

報告 橋梁下部工におけるコンクリート構造物品質確保への取り組み

高橋 雅^{*1}・佐伯 岳洋^{*2}・小穴 信太郎^{*2}・阿波 稔^{*3}

要旨：東日本大震災からの復興を担う復興道路のうち三陸沿岸道路の橋梁下部工において、コンクリート構造物の品質確保対策が課題として挙げられた。その対策として、施工状況把握チェックシートの利活用やPDCA サイクルの導入、パイプクーリングによる温度ひび割れ抑制対策など施工面において種々の取り組みを実施した。取り組みの効果確認には、表層目視評価および表面吸水試験(SWAT)を適用し、各施工段階で評価を行った。各取り組み事項の効果を確認するとともに、次工程の計画時に効果確認の評価を踏まえたPDCA サイクルを実装することで、表層目視評価結果が向上し、その結果表面吸水試験でも良好な結果が得られた。

キーワード：品質確保, チェックシート, PDCA サイクル, 表層目視評価, 表層品質, SWAT

1. はじめに

三陸沿岸道路は、東日本大震災により被災した地域の復興のリーディングプロジェクトとなる復興道路の一部であり、人の移動のみならず、災害発生時における「命の道路」として重要な役割を持つインフラ構造物である。自動車専用道路である当該道路は、積雪寒冷地域に位置するため、冬季における凍結防止剤の散布量が多く、構造物にとっては厳しい環境下であり、凍害や塩害などを生じる可能性が懸念される。また、国土交通省東北地方整備局管内では、約350kmの復興道路、復興支援道路を概ね10年程度で供用開始するべく道路建設事業が行われており、短期間にトンネルや橋梁など多くの構造物を一斉に建設することとなる¹⁾。こうした過酷な条件下で建設される構造物において、万が一初期欠陥があり、将来、多くの構造物が同時期に早期劣化が生じた場合、道路管理者に対する維持管理の負担は計り知れないものとなる。また、既に建設された復興道路のコンクリート構造物において、トレント法による表層透気試験を実施したところ、打重ね線が明瞭な構造物や補修痕がある構造物では透気係数が大きく、密実性に欠ける傾向にあることが報告されている¹⁾。こうした傾向を踏まえ、東北地方整備局管内では、将来の維持管理費の低減を目的とし、コンクリート構造物の耐久性を確保するために、コンクリート構造物の施工時における品質確保のための様々な取り組みが実施されている。

山口県では産官学が協働し、「コンクリートひび割れ抑制システム」²⁾を構築および運用しており、施工の基本事項の遵守を徹底するツールとして、チェックシートによる施工状況把握³⁾が注目されている。施工状況把握チェックシートは、発注者がコンクリート打込み時の立会の際に施工状況の把握に活用するツールであるが、施工

者の段取り時のチェックリストにも活用されており、受発注者双方における施工の基本事項の確認ツールとして幅広く活用されている。また、出来上がったコンクリートの表層品質の評価手法として表層目視評価が提案されている⁴⁾。沈みひび割れや表面気泡、打重ね線等の変状を目視で定量評価を行うもので、簡易的に実施できる手法である。先に述べた施工状況把握チェックシートと目視評価を連動させることで施工における改善点が明確となり、次の打込み時に改善策を反映させることで品質向上を促すPDCA ツールとして期待されている。

「コンクリート施工状況把握チェックシート」および「表層目視評価」の試行対象工事である三陸沿岸道路の橋梁下部工において、チェックシートの利活用やPDCA サイクルの導入、パイプクーリングによる温度ひび割れ抑制対策などの取り組みを実施した。取り組みの効果確認には、表層目視評価を行うとともに表面吸水試験(SWAT)による密実性の評価も実施し、PDCA サイクルを確実に実装することで表層目視評価結果が向上し、その結果表面吸水試験でも良好な結果が得られた。本稿では、橋梁下部工で行ったこれらのコンクリート構造物の品質確保への取り組み事例とその結果に関して報告する。

2. 工事概要

試行対象工事である三陸沿岸道路の橋梁下部工工事の概要を以下に示す。また、図-1に橋梁一般図、図-2に下部工構造図(A1橋台、P2橋脚)を示す。

工事名：国道45号小本道路工事

工事位置：(自)岩手県宮古市田老字摂待

(至)岩手県下閉伊郡岩泉町小本字南中野

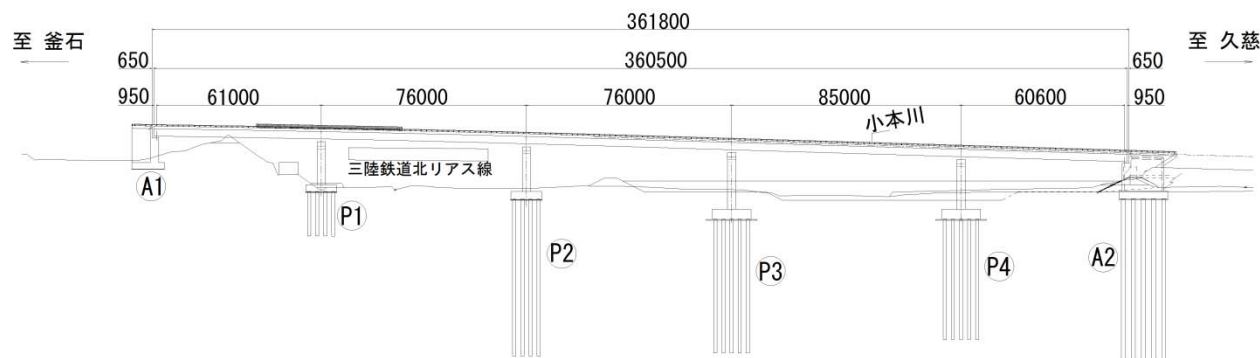
工事内容：新小本大橋下部工(橋台2基、橋脚4基)

コンクリート施工時期：2014年11月～2015年8月

*1 西松建設(株) 土木事業本部 土木設計部 設計一課 工修 (正会員)

*2 西松建設(株) 北日本支社

*3 八戸工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 博(工) (正会員)



図－1 新小本大橋橋梁一般図

使用材料を表－1 に、コンクリート配合を表－2 に示す。また、現場受入後にブリーディング試験を実施したところ、ブリーディング率は6.1%とやや高い結果であった。細骨材に使用している砕砂の微粒分量によるものと推測される。

表－1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度：3.16g/cm ³
細骨材	S	砕砂，密度：2.65g/cm ³ ，粗粒率：2.70
粗骨材	G	碎石 2505，密度：2.68g/cm ³ ，吸水率：0.87%，Gmax：25mm
AE 減水剤	AD1	AE 減水剤 標準形
	AD2	AE 減水剤 促進形

表－2 コンクリート配合

呼び 強度 (N/mm ²)	W/C (%)	スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	C	S	G	AD1	AD2
24	53.2	8	4.5	156	293	864	1018	4.40	4.40

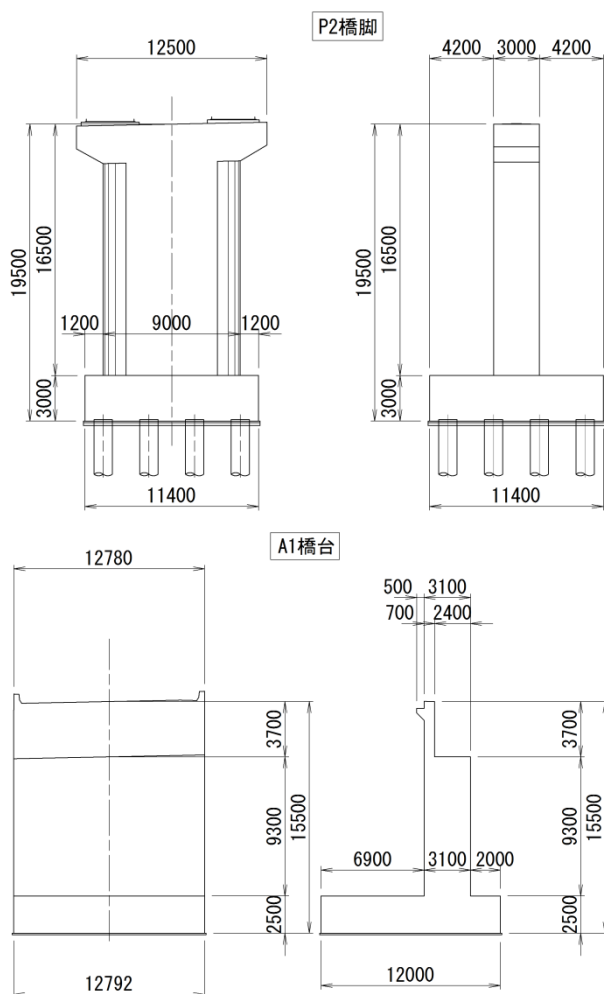
3. 品質確保を目的とした取組み事例

3.1 PDCA サイクルの確立

PDCA サイクルを取り入れ、次の施工へフィードバックすることで、継続的なコンクリートの品質向上を図った。PDCA の各段階における実施内容を表－3 に示す。

表－3 PDCA 実施内容

段階	実施内容
Plan (計画)	コンクリート打設計画書を作成し、打設前に周知会を実施
Do (実行)	打設計画書に基づいて打設を実施。管理者は、「施工状況把握チェックシート」を用いて打設作業を監督
Check (評価)	型枠脱型後、「目視評価表」を用いてコンクリート表層の見栄えを点数化（見える化）
Action (改善)	表層目視評価結果を基に更なる品質向上に向けた対策を検討。点数が悪かった項目については、原因追求および改善策の検討を行い、周知会(反省会)を行ったうえ、次回打設計画に改善策を反映。



図－2 新小本大橋下部工構造図

(1) Plan (計画)

施工前に作成する打設計画書において、「施工状況把握チェックシート」の各項目を十分に反映させることとした(表-4)。記載項目は、人員・機材(パイプレタ本数等)、打設前チェック、機械配置図等の準備項目や打込み・締固め等における打設方法・注意事項、人員配置や打設順序、打設予定時間等を挙げている。打設計画書は、打設ロッドごとに作成するが、関係者全員に周知させるためにその都度周知会を実施した(写真-1)。全員参加型の周知会を行うことで打設計画書の内容を全員で確認するとともに、各自の役割についても把握させることで一体感が生まれた。

表-4 打設計畫書(例)

[illegible]

写真-1 打設計画書周知会

(2) Do (実行)

打設計画書に基づきコンクリート打設を実施するが、「施工状況把握チェックシート」を利用し、施工状況の確認を行う。なお、チェックシートの記入は、発注者とともに受注者側でも行った。「施工状況把握チェックシート」を表-5に示す。準備・運搬・打込み・締固め・養生のそれぞれの施工段階において、土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾に明記されているコンクリート打込みの基本事項をチェック項目として、施工状況の確認を行う。

「型枠面は湿らせているか」、「練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか」、「バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は 50cm 以下としているか」などのチェック項目に対し、準備段階では型枠への散水等のチェック、運搬に関しては打設管理表を用いて時間管理を行った。打込み段階の筒先位置のチェックに対しては、クーリングパイプや鉄筋に打設高さの明示を行い管理した。締固めにおけるバイブレータ挿入高さは予めバイブレータにマーキングを施し管理している(写真-2)。

表-5 施工状況把握チェックシート(例)

【施工状況把握チェックシート（コンクリート打込み時）】（案）									
事務所名	三協田舎事務所			工事名	国道沿い 小車道舗装工事		工期	予定日	
棟造物名	西小中大通り 93号棟			階位	1楼		リフト	有 無	
発注者	青森建設（株） 東工支店			確認者	神沢 拓樹				
期合	24.12.25日			確認日時	2024.12.18				
打込み開始時刻	予定	8:15	実績	8:19	打込み開始位置	1/c	実績	1/c	
打込み終了時刻	予定	15:00	実績	16:30	打込み量(m³)	23m³	リフト量 (m)	6.3m	
施工設備	チェック項目							記述	
準備	凍結対策・打込み設備は行われているか。							—	○
	気体漏れは防止されているか。							—	○
	管内部に、土層や結露管等の異物は無い。							—	○
	40m以内は距離確保はない。							—	○
	指定したコンクリートの作業員のライセンスを取り除き、あてられている。							—	○
	コンクリート打込み作業員（※）に余部を持たせている。							—	○
	下層のバイブレータを準備している。							—	○
	気体漏れのトラブルがないよう、事前にチェックをしている。							—	○
	75分							—	○
	ポンプで配管の直前の露出性を確保するため、先取りモータルの広延等の処置を施している。							—	○
運搬	鉄軌や管状は取れているか。							—	○
	鉄軌板が平直なとき適切な位置に、コンクリートを密着に降ろしているか。							—	○
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。							—	○
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。							—	○
	降ろの高は3m、50cm以下である。							50cm	○
	層間に1m分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まらなければ行わない。							—	○
	ポンプ配管等の吐出出口が打込み直上での場合は、1m以下としているか。							1.5m	○
	これを把握している場合は、これを取り除くからコンクリートを打ち込んでいる。							—	○
	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。							—	○
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入距離は50cm以下としているか。							—	○
締固め	直前の作業中に、バイブレータを鉄軌板に接触させていない。							—	○
	締固行直前に、後述の仕様にバイブレータが丁寧に施されているか。							—	○
	バイブレータやコンクリートを鉄軌板に接触させていない。							—	○
	バイブレータは、穴が覆いながら10cm以上に引き上げられているか。							—	○
	硬化を妨げるまでには乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや蒸気逃げを行っている。							—	○
	コンクリートの露出面を保護状態に保っているか。							—	○
	凍害は発生する期間に注意しているか。							—	○
	管封じ及び管工の取外しは、コンクリートが必要強度に達した後であるか。							—	○
								—	○
								—	○
変更事項									
上記、変更事項について改善指示します。									
上記、改善事項について了解しました。	年	月	日	主任監督員	監督員				
年次	年	月	日	保険代理人	主任技術者				
※コンクリート打込み作業員・・・コンクリートの打込み・押固め作業時の人員のうち、直接作業に携わら									



写真-2 バイブレータマーキング状況

(3) Check (評価)

打込まれたコンクリートの脱型後に、表層目視評価を実施した。表層目視評価に使用する評価基準を表-6に、評価状況を写真-3に示す。評価項目は、沈みひび割れ、表面気泡、打重ね線、型枠継ぎ目のノロ漏れおよび面的な砂すじで、これまでは数値で評価されなかった表面状態を4段階のグレーディングにより定量評価することで、施工方法の妥当性の検証や、PDCA サイクルの推進に迅速に反映できる。

表-6 表層目視評価の評価基準⁶⁾

評価項目	4点	3点	2点	1点	評価
①沈みひび割れ					沈みひび割れ
②表面気泡					表面気泡
③打重ね線					打重ね線
④型枠継ぎ目のノロ漏れ					型枠継ぎ目のノロ漏れ
⑤面的な砂すじ					面的な砂すじ



写真-3 表層目視評価状況

(4) Action (改善)

表層目視評価結果を基に、表層品質に対する指摘を関係者全員で検討し、原因の追究および対策の検討を行う。検討結果は周知会(反省会)にて関係者全員に周知し、次

回の打設計画に改善策を反映させた。実際に行った改善例を以下に列挙する。

①砂目・砂すじの発生に対し、ブリーディング水の影響とその除去方法が原因と挙げられた。水主体のブリーディングは型枠際で除去しない、泡主体のブリーディングはその場で除去する、など除去方法の改善を行ったところ、砂目・砂すじの低減に繋がった。水主体のブリーディング除去は、セメント分も一緒に除去する恐れがあり、型枠際で除去してしまうと表層品質低下を招く恐れがある。また、泡主体のブリーディングは、型枠に付着し表面気泡として残る恐れがある。

②打重ね線の発生に対し、型枠際のパイプの挿入不足が原因と挙げられた。他の層のマーキングと混同し挿入不足となっていることが見受けられたため、打設の層変わり毎に不要となったマーキングは撤去する改善を行ったところ、打重ね線の低減に繋がった。

③透水型枠で生じたしわ痕(写真-4)に対し、原因は固定方法であると考えられたため、タッカー(工業用ホチキス)固定箇所を増やした。また、打設方向を一方とした場合、最終打設位置の型枠面の出来栄が良くない箇所が生じたため、最終打設位置が躯体内部にくるように打設方向も工夫したところ、しわ痕の発生を抑えることができた。



写真-4 透水型枠使用箇所に生じたしわ痕

3.2 透水性型枠の使用

橋台の壁部および橋脚の柱梁部において、ブリーディングに伴うコンクリート表面の余剰水と気泡を排出する効果を有する透水性型枠を使用し、コンクリート表面の緻密性向上を図った。砂すじや表面気泡等の初期欠陥を抑制することで表層品質を確保し、構造物の耐久性を向上させることが目的である。使用した透水性シートは、型枠側を凹凸状に処理したポリプロピレン製不織布で、合板型枠への取付けはタッカー(工業用ホチキス)を用いて固定している。使用時の状況を写真-5に示す。



3.3 パイプクーリングによる温度ひび割れ抑制対策

A1 橋台堅壁部および P1～P4 橋脚柱梁部は、部材厚さが 3.0～3.1m であり、また先行リフトによる拘束の影響を受ける部材であることからマスコンクリートに該当する。温度ひび割れの発生が懸念されたことから、事前に温度応力解析を行い、温度ひび割れ抑制対策として鉛直パイプクーリングを実施した。クーリングパイプの設置状況を写真-6 に示す。温度応力解析結果を基に、全リフトともにパイプ径 $\phi 50\text{mm}$ を 1m^2 当り 1 本の間隔で配置し、通水条件は水温 7°C 、3 日間実施した。なお、冷却水の水温はコントロールユニットにより管理している。パイプクーリングの効果により、コンクリートの温度上昇を約 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 低減する結果となった。その結果、ひび割れ幅 0.2mm 以上の有害なひび割れは発生せず、抑制効果がみられた。



4. 取組みの効果

4.1 表層目視評価

表層目視評価は、①沈みひび割れ、②表面気泡、③打重ね線、④型枠継ぎ目のノロ漏れ、⑤面的な砂すじの5項目を評価項目とし、0～4点の範囲において0.5点刻みで実施した。また、⑥表面ひび割れ、⑦その他のひび割

れ、⑧豆板の有無に関しても同時に観察を行った。表層目視評価表を表-7 に示す。評価表には判定箇所の文字による記載とともに構造物概略図を掲載することで見やすい表を作成し、利用した。また、打重ね線と面的な砂すじの評価に対する時系列変化を図-3 に示す。いずれも評価点3点以上で高い評価を得ているが、コンクリート施工状況把握チェックシートの活用による効果と考えられる。また、打重ね線に関しては、打設回数を重ねるに従って3.5点以上で安定した評価を得ている。これはPDCA サイクルを実施し、改善策を次の打設へ反映させたことで表層品質の確保および向上に繋がっているものと考えられる。

表一7 表層目視評估表(例)

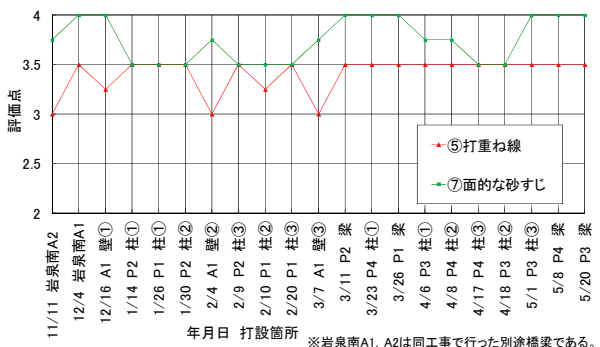
判定箇所番号		ZL-F	ZL-R	ZL-L
①沈みひび割れ	4	4	4	4
②表面ひび割れ	無し	無し	無し	無し
③その他のひび割れ	無し	無し	無し	無し
④表面気泡	4	4	4	4
⑤打ち重ね線	3	3	4	3
⑥型枠継ぎ目の砂すじ	3	3	4	4
⑦圓的な砂すじ	4	4	4	4
⑧豆核	無し	無し	無し	無し

備考

中央の「フ」の開口部は、
 上部、右側壁が
 鉄筋箇所に、
 フタ・天井・水受け等
 あり、使用・メンテナンス
 が容易。

※この項目同様の
 7 箇所の調査

【構造物略図】
 ※構造物の目視詳細判定箇所が分かるよう、手書きでポンチ線を記載。



4.2 表面吸水試験（SWAT）

施工状況把握チェックシートや透水性型枠の導入効果を確認するため、表面吸水試験(SWAT)⁷⁾を実施した(写真－7)。SWAT から得られる指標のうち、10 分時点での表面吸水速度(p600)を用いている。0.25ml/m²/s 以下を緻密、0.25ml/m²/s より大きく 0.5ml/m²/s 以下を普通、0.5ml/m²/s より大きいものを粗と評価することができる。

今回得られた結果の一例を表－6 に示す。普通型枠を使用した A1 橋台底版部での表面吸水速度は 0.06ml/m²/s であり、表層コンクリートは緻密であるといえる。施工状況把握チェックシートの活用により、基本事項を遵守したことで品質確保に繋がったものと考えられる。

一方、透水性型枠を使用した箇所においては、P2 橋脚の柱でやや吸水したものの、ほとんどの部位で吸水されない結果となった。コンクリート表面の余剰水および気泡が排出されたことで、より緻密性の向上が図られたものと考えられる。



写真－7 SWAT 試験状況

表－6 SWAT 試験結果

測定箇所		材齢 (日)	p600 (ml/m ² /s)	水分率 (%)	備考
A1橋台	底版	119	0.058	4.8	普通型枠(合板5日間養生)
	縦壁(1LF)	97	0.000	4.6	透水性枠＋シート養生
	縦壁(2LF)	47	0.000	4.5	
P1橋脚	柱(1LF)	56	0.000	4.3	
	柱(2LF)	41	0.000	4.4	透水性枠＋シート養生
	柱(3LF)	31	0.000	4.1	
P2橋脚	柱(1LF)	68	0.006	4.2	
	柱(2LF)	52	0.001	4.1	透水性枠＋シート養生
	柱(3LF)	42	0.000	4.2	

5. おわりに

本報告は、三陸沿岸道路の橋梁下部工工事において、コンクリートの施工状況把握チェックシートの利活用やPDCA サイクルの導入、パイプクーリングによる温度ひび割れ抑制対策等のコンクリート構造物の品質確保の取組みについてまとめたものである。取組みにより得られた知見を以下にまとめる。

- (1)施工段階において PDCA サイクルを実装したことにより、発注者、元請および下請間のコミュニケーションが活発に行われるようになり、現場での改善策が積極的に提案されることに繋がった。そして、その改善策を現場内で共有し、次回の打設に反映させることで、コンクリートの品質確保を図ることができた。
- (2)コンクリートの施工状況把握チェックシートと表層目視評価を有機的に連動させることは、施工に由来する変状を低減し、コンクリートの表層品質を確保するためのツールとして有効である。
- (3)透水性型枠の使用は、特にブリーディングの多い構造物において、コンクリート表面の余剰水の排出および気泡が低減され、表層部コンクリートの緻密性を向上することが期待できる。
- (4)パイプクーリングの実施により、コンクリートの温度上昇を約 10～20℃低減し、有害なひび割れ発生を抑制することができた。

謝辞：今回の取組みに際し、三陸国道事務所の皆様および土木学会のコンクリート構造物の品質確保小委員会(350 委員会)の皆様のご協力を得ました。深謝いたします。

参考文献

- 1) 佐藤和徳：復興道路・復興支援道路に関する取組み、コンクリート工学, Vol.53, No.1, pp.15-20, 2015.1
- 2) 国重典宏, 田村隆弘, 二宮 純, 森岡 弘道：山口県における「コンクリートひび割れ抑制システム」について、コンクリート工学, Vol.49, No.5, pp.91-95, 2011.5
- 3) 森岡弘道, 二宮 純, 細田 暁, 田村隆弘：地方自治体におけるコンクリート構造物のチェックシートを活用した品質確保の取組み、コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1327-1332, 2013.7
- 4) 坂田 昇, 渡邊賢三, 細田 暁：コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法、コンクリート工学, Vol.50, No.7, pp.601-606, 2012.7
- 5) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書, 施工編, 2013.3
- 6) 細田 暁, 二宮 純, 田村隆弘, 林 和彦：ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上、土木学会論文集 E2, Vol.70, No.4, pp.336-355, 2014.9
- 7) 林 和彦, 細田 暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究、土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013