

# 高橋脚におけるマスコンクリート対策および高流動コンクリートの施工

## —新名神高速道路高槻高架橋東（下部工）工事—

### Mass Concrete Measures and High Fluidity Concrete Construction for High Bridge Piers

鈴木孝幸\*1 大橋駿希\*2 中尾友哉\*3 松浦志就\*4 近藤 連\*5 東海林瞬\*6 秋山 博\*7

#### 概 要

本工事は、新名神高速道路高槻高架橋のうち、橋脚 16 基を構築する橋梁下部工工事である。マスコンクリート対策として、フーチングに対してはパイプクーリングを、過密配筋の橋脚充実部（基部および梁部）には、低熱ポルトランドセメントを用いた。

P8 橋脚は東上部工（鋼 7 径間連続板桁）と西上部工（鋼 11 径間連続（箱桁+板桁））の掛違い橋脚となっている。このため梁部には、コンクリート製の落橋防止構造と段差防止構造を兼ね大きな突起を設けており、鉄筋を 3D 化したところ鉄筋のあきが 32 mm と非常に狭くバイブレーターの挿入が困難であり、締固めが不可能であった。また、梁部はマスコンクリート対象箇所であり、鉄筋過密部であるため分割しての打設が困難であった。このため、自己充填可能な高流動低熱コンクリート（自己充填性ランク 1）を採用した。低熱セメントおよび増粘剤を用いて試験練りを繰返し、実機試験による試験施工を行った後、本施工に臨んだ。低熱ポルトランドセメントを用いた高流動コンクリート（自己充填性ランク 1）は西日本高速道路株式会社管内では初の試みであった。

*key words*: マスコンクリート、低熱ポルトランドセメント、パイプクーリング、高流動コンクリート、増粘剤系、自己充填性ランク 1、過密鉄筋

#### 1. はじめに

新名神高速道路は、名古屋から神戸を結ぶ約 174 km の高速道路である。本工事は八幡京田辺 JCT・IC～高槻 JCT・IC における 10.7 km の新施工工事区間のうち、大阪府高槻市上牧 4 丁目～大字梶原に位置する高槻高架橋（図-1）の東側に位置する P2 橋脚～P9 橋脚（計 16 基）の橋脚下部工を施工する工事である（図-2、図-3）。

P8 橋脚は西側、東側に跨ぐ上部工の掛違い橋脚であり、台座が通常の倍の大きさになっている。また、高槻高架橋西側には有馬高槻断層が存在していることから、有事の際に早期復旧ができるよう梁部に断層変位を考慮し、橋軸直角方向に 3m ずつ上げ、落橋防止構造と段差防止構造を兼ねた突起を設けている（図-4、図-5）。

本報では、橋梁下部工工事でのマスコンクリート対策および梁部の高流動低熱コンクリートについて報告する。



図-1 施工位置図

*1 Takayuki SUZUKI	大阪支社土木統轄部土木部	作業所長
*2 Toshiki OOHASHI	大阪支社土木統轄部土木部	
*3 Tomoya NAKAO	大阪支社土木統轄部土木部	
*4 Motoyuki MATSUURA	大阪支社土木統轄部土木部	
*5 Ren KONDO	大阪支社土木統轄部土木部	
*6 Shun SHOJI	土木事業本部土木本部技術部	
*7 Hiroshi AKIYAMA	土木事業本部土木本部技術部	部長

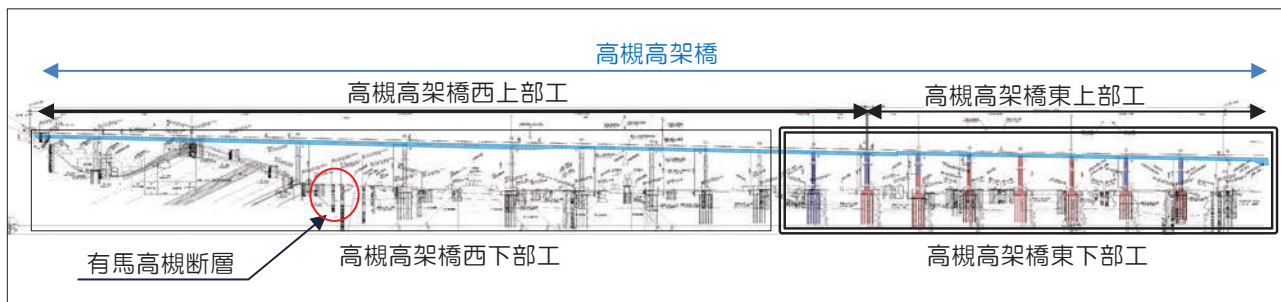


図-2 縦断図(高槻高架橋施工範囲)

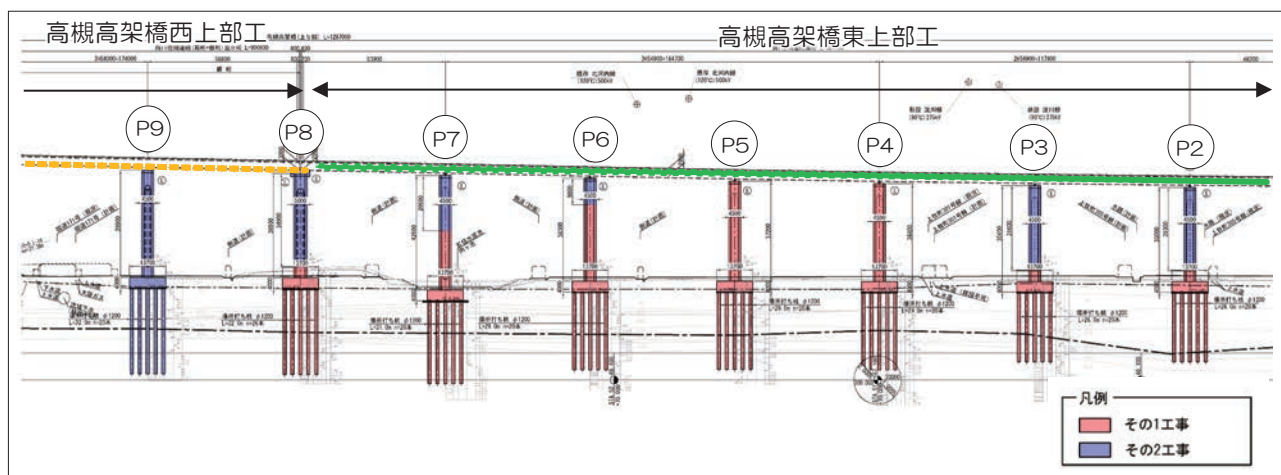


図-3 縦断図(高槻高架橋東下部工施工範囲)

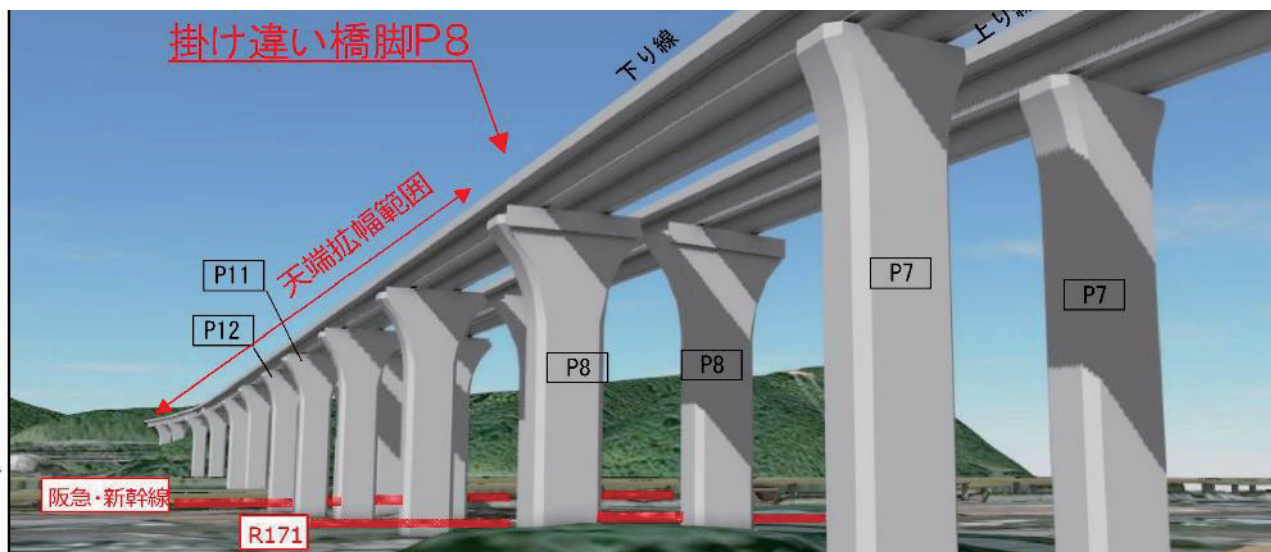


図-4 完成イメージパース

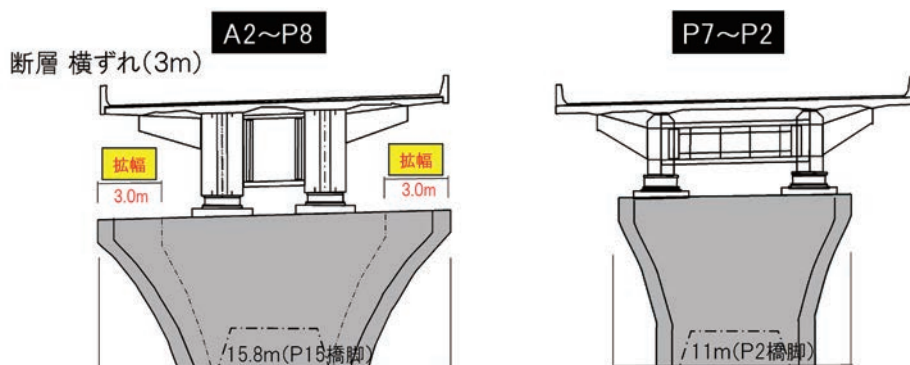


図-5 標準断面図

## 2. マスコンクリート対策

### 2.1 概要

橋脚とフーチングの部材厚が80cmを超えており、マスコンクリート部材に該当するため、温度応力によるひび割れが懸念された（図-6）。

また、水和熱による高温履歴を受ける可能性があるため、エトリングタイトの遅延生成（Delayed Ettringite Formation:以下DEF）によるDEFひび割れが懸念された。

適切なひび割れ制御の観点から、3次元有限要素解析により、コンクリート温度および温度応力を求めて、ひび割れ対策の検討を行った。

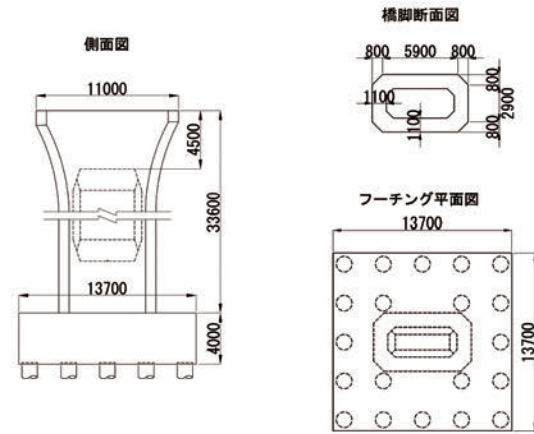


図-6 橋脚一般図

### 2.2 ひび割れ対策上の目標値

#### ① 最小ひび割れ指数 1.0 以上の確保

ひび割れ幅が過大とならないよう制限するため、ひび割れ指数を1.0以上確保することを目標とした。

#### ② コンクリートの内部温度の設定

コンクリート内部温度は最高温度の限界値を設けDEFひび割れに対する照査を行った。コンクリートのアルカリ量が $3.0\text{kg/m}^3$ 以下、かつ $\text{SO}_3$ 量が $9.0\text{kg/m}^3$ 以下であるため、最高温度の上限値を $80^\circ\text{C}$ として設定した。

表-1 コンクリートの配合諸元

セメント種別	呼び強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	水セメント比 (%)	単位セメント量 ( $\text{kg/m}^3$ )	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )
普通セメント	30	0.50	330	165

### 2.3 解析条件

#### ① コンクリートの配合諸元、外気温、打設温度

コンクリートの配合諸元を表-1に示す。

外気温は気象庁の月別平均気温を参考とし、打設温度は打設時期におけるプラントの出荷実績を確認した上で、外気温 $+5^\circ\text{C}$ として設定した。

#### ② 解析モデル

解析モデルはフーチングおよび橋脚全体の解析モデルを作成した（図-7、8）。通年施工であるため、春・秋期、夏期および冬期の3パターンの施工時期におけるコンクリートの温度履歴および温度応力の解析を行い、ひび割れ指数の確認とひび割れ防止対策の検討を行った。

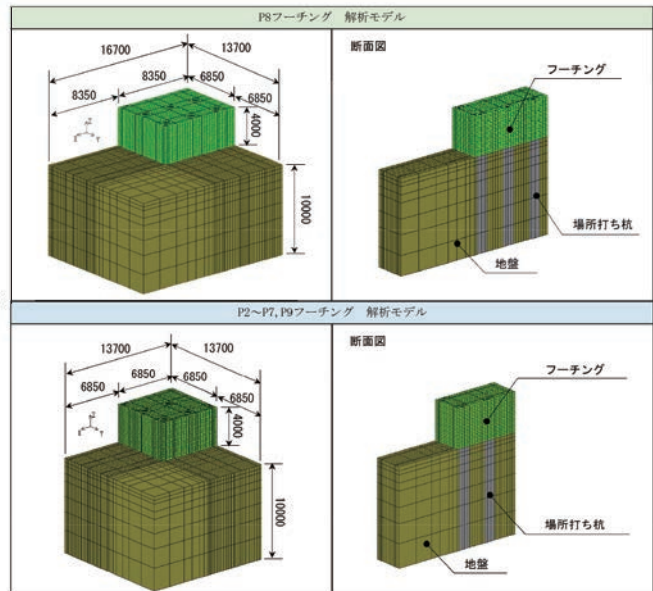


図-7 フーチング解析モデル

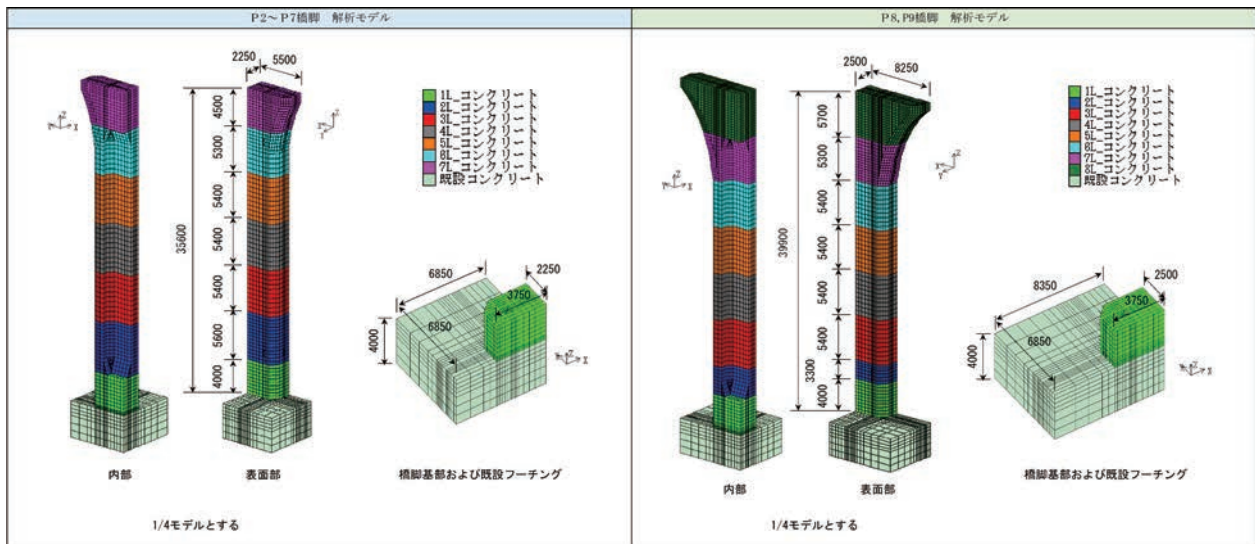


図-8 橋脚解析モデル



### 2.4 検討結果

解析の結果、フーチング、橋脚梁部ではひび割れ指数がひび割れ対策上の目標値である1.0を下回るため、対策を講じる必要があった。なお、橋脚中空部はひび割れ指数が1.0以上となるため、対策は不要との結果を得た（表-2）。

### 2.5 対策と結果

#### ① フーチング

部材厚が大きく、内外温度差による初期ひび割れが予想され、プラントの制約条件から低熱セメントが使用できないことから、内外温度差の低減を目的としたパイプクーリングと収縮補償によるひび割れ指数の改善を目的とした膨張材の使用を検討した。検討の結果、夏期にはクーリングパイプの配置間隔を750mm、そのほかの施工時期には配置間隔を1000mmとすることで目標ひび割れ指数を満足することが確認できた。クーリングパイプの配置の様子を写真-1に示す。

初期点検時にひび割れ幅0.1mm程度が各辺に2本程度発生したが、進行状況を確認し有害なひび割れは発生しなかった（写真-2、3）。

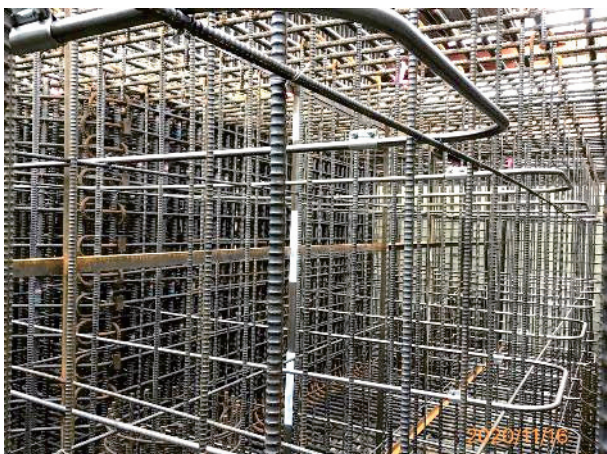


写真-1 クーリングパイプ配置状況



写真-2 フーチング施工完了

表-2 解析結果一覧表(普通セメント)

	フーチング				橋脚中空部				橋脚梁部			
	P2~P7, P9		P8		P2~P7		P8, P9		P2~P7		P8, P9	
	Icr	T	Icr	T	Icr	T	Icr	T	Icr	T	Icr	T
春・秋期	0.78	75.7	0.78	75.8	2.13	62.9	1.67	63.5	0.88	76.0	0.76	76.2
夏期	0.71	85.8	0.71	85.9	1.69	76.0	1.37	76.4	0.84	86.0	0.65	86.1
冬期	0.89	61.7	0.89	61.7	2.58	42.2	2.09	42.9	0.87	61.9	0.85	62.7

#### ② 橋脚梁部

ひび割れ指数が全てのケースにおいて目標値を下回り、また夏期施工の場合最高温度が80℃を超えており、DEFひび割れを生じる可能性があり対策が必要であった。このため低熱セメントにより最高温度、ひび割れ指数が改善し、目標値を満足する対策した。どの橋脚でもほぼひび割れの発生はなかった。さらに、足場解体期間まで保水養生テープを貼付け、養生を継続して行うことで、橋脚躯体の品質向上と乾燥収縮ひび割れの低減につなげた（写真-4）。



写真-3 初期点検



写真-4 保水養生テープ

### 3. 高流動低熱コンクリート（ランク1）の採用

新名神高槻高架橋東（下部工）工事では橋脚16基のうち、P8橋脚が上部工の掛違い橋脚となり、西側上部工が有馬高槻断層と交差するため、橋脚天端幅を橋軸直角方向に3mずつ拡げ、橋脚方向に落橋防止を設ける構造に変更することとなった（図-9）。

このため、梁部鉄筋を3Dモデル化したところ、橋脚柱部と梁部の鉄筋が重なり合って過密となり（図-10、11）、生コン打設時に内部振動機の挿入が困難となる箇所があることから、材料不分離抵抗性を損なうことなく流動性を高めた生コンクリートの検討を行った。

高流動コンクリートの性能は、構造物または部材に要求される性能を満足するよう、鉄筋のあきが36mmという構造条件および施工条件等を考慮して設定した。

高流動コンクリートの配合は、単位粉体量を増加させて粘性を付与し、材料不分離抵抗性を確保する粉体系を候補に試験練りを行い検討した。しかし、ひび割れを抑制するためにはセメント量をできるだけ少なく、自己充填性を確保するためには粉体量をできるだけ多くと相反する要求事項があり、表-3に示す評価試験値をクリアするコンクリートとならなかった。

また、低熱ポルトランドセメントは比重が3.24（普通セメントは3.15）と大きいため、同一質量でも粉体容積が小さいことも分離抵抗性を確保することを困難にした。このため、途中から高性能AE減水剤を用いた増粘剤系に切替えて試験を重ねた結果、表-4に示す配合を得た。

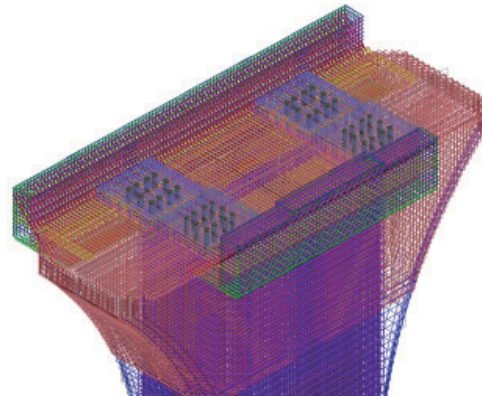


図-10 梁部鉄筋 3Dモデル

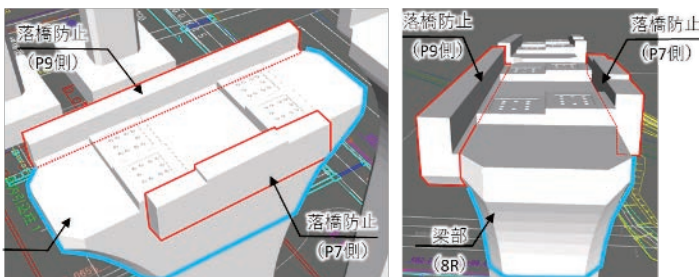


図-9 P8橋脚鳥観図

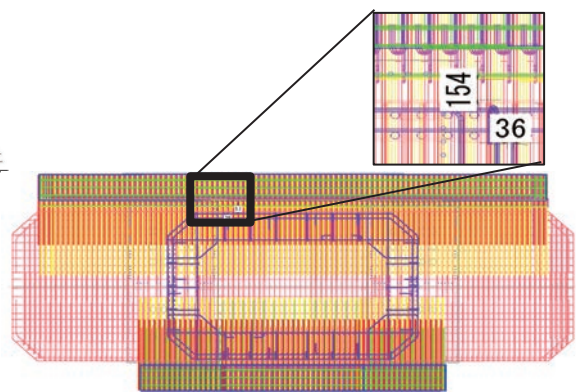


図-11 梁部鉄筋 3Dモデル平面

表-3 自己充填性のランクと各評価試験値

自己充填性のランク		1	2	3
構造条件	鋼材の最小あき (mm)	35~60	60~200	200以上
	鋼材量 (kg/m³)	350以上	100~350	100以下
U形またはボックス形充てん高さ (mm)		300以上 (障害R1)	300以上 (障害R2)	300以上 (障害なし)
単位粗骨材絶対容積 (m³/m³)		0.28~0.30	0.30~0.33	0.32~0.35
流動性	スランプフロー (mm)	600~700	600~700	500~650
材料分離 抵抗性	V漏斗の流下時間 (秒)	9~20	7~13	4~11
	500mmフロー到達時間 (秒)	5~20	3~15	3~15

表-4 高流動コンクリート配合表

配合種別	自己充填性ランク	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m³)							
					w	C	S		G		高性能AE減水剤	増粘剤
A1-3 (L) (高流動)	1	38.9	57.9	4.5	175	450	S1	247	G1	472		
							S2	740	G2	254		



4. 実機試験の取組

4.1 原寸大での実機試験

実施工開始前に現況寸法の橋脚を作成し(写真-5)、鉄筋、型枠組立時の懸案事項を抽出したほか、高流動コンクリート打設時の懸案事項を抽出し、実施工までに改善した。

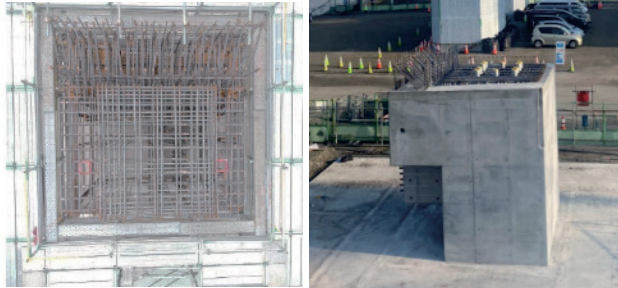


写真-5 実機試験 鉄筋組立、コンクリート打設

4.2 施工高さでの実機試験

施工時と同様の高さ(H=40m)にて配管打設時の打設速度を1m³/hと設定し、運搬計画に反映した(写真-6)。また、アクリル板の型枠で組立した模擬スラブ(写真-7)にて、はく落対策シートがスペーサーにより型枠面に密着している箇所にコンクリートが自己充填されるか確認した。スペーサー下部にはモルタル分が充填されないことから(写真-8)、外部振動機と木づちに等による打設が必要であることを確認した。

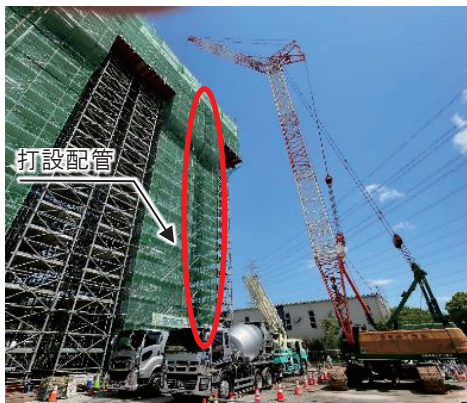


写真-6 実施工高さ打設確認

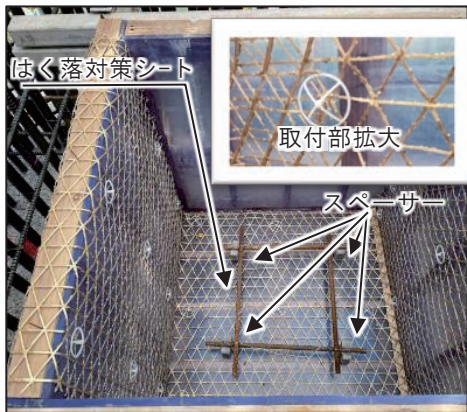


写真-7 スペーサー下部充填確認

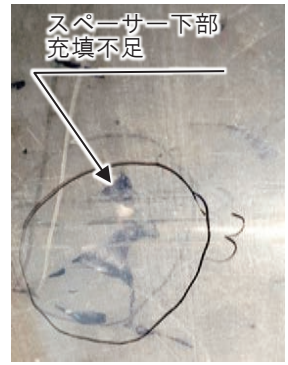
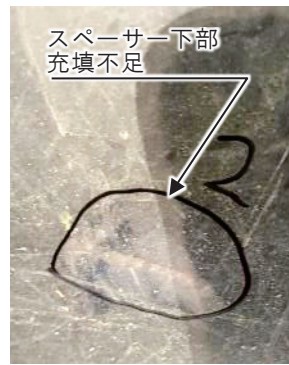


写真-8 スペーサー下部充填状況

4.3 実施工での取組

上記の改善点を実施工で反映した結果、型枠の変形や打設時のトラブルもなく、均し、養生、脱型まで確実に施工ができた(写真-9、10)。

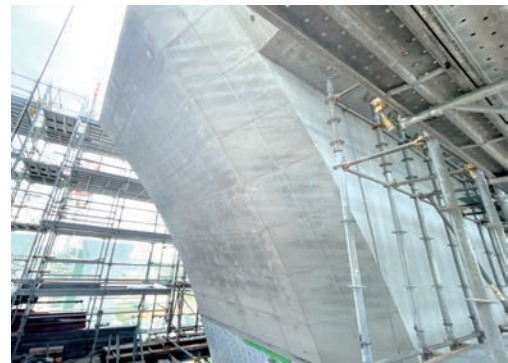


写真-9 脱型完了



写真-10 施工完了全景

5. おわりに

本報では、橋梁下部工におけるマスコンクリート対策と梁部への高流動コンクリートの適用について報告した。今後も高耐久で品質の高い構造物を構築する技術を研鑽していきたい。

【謝辞】

本工事では西日本高速道路株式会社の方々のをはじめ、当現場の担当職員、施工を担当した協力企業の方々に多大な協力や支援をしていただき、ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版]