

# 外ケーブルを併用した PC 曲線箱桁橋の施工 —かもい大橋新設(上部工)工事—

森 祐樹 \*1・岩橋 雅幸 \*2・山崎 啓治 \*3・小柳 潔 \*4

## 1. はじめに

かもい大橋は、『道道砂川歌志内線道路改良工事』の一環で北海道歌志内市に建設される橋長 270.0 m、中央支間 130.0 m、総幅員 12.9 m、曲線半径  $R = 200$  m を有する PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋である (写真 - 1)。

本橋では主桁施工において、場所打ち張出し架設の工期短縮を目的とした全断面鉄筋プレファブ化を行える大型特殊移動作業車を用いた全断面鉄筋先組み張出し架設工法を開発し、実施工に適用した。

また、曲線半径  $R = 200$  m という厳しい曲線橋に対して連続外ケーブルを配置し、ケーブル仕様選定において耐久性の向上、グラウト作業の省力化など品質向上の観点からポリエチレン被覆エポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線を採用した。

本文では、これら全断面鉄筋先組み張出し架設工法および連続外ケーブル構造の概要を中心に報告する。

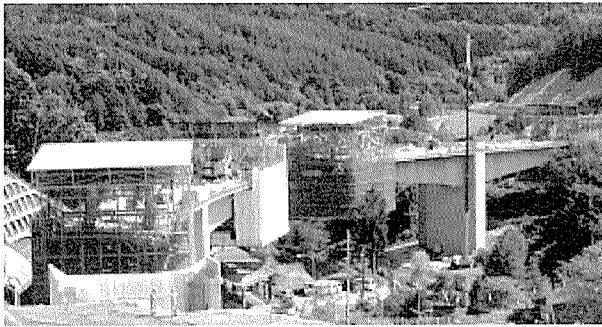


写真 - 1 かもい大橋施工風景

## 2. 工事概要

工事概要を表 - 1、主要工事数量を表 - 2 に示す。

表 - 1 工事概要

工事名	道道砂川歌志内線かもい大橋新設(上部工)工事
発注者	北海道石狩支庁
設計者	(株)シー・イー・サービス
施工者	鹿島・ドービー特定建設工事共同企業体
工事場所	北海道歌志内市歌神
工期	2003年10月24日～2005年3月22日
工事内容	コンクリート道路橋
橋種	B 活荷重
橋梁形式	PC3 径間連続ラーメン箱桁橋
橋長(支間)	270.0 m (69.0 m + 130.0 m + 69.0 m)
幅員	総幅員 12.9 m (車道 4.25 m × 2, 歩道 3.5 m)
勾配	縦断: 4.5%, 横断: 5.0% ~ 2.0% 拌み勾配
平面線形	$R = 200$ m ~ ∞
主桁	PC 構造, 一室箱桁断面
	桁高: 柱頭部 7.5 m, 一般部 3.5 m
適用示方書	道路橋示方書・同解説 (平成 8 年 12 月)

## 3. 橋梁概要

全体一般図を図 - 1 に示す。橋長 270.0 m、中央支間 130.0 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋で、桁高は柱頭部断面 7.5 m から一般部断面 3.5 m に変化し、総幅員 12.9 m の一室箱桁断面である。平面線形は、A 1 ~ 中央径間中央付近に曲線半径  $R = 200$  m の曲線があり、A 2 に向かって緩和曲線 ~ 直線となる。縦断線形は 4.5 % の直線勾配である。交差条件として、中央径間が現道道 (本橋完成後市道へ移管予定) を跨ぐ。

表 - 2 主要工事数量

区分	種別	仕様	単位	数量	備考	
主桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 40$ N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	3 888		
	PC 鋼材	縦締め	SWPR7BL 12S12.7B	t	176	ポリエチレン被覆付エポキシストランド
		外ケーブル	SWPR7BN 19S15.2B	t	34	
		床版横締め	SWPR19L 1S28.6	t	29	
		横桁横締め	SWPR19L 1S28.6	t	2	
	鉄筋	鉛直締め	SBPR930/1180 $\phi$ 32	t	7	
張出し床版先端		SBPR930/1180 $\phi$ 32	t	3		
地覆工 (壁高欄)	コンクリート	$\sigma_{ck} = 24$ N/mm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	252	ポリプロピレン短繊維混入	
	鉄筋	SD345	t	35		

\*1 Hiroki MORI : 北海道札幌土木現業所 滝川出張所 主任

\*2 Masayuki IWAHASHI : 鹿島・ドービー特定建設工事共同企業体 次長 (現 鹿島建設 (株) 札幌支店土木部グループ長)

\*3 Keiji YAMAZAKI : 鹿島・ドービー特定建設工事共同企業体 工事課長 (現 鹿島建設 (株) 土木設計本部プロジェクト設計部設計主査)

\*4 Kiyoshi KOYANAGHI : 鹿島・ドービー特定建設工事共同企業体 (現 ドービー建設工業 (株) 北海道支社工事部)

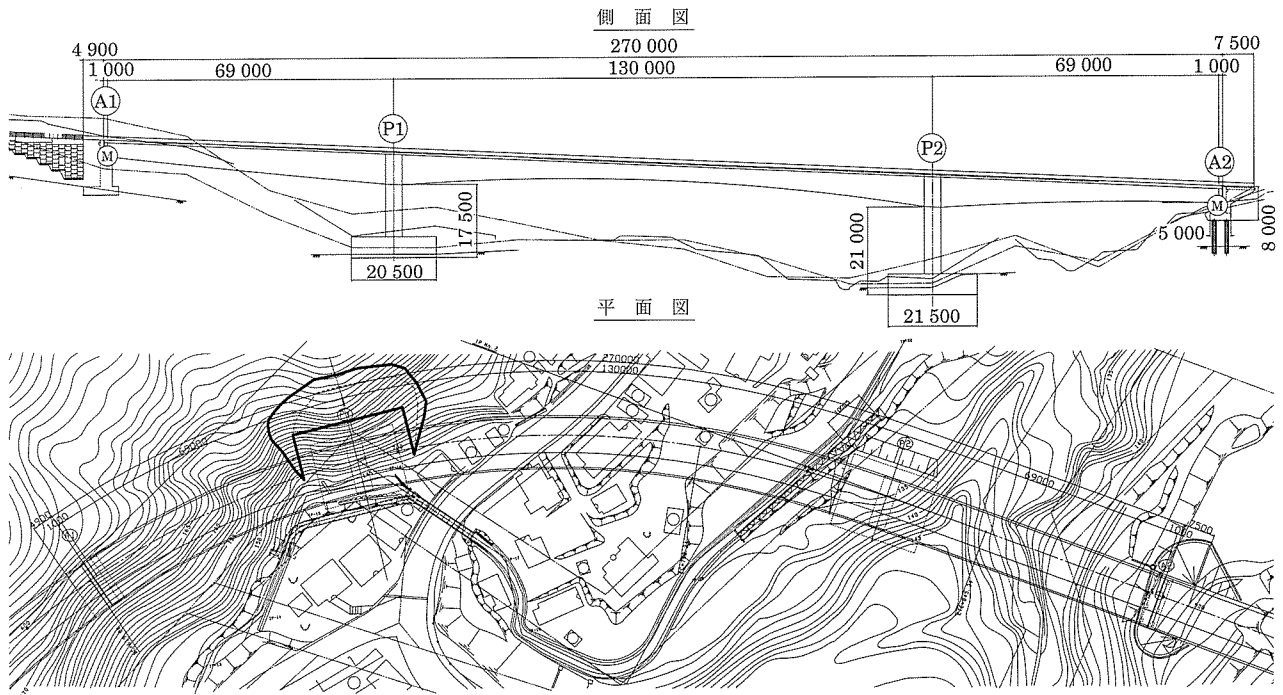


図 - 1 全体一般図

## 4. 上部工の施工

### 4.1 概要

全体工事工程を図 - 2, 施工順序を図 - 3 に示す。

主桁の施工は柱頭部, 張出し架設部, 側径間端部 (A 1 側は施工上, 側径間支保工部, 側径間閉合部に区分。A 2 側は側径間吊支保工部) および中央径間閉合部に区分した。

柱頭部を固定支保工により施工の後, 移動作業車による張出し施工を開始した。A 1 側径間端部全 9.705 m のうち 6.205m は全体工期短縮のため, 張出し施工の途中より先行して固定支保工による施工を開始し, 張出し施工終了とほぼ同時に完成させた。張出し施工終了後, A 1 側径間閉合部を移動作業車にて閉合し, A 2 側径間端部・中央径間閉合部を吊り支保工で施工を行った。さらに主桁施工完了後, 連続外ケーブルの緊張, 橋面工の施工を行った。

張出し施工が後行する P1 系の A1 側径間支保工部をあらかじめ施工しておくことによって全体工程を 30 日程度短縮することが可能となった。

### 4.2 工期短縮の検討

架橋地点は, 北海道有数の豪雪地帯であり冬季 (1 月 ~ 3 月) に橋面工の施工が行えず, 大方の工事を 2004 年 12 月までに完了させる必要があった。したがって, 全体工事工程のうちもっとも施工期間を長く占める張出し架設の工期短縮が要求され, いくつかの工期短縮の検討を行った。結果を表 - 3 に示す。

このうち, 全断面鉄筋プレファブ化は, 鉄筋組立てヤードであらかじめ組み立てられた鉄筋籠を移動, 移動作業車へ吊込み・設置する方法<sup>2)</sup>で工期短縮が期待されるが, 本橋の施工条件では中央径間が現道道を跨いでいることから, 重量物の吊下げ移動に安全上の懸念が残る。

表 - 3 張出し架設工期短縮の検討結果

案	概要	検討結果	実現性
1) プレキャストセグメント化	主桁施工を場所打ちからセグメントに変更し架設期間を短縮	ブロック数が $19 \times 4 = 76$ ブロックで, 施工場所・ヤードの問題, 経済性ともに劣る	×
2) 施工ブロック長の大ブロック化	大型移動作業車を用いたブロック長を大きくし, 施工ブロック数を減らすことによって張出し架設期間を短縮	$R = 200$ m の曲線橋であり, ブロック長を大きくすると腹圧力作用の影響度が大きくなり構造的に厳しい	△
3) 全断面鉄筋プレファブ化	地上で全断面鉄筋プレファブ化し, 柱頭部から鉄筋籠を吊下げ移動し, 移動作業車の所定場所にセット, コンクリート場所打ち	工期短縮は期待できるが, 中央径間は現道道を跨いでいることから, 重量物の吊下げ移動に安全上の懸念が残る	×
4) 一部鉄筋プレファブ化	橋面上で一部鉄筋をプレファブ化し, 移動作業車の所定場所にセット, 追加鉄筋配置, コンクリート場所打ち	一部鉄筋プレファブ化に留まり, 鉄筋プレファブ化のメリットが生かしきれず工期短縮に限界がみえる	△
5) 全断面鉄筋先組み	特殊移動作業車を用い, 移動作業車内前方で全断面鉄筋をあらかじめ組立て, 移動・セット, コンクリート場所打ち	移動作業車の開発が必要, 実績がないため施工の作業手順を考案する必要があるが, 工期短縮が期待できる	○
6) 昼夜施工	一般型移動作業車を用い従来施工で昼夜施工を行い, 張出し架設期間を短縮	架橋地点は山間部で夕方から非常に静かな場所であり, 近隣への影響が大きい	×

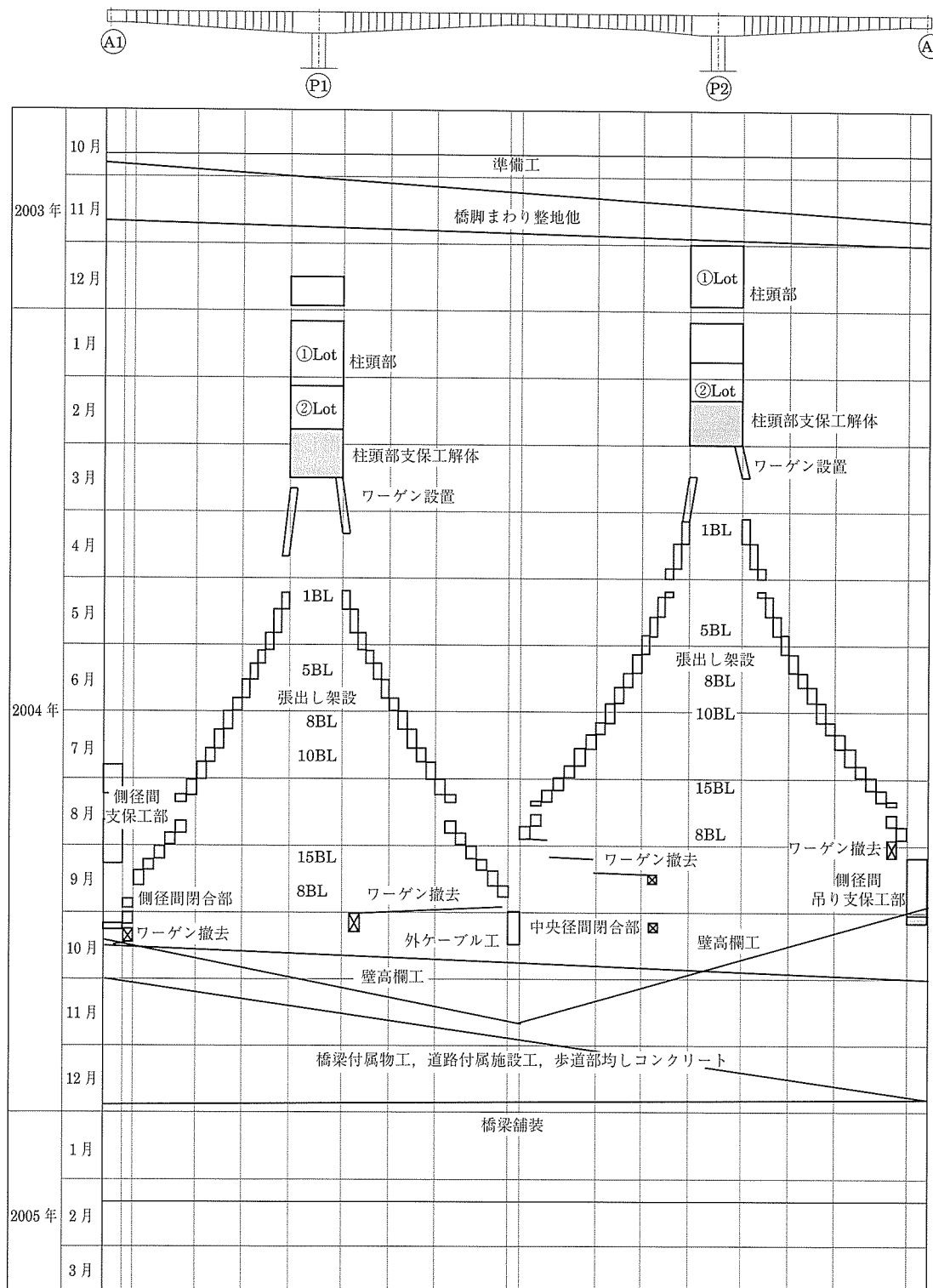


図 - 2 全体工事工程

一部鉄筋プレハブ化はいくつか実績<sup>3), 4)</sup>があるが、いずれも本橋の施工条件にはマッチしにくく、またマッチしたとしても劇的な工期短縮には課題が残る。

よって、本橋では全断面鉄筋先組み張出し架設工法を採用した。

## 5. 全断面鉄筋先組み張出し架設工法

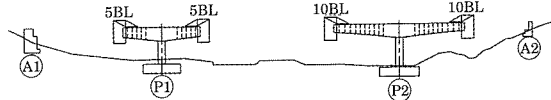
### 5.1 概要

コンクリート橋施工の工期短縮のニーズは高く、これまである程度は開発が行われてきたが、海外ですでに実績のあるサイクル工程3～4日という驚異的なスピードは実現されていない。

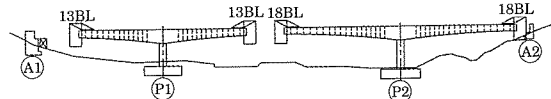
STEP-1 柱頭部の施工(2003年12月~2004年2月)



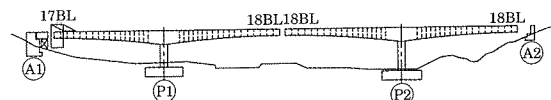
STEP-2 主桁張出しの施工(2004年6月)



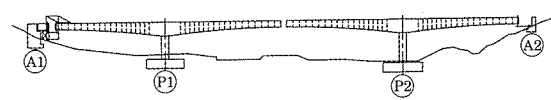
STEP-3 A1側径間支保工部の施工(2004年8月)



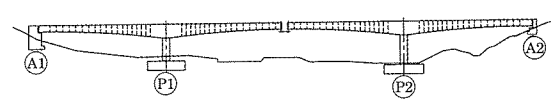
STEP-4 張出しの施工の終了(2004年9月)



STEP-5 A1側径間閉合部, A2側径間吊り支保工部の施工(2004年9月)



STEP-6 P1側径間ワーゲンの撤去, 中央径間閉合部の施工(2004年10月)



STEP-7 連続外ケーブルの緊張, 橋面工の施工(2004年10月~2004年12月)

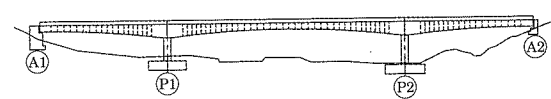


図-3 施工順序

国内での張出し施工によるPC橋施工実績は、千数橋を超えるが、場所打ち張出し施工の施工サイクルは大きく変化しておらず、従来から①コンクリート打設・養生、②PC緊張・移動作業車移動および③型枠、鉄筋・PC組立てからなる。この従来サイクルでさらなる工期短縮を考えた場合、①はPC緊張のための早期コンクリート強度発現がクリティカルとなり、これに対しては大掛かりな養生設備の投資が必要となってくるであろうし、②は大きく工程短縮に寄与する更なる要素技術の開発は難しいと考えられる。③については、作業員増員または残業である程度対処することは可能であるが、移動作業車内のかぎられた狭い空間での作業であり作業性に限界があり、また労務単価の面でも合理的ではない。

そこで、③について工期短縮を図る方法として全断面鉄筋先組み張出し架設工法を考案した。これは主桁1ブロック分の鉄筋全断面すべてを移動作業車内の前方であらかじめ組み立てておき、これを移動・据付、コンクリート打設を行い、従来サイクルの③の作業期間を短縮させた施工システムである。

### 5.2 移動作業車構造の特徴

大型移動作業車を改造した全断面鉄筋先組み特殊移動作業車構造を図-4、移動作業車全景を写真-2、移動作業車の橋面上の状況を写真-3に示す。

基本的な構造は、従来型と変わらないが従来型での施工場所(図-4、B面-C面間、ここでは型枠・場所打ちエリアと称す)の前方に先組み鉄筋を組み立てる場所(図-4、A面-e面間、先組みエリアと称す)を設ける。

桁高変化・横断勾配変化による先組み鉄筋の下床版の傾き変化に対応させるため、先組みエリアの下床版型枠フレームは場所打ちエリアのものと独立にし、上下に調整吊込

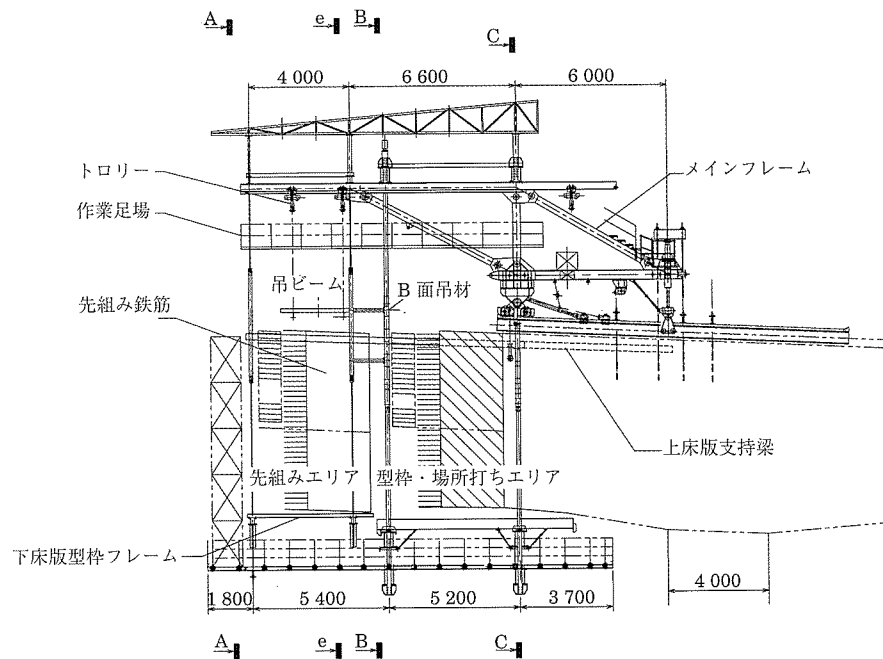


図-4 鉄筋先組み移動作業車構造

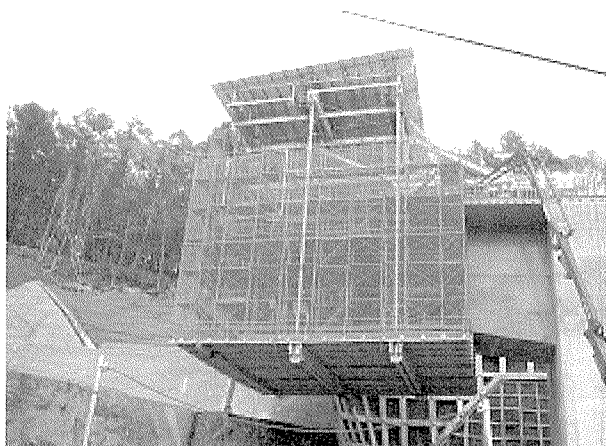


写真-2 鉄筋先組み移動作業車全景

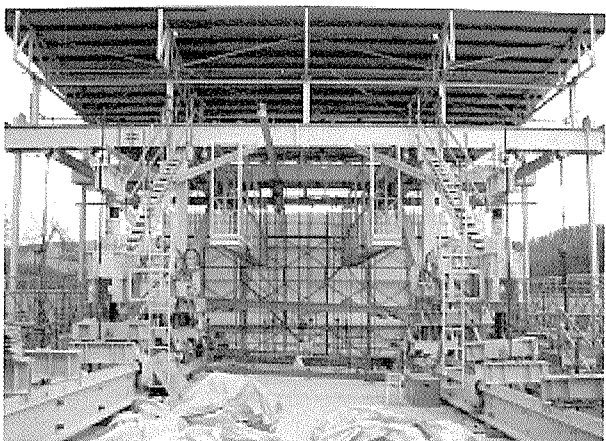


写真-3 移動作業車橋面状況

みが可能なようにした。

上床版・張出し床版支持梁はA面-B面-C面で吊下げられている。ただし、鉄筋移動にあたって移動に用いる吊ビームとB面吊材とが干渉するため、先組み鉄筋移動時にB面吊材を一度撤去し吊ビームを通過させ、移動後吊ビームを戻してから吊材を復旧させる。

下部作業床はA面-B面-C面で吊下げられている。

組立て前の鉄筋材料を橋面側から先組みエリアへ運搬するためにホイスト式クレーン（テルハ）を設置した。また、先組み鉄筋を型枠・場所打ちエリアへ移動する際の作業用足場をメインフレームに取付けた。

本橋の施工では、大型移動作業車のメインフレームを用

い改造を行った結果、移動作業車重量は一般型に対して5割増しとなった。

### 5.3 施工システム

全断面鉄筋先組みによる張出し架設の作業手順を図-5に示す。

- ① コンクリート打設・養生，先組み鉄筋吊込み段取り（この時点ですでに先組みエリアにて次ブロックの鉄筋組立て完了）
- ② PC鋼材緊張，移動作業車移動・セット（この時，先組み鉄筋もワーゲンに吊下げられたまま一緒に移動）
- ③ B面吊材撤去，先組み鉄筋移動（先組み鉄筋はレバブロックを用い吊ビームより吊られ，手動用ギャードトrolley，レバブロック等にて移動）（写真-4，写真-5）
- ④ 吊ビーム復旧（先組みエリアへ戻す），B面吊材復旧，妻枠修正セット（型枠・場所打ちエリア）
- ⑤ PCシース接続，鉄筋ラップ部結束，内枠セット，PC鋼材挿入
- ④，⑤と平行して
- ④' 妻枠仮セット，先組み鉄筋組立て（妻枠を一度セットし鉄筋組立てのガイドとする）（先組みエリア）（写真-6）

### 6. 主鉄筋の継手構造

道路橋示方書<sup>5)</sup>に準拠した重ね継手長および重ねた部分の端部どおしのずらしを考慮すると、突出し長は75φ (=

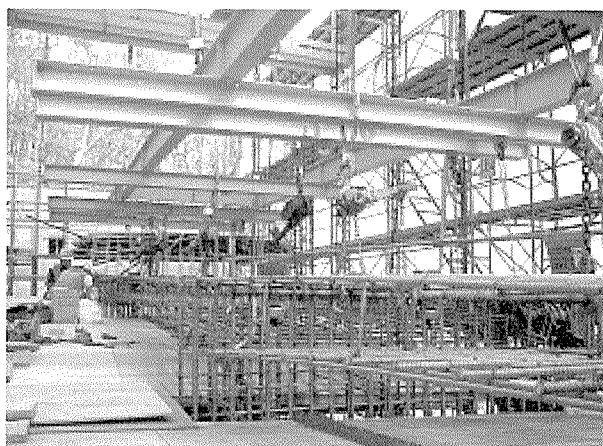


写真-4 先組み鉄筋吊ビーム

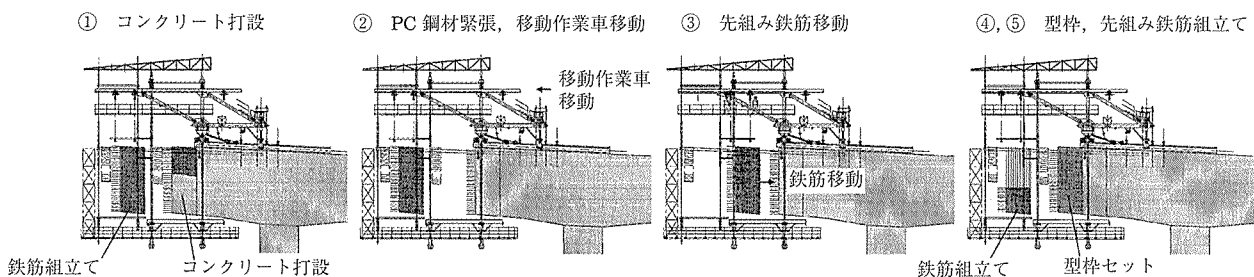


図-5 全断面鉄筋先組みによる張出し架設作業手順

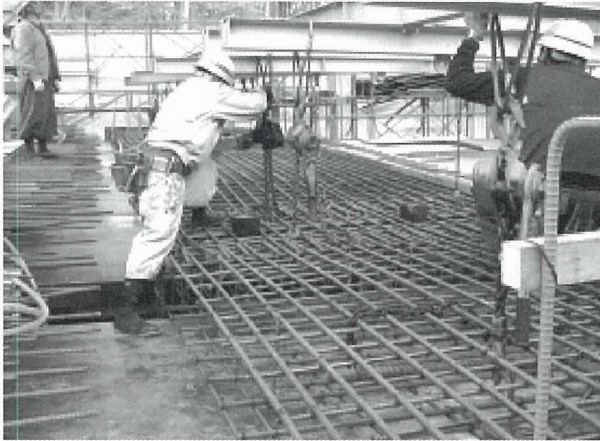


写真-5 先組み鉄筋移動



写真-7 鉄筋移動後の継手部



写真-6 先組みエリア

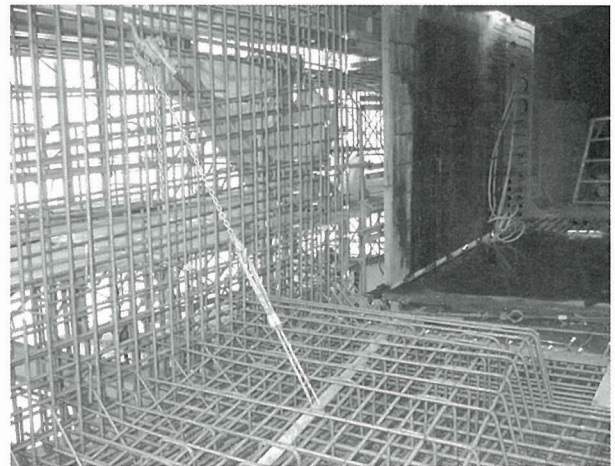


写真-8 プレファブ化される下床版定着突起鉄筋

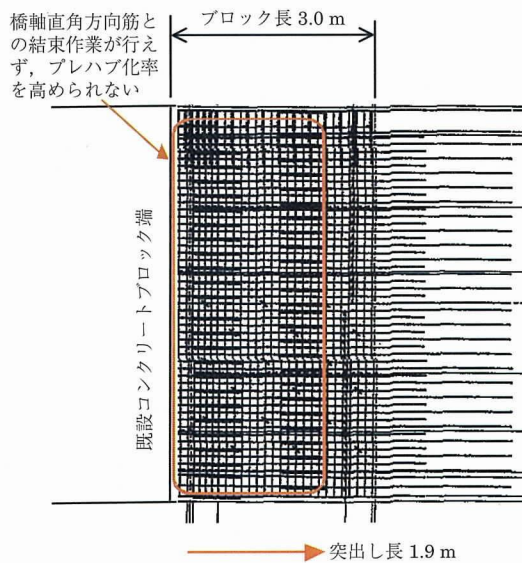


図-6 ブロック施工の突出し長

25φ + 25φ + 25φ) 程度となる。本橋の上下床版には耐震設計上必要な橋軸方向鉄筋 D25 が多数配置されており突出し長は 1.9 m にもなり、ブロック長が短い場合、定着突起を含めたプレハブ化が十分に行えない (図 - 6)。鉄筋のプレハブ化率を高めるには、継手区間での橋軸直角方向鉄筋との結束作業をいかに効率よく行えるかがキーポイントであり、道路橋示方書に準拠したいいわゆる千鳥配置の重ね継手以外の継手構造の採用を試みた。ループ重ね継手<sup>6)</sup>は、床版内に PC シースが多数本あり配置が難しく、機械継手も現実的ではない。そこで、実験により性能が確認されているレオンハルトが紹介する半ラップ重ね継手<sup>7)~9)</sup> (写真 - 7) を採用し、突出し長を 37.5φ (= 25φ × 1.5) とした。これにより最大でも 0.95 m の突出し長となり、鉄筋組立てに労力・時間が必要なウェブ定着突起および下床版定着突起についても先組み鉄筋プレハブ化を行うことができ施工性を大きく改善した (写真 - 8)。

## 7. 施工サイクル

施工を行った全ブロックのサイクル日数の実績を図 - 7、従来施工と全断面鉄筋先組み張出し架設工法による施工サ

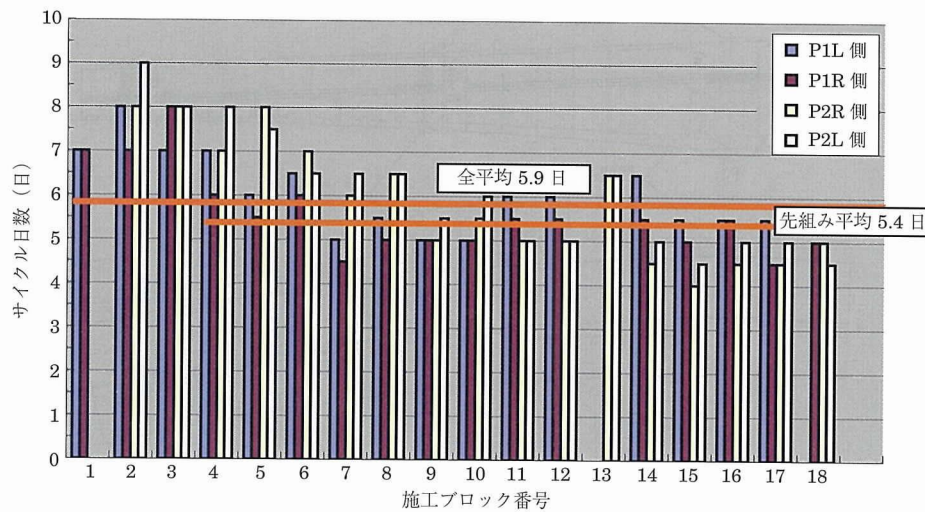


図-7 施工サイクル日数実績

表-4 施工サイクルの比較

従来工法	コンクリート打設		養生	PC緊張	下床版型枠セット		内枠セット
					移動作業車移動		鉄筋・PC鋼材組立て
全断面鉄筋先組み工法	型枠・場所打ちエリア	コンクリート打設		養生	PC緊張	下床版型枠セット	内枠セット
					移動作業車移動	PC鋼材組立て	
	先組みエリア	鉄筋組立て・吊込み				妻枠仮セット	鉄筋組立て

← 工程の短縮 (3日間) →

サイクルの比較を表-4に示す。

従来サイクルに比べ、本工法で行った施工サイクルはおおむね3日の短縮となった。また、従来施工では、1箇所の作業場所(型枠・場所打ちエリアに相当)で型枠工・鉄筋工・PC工が作業の順序に従って作業を行っていくため、どうしても各工種間での待ち時間が発生してしまう。

これに対して、本工法における各種の作業の流れは以下のとおりである。

鉄筋工は、先組みエリアで他工種と錯綜することなく作業を行え、待ちになることも他工種への引渡しの時間的な制約もない。このことから、鉄筋工は最適な(最小な)マンパワーで作業が行え、本工法のメリットをもっとも享受している。

PC工は、先組み鉄筋の移動をPC工が担当したため、この移動に関わる作業が増えたが、従来施工で待ちになっていた時間に作業を行っていると考えられる。したがって、適切なマンパワーを把握、配置すれば大きな人工増はない。

型枠工については、妻枠を先組みエリアで一度仮セットし、先組み鉄筋移動後、再度、型枠・場所打ちエリアで修正セットする必要がある。以降の内型枠セットは従来施工の作業量と変わらないが、2台の移動作業車の先組み鉄筋移動が半日のタイムラグがなくなり、作業が集中してしまう。また、サイクル日数が短いことから加工場での妻枠加工、

定着突起型枠加工作業もタイトなスケジュールとなる。理想的には従来施工の2倍の人数がいれば、さらなるサイクル工程短縮も実現できるが、本工事では若干のマンパワー増強で対処し、3日短縮した。これらを1サイクルあたりの労務と比較すると、従来施工の歩掛と変わらない。

## 8. 曲線橋の連続外ケーブル構造

### 8.1 概要

本橋は、中央支間130mの比較的支間長の長いPC連続ラーメン橋であり、その中央径間には多数本の連結PC鋼材の配置が必要となる。しかしながら、桁高が大きく変化する構造であり、すべてを内ケーブルとすると道路橋示方書が指摘する桁高の変化による偏向力(腹圧力)<sup>10)</sup>が大きな作用を及ぼす。また、曲線半径の小さな曲線橋であり橋軸直角方向にも腹圧力の影響<sup>11)</sup>がある。そこで、これら腹圧力作用に対して十分安全である内ケーブル本数を定め、それ以上の必要本数を連続外ケーブルでとらすこととした。したがって、①デビエータでの偏向力および②緊張力のロスをあまり大きくさせないように連続外ケーブル配置を定めた(図-8、写真-9)。

### 8.2 ポリエチレン被覆付エポキシストランド

両桁端間で曲線上に配置、緊張・定着される連続外ケーブル(19S15.2、鋼材長L=270m)に、ポリエチレン被覆

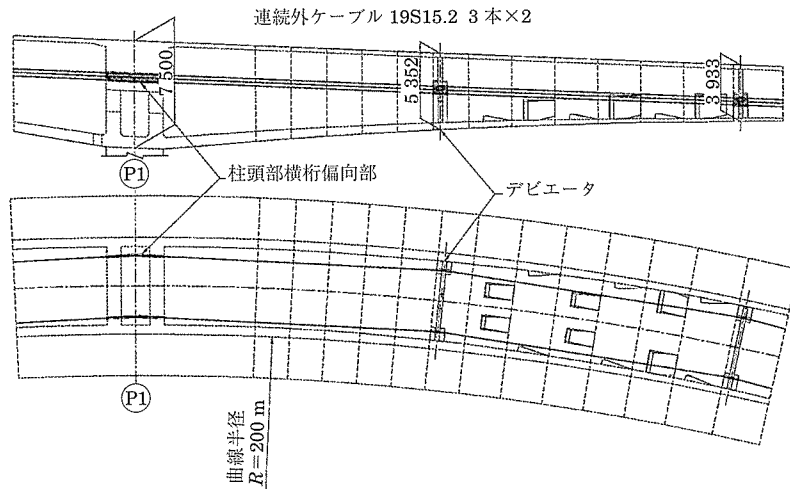


図 - 8 曲線橋の連続外ケーブル配置

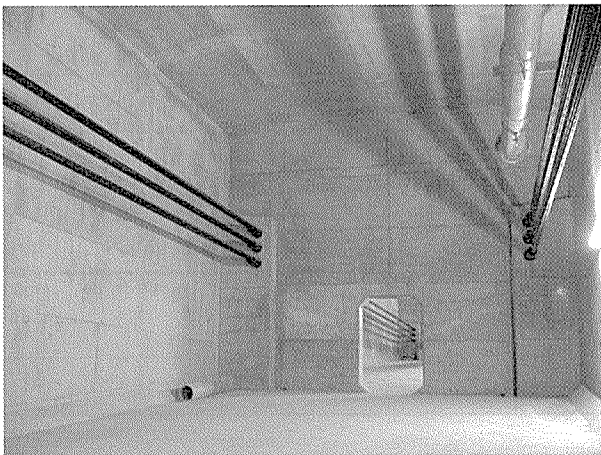


写真 - 9 曲線橋のデビエータ

付エポキシストランドを採用した。採用理由は以下のとおりである。

- ① 耐久性の向上：ポリエチレン，エポキシ樹脂による二重防錆仕様のものを選定
- ② グラウト作業の省力化：工事工程から厳冬期におけるグラウト作業が予想されたため，品質確保の観点からグラウト作業が省略できるものを選定
- ③ ローメンテナンス：メンテナンスフリーとなるより信頼性の高いものを選定

19本のストランドは4台のドラムに分割巻き取られており，これらからストランド19本を束ね，1本のケーブルに先端加工を施したものをウインチにより270m一括引込みを行った（写真 - 10）。19S15.2鋼材を一括引込み行った実績としては270mが最長である。

## 9. おわりに

かもい大橋は，2003年12月に柱頭部の施工を開始し，2004年10月に中央径間閉合部を閉合，引続き外ケーブル工・橋面工の施工およびアスファルト舗装を行い，無事2005年2月10日一般に解放され供用開始された（写真 - 11）。今後，国内外を問わず工期短縮のニーズはますます高まってくると思われ，本橋で適用したような従来からの張出しサイクルとは異なる新しい工法がさらに求められる。本橋の施工の成果が，PC橋の張出し架設における工期短縮のひとつの事例として，計画・施工の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 本田英尚，柏村友彦，蓬葉晃文，山\_啓治：海外における長大エクストラードPC橋の施工—フィリピン・第2マクタン橋—，プレストレストコンクリート，Vol.42，No.1，pp.59～67，2000年1月
- 2) 岸上岩樹，原克彦，齋藤謙一，浮穴勝：ワーゲン施工における鉄筋プレファブ化技術の開発と施工，第10回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.167～172，2000年10月
- 3) 鳥谷越荘二，奥田英晶，横山雅臣，三島誠一郎：新猪名川大橋の



写真 - 10 連続外ケーブルの一括引込み





写真 - 11 かもい大橋

急速施工，第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.327～332，1997年10月

4) 川崎秀明，山内明夫：またきな大橋における新しい設計施工手法，

プレストレストコンクリート，Vol.42，No.3，pp.36～44，2000年5月

- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅲコンクリート橋編，pp.194～195，2002年3月
- 6) F・レオンハルト，E・メニッヒ：レオンハルトのコンクリート講座3，鉄筋コンクリートの配筋，pp.68～70，1985年4月
- 7) F・レオンハルト，E・メニッヒ：レオンハルトのコンクリート講座3，鉄筋コンクリートの配筋，pp.60～63，1985年4月
- 8) (社)日本建築学会：重ね継手の全数継手設計指針（案）・解説，1996年2月
- 9) 高橋昭一，三戸博，新井達夫，北野勇一：ホロナイ川橋（鋼2径間連続2主桁橋）PRC床版の設計・計画その2，第5回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.513～516，1995年10月
- 10) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅲコンクリート橋編，pp.254，2002年3月
- 11) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅲコンクリート橋編，pp.273～275，2002年3月

【2005年7月29日受付】



新刊図書案内

## 付着が拓くPC構造の近未来

—構造性能評価における鋼材付着の役割—

2005年6月

頒布価格：会員特価 3 000 円（税込み・送料別途 500 円）

：非会員価格 4 000 円（税込み・送料別途 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会  
鋼材付着制御による PC 構造性能改善研究委員会