

酒匂川 1 号橋（仮称）の設計・施工

三浦 聡*1・浅野 雄司*2・北川 毅彦*3・水野 克彦*4

1. はじめに

酒匂川 1 号橋（仮称）は、都市計画道路穴部国府津線が二級河川酒匂川を渡河する位置に架かる橋梁である。本路線は、小田原市の外郭環状を形成する道路であり、神奈川県西部地域の交通ネットワーク整備上重要な道路として位置づけられている。また酒匂川周辺は、自然環境が良好な場所にあるため環境・景観への配慮が求められている。

橋梁計画に際しては、架橋地点の地形・地質条件、河川条件、長期間に及ぶ暫定供用と完成形への移行等を踏まえ、初期建設費のみならずライフサイクルコストの削減を図りつつ、構造的、施工性、維持管理、景観、環境等に関する総合的な検討を加え、最適な構造形式および施工法の選定が必要とされた。その結果、本橋は押出し架設工法を採用し、暫定供用時主桁断面として 1 室 2 主桁箱桁断面を選定した。そして将来拡幅部の構造は、リブ・ストラット+PC 板を用いた合成床版とすることとした。本稿では、酒匂川 1 号橋の設計と施工に関して報告する。

2. 工事概要

工事名：都市計画道路 穴部国府津線（V 期）酒匂川
1 号橋新設（上部工）債務負担工事

工事場所：神奈川県小田原市蓮正寺地先～成田地先

発注者：神奈川県小田原土木事務所

設計者：大日本コンサルタント（株）

施工者：三井住友・みらい建設・田中組共同企業体

工期：平成 18 年 10 月 6 日～平成 20 年 9 月 30 日

構造形式：PC 6 径間連続箱桁橋

道路規格：第 4 種 第 1 級

設計荷重：B 活荷重+群集荷重

橋長：251.0 m

支間割：38.2 m + 4@43.0 m + 38.2 m

有効幅員：暫定形 車道 8.0 m + 歩道 3.5 m × 2

：完成形 車道 16.0 m + 歩道 3.5 m × 2

平面線形： $R = \infty$

縦断勾配： $4.7\% \sim 4.7\%$

横断勾配： $2.0\% \sim 2.0\%$ LEVEL $2.0\% \sim 2.0\%$

斜角：71 度

3. 設計

3.1 技術的特色

本橋の技術的特色は、以下の 4 点である。

(1) 架橋地の自然環境に配慮した押出し架設工法

架橋地河川内は、湧水によるワンド湿地帯と高茎草が存在し、河原はコアジサシの繁殖地、流水部は鮎の生息地であるため、押出し架設工法を採用し自然環境を保全。

(2) 施工性と景観に配慮した主桁断面形状

2 主桁断面を 2 分割し、1 室箱桁断面ごとに押出し架設を行うことにより、押出し施工性を向上。添架物を各箱桁断面中間部に配置することにより景観性に配慮。

(3) ARC 工法 (Active Reaction Control Method) の採用

本橋では斜角と非対称主桁断面の影響により押出し架設時の左右支点に大きな反力差が生じるため、押出し架設には主桁反力を常時制御可能な ARC 工法を採用。

(4) リブ・ストラットおよび PC 板を用いた拡幅構造

リブ間に PC 板を敷設し、これを埋設型枠として場所打ちコンクリートを打設する方法により拡幅部の上床版を構築。

3.2 主桁断面形状の選定

本橋は、当面往復 2 車線（有効幅員 15.0 m）で供用を行うが、将来的に往復 4 車線（有効幅員 23.0 m）に拡幅する計画である。そのため架設時、暫定供用時、将来的な拡幅時の施工性および景観性等を考慮して主桁断面形状の選定が行われた。

暫定形主桁断面形状は、2 主桁断面としている。主桁断面を 2 分割し、1 室箱桁断面ごとに押出し架設を行うことにより、反力管理の煩雑さを低減している。2 主桁断面は、中央部下床版が無く開断面となっているため、主桁重量の低減が図れる。また、漏洩時や維持管理のため箱桁内に設置できない添架物（水道、ガス）が開断面内に設置可能となり、景観性にも配慮した断面となっている。

そして将来拡幅時主桁断面は、拡幅時における施工性および景観性を考慮し、リブ・ストラット付き 2 主桁断面を採用した。表 - 1 に主要数量表、図 - 1 に全体一般図、表 - 2 に暫定形主桁断面比較表を示す。

将来的な拡幅施工時にはプレキャストコンクリート製のリブ・ストラット（□ 300 × 300）を 3.0 m ごとに取り付け、リブ間に PC 板敷設後に歩道部床版コンクリートを打

*1 Satoshi MIURA：大日本コンサルタント（株）横浜事務所 技術室 室長

*2 Yuji ASANO：大日本コンサルタント（株）横浜事務所 技術室

*3 Takehiko KITAGAWA：三井住友・みらい建設・田中組共同企業体 所長

*4 Katsuhiko MIZUNO：三井住友建設（株）土木管理本部 PC 設計部

表 - 1 主要数量表

< 暫定供用時 >

種別	単位	数量	備考
コンクリート	場所打ち	m ³	3 534 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
型枠	m ²	10 894	
鉄筋	t	612	
PC 鋼材	主方向	Φ 32 鋼棒	kg 134 852
		19S15.2	kg 60 575
	横方向	1S21.8	kg 21 476
	鉛直方向	Φ 32 鋼棒	kg 11 785

< 将来拡幅時 >

種別	単位	数量	備考
コンクリート	場所打ち	m ³	135 $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
	リブ・ストラット	m ³	123 $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
	PC 板	m ²	1 823 穴あき PC 板
型枠	m ²	527	
鉄筋	t	612	
PC 鋼材	主方向	19S15.2	kg 10 701
	横方向	1S28.8	kg 4 977

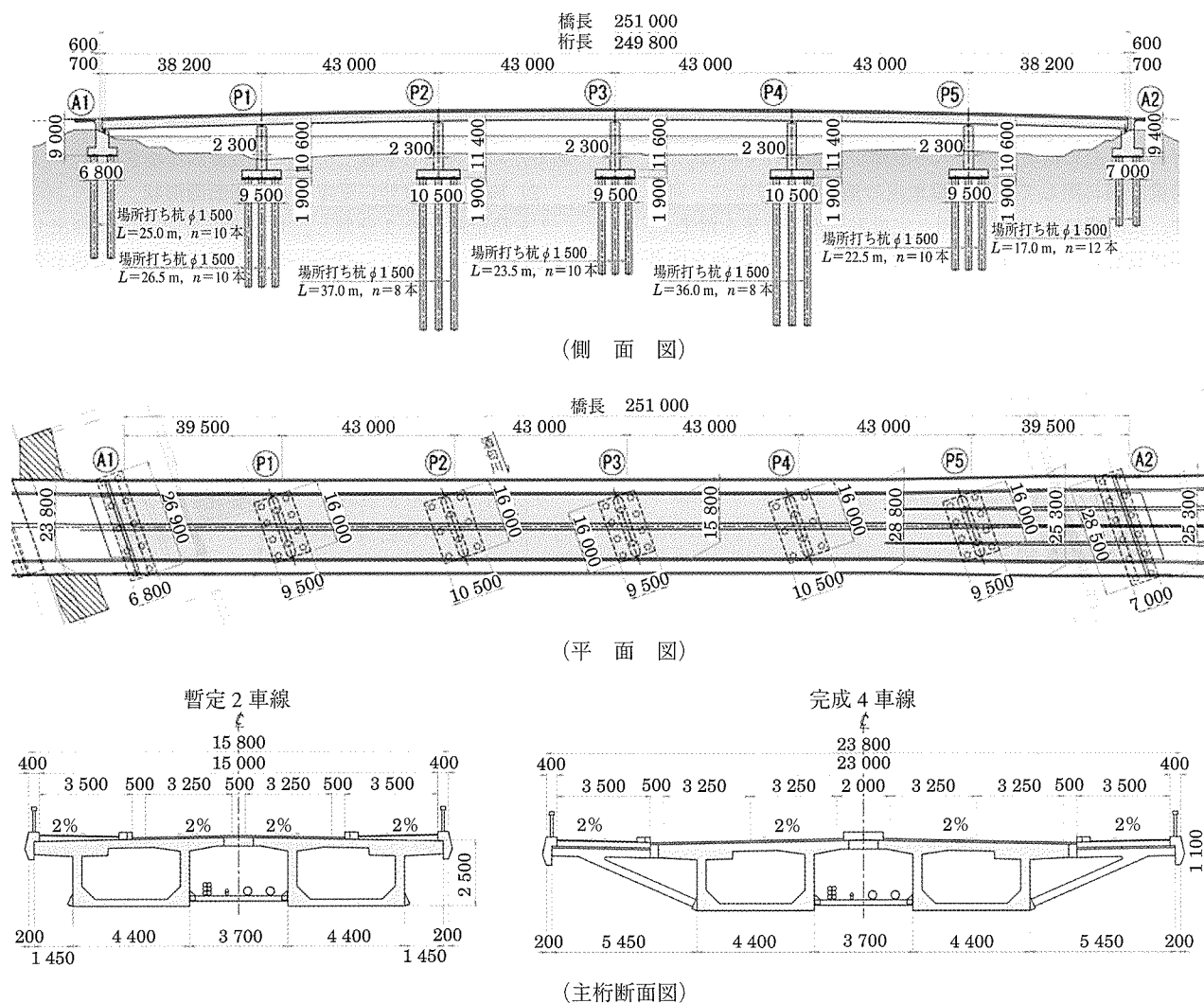


図 - 1 全体一般図

設する。なお、歩道上となり群集荷重のみの載荷となる PC 板には安価で軽量である穴あき PC 板 ($t = 100 \text{ mm}$) を採用している。図 - 2 に拡幅時施工ステップを、図 - 3 に穴あき PC 板詳細図を、図 - 4 に暫定形、完成形での完成予想図を示す。

3.3 主方向の設計

押出し架設時の構造解析は、主桁の構造系が架設とともに変化するため、2 主桁を 1 本棒モデルとした平面骨組解析により行った。また斜角の影響を考慮するため、暫定形

と完成形の最終構造系状態においては、平面格子解析モデルにより検討を行った。

PC 鋼材には、押出し架設時に対しては PC 鋼棒 (Φ 32) を上下床版に配置し、最終構造系に対しては外ケーブル (19S15.2) を配置している。押出し架設時の応力に対して PC 鋼棒配置だけでは対処できなかった両側径間部のみ、仮設外ケーブル (19S15.2) を配置している。なお完成形での荷重増分に対しては、1 径間あたり外ケーブル (19S15.2) 2 本を追加緊張する。

表 - 2 主桁断面（暫定形）の比較

	3 室箱桁断面案	2 主桁箱桁断面案
主桁断面		
概 要	・従来の3室箱桁断面で、一般的な断面形状	・コスト縮減と添架物（景観性と将来拡幅）に配慮した2主桁箱桁断面（3室箱桁の中央ボックスの下床版を取り去り開断面にした断面）
構 造 性	・2主桁箱桁案に比べ、主桁重量増となる	△ ・中央ボックスの下床版が無いため、主桁重量の低減が図れる ○
施 工 性	・4ウェブ直下にジャッキを配置するので、反力管理が煩雑となる ・添架物のため将来拡幅時の施工性に劣る ・3室箱桁断面で押出し施工を行うため、押出しサイクル工程は2主桁箱桁案に比べて1日短くなる ・製作ヤードで主桁全体を製作するため、現場施工量が少なくなる	・1室箱桁断面で押出し施工をするので、反力管理が容易である ○ ・3室箱桁案に比べ将来拡幅時の施工性に優れる ○ ・2つの箱桁断面おのおので押出し施工を行うため、押出しサイクル工程は3室箱桁案に比べて1日長くなる ・押出し施工完了後、床版間詰め部と横桁の施工が生じる
景 観 性	・添架物（水道、ガス）を箱桁外に設置するため、著しく美観を損ねる	△ ・添架物が外面に露出しないため、美観上の問題は生じない ○
経 済 性	・2主桁箱桁案に比べ、若干経済性に劣る	△ ・3室箱桁案に比べ若干経済性に優れる ○
判 定	○	◎

STEP 1 外側間詰め部施工およびリブ・ストラット取付け

(リブ・ストラット取付け鋼材 1S28.6 緊張)



STEP 2 PC 板敷設



STEP 3 歩道部場所打ち床版および完成時橋面工施工



図 - 2 拡幅時施工ステップ

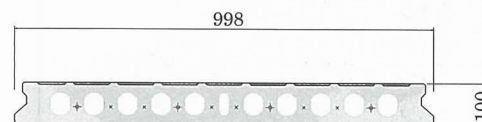


図 - 3 穴あき PC 板詳細図

3.4 横方向の設計

本橋の横方向の設計は、暫定形時断面ではボックスラーメン構造として平面骨組解析により行った。完成形時断面ではリブ・ストラットに支持された床版を評価するため、解析は3次元 FEM モデルにより行った。拡幅施工時において、主桁断面は暫定形から完成形へと変化する。各架設ステップにおいて抵抗断面が変化する。そこで完成形時における FEM 解析では、以下に示す3種類のモデルを作成し、架設ステップに沿った荷重を載荷した。図 - 5 に解析モデルを示す。

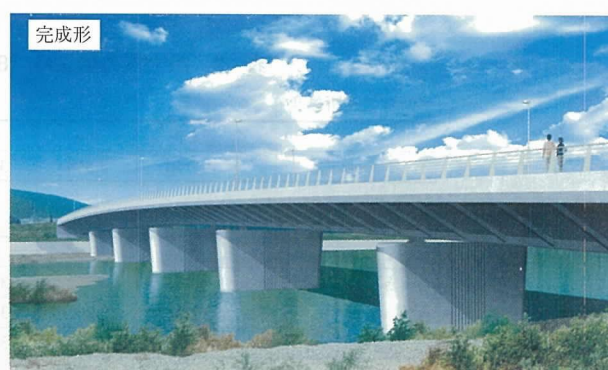


図 - 4 完成予想図

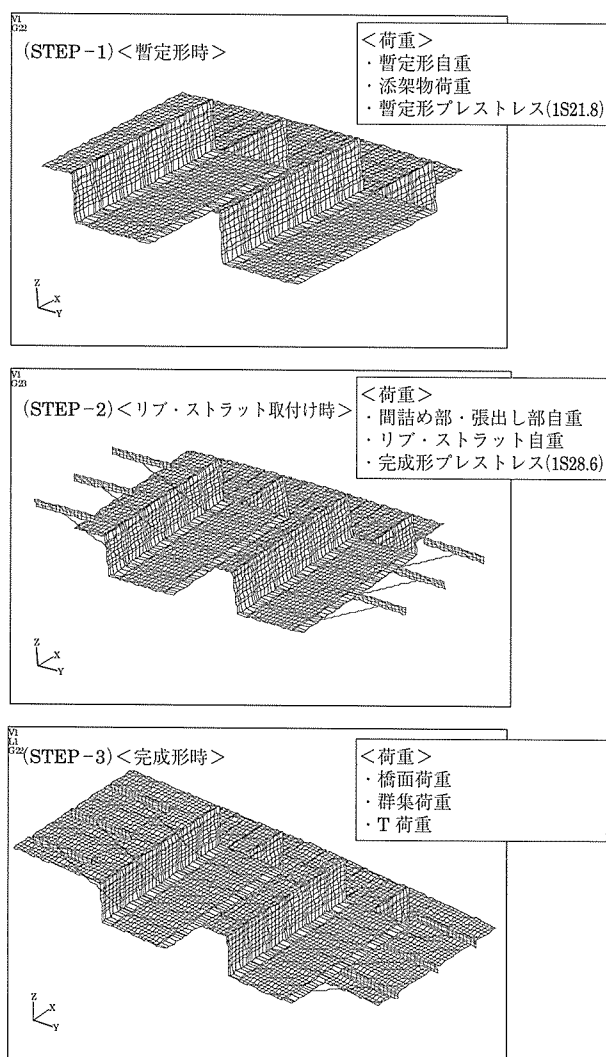


図 - 5 FEM 解析モデル

活荷重による発生応力は、T 荷重を FEM モデルに直接載荷することにより算出することとし、各検討位置で不利となる載荷方法とした。各ケースに対してリブ上とリブ間の 2 種類について載荷を行っている。

クリティカルとなるのは、リブ間の支点部 2 (図 - 6) であり、床版横締め鋼材量は、この点の引張応力度が許容値以内になるように決定した。

最終的な配置鋼材本数は、平面骨組解析により算出した

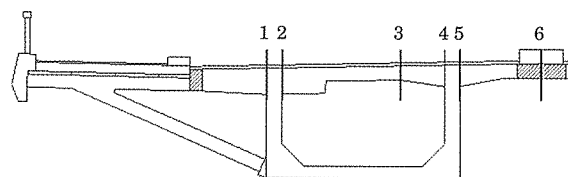


図 - 6 設計断面 (FEM 解析モデル)

暫定形時に必要な鋼材本数と FEM 解析により算出した完成形時に必要な鋼材本数とともに満たす本数とし、1S21.8 ctc 500 の配置とした。

3.5 押出し架設時の検討

(1) 概要

施工時の反力管理のもととなる押出し施工中の反力値は、通常は平面骨組解析 (左右反力分担比 = 50 : 50) により算出した押出し 50 cm ピッチごとの設計反力値と実橋での計測反力値を比較・確認しながらリアルタイムで管理することになる。

しかし本橋は 71 度の斜角をもつ橋梁であり、かつ押出し時主桁断面が左右非対称 (図 - 7) であるため、1 橋脚の左右支点に大きな反力差が生じる。表 - 3 に、8 ブロック押出し完了時における平面骨組解析と FEM 解析の各支点の反力値を示しているが、斜角と非対称断面の影響を考慮した FEM 解析値では平面骨組解析に対して最大 ± 10 % の反力差が生じていることが分かる。しかし押出し 50 cm ピッチごとにおいて左右反力差を考慮した格子解析や FEM 解析により設計反力値を算出することは、困難となる。

そこで本橋では、押出し施工中は斜角および非対称断面

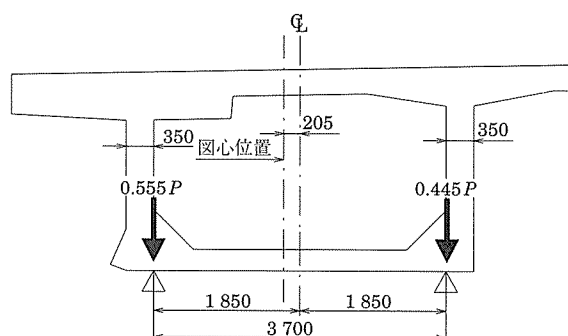


図 - 7 主桁断面左右断面積比率 (標準断面)

表 - 3 最大反力発生時 (8 BL 押出し完了時) 反力比較

平面骨組解析結果				1 支承あたり (= 1 支点反力 / 2) (kN)			
	P 3	P 4	P 5	A 2	KS 3	KS 2	合計
反力	1 740	3 899	3 193	2 544	1 251	595	13 223

FEM 解析結果				1 支承あたり反力 (kN)				
	P 3	P 4	P 5	A 2	KS 3	KS 2	合計	
反力 (kN)	上流側	1 465	4 772	3 388	2 815	1 295	692	14 427
	下流側	1 991	3 203	3 032	2 175	1 183	487	12 071
	平均値	1 728	3 987	3 210	2 495	1 239	590	13 249
左右比率	上流側	0.42	0.60	0.53	0.56	0.52	0.59	
	下流側	0.58	0.40	0.47	0.44	0.48	0.41	

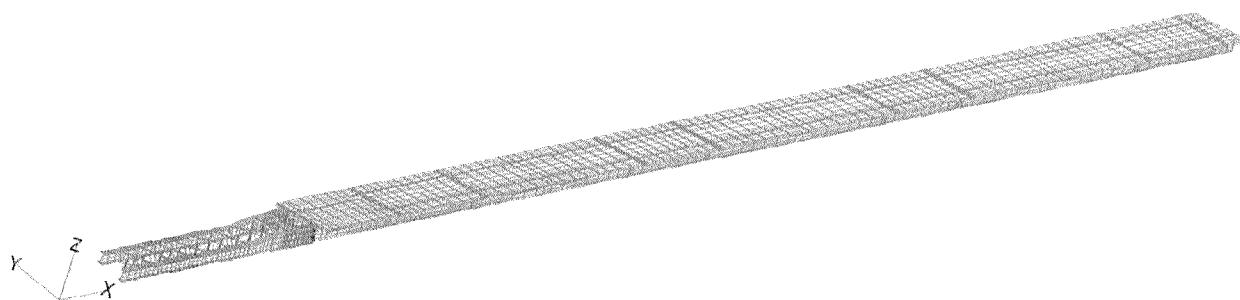


図-8 解析モデル

の影響による左右反力差も含めて、平面骨組解析により算出した反力値（左右反力分担比＝50：50）に対して反力管理基準値を設定した。そして各ブロック押出し終了時の反力のみ、格子解析により算出しておき、押出し終了時に実測値と解析値の確認を行い、ずれがある場合補正を行うこととした。

(2) 反力管理基準値の設定

反力管理基準値は、FEM 解析によりひび割れが生じないような左右反力差の範囲を確認することにより設定した。

施工時における最大反力発生時のモデル（8ブロック押出し完了時）（図-8）において、最大反力発生支点（片側）を不等沈下させることにより、発生する主桁応力度と支点反力を確認し、既往の鉄筋量にてひび割れ発生限界となる反力を算出することとした。解析の結果、反力管理目標値±20%と設定することにより、既往の鉄筋量で主桁のひび割れ発生限界内となることが確認できた。図-9にFEM解析結果を示す。

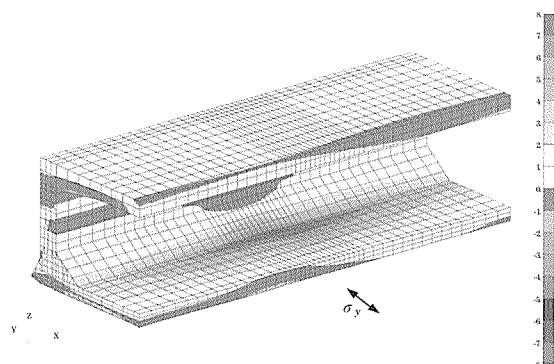


図-9 FEM 解析結果

(3) 反力管理結果

図-10に、P5支点での9ブロック（下流側）押出し時のP5支点反力履歴を、図-11に、9ブロック（下流側）押出し完了時のA2～P3各支点反力を示す。下記に示すとおり、反力は実測値が設計値の±20%の範囲となり、主桁に不利な応力を与えることなく安全な管理を行うことができた。

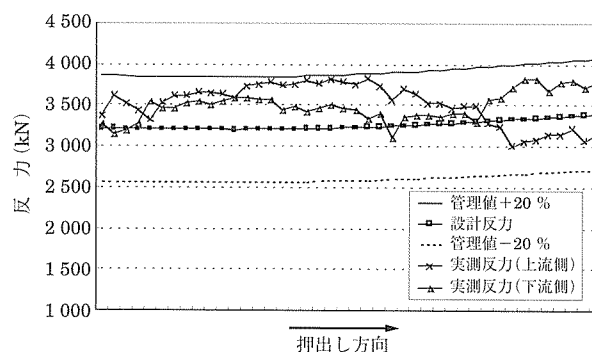


図-10 P5 支点反力履歴

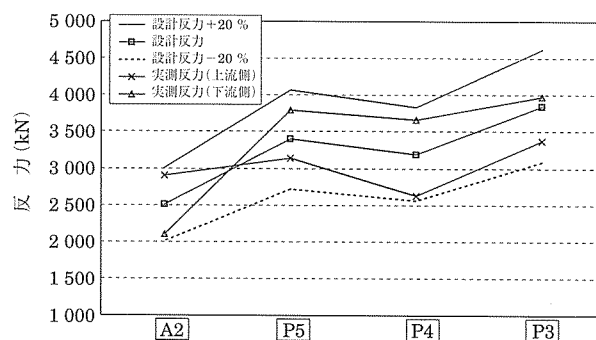


図-11 A2-P3 支点反力履歴

4. 施 工

4.1 概 要

本橋は斜角と左右非対称主桁断面の影響により、1橋脚の左右支点到大きな反力差が生じる。そのため反力を、先に述べた管理基準値内に抑えるために押出し施工中のジャッキ反力を綿密に管理する必要がある。

本橋では、水平ジャッキ架台上に鉛直ジャッキを設置し、主桁の押出し中や盛換え中にも反力を確認・管理することが可能であり、かつ主桁の上下動がないARC工法（Active Reaction Control Method）を採用することとした。そのため、ねじりを生じやすい本橋でも安全性の高い施工が可能となった。ARC工法施工要領図を図-12に示す。

4.2 主桁製作ヤード

主桁製作ヤードは、A2橋台背面で将来の河川管理用通路と埋設雨水幹線ボックスカルバートを避けた位置に、長

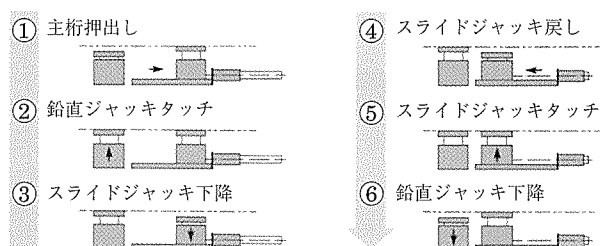


図 - 12 ARC 工法施工要領図

さ 32 m, 幅 20 m, 面積 640 m² で計画した。

主桁製作台の基礎は、主桁コンクリート打設時に型枠支保工が不等沈下しないように、地盤改良を施し全面 RC 構造とした。

A 2 橋台と製作台が上記理由で離れているので、仮支柱を製作台内部に 1 基、橋台と製作台の間に 2 基設置した。また仮支柱の基礎は、押し出し架設時の最大反力が 4 200 kN (1 支柱あたり) となるため、H 鋼杭基礎を採用した。

主桁製作ヤードには上屋を設け、揚重設備として天井部に横行式電動チェーンブロックを設置した。上屋構造により悪天候時の作業効率の向上、暑中時期のコンクリート品質向上、作業員の熱中症対策の安全向上を図った。写真 - 1 に、主桁製作ヤード全景を示す。

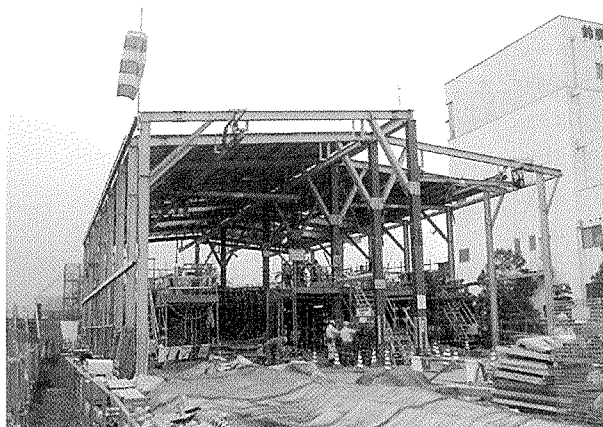


写真 - 1 主桁製作ヤード全景

4.3 手延べ桁

本橋で使用した手延べ桁は、転用を行わず最大架設支間長 (43 m) の 70 % 程度となる 31 m (上流側) と 28 m (下流側) の手延べ桁を用い、上下流の桁を交互に押し出し施工する。また本橋では、手延べ桁は突合せタイプを採用しており、手延べ桁と主桁の連結部で斜角を吸収するため、取付け部台座コンクリートを施工した。写真 - 2 に、手延べ桁全景を示す。

4.4 押し出し装置

押し出し装置として各支持点に鉛直ジャッキ・水平ジャッキ・スライドジャッキを主桁ウェブ数の 4 基、電動油圧ポンプ・現場制御盤 1 基ずつ、A 2 橋台付近に 1 箇所中央制御盤を設置した。

押し出し装置能力は、斜角と非対称断面の影響を加味した

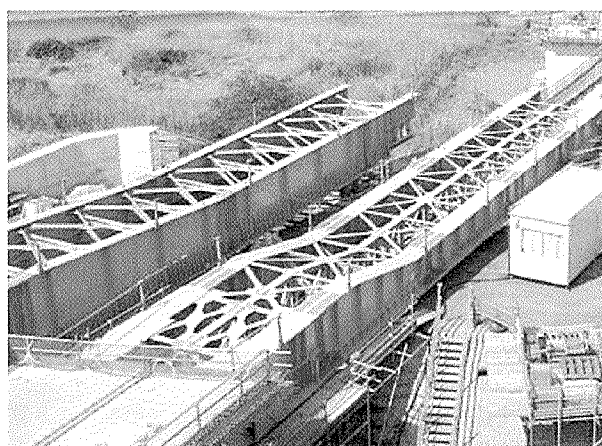


写真 - 2 手延べ桁全景

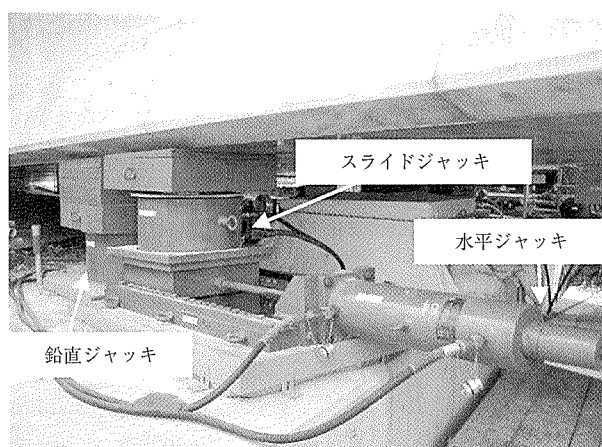


写真 - 3 押し出し装置

施工時最大反力を考慮し最大鉛直荷重 6 500 kN の鉛直・スライドジャッキ (ストローク長 50 mm) を、そして水平ジャッキ (ストローク 500 mm) を使用した。写真 - 3 に押し出し装置を示す。

押し出し装置の据付けは手延べ桁が到達する直前に行えばよいが、出水期で河川内に車両が進入できない時期に据付けなければならない橋脚上は、湯水期中に据付けた。

4.5 主桁製作工

外型枠は繰返し作業の効率化を図る目的で、鋼製の開閉式構造とした。底版型枠は押し出し装置を設置する箇所のみ木製構造の脱着式とし、底版ジャッキダウンの前に押し出しジャッキで主桁を盛り替えることが可能な構造とした。本橋の主桁縦断線形は単曲線形状であるが、型枠全長の中央で曲率にあわせた中折れ構造とした。型枠セットの要領は、既設の 2 ブロック前までの底版出来形を計測し所定の縦断線形に連続するよう数値を設定して底版高さを決定した。

内型枠はブロックごとに内部形状が異なるので、木製型枠による組出し構造とした。写真 - 4, 5 に型枠設備を示す。

またあと施工になる中間床版部横桁との鉄筋接続構造は、外型枠の開閉移動に支障のない機械継手方式を採用した。張出し床版では、隣り合う主桁から伸びる鉄筋が型枠解体時に支障になるので、一方の鉄筋を機械継手構造にした。

4.6 押出し施工

押出し施工は、6 径間の主桁を 13 ブロックに分けて、工期短縮を目的として上り線、下り線を 1 箱桁ごとに交互に押出しを行った。

最初に、手延べ桁を製作ヤードにて組み立て、所定の位置まで手延べ桁を送り出し装置にて押し出した。次に、主桁製作ヤードの組立てを行い、順次ブロックを製作し押し出しを行った。1 ブロック長は、21.0 m とし支間長の短い側径間部のみ 14.0 m、16.4 m とした。上り線、下り線あわせて合計 26 回の押出しを行う。本橋での押出しサイクル工程は、1 回の押出し (500 mm) を約 10 分で行い、1 ブロック (21 m) あたり押出し架設に要した時間は約 1 日、1 ブロックの施工日数は 14 日であった。写真 - 6 に押出し架設



写真 - 5 外型枠組立て状況

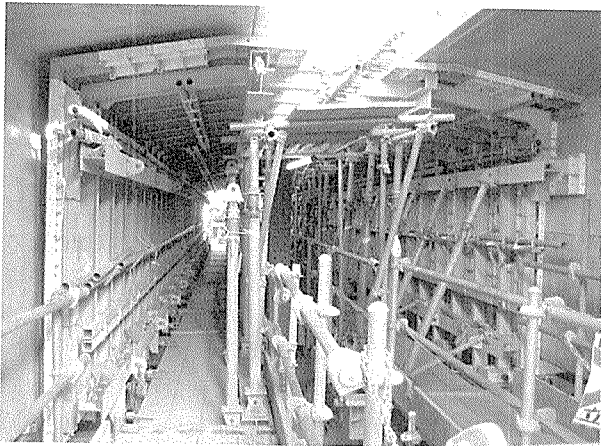


写真 - 4 外型枠設備

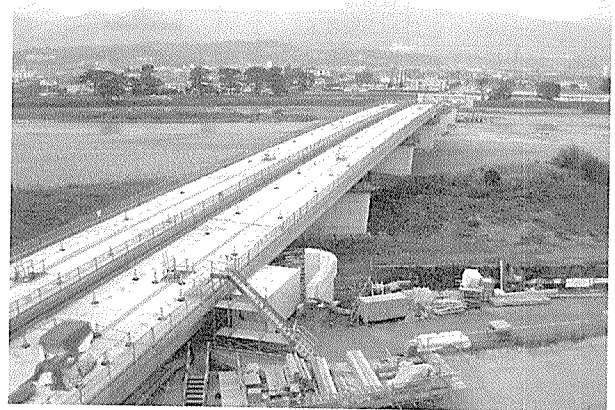


写真 - 6 押出し架設状況

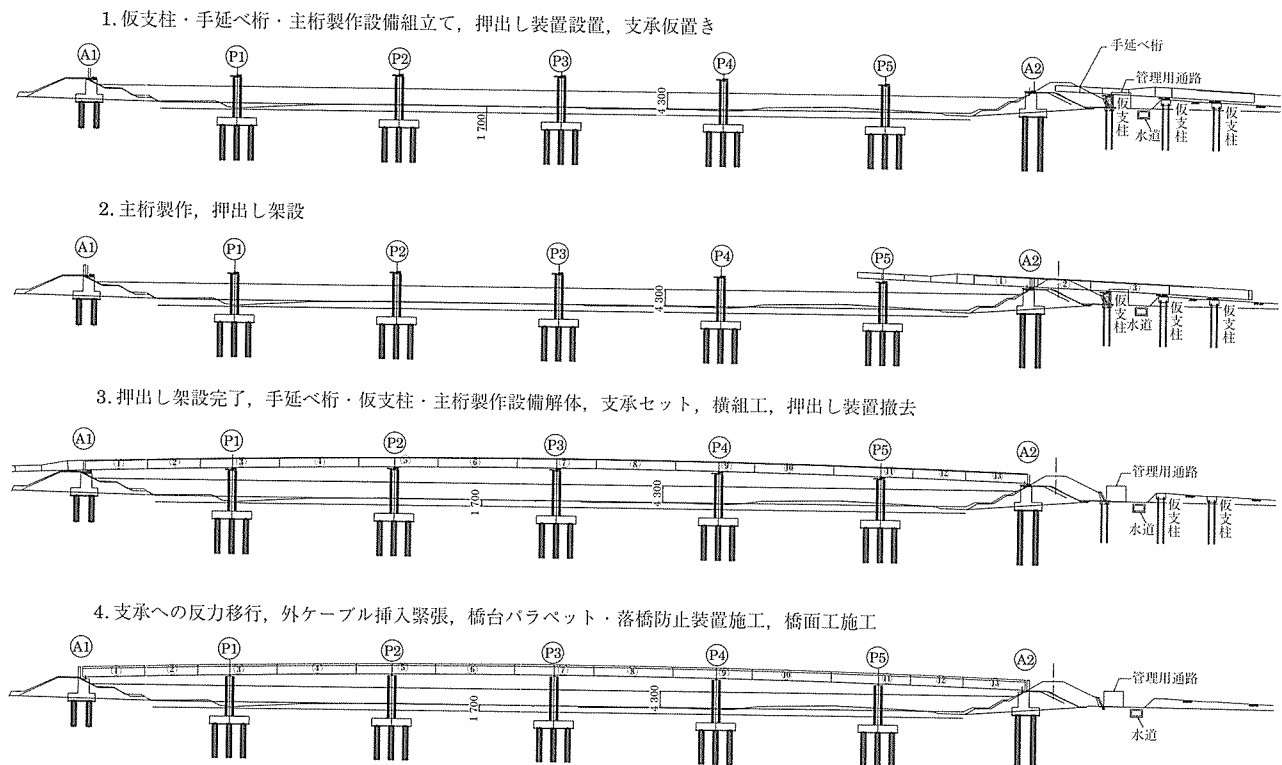


図 - 13 押出し施工順序図

表 - 4 押し出し架設サイクル工程

工 種	1 日	2 日	3 日	4 日	5 日	6 日	7 日	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日
1 押し出し架設	■													
2 下床版・および側型枠セット		■												
3 下床版・腹部、鉄筋・PC 鋼棒セット			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4 内型枠セット				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5 上床版鉄筋 PC 鋼棒セット					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6 コンクリート打設											■	■	■	■
7 コンクリート養生											■	■	■	■
8 緊張													■	■
9 型枠解体														■

表 - 5 工事工程表

工種	種別	細別	平成 18 年			平成 19 年												平成 20 年								
			10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
上部工	PC 箱桁製作工	箱桁製作工				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		押し出し架設工				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		付属物・橋面工						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		仮設工			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
下部工	橋台工	橋台躯体工																								
仮設工	迂回路工		■	■	■																					

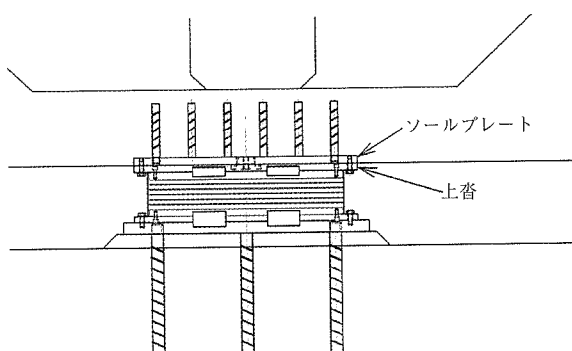


図 - 14 支保配置図

状況を、表 - 4 に押し出し架設サイクルを、押し出し施工順序図を図 - 13 に示す。

4.7 支保の施工

本橋では、比較的上部工重量が大きいため減衰効果が期待できる免震構造が効果的であるため、超高減衰ゴムを使用した免震支保を採用している。本橋の支保は、上沓の鋼板部分で2つに分離できる構造であり、下沓部分は押し出し架設前に、各橋脚・橋台の橋座箱抜き内に仮置きし、ソールプレート部分は主桁製作時に底版の所定の位置に配置しコンクリート打設して主桁に埋め込んだ。

そのため、主桁製作時のソールプレート埋込み位置につ

いては、各ブロックの主桁製作時から沓セット時までのプレストレスによる弾性変形量、クリープ・乾燥収縮による変形量を算出し、桁先端から沓位置までの累計変形量を考慮した位置に埋め込んだ。図 - 14 に支保配置図を示す。

4.8 工事工程

工事工程を表 - 5 に示す。全押し出し架設終了後に床版間詰め部および中間床版部横桁の施工を行い、付属物、橋面工を行い工事は終了する。

5. おわりに

本橋は、2007 年 12 月に全押し出し架設終了後、横組工、橋面工等を行い 2008 年秋には完成する予定である。本稿が、今後の同種の PC 橋における設計、施工の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工にあたり、適切な助言およびご指導いただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 水野、三浦、浅野、北川：押し出し工法による酒匂川 1 号橋（仮称）の計画と施工、第 16 回プレストレストコンクリートの発展に関する論文集、2007.10
- 2) 猪爪、中村、浅岡、測田：環状 2 号線森支線（PC 橋区間、押し出し工法）の計画と設計、第 13 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、2004.10

【2007 年 11 月 12 日受付】