

## プレキャスト PC 床版を用いた合成桁橋の施工

### Execution Work of Precast Prestressed Concrete Slabs for Composite Girder

豊留 一郎\*  
Ichiro Toyotome

#### 要 約

ラマ四世高架橋は、プレキャスト PC 床版を鋼桁上で、橋軸方向にストランドによりプレストレスを与えて一体化を図り、ずれ止め用の孔へ無収縮モルタルを充填し、合成効果を確保する合成桁橋である。さらに、橋軸方向のプレストレスを一部解放することにより、合成桁断面に負の曲げモーメントを付与し、鋼桁重量の軽減を図っている。

本工事における、プレテンション方式のプレキャスト PC 床版の製造と、非常に過酷な作業条件下での鋼桁上へのプレキャスト PC 床版の架設という2つの工種は、これまで当社が経験したことがないものであった。

本報文では、日本でも例の少ない本工法の紹介と、PC 床版架設工および実橋載荷試験の結果について報告する。

#### 目 次

§1. はじめに

§2. 工事概要

§3. 工法概要

§4. プレキャスト PC 床版の架設工

§5. 実橋載荷試験

§6. おわりに

#### §1. はじめに

ラマ四世高架橋建設工事は、日本政府の無償資金援助により、バンコク市内の交通渋滞緩和のため、ラマ四世道路の主要な3つの交差点（シフィア、スリウォン、シーロム）を跨ぐ全長1.6kmの高架橋建設工事である。

本工事の計画では、

①工期は18ヶ月とすること。

②現状の路面交通を開放しながら、昼間は片側3車線を確保すること。

③従来工法ではなく、新技術を含む工法であること。といった厳しい基本条件が課せられた。

近年、鋼道路橋におけるコンクリート床版の急速施工および耐久性の向上という見地から、従来の場所打ち鉄筋コンクリート床版に代って、プレキャスト床版を用いた鋼桁橋に関する開発が試みられてきている。

ラマ四世高架橋においても、工期の短縮および床版の耐久性の向上を図るため、先に示した条件を満足するものとして、プレキャスト PC 床版を用いた合成桁橋が採用された。

この種の橋梁は開発されてまだ日が浅く、国内では、歩道橋、道路橋のランプ部等での実績が多く、その数も10~20橋と少ない。最近では、本線道路でも採用されているが、本橋のように往復延長3000mの本線道路橋に採用されたものはない。

本工事における基礎杭の施工とプレキャスト PC 床

\*タイ国(営)ラマ四世橋(出)工事係長

版の製作に関しては既に報告されている<sup>2)3)</sup>。本文では、一連の工事報告の結びとして、プレキャスト PC 床版の運搬・架設と、実橋載荷試験の結果について述べる。

## § 2. 工事概要

工事名：ラマ四世高架橋建設工事  
 企業先：バンコク首都圏庁 (BMA)  
 施工管理：パシフィック・コンサルタンツ・インターナショナル  
 施工者：西松建設・三菱重工業共同企業体  
 工事場所：タイ国バンコク市ラマ四世道路上  
 工期：1991年1月～1992年8月

Table 1 主要工事数量一覧

基礎杭	場所打ち杭 $\phi 1.0, l=31\text{ m}$ $\phi 1.5, l=37\text{ m}$	326本 2本
フーチング	RC $50\text{ m}^2 \sim 100\text{ m}^2$	43基
橋脚	$\phi 2.0\text{ m} \sim 2.5\text{ m}$ 鋼管柱	2,600 t
鋼桁	鈹桁 2主桁～4主桁	3,900 t
スラブ	プレキャスト PC 床版	2,864枚
舗装	アスコン舗装70mm	21,283 $\text{m}^2$

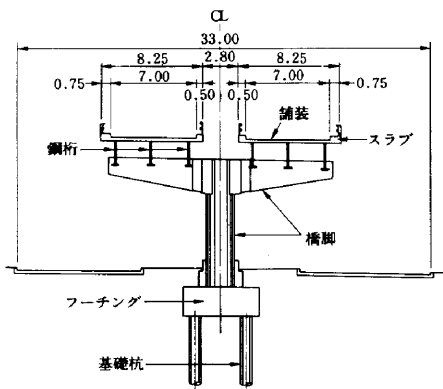


Fig.2 標準断面図

諸元：

延長；1,598 m  
 幅員；4.75 m (1車線)  
 7.0 m (2車線)  
 10.7～7.25 m (合流部)  
 スラブ高；既存ラマ四世道路面より約10m  
 ランプ；3ヶ所

工事内容：主要工事数量を Table 1 に示す。

使用材料：

鋼桁；鋼材の材質 SM490  
 床版；コンクリートの設計基準強度  
 $\sigma_{ck}=400\text{ kgf/cm}^2$  (39.2MPa)  
 PC鋼材； $\phi 12.4$  Grade 250；  
 (7本より) Normal Relaxation  
 $\phi 15.2$  Grade 270；  
 Low Relaxation

定着具；VSL Type-S

適用示方書：AASHTO

高架橋平面図および側面図を Fig.1、標準断面図を Fig.2 に示す。

## § 3. 工法概要

プレキャスト PC 床版を用いた合成桁橋の構造を Fig.3 に示す。

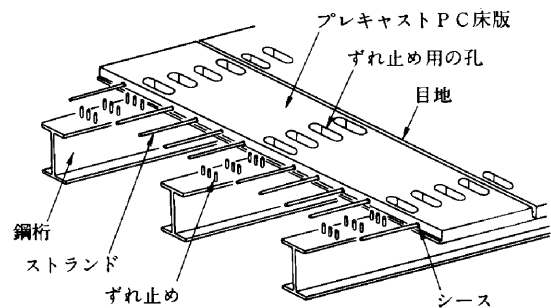


Fig.3 プレキャスト床版合成桁橋の構造

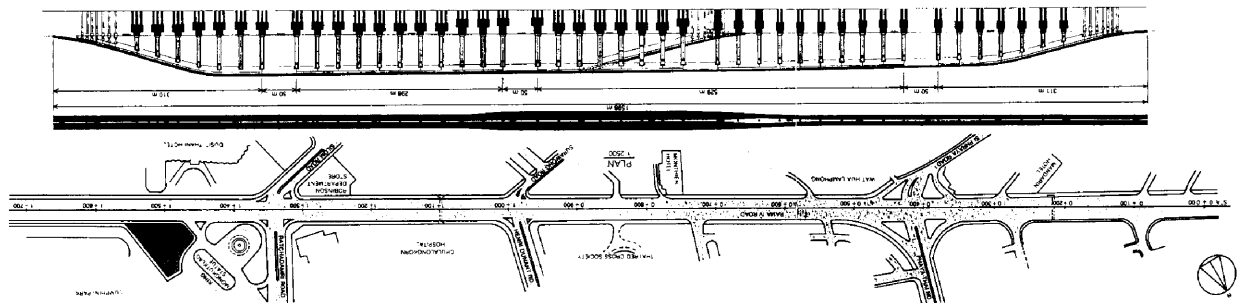


Fig.1 高架橋平面図および側面図

本構造の特徴は次のとおりである。

- ①プレキャスト床版は工場製作となるので、その品質の向上を図ることができる。
- ②PC床版の場合は、RC床版の場合に比べ、ひびわれの発生を制御し易く、軽量化が可能である。
- ③場所打ちコンクリート床版の場合に比べ、大幅な工期の短縮を図ることができる。
- ④床版の一体性は、橋軸方向にプレストレスを与えることにより確保できる。実験的に、30 kgf/cm<sup>2</sup> (2.94 MPa) の圧縮応力が残存すれば問題ないことが確認されている。
- ⑤床版と鋼桁の合成効果が発現された後、橋軸方向のプ

レストレスの一部を解放することにより、鋼桁に引張力と負の曲げモーメントを発生せしめることができる。これにより、応力の改善が行われ、桁高の低減、桁断面の減少を図ることができる。

架設工の作業手順を Fig. 4 に示す。

本工事でのプレキャスト PC 床版の標準構造図を Fig. 5 に、その寸法および製造枚数を Table 2 に示す。

### § 4 . プレキャスト PC 床版の架設工

#### 4-1 運搬および敷設

PC 床版を工場から搬出する際には、縦締め用シース位置、シース内の形状保持用角材の除去を確認し、マーキングを施した。運搬は夜間に、30tf トレーラーを用い、架設順序に従って行った。

トレーラーの配車台数は、1枚当りの重量と1日当りの架設枚数から決定したが、基本は次のとおりとした。

L=5.75m 8枚/台

L=8.25m 4枚/台

L=8.25m~12.05m 2枚/台

最終的には、合計504回の運搬となった。

PC 床版の敷設は、ラマ四世道路中央に据えつけた45

Table 2 プレキャスト床版の寸法および製造枚数

長さ(m) タイプ 幅×厚さ	長さ(m)			合計 (枚)	備考
	5.75	8.25	8.25~ 12.05		
A 980×250	128	64	24	216	RC
B 995×250	232	116	48	396	PC
C 995×210	436	238	96	820	PC
D 995×210	828	416	168	1,432	PC
合計(枚)	1,674	834	356	2,864	

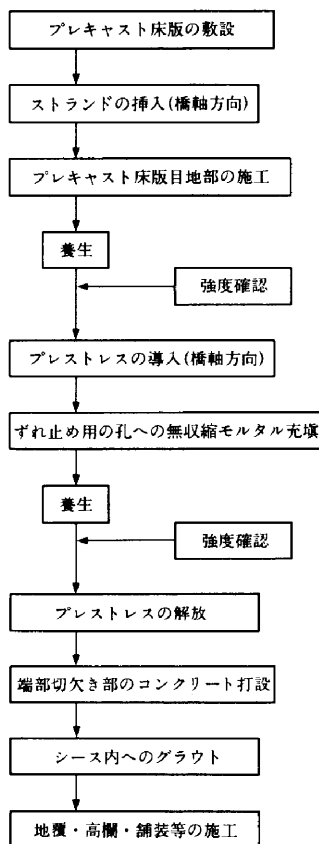


Fig.4 プレキャスト床版合成桁の作業手順

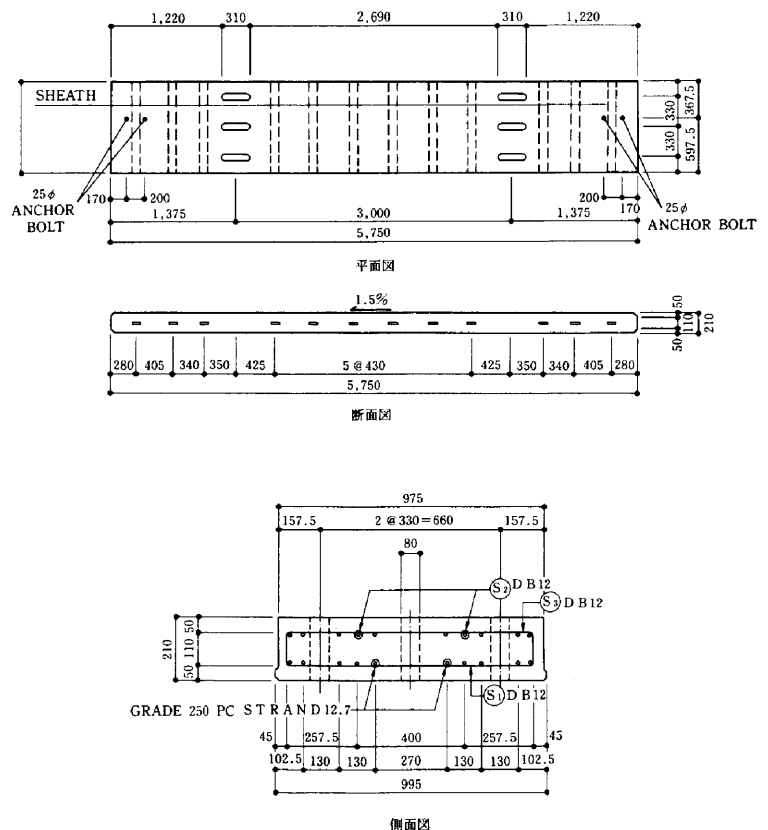


Fig.5 PC床版標準構造図(タイプC)

tfおよび80tfトラッククレーンを用いて、日中に端部パネルより順次行った。PC床版平面配置図を Fig. 6 に示す。

架設に先立ち、鋼桁上フランジのハンチプレートの上にスポンジテープを貼り付けた。このスポンジテープは、PC床版ととのなじみをよくするとともに、ずれ止め用の孔への無収縮グラウトの漏れを防ぐためのものである。また、両桁端部の3mはハンチプレートが無いので、鋼板を用いて高さ調整を行った。鋼桁の上フランジ詳細を Fig. 7 に示す。

床版の位置決めにあたっては、床版端部のシース中心と鋼桁上フランジ端の距離を計測したが、床版端部の直進性よりもシースの直進性を重視した。PC床版の墨出し要領を Fig. 8 に示す。

Fig. 1 に示したように、平面線形にS字カーブが入っているため、当該箇所では、矩形のパネルを法線方向に平行に設置した。

作業は、桁上に床版敷設作業員4名および合図者、地上には、目地部のスポンジテープ貼りおよびシース部へのスポンジ貼り6名、玉掛け2名の計13名にて行い、1

日平均21枚を敷設した。

架設中の安全対策として、桁下端にネットを張り、架設後は、両桁端下部に安全ネットを、床版の両側に手すり安全ネットを施した。

PC床版の敷設状況を Photo 1 に示す。

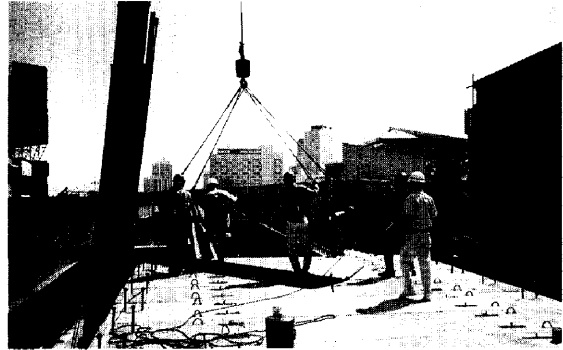


Photo 1 PC板の敷設状況

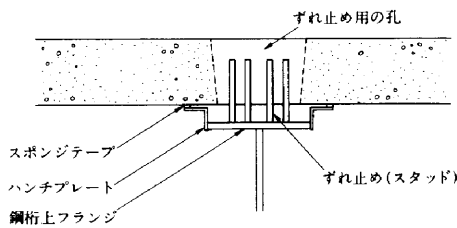


Fig.7 鋼桁の上フランジ詳細

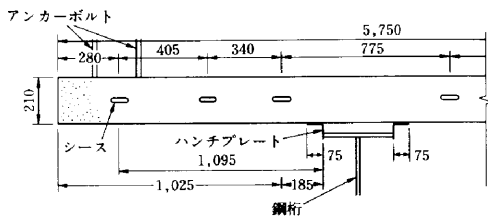


Fig.8 PC板の墨出し

#### 4-2 ストランドの挿入 (橋軸方向)

プレキャストPC床版を敷設後、シース内に、あらかじめ所定の長さ(設計長+ジャッキ長+余長)に切断したストランド(φ15.2mm)を挿入した。

挿入は、人力とジャッキを用いて行った。例えば、1本のシースに5本のストランドを挿入する場合、3~4本は作業員5名による人力で挿入し、残りの1~2本は挿入した1本のストランドに2~3本のストランドを仮溶接し、センターホールジャッキを用いてストランドを引き抜くことにより、仮溶接された2~3本のストランドを挿入した。

標準スパン(52本ストランド/スパン)での作業日数は、5名1組が2組と世話役1名で、平均1.5日であった。Photo 2 にジャッキによるストランド挿入状況を示す。

#### 4-3 プレキャスト床版目地部の施工

Fig. 9 にプレキャスト床版目地の詳細を示す。ストランド挿入後、目地部の清掃、スポンジの手直し(ストラ

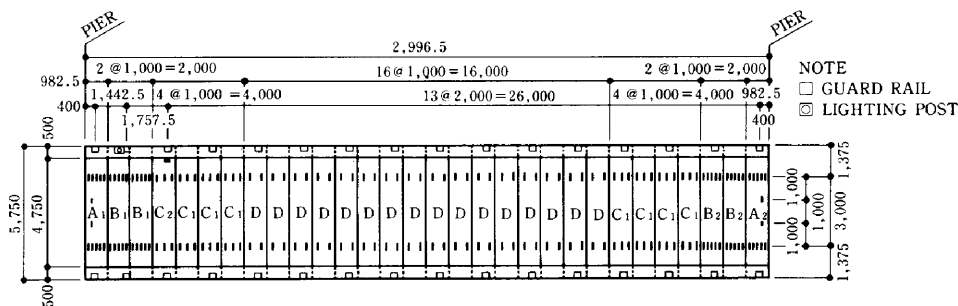


Fig. 6 PC床版平面配置図

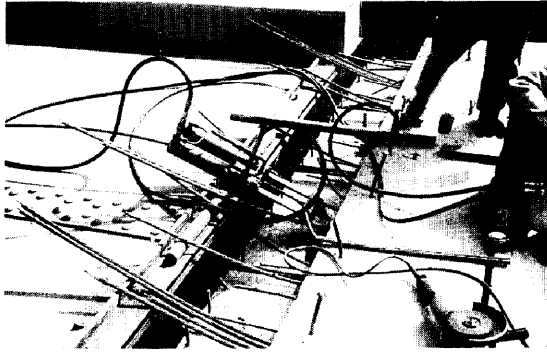


Photo 2 ジャッキによるストランド挿入状況

ストランド挿入時に破損した所), 目地の両端部の留め(透明ビニールテープを使用), スポンジテープ部の隙間の手直しを行い, 無収縮グラウトを注入して接合した。

グラウト材の注入に際しては, シース内のグラウト材の漏れを確認するため, 注入を2回に分け施工した。グラウト材が漏れた場合は, シース端部より水を注入し, ストランド端部をハンマーで叩きながら水洗いした。また, 注入終了後も同様のチェックを行った。作業中, 道路へのグラウト材の漏れを防ぐために, 桁下部にビニールシートを張った。

無収縮グラウトは, 日本より輸入したプレミックスタイプのマスターフロー-870を使用した。事前に試験練りを行い, 練り混ぜ水量の決定, 必要強度を得るための養生日数の確認を行った。試験練りの結果を Table 3 に示す。現場では, 注入スパン毎に供試体を作成し, 強度の確認を行った。また, 養生は麻袋を使用し, 散水養生を行った。

作業は, 普通作業員15名とグラウト練り混ぜ作業員5名の計20名にて, 1日1スパンを施工した。

プレキャスト床版目地部の施工状況を Photo 3 に示す。

#### 4-4 プレストレスの導入(橋軸方向)

プレキャスト床版の目地に注入した無収縮グラウトの圧縮強度が320 kgf/cm<sup>2</sup> (31.4 MPa) 以上(設計基準強度の80%以上)であることを確認した後に, 橋軸方向のプレストレスを導入した。グラウトの必要養生日数は1.5

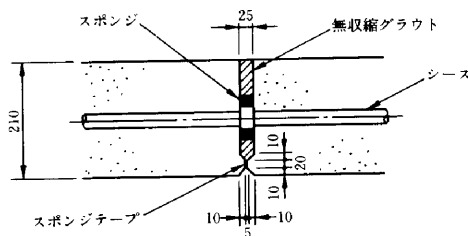


Fig.9 目地の詳細

Table 3 試験練り結果(マスターフロー-870グラウト)

使用水量 1袋(25kg)当り	コンシステンシー Jロートによる	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )			
		No.	3日	No.	7日
4.6ℓ	9秒	1	441	1	547
		2	421	2	535
		3	435	3	496
		Ave. 432		Ave. 526	

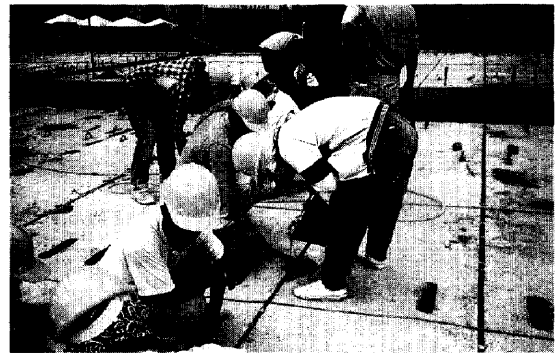


Photo 3 プレキャスト床版目地部の施工状況

日であった。

プレストレスの導入は, プレキャスト床版に過大な偏心力が作用しないように, 所定の緊張力になるまで5段階に分けて行った。また, ストランドの緊張力の管理は, 引張力(ジャッキの荷重計の示度)とストランドの伸び量によって行った。すべてのストランドの伸び量の測定値は, 1本ごとでは設計値に対して±10%の, 1スパンごとの平均値に対しては, ±3%の誤差の範囲内に収まった。

緊張作業は, 普通作業員4名と記録者2名の計6名で, 1スパンを1.5日で行った。緊張作業中の安全対策として, ストランドの切断, ジャッキのチャックの滑りに対処するために, 移動式の防護壁を設置した。

プレストレスの導入状況(橋軸方向)を Photo 4 に示す。



Photo 4 プレストレスの導入状況(橋軸方向)

4-5 ずれ止め用の孔への無収縮モルタル充填

橋軸方向のプレストレスの導入後、ずれ止め用の孔に無収縮モルタルを充填して、鋼桁とプレキャスト床版とを一体化した。

充填に先立ち、鋼桁上フランジ面の清掃、プレキャスト床版と鋼桁ハンチプレートの隙間チェック、ハンチプレートが無い両桁端部3 m区間の鋼桁とプレキャスト床版底部の目張りをを行った。目張りの材料は、透明ビニールテープとガムテープを使用した。

充填は低いところから高いところに向かって一方向より行い、プレキャスト床版底部と鋼桁の間に隙間が無いように施工した。作業中は、目地部グラウトと同じく、漏れ対策を講じた。

無収縮グラウトは、日本より輸入した充填モルタル・コンクリート用混和材 GAD-2000を用いた。事前に試験練りを行い、配合・強度・養生日数の確認を行った。試験練りの結果を Table 4 に示す。強度の確認は、充填スパン毎に作成した供試体により行った。また、養生は麻袋を使用し、散水養生を行った。

作業は、普通作業員15名とグラウト練り混ぜ作業員5名の計20名にて、1日1スパンを施工した。

ずれ止め用の孔への無収縮モルタル充填作業状況を Photo 5 に示す。

4-6 プレストレスの解放

ずれ止め用の孔の無収縮グラウト強度が320 kgf/cm<sup>2</sup> (31.4 MPa) 以上であることを確認した後に、プレス

Table 4 試験練り結果(GAD-2000)

水セメント比 W/(C+GAD)	コンシステンシー Jロートによる	配合比			圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )			
		セメント	GAD-2000	細骨材	No.	3日	No.	7日
39%	7秒	50kg	4.2kg	50kg	1	558	1	584
					2	551	2	571
					3	506	3	519
					Ave. 538		Ave. 558	



Photo 5 ずれ止め用の孔への無収縮モルタル充填作業状況

レスの解放を行った。グラウトはほぼ1.5日の養生で、所要の強度を発現した。

プレストレスの解放は、ジャッキにより再緊張を行ってくさびを取り除き、1 tf ウインチを使用してストランドを除去する方法により行った。幅5.75mのプレストレスの解放表を、Table 5 に示す。

最終定着後、両端定着具をモルタルでシールした。標準タイプ(ストランド22本を除去)での作業は、5名で1.5日を要した。

プレストレスの解放完了状況を Photo 6 に示す。

Table 5 プレストレスの解放表(幅5.75m)

DUCT NUMBER	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	TOTAL
INITIAL No.	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	52
RELEASED No.	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	22
REMAINED No.	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2	3	2	30

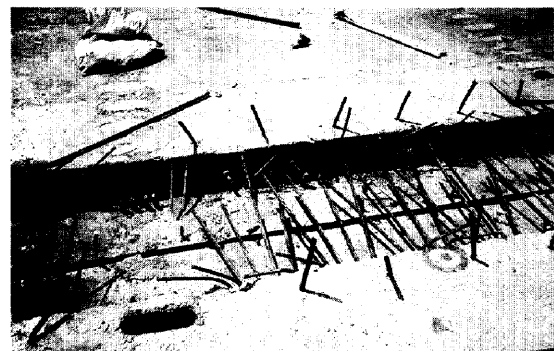
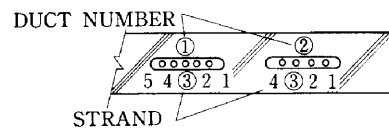


Photo 6 プレストレスの解放完了(一部PCストランドの除去完了)

4-7 端部切欠き部のコンクリート打設

鋼桁端部に用いたプレキャスト PC 床版(タイプ A)は、橋軸方向プレストレスの導入・解放の際に使用する緊張装置のスペースを確保するため、Fig. 10 に示すようにプレキャスト PC 床版の上側部分を17cm切欠いている。この A タイプの床版は RC 構造となっているので、橋軸方向のプレストレスを解放した後に、鉄筋・型枠を組み立て、コンクリートを打設・養生した。

端部切欠き部の鉄筋・型枠組立て状況を Photo 7 に示す。

4-8 シース内へのグラウト

端部切欠き部のコンクリート打込み・養生後、ストラ

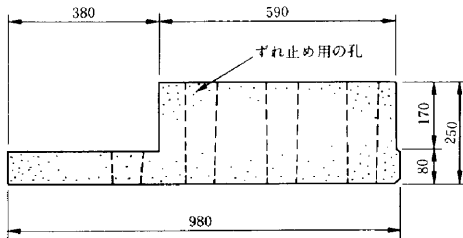


Fig. 10 桁端部のプレキャスト PC 床版の側面形状

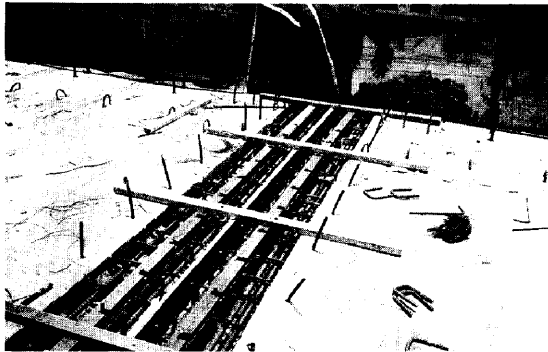


Photo 7 端部切欠き部 鉄筋・型枠組み立て状況

ンドの腐食防止およびプレキャスト床版とストランドを一体化するため、シース内にセメントミルクを注入する。

まず、シース内に水を通して洗浄し、圧縮空気て溜り水を除去し、グラウトポンプを使用して、低いところから高いところに向かって徐々に注入し、流出口から薄められないグラウトが安定して出てくることを確認しながら注入を行った。

標準タイプ（シース12本）での作業は、橋上に4名、地上に4名の計8名にて、1日当り3スパンを施工した。

シース内へのグラウト作業状況を Photo 8 に示す。

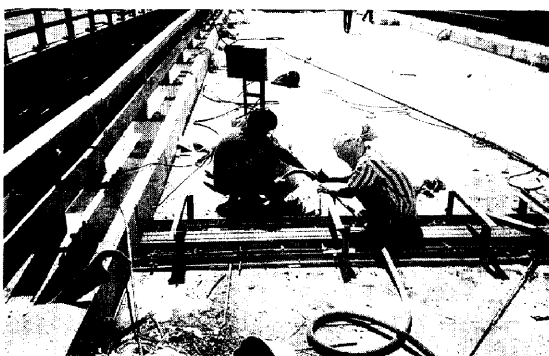


Photo 8 シース内へのグラウト作業状況

#### 4-9 橋面工

プレキャストPC床版架設工が完了した後、橋面工として、プレキャスト地覆の設置・固定、伸縮継手、鋼製高欄および照明柱の地覆への固定、アスファルト舗装、サ

イドボードの高欄への取付け、レーンマーキングを施工した。

本橋の完成状況を Photo 9 に示す。また、1スパン当りの標準施工期間を Fig. 11 に示す。



Photo 9 完成状況

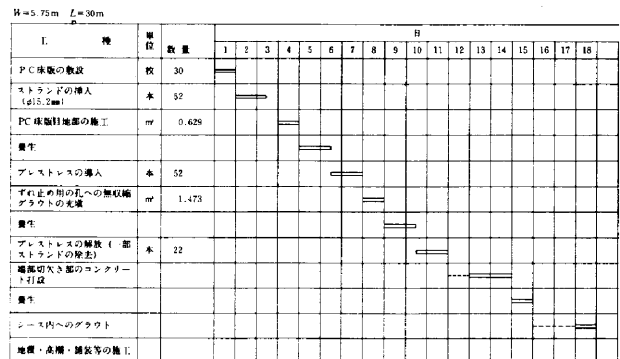


Fig.11 1スパン当りの標準施工期間

## § 5. 実橋載荷試験

### 5-1 試験の目的

本橋の合成桁の合成効果を実橋で確認するために、アスファルト舗装完了後、ラフタークレーンを載荷して主桁のたわみを計測した。

### 5-2 試験方法

載荷方法を Fig. 12 に示す。載荷荷重は、総重量22.8 tf (223 kN) のラフタークレーンとし、2主桁橋では2台、3~4主桁橋では4台を載荷した。スパン中央のたわみ量は、橋面に据えたレベルにより、支点部とスパン中央の3点の高さを測量して算出した。

試験数は、2主桁部で46スパン、3主桁部で19スパン、4主桁部で7スパンの計72スパンで行った。

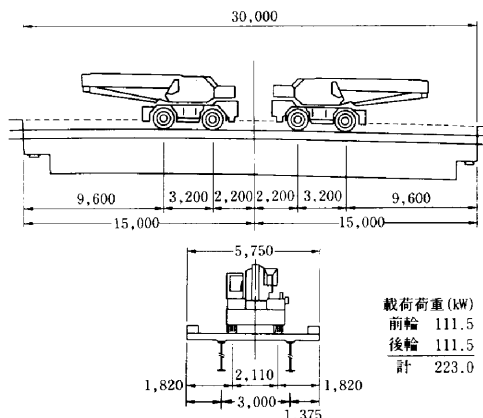


Fig.12 載荷方法



Photo 10 実橋載荷試験の状況

Table 6 2主桁部の試験結果

span	$\delta_{ave}$ (mm)	$\delta_{cal}$ (mm)
E-1	8.0	9.9
2	9.0	
3	9.5	
4	9.25	
5	9.75	
6	9.25	
7	9.0	
9	7.5	
10	8.25	
11	8.75	
12	9.5	
13	8.25	
14	8.5	
15	8.5	
16	8.75	
17	8.75	
19	8.75	
22	7.75	
ON-4	7.0	
5	8.5	
7	7.75	
8	8.0	
W-1	7.0	
2	8.5	
3	8.5	
4	9.25	
5	8.75	
6	9.5	
7	8.5	
9	9.0	
10	7.75	
11	8.25	
12	8.5	
13	8.5	
14	9.0	
15	8.0	
16	8.0	
17	9.25	
19	8.0	
21	8.5	
22	7.75	
OFF-4	7.25	
5	7.75	
6	7.5	
7	9.0	
8	7.75	

実橋載荷試験の状況を Photo 10 に示す。

5-3 試験結果とその考察

2主桁部の試験結果を Table 6 に示す。全ての試験結果は、理論計算値に比べて小さく、計算値の80~90%程度であった。これにより、本橋の合成桁は、十分な剛性を有することが確認された。試験結果が理論値に比べて小さい原因としては、以下の2点が考えられる。

- ①実際のプレキャスト PC 床版のヤング係数は、設計計算で用いたヤング係数より大きい。
- ②理論値の計算をする時、輪荷重を集中荷重としたが、実際にはプレキャスト PC 床版により荷重が分散された。

§6. おわりに

往復延長3000mに及ぶプレキャスト PC 床版を用いた合成桁橋の施工の内、プレキャスト PC 床版の架設工を中心に述べてきた。日本でも例の少ない工法のため、工事にあたりは、試行錯誤を繰り返しながらの施工となったが、本工法を施工するに当り、留意しなければならないと思われる事項を以下に示す。

- ①プレキャスト PC 床版のずれ止め用の孔およびシー

スの位置、精度を確保する。

- ②橋軸方向のプレストレス導入用の PC ストランドの本数をできるだけ少なくする。
- ③ PC 床版目地部の施工の際、シース内へのグラウト漏れおよびシース部のスポンジ下部の注入漏れを防ぐ。
- ④ずれ止め用の孔へのモルタル充填の際、充填漏れを防ぐ。
- ⑤プレストレスの解放の方法を工夫する。

最後に、本工事の施工にあたり、ご指導をいただきました関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中井博：プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工, 森北出版, 1985.
- 2) 神田富春, 豊留一郎：波動理論を応用した杭の支持力評価について, 西松建設技報, VOL. 15, pp. 217~220, 1992.
- 3) 奥野豊：プレキャスト床版合成桁橋に用いるプレキャスト・コンクリートスラブの製作, 第4回施工体験発表会論文集, 西松建設(株)一般土木委員会, pp. 172~185, 1992.