

プレキャスト化による PC 連続高架橋の設計・施工

- 総社高架橋 -

広島支店	土木工部部	西山 浩勝
広島支店	土木工部部	土井本三佳
広島支店	土木工部部	田中 寛規
広島支店	土木工部部	藤岡 靖

概要: 総社高架橋は、中国横断自動車道岡山米子線の4車線化に伴う橋梁工事であり、総社市郊外に位置するPC連続高架橋である。当初の上部工構造形式は場所打ち施工での多径間連続2主版桁橋の計画であったが、構造物の耐久性能の向上および現場施工の省力化・工期短縮を図ることを目的として、工場製品となるプレテンション方式プレキャストPC桁を採用している。なお、工場製品の採用は、近隣(30km以内)にPC部材製作工場があることも要因となっている。

Key Words: プレキャスト化, 耐久性向上, 工期短縮, 多径間連結PC桁構造

1. はじめに

本橋の構造特徴を以下に示す。

主桁および張出し床版に品質および耐久性に優れるプレキャスト製品を採用した。

プレキャスト張出し床版を採用することにより、耐久性の向上および現場施工の省力化に配慮した。

中間横桁の設計は構造性能に配慮し、最適な横桁本数および横締めPC鋼材本数にて設定した。

耐震性の向上より、メナーゼヒンジ鉄筋を用いた多径間連結PC桁構造を採用した。

本稿では、総社高架橋の設計および施工について報告する。

2. 工事概要

本橋の工事概要を以下に示し、上部工側面図および断面図、下部工断面図を図-1～3に示す。

- ・工事名 : 岡山自動車道 総社高架橋(PC上部工)工事
- ・発注者 : 日本道路公団 中国支社 津山工事事務所
- ・工事場所 : 岡山県総社市黒尾～窪木
- ・路線名 : 高速自動車国道 中国横断自動車道 岡山米子線
- ・橋梁形式 : 多径間連結プレテンション方式ホロー桁橋
- ・橋長 : 1747.300m, 総幅員: 9.900m
- ・径間数 : 99 径間(主桁本数 798 本)
- ・径間長 : 18.000m(標準)～23.200m(最大)
- ・線形 : 平面線形 R=10 000m～A=500m～R=1000m～A=500m～R=800m
: 縦断勾配 i=0.650%(下り)～1.000%(上り) 横断勾配 i=2.5%～4.5%～0.0%～4.5%



西山浩勝



土井本三佳



田中寛規



藤岡靖

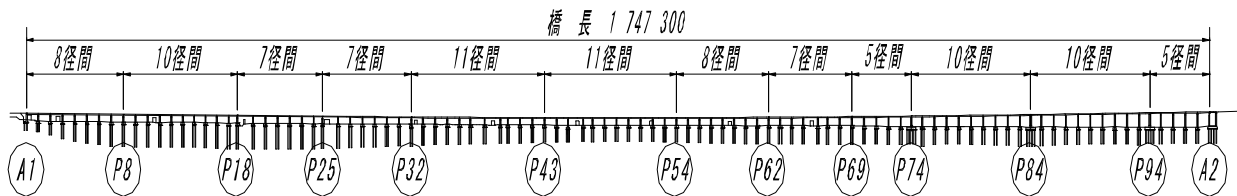


図-1 上部工側面図

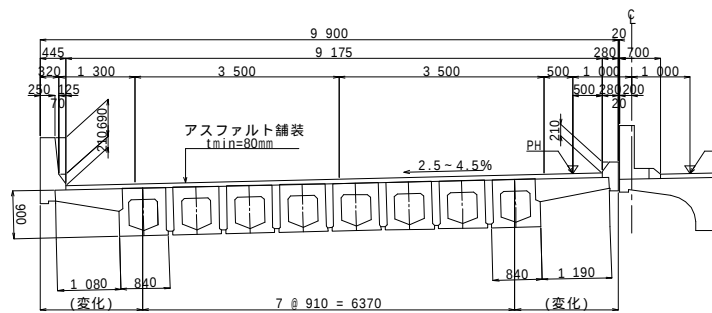


図-2 上部工断面図

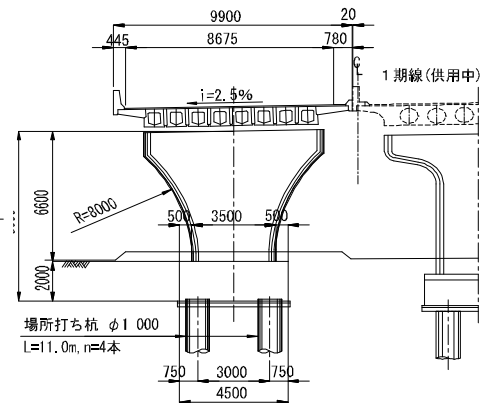


図-3 下部工断面図

3. 設計

(1) 主方向の設計

1) プレキャスト桁を用いた多径間連続構造の採用

本橋は、最大 196.750m(11 径間)におよぶ多径間連続 PC 桁構造を採用し、経済性および走行性の向上を図った主桁形式である。なお、耐震性の向上より、中間支点上に配置された図-4 に示す既設のメナーゼヒンジ鉄筋を水平方向の固定装置とする多点固定構造を採用している。

2) 主桁断面の決定

桁高は2主版桁で計画されていた下部工高さと路面計画高のクリアランスより900mmと決定した。桁幅の設定は、既設橋脚幅内に設置可能であることや、運搬最大重量(30t)に押さえることなどを考慮し、一般の JIS 桁に対して幅広となる 840mm の桁幅を採用した。主桁断面図を図-5 に示す。

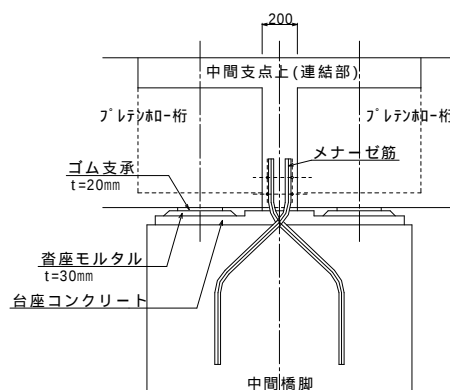


図-4 メナーゼヒンジ配筋図

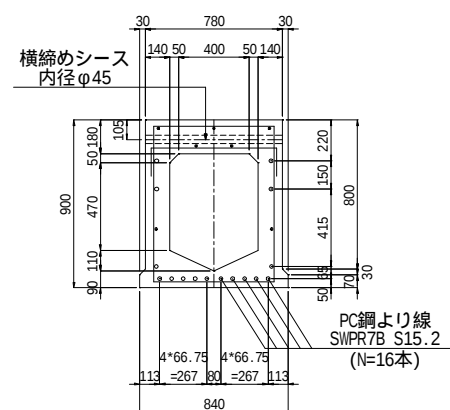


図-5 主桁断面図

3) 設計断面力および主桁の設計

設計断面力の算出は、主桁連結前は単純桁、連結後は鉛直バネを有するゴム支承支持された連続格子げたモデルにて解析している。構造解析での安全性の照査項目として、使用する単層 CR ゴム支承について載荷試験を実施し、圧縮特性値(許容圧縮応力度および圧縮バネ定数)に対して構造解析値との妥当性の確認を行っている。

以下にゴム支承載荷試験の概要と図-6 に載荷試験状況を示す。

[試験概要]

・供試体寸法

厚さ: 単層ゴム($t=20\text{mm}$), 積層ゴム($t=23, 33\text{mm}$)の3種類

平面寸法: $200 \times 720, 250 \times 720, 300 \times 720\text{mm}$ の3種類

なお, 積層ゴムについては, CR ゴムの中間層に硬質ゴムで補強したゴム支承である。

$t=23\text{mm}$ の場合, ゴム: $t=10\text{mm} \times 2$ 層, 補強材: $t=3\text{mm}$

$t=33\text{mm}$ の場合, ゴム: $t=15\text{mm} \times 2$ 層, 補強材: $t=3\text{mm}$

・載荷荷重

支圧応力度が, $2.45, 6.0, 8.0\text{N/mm}^2$ となるような荷重

・測定箇所

鉛直変位および側面はらみ出し量

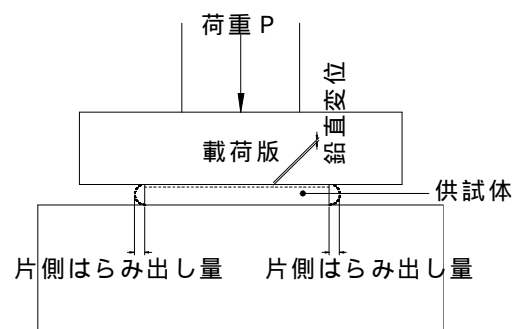


図-6 載荷試験状況

[試験結果]

以下に試験結果を列挙する。

単層・積層ゴム支承圧縮バネ定数の測定値は, 道路橋支承便覧に示される計算値と比較し, 小さな値を示した。

本試験で得られた結果から, 荷重と変位関係はほぼ線形(直線)関係にあることより, 回帰直線の傾きを圧縮バネ定数として考える。

単層・積層ゴムの許容支圧応力度は 2.45N/mm^2 とされているが, 本試験では 8.0N/mm^2 を超える支圧応力度に対して圧縮規能を満足する結果となった。

単層・積層ゴムの許容支圧応力度とされている 2.45N/mm^2 の支圧状態において, 側面はらみ出し量が最大 12mm 程度あることから, はらみ出し量を規定値として許容支圧応力度を設定する。

本実験では, 積層ゴムの中間補強材がはらみ出し量を抑制せず, 単層ゴム支承のはらみ出し量が小さい結果となったため, 単層ゴム支承を採用する。

はらみ出し量 12mm を規定値として許容支圧応力度を設定すると, $a=200\text{mm}$ の場合 $\sigma_a = 4.5\text{N/mm}^2$, $a=250, 300\text{mm}$ の場合 $\sigma_a = 5.0\text{N/mm}^2$ となる。

以上の結果より, 本橋のゴム支承形状は, 橋軸方向幅 $250\text{mm} \times$ 厚さ 20mm , 圧縮バネ定数を $K_v=700\text{kN/mm}$, 許容支圧応力度を $\sigma_a=5.0\text{N/mm}^2$ と設定した。

各供試体の試験結果を表-1 および図-7 に示す。

表-1 試験結果

供試体寸法および圧縮バネ値

	ゴム厚 (mm)	記号	平面寸法 (mm)	圧縮バネ値	
				回帰直線の傾き ① (kN/mm)	圧縮バネ定数の計算値 ② (kN/mm)
供試体	20	A	200×720	632	621
		B	250×720	643	1193
		C	300×720	1007	2042
	23	D	200×720	287	2398
		E	250×720	401	4663
		F	300×720	625	8038
	33	G	200×720	159	721
		H	250×720	232	1395
		I	300×720	340	2398

応力～変位曲線

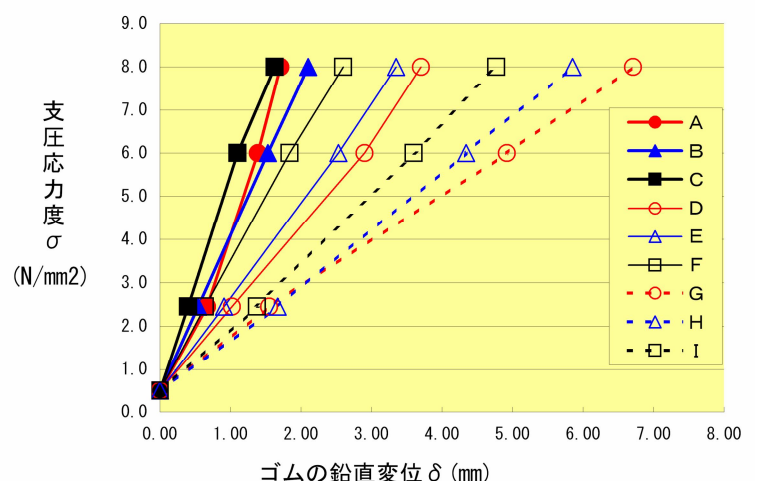


図-7 試験結果

また、中間支点上に配置されたメナーゼヒンジ鉄筋を使用することから、プレストレスクリープ・乾燥収縮・温度変化による主桁軸方向変形が中間橋脚により拘束されるため、主桁に軸方向内部応力が発生する。この主桁軸力に対しては、図-8 に示すような上部構造と下部構造が中間支点上でヒンジ結合された全体系フレームモデルで解析し、主桁応力度の安全性を確認している。

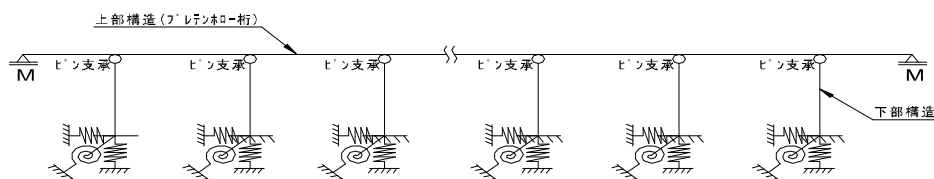


図-8 全体フレームモデル概要図

(2) 横方向の設計

1) 中間横桁の設計

中間横桁の設計は、JIS 桁標準に対してさらに経済的かつ合理的な構造物とするため、中間横桁箇所数と横締め PC 鋼材本数を以下の検討より決定した。

[中間横桁箇所数の検討]

中間横桁箇所数は、格子解析を用いて横締め PC 鋼材本数が最小となるよう比較を行い決定している。図-9 に示す検討ケース径間長 $L=20\text{m}$ 以上の場合と径間長 $L=18\text{m}$ 以下の場合について検討を行った。検討結果を表-2、3 に示す。

中間横桁箇所数は径間長 $L=20\text{m}$ 以上で 3 箇所、径間長 $L=18\text{m}$ 以下では 2 箇所配置した。

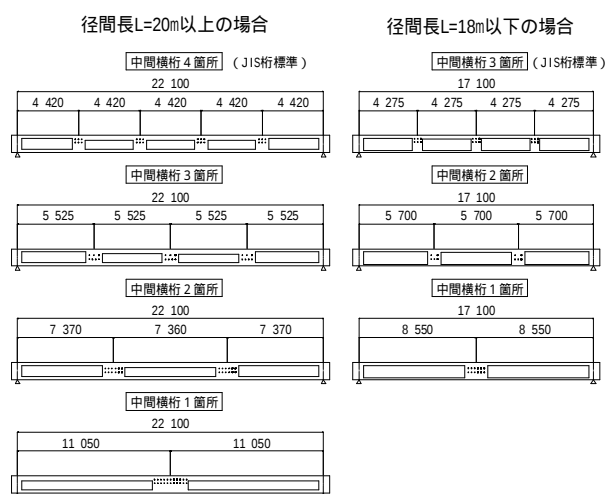


図-9 検討ケース

表-2 $L=20\text{m}$ 以上検討結果

検討 ケース	PC 鋼材本数	
	1 箇所当り	1 径間当り
4 箇所	6	24
3 箇所	7	21
2 箇所	12	24
1 箇所	22	22

注: 上記の 4 箇所の PC 鋼材本数は JIS 桁標準 (発注時) の数量である。

表-3 $L=18\text{m}$ 以下検討結果

検討 ケース	PC 鋼材本数	
	1 箇所当り	1 径間当り
3 箇所	6	18
2 箇所	5	10
1 箇所	12	12

注: 上記の 3 箇所の PC 鋼材本数は JIS 桁標準 (発注時) の数量である。

[横締め PC 鋼材本数の検討]

FEM 解析を行い、設計荷重作用時に桁間間詰め部の上下縁が常に圧縮域となる PC 鋼材量を算出した。考慮する荷重は、橋面死荷重、活荷重、床版横締め緊張力としている。

FEM 解析結果を図-10 に示す。横締め PC 鋼材本数は、耐久性を考慮して、活荷重載荷時に引張応力を発生させない状態となるように、中間横桁 1 箇所当りに 1S21.8mm を 2 本配置している。

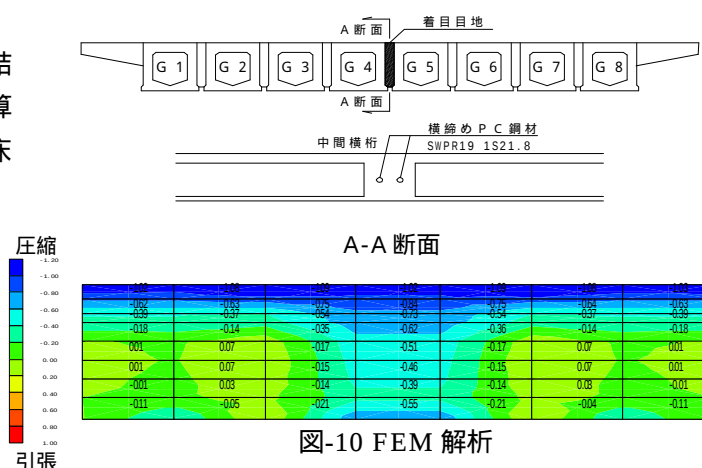


図-10 FEM 解析

以上の検討により、JIS 桁標準 (発注時)の横桁横
締め PC 鋼材を減少させることが可能となった。
表-4 に鋼材数量増減表を示す。

表-4 PC 鋼材数量増減表

	JIS 標準	実施工	増減
横桁箇所数(箇所)	267	204	▲ 63
PC 鋼材重量(kg)	30336	8283	▲ 22053

2) 横方向 PC 鋼材の仕様

横方向 PC 鋼材は、鋼材の防錆の確保および突出防止を考慮して図-11 の様な比較を行い、CASE-3 プレグラウト PC 鋼材 + グラウトに決定した。

	CASE-1 裸PC鋼材+グラウト	CASE-2 被覆PC鋼材+グラウト	CASE-3 プレグラウト鋼材+グラウト	CASE-4 アンボンドPC鋼材+グリース
断面図				
構造性	・一般のプレテンションホロー桁で採用されている工法である。	・ケーブル防錆は被覆部で1次防錆を確保している。さらにグラウトにより2次の防錆と突出防止も兼ねる。	・ケーブル防錆はプレグラウト鋼材で1次防錆を確保している。さらにグラウトにより2次の防錆と突出防止も兼ねる。	・ケーブル防錆はアンボンド鋼材で1次防錆を確保している。さらにグリースは2次の防錆となる。
耐久性	・防錆がグラウトのみであるため他のケースに比べて耐久性は劣る。	・グラウトが2次防錆となるため耐久性は向上する。	・グラウトが2次防錆となるため耐久性は向上する。	・グリースが2次防錆となるため耐久性は向上する。
施工性	・グラウトの安全充填を確認する必要がある。	・PC鋼材挿入時に生じる損傷配慮が必要である。 ・工場製作時にピンホールが生じた場合、処置が必要である。	・硬化剤の漏れに対して配慮が必要である。	・グリースの充填材の漏れに対して配慮が必要である。
経済性	1. 0	1. 2	1. 3	1. 1

図-11 横方向 PC 鋼材比較表

3) プレキャスト張出し床版の設計

張出し床版の選定は、図-12 に示す様に張出し床版の構造を比較した。(CASE-1: 発注時)
その結果、構造性・施工性・経済性に優れたプレキャスト PRC 床版(CASE-3)に決定した。

	CASE-1 場所打ちRC床版	CASE-2 場所打ちPRC床版	CASE-3 プレキャストPRC床版
断面図			
部材寸法	床版付け根厚 t1=830mm 床版先端厚 t2=210mm 断面積 A=0.695m ² (比率: 1.65)	床版付け根厚 t1=430mm 床版先端厚 t2=210mm 断面積 A=0.422m ² (比率: 1.00)	床版付け根厚 t1=430mm 床版先端厚 t2=210mm 断面積 A=0.422m ² (比率: 1.00)
構造形式	支間方向: RC構造 支間直角方向: RC構造	支間方向: PRC構造 支間直角方向: RC構造	支間方向: PRC構造 (ループ継手を使用) 支間直角方向: RC構造
鋼材配置	PC鋼材: SWPR19L 1S21.8 ctc1500mm 鉄筋: 上側 D16ctc150mm 下側 D13ctc150mm	PC鋼材: SWPR19L 1S21.8 ctc1500mm 鉄筋: 上側 D16ctc150mm 下側 D13ctc150mm	PC鋼材: SWPR19L 1S21.8 ctc1500mm 鉄筋: D13ctc200mm
構造性	場所打ち構造であり耐久性を上げるため、PC鋼材の配置が必要である。 床版自重が大きくなり下部工反力が増加する。 △	場所打ち構造であり耐久性を上げるため、PC鋼材の配置が必要である。 床版自重が小さくなる。 ○	プレキャスト部材であるため高品質であり高耐久性となる。 床版自重が小さくなる。 主桁との接合面の耐久性向上のためPRC構造を採用した。 ◎
施工性	桁下空間を確保するため大規模な吊り支保工が必要となる。 場所打ち施工するコンクリート、型枠、鉄筋等数量が多いことから、天候に左右されやすい工法である。また、側道を規制する回数が多い。 特殊吊り支保工は片持ち吊り支保工であり、またその反力が大きいことからタワミ管理の難易度が高い。 鉄筋継手に機械継手が必要となる。 △	桁下空間を確保するため大規模な吊り支保工が必要となる。 場所打ち施工するコンクリート、型枠、鉄筋等数量が多いことから、天候に左右されやすい工法である。また、側道を規制する回数が多い。 特殊吊り支保工は片持ち吊り支保工であり、ケース1ほどではないが、同様にタワミ管理の難易度が高い。 鉄筋継手に機械継手が必要となる。 ○	大規模な吊り支保工は不要となる。 プレキャスト化により、現場施工の省力化が図られる。 そのため天候に左右されにくい工法である。 プレキャスト部材の架設は側道の一部の占有で可能である。 また、現場施工の数量が少ないことから、側道を規制する回数が他工法に比較して少ない。 プレキャスト部材は架設後の高さ調整が容易であり、吊り支保工のタワミ管理が容易である。 鉄筋継手性状によりループ継手を採用した。 ◎
経済性	1.15	1.06	1.00
評価	△	○	◎

図-12 張出し床版比較表

プレキャスト張出し床版の設計は、床版支間方向には横締めプレグラウト PC 鋼材 1S21.8mm とループ継手鉄筋を配置した PRC 構造を採用している。ループ継手方式を採用することで鉄筋配置など現場施工の省力化を図ることができる。床版支間直角方向は RC 構造とし、プレキャスト床版の連結方法は、RC 重ね継手形式を用いた。プレキャスト張出し床版の継手形状図を図-13 に示す。

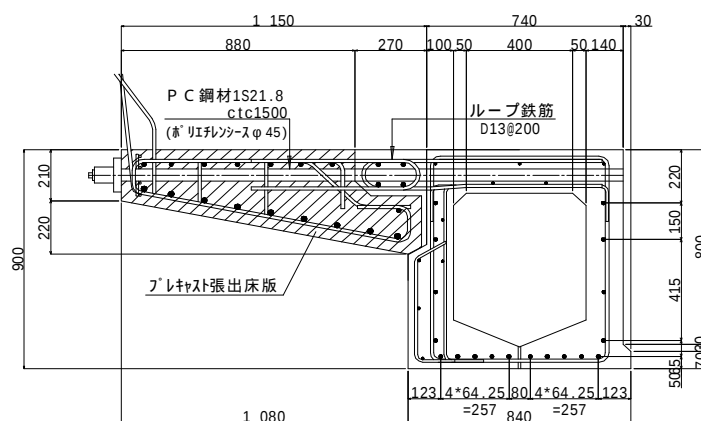


図-13 プレキャスト張出し床版 継手形状図

4. 施工

(1) 主桁およびプレキャスト張出し床版の製作

主桁は、プリスタリング対策として写真-1 に示す様に、中空型枠を段ボール製(15mm 厚)とした。段ボール製の採用にあたっては、所定の断面寸法の確保、コンクリート充填状況および中空内への水漏れ、蒸気養生時の中空変化によるひび割れの有無などについて打設確認試験を実施し、採用している。



写真-1 主桁中空型枠



写真-2 プレキャスト張出し床版

プレキャスト張出し床版の止水は、地覆鉄筋に対する耐久性向上を目的として、写真-2 の様に床版コンクリートを盛上げ、止水堰を設けている。

(2) プレキャスト化による現場施工の省力化

施工は、写真-3 および図-14 に示すように橋梁側道からの一括したクレーン架設となることから、場所打ち支保工架設と比較して型枠支保工施工の低減、工期短縮が図れる。



写真-3 架設状況

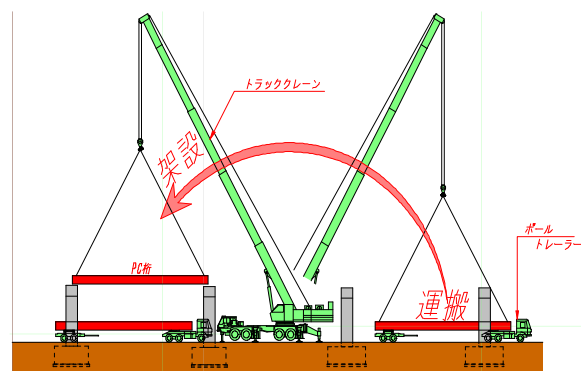


図-14 主桁架設要領

[施工数量の低減]

橋梁本体を工場で製作するため、現場での型枠、支保工、鉄筋およびコンクリート等の作業が低減でき、同時に現場で発生する型枠材やコンクリート等の産業廃棄物を抑制することが可能となる。表-5 にプレキャスト工法と場所打ち工法との数量比較を示す。

表-5 現場数量比較表

名 称	単位	場所打ち工法	プレキャスト工法	摘要
コンクリート	m3	10,300	2,130	
型 枠	m2	20,900	3,300	
鉄 筋	t	1,443	174	
PC 鋼材	t	217	44	
支 保 工	空 m3	135,000	41,000	足場工含む
運搬トラック	台	3,200	1,680	
荷役クレーン	台	450	210	

注:上記の数量は、地覆・高欄およびその他の付属物工は含まないものである。

[工期短縮]

表-6, 7 に示す通り、プレキャスト工法とした場合で5ヶ月程度の工期短縮が図れる。

表-6 場所打ち工法工程表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
支承工																				
非常駐車帯工																				
本体工																				
橋面工																				
下部工																				
桁端防水工																				
後片付け																				

表-7 プレキャスト工法工程表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
主桁製作工(工場)																				
Pca床版製作工(工場)																				
支承工																				
非常駐車帯工																				
架設・横組・張出工																				
橋面工																				
下部工																				
桁端防水工																				
後片付け																				

(3) プレキャスト張出し床版の架設

プレキャスト張出し床版を採用することにより、大がかりな支保工を必要とせず、吊り足場及び吊り支保工内で全ての作業が可能であり、桁下空間を有効利用することが可能となっている。プレキャスト張出し床版形状および架設状況をそれぞれ写真-4, 5 に示す。プレキャスト張出し床版の架設は25t ホイールクレーンでの直接架設工法であるが、供用している1期線側の壁高欄とのスペースが狭いことから事前に試験施工を行い、架設性能および安全性を確認している。なお、プレキャスト張出し床版部材を受ける支保工については、主桁の横組連結部の施工を完了した後、図-15 に示すような吊り支保工にて支えることとしている。



写真-4 プレキャスト張出し床版



写真-5 プレキャスト張出し床版 架設状況

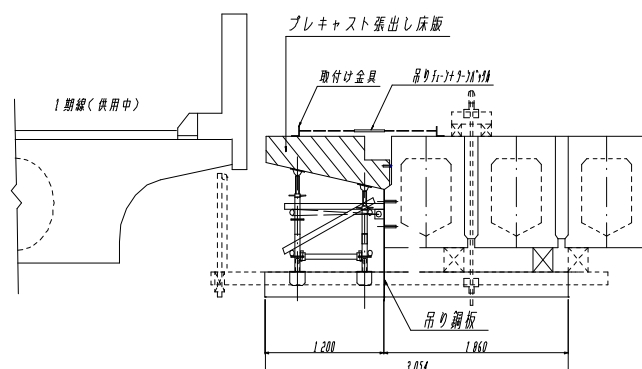


図-15 プレキャスト張出し床版 架設要領図

(4) プレキャスト張出し床版と主桁の接合

プレキャスト張出し床版と主桁接合部の施工については、接合部の最下面に1液エポキシ樹脂接着剤を、ループ継手下面には無収縮モルタルを、ループ継手部には膨張コンクリートを用いて耐久性、水密性を高めている。

接合部の状況について写真-6を参照する。工場製品にダクト(ポリエチレンシース)を設けておき、その中にプレグラウトPC鋼材を挿入した後、さらにグラウト材を充填することから、PC鋼材の防錆に対する耐久性の向上も図っている。



写真-6 プレキャスト張出し床版 接合部状況

(5) 桁下空間の確保

当現施工における周辺環境との制約上、桁下空間を確保することが重要視されていた。施工状況を写真-7に示す。場所打ち工法の場合、大規模な支保工が必要であり、コンクリート打設など作業スペースの確保から、側道には臨時的な拡幅道路や迂回路等の交通規制が必要となる。本橋は、プレキャスト工法を採用したことにより、桁下空間が確保され、また、架設時に側道を規制する時間を大幅に短縮出来ることから、近隣住民の生活への影響を最小限に押さえる施工が可能であった。



写真-7 上部工施工状況

5. まとめ

本橋は工場製品の高品質・高耐久性などのメリットを最大限に生かしながら、工期短縮・施工の省力化などに繋がる施工を行っている。また、プレキャスト化により周辺地域への騒音・振動の緩和、建設機械による大気汚染の低減、型枠材などの産業廃棄物の縮減にも繋がり、環境にも十分配慮した施工を行うことが可能となった。さらに、一般の場所打ち工法では煩雑となる橋梁群の施工順序も、工場製品を多用したことから、工程調整に制限を受けることなく、着手可能であり、工期短縮が図れる結果となった。写真-8に全景を示す。

本橋の施工実績が、近年、構造物に求められる耐久性など要求性能の確保や、様々な制限を受ける現場環



写真-8 全景

境における橋梁計画の設計・施工の参考となれば幸いである。

謝辞

本橋の設計・施工にあたり、日本道路公団中国支社構造技術課および津山工事事務所の皆様をはじめ、多大なる御指導、御協力いただいた関係者各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集，1999.8
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ～Ⅴ），2002.3
- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC床版設計・施工マニュアル（案），1999.5
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC連結げた橋設計の手引き（案），1998.6