

論文・報告

あさけがわ  
**朝明川橋混合構造接合部コンクリート施工**

～多重鋼殻セルへの高流動コンクリートの確実な充填を目指す～

High-performance Concrete Placement of Structural Joint Segment at ASAKEGAWA Bridge

遠野 利之 \*1  
 Toshiyuki TONO

清水 聡 \*1  
 Satoshi SHIMIZU

渡辺 耕平 \*2  
 Kohei WATANABE

加藤 久明\*3  
 Hisaaki KATO

甲斐 達也 \*4  
 Tatsuya KAI

北野 勇一 \*5  
 Yuichi KITANO

鋼・PC 混合 3 径間連続単弦アーチ補剛箱桁である朝明川橋において川田建設が施工を担当する混合構造接合部コンクリート工は、本橋の構造を成立させる上で重要な工程に位置付けられる。そこで、実物大のコンクリート充填試験を実施し、中詰コンクリートに用いる高流動コンクリートの配合設計およびコンクリート施工法を検討した。試験を通じて得られた知見を踏まえ本施工に臨んだ結果、すべての鋼殻セルにコンクリートを確実に充填することができた。

キーワード：混合構造、接合部、鋼殻セル、高流動コンクリート

1. はじめに

朝明川橋は、新名神高速道路と東海環状自動車道を連結する新四日市北 JCT の西に位置し、二級河川朝明川と国道 365 号を横架する鋼・PC 混合 3 径間連続単弦アー

チ補剛箱桁橋である<sup>1)</sup>。本橋の施工は(株)IHI インフラシステム・川田工業(株)・川田建設(株)特定工事共同企業体にて行われ、川田建設(株)は右岸・左岸 PC 桁、V 脚および接合部コンクリートの施工を担当した(図 1)。

本橋の鋼・PC 接合部は中詰コンクリート後面プレー

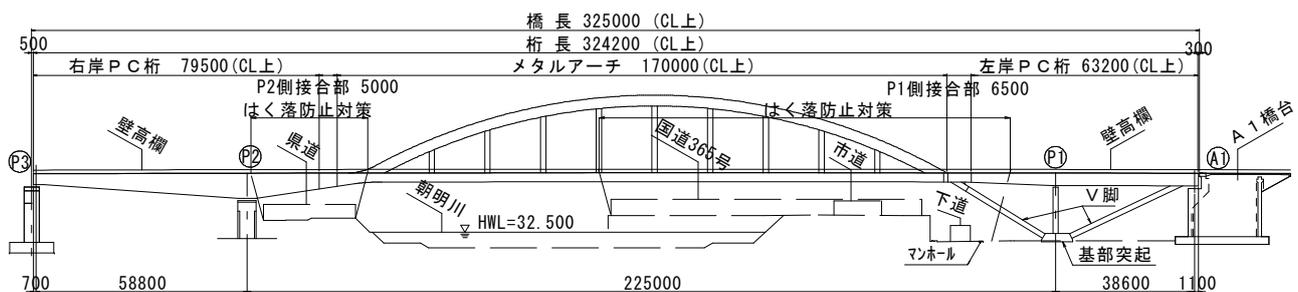


図 1 橋梁一般図

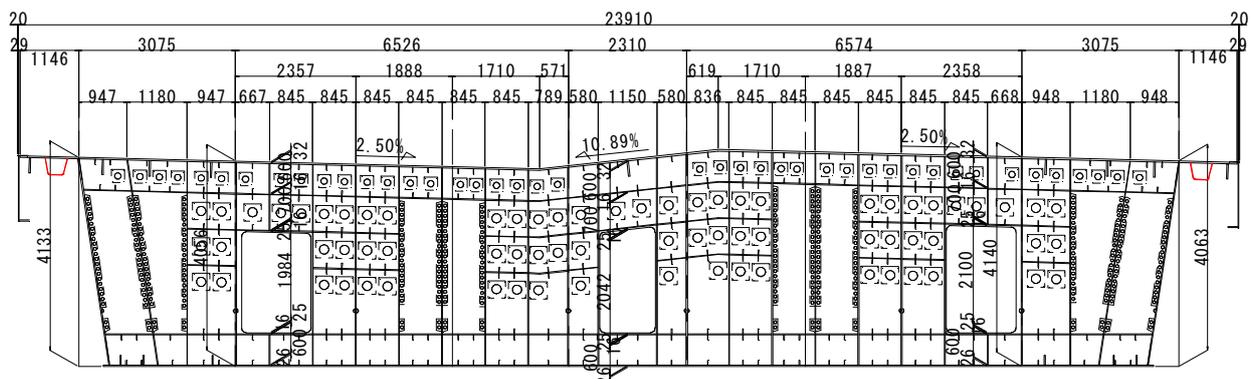


図 2 接合部断面図 (P2 接合部)

\*1 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部工事課 工事長  
 \*2 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部工事課 係長  
 \*3 川田建設(株)東日本統括支店(名古屋支店)事業推進部工事課

\*4 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部工事課  
 \*5 川田建設(株)技術部技術開発課 課長

ト方式が採用され、広幅員で大量の内外ケーブルで接合する多重の鋼殻セルで構成される(図2)。接合部の施工は、固定支保工上に接合部の鋼桁を架設した後、型枠・鉄筋の組立てを行い、PC桁との間詰め部から高流動コンクリートを打込むことで鋼殻セル内の中詰コンクリートを充填する計画とした(図3)。接合部の鋼桁の製作にあたっては、全セルの上面に空気孔(φ50mm)と底板セルには噴上用開口(φ150mm)を設け、高流動コンクリートの充填性向上に配慮した。しかし、すべてのセルにコンクリートを確実に充填するためには、さらに以下の課題が挙げられた。

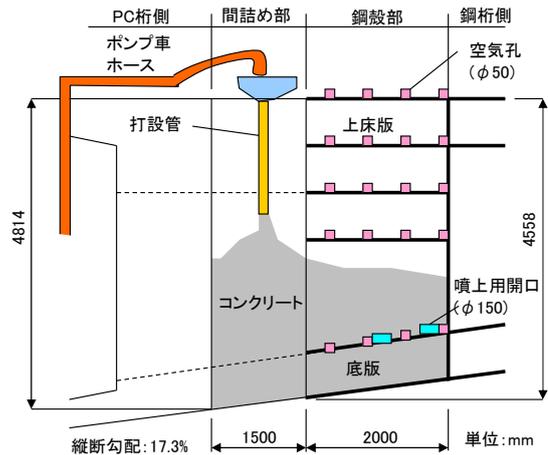


図3 接合部コンクリート施工要領 (P2側)

- ① 広幅員で横断勾配もないため、高流動コンクリートが間詰め部で横流れをする(横流れ防止のための仕切り金網は構造を分断するおそれがあるため本橋では用いない)。
- ② 多重セルのため、鋼殻内の中詰コンクリートの充填確認ができない。
- ③ P2側の底板は17.3%の逆勾配のため、逆打ちコンクリートとなる。

上記の課題に対し、高流動コンクリートの自己充填性に頼るだけでは中詰コンクリートの確実な充填を達成できないと判断し、実物大のコンクリート充填試験を実施し、高流動コンクリートの配合設計および施工法を確立したうえで、本施工に入ることにした。

## 2. 高流動コンクリートの配合設計

土木学会「高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012版]」<sup>2)</sup>を参考に、図4の流れで配合設計を行った。以下、室内試験による照査について述べる。

### (1) 要求性能および配合条件

設計基準強度 40N/mm<sup>2</sup>、自己充填性ランク 2 (鉄筋間隔は標準 125mm, 最小 92mm > 鋼材の最小あき 60mm)、スランプフロー 60~65cm、空気量 3.0~4.5%、ひび割れ指数 1.45 以上とする。また、既往の施工実験<sup>3)</sup>を参考に、ブリーディングの発生により有害な空隙が生じないとされるブリーディング率として 0.5%未満とする。

配合条件を表1に示す。施工条件は運搬時間 30分とポンプ圧送による打込みを想定し、スランプフローの低下 2cm、空気量の低下 0.5%を見込むことにした。また、コンクリートの品質確保のため、単位水量は 175kg/m<sup>3</sup>以下、粗骨材絶対容積は 315~335m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とする。

なお、セメントは強度発現と温度抑制を両立させる観点から普通セメントを用い、温度ひび割れ防止として膨張材を併用することにした。

### (2) 試し練り

試し練りの結果を表2に示す。温度抑制の観点から、水セメント比 W/C=40%、細骨材率 s/a=50.1%、単位水量 W=170kg/m<sup>3</sup> (工場実績による)の配合 No.1 からス

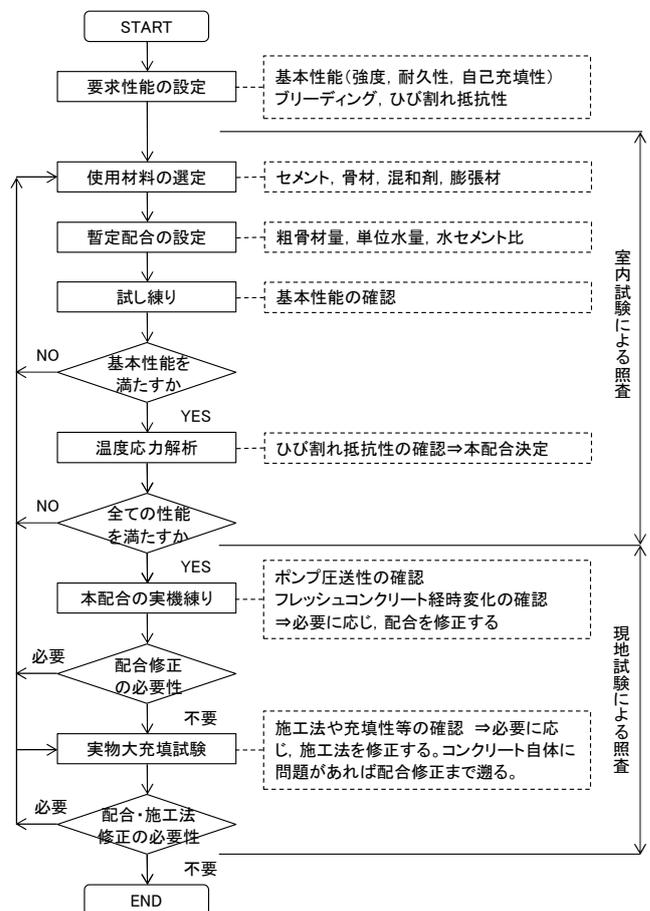


図4 高流動コンクリートの配合設計フロー

表1 コンクリートの配合条件

項目	配合 No. 1~No. 6	配合 No. 7
スランプフロー	62.0 ± 2.0cm	67.0 ± 2.0cm
空気量	5.0 ± 0.5%	3.5 ± 0.5%
圧縮強度	46.4N/mm <sup>2</sup> 以上	
充填高さ	300mm 以上	
50cm 到達時間	3~15 秒	

表 2 高流動コンクリート試し練りの結果

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						試験値				フレッシュ性状の評価	
			W	C	E	S	G	SP	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	充填高さ (mm)	50cm 到達時間 (秒)		
1	40.0	50.1	170	405	20	838	878	5.74	62.5	4.9	328	4.2	◎ : 良好	
2		45.1				756	964		65.0	3.4	-	5.7	× : モルタル先流れ	
3		55.1				923	788		58.0	5.3	-	5.2	× : 流動性不足	
4	37.5	49.2				433	812	880	6.34	62.0	5.2	323	5.8	◎ : 良好
5	35.0	48.0				466	779	888	7.05	61.0	5.2	-	8.7	○ : やや粘性有り
6	30.0	44.9				547	699	902	8.51	61.0	4.7	-	10.3	△ : 粘性が強い
7	31.8	49.3				175	530	786	851	7.70	67.5	3.4	369	5.0

W : 水, C : 普通セメント (密度 3.16g/cm<sup>3</sup>), E : 低添加型石灰系膨張材 (密度 3.16g/cm<sup>3</sup>), S : 川砂 (密度 2.57g/cm<sup>3</sup>), G : 砕石 2005 (密度 2.70g/cm<sup>3</sup>, 実積率 59.9%), SP : 高性能 AE 減水剤

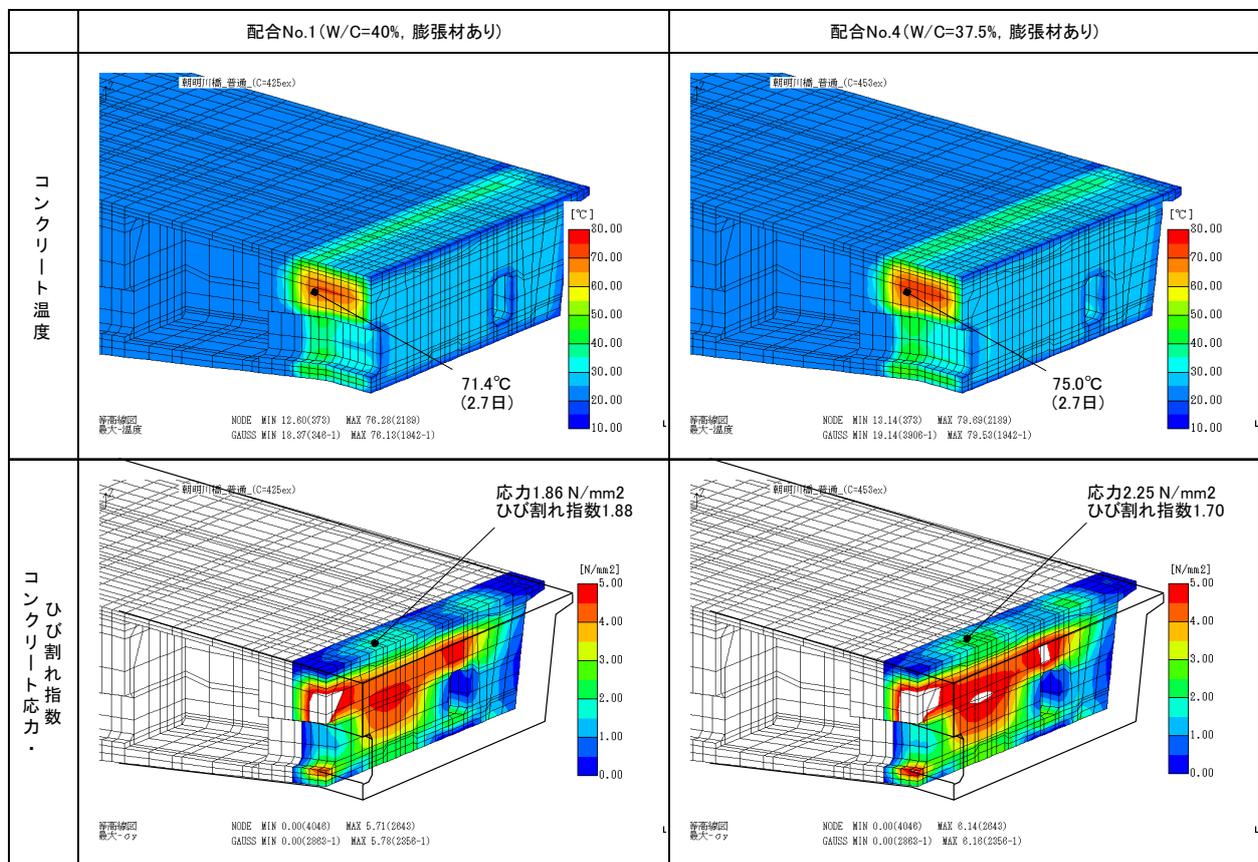


図 5 温度応力解析結果

タートした。この配合 No.1 はフレッシュ性状がやや粘性が不足するように感じられたものの、高流動コンクリートとしての要求性能を満足するものであった。また、ブリーディング率は 0.0% (発生せず) で、所定の強度を確保した。ただし、s/a を前後 5% 振った配合 No.2 と配合 No.3 では性状が大きく変化したことから、配合 No.1 は品質の安定性にやや欠けると判断した。

そこで、水セメント比を下げることで高流動コンク

リートの品質を安定化させるための試し練りを行った。配合 No.4 は W/C=37.5% とすることで高流動コンクリートとしての要求性能を満足するとともに、フレッシュ性状も良好であった。さらに水セメント比を下げるとコンクリートの粘性が高まり、特に W/C=30% とした配合 No.6 では 50cm 到達時間が 10 秒を超えるなど、ワーカビリティに支障をきたすようになった。

なお、配合 No.7 については、**3. (3)** にて詳述する。

### (3) 温度応力解析

配合 No.1 と No.4 を対象に P2 接合部の温度応力解析を実施した結果を図 5 に示す。両配合とも、膨張材を使用することにより床版面のひび割れ指数は 1.45 以上を確保できることが確認された。

## 3. 実物大コンクリート充填試験

2 章の結果から、高流動コンクリートとしての要求性能と温度ひび割れ抵抗性を確保し、かつ、粉体量を増すことで品質が安定すると考えられる配合 No.4 を本配合に選定した。この章では、現地試験による照査として実施した実物大コンクリート充填試験を中心に述べる。

### (1) 底版試験体によるコンクリート充填試験

課題③については、間詰め部の鉄筋を組み立てる前に底版セル前面に小口型枠を設けてコンクリートを先に充填する方法もあるが、狭隘なセル内での煩雑な作業を強いられるとともに不要な打継目を作ることになる。そこで、図 6 に示す底版試験体を用い、逆打ちにてコンクリートを充填できるかを確認することにした。試験体は、マンホールを含む 6 セルとし、鋼殻セル内のずれ止めや鉄筋も再現した。

底版試験体のコンクリート充填状況を写真 1 に示す。高流動コンクリートは、ホース筒先をマンホール近傍の間詰め部の低い側に固定し、本施工で想定している打上げ速度 0.5m/h にて打込みを行った。この速度であれば

間詰め部を横流れしつつもセル奥へコンクリートが流動し（写真 1a）、後面プレートに接すると概ねセルフベリングを保ちながら打ち上がっていき、充実部底版セルでは噴上用開口よりコンクリートが流入する（噴上用開口は、鋼殻セル内のコンクリートが噴き上がることを想定したものであるが、この場合はコンクリートの打設口の役割を果たした）などして鋼殻セル中詰コンクリートはスムーズに充填された（写真 1b）。一方、マンホール下の底版セルはセル奥にコンクリートが充填されず、最大 40cm のヘッド差をつけたものの再流動もせず、未充填部が残る結果となった。ただし、この部位はセル奥に設けた噴上用開口よりコンクリートを流し込むことで充填可能であった（写真 1c）。

### (2) 上床版試験体によるコンクリート充填試験

課題①と②については、特に打上り速度が低下しかつヘッド差も小さくなる上床版側で未充填部の発生につながる懸念された。そこで、図 7 に示す上床版試験体を用い、実物大コンクリート充填試験を実施した。試験体は下層セルを含む 5 セル分とし、間詰め部には伏せ型枠を設置した。前出の配合 No.4 の高流動コンクリートをセル毎に設けた投入口の低い側 (U1) から打込みを行った。打込み中は振動締め固め作業を一切行わないが、上床版デッキプレート下面への充填性が懸念されたことから、表 3 に示す方法にてコンクリートを施工した。

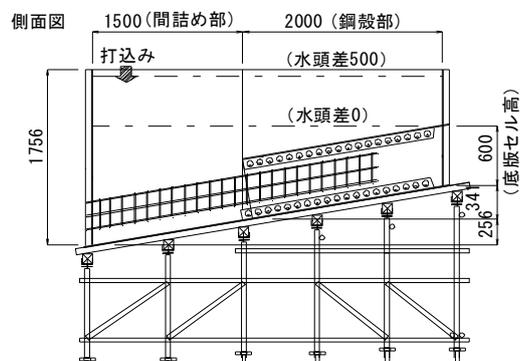
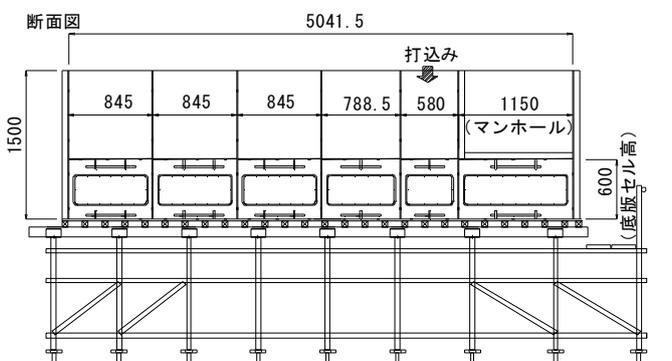


図 6 底版試験体



a)底版セルの内部



b)底版セルの上部



c)マンホール下のセル

写真 1 底版試験体へのコンクリート充填状況

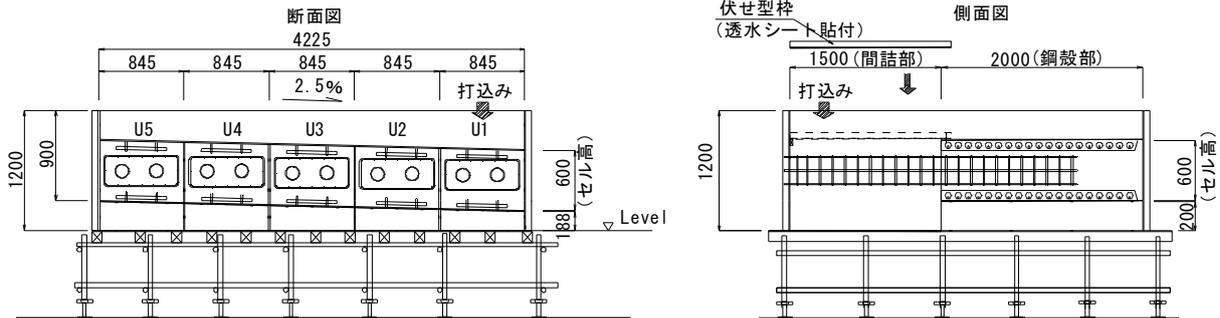


図7 上床版試験体

その結果、下層セルはスムーズに充填され、上床版セルについても作業員が時間をかけ入念に補助作業を行ったセル U5 では中詰コンクリートを概ね充填することができた。しかしながら、打上り面は写真2に示す気泡層（間詰め側で約2cm、セル奥側で最大5cm）が形成されるとともに、コンクリートの流動を一度停止させてしまった上床版セル U1～U4 では間詰め部を含めて未充填部が発生した（写真3）。

**(3) 高流動コンクリートの配合および施工法の改善**

上記(2)の結果より、新たな課題として、④コンクリート打上り面の気泡層を無くす、⑤上床版デッキプレート下面への充填方法を確立することが挙げられた。

**a) 課題④の気泡低減対策**

課題④についてはコンクリートの配合修正が必要だが、増粘剤や石粉はプラント設備の対応ができない。このため、前出表2中の配合No.7のように粉体量 C+E を 550 kg/m<sup>3</sup> に増加させ（粘性が高くなりすぎるのを少しでも緩和するため単位水量を 175kg/m<sup>3</sup> に増す）、空気量を以下に示す通りメリットがデメリットを上回ると判断し3%に減じることにした。

空気量 3%とする場合のメリット：AE 剤の使用量を削減できるため、コンクリート打込み中の気泡発生を低減できる。また、粉体量を増加させることで粘性が高くなると空気量を安定確保することが難しくなり、空気量 4.5%とした場合はコンクリートの製造や品質管理に手間取り、最悪の事態として高流動コンクリートの連続的な打込みが途絶える可能性がある。

空気量 3%とする場合のデメリット：コンクリートの凍結融解抵抗性が低下するおそれがあるが、本橋は凍結融解作用を受ける地域ではない。

**b) 課題⑤の充填性向上対策**

課題⑤については、以下の改善策を講じることにした。

ヘッド差の増加：高さ 50cm の打設口を設け、流動方向を拘束する止め櫛を3セル毎に設置する。

流動距離の短縮：打設口を鋼殻セルに近接配置し、セル奥までの流動距離を 2.5m 以下にする。

表3 上床版試験体の施工法と試験結果

セル	施工法	試験結果
U1・U2	コンクリートの自己充填性による	未充填あり
U3・U4	セル内でコンクリートの流動停止後に突き押し作業※開始	未充填あり
U5	打込み段階より断続的に突き押し作業※を実施	概ね充填

※作業員が突き棒を用いて打設口および空気孔よりコンクリートを突き押し作業。



写真2 打上り面に発生した気泡層



写真3 上床版試験体の未充填状況

充填性の向上：コンクリートの断続的な流動を促すための補助作業と充填確認を行う作業員を増員する。

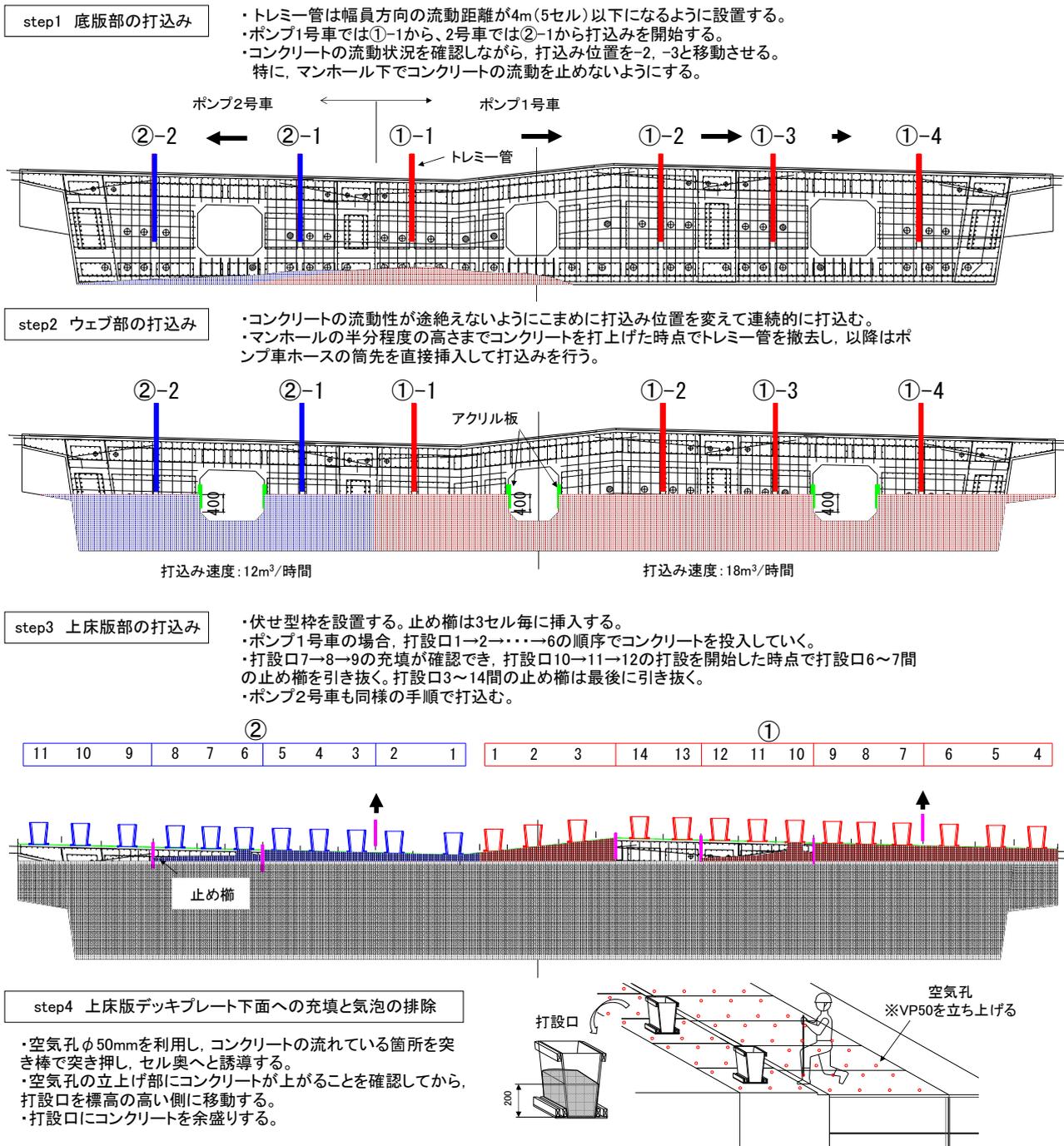
上記の改善効果を確認するため、3セルの上床版試験体を用いて再試験を実施した。その結果、上床版セル中詰コンクリートを完全に充填することができた。なお、打上り面の気泡層は完全には無くすることができなかつたため、本施工では気泡を排除するための空気孔の立上げを25cmとして床版面以上まで骨材が到達することを確認することにした。

#### 4. 本施工

課題①～⑤を解決した作業手順書を作成した（図8）。2014年12月29日にP2接合部284m<sup>3</sup>、翌年1月24日にP1接合部166m<sup>3</sup>のコンクリート施工をこの手順書に基づいて実施した。以下、コンクリートの打込みと養生を中心に施工状況を詳述する。

##### (1) 接合部高流動コンクリートの打込み

コンクリートはブーム長36mのポンプ車を2台使い（写真4）、時間25～30m<sup>3</sup>のペースで連続的に打込みを



注) 実際に作成した作業手順書を一部修正して掲載。

図8 接合部コンクリート施工手順



写真4 高流動コンクリートの圧送状況



写真5 高流動コンクリートの打込み状況

表4 コンクリート品質管理結果 (P1 接合部)

台数	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	充填高さ (mm)	判定
1	66.0	3.5	374	合格
筒先	66.0	—	371	合格
2	70.0	—	—	合格
3	67.5	—	—	合格
4	67.0	—	—	合格
5	65.5	—	—	合格
13	61.5	3.5	362	合格
25	63.5	3.6	360	合格
38	64.0	3.7	366	合格
管理値	55~70	1.5~4.5	300以上	



写真6 上床版部へのコンクリート充填状況

行った。

コンクリートの品質管理は表4に示すように、最初の連続5台以降50m<sup>3</sup>ごとに実施し、所定の管理値内であることと、ポンプ圧送によるフレッシュ性状の変化が小さいことを確認した。

打込み作業は写真5に示すように振動締めを行わないもののコンクリートの流動性が途絶えないようにこまめに打込み位置を変えると同時に、充填空間が狭くなる上床版部は写真6に示すように伏せ型枠を設置したうえで打設口や空気孔から作業員が突き棒でコンクリートを突き押しすることにより流動性を確保した(写真7)。コンクリートが床版上面まで打ち上がった後、全ての空気孔に骨材が到達することを確認するとともに、打設口にコンクリートを余盛り(床版面より20cm程度の高さまで)してこれが低下しないことを確かめた。

また、本施工においてはできる限り透明型枠を用いて充填状況の見える化を図るとともに(写真8)、鋼殻セル内に振動デバイスを設置してコンクリートの充填管理を実施することにより、全セルにコンクリートを確実に充填することが確認できた。

**(2) 接合部高流動コンクリートの養生**

配合No.7を対象にP2接合部の温度応力解析を実施した結果を図9に示す。ここで、通常対策とは上面に養生



写真7 コンクリートの突き押し作業例



写真8 透明型枠による充填状況の見える化

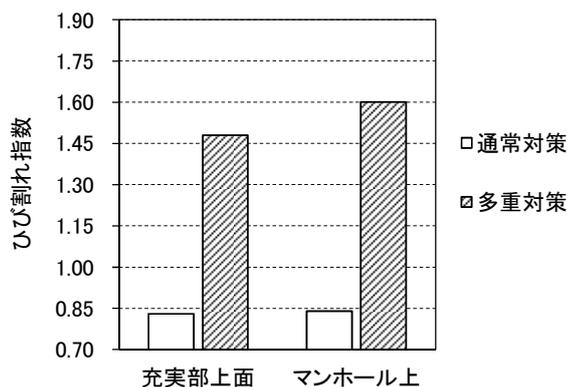


図9 温度応力解析結果（配合 No.7）



写真9 温度ひび割れ対策用の温度調整設備

マットを敷き湿潤養生を6日実施する方法であるが、ひび割れ指数が1.0を大きく下回り、ひび割れ発生が避けられないことが予想された。これに対し、様々な養生対策の効果を解析的に検討したが、個別対策ではいずれもひび割れ指数1.45未満となった。そこで、エアパイプクリーニング（外ケーブル全数×6日）を実施するとともに、上面は養生マットと电热マットによる保温養生（上面30℃×6日）、さらに接合部全体の雰囲気温度を20℃に調節する設備を併用する多重対策（写真9）によりひび割れ指数1.45を確保することができた。また、実際にも床版面にひび割れの発生は認められなかった。

## 5. まとめ

本文のまとめを以下に記す。

- ① 逆勾配を有する底版試験体を用いた実物大コンクリート充填試験の結果、鋼殻セルに適切な開口を設ければ高流動コンクリートによる自己充填が可能であるが、コンクリートの流動が鋼殻セル内で一旦停止した場合は高流動コンクリート自身の自己充填性に頼るだけでは確実な充填が達成できないことが判明した。
- ② 上床版試験体を用いた実物大コンクリート充填試験の結果、粉体量550kg/m<sup>3</sup>かつ空気量3.0%にした粉体系高流動コンクリートを用いればコンクリート打上り面における気泡発生が少なく、コンクリートの充填性を補完する施工法を採用することで上床版デッキプレート下面への確実な充填が可能であることが確認された。
- ③ 上記①、②の試験を通じて得られた知見を踏まえ本施工に臨んだ結果、全セルにコンクリートを確実に充填することが確認できた。

### 参考文献

- 1) 野島, 細野, 田口: 新名神高速道路朝明川橋（仮称）の概要—日本初の鋼・PC混合3径間連続単弦アーチ補剛箱桁—, 土木施工, Vol.55, No.2, pp.112-114, 2014.2.

- 2) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針2012版, 2012.6.
- 3) 例えば高橋ら: サンドイッチ構造施工実験における高流動コンクリートの充填性とその検査方法, 土木学会論文集 No.651, pp.11-26, 2000.6.