

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職
	（なからい けんいちろう） 半井 健一郎		広島大学大学院 工学研究院		准教授
②研究 テーマ	名称	新設コンクリート構造物における表層品質検査手法の確立			
	政策 領域	[主領域] 領域4：コスト構造改革 [副領域] 領域8：道路資産の保全	公募 タイプ	II	
③研究経費（単位：万円）	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計	
	※H28は精算額、H29は受託額、 H30は計画額を記入。端数切捨。 1,799	1,379	550	3,728	
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）				
氏名	所属・役職				
西尾壮平	鉄道総合技術研究所・主任研究員				
舌間孝一郎	前橋工科大学・准教授				
岸利治	東京大学生産技術研究所・教授				
酒井雄也	東京大学生産技術研究所・講師				
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）				
<p>本研究では、非破壊試験を用いた新設コンクリート構造物の表層品質検査システムを実務に展開し、道路ストックの長寿命化に資することを目的とする。その実現のため、複数の試験手法の長所を組み合わせることによって簡便性と正確性を両立させた新たな検査システムを提案する。具体的には、流水試験や散水試験などの簡易法を1次検査、表層透気試験や表面吸水試験などの詳細法を2次検査、採取コアによる耐久性評価を最終の3次検査とする、3段階システムを提案する。研究期間においては、室内試験および実構造物調査を通して試験手法の有効性の実証および改良を行ったうえで検査指針（案）を整備し、現場に実装可能な検査手法を確立させることを目標とする。</p>					

## ⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでに得られた研究成果や目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。)

### (1) 詳細法に関する検討

まず、詳細法に関する日本版検査指針案の作成と検証にむけた基礎的検討として、前年度からの研究を継続し、表層透気試験(トレント法)や表面吸水試験(SWAT)を用いた室内試験および実構造物の測定により、適切な検査時期の検討を中心に、実現場での有効性の検証を行った。表層透気試験の測定は、新設構造物における表層透気係数に関しては、スイス規格であるSIA262/1:2013に準じた計測を行った。

室内試験では、表層品質に影響を及ぼすと考えられるコンクリートの配合や養生方法などを変化させて表層透気係数などの経時的な計測を行った。後述する簡易法の測定結果の検証データとするとともに、あわせて表面含水率の非破壊測定を実施することで、表層透気係数や吸水速度係数と表面水率が高い相関をもって推移していることを明らかにし、表面水率の影響を補正するための基礎資料とした。

実構造物に関しては、群馬県、広島県および山口県の新設あるいは既設の実構造物を対象として表層透気係数などの測定を行った。また、広島県(橋脚)および山口県(トンネル)の建設現場では、実構造物の建設にあわせて製作された付属試験体において、現場で適用した養生方法の効果を分析するとともに、経時計測後のコア抜き用とした。群馬県(ボックスカルバート)の現場で作製し、経時計測を行ってきた付属試験体については、追加のコア採取を行うとともに、実構造物における非破壊計測値との比較を行った。3年間の長期間の継続測定の結果が

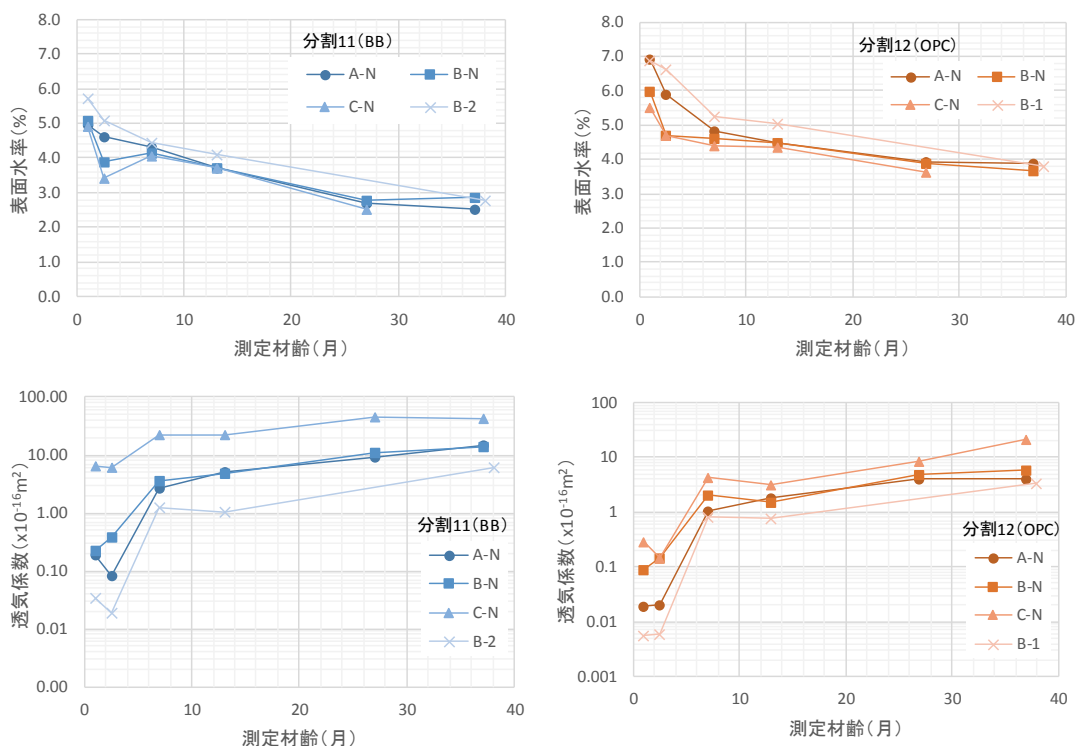


図1 実構造物および付属試験体における表面水率と表層透気係数の経時変化

(A : 丁寧な養生, B : 標準的な養生, C : 不十分な養生, 2,1 : 実構造物の施工ブロック)

らは、図1に示すように、材齢半年程度までは表面水率の大きな減少とともに透気係数も大きく増加すること、材齢2年程度までに表面水率の低下は収束して透気係数もほぼ一定値となること、実構造物では表面水率の低下と透気係数の増加が付属試験体よりも遅く長期に及ぶことを明らかにした。一方、施工条件が明らかな既設構造物を対象とした調査を行うことによって、十分に乾燥が進行したのちの測定から品質差が適切に抽出できることを確認した。

スイスSIA262/1:2013に準じた計測の作業性に関しては、国内の構造物において適用する場合にも基本的には問題がないことを確認した一方で、脱型後のフィルム養生などによって長期の封緘養生を行う場合には標準的な測定材齢（1～3カ月）での適用が難しこと（一時的にフィルムを剥がしたとしても表面含水率が高く測定が適切ではない）、6点の計測には時間を要すること、測定の可否が天候に大きく左右されること（当日あるいは直前の雨によって測定を注視する必要がある）などの実務上の課題があり、多段階評価の必要性があらためて確認された。

## (2) 簡易法に関する検討

次に、簡易法の活用法の提案と検査指針案の作成・検証に向けた検討として、散水試験を用い、室内試験や実構造物測定を行った詳細法との比較を行った。得られた結果をもとに、散水試験による表層品質評価に関する手引き案を作成した。

まず、前年度で明らかになった脱型直後の早期判定の可能性を詳細に検討した。図2に示すように、養生期間の影響に関しては、脱型後1週間であっても良好に判定可能であった一方で、配合（水セメント比）の影響については、脱型後1週間でも差があるものの小さく、脱型後1カ月程度で差が明瞭になることが分かった。今回は単位水量を固定した条件としたことが水セメント比の影響評価を難しくした原因と考えられたが、脱型直後の乾燥途上の迅速判定に関しては、少なくとも養生の妥当性については容易に判定できることを明らかにできた。これらの結果をもとに、脱型後1週間での散水試験の適用を推奨するとともに、脱型後の経過日数に応じた測定結果（散水回数）の評価の目安について示した検査の手引き案を作成した。

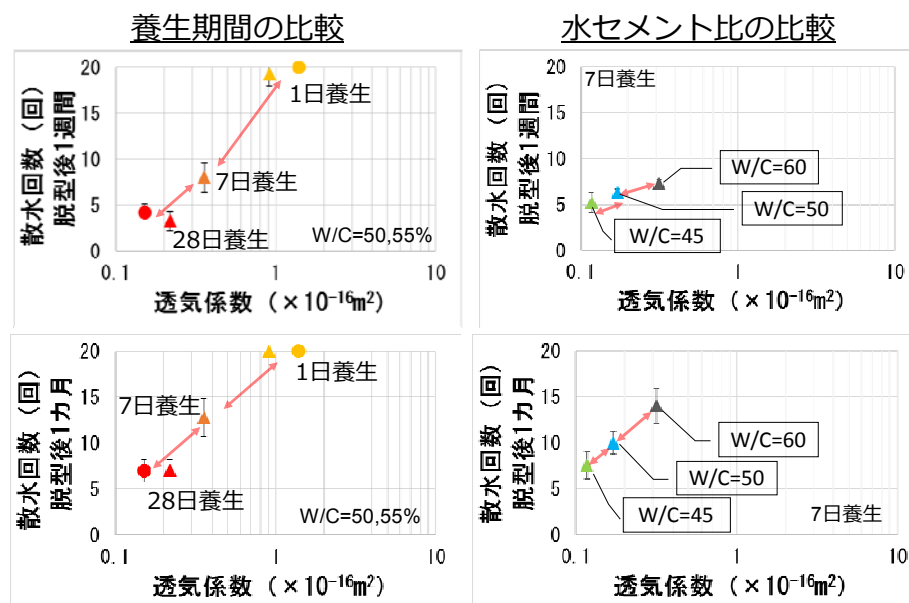


図2 散水回数（脱型後1週間および1ヶ月）と表層透気係数（材齢2カ月）の関係

次に、散水試験の適用上の課題を明確にするため、化学混和剤の多量使用によって意図的にブリーディングを増加させた試験体を作製し、測定高さの影響を検討した。その結果、表層透気係数への影響は大きくない場合であっても、散水試験結果には測定高さの影響が大きくなる場合があることを確認した。すなわち、散水試験の適用においては、標準的な測定高さでの実施を推奨することとした。

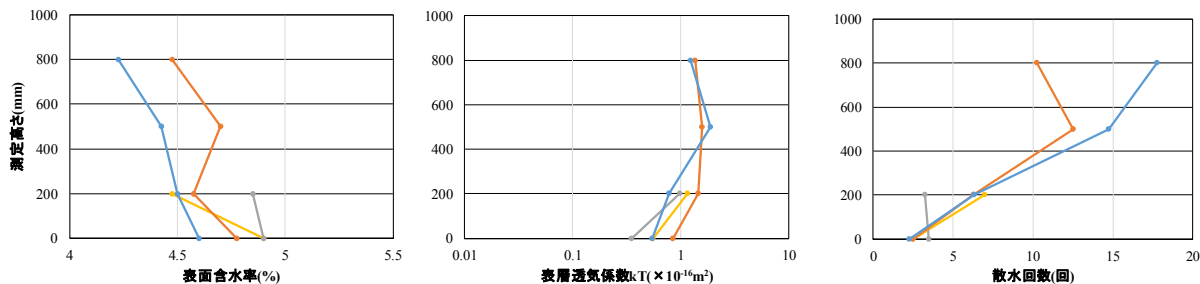


図3 測定高さによる表面含水率，表層透気係数および散水回数の変化

さらに、実構造物における調査を継続し、群馬県内においては、20構造物の計70か所程度での計測データを取得した。図4に示すように、新設構造物（材齢3カ月程度）および既設構造物（材齢1年以上）における散水回数と透気係数との関係はおおよそ類似した領域に分布していることを確認した。

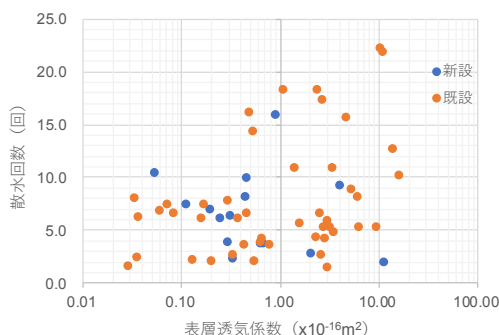


図4 実構造物測定における散水回数と表層透気試験の関係

その一方で、脱型直後に養生剤を塗布した現場においては、表面の撥水効果によって散水回数が極めて小さな値（1回程度）となり、表層透気係数との関係からは散水回数による評価は品質を過大に評価することが明らかとなった。一方で、極めて小さな散水回数となることから養生剤が所要の性能を発揮していることが確認でき、施工確認として散水試験が有用な手法であることが示された。

### (3) 採取コアに関する検討

今年度作製したコア採取用の試験体（室内および屋外）については試験材齢の経過を待つ必要があることから、円柱試験体を用いた検討を行った。室内試験においてASTM C1585-13に準じた吸水試験を実施し、表層透気係数との関係を確認するとともに、急速塩分浸透試験による塩分浸透深さや中性化深さとも良好な関係があることを確認し、非破壊試験の有効性

明らかにした。まず、図5に示すように、ASTMによって計測される円柱試験体の吸水速度係数は、同じ試験体に対して実施した表層透気係数と良好な相関があることが確認された。また、図6においては、吸水速度係数が塩分浸透深さと高い相関を示していることが分かる。

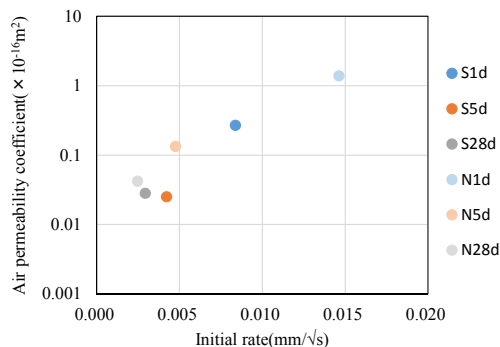


図5 表層透気係数と吸水速度係数

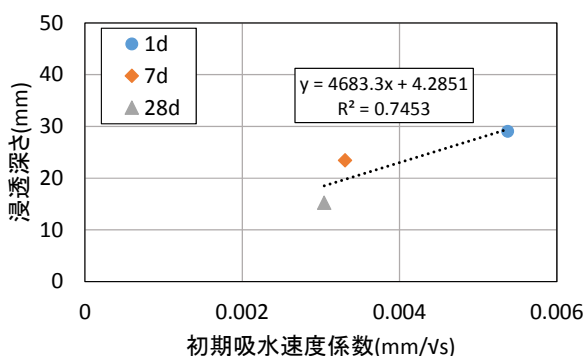


図6 塩分浸透深さと吸水速度係数

なお、ASTMでは飽水処理を必要とするため、その影響についても詳細に検討した。図7には飽水処理を行った場合Sと行わなかった場合Nにおける初期吸水速度係数の比と養生期間の関係を示すが、飽水処理によって初期吸水速度係数の値は小さくなり、その程度がセメント種に依存することが確認できた。ただし、試験体は図5に示したものと共通しており、いずれの場合についても、表層透気係数との相関は良い。

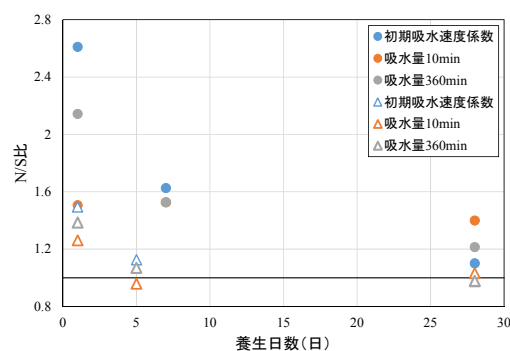


図7 吸水試験における飽水処理の影響

## ⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文及び国際会議、学会等における発表等があれば記入。)

久堀泰誉・半井健一郎・森優太：コンクリートの吸水試験における表面状態の影響分析，第69回土木学会中国支部研究発表会，2017

久堀泰誉・半井健一郎・森優太：コンクリートにおける吸水および塩分浸透に及ぼす養生条件の影響，第71回セメント技術大会，2017

Yasutaka Kubori and Kenichiro Nakarai: Influence of curing condition on water absorption and chloride penetration into concrete, international conference on civil and environmental engineering, ICCEE2017, 2017

酒井雄也、横山勇氣、岸利治：MRIによるセメント硬化体への水分浸透の非破壊観察，土木学会第72回年次学術講演会，pp. 549-550, 2017

横山勇氣、酒井雄也、半井健一郎、岸利治：異なる配合と養生を与えたコンクリートの表層透気係数の経年変化、セメント・コンクリート論文集、Vol.71、2018

## ⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等を記入。また、研究期間終了後における、研究の継続性や成果活用の展開等をどのように確保するのかについて記述。)

本研究から得られた結果に基づき、散水試験による簡易な1次検査（非破壊試験）、表層透気試験による詳細な2次検査（非破壊試験）、採取コアを用いた室内試験による3次検査（微破壊試験）からなる、3段階システムを提案する。1次検査では、簡易さと迅速性を重視し、養生終了後7日程度での散水試験の実施を行い、特に養生の良否を判定する。配合を含めた総合的な表層品質評価としては、脱型1か月程度の1次検査の実施あるいは他の試験（非破壊試験による強度判定など）との組み合わせを活用する。2次検査は、1次検査で品質に疑義があった場合にのみ実施し、材齢半年以上（脱型後3か月以上）の経過ののちの十分に乾燥が進行した構造物に対して実施することとする。さらに、最終的な判定としては、実構造物から採取したコアの含水比を調整したうえで、吸水試験あるいは塩分浸透試験や中性化促進試験を行い、所要の物質移動抵抗性あるいは耐久性に関する特性値を満足していることを確認するものとする。以上の全体の枠組みについて検証を進めて検査指針案を完成させ、現場での活用を目指す。

本成果の実務展開においては、まずは本研究に理解を示す自治体の品質確保において、達成された品質評価のための運用からスタートする。すなわち、合否判定を伴う検査を目的としたものではなく、設計や施工の妥当性の検証や優れた構造物の顕彰を目的とすることで、利用に関するハードルを可能な限り下げることとする。

また、海外展開を視野に国際共同研究をスタートする。コンクリート構造物をはじめとして急速にインフラ整備が進む東南アジア諸国での展開を予定している。

## ⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

本研究と並行して群馬県ではコンクリート構造物の品質確保に関する試行工事が継続し、今後の本格運用にむけた準備が進んでいる。また、本研究で詳細法と位置付けた表層透気試験に関しては、国土交通省中国地方整備局中国技術事務所が発行する「中国建設新技術レビュー」にて紹介され、新設コンクリート構造物の表層品質確保とその評価手法に対する認識が広まっていると言える。

本研究の進捗に関しては、1次検査と位置付けた散水試験による簡易評価について、養生終了後早期に迅速判定が可能との見通しが得られ、当初の計画以上に有効性の高い手法の構築が可能になる見込みである。散水試験の測定精度に関しては依然として課題が残っているもの、養生の効果に限定すれば測定感度が非常に高く、測定値にばらつきがあったとしても確実な評価が期待できる。よって、当初目的を達成するために順調な進捗であると評価できる。