

論文 寒中コンクリート用施工状況把握チェックシートを活用したコンクリート構造物の品質確保の取組

川邊 清伸^{*1}・阿波 稔^{*2}・須藤 昌二^{*3}・大森 祐一^{*4}

要旨：コンクリート構造物の品質や耐久性を支配する大きな要因として初期養生を含めた施工状況が上げられる。本研究では、構造物の品質確保を目的として山口県で運用されている、遵守すべき施工の基本事項を整理した施工状況把握施工チェックシートを参考に寒中コンクリート用のチェックシート（試案）を産官学で作成した。続いて、青森県内の寒中コンクリートの施工現場にて試験施工を行い、チェックシート（試案）を適用する前後の構造物において目視評価や表層透気試験等の表層品質調査を実施した。そして、その効果の確認・分析を通じて、寒中コンクリートの品質確保の取組について報告する。

キーワード：寒中コンクリート、品質確保、表層品質、目視評価

1. はじめに

単品個別製造となるコンクリート構造物の品質は、使用材料に加えて打込みや締固め、養生等の施工状況の影響を大きく受けることが知られている。コンクリートの施工段階において、沈下ひび割れ、表面気泡、打重ね線（コールドジョイント）、型枠継ぎ目のノロ漏れ、豆板、砂すじ、表面微細ひび割れ等の変状が過度に生じた場合、表層部コンクリートの密実性が損なわれ劣化因子（水、二酸化炭素、塩化物イオン等）の侵入を速めることになる。そして、設計段階で期待している凍害等のコンクリートの劣化抵抗性や鋼材を保護する性能の低下を招く恐れがある。そこで、これら施工段階での変状の改善を通じて、構造物の耐久性を確保し、維持管理段階での負担を軽減するためには、施工の基本事項を遵守するとともに、現場状況に応じた適切な配慮のもと確実な施工を実現することが重要となる。

山口県では産官学が相互に協力し、平成 18 年より「ひび割れ抑制システム」¹⁾を運用している。これは、コンクリート構造物に発生する温度ひび割れを抑制することを主目的としたシステムであるが、構造物の施工段階で独自に作成したチェックシートによって施工状況把握²⁾を行うことにより、施工の基本事項が遵守され、構造物の品質を総合的に確保するための取組として注目されている。また、細田ら³⁾は施工段階で構造物表面に生じる沈みひび割れや表面気泡、打重ね線等の変状を目視により定量評価し、その結果を踏まえて材料・施工の改善を促すことにより、品質向上を推進するための PDCA サイクルを構築する手法を提案している。

一方、青森県内のコンクリート構造物は、凍結融解作

用や凍結防止剤の影響等、苛酷な供用環境にあることから、施工段階での不具合や不必要な補修を低減することがより一層求められている。さらに当該地域における冬期間の建設においては、寒中コンクリートによる施工が必須となる。そのため地域の施工環境を想定した施工の基本事項や配慮事項を整理し、さらに現場でそれらが確実に実践されるためには、コンクリートの品質が確保される仕組みの可視化が望まれている。

そこで本研究では、まず山口県のチェックシートや国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所が整備している上北道路（既設コンクリート構造物）の表層品質調査結果を参考に寒中コンクリート用の施工状況把握チェックシート（試案）を検討・作成した。そして、同道路の橋梁下部工工事を対象に、寒中コンクリート用施工状況把握チェックシート（試案）を適用した。さらに、施工後に目視評価³⁾や表層透気試験⁴⁾等を実施し、チェックシートを運用する前後の構造物において、その効果を確認・分析した。本論文ではこれらの活動を通じて寒中コンクリートの品質確保の取組について報告する。

2. 既設コンクリート構造物の表層品質調査

青森県内で施工されたコンクリート構造物の品質の現状評価を行うことを目的として、現在建設されている上北道路（青森県上北郡六戸町から七戸町に至る高規格幹線道路、一部供用）において表層品質を調査した。対象構造物は、4 年程度以内に上北道路で施工されたコンクリート構造物（施工時期の異なる、ボックスカルバート 6 基、橋梁下部工 6 基）とし、目視評価³⁾と表層透気試験⁴⁾等を実施し、表層品質を簡易的、定量的に評価した。

*1 八戸工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程 (学生会員)

*2 八戸工業大学 工学部土木建築工学科 教授 博 (工) (正会員)

*3 国土交通省東北地方整備局 青森河川国道事務所 建設監督官

*4 国土交通省東北地方整備局 青森河川国道事務所 副所長

表-1 面的な微細ひび割れの目視評価

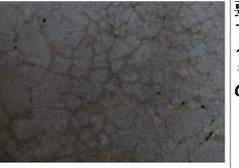
評価基準 評価項目	一般的に「良」とされる範囲				不適合 E -
	AAA 4点	AA 3点	A 2点	B 1点	
⑥面的な微細ひび割れ (サンドペーパーで表面を軽く磨き汚れを取る。アセトンを染み込ませた布で拭き、その湯き際に評価する)					要と構造物のオーナメントから不具合を合
	-調査対象範囲に微細ひび割れがほとんど認められない	-調査対象範囲に微細ひび割れが認められる	-調査対象範囲に微細ひび割れがくっきりと認められる	-Aよりも劣る	

表-2 施工状況把握チェックシート（寒中コンクリート（試案）の関連項目のみ抜粋）

【 施工状況把握チェックシート（寒中コンクリート用：打込み時～養生）】 <試行用>

※各チェック項目は、現場の状況（外気温の程度や施工方法等）により不適切・不要な場合もある。よって、監督職員と施工者がコミュニケーションを図り、共通理解を得ることが大切である。

事務所・出張所名				工事名			工区	
構造物名				部位			リフト	
受注者				監督職員				
配合				確認日時				
打込み開始時刻	予定		実績	打込み開始時気温			天候	
打込み終了時刻	予定		実績	打込み量(m ³)			リフト高(m)	
養生方法 ※保温・給熱の場合、 下段に具体的方法を記入	<input type="checkbox"/> 普通養生 <input type="checkbox"/> 保温養生 <input type="checkbox"/> 給熱養生			コンクリート温度の測定位置				
				養生中の温度	雰囲気 (°C以上)、コンクリート (°C以上)			
施工段階	チェック項目						記述	確認
準備	型枠面は湿らせているか。（凍結の恐れがある場合はその限りでない。）						-	
	凍結防止のため打継目は乾燥しているか。また、打込み直前に散水してぬらしているか。						-	
	鉄筋、型枠等に冰雪が付着していないか。付着している場合は確実に取り除いているか。						-	
	打込み終了時間が夕暮れ時になる場合や暗所に備えて、打込み箇所に照明灯が用意されているか。						-	
運搬	打込まれたコンクリートが外気温や風雪によって急冷されない（型枠内に冰雪が入り込まない）ような対策をしているか。						-	
	アジテータトラックや輸送管の保温対策等により、コンクリートの温度低下を防いでいるか。						-	
打込み	ポンプ車のホースを容易に投入できるよう屋根を開けているか。						-	
	打込み時のコンクリート温度は、5～20℃（部材寸法等より検討）の範囲に保たれているか。						-	
養生	打込み終了後、ただちにシートやその他の適当な材料で表面を覆う等の対策により、コンクリートの初期凍害を防止しているか。						-	
	コンクリートに給熱する場合、コンクリートが急激に乾燥することや局部的に熱せられることがないようにしているか。						-	
	初期凍害を防止できる強度が得られるまでのコンクリート温度（5℃以上）とその保持期間は適切であるか。						-	
養生	保温養生または給熱養生を終了する際にコンクリート温度を急激に低下させていないか。						-	
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。その際、コンクリート温度を急激に低下させていないか。						-	

目視評価にあたり、当該地区の多くの構造物にて面的な微細ひび割れが確認されたことから、細田ら³⁾が提案する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砂すじ、の評価項目に加えて⑥面的な微細ひび割れ(表-1)も評価することとした。なお、これらの調査時期は2013年11月である。

これらの結果より、これまでに当該地区で施工されたコンクリート構造物では、②表面気泡と③打重ね線、⑥面的な微細ひび割れに関する目視評価の結果が全体的に低い傾向にあることが確認された⁵⁾。特に打重ね線については、冬季に施工された構造物においても多数認められ、経年の乾燥収縮によりひび割れ状に進展している部位も観察された。このことから、今後進められる工事においては丁寧なコンクリートの打込み・締固めの実現、ブリーディングの抑制あるいは施工時の適切なブリーディング処理等を確実にすることが肝要と判断された。さらに、表層透気試験の結果より、乾燥している部位ほど面的な微細ひび割れが多く、表層透気係数も大きくなる傾向にあったことから、型枠存置期間の延長等により施工の初期段階において急激な乾燥を抑制する対策の有効性も示唆された。そして、これらの予備調査の結果を受け、コンクリート構造物の品質確保の観点から寒中コンクリート用の施工状況把握チェックシート(試案)を作成し、試行工事を実施した。

3. 寒中コンクリート用施工状況把握チェックシート(試案)を用いた試験施工

3.1 チェックシート(試案)の検討

上北道路の試行工事における打込みは2013年12月～2014年3月であり、寒中コンクリートによる施工が予定された。そのため、山口県で用いられている施工状況把握チェックシートをベースに、寒中コンクリート用のチェックシートを検討した。チェック項目の検討に当たっては、土木学会コンクリート標準示方書⁶⁾を参考に、発注者はもとより青森県内の建設会社、建設コンサルタント、レディーミクストコンクリート製造会社に寒中施工時の具体的な留意点や対策についてヒアリングを行い、より実践的なシートを目指した。表-2は作成したチェックシートから寒中コンクリートに関連する項目のみを抜粋したものであり、寒中コンクリートの施工として重要となる、初期凍害の防止やコンクリートが急冷されない等の配慮が具体的に示されている。加えて、打込み終了が夕暮れ時になる場合に備えて打込み箇所への照明機材の準備、アジテータトラックへの保温対策等のコンクリート標準示方書には明記されていない個別・具体的内容についても、地域特性を勘案し重要と判断された項目は追加した。



写真-1 寒中コンクリートによる橋台の施工状況

また、既設構造物の調査結果より、表面気泡や打重ね線の目視評価が低いことから、表層付近に対して後追いの仕上げパイプレータを丁寧に施すことも明記した。これは山口県のチェックシートにはない項目である。

3.2 事前打合せと試験施工

試験施工は橋台2基および橋脚1基において実施された。チェックシートを用いた試験施工にあたり、産官学による事前打合せを行った。そこでは、上北道路における既設コンクリート構造物の調査結果、寒中コンクリート用施工状況把握チェックシート(試案)の内容、目視評価法とその活用によるPDCAサイクルについて説明し、チェックシート導入のための目的意識を共有した。さらに、施工者が作成した施工計画書についても意見交換し、チェックシート項目に過不足がないことを確認した。

本論文では砂土路川橋台(A1, A2)の施工状況(写真-1)について概説する。まず、フーチングの施工において多量のブリーディングの発生が認められた。特に冬季施工では外気温の低下による凝結遅延にともない、ブリーディングの収束に時間を要する傾向にある。そのため、打重ね層ごとのブリーディング処理は、スムーズな打込みを行う上で大きな時間ロスとなり、打重ね線への影響が懸念された。そこで、堅壁の施工から材料分離低減効果を有する後添加型のフレッシュコンクリート改質剤を使用した。また、適切な打重ねの高さと時間間隔を保持し、効率的かつ確実な施工を実現するため締固め作業の人員を増やし対応している。

4. 試験施工構造物の表層品質評価

4.1 試験方法

コンクリート構造物の表層品質評価は目視評価、表層透気試験および繰り返し流水試験にて行った。施工状況把握チェックシートに従って施工した橋台(A1, A2)におけるこれらの評価試験は、河川側に面する堅壁と胸壁において各6箇所行った。

目視評価項目は、先に述べた①沈みひび割れ、②表面

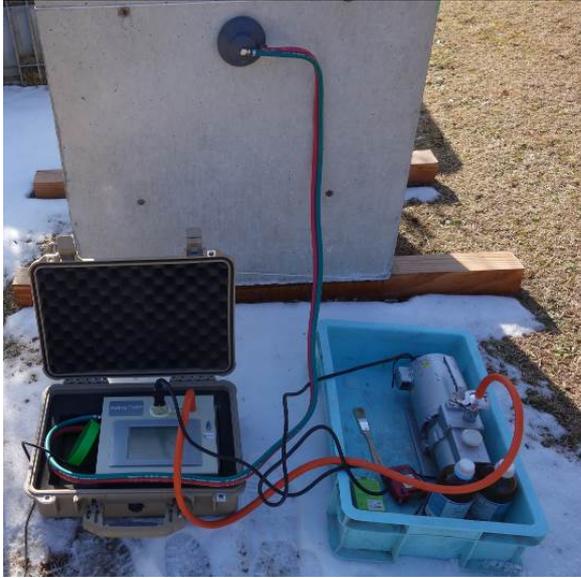


写真-2 表層透気試験



写真-3 繰り返し流水試験

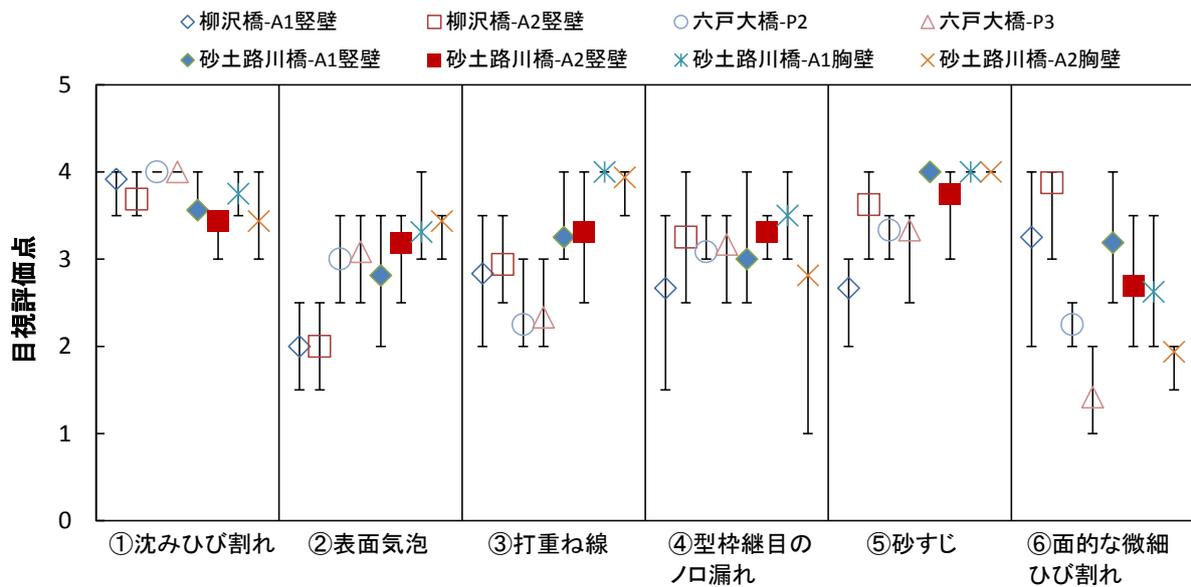


図-1 目視評価結果

気泡, ③打重ね線, ④型枠継ぎ目のノロ漏れ, ⑤砂すじ, ⑥面的な微細ひび割れの6項目とした。一般的に「良」とされる範囲を4点, 3点, 2点, 1点に分類し, さらに「否」の「0点」を加えて5段階の評価(0.5刻みで採点)を行った。

コンクリートの表層透気試験はトレント法により実施した(写真-2)。トレント法はコンクリート表層部における透気係数(KT)を非破壊にて測定する試験であることから, 近年, 表層部コンクリートの品質評価への利用が試みられている。また, 測定前に同一箇所でインピーダンス法による表面含水率も計測した。これらは, 地面から1.5~2mの位置で横断方向に対して6点測定した。コンクリート表面の繰り返し流水試験は, 岸ら⁷⁾が開

発しているものである。試験状況を写真-3に示す。あらかじめコンクリート表面に間隔5mm(0.5mm幅)のけがきガイドを設け, 15 μ Lの水をデジタルピペットにより先端から30秒間隔で10回流水させ, 流下距離を測定するものである。表面が密実なコンクリートほど流下距離が長いとされている。

4.2 試験結果

(1) 目視評価

寒中コンクリート用施工状況把握チェックシートを使用して試験施工を行った砂土路川橋台(A1, A2)の目視評価結果を図-1に示す。また, 比較のためチェックシートによる把握を実施していない柳沢橋(橋台堅壁:2010年6月~7月施工)と六戸大橋(橋脚:2010年1月~2

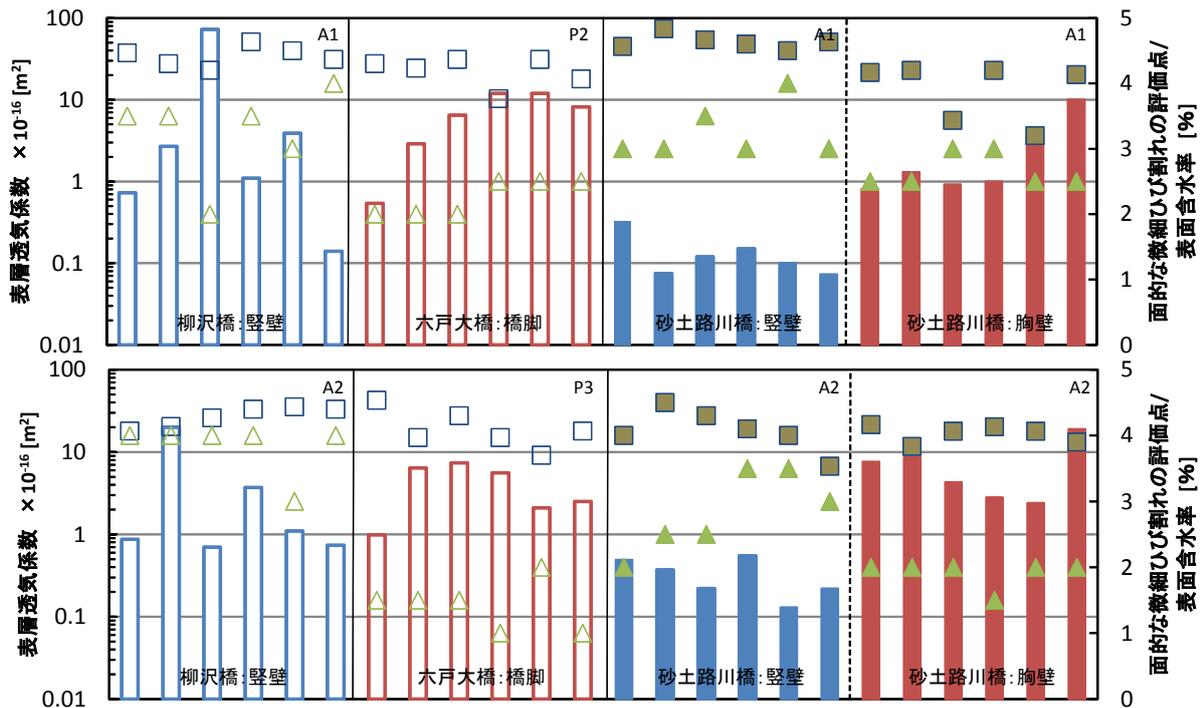


図-2 表層透気試験結果

月施工)の結果も示した。図中の凡例は、6箇所の評価点の平均値であり、その最大と最小の評価点をひげグラフとして表わした。この結果より、当初の改善項目であった②表面気泡および③打重ね線は、A1 堅壁、A2 堅壁、A1 胸壁、A2 胸壁の順序で施工ロットが進行するにともない、目視評価点が向上する傾向が認められる。これは、施工終了後の反省会等を通じて、次ロットに向けてPDCA サイクルを回したことによるものといえる。さらに、後添加型の改質剤によるブリーディングの低減効果によって⑤砂すじも大きく改善されている。しかし、④型枠継ぎ目のノロ漏れについては、堅壁と A1 胸壁までは段階的に評価点の向上が認められるが、最後の A2 胸壁の一部において評価値が 1 点の部位が確認された。これは、型枠下面のハラミ出しにより、打継ぎ部から著しいノロ漏れが生じたためである。一方、⑥面的な微細ひび割れは、堅壁と比べて胸壁では低い評価点であった。この原因は、堅壁の型枠存置期間は約 2 週間であったのに対して、胸壁の型枠存置期間は約 1 週間であったことから、胸壁のコンクリート表面は脱型後に急激な乾燥を受け、表面微細ひび割れが増加したものと推察される。なお、夏季に施工した柳沢橋(型枠存置期間: 10 日)より冬季に施工した六戸大橋(型枠存置期間: 5 日)の方が微細ひび割れの評価点が低下している。

以上より、施工状況把握チェックシートを活用した施工の基本事項の遵守と目視評価を連動させることによって、施工の改善点がより明確になり、品質確保のためのPDCA サイクルの好循環が期待できると考えられる。

(2) 表層透気試験

表層透気試験の結果を図-2 に示す。図中の棒グラフは表層透気係数(左軸)、△と□の凡例は面的な微細ひび割れと表面含水率(右軸)をそれぞれ表示している。これらの結果より、チェックシートによる施工状況把握を実施していない柳沢橋および六戸大橋では、測定部位による表層透気係数に大きなバラツキが認められ測定値は $0.1 \sim 100 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の範囲に分布している。一方、施工状況把握を実施した砂土路川橋台の堅壁では、測定部位による表層透気係数のバラツキも小さく、A1 橋台で $0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 前後、A2 橋台で $0.1 \sim 1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の範囲であり、既設橋と比較して面的な均一性が向上し、より密実な表層組織が形成されているものと考えられる。しかし、胸壁の表層透気係数は、 $1 \sim 10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の範囲で分布している部位が多く確認され、堅壁と比べて明らかに透気係数の増加が認められる。これは、胸壁の面的な微細ひび割れの目視評価が 2 点以下となっていることから、表層透気係数が急激な乾燥ともなって発生した微細ひび割れの影響を受けているものと判断される。

(3) 繰り返し流水試験

繰り返し流水試験の結果を図-3 に示す。これらの結果より、堅壁の流下距離は胸壁と比較し 3cm 程度大きい傾向にあり、表層組織の密実性の向上が確認される。これは、表層透気係数と同様に型枠存置期間の減少による初期乾燥の影響を反映しているものと思われる。このことから、寒中コンクリートにおいて早期脱型を行う場合、脱型後にコンクリート表面の保温・保湿について配慮す

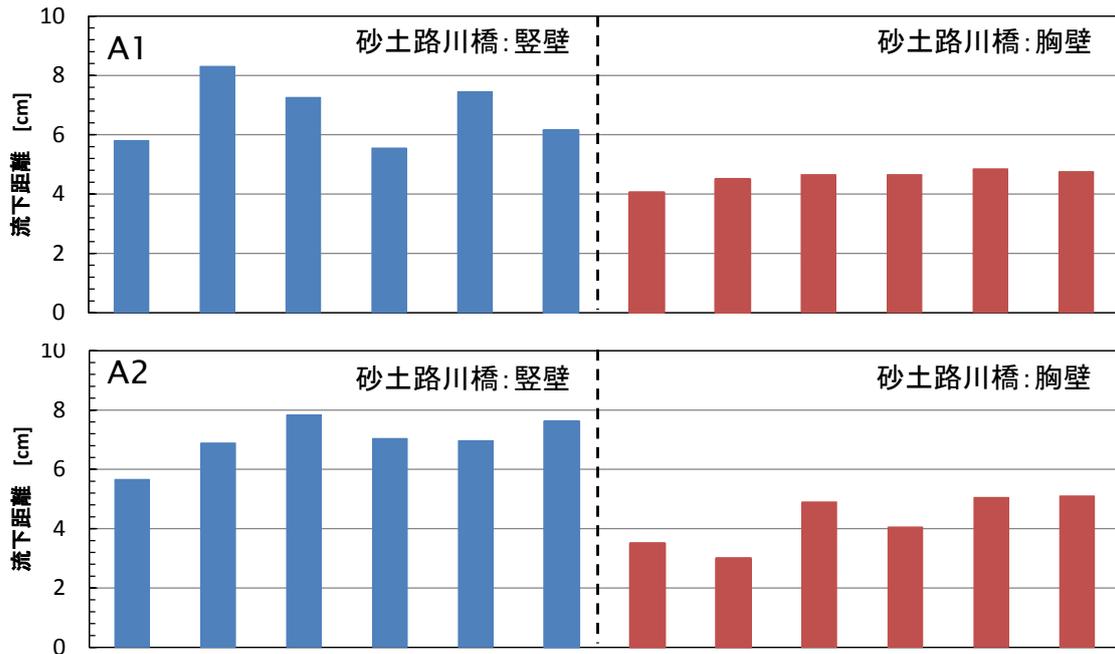


図-3 繰り返し流水試験結果

ることは、微細ひび割れの発生を低減し、表層組織の密実性を向上させる上で有効な対策と考えられる。

そこで、2014年度の冬季施工に用いるチェックシートの養生に関連する項目(表-2の最下段)では「その際、コンクリート温度を急激に低下させていないか、また、表面を急激に乾燥させていないか。」と修正した。

5. まとめ

本論文は寒中コンクリート用施工状況把握チェックシート(試案)を作成し、そのチェックシートと目視評価を活用したコンクリート構造物の品質確保の取組について紹介したものである。以下に調査研究の範囲で得られた知見をまとめる。

- (1) 冬期間はコンクリートの凝結遅延にともないブリーディングが生じやすいことから、施工段階におけるブリーディングの抑制、あるいは確実な処理はコンクリート表層部の品質確保に大きく寄与すると考えられる。
- (2) 寒中コンクリート用施工状況把握チェックシートと目視評価の連動は、施工段階における改善点を明確にし、品質確保のためのPDCAサイクルの好循環を構築するために有効な手段である。
- (3) 表層透気試験および繰り返し流水試験の結果より、冬期間は外気が乾燥している時期が長いことが想定されるため、早期の脱型後にコンクリート表面が急激な乾燥を受けないよう配慮することが表層品質の向上のために有効であることが示唆された。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 細田 暁, 坂田 昇, 田村隆弘, 二宮 純: 目視評価を活用した山口県のひび割れ抑制システムによる表層品質向上の分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1837-1842, 2013.7
- 4) 土木学会: 構造物表面のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ, No.80, 2008.4
- 5) 阿波 稔, 迫井裕樹, 長谷川明: 「青い森の橋ネットワーク」の活動状況-青森県内のコンクリート構造物の長寿命化と品質確保に向けて-, コンクリートテクノ, Vol.33, No.4, pp.9-15, 2014.4
- 6) 土木学会: 2012年制定 コンクリート標準示方書, 施工編, 2013.3
- 7) 菊地健人, 岸 利治: コンクリート表層品質の簡易判定手法としての繰り返し流水試験の安定性向上に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1873-1878, 2013.7