部工	コンクリート	$\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$	m ³	1,644
	鉄筋	SD345	t	173
	PC鋼より線	SWPR7BN, SWPR19	t	125
	主塔鋼殻	SM490, SM400	t	33
架設工	PC鋼より線	SWPR7BN	t	15
	PC鋼棒	SBPR930/1080・1080/1230	t	7
	手延べ桁	SM490, SS400	t	90
	ピロン柱	SS400	t	57
仮支柱	製作鋼重	STKR490, SS400	t	1,178
	リース鋼重	SS400	t	199

3. 施工順序

施工順序を図-2に示す。道路横断架設地点の後方約130mの製作ヤードで、主桁を10ブロック分割で押出し工法により製作する。主塔の構築は主桁7BL施工時に、ピロンの構築は主桁8BL施工時に行う。主桁・主塔の構築後、本設斜ケーブル、仮設斜ケーブル、仮設外ケーブルの設置を行い、道路横断面部の押出し施工を行う。その後、本設斜ケーブルの張力調整、本支承の設置、仮支承の撤去、各種仮設設備の撤去を行い、工事完了となる。

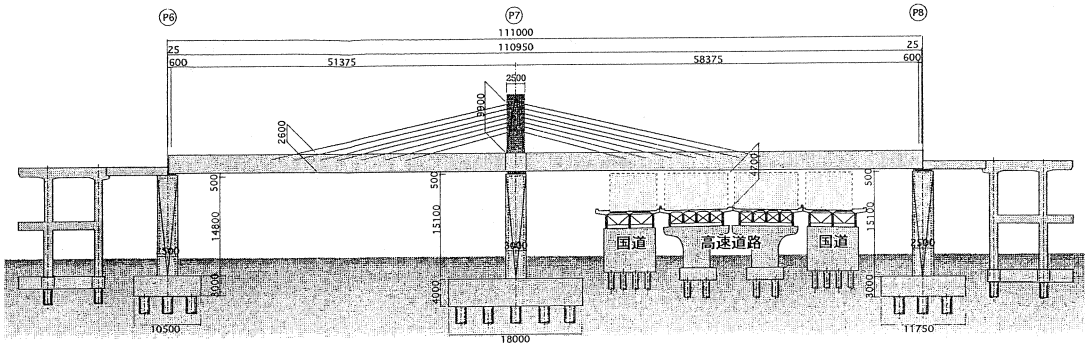


図-1 全体一般図

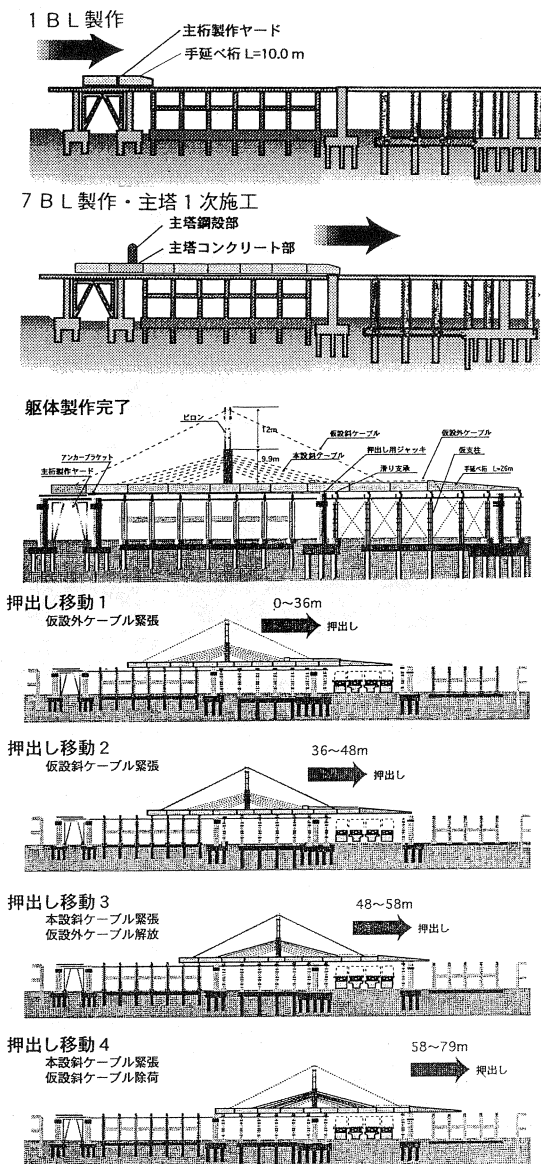
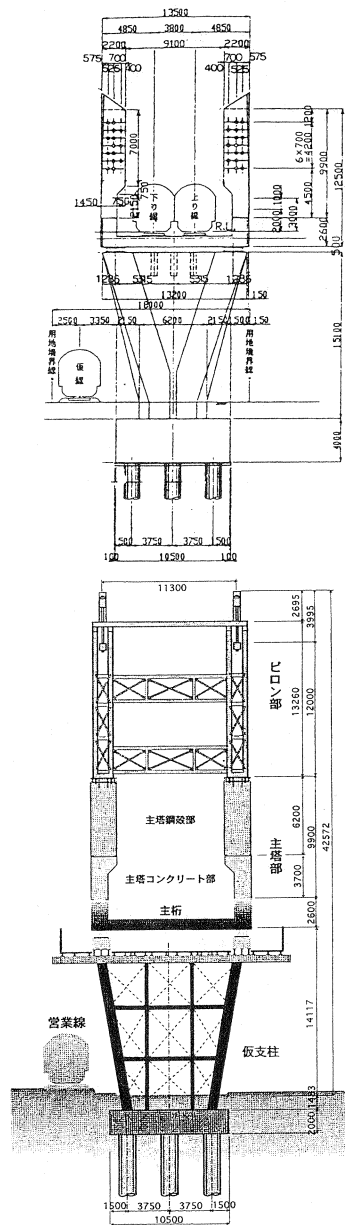


図-2 施工順序図



4. ブロック押し出し施工

道路横断部架設時に行う仮設・本設斜ケーブルの緊張により、主塔直下に大きな反力が生じるため、約9mピッチで鋼製の仮支柱を設置した。押し出し用のジャッキは、400tのリフティングジャッキを水平方向で2台使用し、引張り鋼材はφ15.2mm19本を用いた。1時間当たり約4mの移動スピードで、押し出し水平力は主桁重量の約3.5%であった。写真-2にブロック押し出し施工の状況を示す。

主桁製作ヤードは地上約12mの高さに設け、鋼製の仮支柱構造とした。ウェブの底面型枠は、滑り架台方式とし、下床版スラブ部の底面型枠は、鉛直ジャッキ上に横梁を渡した構造とし、横締めケーブル緊張後、ジャッキダウンし、ブロック押し出しを行った。

横締めケーブルは、φ28.6mm 太径シングルストランドのアフターボンドケーブルを使用し、定着工法はCC工法で、交互片引きで緊張した。押し出し用主ケーブルは、φ15.2mm19本のテンドンを用い、手延べ桁側が固定定着の片引き緊張である。1BL~6BLには20本、7BL~10BLには12本を軸心配置している。

ブロック製作時は、主桁押し出し終了時に主桁をレベルにしておくことを、施工管理の重点項目とした。具体的には、各仮支承の沈下量を測定し、滑り板にその沈下量の薄ベニアを挟んでレベルでの押し出し施工を行った。表-2に、管理結果を示す。

5. 主塔の施工

斜材の主桁緊張端が桁下の道路の真上となり、主桁側緊張が不可能であったため、主塔側緊張が与条件となった。また、斜材定着間隔が小さく、斜材定着部が大きいという問題点があった。そこで、主塔の斜材定着部に鋼殻コンクリート部材を採用し、架設時は、鋼殻の内側にコンクリートを充填した充填形として、完成時は、さらに外側を鉄筋コンクリートで被覆した充填被覆形の合成構造とした。

鋼殻には斜材定着体(支圧板・ケーシングパイプ)を工場にて組込み、現場で主塔基部のRC構造部とアンカーボルトにて一体化した。鋼殻内部は、補剛材としてのダイヤフラム、ケーシングパイプ、及びスタッドジベルが密に配置されているため、鋼管内部には高流動化コンクリートを使用した。高流動化コンクリートの施工は、鋼殻下部にバルブを取付け、ポンプ車により圧送・充填を行った。写真-3に主塔鋼殻を示す。

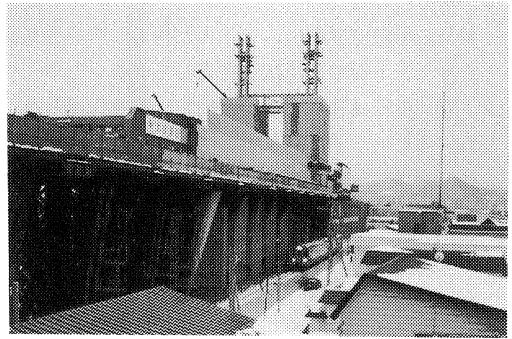


写真-2 ブロック押し出し施工状況

表-2 ブロック押し出し管理結果

単位: mm

仮支柱No	1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL	9BL	設計値	
K02	a	0.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-3.5	-3.5	-3.5	-4.0	-5.5
	b	0.0	2.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—
	c	0.0	0.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0	—
K03	a	-2.0	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	-6.0	-6.5	-6.5	-7.5	-5.6
	b	2.5	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	0.5	-0.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.0	—
K04	a	-2.0	-6.5	-6.0	-5.0	-6.0	-7.0	-6.0	-8.5	-8.0	-6.3
	b	2.5	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	0.5	-1.5	1.5	2.5	1.5	0.5	1.5	-1.0	-0.5	—
K05	a	—	-3.5	-4.5	-3.5	-4.5	-6.5	-5.5	-8.5	-8.0	-7.4
	b	—	2.5	5.0	5.0	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	—	-1.0	0.5	1.5	0.5	1.0	2.0	-1.0	-0.5	—
K06	a	—	-1.0	-1.0	-3.5	-5.0	-7.5	-6.5	-9.0	-9.0	-8.7
	b	—	0.0	2.5	5.0	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	—	-1.0	1.5	1.5	0.0	0.0	1.0	-1.5	-1.5	—
K07	a	—	—	0.0	-1.0	-4.5	-9.0	-8.5	-9.0	-9.0	-9.0
	b	—	—	0.0	2.5	5.0	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	—	—	0.0	1.5	0.5	-1.5	-1.0	-1.5	-1.5	—
K08	a	—	—	—	0.0	-2.5	-7.0	-6.5	-8.5	-8.5	-8.2
	b	—	—	—	0.0	2.5	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	—	—	—	0.0	0.0	0.5	1.0	-2.0	-1.0	—
K09	a	—	—	—	—	0.0	-7.5	-8.5	-9.0	-8.5	-7.3
	b	—	—	—	—	0.0	7.5	7.5	7.5	7.5	—
	c	—	—	—	—	0.0	0.0	-1.0	-1.5	-1.0	—
K1	a	—	—	—	—	0.0	-2.5	-3.0	-3.0	-5.6	—
	b	—	—	—	—	0.0	2.5	2.5	2.5	2.5	—
	c	—	—	—	—	0.0	0.0	-0.5	-0.5	—	—
K2	a	—	—	—	—	—	0.0	-2.0	-3.0	-5.1	—
	b	—	—	—	—	—	0.0	2.5	2.5	—	—
	c	—	—	—	—	—	0.0	0.5	-0.5	—	—

注) a: 仮支柱の変形量
b: 薄ベニアによる調整量
c: 桁下エレベーション

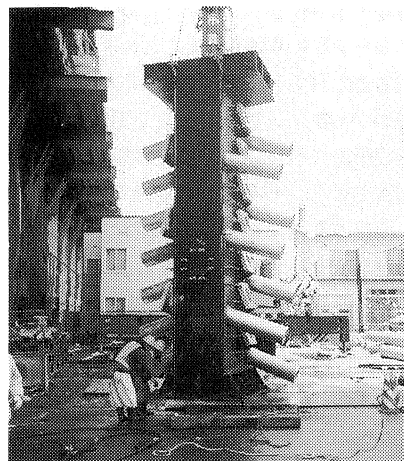


写真-3 主塔鋼殻

6. 斜材の施工

斜材の桁側定着部は、桁下面が押し出し時の滑り面となり、桁下面での箱抜き定着ができないため、ベント管(曲線鋼管)を用いた固定定着を採用した。写真-4にベント管を示す。

斜材はポリマー被覆されたPC鋼より線(スープロストランド)を1本毎に外径24mmのPE内挿管(ガイドチューブ)に配置し、フッ素樹脂塗装を施した外径216mmのPE外套管で覆う三重防錆のノングラウトタイプのVSLステークケーブルSSI(シングルストランドインストレーション)システムとした。このシステムは、作業の省力化と将来のメンテナンスに配慮されており、定着具と外套管とのダンパーリングのため疲労特性に優れ、防水効果も高い。斜ケーブルはφ15.2mm31本の tendon であり、斜材の温度上昇を抑えることと景観の向上を目的とし、PE外套管に白色の熱処理塗装を施した。

施工は、まず、現場にてPE管の地組を行った。PE内挿管は、一本のリール材を所定の長さに切断し31本束ねて製作し、PE外套管は、熱溶着により接合し所定の長さに製作した。その後、PE内挿管をPE外套管に挿入し、テンションリングや発砲ウレタンにより所定の場所に位置決めを行い、工場にて製作した主塔側定着体と接続させてPE管の地組を完了させた。写真-5に内挿管の製作状況を示す。

次に、このPE管をケーブルクレーンにて吊り込み、主塔側では鋼殻の支圧板にリングナットで主塔定着体を固定し、主桁側では主塔定着体にPE管を接続した。写真-6にPE管の吊込み状況を示す。

さらに、主塔側から1本のPC鋼より線をプッシングマシンにより挿入した。このPC鋼より線は、主桁定着部のベント管よりウェブ桁外に導かれ、その端部をフィティングマシンで圧着グリップ加工し、再び桁内に引戻し、主桁定着部のアンカーヘッドに定着させた。その後、主塔側でクサビで鋼線を止め、所定の長さに切断し、単線ジャッキでたるみ取りを行い、ケーブルクレーンの玉掛けを外した。写真-7に圧着グリップの引戻し状況を示す。

その後、残りの30本のPC鋼より線の挿入作業を行い、1本の斜材の架設作業を完了した。この作業を28本の斜材について順次施工した。

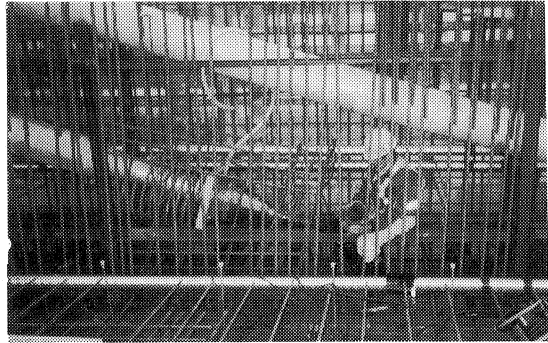


写真-4 ベント管

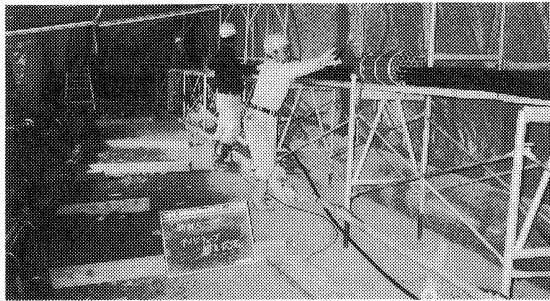


写真-5 PE内挿管の製作

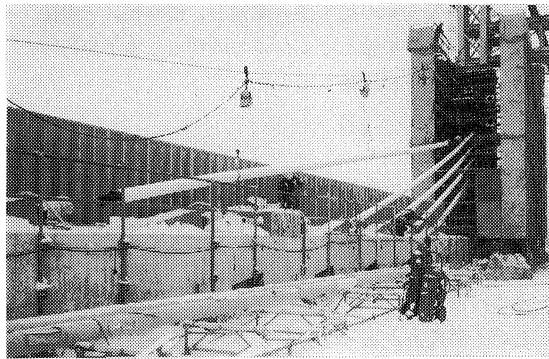


写真-6 PE管のケーブルクレーンによる吊込み

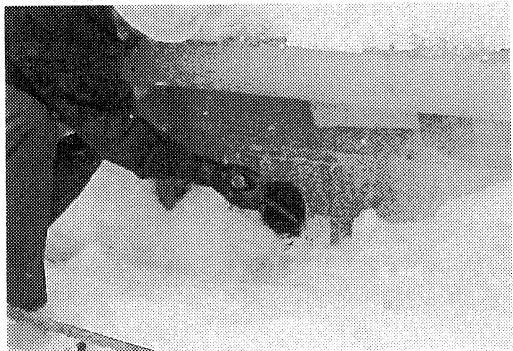


写真-7 圧着グリップの引戻し

7. 道路横断部押し出し施工

表-3の押し出し架設工程表に示すように、仮設外ケーブル・仮設斜ケーブル・本設斜ケーブルを主桁の移動に合わせて緊張あるいは除荷・解放し、主桁に発生する断面力を調整した。図-3に架設設備を示す。

仮設外ケーブルは、押し出し初期のカンチレバー状態での支点部に発生する負の曲げモーメントを低減する目的で設置した。張力の変動が小さいことから、導入張力は $0.7Pu$ とし、 $19\phi 15.2mm$ を各ウェブ上面に2本合計4本配置した。緊張は、本設斜ケーブルと壁高欄との取合いの都合上、単線ジャッキにより1本ずつ緊張し、解放は手延べ桁到達時に行った。

仮設斜ケーブルは、道路横断部の支間に発生する大きな曲げモーメントを低減する目的で設置した。張力の変動は小さいが、風荷重の影響等を考慮し、導入張力は $0.6Pu$ とし、 $36\phi 15.2mm$ 2本をピロン上部のサドル(スルー構造)を介して配置した。斜ケーブルを緊張するために、サドルを約70cm上昇させるが、鉛直ジャッキによるサドルの持ち上げ作業では安定性を確保するために多くの付属設備が必要となり複雑さを増すことから、サドルを吊り鋼材を介してリフティングジャッキで持ち上げる明解な構造とし、その上下移動により緊張・除荷・解放を行った。緊張管理は、サドルの上昇量と500tリフティングジャッキの圧力計の読みで行ったが、移動時の張力変動を確認するために、主桁定着部の1本のPC鋼より線にロードセルを取付け、張力の測定を行った。

この緊張システムに対して、写真-8に示す実物大の実証実験を行い、以下のことを確認した。

- ①サドルの歪みは最大斜材張力時で許容範囲である。
- ②上昇・下降時のサドルの変位は、サドル中心部で橋軸方向に最大17mm程度であり、若干の回転が認められたため、実際の工事では橋軸直角方向にガイドを設け、ピロンに反力をとる構造とした。
- ③実験により得られたセットロス量を斜材長で補正すると、荷重ロス量は0.6%程度であり、無視できるレベルである。

表-3 押し出し架設工程表

作業内容	押し出し前	第1日		第2日		第3日		第4日		第5日	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
仮設外ケーブルの緊張	■										
押し出し施工3.6m		■	■								
仮設斜材の緊張				■	■						
押し出し施工1.2m						■	■				
手延べ桁到達								●			
本設第1斜材の緊張									■		
仮設外ケーブルの解放										■	
押し出し施工1.0m											■
本設第2斜材の緊張											■
本設第3斜材の緊張											■
仮設斜材の張力除荷①											■
押し出し施工1.0m											■
本設第4斜材の緊張											■
仮設斜材の張力除荷②											■
本設第5斜材の緊張											■
押し出し施工1.1m											■
押し出し移動完了											●
本設第6斜材の緊張											■
仮設斜材の張力解放											■

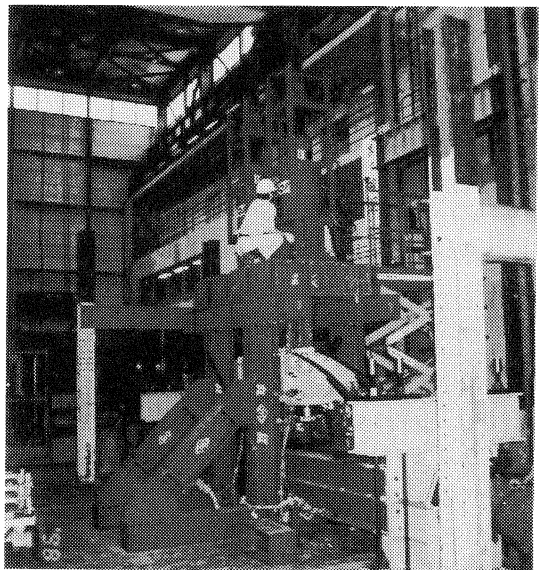


写真-8 斜ケーブル緊張システム実証試験

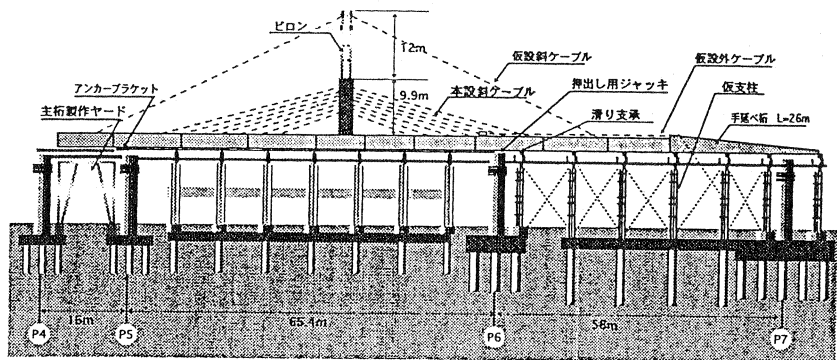


図-3 架設設備

本設斜ケーブルの完成時張力は0.4Puであるが、主塔直下に作用する反力は小さい方が仮支柱にとって有利であることから、押し出し架設時の導入張力としては0.3Puとした。なお、写真-9にピロンを示す。

押し出し施工は主桁をレベルで押し出すことが基本であるが、本施工法では、斜ケーブルの緊張により主塔直下に大きな反力が集中し、主桁を支える仮支柱は鉛直方向に変形する。この変形量がどの程度であれば主桁が損傷を受けずに健全で安全であるかを図-4に示す方法により求めた。特定支点的基礎を含めた仮支柱のバネ値を低減させ、主桁下縁の応力度が制限値 $\sigma_{ct} = -25.4\text{kgf/cm}^2$ に達する時の仮支柱の変形量(沈下量)を求めた。また、同様な考えにより、主桁の変形量、仮設斜材の張力、ピロンの変形量に対しても施工管理値を設定した。表-5に管理項目と管理値を示す。

表-5 管理項目・管理値

管理項目	計測器具	施工管理値
1 仮支柱の変形量	オートレベル・スタッフ	K1, K5, K7: 17mm K2: 20mm、K3: 21mm、 K4: 23mm、K6, K8: 13mm
2 主桁の変形量	オートレベル・スタッフ	主桁先端: -33mm(たわみ) 第1斜材部: -25mm(たわみ) 主桁後端: +200mm(そり)
3 ピロンの変形量	オートレベル・スタッフ	ピロン天端: 25mm
4 仮設斜材の張力	ロードセル	525t < 張力の管理値 < 660t
5 主桁の応力度	有効応力計	-25.4kgf/cm ² ~ 250kgf/cm ²

仮支柱が沈下すれば、主桁もその変形に追従して変形するが、桁下の変形が仮支柱の管理値に達する前に図-5に示すようなライナー調整を行い、主桁をレベル状態で押し出し施工した。図-6にK4仮支柱の計測結果を示す。図中のバネ1とは仮支柱の鋼製脚柱のみをバネ評価した場合であり、バネ2とは仮支柱の鋼製脚柱と基礎杭とをバネ評価した場合である。計測値はバネ1とバネ2の中間の値を取りながら、管理値以内で推移したが、桁下のエレベーションは前述のライナー調整により、ほぼレベル(3mmのたわみ以内)で管理した。なお、架設中の各計測値は全て管理値以内で推移し、安全を確認して施工することができた。

8. あとがき

エクストラロードPC橋の押し出し架設は、世界的にも極めて施工事例が少なく、我が国においては初めての施工方法であったため、詳細な構造検討と数種の確認実験を実施し、技術課題の克服に努めた。特に、北海道大学の角田教授、上田助教授および鉄道技術研究所の佐藤主幹技師には、多くの御指導と御助言を頂き、深く感謝の意を表します。また、様々な安全対策を実施し、綿密な施工要領と施工手順書により、全員が作業内容を十分理解し、確実な施工管理を実施した。これらの結果、国道および高速道路の交通規制をすることなく、無事押し出し架設を完了することができた。

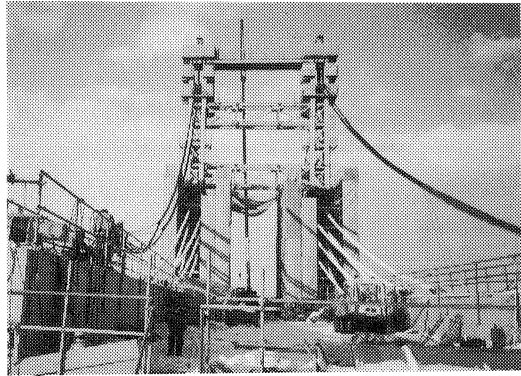


写真-9 ピロン

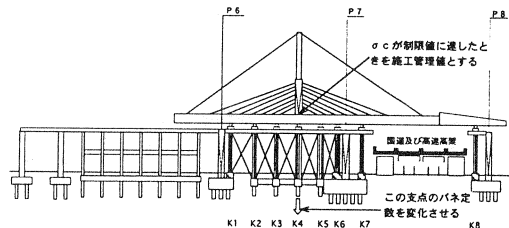


図-4 施工管理値の設定

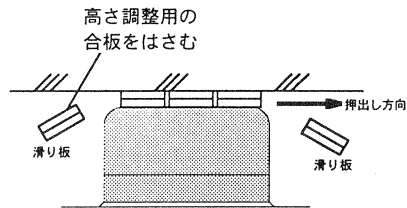


図-5 ライナー調整

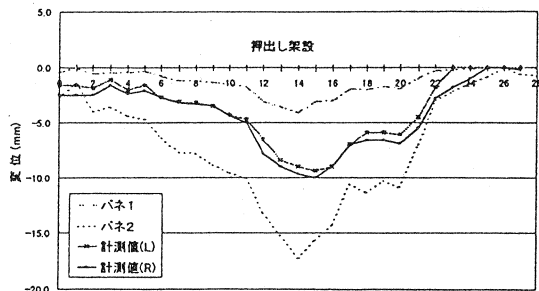


図-6 仮支柱の沈下量 (K4仮支柱)