

コンクリート表層品質の 簡易な非破壊評価手法の開発

西尾 壮平* 上田 洋*

Development of a Simple Non-destructive Evaluation Method for the Permeability of Cover Concrete

Sohei NISHIO Hiroshi UEDA

The quality of cover concrete has a considerable effect on the durability of reinforced concrete structures. Therefore, non-destructive methods of evaluating the permeability of cover concrete have become increasingly important in recent years. Indeed, various non-destructive testing methods of evaluating the air permeability or water permeability have been proposed. In most of these methods, however, a large power supply should be prepared to operate test equipment. It follows that a time-consuming on-site preparation is needed before carrying out the test in the field. In this study, a new evaluation method that is simple and easily applicable to the concrete structures has been proposed. Using this method, it is possible to easily evaluate the cover concrete quality by means of simple equipment for spraying a small amount of water and a battery-powered hand-held device.

キーワード：コンクリート，耐久性，表層品質，物質透過性，非破壊検査，散水試験

1. はじめに

鉄筋コンクリート（RC）構造物の耐久性は、内部の鉄筋を保護する表層部のかぶりコンクリートの品質に大きく左右される。従来、コンクリートの品質は圧縮強度で判断されてきたが、耐久性を考える上では、劣化因子の侵入に直結するコンクリートの物質透過性を実構造物で評価する必要がある。近年、主にコンクリート表層部における内部への物質透過性を指す「表層品質」という用語が土木・建築分野で広く認識されつつあり、表層品質の非破壊検査の重要性が高まっている。コンクリートの透気性や透水性を評価する非破壊評価手法が各種提案されているが、装置が高額であるなど、鉄道構造物の保守管理の現場で容易に適用可能な手法は見当たらない。

著者らは、構造物検査の現場への適用を念頭に置き、簡便性に優れた表層品質の非破壊評価手法の開発に取り組んできた。本稿では、新たに考案した簡易評価手法である「散水試験」について、開発の経緯を整理する。また、同手法を活用した表層品質の検査方法を提案する。

2. コンクリート表層品質の非破壊評価の現状

コンクリートの表層品質に関連した研究が活発化している。例えば、2012年9月の土木学会全国大会では、コンクリートの関連で「表層品質」をキーワードに含む

* 材料技術研究部 コンクリート材料研究室

講演が6件、RC構造物の耐久性の観点で透気性、透水性に関連した講演が12件見られた。2012年7月には、土木学会から、コンクリート委員会「構造物表層のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会」（以下、JSCE335委員会とする）の第二期成果報告書¹⁾が発表された。同報告書には表層品質に関する最近の動向や研究事例が整理されており、参考とされたい。以下、表層品質の非破壊評価の現状と本研究の位置付けを整理する。

実構造物の表層品質に関する非破壊評価手法には、表面付近の透気性や透水・吸水性の直接的な評価を試みた手法として、表層透気試験^{2) 3) 4)}、表面吸水試験⁵⁾が国内外で考案され、各種の検討が進められている。表層透気試験は各種の手法が提案されているが、いずれの手法も基本的には実構造物のコンクリート表面に空気圧を作用させることで得られる表層の透気係数によって透気性を評価する手法である。表面吸水試験は、常圧に近い低水圧の液状水の吸水挙動を評価する手法である。これらの手法では、実構造物を対象とした物質透過性の直接的な非破壊評価に繋がる重要な知見が報告されており、装置が市販化されている手法については実構造物の検査への適用も可能である。しかし、いずれの手法も測定装置の動作に外部電源が必要であり、検査を行うための場所や設備の確保などに対して相応の事前準備が必要となる。そのため、これらの手法を実際に使用するのには、測定箇所を絞り込んだ後の詳細検査や、物質透過性に関する精緻な比較・検証といった場面となるのが現実的と思われる。

特集：材料技術

一方、主に圧縮強度の非破壊検査を目的とした既存技術の応用により、表層品質の間接的な評価を試みた検討例も見られ、例えば、衝撃弾性波や超音波を利用した手法がある¹⁾。これらの手法はバッテリー駆動の小型機器を用いるなど作業性に優れるため、実構造物の検査に対する適用が比較的容易であり、実績も相応にあるものと推測される。しかし、測定値の解釈や測定の実施に専門性を要する手法が多く、検査は専門業者によって実施される場合が多い。また、測定原理は主に弾性体としてのコンクリートの物性に立脚しており、物質透過性については間接的に推定する手法となるため、表層品質の検査に対する適用性については検討の余地がある。

表層品質の非破壊検査に関する以上のような現状を踏まえた上で、本研究では、実用的な技術の構築を目標とし、構造物検査の現場への適用性を最重視した。開発の基本コンセプトは、鉄道構造物の保守管理を担当する実務者が容易に取り扱うことが可能なレベルで「簡便性に優れた手法の開発」とし、具体的には、以下の3項目の達成を念頭においた。

- (1) 電源設備不要（測定機器類の作動において外部電源の確保が不要であること）
- (2) 省力（準備段階を含めた各種作業が省力的で1名で実施可能であること）
- (3) 省スペース（測定機材の設置や測定作業に必要なスペースが可能な限り小さいこと）

これらの条件を既存の各種手法によって満足することは、測定原理の妥当性、測定機構上の問題、市販装置の大幅な改良が必要、といった課題が当初から想定された。そこで本研究では新たな手法の開発を目指すこととした。

3. 表層品質の新たな非破壊評価手法「散水試験」の考案

3.1 新手法の着想

著者らが過去に実施した実構造物の調査において、乾燥したコンクリート表面に散水した際に、対象のコンクリートの品質が著しく劣る場合はコンクリート表面からの水の吸収による消失が速くなるという傾向を経験的に見出してきた。図1に、コンクリート表面における散水後の状況のイメージを示す。人間の視覚で定性的に認識してきたこのような現象を、表層品質と関連付けて、非破壊評価手法として具現化するという着想を得た。水の消失の状況は測色機器を活用することで定量化できると予想し、それによって表層品質の非破壊評価に繋がる情報を取得できる可能性があると考えた。以下、この着想に基づく手法を「散水試験」と表記する。

散水試験による表層品質の非破壊評価について簡易な実験で検討した結果、当初の見込みどおりコンクリート

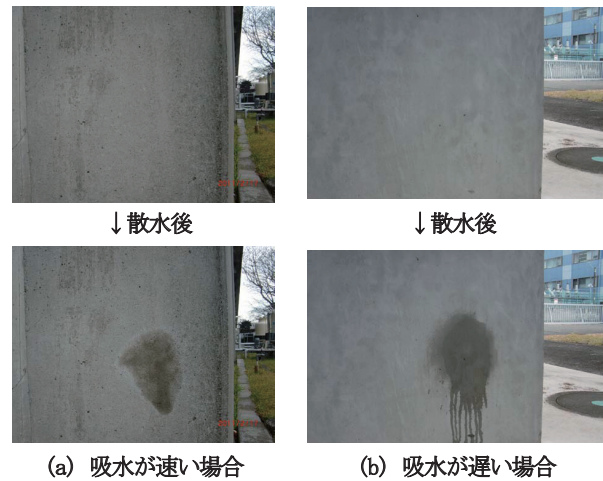


図1 コンクリート表面への散水後の状況

表面の色の変化と表層品質との関連性を示唆する結果が得られたことから、本格的な検討を進めることとした。

3.2 「散水試験」の概要

例えば降雨後のコンクリート表面がわかりやすいが、乾燥したコンクリートの表面を水で濡らすと黒っぽくなり、やがて元の色に戻っていく。散水試験（以下、本手法とも表記する）では、「水をかけた後の表面色の戻り方」に着目している。具体的には、コンクリート表面色が水分の存在で大きく変動する特性を利用し、意図的に少量の水分を付与した際の表面色の変化性状から表層品質の非破壊評価に活用できる情報の取得を試みるものである。

図2に、本手法の概要を示す。本手法を工学的に表現すると、表面における水の消失の挙動が可視光の反射・吸収特性として計測可能である点に基づいてコンクリート表層の吸水現象を評価する手法、となる。本手法では、散水前の表面色を初期値として計測した後、同一箇所です散水と測色を繰り返して行う。本手法は少量の水分の付与以外にコンクリートに及ぼす影響はほとんどないため、同一箇所での繰返しが可能である。繰返して情報量が増加できる点は本手法の大きな特長のひとつである。

本手法では、測定面の方向によって水の挙動が異なる。現段階では水平面の上面および鉛直面の2パターンで適用性を確認している。水平面の上面では、付与した水のほぼ全量が下方のコンクリート内部へと吸収されるのに対して、鉛直面では、付与した水が側方のコンクリート内部へ吸収されるのと同時に、付与直後に吸収されない余剰な水が表面を流下する。そのため、図2に示したように鉛直面では散水後の水の流下現象も同時に観測し、水の流下状況と表層品質の関連性についても検討を加えた。水平面の下面や傾斜面への適用性については検討中であるが、評価基準となる数値の相違などの留意点はあるものの、基本的には同様の方法が適用できる。

本手法で用いる散水器具は一般的な手動式のスプレー

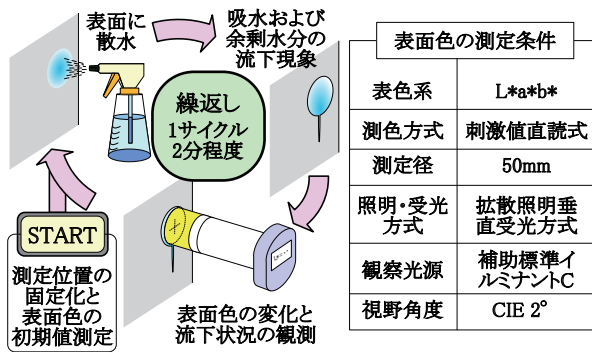


図2 散水試験の概要

で、散水方法によって結果が大きく異なることが予想された。そこで、実験では測定者を同一とし、散水の量と面積を専用の器具で調整して安定化させた。また、散水と測色の中心位置は位置決め用の器具で一致させた。本研究では純水製造装置で不純物を除去した純水を常温で使用し、水質や水温の影響については考慮していない。

3.3 コンクリート表面色の測定方法

本研究での測色条件は図2中で示したとおりである。コンクリートの表面色は広義に表現すると「灰色」であるが、色を数値で表現する表色系を規定し、測色機器を用いることで、色彩値として定量化できる。本研究では、多くの分野で一般的なL*a*b*表色系⁶⁾を用いた。L*a*b*表色系では、色の三属性のうち明度をL*で表し、残る二属性の色相と彩度がa*、b*の組合せで表記される。なお、本報告書では表面色の明るさの度合いを広義に示す場合を「明度」とし、明度の測定値は「明度L*」と表記した。

本研究で使用した測色機器は現場への携帯が可能で小型・軽量の機種で、測定に要する人員は1人である。測定時の光源は機器に内蔵され、機器はバッテリーで駆動するため、測定時に外部電源を必要としない。なお、本研究で使用した機種は市販品の中で最大の測定径50mmを有し、最短3秒間隔での自動計測機能を備えている。

4. 散水によるコンクリート表面色の変化特性

4.1 コンクリート表面色の特徴

散水試験ではコンクリートの表面色を数値化した情報が取得できるため、得られた数値そのものを各種評価に活用できる可能性が考えられる。対象はコンクリートではないが、色彩値による品質管理は製造分野などで活用されている。そこで、本研究の第一段階として各種コンクリートの表面色を測定し、特徴を整理した^{7) 8)}。

測定の対象は、供用中の各種土木構造物の柱や壁（橋脚、橋台、ボックスカルバート、計6構造物で117箇所）、各種試験体（コンクリート44体、モルタル12体、1000箇所以上）を対象として乾燥時および湿潤時の表

面色を計測した。乾燥時の測定環境は、実構造物では降雨や漏水などのない平常時の屋外、試験体では気温20℃、相対湿度60%の試験室内における気中乾燥状態とした。湿潤時とは、乾燥時の測定箇所と同一箇所でも多量に散水し、目視でコンクリート表面が濡れ面と感じられる程度に湿らせた状態とした。研磨などの表面処理は行わず、乾燥時と湿潤時の測定位置は位置決め用の器具で一致させた。測定結果の概要は以下のとおりである。

- (1) 明度L*はa*とb*に比べて測定値の分布の幅が広い。
- (2) 湿潤による変化は主に明度L*の低下として現れる。
- (3) コンクリート表面色の特徴は主に明度L*に現れる。
- (4) 試験体より実構造物でb*の測定値と標準偏差が大きい傾向にあるが、色彩値の全体の傾向については試験体と実構造物で大きな差異は認められない。

以上のことから、散水による表面色の変化特性は明度L*に代表されるものと判断し、以降の検討では明度変化特性のみに着目することとした。一方、既往の研究でも指摘されているように、明度L*は湿潤状態のほか各種の影響を受けるため、諸元の不明なコンクリートの測定値を絶対的な数値として評価するのは困難である。そのため、本研究の基本的な方向性として、明度L*の絶対的な数値による表層品質の非破壊評価を目指すのではなく、散水で意図的に湿潤状態を変化させた際の明度L*の変化特性から表層品質との関連性を見出すこととした。

4.2 実構造物を対象とした試行および各種試験体による基礎的検討

本研究では、室内試験による精緻な検証に先立って実構造物を対象とした散水試験の試行的な検討を行い、早い段階で散水試験の妥当性を検証した⁹⁾。その結果、表層品質の非破壊評価に対する散水試験の有効性が見出されたため、続いて、配合・養生条件で表層品質を変えた小型のモルタル試験体およびコンクリート試験体を対象とした室内試験（気温20℃、相対湿度60%）により基礎的検討を行った^{7) 8) 9)}。また、図3に示す、屋外環境下で施工、曝露された実物規模のRC高架橋を模した試験体¹⁰⁾により、実構造物での検査を想定した状況下における適用性を検討した^{11) 12) 13)}。各実験で得られた知見の概要を以下に整理する。

明度の基本特性に関する知見は次のとおりである。

- (1) 散水によって乾燥状態から湿潤状態へ強制的に移行させた際の明度L*の変化特性は、養生の差異などで生じた表層品質の差を反映する可能性がある。
- (2) 散水によって表面に付与した水分の吸水による消失は、明度の経時変化として定量化できる。すなわち、明度が散水によって急激に低下し、時間の経過とともに散水前の初期値へと徐々に復元していく様子が測色機器によって評価できる（図4）。



図3 RC高架橋試験体¹⁰⁾の外観

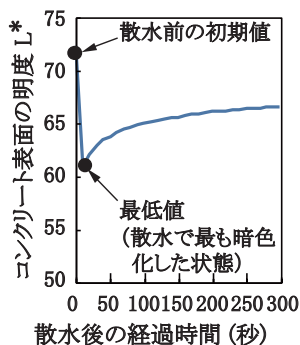


図4 散水による明度変化⁸⁾

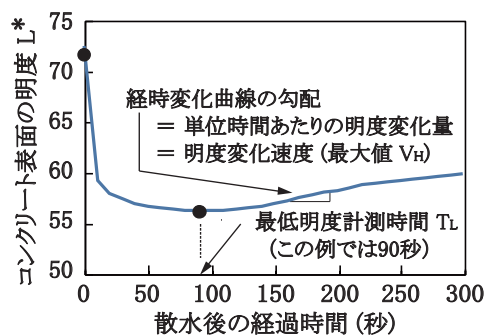


図5 明度変化の代表的指標⁸⁾

(3) 直径 70mm 程度の円内に約 0.8ml の散水を行った場合、明度 L^* の特徴的な経時変化は散水直後の数秒から数分の間で現れる。明度変化の特徴を代表する指標として、明度 L^* の変化勾配、明度 L^* の最低値が計測されるまでの経過時間がある (図 5)。

次に、散水方法に関する知見は次のとおりである。

- (1) 散水量が過剰な場合、水の移動できる領域が飽和して余剰な水は滞留するため、表層の水分移動が鈍化する。その結果、明度の変化勾配が小さくなり、表層品質の差が判別され難くなる。
- (2) 鉛直面では、散水量が多いほど水分の流下による損失が大きく、明度変化特性にも大きく影響する。
- (3) 上記 (1)、(2) の知見から散水量は可能な限り少量とするのが良いが、吸水抵抗性の低いコンクリートでは散水による明度の低下と復元が短時間で起こるため、測定上、正確に捕捉できないことがある。

散水方法に関する以上の知見により、散水量は少量とし、散水と測色を所定の時間間隔と回数で繰り返して実施し、その都度の明度変化特性を評価することとした。室内試験による検証の結果、散水量は約 0.3ml に減量し、散水領域を直径約 60mm の円形とし、散水の繰返し時間間隔は 120 秒で最大 10 回繰返すこととした。

次に、図 3 に示した、屋外環境下で施工・曝露された実物規模の RC 高架橋試験体¹⁰⁾ の柱を対象とした実験により得られた知見は次のとおりである^{11) 12) 13)}。

- (1) 散水量を減量した上で同一箇所での繰返しを行う方法は実環境を想定した状況でも有効である。繰返しによって散水時の明度変化特性に関する情報が細分化されることで情報量が増加し、表層品質の評価の確度が向上する (図 6)。
- (2) 散水試験の評価指標としては明度の変化勾配が有効であり、繰返し回数との関係を整理することでコンクリートの表層品質の差が評価可能となる。明度の変化勾配と散水繰返し回数との関係に基づいて表層品質の優劣が判別できる。
- (3) 鉛直面における余剰水分の流下現象について、散水領域からの水の流下距離は、極端に品質の異なるコ

ンクリートであれば表層品質の優劣を判別できる可能性が示唆された。

- (4) 初期養生の程度が品質に与える影響が大きいと考えられる高炉セメントが使用されたコンクリートでは、普通ポルトランドセメントで同程度の強度レベルのコンクリートと比べて散水時の明度変化が速い傾向にある。

なお、上記 (3) に挙げた鉛直面での水の流下距離は、測定に特殊な機器を必要とせず、散水試験で最も容易に得られる測定値となる。著しく品質の劣るコンクリートの簡易判定など用途は絞込まれるが、水の流下距離は散水試験による表層品質評価の有効な評価指標となる可能性も見出されている。しかし、流下現象の観測には少なくとも測定面が傾斜している必要があり、実験による検討には相応の高さを有するコンクリートが必要なため本研究では十分に検証していない。現時点では評価指標としての信頼性に欠けるため、流下現象を活用した簡易評価の可能性については今後の検討課題としている。

5. 実構造物の検査を想定した散水時の明度変化の簡易な測定手順および評価指標の検討

散水試験の開発目的は簡便性に主眼があり、手法の普及や測定データ蓄積の容易さを視野に入れると、評価指標の取得は可能な限り簡易化する必要がある。そこで、現象把握の正確性を期すことを目的とする、明度の詳細な経時変化の計測を伴う測定手順ではなく、より簡略化した手順の構築を検討した。具体的には、RC 高架橋試験体⁹⁾ の柱を対象とした実験結果を用い、明度の詳細な経時変化データから所定の経過時間における測定値を抽出することで測定データ量の削減を試みるとともに、適した評価指標を検討した^{12) 13)}。

散水試験の明度測定は、散水前の初期値 L_1 を測定した後、散水の 10 秒後から測定を開始し、次の散水の直前まで可能な限り測定する方法としていた。検討の結果、散水 10 秒後の明度 L_5 と次の散水直前の明度 L_E の 2 点にまで単純化した測定データ (図 7) により、評価が可能であることが確認された。散水 1 回あたりのデータ数

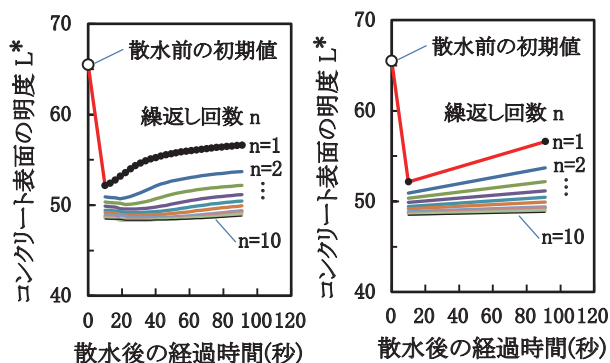


図6 明度変化の測定例¹³⁾ 図7 測定データの減量
(同一箇所を繰返し) 化¹³⁾(データ数2点)

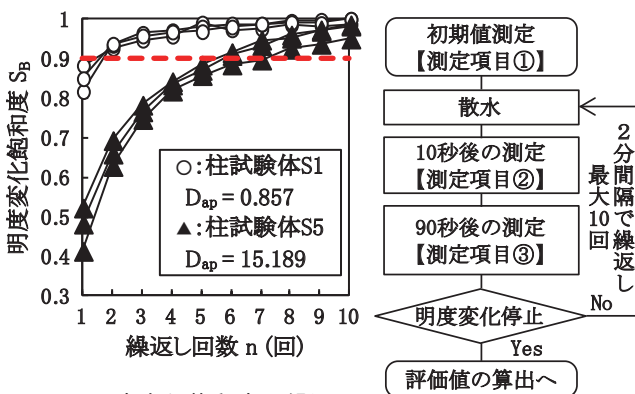


図8 明度変化飽和度と繰返し
回数の関係¹³⁾ 図9 散水試験の手順¹³⁾

を2点に単純化した場合、明度 L^* の変化量は明度 L^* の変化勾配と同種の情報を含むことになる。次に、評価指標として、任意の経過時間の明度で算出可能な明度変化飽和度 S_B を考案した。これは、明度 L^* の初期値を基準 ($S_B = 0$) にとり、散水の繰返しにより到達した明度 L^* の最低値を完全に飽和した状態 ($S_B = 1$) と見なした際の、任意の時点における明度の変化量を比率で表したものである。ここでは次回の散水直前である L_E に関する S_B を算出した。図8に、 L_E について算出した S_B と繰返し回数 n の関係を示す。図中に示した D_{ap} とは、柱から採取したコンクリートコア試験体の見掛けの塩化物イオン拡散係数である。同図より、 S_B の数値の大小および繰返し回数との関係性で表層品質の優劣を判別できる。すなわち、塩化物イオン拡散係数 D_{ap} が小さい高品質なコンクリート (S1) では S_B が散水1回目の段階で0.8以上の大きな値を示し、散水2回目には0.9を超えるのに対して、低品質なコンクリート (S5) では S_B が低く、0.9を超えるのは散水6回目以降である。

以上の結果から、散水試験では、明度 L^* の測定項目は、散水前の初期値 L_i 、散水直後の明度 L_s および次の散水直前の明度 L_e の3項目とし、 L_e に関する明度変化飽和度 S_B を算出して繰返し回数 n との関係性に基づいて簡易に評価できることが判明した。なお、 L_s の値は散水試験の繰返しを10回未満で終了する際の明度変化停止の判断に必要となる。散水試験で詳細な経時変化を計測する場合は測色機器の固定など相応の手段や配慮が必要であったが、明度の測定項目の絞り込みにより手順が簡略化され、測定作業は大幅に簡易化された。

6. 散水試験による表層品質の非破壊検査の提案

6.1 散水試験による表層品質の非破壊検査方法

これまでの検討結果を踏まえ、実構造物の検査への活用を想定して散水試験の具体的な測定手順を定めた。図9および表1に、散水試験の手順と、測定条件および測

表1 測定条件および測定項目

1回の散水量	0.3ml
散水領域	直径60mm円形
表色系(推奨)	$L^*a^*b^*$ 表色系
測色開始時間	散水10秒後
測色終了時間	散水90秒後
散水時間間隔	120秒
繰返し回数 n	最大10回
測定面の凹凸	鍍仕上げ程度の平面性
測定面の乾湿	濡れ面は不可
測定面の前処理	ウェスでの拭取り
測定面の方向	鉛直面、水平面の上面
測定項目(3項目)	・散水前の明度初期値 L_i ・散水10秒後の明度 L_s ・散水90秒後の明度 L_e

定項目を示す。水の流下現象の活用については前述のとおり検討が不十分と判断し、ここでは明記していない。

検査時の測定では、まず明度 L^* の初期値 L_i を測定する。次に散水の都度、10秒後に L_s を、90秒後に L_e をそれぞれ最大10回まで繰り返して測定する。1回前の散水時の測定値との比較により、明度変化停止を判断する。明度変化が停止した段階、あるいは繰返し回数が10回に到達した段階で測定は終了となる。明度 L^* の全体の最低値に基づいて散水各回の L_e に関する明度変化飽和度 S_B を評価値として算出する。以上のような測定値の記録から評価値算出までの作業は、紙と電卓程度の準備で対処できる。

次に、図8に示した測定例のように、 S_B の閾値を例えば0.90とし、閾値を超過するまでの繰返し回数 n の大小によって表層品質を判定する。図8の測定データは、実際の検査を想定した屋外環境下で複数の時季に行った実験結果を集約したデータであるが、天候、温度および湿度の大きく異なる測定環境によらず、高品質の柱では n が2回となり、低品質の柱では n が6~8回となった。 S_B の閾値の妥当性については検証データの蓄積が不十分であり、ここで用いた閾値0.90は参考値とする。しかし、低品質のコンクリートでは所定の S_B の値に到達するための繰返し回数 n が大きくなることは確実に考えられる。

特集：材料技術

散水試験における繰返し回数 n の値は、土質の分野で一般的な標準貫入試験の N 値と同じく単純な回数であり、数値の算出や現象の理解が比較的容易となっている。

6.2 散水試験の特徴

散水試験の最大の特長である手法の簡便さは作業の規模および作業時間として明確に現すことができる。散水試験の主な測定機材は、散水器具（スプレーおよび治具）とハンディタイプの測色機器の2種類だけとなる。作業人員は1名で問題なく、測定箇所の選定が完了してからの作業時間は準備に5分程度、測定に最大20分程度である。散水試験はこのように軽微な作業で完了できるため、測定時の機動性にも優れている。装置コストは約80万円で、現状でも他手法と比較して優位性のあるレベルである。コストの約90%は測色機器の市販価格が占める。将来的には水の流下を活用した測色機器を用いない方式への進化が視野に入っており、装置コストは飛躍的に低減できる可能性がある。

散水試験を含む、表層品質の評価を対象とする全手法で共通の課題となる、コンクリート内部の含水状態の影響については、今後の研究の進展による新たな知見が期待できる。散水試験では少量の水分を繰り返して付与し、内部含水状態を意図的に変化させながら測定を行うという独自の方式が採れるため、含水状態だけでなく各種劣化現象などと密接な関係のある水分の移動機構に対する現象解明の糸口となる可能性を秘めている。

なお、鉛直面で観測される水の流下現象について、さらなる簡易評価への活用を目的とした検討を進めている。

7. まとめ

本研究では、コンクリート表層部における内部への物質透過性を「表層品質」と定義し、表層品質に関する簡易な非破壊検査手法の確立を目的とした実験的検討を行った。得られた成果の概要は以下のとおりである。

- (1) 簡便性に優れた非破壊評価手法として、コンクリート表面における散水時の明度変化特性に基づいて表層品質を評価する「散水試験」を考案した。
- (2) 散水試験を各種品質のコンクリート試験体および実構造物に適用し、水平面の上面および鉛直面における測定手順を定めるとともに、散水後の明度変化勾配に着目した表層品質の簡易な評価指標を提案した。
- (3) 散水試験では、1回の散水量を0.3ml程度の少量とし、2分程度の時間間隔で同一箇所の測定を複数回繰返すことにより、評価指標の確度が向上する。
- (4) 鉛直面における散水試験で見られる余剰水の流下現象は、表層品質のさらなる簡易評価に活用できる可能性があり、今後の研究の進展が期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたっては、東京大学生産技術研究所の岸利治教授からご助言を賜るとともに、RC高架橋試験体を実験に活用させていただくなど多大な協力を頂いた。ここに付記して深甚の謝意を表します。

文献

- 1) 公益社団法人土木学会：構造物表層のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会（JSCE335委員会）第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集，土木学会コンクリート技術シリーズ，No.97, 2012.7
- 2) R. J. Torrent : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, *Materials and Structures*, Vol.25, No.150, pp.358-365, July 1992.
- 3) 蔵重勲，西田孝弘，秋山仁志，岸利治：中規模柱試験体を対象とした非破壊評価による表層品質の要因分析，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1835-1840, 2011
- 4) 氏家勲，岡崎慎一郎，中村翼：コンクリート構造物における現場透気試験方法の改善に関する検討，セメント・コンクリート論文集，Vol.63, pp.189-195, 2009
- 5) 林和彦，細田暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011
- 6) JIS Z 8729 色の表示方法－ $L^*a^*b^*$ 表色系および $L^*u^*v^*$ 表色系
- 7) 西尾壮平，上田洋，岸利治：表面色によるコンクリート表層部の物質移動抵抗性の非破壊評価に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1751-1756, 2011
- 8) 西尾壮平，上田洋，岸利治：表面色によるコンクリート表層部の物質移動抵抗性評価，コンクリート構造物の非破壊検査論文集，Vol.4, pp.189-196, 2012
- 9) 西尾壮平，上田洋，岸利治：散水時の明度変化によるコンクリート表層品質の非破壊評価に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.1732-1737, 2012
- 10) 家辺麻里子，岸利治，西尾壮平，上田洋：水の流下試験によるコンクリート構造物の表層品質評価に関する研究，第66回セメント技術大会講演要旨，pp.94-95, 2012
- 11) 西尾壮平，上田洋，岸利治：コンクリート表面における散水時の明度変化特性および水の流下特性による表層品質の非破壊評価，セメント・コンクリート論文集，No.66, pp.303-310, 2013
- 12) 西尾壮平，上田洋，岸利治：コンクリート表面への散水時の明度変化に着目した表層品質の簡易評価手法の検討，第56回日本学術会議材料工学連合講演会講演論文集，pp.11-12, 2012
- 13) 西尾壮平，上田洋，岸利治：コンクリート表面における散水時の明度変化の飽和度による表層品質の簡易検査，土木学会第68回年次学術講演会講演概要集，V-372, pp.743-744, 2013