

平面曲線を有する 3径間連続P R C斜版橋の施工について

大郷貴之¹・東隆介¹・大岡隆²・宇津木一弘²・福田一郎²

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社上信越工事事務所（〒377-1304 群馬県吾妻郡長野原町長野原1339-1）

²正会員 鹿島建設株式会社 関東支店（〒377-0814 群馬県吾妻郡東吾妻町大字松谷字久々戸15-2）

第二吾妻川橋梁は、国土交通省が計画するハッ場ダム建設に伴い、J R 吾妻線の付替え工事として計画された3径間連続P R C斜版中路箱桁橋（橋長390m）＋単純P R C中路箱桁橋（橋長41m）であり、半径600mの曲線を描いて一級河川吾妻川を渡河する橋梁である。斜版橋の中央スパン167mは、完成すると国内最長となる。

施工においては、河川上の中央径間側は移動作業車を使用した張出し架設、側径間側は設置式支保工上のブロック架設で施工する方法を採用した。本稿では、品質及び安全の確保をするための設計上及び施工上の工夫点と施工実績について報告する。

キーワード：鉄道橋, P R C構造, 斜版橋, 曲線橋, 張出架設工法, 独立式主塔

1. はじめに

第二吾妻川橋梁の構造形式は、図-1に示すように橋長41.0mの単純桁と橋長390.0mの3径間連続斜版橋で構成されており、以下のような規模と特徴を有する。写真-1に施工状況を示す。

① 日本最大スパンの斜版橋

中央径間167.0mは、斜版橋として国内最長となる。

また、斜版橋はケーブルの一部を桁の外に出して偏心量を大きくした大偏心外ケーブル形式の一種である。斜材（P Cケーブル）をコンクリートで巻きたてすることで、斜材の応力振幅を抑えるとともに、橋梁全体の剛性を高め、列車荷重による変形が少なく優れた列車走行性を確保できる。

② 平面曲線600mと24‰の急勾配

本橋は、急平面曲線及び急勾配区間に建設される長大橋梁である。また、斜版部分に平面曲線を有する。

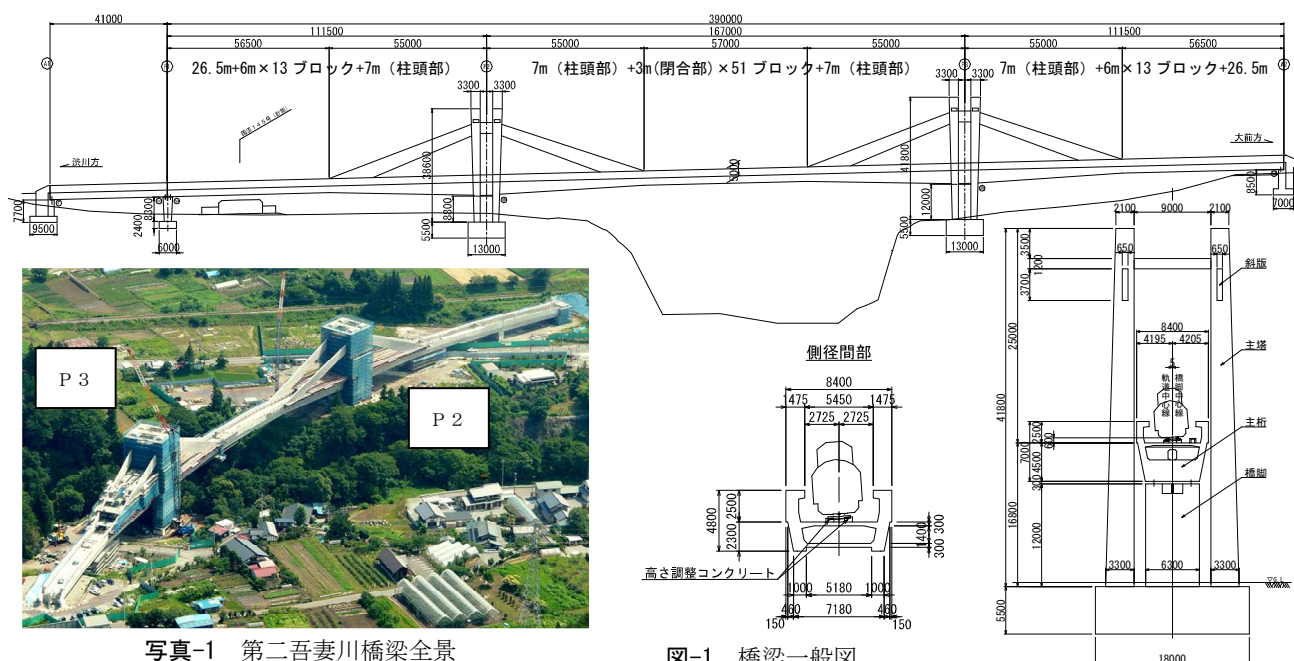


写真-1 第二吾妻川橋梁全景

図-1 橋梁一般図

表-1 主要工事数量

部位	種別	仕様	単位	数量	摘要
上部工	主桁	コンクリート	$\sigma_{ck}=50N/mm^2$	m ³	747 柱頭部
			$\sigma_{ck}=40N/mm^2$	m ³	5,539 主桁部
		鉄筋	SD345	t	1,007
			SD390	t	84
		PC鋼材	12S15.2	t	218 主方向
			1S28.6	t	31 横方向
	主塔	コンクリート	$\sigma_{ck}=60N/mm^2$	m ³	181 横梁
			$\sigma_{ck}=40N/mm^2$	m ³	2,236 主塔・縦梁
		鉄筋	SD345	t	298
			SD390	t	312
		PC鋼材	SEEE F-200	t	3 主塔
下部工	斜版	コンクリート	$\sigma_{ck}=40N/mm^2$	m ³	1,102
		鉄筋	SD345	t	138
			SD390	t	10
		PC鋼材	12S15.2EP	t	66 1次斜材
			12S15.2	t	110 2次斜材
	付属物	ストッパー	P2	t	45
			P3	t	14
	フーチング	コンクリート	$\sigma_{ck}=24N/mm^2$	m ³	158 P1
			$\sigma_{ck}=30N/mm^2$	m ³	2,574 P2, P3
		鉄筋	SD345	t	63
橋脚	橋脚	コンクリート	$\sigma_{ck}=24N/mm^2$	m ³	179 P1
			$\sigma_{ck}=30N/mm^2$	m ³	1,199 P2, P3
			$\sigma_{ck}=40N/mm^2$	m ³	277 P2, P3
		鉄筋	SD345	t	102
			SD390	t	50

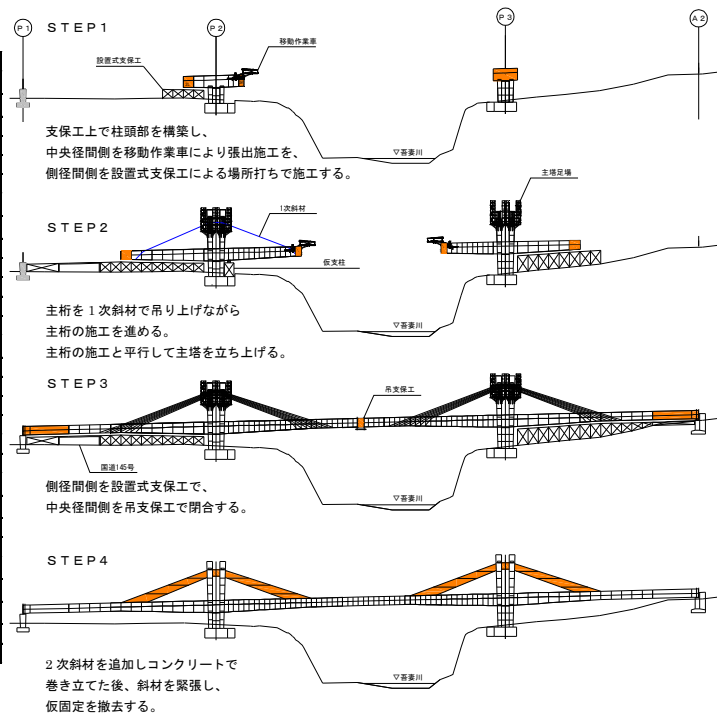


図-2 施工順序図

るのは国内で初めてであり、主桁も剛性の高いリブ付き箱桁断面を採用している。

③ 繊維補強コンクリート

主桁、斜版及び軌道より上方の主塔のコンクリートには、剥落防止としてポリプロピレン短繊維を使用している。

④ 環境・景観に配慮した構造設計

主塔の形状は、「地域の結束、一体感」を表現した櫓をイメージした独立4本柱と世界的にも珍しい形式となっている。また、主桁の断面形状も陰影を付けたデザイン性を重視したものとなっている。

これらの特徴を有した主橋部の3径間連続P R C斜版橋の施工について報告する。

2. 工事概要

(1) 橋梁緒元

工 名：吾妻線岩島・長野原間付替第二吾妻川B新設

企 業 者：東日本旅客鉄道株式会社

施 工 者：鹿島・銭高共同企業体

工事場所：群馬県吾妻郡東吾妻町

構造形式：3径間連続P R C斜版中路箱桁橋
＋単純P R C中路箱桁橋

軌道構造：50N レール弾性バラスト軌道

橋 長：431.0m

支 間 長：39.6+110.4+167.0+110.4m

軌道線形：平面線形 左円曲線 (R=600m)

縦断線形 上り 24‰

設計速度：V=100km/h

列車荷重：E A-17 (単線)

工 期：2005 (H. 17). 7. 21～2010 (H. 22) 3. 19

(2) 主要工事数量

斜版橋部の主要工事数量を表-1に示す。

3. 全体施工概要

本工事の全体施工順序図を図-2に示す。施工の流れとしては、下部工の基礎を掘削し、フーチング、橋脚、主塔基部を構築する。支保工上で柱頭部を構築し、中央径間側は移動式作業車、側径間側は設置式支保工でブロック施工にて張出し施工を行う。側径間側は6mブロック、中央径間側は3mブロックとし、側径間1ブロックに対して中央径間側2ブロックの施工となる。中央径間側12ブロック施工後に中央径間に仮支柱を設置する。主桁の施工と平行して主塔の施工を行い、主桁を1次斜材で吊りながら張出し架設を行う。張出し施工完了後、側径間を設置式支保工にて、中央径間を吊支保工にて順次閉合する。最後に、2次斜材を追加配置して斜版コンクリートを巻き立てた後、プレストレスの導入、仮固定の解放を行う。

N : 普通セメント L : 低熱セメント BB : 高炉セメント

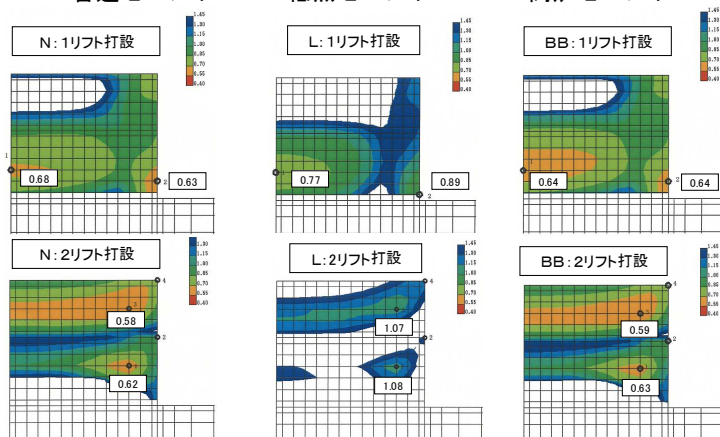


図-3 フーチング部最小ひび割れ指数分布

表-2 フーチングコンクリート配合表 (30-12-25L)

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	SP
25	12	50.0	4.5	48.7	160	320	885	942	2.88



写真-2 P 2 橋脚脚頭部配筋状況

表-3 橋脚・橋台のコンクリート配合

	リフト割	配合	打設数量
A1	① (3.0m)	24-12-25N	71m ³
	② (2.6m)	30-12-25N	63m ³
P1	① (3.3m)	30-12-25N	66m ³
	② (5.0m)		112m ³
P2	① (3.8m)	30-12-25N	130m ³
	② (5.0m)	40-15-25N	124m ³
P3	① (4.0m)	30-12-25N	97m ³
	② (4.0m)		97m ³
	③ (5.0m)	40-15-25N	132m ³
A2	① (3.0m)	30-12-25N	76m ³
	② (3.4m)		85m ³

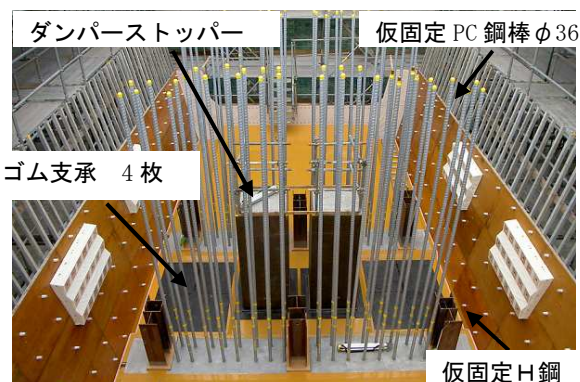


写真-3 主桁の支持構造

4. 下部工の施工実績

(1) 基礎の施工

P 2・P 3 フーチングは約 1300m³ (13m×18m×高さ 5.5m) のマスコンクリートとなっていることから、温度応力解析を実施 (図-3) して、低熱セメントを使用し、2 リフト打設とした。コンクリートの配合を表-2 に示す。打設後は上面湛水による養生を行った。

フーチングの配筋は D38 のガス圧接 (熱間押し抜き工法) となっていたが、施工業者が希少であることと施工性を考慮してエポキシ樹脂注入タイプの機械式継手を使用した。鉄筋組立は鉄骨の支持架台を組んで施工を行った。

(2) 橋脚の施工

橋脚・橋台のコンクリート配合を表-3に示す。A 1 橋台①リフトで使用した24-12-25Nの配合はブリーディング水が多かったため、②リフト以降は30-12-25Nの配合に変更した。P 2 橋脚②リフト・P 3 橋脚③リフトは高密度配筋 (写真-2) となるため

ランプを15cmとした。また、施工性からリフト割は各リフト5m以下とした。

5. 上部工の施工実績

(1) 柱頭部の施工

本橋は、主桁と斜版及び斜版と主塔が剛構造で、主桁はゴム支承を介して橋脚に支持された連続桁形式となっている。したがって、柱頭部には地震時の水平力に抵抗するため巨大なダンパーストッパーが配置されている。また、張出し施工中は主桁の移動及びアンバランスモーメントに抵抗するため、仮固定構造となっており、柱頭部はダンパーストッパー、H鋼及び仮締め鋼棒が配置され高密度配筋状態となる (写真-3)。このため、スランプを18cmとしてコンクリートの充填性を確保するとともに、横桁厚 4.0mのマスコンクリートであり、縦壁や隔壁等の拘束体も多いことから、温度応力解析を実施して、膨張材を添加した普通セメントの配合として3リフト分割打設とした (図-4)。コンクリートの配合を表-4に、温度応力解析の結果を図-5に示す。

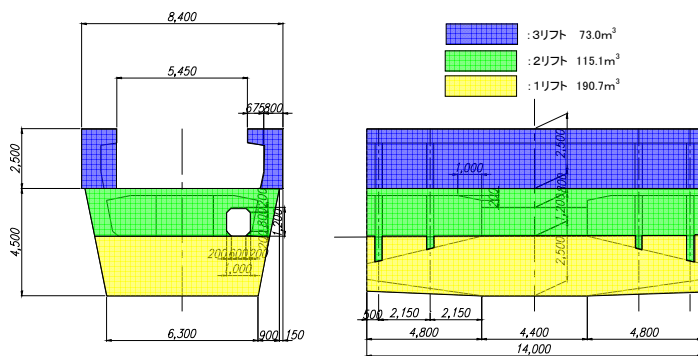


図-4 柱頭部リフト割り

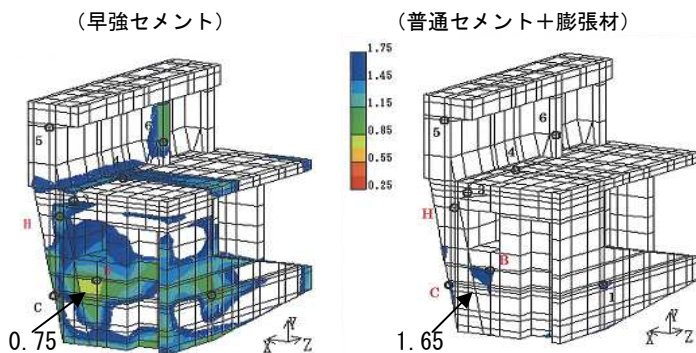


図-5 柱頭部最小ひび割れ指数分布 (3 リフト分割)

表-4 柱頭部コンクリート配合表 (50-18-25N)

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
					W	C	S	G	SP
25	18	39.0	4.5	48.2	170	416	814	884	4.36

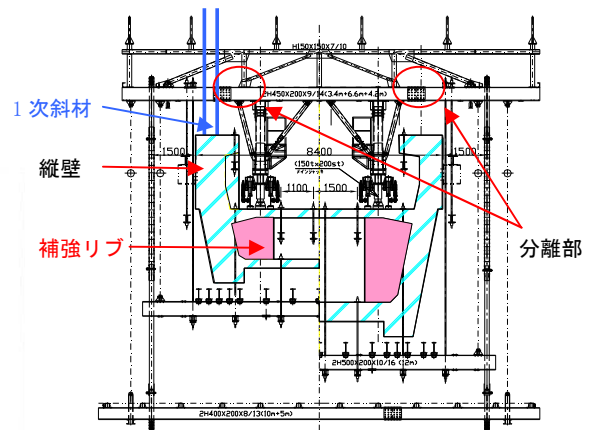


図-6 移動作業車概要図

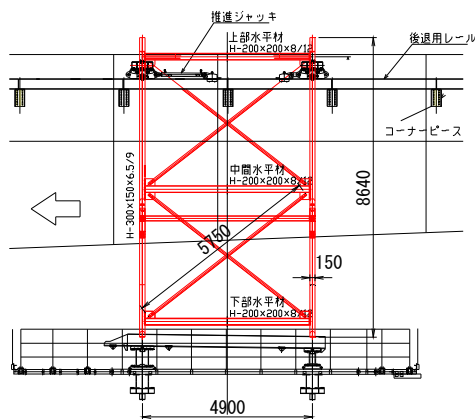


図-7 移動作業車の上下分割後退装置

(2) 張出し架設部の施工

a) 移動作業車

河川上の中央径間側の主桁の施工は、移動作業車を用いて3mブロックを25ブロック施工する。通常の箱桁構造であれば、ウェブの直上にメイントラスを配置できるが、本橋の場合はウェブと連続して縦壁があること、斜版が縦壁に接続することから縦壁上にもメイントラスを配置出来なかった。このため、ボックス内にコンクリート製のリブを設けてメインジャッキ反力を受け持つ構造とした。このボックス内の補強リブは、曲線橋特有のプレストレスによる腹圧力に対しても抵抗する構造部材となっている。

さらに、張出し施工中に1次斜材を架設・緊張するため、張出し施工完了後の移動作業車後退時に1次斜材が干渉することから、上下分割可能な移動作業車を新規開発して施工を行った(図-6)。外型枠と底型枠にはステンレスフォームを使用した。

移動作業車は、1次斜材に干渉しない16ブロックまでは一体で後退し、その後、新規に開発した分割後退装置により上下に分割して後退した。分割後退装置を図-7に示す。施工サイクル実績の代表例を表-5に示す。全幅員8.4mに対して、断面形状が複雑であり、また、鉄筋量が多いことから、一般的な張出し架設と比べて1施工サイクルが13日と長くなっている。

表-5 張出し架設部の施工サイクル

日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38																																								
側径間 (支保工)	底板・外型枠・妻枠組立																																																																													
	上床版フランジ鉄筋・PC組立																鋼線挿入												型枠支保工解体																																																	
中央径間 (ワーゲン)	上床版型枠組立																内型枠・フランジ型枠組立打設												ジャッキダウン																																																	
																	脱型												①緊張										②緊張																																							
																	型枠組立												移動										型枠組立										型枠組立										②緊張										移動									
																	①セッ												打設										①緊張										②セッ										打設										②緊張									
																鉄筋PC組立												脱型 鋼線挿入										鉄筋PC組立										脱型 鋼線挿入																														



写真-4 斜版取付け部分の配筋状況

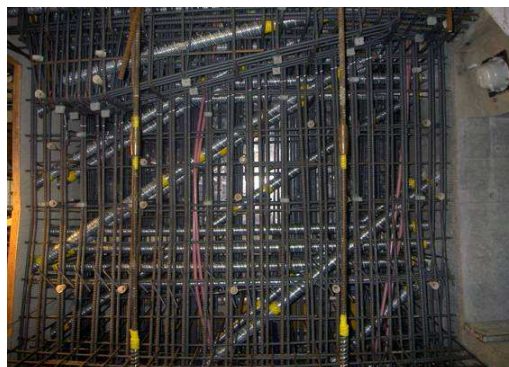


写真-5 斜材シースの配置状況

表-6 主桁コンクリート配合表(40-18-25H)

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	SP
25	18	39.2	4.5	48.0	170	434	808	887	3.91

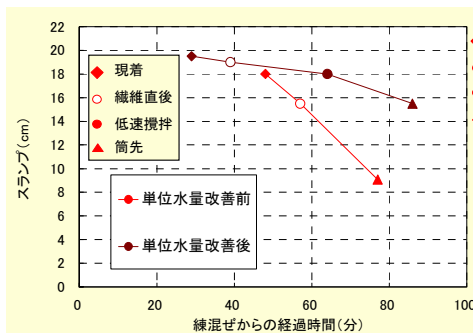


図-8 スランプ試験の経時変化

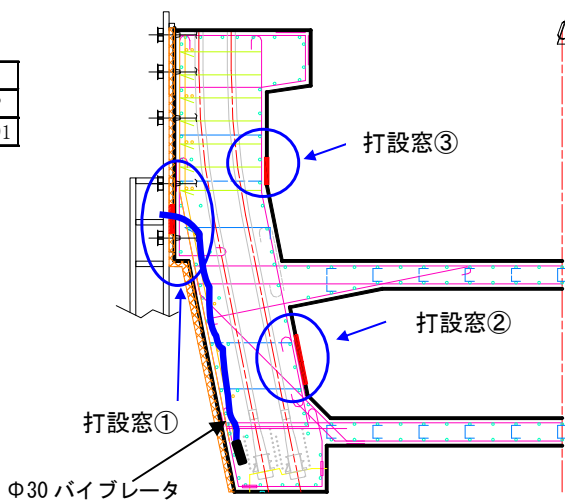


図-9 打設窓配置図

b) 鉄筋・鋼材組立

本橋は、複雑な断面形状であり、主ケーブル及び斜材の定着部や、主桁と斜版の付根部分などは、鉄筋が多数配置され、高密度配筋となっている。そこで、鉄筋組立ての施工性向上やコンクリートの品質確保のため、後打ち部になる定着突起部の補強筋や斜版の取付け部には接続ボルトタイプの機械式継手を使用した(写真-4)。また、施工ブロック内で継手となる太径の補強筋については、鉄筋のあきを確認するため、重ね継ぎ手をエポキシ樹脂注入タイプの機械式継手に変更した。

斜材はフランジ上部から入り、桁内を通過して桁底面で定着される。主ケーブルや床版横締め鋼材、フランジ鉄筋と斜材の干渉を避けるため、3次元CADを用いて事前に鉄筋の加工形状、横締め鋼材の配置間隔、主ケーブルの横方向の配置を変更した(写真-5)。

c) コンクリート打設

主桁のコンクリートは、断面形状が複雑でかつ高密度配筋であることから、スランプ18cmとして充填性を確保した。配合を表-6に示す。

また、剥落防止用短繊維を混入することからコンクリートの性状を確認するため、試験打設やポンプ筒先でのスランプ試験を行った。スランプ試験結果を図-8に示す。繊維混入前後のスランプ値が18cm程度であっても、単位水量試験の値が示方配合より10kg程度不足した場合（図-8中、単位水量改善前）、ポンプ圧送後にスランプが急激に低下する加圧脱水の傾向が確認された。そのため、打設時の単位水量を入念に管理して施工を行った。

また、材料面の工夫と並行して、型枠に様々な打設窓を設置した。代表的な打設窓を図-9 に示す。

打設窓①は，ステンレスフォームの外枠1段を木製枠としたものである．外面となるため景観を考慮



写真-6 打設①から締固め状況



写真-7 打設窓②から締固め状況



写真-8 打設窓③

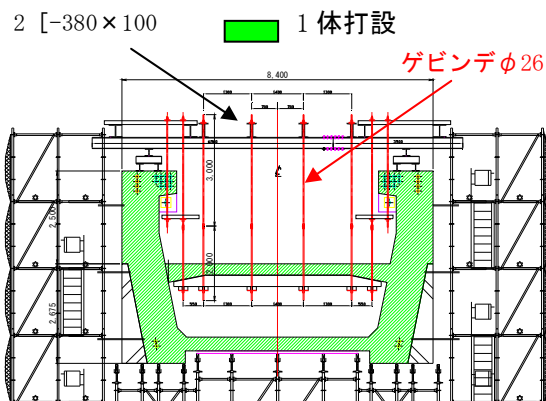


図-10 側径間支保工

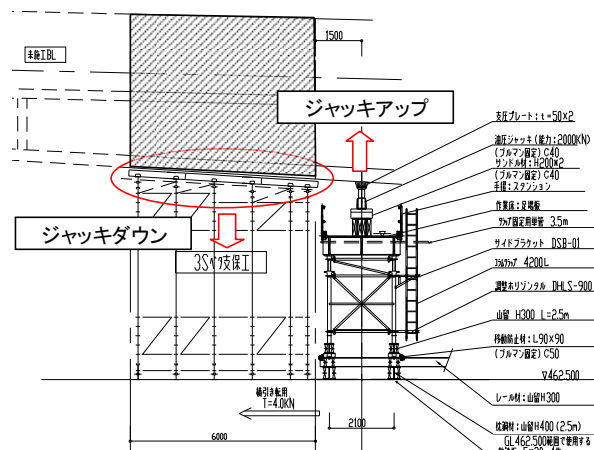


図-11 ジャッキアップ装置

して目地ラインを通すスライド窓方式とした。本橋のウェブ幅は最大 1m と一般的な箱桁橋よりも厚いため、内側からでは困難な外側の締固めを確実に行うために必要となった。打設窓②は、一旦仮組みした型枠を打設前に外し、箱桁の下ハンチのコンクリート噴出し後に組み立てた。斜材定着突起部の複雑な配筋に対して、コンクリートホース及びバイブレータが確実に挿入できるように設置した。打設窓③は、充填確認及びハンチ下の噴出し補助バイブレータ挿入用に縦壁内側にスライド窓方式で設置した。施工状況を写真-6, 7, 8 に示す。

(3) 支保工架設部の施工

a) 型枠支保工

側径間ブロックは、基本的に地盤上から支柱式支保工にて施工を行った。ただし、国道145号上は、国道沿いのヤード内に支柱を設置して梁式支保工とした。建築限界として4.7m (4.5+余裕0.2m) を確保するため、梁の主桁にはH-438*422*35/40を使用した。主桁完成後の梁部材の撤去は、横取り装置を使用して行った。

b) コンクリート打設

コンクリート打設は、全断面一体打設とした(図-10)。支保工は、既設ブロック上と足場支保

工先端に支柱を設置し、チャンネル材及びH鋼を渡して、上部から床版とフランジを吊る構造とした。Rの内側と外側にそれぞれポンプ車1台を配置し、1パーティ9名(ホース係2名含む)で約40~50m³ずつ同時に施工した。

c) ジャッキダウン

支保工のジャッキダウンを安全に行うため、図-11に示すジャッキアップ装置を使用した。既設のウェブ下にマルチベントで支柱を組み、上部に2000KN油圧ジャッキを配置して、H鋼のレール上をヒルマンローラにて移動する構造とした。

(4) 主塔の施工

a) 主塔コンクリート

主塔に使用したコンクリートの区分を図-12に示す。主桁と同様に軌道より上の部分は短繊維が混入される。試験打設において加圧脱水の傾向が確認されたため、繊維混入部分は単位水量を170kg/m³、スランプを15cm以上とし、高密度配筋となるサドル部はスランプを18cmとした。主桁と同様に打設用のスライド窓を配置した(図-12)。

横梁部は、設計基準強度が60N/m²であり、スランプフロー管理(625±75mm)とした。配合を表-7に示す。また、温度応力解析の結果から、膨張材を添

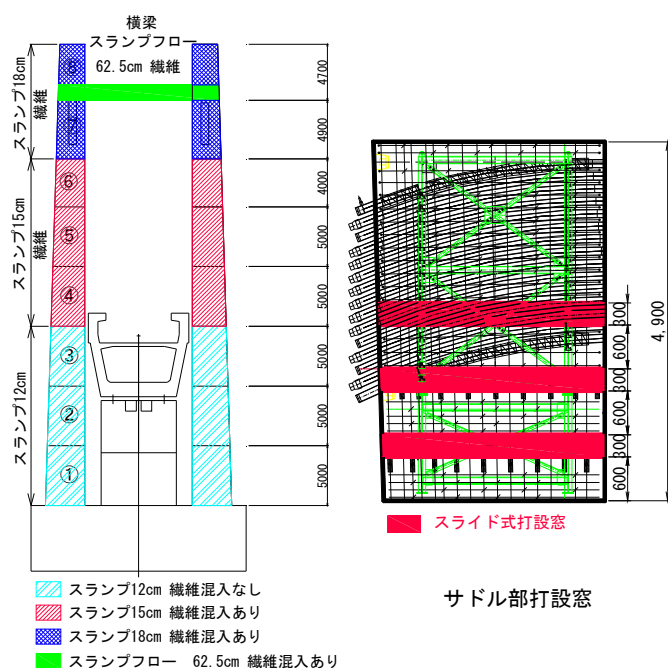


図-12 主塔コンクリートの使用区分および打設窓

表-7 主塔横梁コンクリート配合表

セメントの種類	水結合材比 W/B (%)	空気量 Air (%)	細骨材率 s/a (%)	単位粗骨材 絶対容積 Gvol (L/m3)	単位量 (上段: kg/m³, 下段: L/m³)						高性能 AE減水 剤 (P×%)
					結合材B		細骨材S				
					セメント C	膨張材 EX	砕砂 S1	砕砂 S2	粗骨材 G		
普通 N	35.1	4.5	48.5	330	165	450	20	406 811	406 310.7	871	6.82 1.45%

加した。コンクリートの打設方法は、セメント量が多く、短繊維を混入したフロー管理コンクリートの圧送によるスランプロス及び閉塞のリスクを考慮して、2m間隔に設置したホッパーに1m³のコンクリートバケットでコンクリートを投入する打設方法とした。ホッパーの先端には、ロータ管およびサニーホースを設置して打設高さが60cm以下になるようにした。

b) サドル部の組立

サドル管は、H鋼架台を既設コンクリート上に組立て、帯筋、中間帯鉄筋、縦梁主筋の組立てに合せて1段ずつ位置決めのアングルにUボルトにて固定した(写真-9)。

また、通常のコの字型の両端フック形状の中間帯鉄筋の配置が不可能であることから、両端プレートフックの中間帯鉄筋に変更した(写真-10)。

(5) 1次斜材ケーブルの施工

1次斜材は、斜版コンクリートの打設まで1年以上露出した状態となることから、防錆対策としてエポキシ被覆ストランドを使用した。1次斜材の架設は、橋面に鋼線ドラムを設置して、先端をウィンチで引

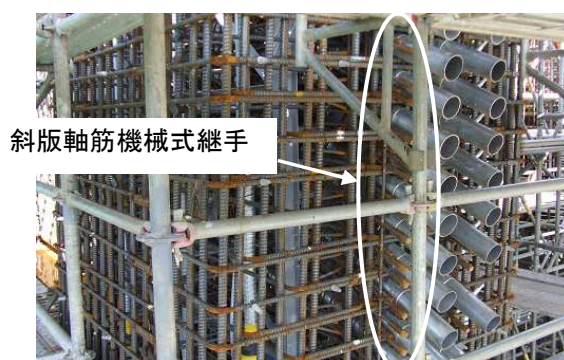


写真-9 サドル管配置状況

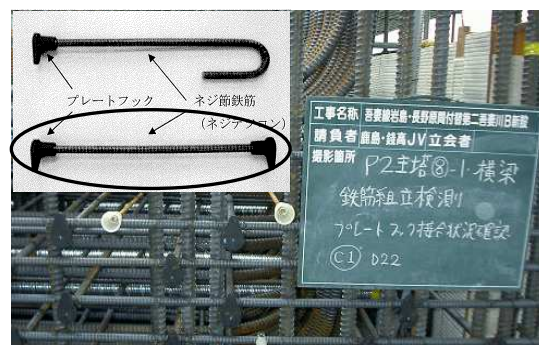


写真-10 プレートフック配置状況



写真-11 1次斜材振動計測状況

っ張り、クローラクレーンにて吊り上げながら主塔サドル管に挿入して架設した。1次斜材の緊張は、4台の緊張ジャッキにて曲線の内側外側両方の斜材を同時に行った。1次斜材は、サドル部と主桁定着部以外はむき出しとなり摩擦の影響がないことから、マノメータの圧力を主、伸び量を従とする圧力管理とした。また、斜材の張力確認として、加速度計を使用して振動数から導入張力を測定する振動法による計測を実施した(写真-11)。

(6) 斜版の施工

斜版は、主塔のリフト高さに合わせて水平方向に4リフトに分割して施工した。斜版の打設順序は、側径間側→中央径間側の順に1リフト毎に交互に打設する計画とした。各リフトにおいて、曲線の内側外側両方の斜版を同日に打設した。

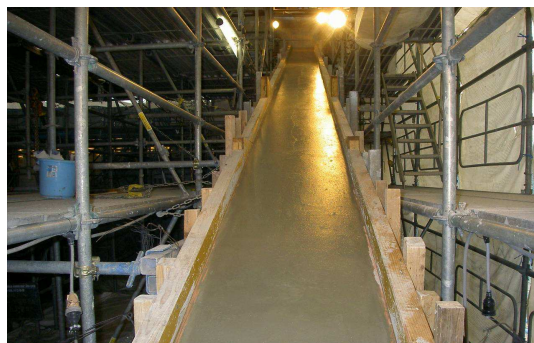
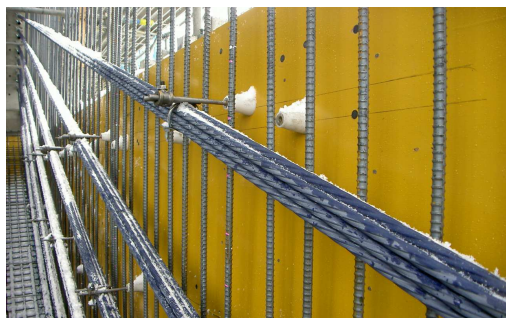
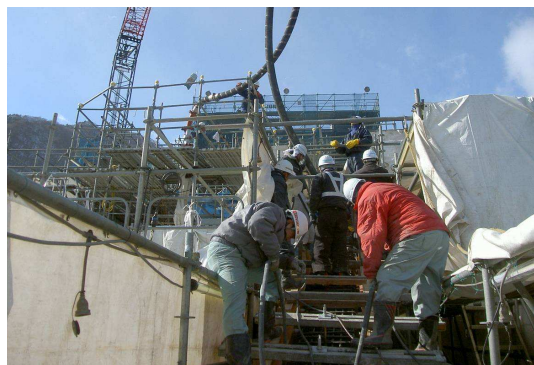
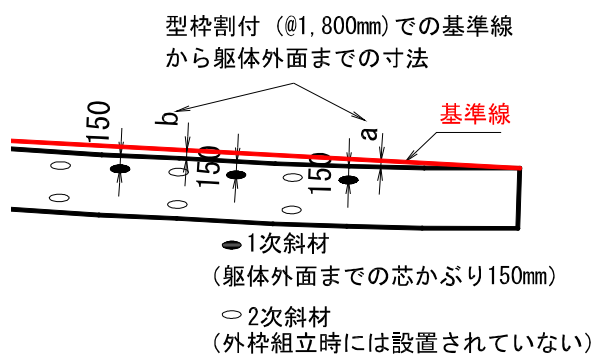


表-8 斜版コンクリートの配合表

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	SP
25	18	42.5	4.5	49.0	170	400	844	887	3.4

※1リフトと4リフトは膨張材を内割で20kg添加

斜版の型枠は、斜版が平面線形 $R=600\text{m}$ の主桁上につながるため、水平方向及び鉛直方向にも曲線形状を有する形状となっており、1次斜材から一定の距離が外面になる。この曲線形状の管理として、各リフト天端および型枠高さ2段ごとに、3次元CADで断面形状を作成し、位置決め用の金具を使用して、型枠の位置を調整した（図-13、写真-12）。

斜版のコンクリート配合は、温度応力解析を実施して普通セメントの使用及び補強筋を配置し、1リフトと4リフトには、拘束ひび割れ対策として膨張材を添加した。配合を表-8に示す。打設状況を写真-13, 14に示す。

(7) 2次斜材工

2次斜材の挿入および緊張には、中央径間側ではラック式の移動吊足場を使用した。2次斜材の挿入は、斜材長が最大140mで、かつ上り勾配が約30%であることから、プッシングマシンを2台連動する新たな方法を採用した。緊張は、1次斜材と同様に4台のジャッキを使用してP 2斜版→P 3斜版の順で行った。2次斜材の緊張管理は、主ケーブルと同様の摩擦管理により行った。

表-9 1次斜材緊張による主塔の傾斜（P3系）

緊張斜材	P3設計値		P3計測値	
	変位量	傾斜	測量	傾斜計
	(mm)	(°)	(mm)	(°)
S101	2.9	0.004	3.0	0.003
S102	3.1	0.005	1.0	0.002
S103	3.3	0.005	1.0	0.001
S104	3.5	0.005	3.0	0.003
S105	3.6	0.005	2.0	0.001
S106	3.7	0.005	5.0	0.002
S107	7.7	0.011	8.0	0.006
S108	7.3	0.011	11.0	0.007
合計	34.9	0.051	34.0	0.026

(8) 計測工

本橋は、 $R=600\text{m}$ の平面曲線の曲線橋であることから、1次斜材及び2次斜材の緊張により、主塔に橋軸直角方向に水平力が作用する。このため、主塔は曲線の内側に倒れる変形をする。主塔頂部に傾斜計を設置し、斜材の緊張による倒れを設計値と比較しながら施工を行った。1次斜材の緊張による主塔の傾斜の計測結果を表-9に示す。

6. むすび

平面曲線を有する斜版橋の張出し施工実績について報告した。本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。