

プレキャストセグメント工法による鉄道高架橋の施工 — 香港 KCRC CC201/CC211 —

松樹 道一*1 佐藤 英俊*2 小久保 正博*3 大島 孝博*4

1. はじめに

香港中心部と新界地区西部を結ぶ新しい高速鉄道 (KCRC West Rail) のプロジェクトが2003年開業を目指して進行中である。本プロジェクトは駅舎が9つ、高架橋区間が13.4 km とトンネル区間が11.5 km で構成され、全長30.5 km である。前田建設・俊和公司 JV は、延長9.9 km の高架橋工事を受注し施工中である。本工事の上部工施工はプレキャストセグメント工法を用いて急速施工を行い、上下部工工事を実質2年の工期で完了することができた。工事は下部工も含まれているが、本報告は高架橋上部工で採用した急速施工法について述べるものである。

2. 高架橋概要

工事名：西部鉄道錦田～天水圍高架橋工事 (CC 201)
5,600 m

西部鉄道天水圍～屯門北高架橋工事 (CC 211)
4,300 m

工事箇所：香港新界

発注者：Kowloon Canton Railway Corporation (九廣鐵路公司)

工期：1999年7月2日～2003年10月31日

(上部工引き渡し期限：2001年10月31日)

工期延長：9900 m

構造形式及び支間長：

- ・ 門形 PC ラーメン橋 (合計：579 支間—複線部は単線 2 支間として算定)

22.5 m ～ 44.0 m (標準 35.0 m)

- ・ 3 径間連続 PC ラーメン橋

46.47 m + 63.50 m + 43.50 m (4 橋)

54.00 m + 80.00 m + 51.61 m (2 橋)

- ・ 5 径間連続 PC ラーメン橋

45.47 m + 3 x 63.5 m + 40.50 m (2 橋)

架設工法

- ・ スパンバイスパン架設工法 (門形 PC ラーメン)
- ・ カンチレバー架設工法 (連続 PC ラーメン)

プレキャストセグメント製作

8 725 個

図 - 1 に門形 PC ラーメン橋一般図、図 - 2 に 3 径間連続

PC ラーメン橋セグメント配置図を示す。

以下に門形 PC ラーメン橋の構造特徴を述べる。

(1) 剛結構造

橋脚と上部工をラーメン構造とするための結合は、1 スパン分のプレキャストセグメントにプレストレスを導入して一体化した後に、柱頭部セグメントにあらかじめ設けていた箱抜き部にコンクリートを打設する鉄筋コンクリート構造である。

図 - 3 に剛結構造模式図を示す。

(2) プレストレス

PC 鋼材は 22 S 12.7 タイプを 1 ウェブあたり 4 段の計 8 本配置し、片引き緊張としている。

1 次プレストレス導入はスパンバイスパン架設時に下側 3 段を緊張し、2 次プレストレス導入はプレキャストパラベットを架設したのち、残りの 1 段を緊張する (死荷重が必要)。

(3) 目 地

高架橋は門形 PC ラーメン橋が橋軸方向に連続している形式であり、1 支間ごとに伸縮目地 (50 mm) がある。このため、最終セグメント設置時に製作誤差・架設誤差を調整するために必要な調整目地 (場所打ちコンクリート目地) を必要としない。

3. セグメントの製作

セグメントは、架橋地点から 100 km 離れた广东省の工場内に整備した製作ヤードでショートラインマッチキャスト方式にて製作した。工場の広さは、製作ヤードと仮置きヤードを合わせて 150 m × 550 m である。写真 - 1 に工場全景を示す。

写真 - 2, 3 に門形 PC ラーメン橋の径間部セグメント、連続 PC ラーメン橋の変断面部セグメントを示す。表 - 1 に本工事で用いたセグメントの種類と個数を示す。

(1) コンクリートの配合

表 - 2 にコンクリートの配合を示す。設計基準強度は 50 N/mm² であるが、普通ポルトランドセメントと PFA を使用している。

(2) 型枠設備

型枠設備は門形 PC ラーメン橋の径間セグメント用および連続 PC ラーメン橋の等断面部セグメント用として 20

*1 Doitsu MATSUKI : 前田建設工業 (株) 香港支店 KCRC 201/211 作業所 所長

*2 Hidetoshi SATO : 前田建設工業 (株) 土木設計部 課長

*3 Masahiro KOKUBO : 前田建設工業 (株) 香港支店 KCRC 201/211 作業所 工事課長

*4 Takahiro OSHIMA : 前田建設工業 (株) 香港支店 KCRC 201/211 作業所 工事主任

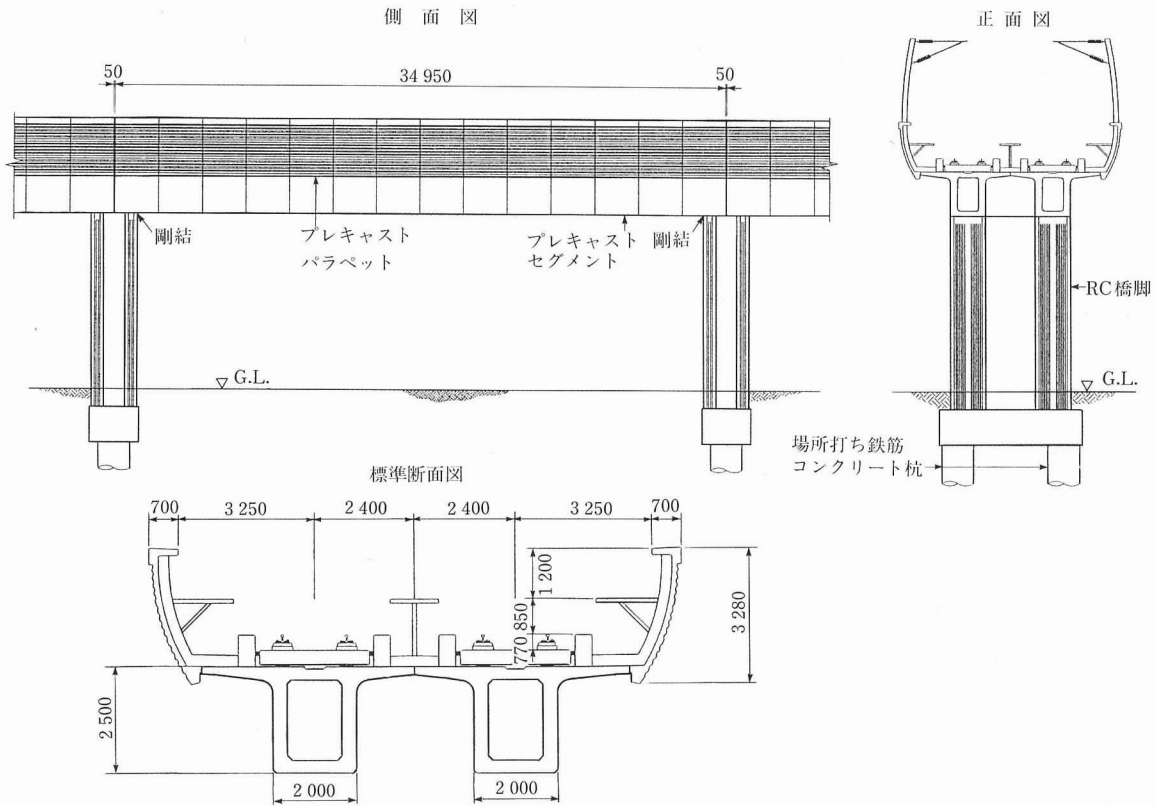


図 - 1 門形ラーメン橋一般図

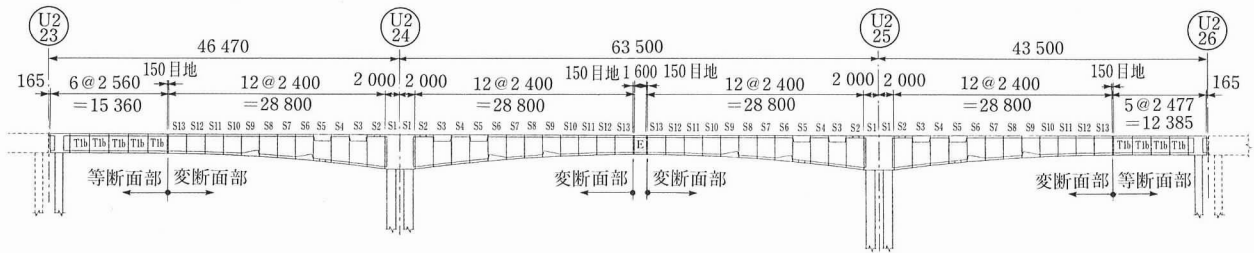


図 - 2 3径間連続ラーメン橋セグメント配置図

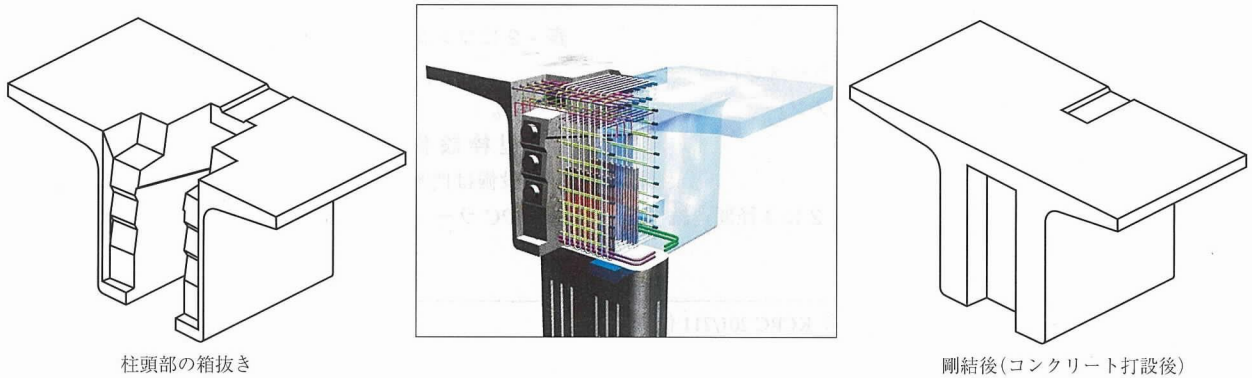


図 - 3 剛結構造模式図



写真 - 1 工場全景

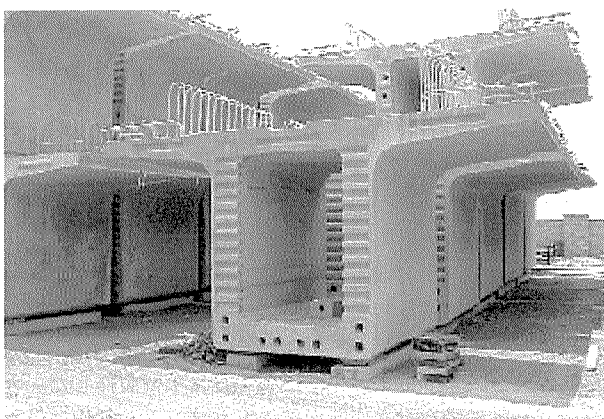


写真 - 2 径間部セグメント

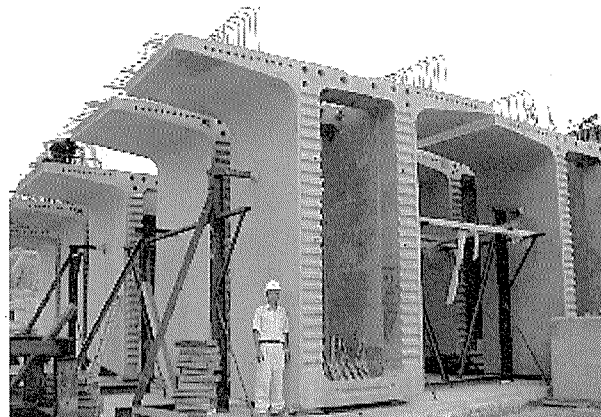


写真 - 3 変断面部セグメント

表 - 1 セグメント種類と個数

架設方法	セグメントタイプ		セグメント構造寸法		個数
			高さ (m)	長さ (m)	
スパンバイスパン工法	柱頭部セグメント		2.50	2.30 ~ 2.50	1 158
	径間部セグメント		2.50	2.30 ~ 2.50	6 950
カンチレバー工法	A	柱頭部セグメント	3.474 ~ 5.500	2.00	40
	B	変断面セグメント	2.500 ~ 5.460	2.40 ~ 2.50	314
	C	上床版定着突起付き	2.804 ~ 5.080	2.40 ~ 2.50	78
	D	下床版定着突起付き	2.696 ~ 4.096	2.40 ~ 2.50	88
	E	閉合セグメント	2.50	1.20 ~ 2.20	12
	G	側径間柱頭部セグメント	2.50	2.264 ~ 2.560	16
	T1	側径間径間部セグメント	2.50	2.264 ~ 2.560	69

上床版幅：5.37 m または 5.70 m, 下床版幅：2.00 m

表 - 2 セグメント用コンクリート配合 ($\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$)

スランブ (cm)	W/C	単位量 (kg/m ³)					
		水	セメント	PFA	粗骨材	細骨材	混和剤
12.5	0.36	160	315	110	1 071	750	6.0

基, 門形 PC ラーメン橋の柱頭部セグメント用として 6 基, カンチレバー架設部の変断面用として 4 基 (高さ 3.378 m ~ 5.500 m が 2 基, 高さ 2.500 m ~ 3.821 m が 2 基) とし, 1 日当たり平均 25 個製作した。セグメントの製作サイクル, 架設サイクルおよび架設までに要する最小養生期間 1 ヶ月

を考慮して型枠数を決定した。写真 - 4 に型枠設備を示す。

(3) 測量および形状管理

平面線形の曲線は, 今回打設するセグメント軸線を測量軸線と一致させ, 前回打設したセグメントを測量軸線からシフトさせて対応した。縦断線形は今回打設するセグメン

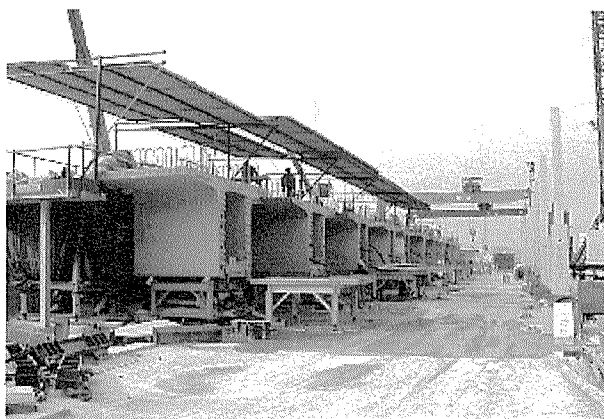


写真-4 型枠設備

トを常に水平に製作し前回打設したセグメントを上下にシフトさせて対応した。セグメントの測量ポイントを図-4に示す。測点として平面線形管理用ステンレスプレートおよび縦断線形管理用(レベル測量用)ボルトをセグメント天端に埋め込み、測量管理を実施した。写真-5に測量中の写真を示す。測量結果に基づいた実測線形と計画線形とを比較して、未製作セグメントの計画線形からの誤差が小さくなるようにシフト量を調整して次セグメントの製作を行った。シフト量の調整量算定はエクセルのワークシートに作成したプログラムで行った。

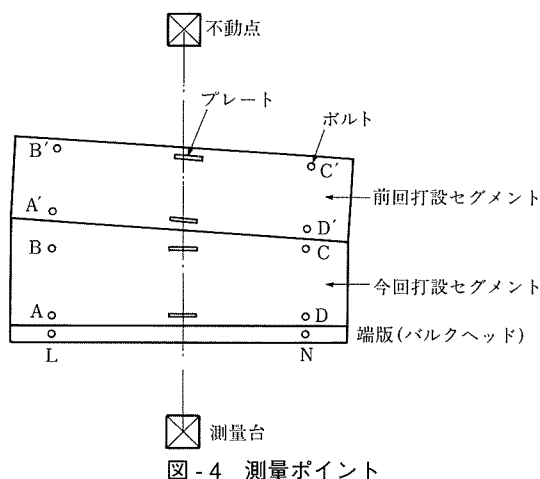


図-4 測量ポイント



写真-5 測量

(4) 製作手順

以下にセグメント製作手順を示す。

- ① 前回打設したセグメントの測量および型枠脱型に必要なコンクリート強度確認 (12 MPa)
- ② 内型枠および外型枠脱型
- ③ マッチキャストセグメント (前々回に打設したセグメント) と前回に打設したセグメントの引出し
- ④ 今回打設するセグメント用底型枠挿入
- ⑤ 型枠内面ケレンおよび剥離材塗布
- ⑥ 前回打設したセグメント (マッチキャストセグメント) のセット
- ⑦ 底型枠および外型枠設置
- ⑧ 鉄筋かごセット
- ⑨ ダクト取付けおよびダクト保護用チューブ挿入
- ⑩ 下床版・ウェブの鉄筋、かぶり検査およびダクト配置等の検査
- ⑪ 内型枠挿入・設置
- ⑫ 排水溝用型枠、埋込み吊り金具および上スラブ側面用型枠等セット
- ⑬ 打設前測量
- ⑭ 打設前検査
- ⑮ コンクリート打設
- ⑯ 養生 (蒸気養生)

表-3に径間部セグメントの製作サイクルタイムを示す。径間部セグメントは1型枠あたり1日に1個製作した。カンチレバー架設を行う変断面部のセグメントは製作に最も時間がかかり1型枠あたり2日に1個の製作であった。

図-5に製作時のセグメント移動順序と型枠との関係(平面図)を示す。セグメントは柱頭部セグメントのとなりのセグメントから製作を開始し、前記(3)に述べた管理を行いマッチキャストを行った。

表-3 径間部セグメント製作サイクルタイム

項目	作業時間
型枠脱型～底・外型枠	2.0～2.5 h
鉄筋かご挿入及びダクト	1.0 h
内型枠挿入及び埋込み金物等	1.0～1.5 h
コンクリート打設	1.0 h
蒸気養生	10.0～12.0 h
合計	15.0～18.0 h

4. セグメントの運搬

工場内のバージ接岸設備から、2日に一度の割合で50個のセグメントを台船にて香港まで海上輸送した。セグメントは最大で3段積みとした。ただし、変断面セグメントは安定を確保するために平積みとした。香港では荷揚げ後、トレーラにて一般公道を架設地点まで運搬した。標準セグメントは上床版幅5.7 m、下床版幅2.0 m、高さ2.5 m、奥行長さ2.5 m、重量は23 tであり、一般的制限値を超えないので昼間に運搬することができた。しかし、カンチレバー架設を行う変断面部セグメントで高さが2.9 m以上の320個は、警察の誘導のもとで夜間の運搬となった。



図 - 5 セグメント移動と型枠位置関係 (平面図)

5. スパンバイスパン架設

門形PC ラーメン橋のセグメント架設方法は、セグメントの上床張出しスラブをサポートする架設術 (サポートタイプ) を用いたスパンバイスパン架設とした。架設術は、合計6基使用した。トレーラにより運搬されてきたセグメントは、架設に使用するクレーンの動きに無駄がないように、吊上げ順序にしたがってそれぞれ仮置き場所を決めて架設するスパン付近にストックした。セグメントの仮置き台には、鉄筋コンクリート製のブロックを用いて地盤の不等沈下に対応した。

図 - 6 に架設順序図を示す。写真 - 6, 7 に施工中の写真を示す。

支間長 35 m, セグメント数 14 個の場合の架設順序を以下に述べる。

ステップ 1

150 トンクレーンによりセグメント No. 1 の吊上げ
セグメント No. 1 を架設術上の台車へ載荷, 台車を設計位置 (橋脚直上) へ移動

セグメント No. 1 を上床張出しスラブ下側の仮受けジャッキにて支持

台車を元の位置へ移動

セグメント No. 2 から No. 14 に対して上記の繰返し

(セグメント間の隙間 No. 1~No. 2 約 300 mm, No. 2~No. 14 は約 50 mm ごとに配置)

ステップ 2

セグメント No. 1 の接合面へエポキシ樹脂系接着剤塗布 (約 1 mm 厚さ)

台車をセグメント No. 2 の位置まで移動

セグメント No. 2 を台車にて支持

引寄せ鋼棒のセット

セグメントの接合 (鋼棒の緊張)

接合位置ダクト内側のエポキシ樹脂系接着剤清掃

台車から上床張出しスラブ下側の仮受けジャッキにて受換え

セグメント No. 3~No. 14 へ上記の繰返し

ステップ 3

ストランド挿入・1次プレストレス導入 (4段配置の内,

○ 工事報告 ○

下側 3 段までの緊張)

上部工自重を架設桁で支持している状態から橋脚上の仮受けジャッキ (柱頭部セグメントのウェブ下に配置) へ移行 (1 次プレストレス導入と並行して行う。プレストレス導入に伴い上部工にたわみが生じ支間端部セグメント上床張出しスラブに集中荷重が発生する。これを防ぐ

ためであり、架設桁を支持しているジャッキのストロークを縮めることにより行う。)

ステップ 4

架設桁の支持をジャッキからローラーへ受換え

架設桁の前進移動

架設桁の支持をローラーからジャッキへ受換え

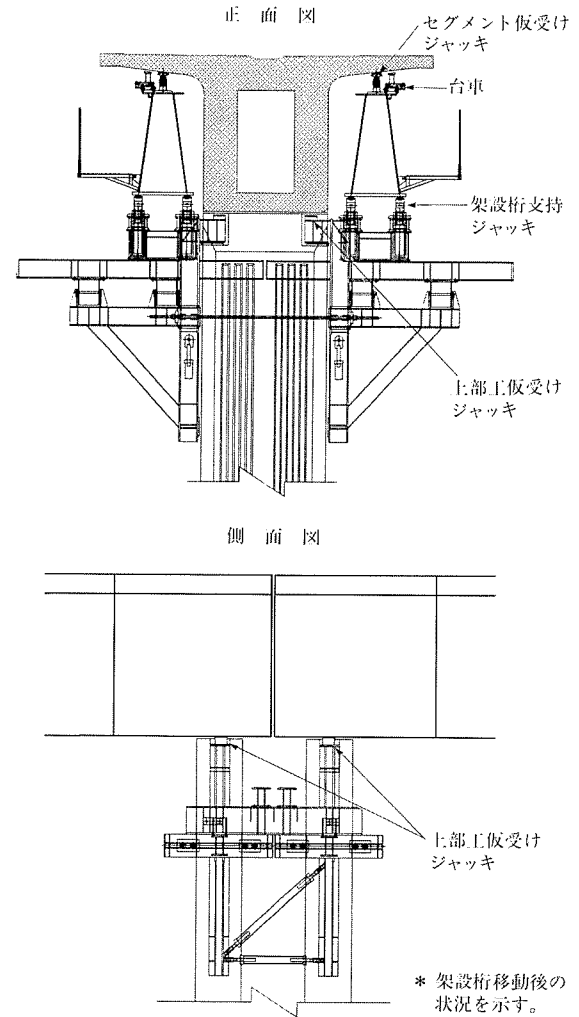
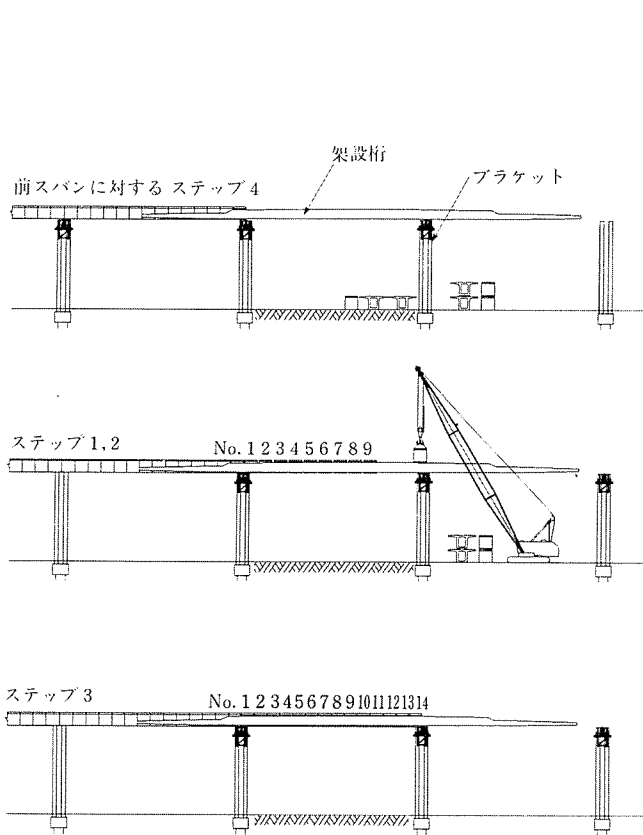


図 - 6 スパンバイスパン架設順序図

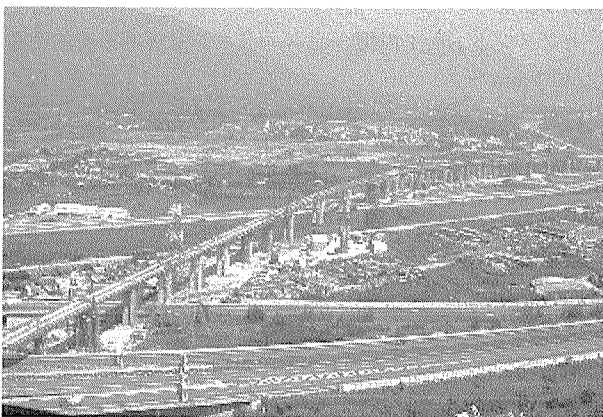


写真 - 6 架設全景

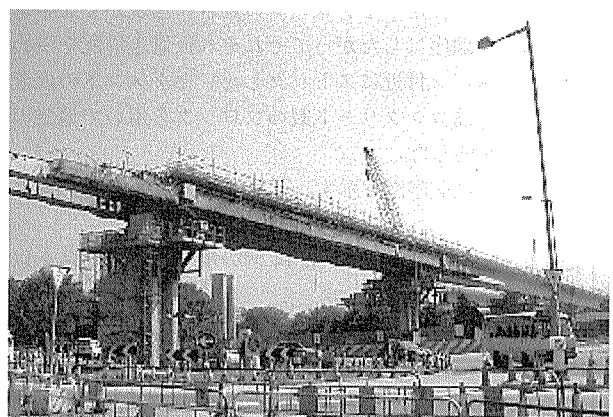


写真 - 7 スパンバイスパン架設

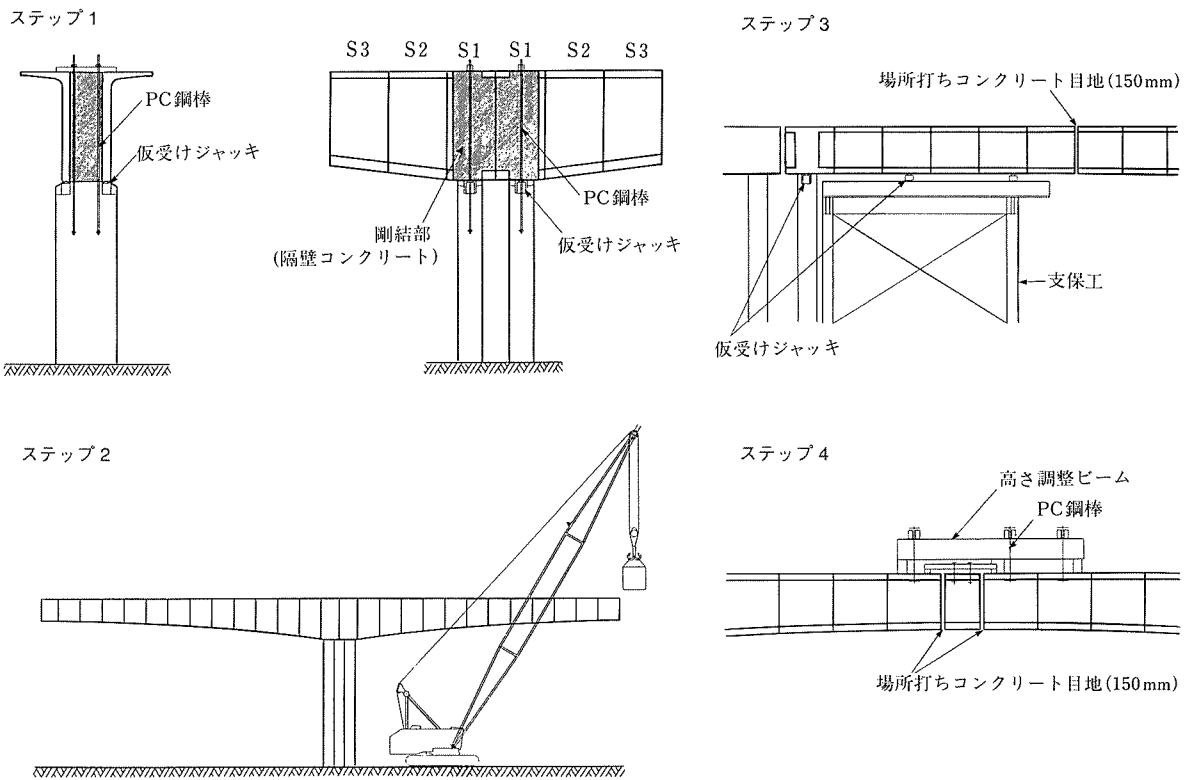


図-7 カンチレバー架設順序図

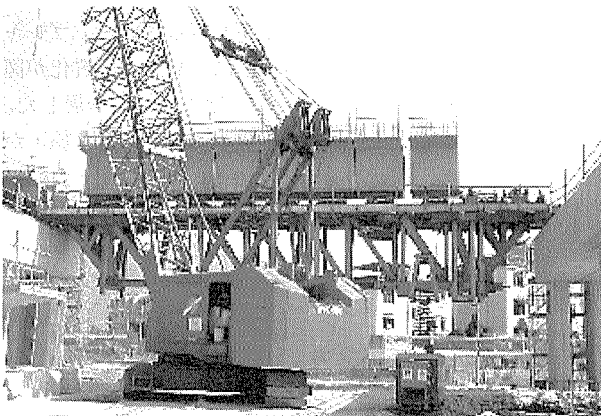


写真-8 下床版サポートタイプ



写真-9 カンチレバー架設(1)

架設桁の位置調整

ステップ1～4で1スパン分の架設が完了する。すなわち、この工程が架設工程のクリティカルパスとなっている。

ステップ5

- 無収縮モルタルを柱頭部セグメントのウェブ下面と柱上面の隙間(30mm)へ充填
- モルタル硬化後、上部工を支持していた橋脚上の仮受けジャッキ撤去
- 剛結部鉄筋組
- 剛結部コンクリート打設
- プレキャストバラベットの架設
- 2次プレストレス導入(4段配置の内、最上段の緊張)
- 後埋めコンクリート打設

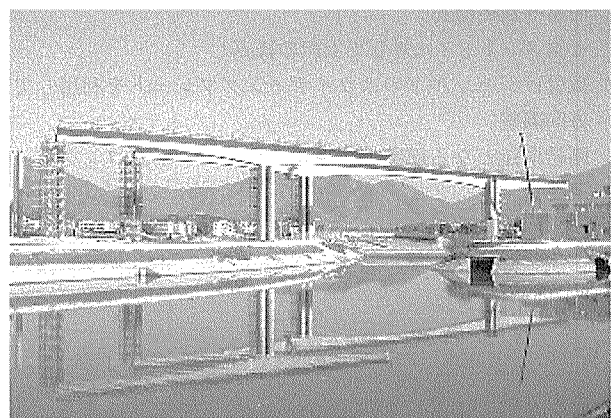


写真-10 カンチレバー架設(2)

表-4 に架設のサイクルタイムを示す。

支間長が40 mより長い支間としては、支間長44 mのものが1スパンあった。架設桁は支間長40 mまでは、中間仮設ベントを用いなくて施工できる構造とした。そして、支間長44 mに対しては中間に仮設ベントを設置した。

桁が並列している支間（将来の路線延長として橋の幅が

表-4 架設サイクルタイム

日数	1	2	3	4
作業内容				
セグメント吊上げ	■			
引寄せ・接着		■		
ストランド挿入			■	
緊張				■
架設桁移動				■

拡幅されている区間)の架設には、写真-8に示すようなセグメント下床版をサポートするサポートタイプの架設桁を用いた。施工手順として「セグメント接合・1次プレストレス導入・上部工桁を所定の位置まで横移動」を繰り返す方法である。1スパン(数本の上部工桁)架設完了後に、クレーンにて架設桁を隣りのスパンに移動させた。

6. カンチレバー架設

主要道および河川と交差する計8ヶ所の支間長63~80 mの長支間部は、移動式クレーンを用いてカンチレバー架設を行った。

図-7に架設順序図を、写真-9, 10に施工中の写真を示す。

3径間連続PCラーメン橋の場合の架設順序を以下に述べる。

ステップ1 S1, S2, S3 架設

2個の柱頭部セグメントS1を地上にて接合

(公道運搬規制のために、柱頭部セグメントは2個に分割して製作)

接合したセグメントをクレーンで吊上げ、橋脚上に配置した4個の仮受けジャッキで支持

鉛直鋼棒にて仮固定

片側のセグメントS2をクレーン架設

(エポキシ樹脂系接着剤塗布および引寄せ鋼棒による接合)

反対側のセグメントS2をクレーン架設

ストランド挿入、プレストレス導入

引寄せ鋼棒撤去

セグメントS3に対して上記の繰返し

仮受けジャッキ下のスライディングプレートを利用して方向調整

剛結構造となる隔壁の鉄筋組・型枠セット、コンクリート打設

隔壁の型枠撤去、橋脚上の仮受けジャッキ撤去、仮固定用の鉛直鋼棒撤去

ステップ2 カンチレバー架設の繰返し

片側のセグメント S_{n+1} をクレーン架設

反対側のセグメント S_{n+1} をクレーン架設

ストランド挿入、プレストレス導入

ステップ3 側径間セグメントの支保工上架設

柱頭部セグメントを架設(橋脚上仮受けジャッキと支保工上仮受けジャッキ)

隣接セグメントを吊上げ・接合

繰返し接合

外型枠・ダクトセット・ストランド挿入・内型枠セット

目地部コンクリート打設(幅150 mm)

プレストレス導入

仮受けジャッキ撤去

ステップ4 中央閉合

閉合セグメントのセット

高さ調整ビームのセット

左右のカンチレバー高さの調整

外型枠・ダクトセット・ストランド挿入・内型枠セット

目地部コンクリート打設(幅150 mm)

プレストレス導入

7. おわりに

平成14年1月現在、本工事の内、高架橋本体工事はすでに完了しており、軌道業者が工事を行っている。プレキャストセグメント工法は、工事費削減・橋の高品質化が図れ、かつ急速施工が可能なことから近年急速に発展した。さらに、ITを利用した施工技術の進歩により複雑な施工が可能となっている。しかしながら、本工事では在来の機器を使用してできるだけシンプルな施工を行い、8725個のセグメントを安全に架設することができた。本報告が今後のプレキャスト工法計画に少しでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 井谷：プレキャストセグメント橋における施工管理、プレストレストコンクリート、Vol.43, No.6, pp59-64, 2001.11
- 2) 松樹, 佐藤, 小久保, 山根：香港における鉄道高架橋の設計・施工、橋梁と基礎, Vol.36, No.3, pp13-17, 2002.3

【2002年3月25日受付】