

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	半井 健一郎 (なからい けんいちろう)		広島島大学大学院 工学研究科		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) ※端数切り捨て。 ※該当する研究期間のみご記入 下さい。	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
		1,799	1,379	550	3,728
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。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 (※平成31年3月31日現在)			
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・目標を簡潔に記入下さい。)					
<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・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等(外注を実施している場合は、その役割等も含めて)について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

新設コンクリート構造物の表層品質検査のための3段階システムの構築に向けた検討を行い、新たに提案した簡易法の測定要領案を整備して公開するなど、現場に実装可能な検査手法の確立に向け、概ね目標を達成した。具体的には、1次検査とする簡易法に関しては、散水試験を有効な試験方法として位置づけ、手法の開発者である西尾が中心となって測定要領案の作成を行い、群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドラインの資料編に掲載することで一般に公開した。2次検査とする詳細法に関しては、表層透気試験を有効な試験方法として位置づけ、室内試験のほか、舌間・酒井らが群馬県内、半井が中国地方の構造物の測定を行うなどし、国内での有効性を検証し、スイス規格をもとにした測定要領案を作成した。3次検査とする採取コアによる耐久性評価については、半井が中心となり、既存の試験手法を比較してASTMに定められた吸水試験をもとに小径コアの活用を検討したが、小径コアを用いることによる精度上の課題のほか、標準コアを用いた場合でもASTMの手法には課題があることが明らかとなり、その問題点の分析したうえで改善策を示した。また、従来の小径コアによる吸水試験にこだわることなく、中性化深さの計測や塩分浸透試験、スケーリング試験などの各種耐久性評価によって3次検査とすることにした。なお、いずれにおいても室内試験や雨掛かりのない部材においての有効性は確認されたが、雨水の影響を受ける部位における表層品質評価には課題を残した。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間・FS評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

「1. 簡易法、詳細法、コア分析の3つの方法の精度比較をした上での利活用のトータルシステムが示されることを期待する。」に対し、各測定結果の相関を分析し、特に精度が必ずしも高くない簡易法を効果的に活用するために脱型直後の迅速判定を提案した。

「2. 表層の物質透過抵抗性を試験することを実務に実装する際には、このような試験を行う目的についても理解して活用されるように整理されることを期待する。」に関しては、実務者との意見交換を通して、新設構造物の耐久性確保における論点を整理した。実際には、施工者による品質管理や発注者による検査としての活用が可能である。

「3. 散水試験についてキャリブレーション法についてもとりまとめていただきたくとともに、散水試験の活用範囲が明確にされることを期待する。」に関しては、散水回数ではなく、総噴霧量によって評価することによって評価することと、噴霧量の計測手順を定めることによってキャリブレーションの方法とした。なお、測定要領(案)においては、実務での使い勝手を考慮して「散水装置の操作1回当たりの噴霧量WI(g)」に応じて判定基準値を示した。

⑨研究成果

新設コンクリート構造物の表層品質検査のための3段階システムの構築に向けた検討を行い、新たに提案した簡易法の測定要領（案）を整備して公開するなど、現場に実装可能な検査手法の確立に向け、概ね目標を達成した。作成した3段階検査システムの全体フローを図1に、散水試験の実施要領案から抜粋を図2に示す。

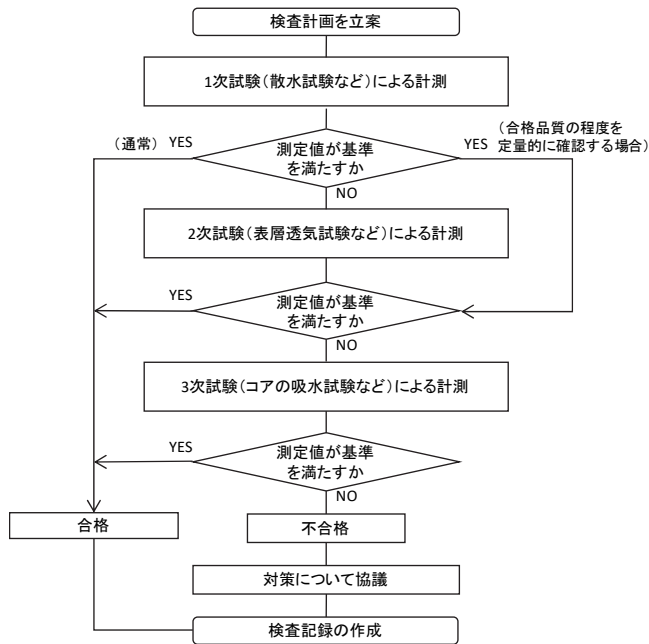


図1 検査システムの全体フロー

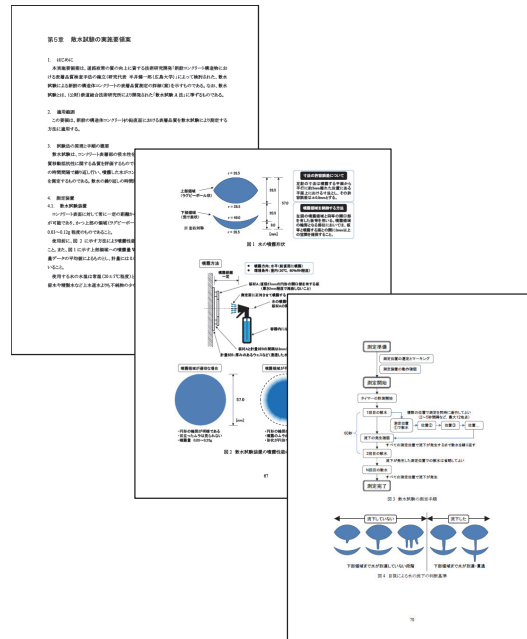


図2 散水試験の実施要領案

本研究においては、室内試験として、材料（セメント種）や配合（水セメント比）、施工方法（養生）を変化させたコンクリート試験体を作製し、各種試験によって表層品質を測定し、試験の適用性や測定値の変化、試験ごとの値の相関などを分析した。現場試験としては、群馬県や山口県、国土交通省中国地整などの協力を得て、新設コンクリート構造物の調査を行い、表層品質に関する各種非破壊試験の現場での適用性を検討した。

1次検査とする簡易法については、散水試験を有効な試験方法として位置づけた。散水試験による簡便な迅速判定手法に関して、室内試験や新設道路構造物を対象として取得したデータを取りまとめ、詳細法として用いる表層透気試験結果との比較から妥当性を検証した。特に、散水試験の特徴を生かした早期判定の可能性を検討するとともに、判定基準を整理し、検査指針（案）として活用する測定要領案の作成を行った。この間、スイスにおいてワークショップを開催して本研究で提案する手法に対する意見を収集するとともに、国内においては、実構造物における検査の試行（模擬検査）および道路管理者へのヒアリング調査等を行い、その内容を測定要領案に反映した。早期判定に関しては、脱型後1日であれば低品質のコンクリートを容易に抽出できること、脱型後7日程度で良質なコンクリートも含めた評価が可能となること、脱型後28日以降の乾燥が進むとさらに精度が向上することなどが明らかになった。実務での活用のために問題となっていた散水回数にばらつきについて

⑨研究成果（つづき）

は、装置固有の噴霧量のばらつきに起因したものであることが明確になり、総噴霧量によって評価をすることによって、装置のばらつきによらずに安定した評価ができることが分かった。このことを踏まえて、測定要領案では、散水装置の操作1回当たりの噴霧量に応じた散水回数を判定基準として活用することとした。

2次検査とする詳細法については、表層透気試験を有効な試験方法として位置づけた。室内試験のほか、構造物の測定を行うなどして国内での有効性を検証し、スイス規格をもとにした測定要領案を作成した。特に経時変化に関しては、群馬県における実構造物や付属試験体などを活用し、まずは降雨の影響のない条件における長期測定データを詳細に分析した。その結果、表層透気試験の測定値に及ぼす養生の影響は小さくなっていくものの、中性化速度係数との相関は向上することが明らかとなり、乾燥の影響が小さくなる半年程度以降の測定が望ましいものと考えられた。一方、降雨の影響を受けた構造物に関しては、施工時の影響が材齢とともに小さくなるが、場合によっては測定値が逆転する場合もあり、長期評価が難しいことが明らかになった。以上を踏まえ、スイス規格であるSIA262/1:2013を準用するとともに、2項目の加筆を提案した。

3次検査とする採取コアによる耐久性評価については、既存の海外規格を比較してASTM規格に定められた吸水試験をもとに小径コアの活用を検討したが、小径コアを用いることによる精度上の課題のほか、標準コアを用いた場合でもASTMの手法には課題があることが明らかとなり、その問題点の分析したうえで改善策を示した。また、従来の小径コアによる吸水試験にこだわることなく、中性化深さの計測や塩分浸透試験、スケーリング試験などの各種耐久性評価によって3次検査とすることにした。

本研究の成果は、国内外の学術誌に掲載されたほか、実務においては群馬県においてすでに活用された。2019年3月末に群馬県建設企画課技術調査係より「群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン」が公開され、本編に表層品質確保の重要性とともに表層透気試験や散水試験の活用法が示され、また、資料編に散水試験の実施要領案が掲載された。いずれも群馬県のホームページにてダウンロード可能である。

今後は、新設コンクリート構造物におけるデータを蓄積するとともに、初期品質を維持管理に活用することによって、建設から維持管理までのPDCAサイクルの構築を推進することとなる。また、すでに建設後数十年が経過して劣化が顕在化した構造物への非破壊試験手法の適用も見込まれる。

一方、課題として残った雨水の影響を受ける屋外の構造物の表層品質評価に関しては、①含水率の影響を踏まえて表層品質を的確に測定すること、②雨水の影響によって品質自体が施工直後から変化すること、③劣化の進行は含水率の影響を大きく受けること（たとえば雨水によって中性化の進行は遅くなるが鋼材の腐食リスクは高まること）などを踏まえて、検査の目的やタイミングを整理する必要がある。実際の構造物においては部位によっても雨水の影響は異なることから、測定データの蓄積を進めることで、より合理的な非破壊試験の活用法を確立することが望まれる。

⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会抄録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

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, pp.410-417, 2018.

Nakarai, K., Shitama, K., Nishio, S., Sakai, Y., Ueda, H., and Kishi, T., Long-term permeability measurements on site-cast concrete box culverts. Construction and Building Materials, Vol.198, pp. 777-785, 2019.

Nguyen, M.H., Nakarai, K. Kubori, Y. and Nishio, S., Validation of simple nondestructive method for evaluation of cover concrete quality, Construction and Building Materials, Vol.201, pp.430-438, 2019.

Nguyen, M.H., Nakarai, K. and Nishio, S., Durability index for quality classification of cover concrete based on water intentional spraying tests. Cement and Concrete Composites, Vol.104, 2019.

久堀泰誉, 半井健一郎: 試験体採取方法が吸水試験結果に与える影響, コンクリート工学年次論文 文集, Vol.41, No.1, pp.635-640, 2019

横山勇氣, 酒井雄也, 岸利治: 屋外暴露された中規模柱試験体を対象とした表層品質の継続的計測および空隙構造分析による養生効果の検証, コンクリート工学年次論文 文集, Vol.41, No.1, pp.617-622, 2019.

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

2019年3月末に群馬県建設企画課技術調査係より「群馬県コンクリート構造物品質確保ガイドライン」が公開され、本編に表層品質確保の重要性とともに表層透気試験や散水試験の活用法が示され、また、資料編に散水試験の実施要領案が掲載された。実施要領案の冒頭には、道路政策の質の向上に資する技術研究開発『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(研究代表半井健一郎(広島大学))』によって検討された、散水試験による新設の構造物コンクリートの表層品質測定の詳細(案)を示すものである。」と記した。いずれも以下の群馬県のホームページにてダウンロード可能である。

<http://www.dobokunews.pref.gunma.jp/cgi-bin/cbdb/db.exe?page=DBRecord&did=406&qid=all&vid=2496&rid=1200&Head=&hid=&sid=2033&rev=0&ssid=2-997-3912-g1>

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

簡易法である散水試験の測定要領案などが整備されたことから、実務で表層品質評価を活用するための準備が整った。今後は、新設構造物におけるデータを蓄積するとともに、初期品質を維持管理に活用することによって、建設から維持管理までのPDCAサイクルの構築を推進する。また、すでに建設後数十年が経過して劣化が顕在化した構造物への非破壊試験手法の適用も見込まれる。表面状態の影響を強く受ける散水試験よりも表層透気試験が有効であるが、微破壊試験によって得られた塩化物イオンの実効拡散係数などとの相関を分析し、本研究の応用としての活用法を提示したい。

一方、課題として残った雨水の影響を受ける屋外の構造物の表層品質評価に関しては、①含水率の影響を踏まえて表層品質を的確に測定すること、②雨水の影響によって品質自体が施工直後から変化すること、③劣化の進行は含水率の影響を大きく受けること（たとえば雨水によって中性化の進行は遅くなるが鋼材の腐食リスクは高まること）などを踏まえて、検査の目的やタイミングを整理する必要がある。実際の構造物においては部位によっても雨水の影響は異なることから、測定データの蓄積を進めることで、より合理的な非破壊試験の活用法を確立することが可能となる。

現場打ちのコンクリートに対し、工場で製作されるコンクリートにおいては、水和を促進するために含水状態についても早期の安定が見込まれ、出荷時の品質管理として本研究の成果を活用することが可能と考えられる。

⑪研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

国内においては、群馬県のコンクリート構造物品質確保ガイドラインに表層透気試験や散水試験の活用の考え方や散水試験の測定要領案が記載されたことから、今年度からのガイドラインの本格運用において、品質確保の重要性と散水試験等の有効な活用方法に関する情報提供を継続的に行い、研究成果を道路行政へ反映させる。あわせて、現場から取得されるデータを分析することで、実務で広く活用され、新設コンクリート構造物の耐久性向上が確実に実現するように、研究をさらに発展させる。また、群馬県以外の自治体や国交省の地方整備局とも連携し、構造物の重要度や規模、供用環境などに応じた適切な品質確保や検査、維持管理の在り方を提言し、研究成果の活用につなげる。

海外展開としては、ベトナムの交通技術大学（University of Transport Technology, UTT）や運輸交通大学（University of Transport and Communications, UTC）と連携し、途上国であるベトナムでの適用を検討する。その準備として、広島大学の博士課程後期課程における留学生としてUTTの講師、交換留学生としてUTCの修士学生を受入れ、本研究に参画させた。

⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

新設コンクリート構造物の表層品質検査のための3段階システムの構築に向けた検討を行い、新たに提案した簡易法の測定要領案を整備して公開するなど、現場に実装可能な検査手法の確立に向け、概ね目標を達成したと自己評価している。特に簡易法として位置づけた散水試験に関する測定要領案を整備するとともに、群馬県の品質確保ガイドラインへの掲載まで至ったことは、道路構造物の耐久性確保の実現のために大いに貢献する成果と自負する。また、研究の過程において、散水試験の簡便性や低コストという当初の長所を活かしたままで精度向上を実現するために、これまで評価指標としてきた散水回数から、散水試験装置の個体差の影響を考慮できる総噴霧量による新しい評価指標を見出したこと、脱型直後の早期判定における利点を示したことは、中間評価で頂いた意見を踏まえ、実務での利用を念頭に研究開発を進めた成果である。研究費の多くは、表層透気試験装置などに投資したが、実験室の試験体や現場の実構造物において、数多くの点において経時的に計測を重ねることに活用し、これまで非常にデータの少なかった経時変化に関する情報を蓄積することができ、透気試験を活用するための材齢の目安を新たに示すことができたことなど、研究費の投資に十分に見合う成果を成し遂げたものと考えている。