

第二東名高速道路 藁科川橋における鋼桁および長支間場所打ちPC床版の施工

Construction of Steel Girders and Long-span Cast-in-place PC Slab in 2nd Tomei Expressway Warashinagawa Bridge

上原 正*¹ 松本博樹*² 藤井一成*³ 河西龍彦*⁴
 Tadashi UEHARA Hiroki MATSUMOTO Kazunari FUJII Tatshuhiko KASAI

Summary

The Warashinagawa Bridge, on the 2nd Tomei Expressway, which was the first bridge that was constructed with a long-span cast-in-place PC slab for two-girder bridge with a span length of slab of 11.0m, is a bridge currently attracting much attention in Japan. The bridge is required not only high durability, rationalized construction and labor saving but also mechanized construction. The bridge adopts various advanced construction technologies including the development of a construction machine, such a large travelling form, that is used for each phase from the erection of steel girders to the construction of the PC slab. The report outlines of erection of steel girders and construction of the PC slab for the Warashinagawa Bridge.

キーワード：鋼2主桁橋，開断面箱桁，長支間PC床版，移動型枠，PCF床版，キャタピラジャッキ

1. まえがき

第二東名高速道路藁科川橋は、日本道路公団静岡建設局が建設を進める国内最大級の床版支間を有する場所打ちPC床版鋼少数主桁橋であり、7径間連続鋼2主桁橋1連と4径間連続鋼2主開断面箱桁橋6連で構成される。

橋梁の標準断面図を図-1, 2に示す。

床版支間が11.0mとなる2主桁橋や開断面形式を採用した床版支間6.0mの2主箱桁は、国内において過去に施工事例をほとんど見ない構造であることから、本工事では実施工に先駆けて実物大模型を製作し、プレストレス導入に伴うPC床版および鋼桁の各種ひずみや変位量を把握するとともに、併せて施工性の確認を行い、これより得られた知見を実施工に反映している。また、同形式橋梁の先行工事での反省点やそれに付随して、(社)日本橋梁建設協会と(社)プレストレス・コンクリート建設業協会が共同で実施した実物大模型試験の成果も採り入れている。

特にPC床版の施工は、大型の移動式型枠支保工設備(以下、移動型枠という)を使用した機械化施工としており、第二東名高速道路の基本コンセプトである施工の

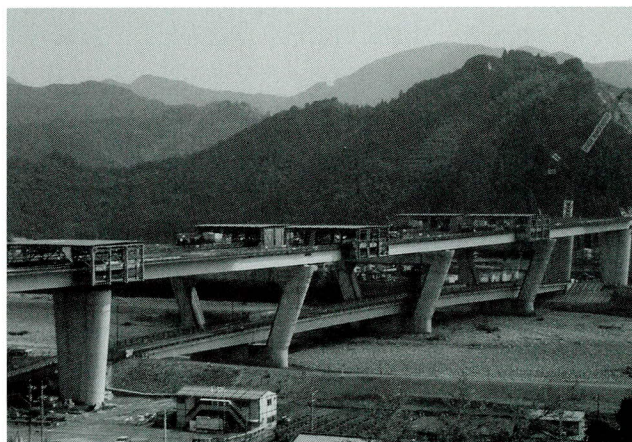


写真-1 PC床版の施工状況 (2002.10)

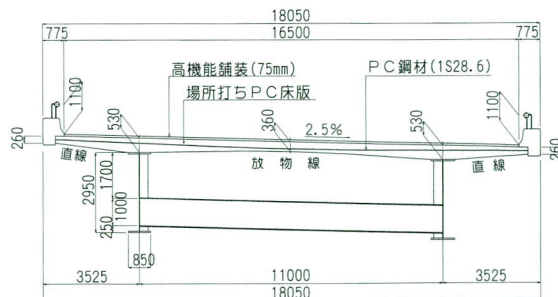


図-1 鋼桁橋の標準断面図

*¹技術本部工事部工事計画課担当課長 (宮地・瀧上JV現場代理人、架設床版部会長) *²技術本部工事部工事課 (宮地・瀧上JV)

*³技術本部工事部工事課 (宮地・瀧上JV監理技術者)

*⁴技術本部設計部設計一課課長 (宮地・瀧上JV設計部会長)

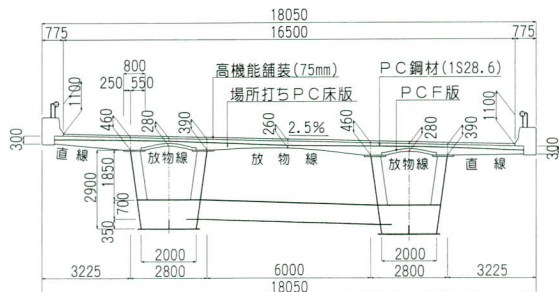
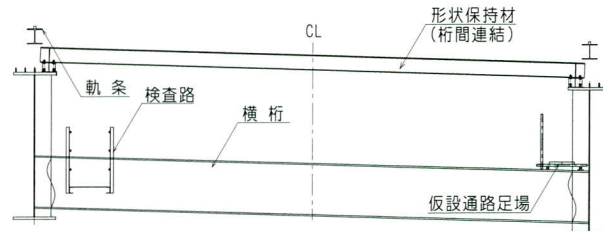


図-2 箱桁橋の標準断面図



- 注) 1. 形状保持材は横桁位置に設置した。
 2. 形状保持材間にはPC鋼棒による上横構を設置した。
 3. 中間支点部には下横構を設置した。

図-3 鋼桁の形状保持材

合理化、省力化を実現するとともに、安全性にも大きく寄与している。(写真-1)

本稿は、藁科川橋（鋼上部工）工事の内、左岸部と河川部における国内最大級の床版支間を有する場所打ちPC床版鋼2主桁橋の施工について報告するものである。

2. 鋼桁の施工

(1) キャンバー管理

本橋では、PC床版の耐久性を高めるために、主桁間PC床版の下面に曲線形状を採用しており、従来のコンクリート床版にあるハンチが存在しない。これは鋼桁架設完了後のキャンバー誤差を床版ハンチ部で調整できないことを意味するため、工場仮組立時および架設時の鋼桁キャンバーの許容値を表-1に示すように厳しく制限し、鋼桁部材を組み立てることで、所定の出来形を確保することとした。

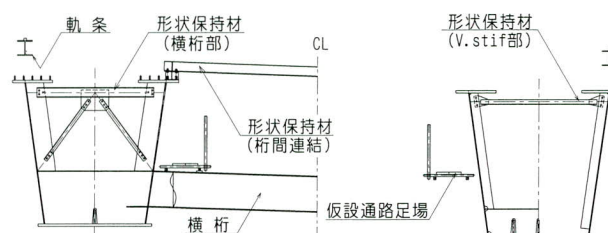
表-1 鋼桁キャンバーのJV内管理目標値

	工場仮組立時および現場組立時		現場架設時	
	①全体キャンバー	②部分キャンバー	①多点支持状態	②支点支持状態
鋼桁	-5mm~+5mm	±3mm	-10mm~+10mm	-35mm~+15mm
箱桁	-5mm~+10mm	±3mm	-10mm~+15mm	-35mm~+10mm

注) 1. 部分キャンバーとは、隣接する任意の2部材を1部材と見なした時のその中間位置のキャンバーとする。
 2. JV施工管理要領による現場架設時(支点支持状態)の許容値は、支間長によらず-50mm~+25mmである。

(2) 形状保持材

本橋は、平面曲率を有する2主桁橋であるとともに、PC床版への導入プレストレスを鋼桁が極力、拘束しないように、横桁を可能な限り、下段に配置していることから、主桁はPC床版と一体化するまでの間、常に面外方向へ倒れようとする。さらに開断面箱桁については、移動型枠の移動に伴うねじり作用や風および地震による強制外力によって、左右の上フランジの間隔が広がろうとする傾向を示す。



- 注) 1. 形状保持材は横桁位置に設置した。
 2. 形状保持材間にはPC鋼棒による上横構を設置した(支間中央部のみ)。

図-4 箱桁の形状保持材

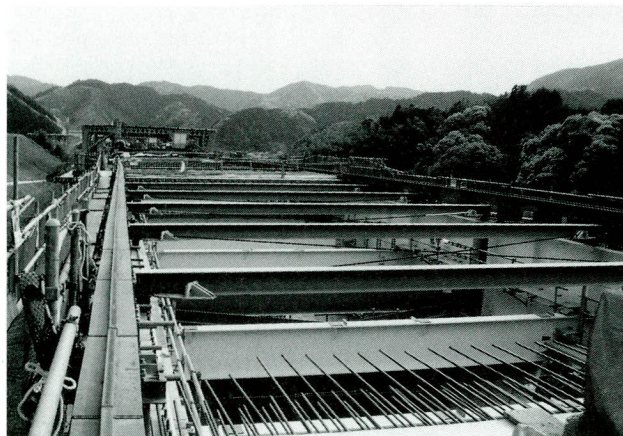


写真-2 鋼桁の形状保持材

以上より、架設時は勿論、PC床版施工時においても鋼桁骨組形状を保持するとともに、主桁の面外変形を防止する目的から図-3、4に示す形状保持材を工場製作時、あるいは鋼桁架設時に設置することとした。(写真-2)

なお、使用断面は細長比(2次部材の圧縮材)より決定した。

(3) 現場溶接

主桁の現場継手は耐久性が高く、美観に優れた現場溶接継手を採用した。図-5に各部材の溶接方法を示す。

原則として、ベント上での溶接作業はハンガータイプの風防設備(写真-3)を使用し、地上および工事桁上

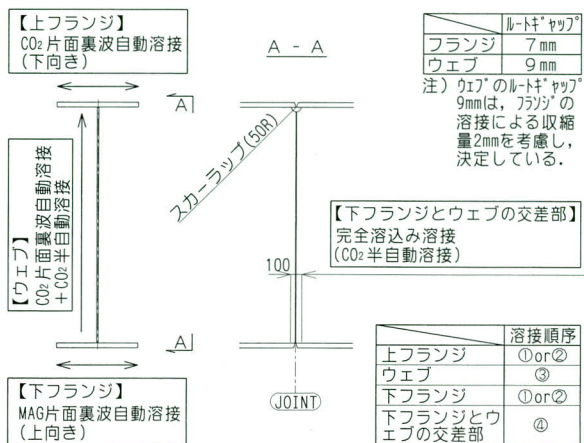


図-5 鋼桁の溶接方法

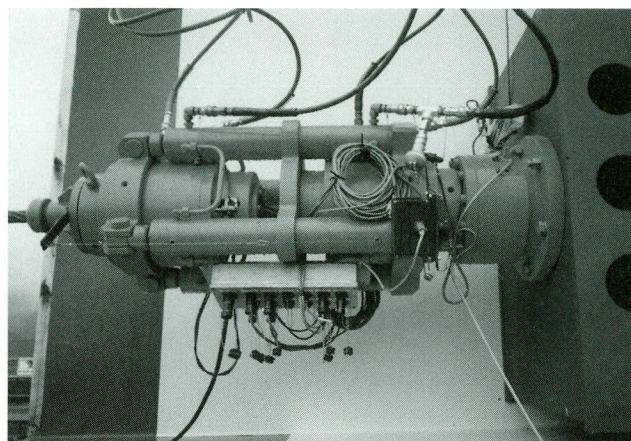


写真-5 ワイヤークランプジャッキ

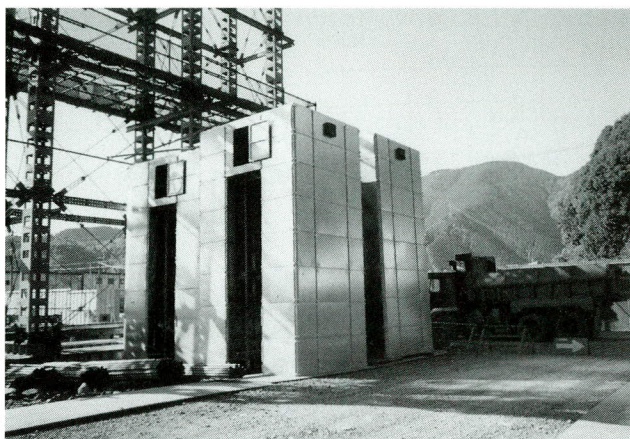


写真-3 風防設備 (ハンガータイプ)

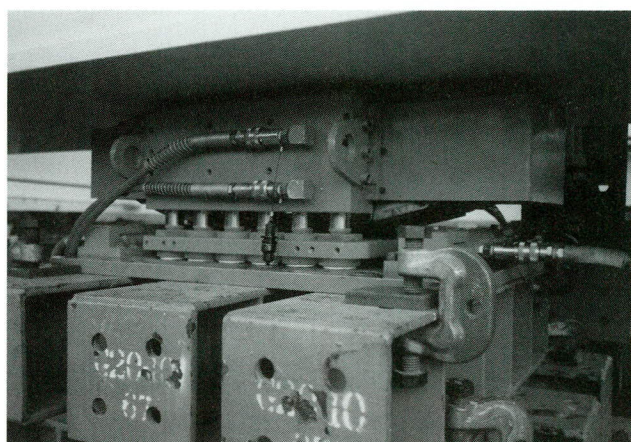


写真-6 キャタピラジャッキ



写真-4 風防設備 (サポータータイプ)



写真-7 鋼桁の送り出し架設

での溶接作業はサポートタイプの風防設備 (写真-4) を使用することとした。継手部の非破壊検査はAUT (自動超音波探傷試験) を基本とした。なお、AUT試験装置が構造寸法上、セットできない範囲はMUT (手動超音波探傷試験) でカバーした。

(4) 鋼桁の架設

1) 架設工法

7径間連続鋼2主鋼桁は中山間地に位置することから、その架設はワイヤークランプジャッキを駆動装置、キャタピラジャッキを送り装置とした送り出し工法を採用した。(写真-5, 6, 7)

なお、送り装置にキャタピラジャッキを採用した理由は以下のとおりである。

- ①本橋は平面曲率(単円+クロソイド)を有しており、施工途中において、送り出し方向の修正が必要となった場合でも容易に対応が可能。
- ②外観形状はコンパクトであり、橋脚上の狭い作業スペースへの設置が可能。
- ③機械高が小さいため、送り出し架設完了後の降下量を少なくできる。

キャタピラジャッキは、駆動装置を搭載していないため、ワイヤークランプジャッキを主桁ウェブの横桁取付用HTB孔を利用して水平に固定するとともに、送り出し前方と後方の各橋脚間に張り渡したワイヤーループを通し、これを駆動装置とした。(写真-8)

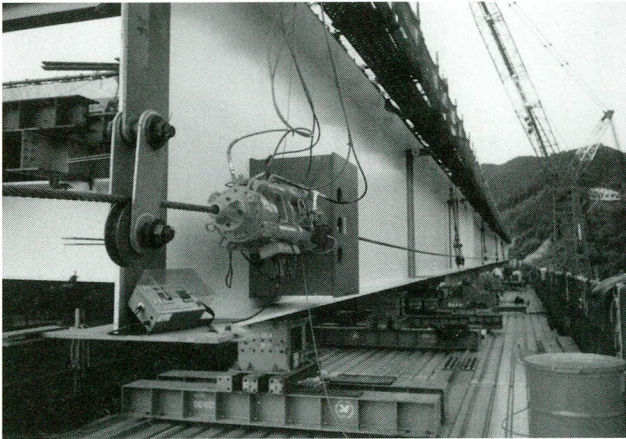


写真-8 送り出し架設の駆動システム

また、本橋の鋼桁は広幅員2主桁形式であり、高い曲げ剛性を有していることから、本橋の送り出し架設では手延べ機を省略することで工程の短縮とコストダウンを図ることとした。

2) 送り出し架設

送り出し架設は、送り出しヤードの関係から計3回の分割施工とし、各ステップごとの送り出し距離、受点反力およびワイヤーループ張力の管理は、専用のソフトを使用し、パソコンの画面上で各数値をリアルタイムで確認しながら行った。(図-6)

また、送り出し途中における鋼桁の平面位置は、送り出し距離に対応した各橋脚位置での主桁中心と支承中心との橋軸直角方向のズレ量を予め計算しておき、送り出し距離を確認しながらズレ量の測定を行うとともに、併せて送り出し桁前方部の橋脚上からトランシットで鋼桁先端部の横ズレ量を測定することで管理した。なお、送

り出し方向は、P10、P14、およびP18の3橋脚を通る単円(R=10500m)方向とし、その接線方向にキャタピラジャッキをセットすることとした。(図-7)

また、主桁中心とキャタピラジャッキ中心との偏心量は50mm以内とし、それを超える場合はキャタピラジャッキの据付位置を盛り替えることとした。送り出し方向の修正は、送り出し先端部のキャタピラジャッキが自動車のハンドルに該当し、キャタピラの回転方向に鋼桁が移動すると考えられることから、そのセット方向を調整することで対処した。

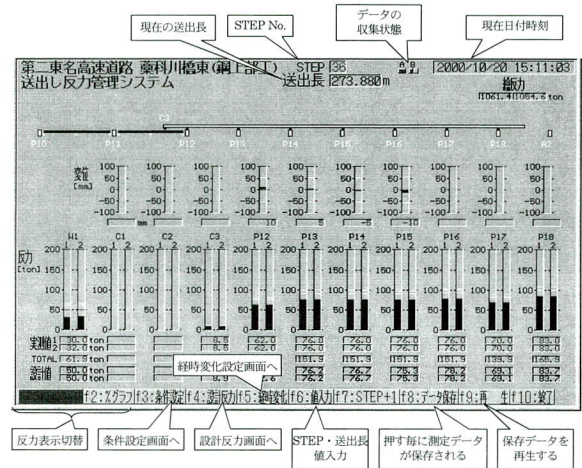


図-6 送り出し反力管理システム

(5) 開断面箱桁の架設

4径間連続鋼2主開断面箱桁は、比較的桁下空間の利用が可能なることから、その架設はトラッククレーンベント工法を基本としたが、下り線の2径間は中山間地に位置するため、手延べ機を用いた送り出しジャッキによる送り出し架設とした。(写真-9)

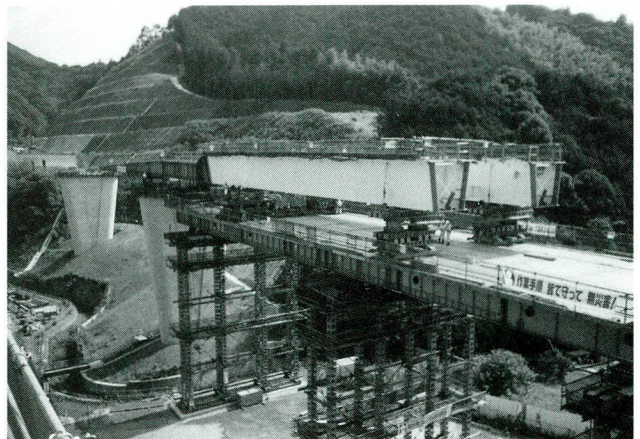


写真-9 開断面箱桁の送り出し架設

2/4作-0-7による鋼桁引き込み方向と送り出し曲線方向との関係

引き込み方向	θ (rad)
P10→P12	3.526×10^{-3}
P11→P12	2.827×10^{-3}



鋼桁引き込み時の支承線方向最大水平力 (H)

$$H = 437 \times \sin(0.008360) = 3.653 \text{ (KN/桁)}$$

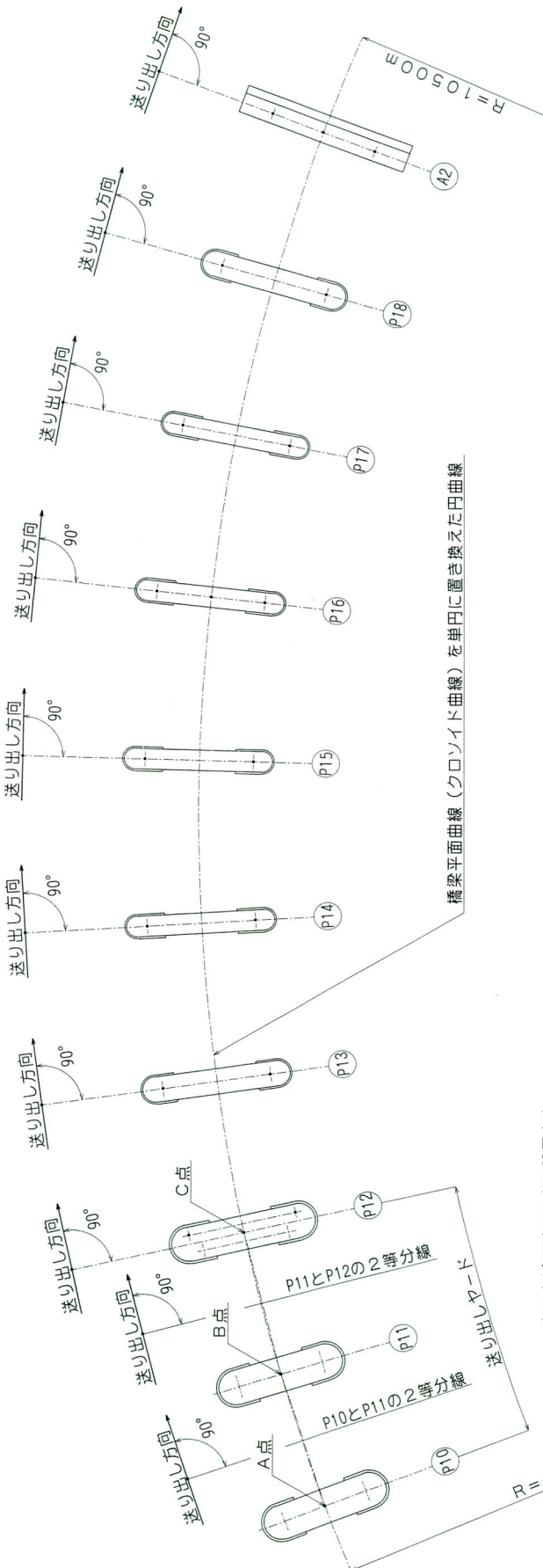
最大引き込み力
最大交角 (P18)

各橋脚における送り出し曲線方向と支承線法線方向の関係

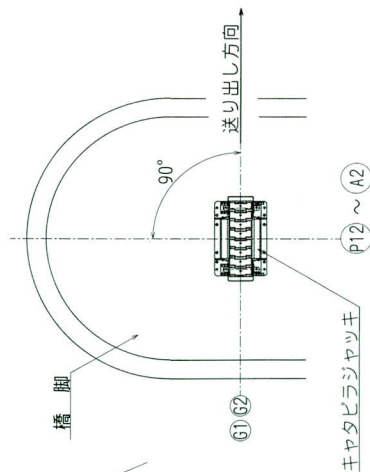
(X10 ⁻³)						
橋脚	P10	P11	P12	P13	P14	P14
θ (rad)	-4.171	-1.396	1.134	2.182	2.426	
橋脚	P15	P16	P17	P18	A2	
θ (rad)	1.815	0.559	-1.605	-4.590	-8.360	



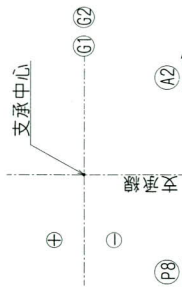
--- : 支承線法線方向
— : 送り出し方向



キヤタピラジャツキの設置方向



送り出しに伴う主桁の支承線方向のスレ量



橋脚	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
スレ量	332	259	157	64	8	5	16
最小	-69	-116	-237	-348	-317	-350	-241
(mm)	合計	401	375	394	412	325	345
						225	

【送り出し要領】

1. 本橋は平面曲率 (クロノイド曲線) を有するため、P10、P14およびP18の支承線と橋梁中心曲線との交点 (計3点) を通る円曲線上に桁の送り出しを行う。
2. 各橋脚は橋梁平面曲線の法線方向に設定されていることから、各脚上における桁の送り出し方向は橋脚中心線とほぼ直交する方向となる。したがって、キヤタピラジャツキはその方向にセットする。
3. 送り出しヤードにおける工事桁のセット方向はP10、P11およびP12橋脚中心と橋梁中心曲線との交点 (点A、点B、点C) を各々結んだ直線方向とする。なお、工事桁上の送り出しの方向は工事桁のセット方向に合わせる。
4. 橋梁平面曲率 (クロノイド曲線) を円曲線に置き換えて送り出しを行うことから、送り出し架設の進捗状況に応じて桁の橋脚直交方向のスレが生じるが、その際には鋼桁を一時的に架台に仮受けするとともにキヤタピラジャツキの横修正を行う。

図-7 鋼桁の送り出し要領

送り出し架設は、送り出しヤードの関係から計4回の分割施工とした。

本橋では、送り出し架設完了後の高所における主桁先端部（手延べ機連結構取付部）の切断、仕上げおよび塗装作業を省略するため、手延べ機連結構取付孔は主桁本設部に設置することとした。なお、その場合、完成系の縦断勾配との関係から主桁ウェブ端面とフランジ上下面との交角が90度ではないことに注意し、手延べ機連結構を製作する必要がある。

送り出し架設完了後、主桁に設けた手延べ機連結構取付孔は、化粧板で覆うことで美観に配慮した。（写真-10）

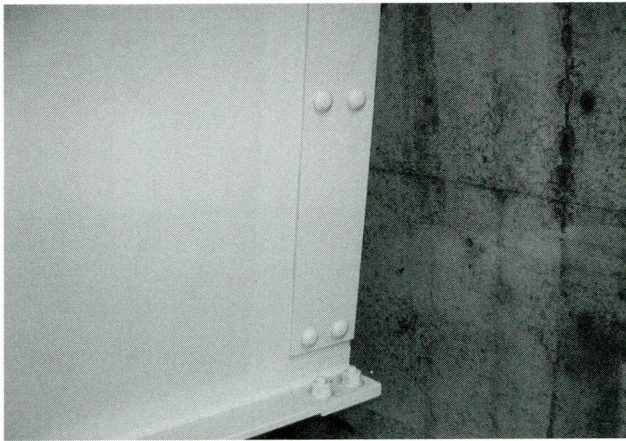


写真-10 桁端部の化粧板

3. 免震支承の施工

本橋では、高減衰積層ゴム支承（HDR）と鉛プラグ入り積層ゴム支承（LRB）の計2種類の免震支承を採用しており、いずれも支承本体とベースプレートを現場溶接で一体化する構造としている。

従来より、ベースプレートの固定は鋼桁架設完了後の測量結果を基に行うのが一般的であるが、本橋の免震支承は、その平面寸法が大きく、鋼桁架設後の高さ調整が困難なことから、ベースプレートの据付高さは、仮組立検査結果による支間長や支点上の桁高を反映するとともに、支点上の鋼桁天端計画高の許容値の下限（-5mm）近傍の高さとした上で、無収縮モルタルによるベースプレートの先行固定を行うこととした。なお、ベースプレートの据付高さを許容値の下限近傍としたのは、PC床版厚の出来形にマイナスが認められていないことによる。

また、支承本体を現場溶接する際、溶接熱に伴うベースプレートの反り上がりによって、無収縮モルタルにひ

び割れが発生しないように、バックアップ材をベースプレート周りに設置し、無収縮モルタルを施工することとした。（図-8）

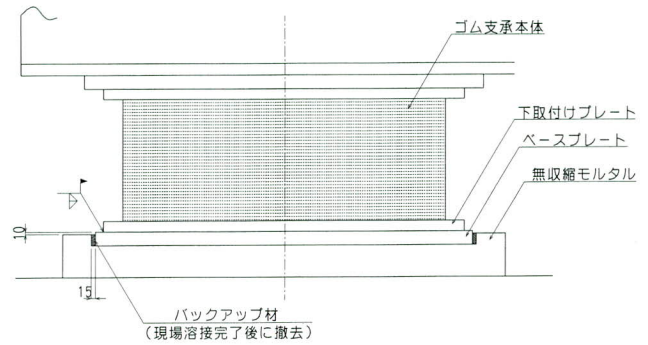


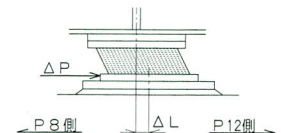
図-8 無収縮モルタルのひび割れ防止対策

支承本体の固定（現場溶接）は基本的に、鋼桁の温度変化による移動量と残キャンパーによる移動量を各温度ごとに計算した結果（表-2, 図-9）に基づき、位置調整（予備せん断変形）を行った後、PC床版施工前に実施する計画としたが、前述したように支承本体の平面寸法は大きく、橋脚上の作業スペースも狭いことから、支承本体の固定は極力、調整量が0となる時期を選定し、行うこととした。

表-2 免震支承の予備せん断変形量

上り線(P8~P12)		温 度 (°C)										
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
P8	ΔLt(mm)	30.8	23.1	15.4	7.7	0.0	-7.7	-15.4	-23.1	-30.8	-38.5	-46.2
	ΔLr(mm)	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
	ΔL(mm)	44.8	37.1	29.4	21.7	14.0	6.3	-1.4	-9.1	-16.8	-24.5	-32.2
P9	ΔP(tf/個)	15.3	12.7	10.1	7.4	4.8	2.2	0.5	3.1	5.7	8.4	11.0
	ΔLt(mm)	15.2	11.4	7.6	3.8	0.0	-3.8	-7.6	-11.4	-15.2	-19.0	-22.8
	ΔLr(mm)	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0	-11.0
P10	ΔL(mm)	4.2	0.4	-3.4	-7.2	-11.0	-14.8	-18.6	-22.4	-26.2	-30.0	-33.8
	ΔP(tf/個)	5.7	0.5	4.6	9.8	15.0	20.1	25.3	30.5	35.6	40.8	46.0
	ΔLt(mm)	0.6	0.5	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9
P11	ΔLr(mm)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	ΔL(mm)	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1
	ΔP(tf/個)	2.9	2.7	2.6	2.4	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.2
P12	ΔLt(mm)	-14.1	-10.6	-7.0	-3.5	0.0	3.5	7.0	10.6	14.1	17.6	21.1
	ΔLr(mm)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
	ΔL(mm)	-8.1	-4.6	-1.0	2.5	6.0	9.5	13.0	16.6	20.1	23.6	27.1
P12	ΔP(tf/個)	13.1	7.4	1.7	4.0	9.7	15.5	21.2	26.9	32.6	38.3	44.0
	ΔLt(mm)	-28.4	-21.3	-14.2	-7.1	0.0	7.1	14.2	21.3	28.4	35.5	42.6
	ΔLr(mm)	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0	-12.0
P12	ΔL(mm)	-40.4	-33.3	-26.2	-19.1	-12.0	-4.9	2.2	9.3	16.4	23.5	30.6
	ΔP(tf/個)	13.9	11.5	9.0	6.6	4.1	1.7	0.8	3.2	5.7	8.1	10.6

ΔLt: 温度変化による移動量
 ΔLr: 残キャンパーによる移動量
 ΔL: 合計の移動量
 ΔP: 支承の予備せん断変形力



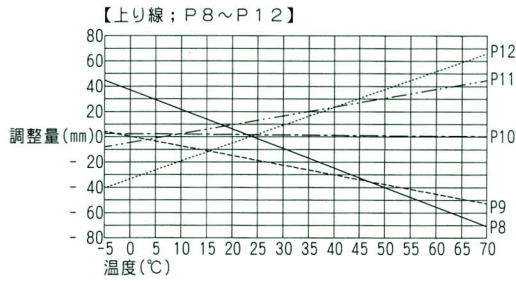


図-9 環境温度と免震支承調整量との関係

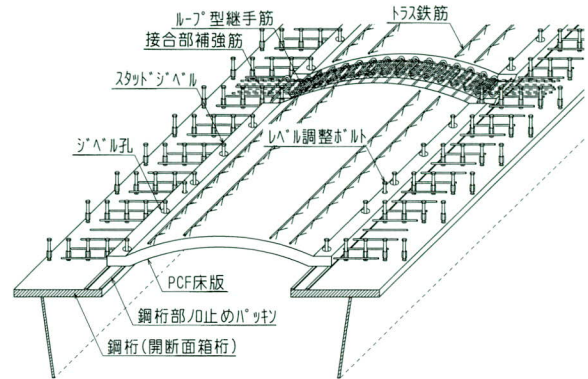


図-10 PCF床版概要図

4. PCF床版の施工

箱桁直上部のPC床版に効率よくプレストレスを導入する目的から、開断面形式の箱桁を採用したが、その際、主桁直上部の型枠支保工構造をどうするかが問題となった。当初、箱桁内で型枠支保工を人力で組み立てる方法や箱桁内を移動可能な型枠支保工設備の開発等の話が出たものの、いずれも現実的な話としてまとまらなかったが、その後の検討作業を経て、図-10に示すPCF床版が開発され、本工事で実施した実物大模型にも採用した。これは、鋼桁上に貼り付けたノロ止めパッキンの上に厚さ10cmの工場製プレキャストRC版をクレーンにより敷設した後、鋼桁上面とPCF床版との隙間にグラウト（無収縮モルタル）を注入することで鋼桁との一体化をねらったもので、ズレ止めには主桁上面のスタッドを利用している。また、橋軸方向の継手はループ方式を採用した。（図-11、写真-11）

なお、PCF床版は設計断面としてカウントするため、後打ちコンクリートとの一体化が要求されるが、これについてはPCF床版上面をハウキ目仕上げにするとともに、併せて橋軸方向にトラス鉄筋を配置することとし、その性能は本工事で実施した実物大模型実験やその後の輪荷重移動載荷試験による検証を経て、確認されている。PCF床版の鋼桁との一体化は、作業効率上、PCF床版敷設後に行うのがよいが、本橋では、PCF床版のブロック施工に伴う主桁作用により、PCF床版にひび割れの発生が懸念されたため、PC床版同様、過大な引張力が発生しないような施工順序（分割施工）を採用した。

また、鋼桁架設完了後に敷設したPCF床版は、PC床版のブロック施工に伴う主桁作用や日射による鋼桁の伸縮によって、その橋軸方向継手部（ノロ止めパッキン部）に隙間の生じた箇所があったため、再度調整作業を行った。

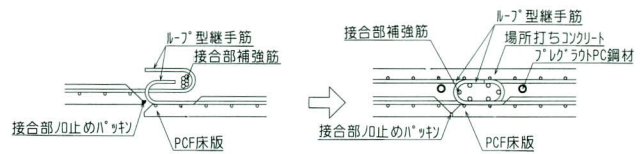


図-11 PCF床版のループ継手

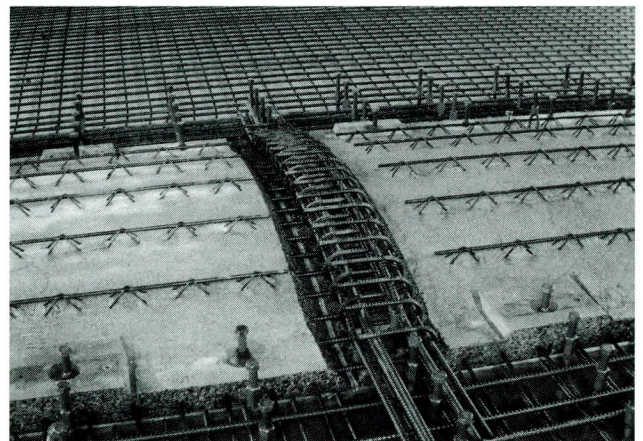


写真-11 PCF床版のループ継手

5. PC床版の施工

PC床版の施工は、工程の短縮に配慮し、移動型枠を1橋につき2基使用することとした。また、施工時におけるコンクリートのひび割れを防止する目的から、本橋ではブロック施工順序の工夫、遮光や防風に配慮したコンクリート養生、およびテンポラリーなカウンターウエイトを採用することとした。

なお、本橋のひび割れ対策工の中には、鋼桁を計画高よりも高く架設し、PC床版の施工の進捗状況に応じて鋼桁をジャッキダウンする、いわゆる逐次ジャッキアップダウン工法は採り入れていない。これは、本工法の設備は大掛かりとなるばかりか、加えて鋼桁のジャッキダウ

ンによりコンクリートに導入されたプレストレスのほとんどが、その後のクリープや乾燥収縮の影響で消失してしまうことを踏まえ、上記対策工の方が、経済性や施工性で優る有効な方策と判断したことによる。

(1) 施工機械設備

1) 移動型枠

(a) 基本構造

本橋で使用した移動型枠は、桁間部PC床版を施工するインサイド型枠、インサイド型枠を支持し、横桁上を移動するスライディングビーム、張出し部PC床版を施工するアウトサイド型枠および各種作業の足場となる移動足場より構成される。

(図-12, 13, 14, 写真-12, 13)

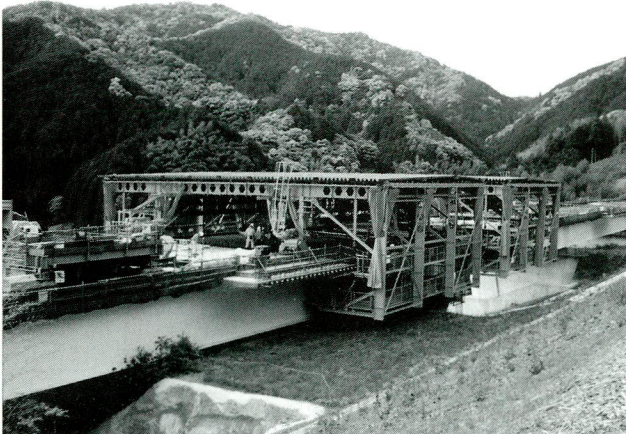


写真-12 鋸桁用移動型枠

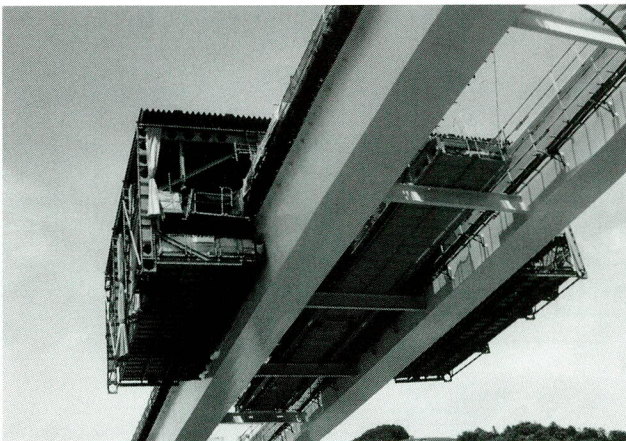


写真-13 箱桁用移動型枠



写真-14 アウトサイド型枠と分離した移動足場

本橋の移動型枠の最大の特徴は、移動足場とアウトサイド型枠を分離構造としていることであり(写真-14)、これは以下の理由によっている。

- ① 移動足場は、アウトサイド型枠を主桁に固定した状態で他の場所へ移動することができるため、排水管の設置、鋼桁塗装のタッチアップおよび壁高欄用張出し作業足場の組立作業に対応できる。また、床版下面の外観確認にも使用が可能である。
- ② 移動足場は支保工としての荷重を受けないため、部材断面を小さくすることができ、これは後述する軽量化にもつながる。

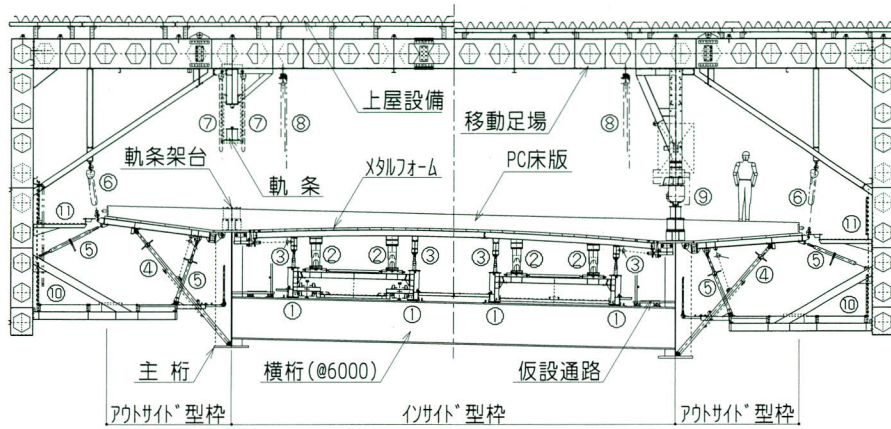
また、主桁の維持管理用吊金具(以下、鋼桁付金具という)を利用した取り付け構造としていることも、他工事で一般的に使用されている移動型枠との相違点であると思われる。

本橋では、桁間部PC床版の下面に曲線形状を採り入れているが、これについては、曲げ加工した支保工梁の上に鋼製型枠を敷設(折れ線配置)することで対処した。

(b) 施工ブロック長

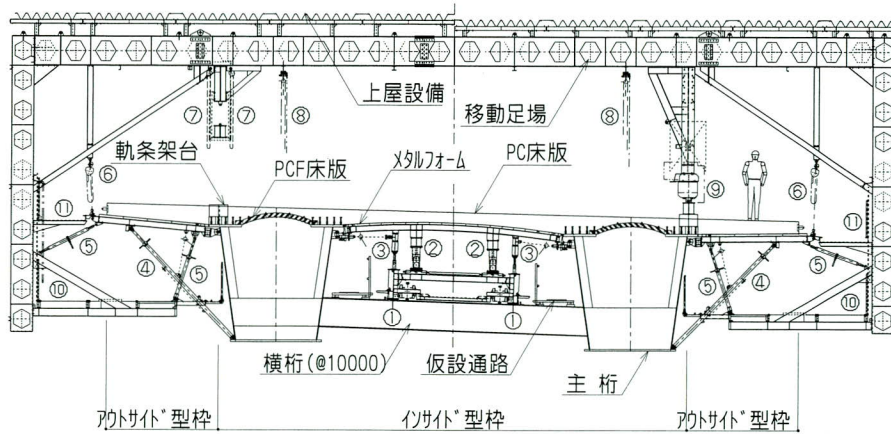
PC床版の施工ブロック長は、最大で12mとしているが、これはコンクリートの打込み作業を午前中に完了させた上で養生作業の完了を夕方までに終わらせるというタイムスケジュールを念頭に置いて設定している。なお、鋸桁PC床版の最大ブロック長12mは、コンクリート体積で約90m³、表面仕上げ面積で約200m²に相当する。

また、ブロックの打継目はPC鋼材間の中心位置となるように設定するのが望ましいので、原則として、ブロック長はPC鋼材設置間隔の整数倍となるように決定した。



- ①スライディング・ビーム
- ②シヤナル・ジャック
(型枠セット・移動時に使用)
- ③サホート・ジャック
(型枠微調整・床版施工時に使用)
- ④伸縮棒・ジャックⅠ
(型枠セット・床版施工時に使用)
- ⑤伸縮棒・ジャックⅡ
(型枠セット・移動時に使用)
- ⑥チェーン・ロックⅠ
(型枠セット時に使用)
- ⑦チェーン・ロックⅡ
(軌条吊上げ時に使用)
- ⑧キヤート・トリ
(補強材・軌条架台撤去時に使用)
- ⑨自走台車
(移動足場移動時に使用)
- ⑩下段足場
- ⑪上段足場

図-12 板桁用移動型枠



- ①スライディング・ビーム
- ②シヤナル・ジャック
(型枠セット・移動時に使用)
- ③サホート・ジャック
(型枠微調整・床版施工時に使用)
- ④伸縮棒・ジャックⅠ
(型枠セット・床版施工時に使用)
- ⑤伸縮棒・ジャックⅡ
(型枠セット・移動時に使用)
- ⑥チェーン・ロックⅠ
(型枠セット時に使用)
- ⑦チェーン・ロックⅡ
(軌条吊上げ時に使用)
- ⑧キヤート・トリ
(補強材・軌条架台撤去時に使用)
- ⑨自走台車
(移動足場移動時に使用)
- ⑩下段足場
- ⑪上段足場

図-13 箱桁用移動型枠

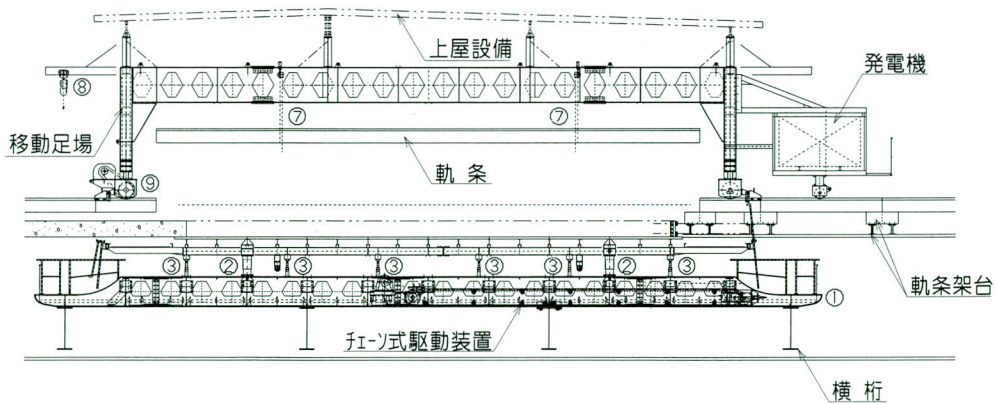


図-14 移動型枠側面図

(c) 断面決定において特に配慮した点

I) 剛性重視

本橋の桁間部PC床版は、ハンチをもたない曲線形状とされていることから、床版ブロック重量の载荷によって生じるインサイド型枠の鉛直変位に見合った型枠の上げ越し作業を行うことは困難である。また、インサイド型枠は横桁で支持されており、施工時には、横桁のたわみもインサイド型枠の鉛直変位に付加されることになる。

以上より、移動型枠の断面決定においては、施工時の過大な鉛直変位を抑制するとともに、所定の出来形を確保する目的から、部材剛性を重視した設計としており、その結果、コンクリート打込み時における型枠の最大鉛直変位は、インサイド型枠で2mm（鋸桁）、1mm（箱桁）、アウトサイド型枠で2mm（鋸桁、箱桁）となっている。

II) 軽量化

本橋のPC床版は、移動型枠によるブロック施工を前提としていることから、移動型枠とPC床版ブロックの合計重量が鋼桁上に载荷されることに伴う主桁作用によって、先行施工したブロックに引張力の作用するケースがある。したがって、移動型枠の主部材にハニカムビームを採用し、軽量化を図ることで、この主桁作用による引張力を極力、減らすこととした。

(d) 移動装置

I) 滑りシュー

インサイド型枠は、横桁上を移動するため、硬質プラスチック製のMCナイロンを滑りシューとして、横桁上フランジにボルトで固定するとともに、併せて移動時の横ズレ防止材も設置することとした。（写真-15）

なお、滑りシューに軽量のMCナイロンを使用したのは、後の人力による撤去作業の施工性および安全性に配慮したことによる。

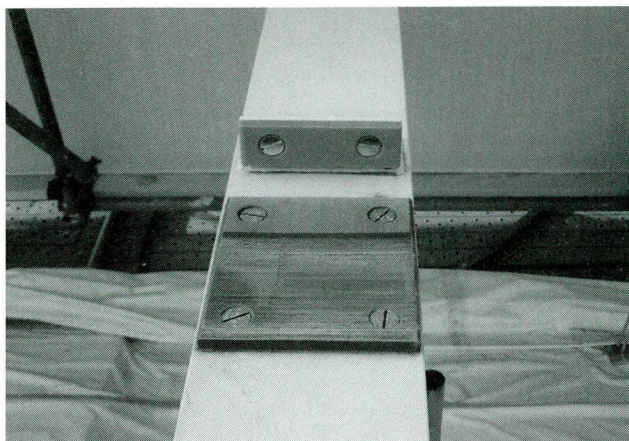


写真-15 滑りシューおよび横ズレ防止材

II) インサイド型枠

インサイド型枠の移動装置は、アンカー金具の盛り替え作業を全てスライディングビームの作業足場内で安全に効率良く施工できるように、横桁をアンカーとするチェーン駆動方式を採用することにした。また、その移動速度は逸走防止に配慮して、0.5m/minに設定した。

III) 移動足場およびアウトサイド型枠

移動足場の移動装置は、主桁上あるいはPC床版上に敷設した軌条の上を移動する自走台車方式（2WD）とし、その移動速度は、インサイド型枠同様、逸走防止に配慮して2.0m/minに設定した。

なお、アウトサイド型枠は移動足場に支持された状態で移動する。

(e) 全天候型を可能とする付帯設備

工程の短縮、コンクリートのひび割れ防止および作業環境の向上に配慮し、本橋の移動型枠は上屋設備と風防カーテンを備えた全天候型タイプとした。（写真-16）

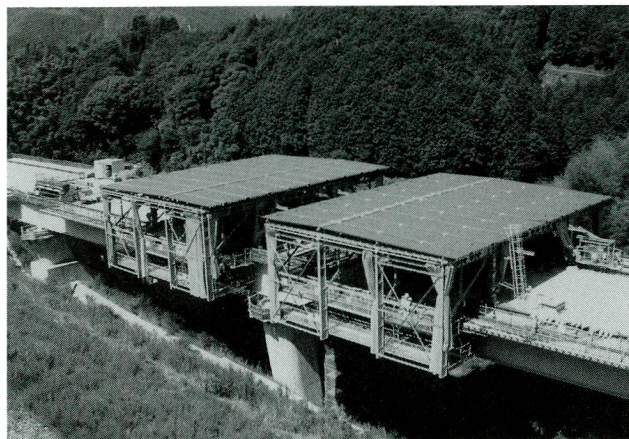


写真-16 全天候型の移動型枠

なお、これらの付帯設備には以下の効果がある。

- ①降雨や塵の型枠内への進入を防止できる。
- ②直射日光や風を遮ることで、コンクリート打込み時におけるコンクリート表面の水分の蒸発を防止できる。また、夏期においては、鋼製型枠や主桁上フランジを日陰とし、日射による温度上昇を抑えることができる。さらに、養生中においては、鋼製型枠に風を当てないことで、コンクリート表面の急激な温度低下を防止できる。
- ③作業場を日陰にすることで、夏期における作業員の熱中症防止に絶大な効果がある。

(f) 安全設備

移動型枠の安全設備として、移動足場停車時のストッパーを各車輪部に計4箇所、非常停止ボタンをインサイド型枠の前後に計2箇所、移動足場の前後左右に計8箇所設置した。(写真-17, 18)

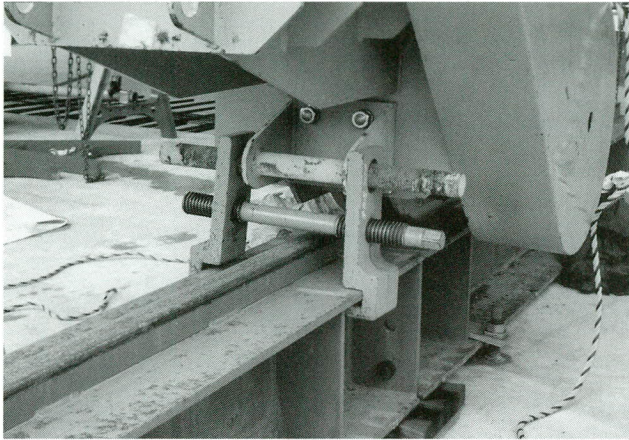


写真-17 逸走防止ストッパー



写真-18 非常停止ボタン

また、移動時にパテライト（音の出る回転灯）を作動させることで、周囲の人間に移動作業を認識させることとした。(写真-19)

2) 橋上運搬台車

資機材の荷揚げ場所から施工場所までの橋上運搬作業を効率的に行うため、橋上運搬台車を移動型枠とセット(1橋につき2基)で使用する事とした。(写真-20)

また、移動作業は移動足場の軌条設備を利用した自走台車方式(2WD)とし、安全設備は移動足場同様、停車時のストッパーと非常停止ボタンを採用した。

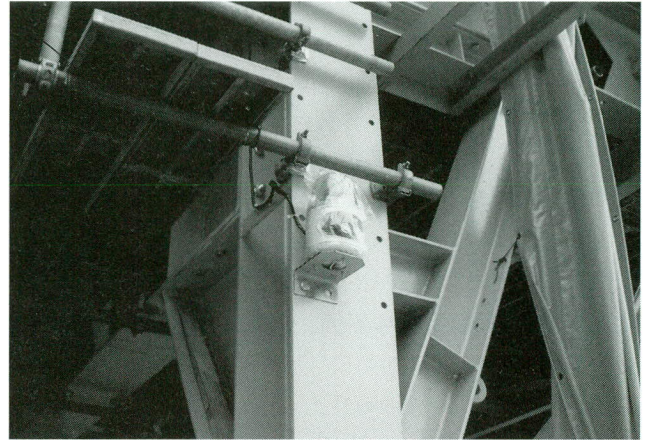


写真-19 パテライト

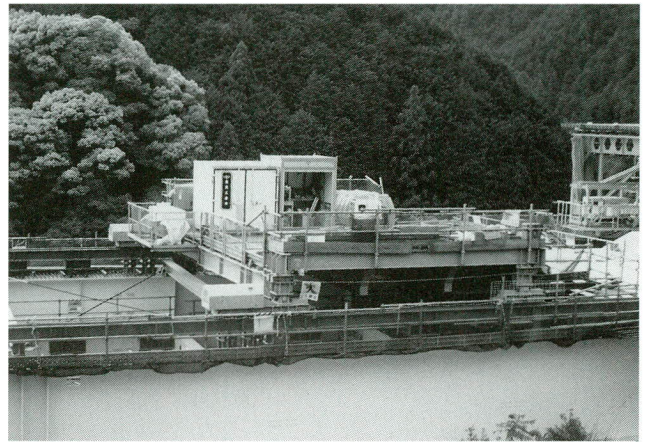


写真-20 橋上運搬台車

3) 軌条設備

移動足場および橋上運搬台車の移動作業に備え、鋼桁架設時に軌条設備を主桁上面のスタッドネジを利用し、設置した。

本橋のPC床版の施工においては、出来る限りコンクリート内に異物(架台類)を残さないことを基本方針としているため、施工ブロック上に位置する軌条設備は、移動足場より上方に吊り上げることとした。したがって、軌条梁は打継目位置で分離可能なように、部材長1.5m～3.0mの範囲の物を組み合わせて使用することとした。

支持架台は、原則として梁タイプとしたが、PC床版の打継面から橋軸方向鉄筋が突出する箇所は、パイプタイプを採用することで、鉄筋と支持架台との干渉を避けることに配慮した。(写真-21)

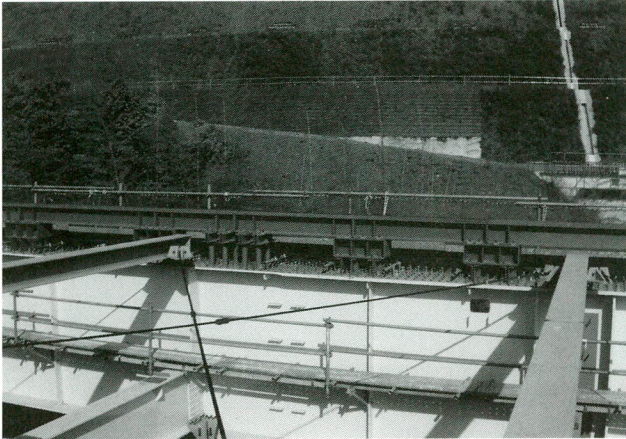


写真-21 軌条設備の支持架台

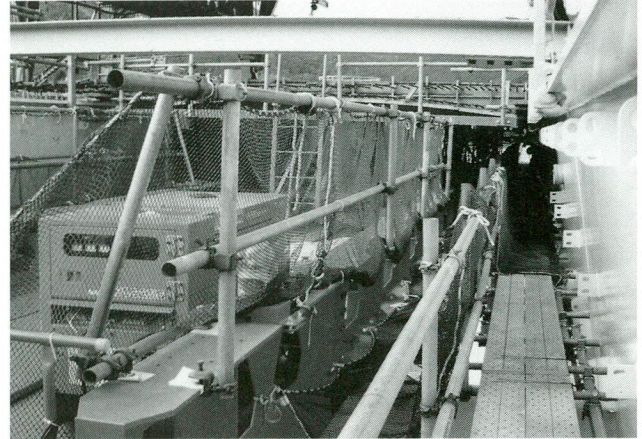


写真-23 横桁上面部の仮設通路足場

4) 仮設通路足場

鋼桁架設時およびPC床版施工時の作業通路となる仮設通路足場を主桁および横桁の上面部におのおの設置することとし、前者はPC床版のブロック施工時（施工区間のみ）、後者はPC床版のブロック施工が全て完了した後にインサイド型枠を利用して解体した。（写真-22, 23）

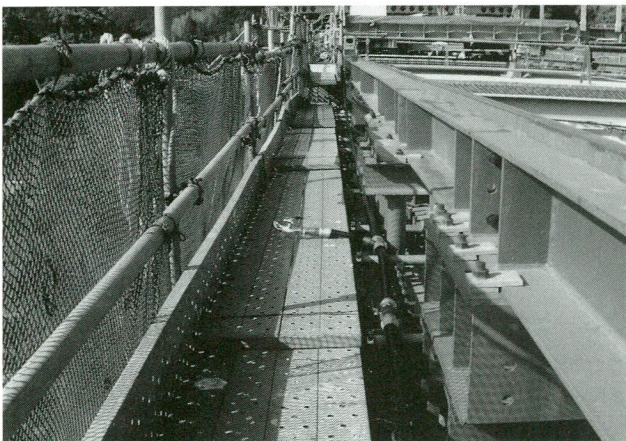


写真-22 主桁上面部の仮設通路足場

(2) ブロック割り

PC床版のブロック割りは、床版自重一括載荷による主桁の曲げモーメント図における正曲げ範囲と負曲げ範囲を最大施工ブロック長（12m）でおのおの除した後、その値を整数に切り上げて仮決定し、それに主桁上面のスタッド位置を考慮した上で決定した。さらに、箱桁PC床版のブロック割（打継目位置）については、PCF床版の橋軸方向継手位置との関係も考慮することとした。

なお、活荷重により負の最大曲げモーメントが作用する中間支点上ブロックは、打継目位置に作用する引張力を

を極力、小さくするため、ブロック長は最大施工ブロック長（12m）とした。

(3) 施工順序

本橋におけるPC床版の施工順序は、施工時は勿論、施工完了時のいずれにおいても、全ての床版ブロックに有害な引張力が発生しないような、以下に示す順序とした。鈑桁の施工ステップを図-15に示す。

①床版自重一括載荷による主桁の曲げモーメント図の正曲げ範囲（支間部）を先行施工し、その後に負曲げ範囲（支点部）の施工を行う。（写真-24）

②支間部の施工が完了し、隣接する支間部に移動型枠が移動する場合は、施工を終えたばかりのブロック上にカウンターウエイトを設置する。

これは、上記のコンクリートブロックは無応力状態（橋軸方向）にあり、この状態で支間部の施工を行った場合、このブロックには主桁作用による負の曲げモーメントにより、有害な引張力が作用することから、カウンターウエイトを載荷し、コンクリートにプレストレスを一時的に導入することで、引張力を低減させようというものである。

また、2基の移動型枠が、互いに隣接する支間部ブロックを施工する場合は、同時施工を前提条件とし、主桁作用による負の曲げモーメントをキャンセルさせることとする。（写真-25）

③全ての支間部ブロックの施工完了後、支点部の施工に着手する。本橋の支点部は3ブロックとなることから、まず、支点直上ブロックに隣接する左右2ブロックの施工を2基の移動型枠を使用して、同時に行う。（写真-26）

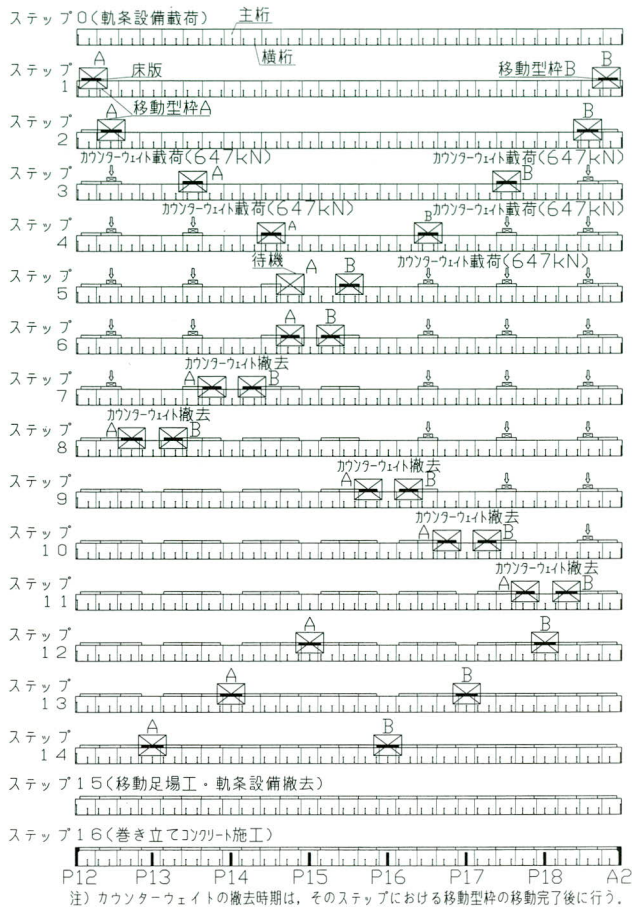


図-15 鋼桁の施工ステップ

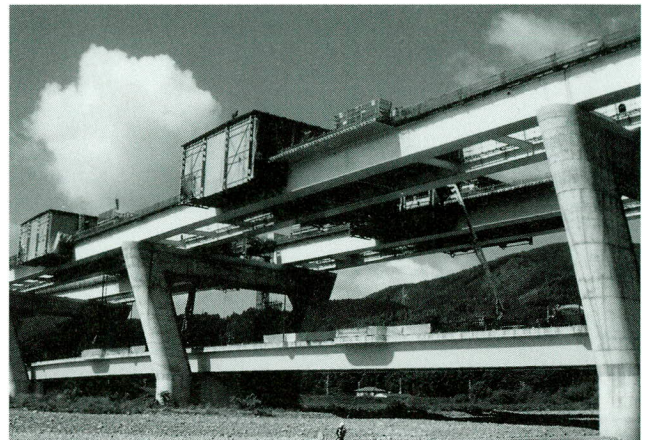


写真-25 隣接支間部の施工



写真-26 中間支点部隣接ブロックの施工

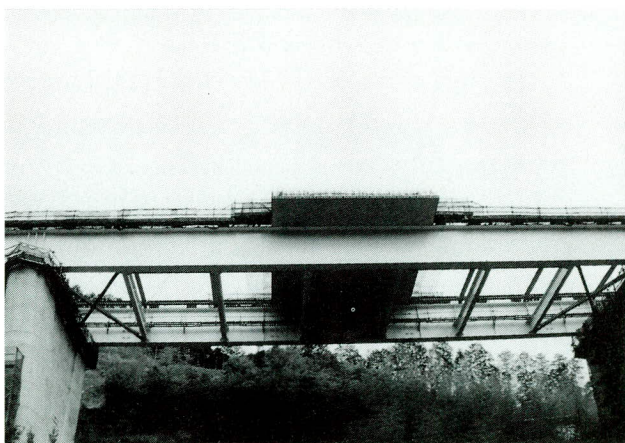


写真-24 先行施工の支間部ブロック

当初段階の検討では、この2ブロックは1ブロックづつステップを変えて施工することを計画したが、その場合、先行して施工したブロックに有害な引張力の発生が確認されたため、2基の移動型枠を用い

て同時に施工することで、コンクリートに発生する引張力をキャンセルさせることにした。

なお、カウンターウイトの撤去時期は、カウンターウイト載荷ブロックに隣接したブロックの施工に着手するタイミングとするが、これは、移動型枠(重量物)がカウンターウイトと入れ替わったと考えればよい。

④最後に支点上ブロックの施工を行い、全てのブロック施工が完了する。

なお、施工ステップの検討には専用のプログラムを使用し、各ステップにおける全てのブロックの引張応力度は 1.0N/mm^2 (許容値から水和熱による温度応力を減じ、さらに若干の余裕を見込んだ値で許容値の約50%に相当)以下に抑えることとした。

(4) 使用材料

1) コンクリート

コンクリートの設計基準強度は材齢28日で40N/mm²でしたが、本橋のサイクル工程上は、材齢3日でプレストレスを導入する計画としているため、配合設計上の目標強度は材齢3日が対象となる。したがって、セメントは強度発現の早い早強ポルトランドセメントを使用することとした。また、単位水量を減じることで耐久性の向上と温度応力を低減させ、加えてフレッシュコンクリートの良好なスランプ保持性能を確保する目的から、高性能AE減水剤（遅延型）を添加することとし、さらにコンクリート硬化時の温度ひび割れ、乾燥収縮を鋼桁が拘束することに起因するひび割れの発生を防止するため、膨張材（標準型）を収縮補償として、使用することとした。

表-3に床版コンクリートの配合表を示す。

なお、高性能AE減水剤を全ての季節で遅延型としたのは、コンクリート打込み作業時の不測の事態に対して、十分な余裕をもって対処できるように配慮したことによる。

2) PC鋼材

PC鋼材はグラウト作業を省略できるプレグラウトタイプの太径シングルストランド（1S28.6）を使用した。なお、プレグラウトPC鋼材とは、PC鋼材をポリエチレンシースで被覆し、鋼材とシースの間に常温硬化型の樹脂を注入したPC鋼材である。

PC鋼材のプレグラウト樹脂タイプは、原則として、その硬化が環境温度の影響を受けにくいとされる湿気硬化型としたが、本橋ではブロックの端部2本のPC鋼材は、打継目近傍の導入プレストレスの均等化に配慮し、後施工となる隣接ブロックのPC鋼材緊張時期に合わせてプレストレスを導入する計画としたことから、この2本に湿気硬化型の樹脂を使用した場合、PC鋼材の緊張可能日数を守れなくなる場合がある。したがって、この端部2本のPC鋼材は温度硬化型の樹脂を使用することとした。

(図-16)

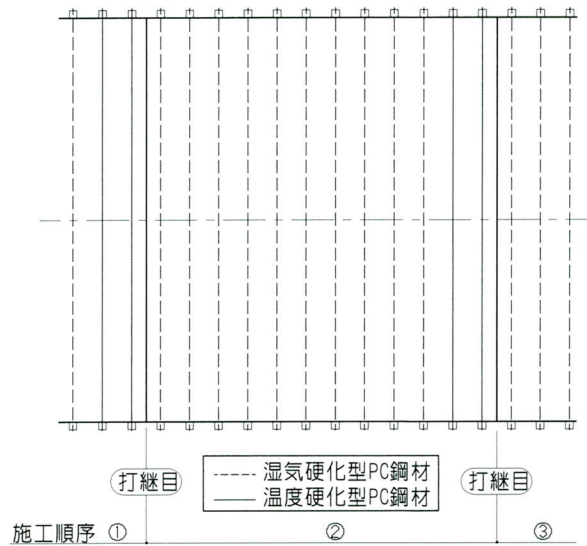


図-16 プレグラウトPC鋼材種類の使い分け

温度硬化型プレグラウトPC鋼材（緊張可能日数に応じて通常、暑中、高温、超高温の計4タイプから選定できる）の緊張可能日数は、現場で使用する季節、現場保管期間、コンクリート硬化時の温度履歴および緊張作業までの期間に受ける環境温度の影響により決定されるため、本橋では、これらの種々の条件をPC鋼材製作メーカーに与えて、理論上の緊張可能日数を算出してもらい、各施工ブロックの施工時期に配慮し、使用する樹脂のタイプを選定することとした。

なお、緊張可能日数とは樹脂が硬化するまでの期間ではなく、PC鋼材のプレストレスの計算において使用するPC鋼材とシースとの摩擦係数値を確保できる期間を示している。

(5) 移動型枠の組立および解体

移動型枠の組立・解体は、いずれも地組立を基本とし、鋼桁上での高所作業は出来る限り避けることとした。また、必要に応じて仮の形状保持材を使用した。(写真-27)

アウトサイド型枠および移動足場の解体は、基本的に

表-3 コンクリートの配合

	粗骨材の最大寸法 (mm)	荷卸し時の目標スランプ (cm)	水結合材比 W/(C+F) (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
					水 W	セメント (早強) C	膨張材 (標準型) F	結合材 P=C+F	細骨材		粗骨材 G	高性能AE減水剤 (遅延型) A
									S1	S2		
P4-2	25	14.0±2.5	43.8	44.0	160	335	30	365	697	77	999	2.738 (P×0.75%)
									774			

組立作業と逆の手順としたが、インサイド型枠およびスライディングビームは、その上面をPC床版が覆っており、クレーンによる上部からの解体作業が不可能なことから、解体作業の安全性や施工性に配慮し、PC床版上に設置したワイヤークランプジャッキ設備を用いて、インサイド型枠を横桁ごと地上へ降下することとした。(写真-28, 29) なお、降下用ワイヤロープを挿入するPC床版の貫通孔は、鉄筋組立時にシースを所定位置に固定し、コンクリートを打込むことで確保した。(写真-30)

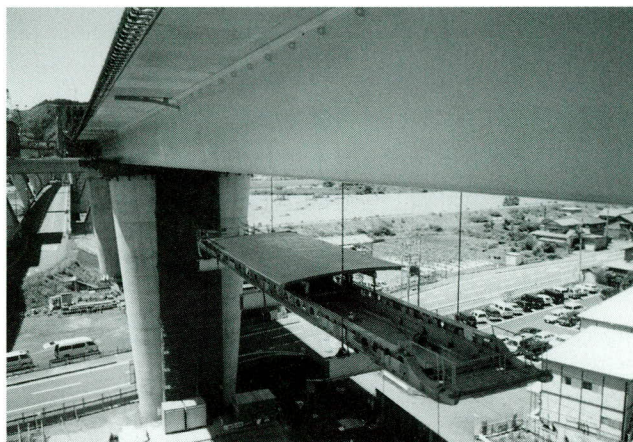


写真-29 インサイド型枠の降下



写真-27 移動型枠のブロック組立

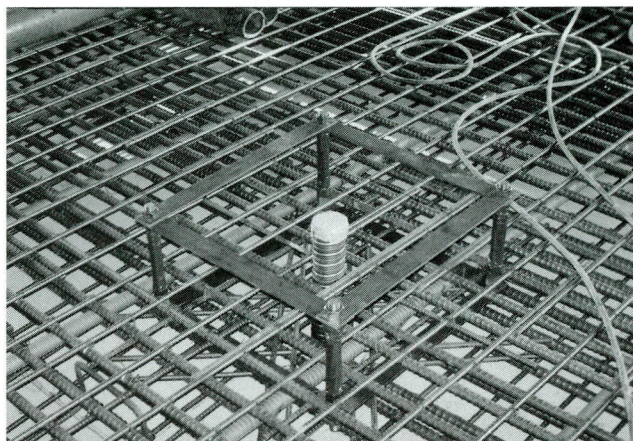


写真-30 PC床版の貫通孔用シース

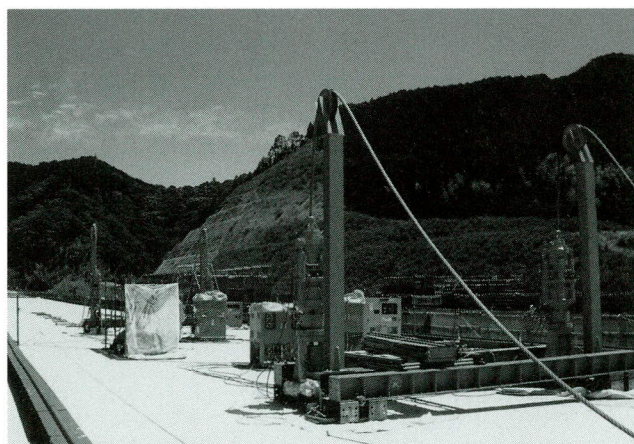


写真-28 インサイド型枠の降下設備

インサイド型枠の解体作業には上記の降下設備を採用することとした。

(6) サイクル施工

1) 型枠の移動

型枠の移動は、インサイド型枠を先行し、引き続いて移動足場・アウトサイド型枠としたが、これは桁間部の開口部を最初にインサイド型枠で塞ぐことに配慮したことによる。なお、インサイド型枠上面が全てのPC床版ブロックで覆われた状況下での移動作業においては、発電機からの排気ガスがPC床版下面部に充満する可能性があるため、送風機等の換気設備を使用した。

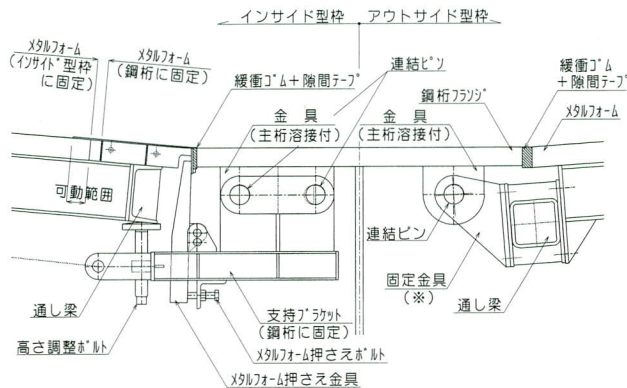
また、移動完了後には、移動足場の逸走防止のためのストッパーを軌条梁に固定した。

ここ近年、各地で盛んに建設が進められている2車線道路のPC床版鋼2主桁橋のインサイド型枠の解体作業は、最終施工となる桁端部床版ブロックを施工する前に、その上方からクレーンを用いて行い、桁端部ブロックは固定型枠支保工により施工しているのが一般的であると思われる。しかしながら、本橋の場合、床版支間（主桁間隔）および横桁間隔が広く、作業足場を含めた固定型枠支保工の組立・解体作業は容易ではない。したがって、

2) 型枠のセット

移動型枠のセットは、鋼桁付金具を利用するとともに、手動ジャッキにより行った。

移動型枠と鋼桁との取り付け構造を図-17に示す。



※：固定金具は2分割の構造とし、通し梁にはさみ込んで固定する

図-17 移動型枠と鋼桁との取り付け構造

(a) インサイド型枠のセット

インサイド型枠のセットは、ジャーナルジャッキによる高さ調整と送り台による橋軸直角方向の平面位置調整を行った後、サポートジャッキおよび鋼桁付金具に設置した支持ブラケットで支保工梁を支持することで完了する。(写真-31, 32) なお、過去に本工事で実施した実物大模型のコンクリート打込み時に主桁の面外変位（傾き）が生じたことで、フランジコバ面と型枠材との間に隙間が発生し、そこからノロが漏れたことを踏まえ、本橋のインサイド型枠では、その部分に主桁の面外変位に追従可能な鋼製型枠を採用することとした。(図-17)

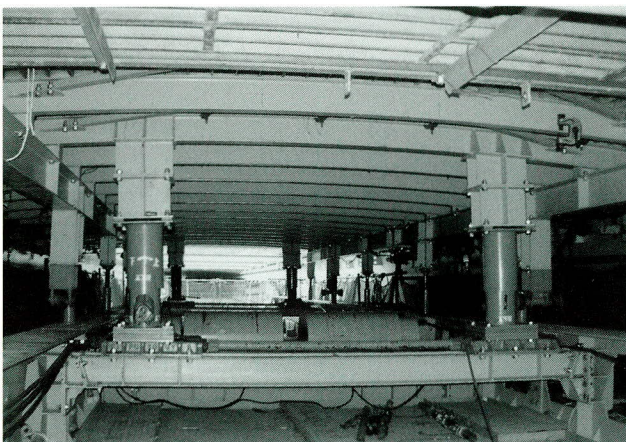


写真-31 ジャーナルジャッキと送り台

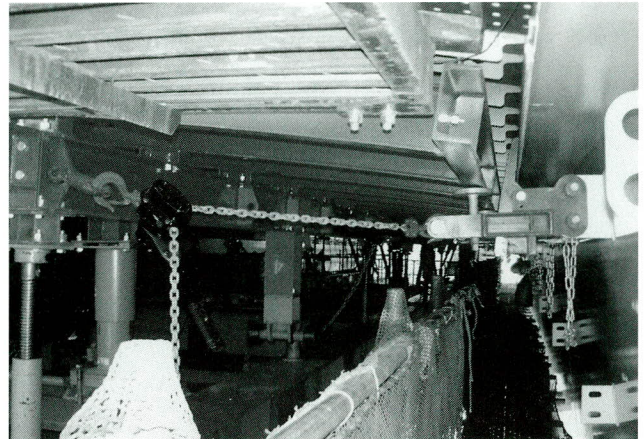


写真-32 支持ブラケット

また、前述したように、インサイド型枠の上げ越しは、型枠剛性を上げることで、その量を小さく抑えていることから、本橋では行なわないこととした。

(b) アウトサイド型枠のセット

アウトサイド型枠のセットは、鋼桁付金具に支保工梁の端部をピン連結した状態で同部材先端部を移動足場からチェンブロックで吊り上げながら、斜めサポートジャッキを伸縮、固定することで完了する。(写真-33)



写真-33 セットが完了したアウトサイド型枠

なお、鋼桁付金具の設置間隔が不規則な範囲に対応するため、アウトサイド型枠の主桁との連結金具は、橋軸方向の任意の位置に固定できるように、アウトサイド型枠の通し梁を挟み込む構造とした。(図-17, 写真-34)

型枠先端部の上げ越し量は、床版、壁高欄、遮音壁、舗装の各自重と導入プレストレスによるPC床版張出し先端部の鉛直変位に、それに伴い発生するクリープ変位の

半分を加えた値とした。なお、クリープ変位を理論値の半分としたのは、過去の経験によっている。

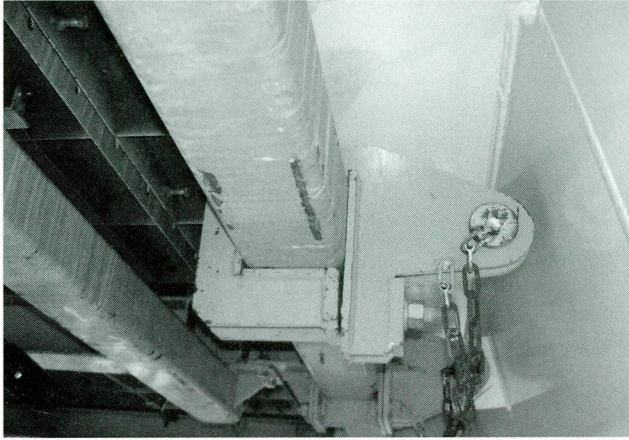


写真-34 挟み込み構造の連結金具

(c) 軌条設備の吊上げ

本橋では極力、PC床版内に異物を残さないことを基本方針としているため、鉄筋の組立に先駆けて、施工ブロック上の軌条設備を移動足場からチェンブロックで吊り上げるとともに、専用の支持金具で固定することとした。(写真-35)



写真-35 吊り上げ、固定された軌条設備

(d) 妻型枠および側型枠のセット

インサイド型枠のセット完了後、鋼製型枠上に曲線加工された木製の妻型枠と予めPC支圧板がクギで固定された木製の側型枠を固定したが、これらには打継目処理材となるフィルムタイプの非硬化材（遅延剤）を型枠加工場で予め取り付けおいた。(写真-36)

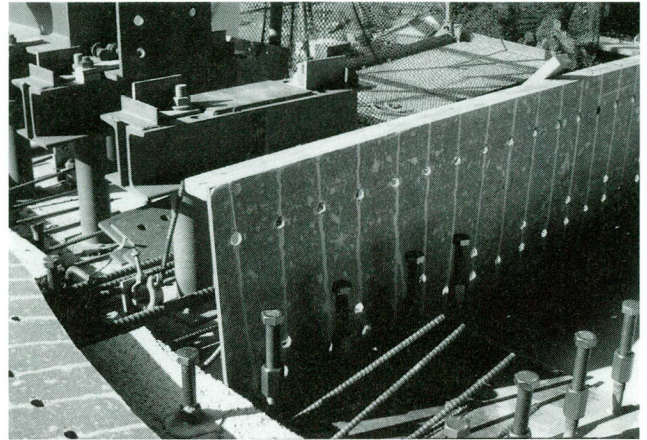


写真-36 非硬化材が取り付けられた妻型枠

3) 鉄筋・PC鋼材の組立

(a) 鉄筋の組立

下段鉄筋は、メッキ仕様の段取り鉄筋（D10）とモルタルスペーサーを用いて、所定高さに組み立てた。また、上段鉄筋は柵筋を利用して、PC鋼材の組立後に所定高さに組み立てた。(写真-37, 38)

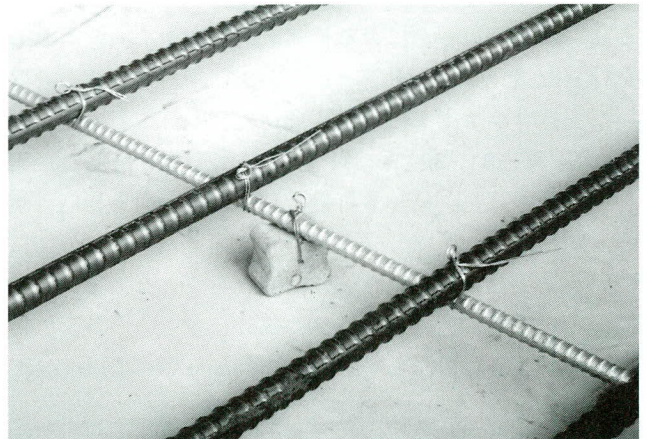


写真-37 メッキ鉄筋とモルタルスペーサー

(b) インサートアンカーの設置

FRP排水管および壁高欄の支保工梁を固定するためのインサートアンカー（本橋ではセラミックインサートアンカーを使用、写真-39）を鋼製型枠上にボルトで固定した。インサートアンカーを先行設置としたのは、本橋のPC床版の鉄筋は非常に密な配置となっており、加えて高強度のコンクリートは非常に堅いことから、コンクリート硬化後のインサートアンカーの打込み作業は極力、避けるのが望ましいと判断したことによる。ただし、インサートアンカー位置が鋼製型枠のリブと干渉するよう

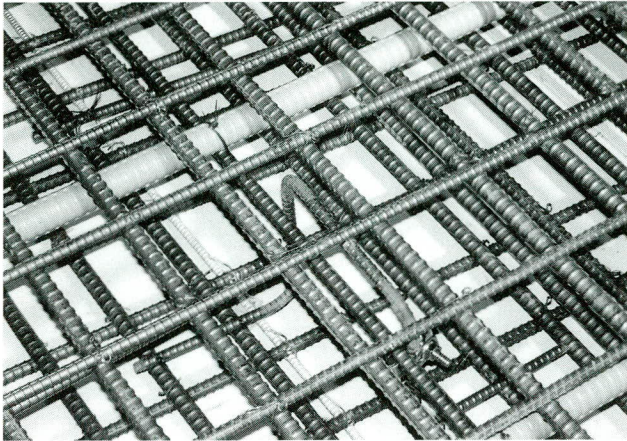


写真-38 棚筋と上段鉄筋

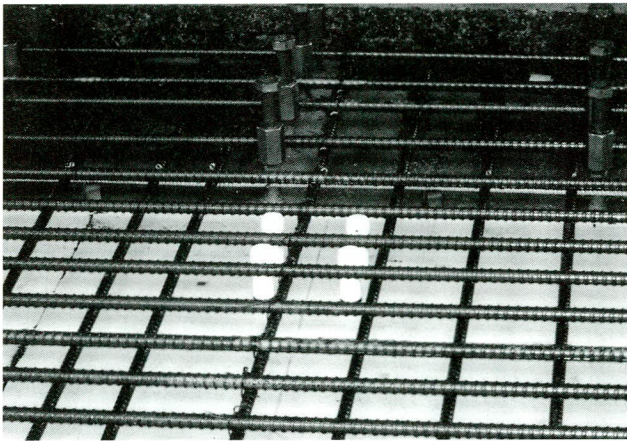


写真-39 FRP排水管用インサートアンカー

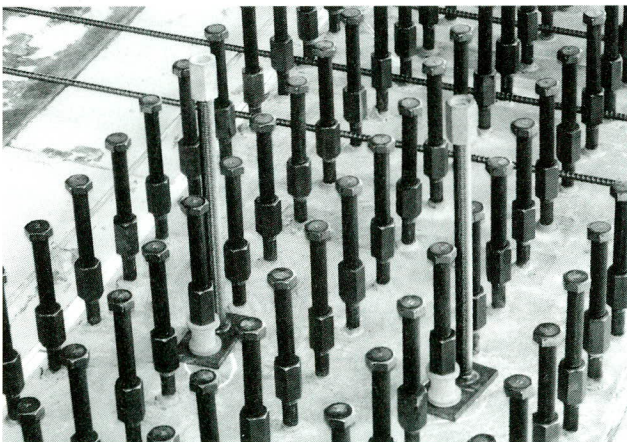


写真-40 軌条梁固定用アンカー

な場合、その取り付けはできないことから、その箇所はコンクリート硬化後の施工とした。

(c) 軌条梁固定アンカーの設置

ブロック施工完了後、移動足場より吊り上げておいた軌条梁をPC床版上に降下・固定するためのアンカーボル

トを主桁上面のスタッドネジを利用して、1ブロック当たり4箇所設置することとした。なお、アンカーボルトはカップラーで連結する構造を採用することで、コンクリート硬化後においても上部ボルト部を容易に撤去できるようにした。(写真-40)

(d) PC鋼材の組立

PC鋼材は、リング状の荷姿で製作メーカーより搬入されてくるため、その展開作業においてはPC鋼材のスプリングバックに注意を払う必要がある。したがって、本橋では専用の展開装置を使用し、PC鋼材の展開作業を行うこととした。(写真-41)

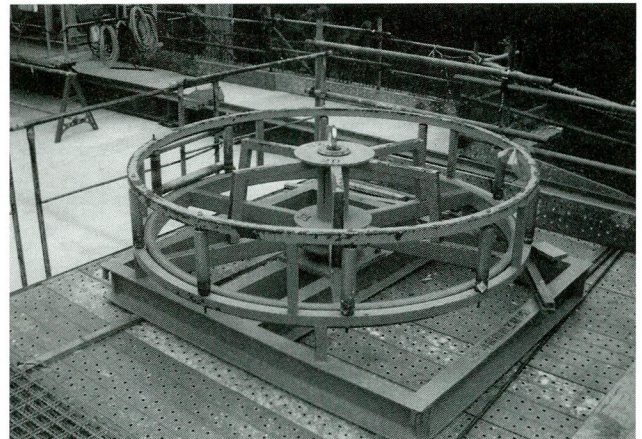


写真-41 PC鋼材の展開装置

PC鋼材の組立は、棚筋に固定した機械式のグリップ金具を利用して、所定高さに組み立てた。(写真-38)

4) コンクリートの打込み、締固めおよび仕上げ

(a) 作業足場の組立

コンクリートの打込み作業を安全に効率良く行うため、妻型枠に沿って作業足場を組み立てるとともに、PC床版上から移動足場に移動するための乗り越え設備を設置した。(写真-42)

(b) 型枠内の清掃

コンクリートの打込み作業に先駆けて、型枠内に落ちている結束線、木片類を手で拾い上げるとともに、高压エアを用いて集めた砂や塵を掃除機で入念に除去した。特にPC支圧板近傍は鉄筋が密に配置されていることから、入念に確認作業を行った。

(c) 打込み

コンクリートの打込み方向は、型枠支保工の鉛直変位に伴う打継目部の沈下ひび割れを防止するため、打継目

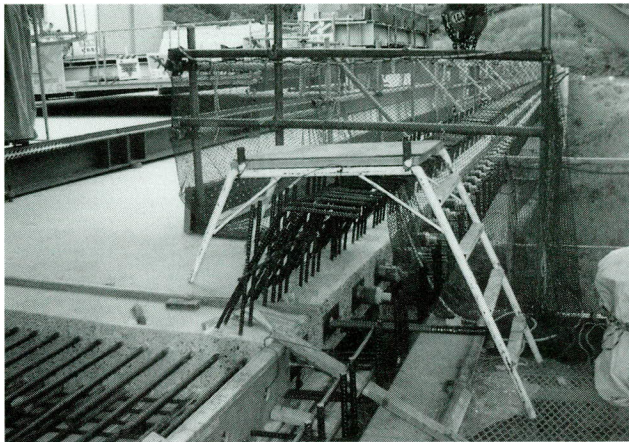


写真-42 乗り越え設備

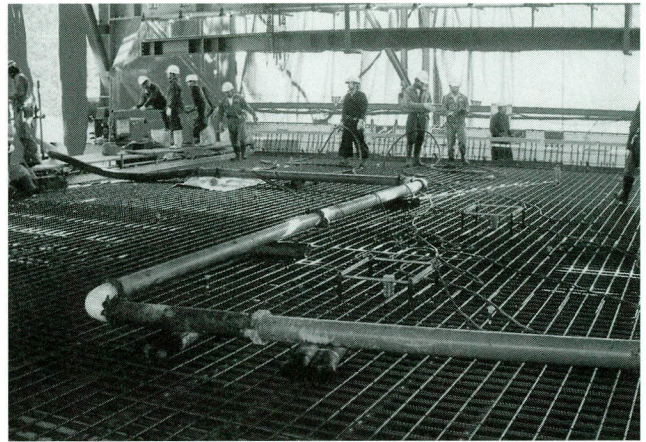


写真-43 橋面配管

側を最終施工とする橋軸直角方向の片押しを標準としたが、ポンプ車の据付け位置や橋面配管条件等の制約から、この打込みが困難な場合は橋軸方向の片押しとした。(図-18, 写真-43, 44)

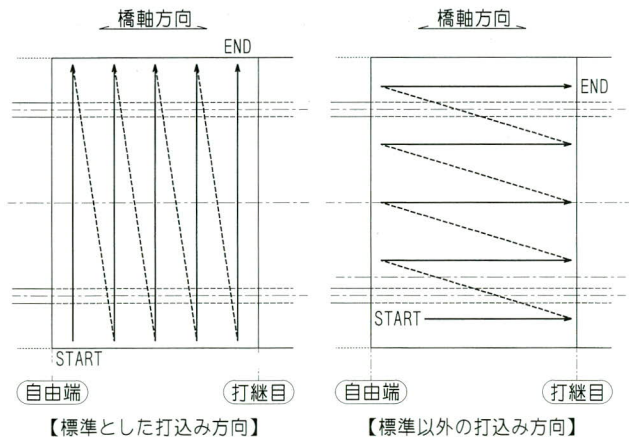


図-18 コンクリートの打込み方向

なお、アジテータの現場到着時間は、品質管理試験に絡む1台目から6台目までは1時間あたり6台、その後については1時間あたり7台の間隔とした。品質の高いコンクリートを現場で受け入れるために、スランプや空気量の品質管理試験は、現場荷卸し時に加えてプラント出荷時でも行い、必要に応じてポンプ筒先でも実施することとした。

なお、目標スランプは事前に実施した実機試験結果より、現場荷卸し時で14.0cmとした。(写真-45)

晴れや曇りの日は、直射日光や風によるコンクリート表面の水分の蒸発を防ぎ、また雨の日は、雨水の進入を



写真-44 コンクリートの打込み

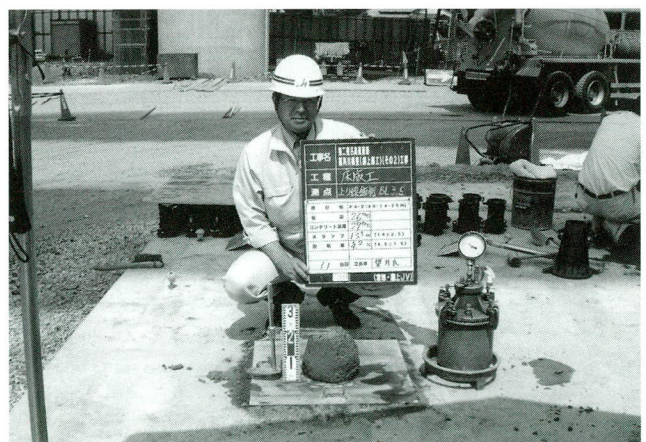


写真-45 荷卸し時のコンクリート性状

防止する目的から、コンクリートの打込み前に移動足場に設置した風防カーテンでPC床版ブロックの周りを囲うこととした。(写真-46)

壁高欄打継面の処理(レイタンス処理)のために散布した凝結遅延剤が、PC床版上部部に流れてこないように、

メッキ板（0.3mm厚）をコンクリート表面に押し込み固定した。これはまた、雨の日に橋面上を流れてくる雨水を地上へ落とさない止水板の役割も果たしている。（写真-47）

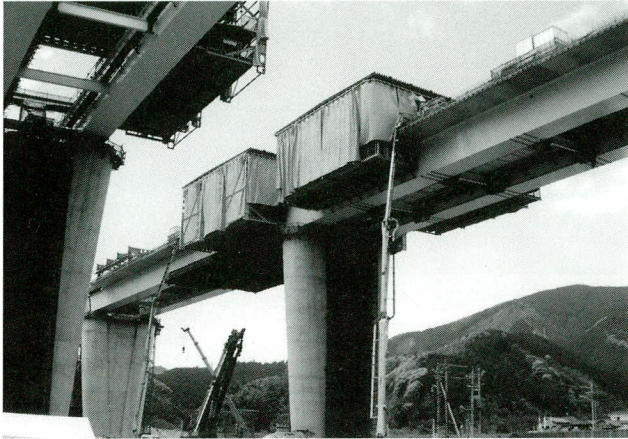


写真-46 風防カーテン

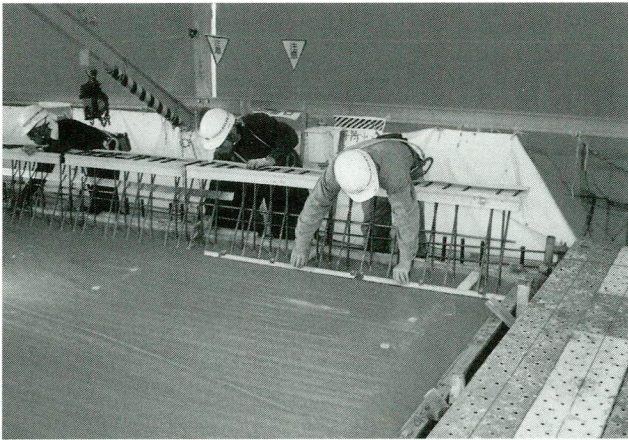


写真-47 メッキ板の設置

また、後に施工する壁高欄の型枠支保工材や橋面の安全手摺りを設置するためのインサートアンカーの床版上面への埋め込み作業も併せて実施した。

(d) 締固め

コンクリートの締固めは、計4台の高周波バイブレータを用いて入念に行い、内2台は先行締固め、残りの2台は後追い（仕上げ）施工とした。なお、PC支圧板近傍は鉄筋が密に入り組んでいることから、上記4台のバイブレータとは別に細径のバイブレーターを使用し、締固めを行うこととした。

(e) 仕上げ

コンクリートの締固めに引き続いて、トンボによる荒仕上げを行った後、コンクリートが沈降して十分落ち着き、ブリージング水が出てきてから乾燥するまでの間にトロウエル（エンジン式コテ均し機）や金ゴテで2次仕上げを行い、床版厚は、棚筋に溶接した検測棒により管理した。（写真-48, 49）なお、最終仕上げ面を金ゴテ仕上げとしたのは、後の施工となる防水層との付着性能を満足させるためである。



写真-48 トロウエルによる表面仕上げ

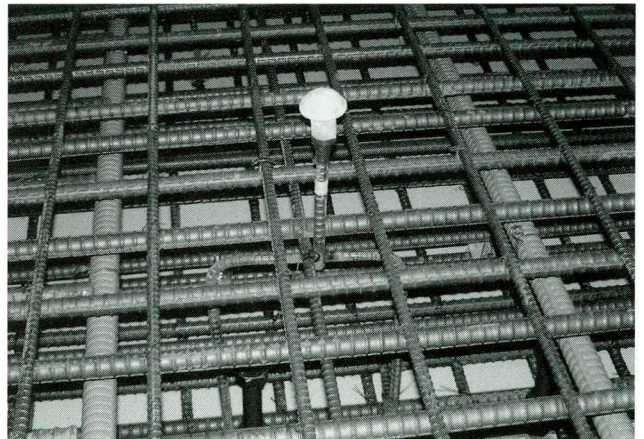


写真-49 床版厚検測棒

また、コンクリートの初期材齢における保湿保水効果を高め、セメントの水和反応を最適環境下で進行させるとともに、仕上げ作業効率を高める目的で、仕上げ補助剤を兼ねた養生剤をジョウロを使用し、荒均し時と2次仕上げ時に散布した。

5) 養生

コンクリートの打込みから硬化までの間、床版表面と床版内部の温度差を極力、小さくするとともに、緩やか

にコンクリート温度を低下させることが温度応力への対処として非常に重要となることから、本橋では図-19に示す養生を実施することとした。(写真-50, 51)

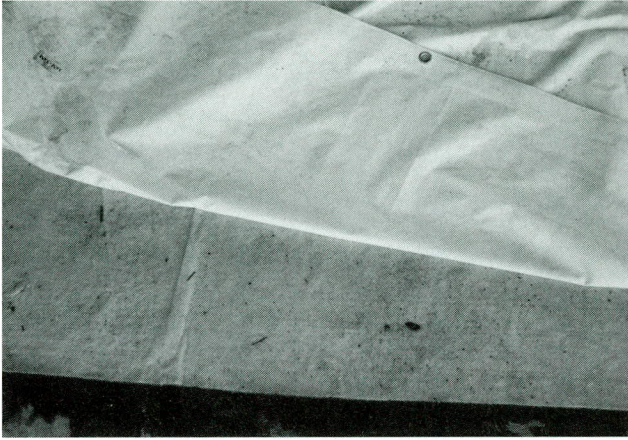


写真-50 養生マット、保湿シートによる養生

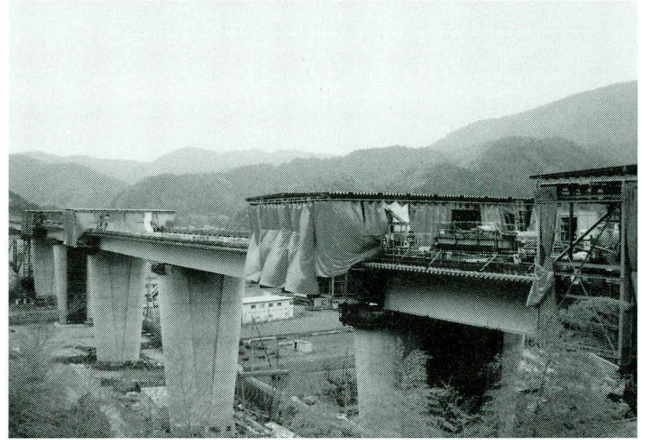


写真-51 防風カーテンによる養生

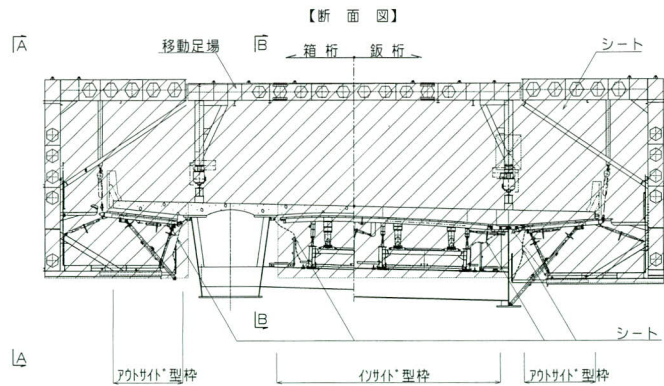
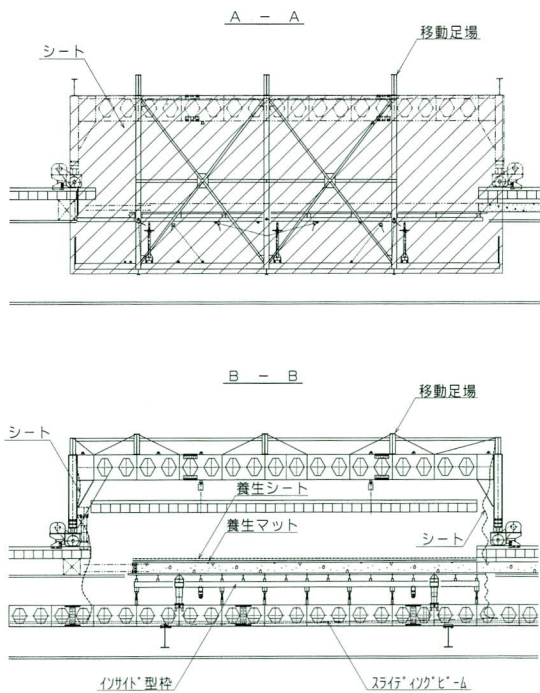
なお、ジェットヒータによる給温養生は、打込み日から翌朝にかけての予想最低気温が5℃を下回る場合、風防カーテン内において実施することとした。また、冬期に限らず夏期においても型枠下面部を風防カーテンやシートで覆ったのは、風による鋼製型枠裏面の急冷に伴うコンクリート表面の急激な温度低下を避けるためである。

養生水は地上から橋脚を介し、主桁上に敷設した給水管より供給した。

6) 打継目の処理

コンクリートの打込み作業の翌日に、風防カーテン内で妻型枠および側型枠の撤去を行うとともに、ハイウォッシャーによる打継目処理を行った。(写真-52)

なお、使用するハイウォッシャー水量は多量であり、主桁上に敷設した給水管からの直接供給では作業を継続することができないことから、打継目処理に先駆け、給



【コンクリート養生要領】	標準期			備考
	標準期	夏期	冬期	
①被覆養生	○	○	○	仕上げ補助剤兼被覆養生剤を使用する。
②養生マット	○	○	○	養生期間は最低3日とする。
③養生シート	○	○	○	養生マットの上から保湿シートで覆う。
④散水養生	○	○	×	冬期は凍結の恐れがあるために行わない。
⑤移動足場による養生	×	○	×	冬期：日射、風および寒気の侵入を防止。その他：日射、風の侵入を防止し、夏期は水和熱の放出を妨げない。
⑥給温養生	×	×	○	ジェットヒータあるいは温風機により給温する。コンクリート温度の急激な降下を防止するため、冬期のみ給温養生を行う。

注) 養生シートは移動足場を利用して、その前後・側面に設置する。

図-19 コンクリートの養生要領

水管の水で満杯とした水タンク（写真-53）を使用することとした。

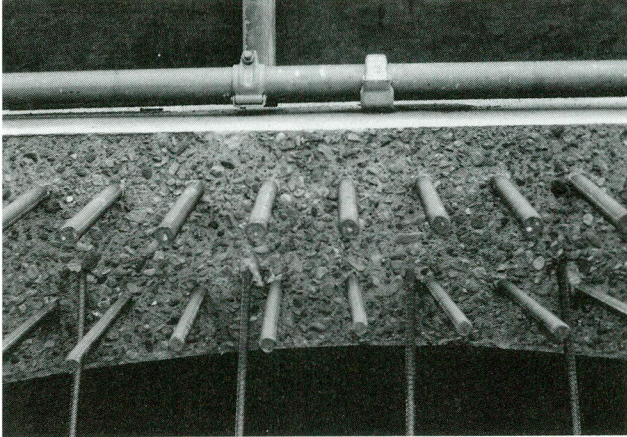


写真-52 打継目処理

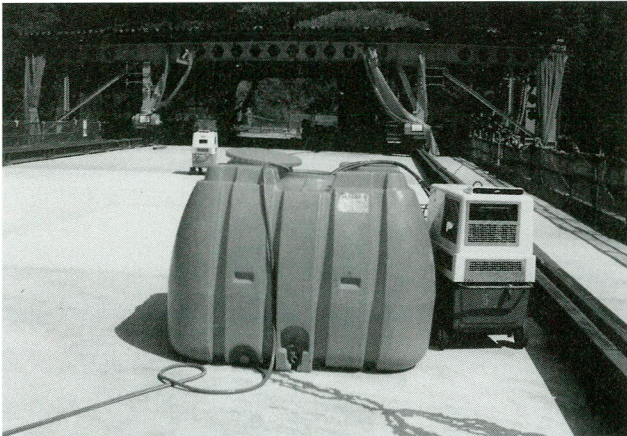


写真-53 打継目処理用の水タンク

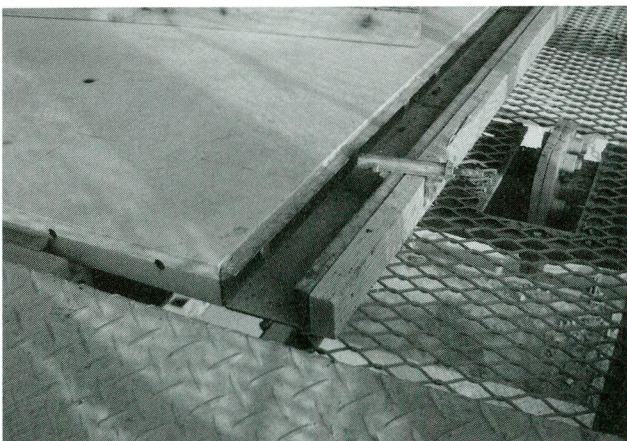


写真-54 鋼製型枠に設置した排水樋

打継目処理により発生する多量の水は、鋼製型枠コバ面部の孔を利用して取り付けした排水樋（軽量溝形鋼）により、集水することを試みたが、全ての水を集水することはできなかった。（写真-54）

なお、作業終了後、コンクリート処理面にフィルムタイプの非硬化材が残っていると、その部分のコンクリートの品質に問題が残ることから、入念に打継面を確認することとした。

7) PC鋼材の緊張

(a) 形状保持材連結ボルトの緩め

架設時および床版コンクリート打込み時、主桁のねじれや面外方向の倒れを防止する目的で設置した鋼桁の形状保持材は、プレストレスの導入を妨げる恐れがあるため、施工ブロック直下の箱桁内、あるいはそれに隣接した形状保持材の連結ボルトは、プレストレス導入前に緩めることとした。

(b) シースの除去

緊張作業に先駆けて、ポリエチレンシースを除去し、PC鋼材に付着している樹脂をアセトンとウエスを用いて取り除いた。

(c) 緊張

3日材齢のコンクリート供試体（現場養生）の圧縮強度が 32.5N/mm^2 以上であることを確認した上で、PC鋼材に緊張力を導入した。

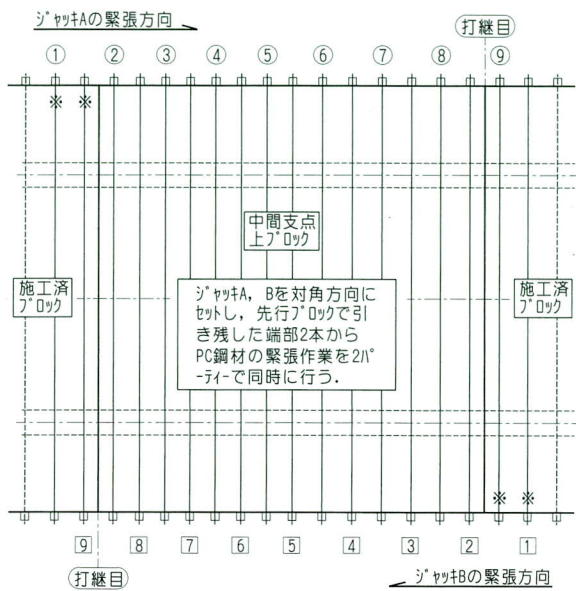
PC鋼材1本当たりの導入緊張力は、設計値（ 652.7KN ）にジャッキの内部摩擦による損失（2%）を考慮し、 665.8KN とした。これより、PC床版橋軸方向1m当たりの導入プレストレスは、鉸桁で 1548.4KN 、箱桁で 1331.6KN となった。

PC鋼材の緊張順序は、打継目に橋軸直角方向の引張力を発生させないように、先行施工ブロック側の端部2本残し部から後施工ブロックの自由端に向かい、1本飛ばしの交互緊張とした。また、ブロック両端部が打継目となる中間支点上ブロックは、2台の緊張ジャッキによる同時緊張を行うことで、打継目に引張力が発生しないように配慮した。（図-20）

(d) 切断部の養生

緊張作業完了後、グラインダーカッター（樹脂が可燃性のため、ガス切断は避けることとした）を用いてPC鋼材余長部の切断を行った。

定着具の保護および樹脂の漏れ出し防止のため、定着具前面部を含めたPC鋼材切断部にエポキシ樹脂を充填したグリップキャップを木槌等で打ち込むとともに、ビニ



注) ※は端部2本残りPC鋼材を示す。

図-20 中間支点上ブロックのPC鋼材緊張要領

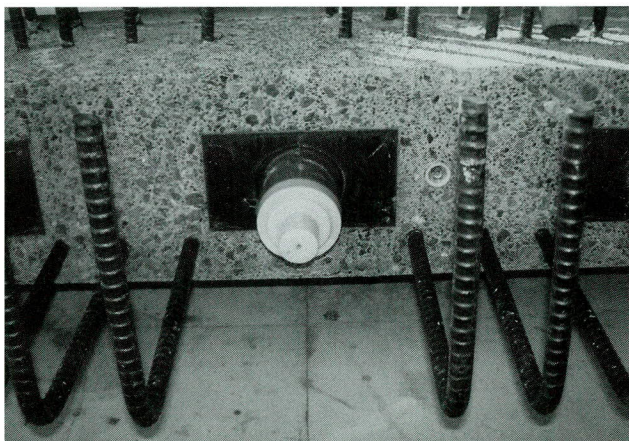


写真-55 PC鋼材切断部の養生

ールテープで固定した。(写真-55)

なお、エポキシ樹脂の充填に先駆けて、グリップキャップ先端部にキリで穴をあけることで、エポキシ樹脂充填部に空気が残らないようにした。

8) 型枠降下および下面仕上げ

PC鋼材緊張完了後、主桁フランジコバ面と鋼製型枠との間にノロの巻き込みが無いことを確認した上で、手動ジャッキを緩め、型枠を降下した。

PC床版下面の仕上げ作業は、インサイド型枠を移動させながら皮スキや紙ヤスリを使用して行った。

また、壁高欄の施工に着手するまでの水切り処置とし

て、張り出し床版先端部下面に水切りテープを貼り付けることとした。(写真-56)

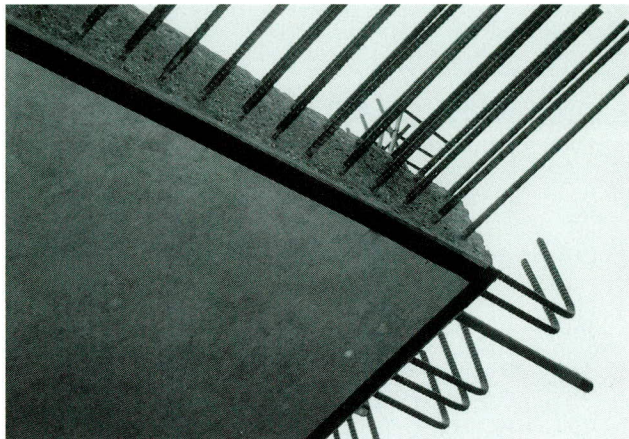


写真-56 水切りテープ

9) 移動前の準備

(a) PC床版上安全設備の組立

コンクリート打込み時にPC床版上面に埋め込んだインサートアンカーを利用して、ブロック周りに墜落防止のための安全設備を組み立てた。

(b) 軌条梁の降下、固定

PC鋼材緊張完了後、移動足場より吊り上げた軌条梁をPC床版上に降下するとともに、鉄筋組立時に主桁上フランジに設置しておいたアンカーボルトを利用し、軌条梁を金具で固定した。

また、軌条梁の支持材には木製キャンバーを使用した。(写真-57)

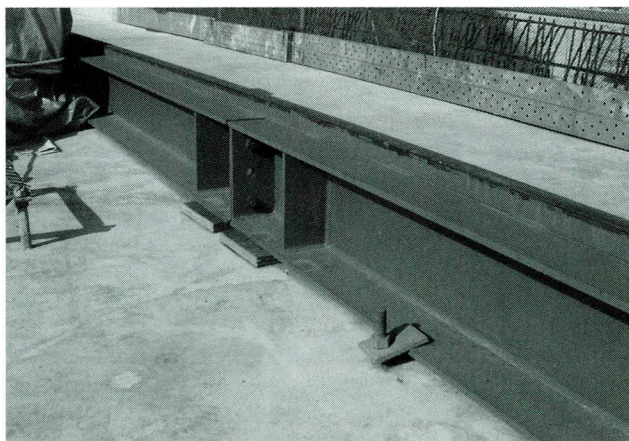


写真-57 軌条梁の固定

(7) サイクル施工

PC床版の1サイクルに要した平均日数（ネット）は、
 鈎桁PC床版で11日、箱桁PC床版で10日であり、休日等
 による稼働率を考慮した平均日数（グロス）は概ね13日
 前後であった。なお、鈎桁が箱桁より1日長くなってい
 るのは、組立鉄筋量の違いによる。

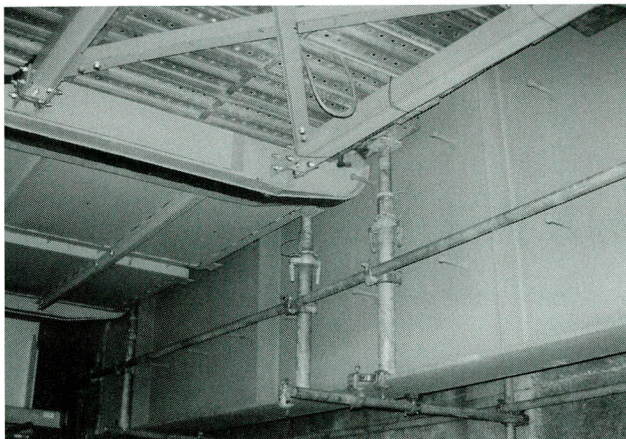
(8) カウンターウエイトの施工

施工途中において、床版ブロックに有害な引張力が発
 生しないように、必要に応じてテンポラリーなカウンタ
 ーウエイト（本工事では鉄板を使用）の設置および撤去
 作業をクレーンにより行った。（写真—58）

作業ヤードの関係より、クレーンで直接、カウンタ
 ーウエイトを設置できない場合は、移動足場の軌条設備
 を利用したカウンターウエイト台車を使用することとし
 た。



写真—58 カウンターウエイトの設置



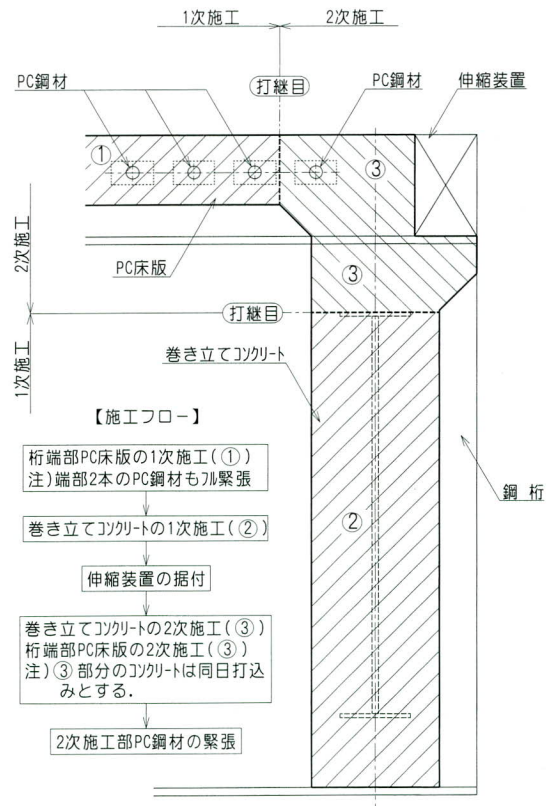
写真—59 パイプサポートによる支持

(9) 桁端部ブロックの施工

桁端部ブロックの片側には端支点上横桁が位置し、ス
 ライディングビーム先端部を横桁上フランジで支持する
 ことができないため、横桁下フランジからパイプサポ
 ートを立ち上げ、支持することとした。（写真—59）

また、中間支点上ブロックに隣接した2ブロックを2基
 の移動型枠で施工する場合も2基のスライディングビ
 ーム先端部が中間支点上横桁の上で干渉するため、橋脚上
 からパイプサポートを立ち上げ、支持することとした。

桁端部ブロックと巻き立てコンクリートは一体化する
 構造であり、施工性を優先すれば、巻き立てコンクリ
 ートを先行し、その後PC床版を施工するのが望ましい。し
 かしながら、巻き立てコンクリートで主桁間が固定され
 た状態ではPC床版へのプレストレスの導入が拘束される
 ため、その施工順序は図—21に示すとおりとした。なお、
 端横桁の連結ボルトは架設時に仮締めしておき、プレ
 ストレス導入後、本締めすることで導入プレストレスを拘
 束しないようにした。



図—21 桁端部ブロック施工要領

(10) 雨天時の対策

本橋の移動型枠は全天候型であり、雨天時の作業は可能としているが、実際に雨天時の施工を経験した中で、以下の点に注意する必要があることがわかった。

- ①コンクリート打込み日が雨天と想定される場合は、その前日より移動足場に設置した風防カーテンを閉め、型枠内に雨水が溜まらないようにする。
- ②雨水は、鋼桁縦断勾配の高い方から主桁フランジ上あるいはPC床版上を介して型枠内に流れ込んでくるため、予め木材等の止水材を鋼桁あるいはPC床版上に設置しておく。(写真-60)
- ③コンクリート打込み時に上屋から雨漏りが無いように、上屋設備組立時に部材間に隙間がないか確認し、必要に応じてシーリングを行っておく。
また、雨天が予想される場合は、予めテントを用意しておき、コンクリートの受け入れ検査やポンプ車のコンクリート投入部に、それを設置することでコンクリートに雨水がかからないようにする。(写真-61)

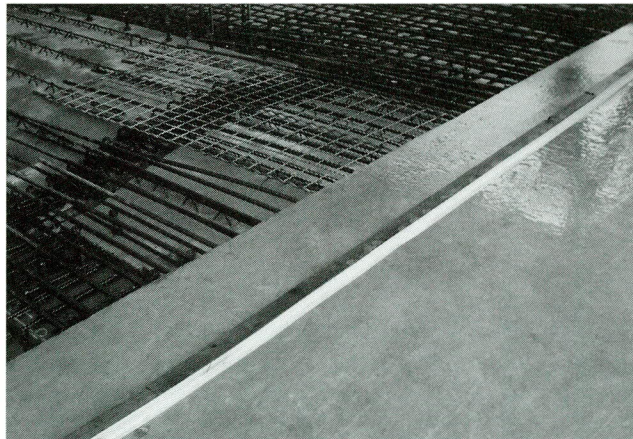


写真-60 PC床版上に設置した止水材

(11) 橋面の出来形

前述したように、本橋のPC床版にはハンチが存在せず、ハンチ厚調整による橋面の高さ補正ができないため、鋼桁製作キャンパーは、PC床版の施工ステップを反映した解析結果を基に決定するとともに、鋼桁の組立精度を厳しく制限した。また、床版厚の出来形はマイナスを許さないことから、支承は許容値下限近傍で据え付けることとした。さらに、PC床版施工前の鋼桁キャンパー実測値を基にPC床版ブロックの施工厚（設計厚+5mm~10mm



写真-61 テントによるコンクリート養生

程度)を決定し、コンクリートの打込みを行うとともに、施工途中段階における鋼桁の変位測量を実施し、鋼桁の挙動を確認することとした。その甲斐あって、橋面の仕上がり高さは許容値±25mmに対して、概ね-10mm程度となっており、目標とした出来形精度を十分満足する結果となった。

6. あとがき

薬科川橋のPC床版は、平成10年5月に組織された大阪大学大学院の松井繁之教授を委員長とする「長支間場所打ちPC床版の設計・施工に関する技術検討委員会」の計10回の審議を受けるとともに、平成11年に本工事で製作した実物大模型や(社)日本橋梁建設協会と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会が平成13年に合同で製作した実物大模型による各種実験の成果を十分に採り入れた上で、平成13年10月より施工に着手した。平成15年1月現在、7径間連続鋼2主桁橋1連と4径間連続鋼2主開断面箱桁橋3連の計4橋の施工が完了しているが、4橋の何れにおいても、有害と考えられるひび割れは皆無であり、良好な外観を呈している。また、ハンチがないことに起因する橋面の出来形確保の問題も鋼桁組立精度の制限等により、解決されたといえよう。

以上より、薬科川橋で採用した各種の施工方法は妥当なものと考えられ、本橋は長支間場所打ちPC床版鋼2主桁橋建設の礎を十分に築いたものと確信しているが、その一方で、以下の課題を残しており、今後の工事に向けて取り組んでいきたいと考えている。

①箱桁内の汚れ

箱桁は開断面形式であり、現場搬入時から雨水や砂塵が箱桁内に進入し、ウェブ下端部を含む下フランジ部の塗装面を汚すことが判明したため、塗装面の保護を目的にシートを下フランジ部に設置したが、かえって雨水がその下に溜まってしまい、錆を誘う悪い結果を招いてしまった。そこで、この部分の清掃は主桁の現場溶接完了後に行うこととしたが、その後の雨水等の進入を防止する有効な方策を見出せなかったのが実情である。なお、この汚れは、水洗い等で簡単に落ちるものではなく、清掃に加えて化粧塗装を必要とするものと考えられることから、今後は箱桁内の汚れが見込まれる下フランジとウェブ下端部の塗装の内、例えば上塗りを化粧塗装を兼ねた現場塗装とすることで、この汚れに対処したらどうかと考えている。

②移動型枠の排水設備

コンクリート打込み後の養生や翌日の打継目処理作業においては大量の水を使用し、その排水処理として鋼製型枠のコバ面に設置した排水樋を使用した。が、前述したように、これは完全な排水装置として機能しなかったため、施工直下に公道が位置するブロックにおいては、水の使用を断念せざる得ない状況に追い込まれ、施工効率の著しい低下を招く結果となった。したがって、水を下に落とせない都市部での移動型枠によるPC床版の施工に十分対応可能な排水設備の検討が必要である。

③インサイド型枠の解体

本橋のインサイド型枠は、PC床版上に設置した降下設備により、横桁ごと地上に降下させる工法を採用したが、これは横桁連結ボルトの取り外しや横桁の復旧に伴うボルトの再締付および添接部の塗装といった作業を高所作業車等により行う必要があり、施工面やコスト面から課題が残る。したがって、桁高の高い端支点上横桁をインサイド型枠が通過できる構造に変更し、PC床版施工完了後に隣接橋梁部へ簡単に移動できるようにすれば、その解体作業はクレーンを使用した一般的な工法を適用できるものと考えられ、さらに下部工施工時に橋台背面部を2次施工とすることにより、PC床版施工完了後、移動型枠を橋台後方部へ引き出した後の解体が可能となり、これは経済性、施工性および安全性で非常に優れた解体工法と言える。したがって、今後は移動

型枠の解体を考慮した下部工施工計画の立案を望む次第である。また、端支点上横桁構造の改造により、インサイド型枠が容易に同工区あるいは他工区の隣接橋梁部へ移動できるようになれば、転用期間の大幅な短縮が見込まれ、これによるコスト縮減効果は絶大なものと思われる。

最後に、藁科川橋の施工を進めるにあたり、ご指導ご協力をいただいた日本道路公団静岡建設局、同静岡工事事務所、高速道路技術センター「長支間場所打ちPC床版の設計・施工に関する技術検討委員会」、(社)日本橋梁建設協会、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会の関係各位に誌面を借りて、厚く御礼を申し上げますとともに、本報告が、今後の同種橋梁の建設の一助になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 本間淳史, 長谷俊彦, 榊原和成, 中村和己, 上原正, 河西龍彦: 長支間場所打ちPC床版の設計と施工—第二東名高速道路藁科川橋—, 橋梁と基礎, pp. 2~10, 2002. 10
- 2) 寺田典生, 福永靖雄, 本間淳史, 會澤信一, 高瀬和男, 福田長司郎: 長支間場所打ちPC床版における温度応力に関する考察, 橋梁と基礎, pp.36~45, 2002.9
- 3) 河西龍彦, 本間淳史, 上原正, 松井繁之: 鋼2主桁橋長支間場所打ちPC床版の合理的施工法に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 2002. 11
- 4) 猪熊康夫, 本間淳史, 丸山勝, 河西龍彦: 長支間場所打ちPC床版の設計と施工計画 (第二東名高速道路藁科川橋), 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 1~6, 2000. 10
- 5) 河西龍彦, 生駒元, 上原正: 第二東名高速道路藁科川橋における鋼桁の設計, 宮地技報No.18, pp. 4~17
- 6) 大垣賀津雄, 八部順一, 中蘭昭広, 中村元, 長井正嗣: PC床版連続合成2主桁橋の合理的設計・施工法, 土木学会論文集, No679/VI-51, pp. 65~80, 2001. 6
- 7) 馬場敦美, 福岡一幸, 森隆行, 伊藤聡哉: PC床版連続合成2主桁橋「千鳥沢の川橋」の施工, 橋梁と基礎, pp. 2~8, 1998. 10