

コンクリート表層部の物質透過性に関する非破壊評価技術

材料技術研究部 コンクリート材料研究室

副主任研究員 西尾 壮平

1. はじめに

土木・建築分野では、主にコンクリート表層部の物質透過性を指し示す「表層品質」というキーワードが一般化しつつある。「表層品質」が鉄筋コンクリート(RC)構造物の耐久性に大きく影響することはよく知られているが、実構造物の表層品質を非破壊で評価する技術は確立されていないため、近年、研究開発が活発化している。例えば、2014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」をキーワードに指定した講演が13件見られるほか、物質透過性(透気性、透水・吸水性)に関連した講演を含めると30件以上となっている。本発表では、コンクリートの表層品質に関する非破壊評価技術の現状を概説するとともに、鉄道総研が開発した表層品質の簡易評価手法である「散水試験¹⁾」の概要を紹介する。

2. コンクリート表層品質の非破壊評価の現状

実構造物の表層品質に関する非破壊評価技術には、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、表面吸水試験が国内外で考案されている²⁾。図1、図2に、試験手法の概略を示す。表層透気試験では、コンクリート表面から空気圧の変化を発生させて、圧力の変化速度などから透気性が評価される。表面吸水試験は、名称が示すとおり、コンクリート表面から水を吸水させて透水・吸水性を評価する手法である。これらの手法を実構造物に適用した事例は複数報告されており、実構造物の検査の実務に導入することが可能である。しかし、市販の試験装置では、吸引や吸水器具の固定に外部電源を利用するため、電源設備や作業スペースの確保などの事前準備が必要となる。そのため、これらの手法は、測定箇所を絞り込んだ後の詳細調査、精緻な比較・検証といった場面での利用に適していると思われる。

一方、主にコンクリートの強度推定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

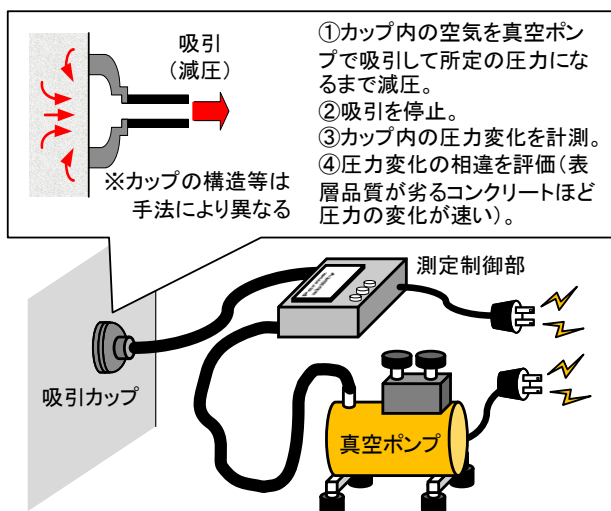


図1 表層透気試験の概略

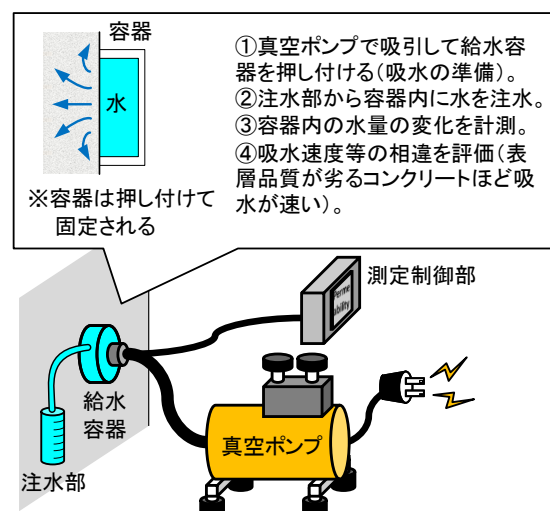


図2 表面吸水試験の概略

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²⁾。コンクリート表面に衝撃弾性波や超音波を作用させた際の種々の測定値から圧縮強度を推定する試験装置が市販されており、それを表層品質の推定に用いるものである。これらの手法は実構造物への適用が比較的容易なため、強度推定目的での実績は相応にあるものと推測される。しかし、測定の実施や測定結果の解釈に専門性を要するため、調査は専門業者に依頼する場合がほとんどと思われる。また、測定原理が主に弾性体としてのコンクリートの物性に立脚した技術であるため、表層品質の評価への適用性については検討の余地があり、さらなるデータの蓄積が期待される。

鉄道総研では、表層品質の非破壊評価に関する以上のような現状を踏まえた上で、構造物検査の現場への適用性を最重視し、「簡便性に優れた手法の構築」を目標とした研究開発に2010年度より着手した。開発の基本コンセプトとして、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（測定機材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手法で満足するには、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、といった課題が想定されたため、独自の手法の開発を目指すこととし、次章で紹介する「散水試験」を考案した。なお、同様に簡便性に主眼を置いた新技術として、近年、岸らによって提案された流水試験³⁾がある。流水試験とは、コンクリート表面に少量の水を流下させた際の水の流下距離から表層品質を評価する手法で、表層透気試験などと同程度の精度で表層品質を評価できる可能性が示唆されており、さらなる研究開発の進展が期待されている。

3. 表層品質の簡易評価手法「散水試験(WIST)」の概要

コンクリートは多孔質な材料であり、スポンジと同様に無数の空隙を有している。そのため、水をかけると吸水することができる。吸水できない量の水をかけると、コンクリートの表面で水が溢れて流れ出すことになるが、吸水しやすいコンクリートほど水は溢れず流れ出しにくい。また、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は水で濡れると暗くなり、やがて元の色に戻っていく。水で濡れた後の色の戻り方は、吸水しやすいコンクリートほど速くなる。このような、「意図的に水をかけた際の相違」に着目し、「表層品質の非破壊評価に活用できる情報を取得する」技術として完成させたのが、「散水試験(Water Intentionally Spraying Test, WIST)」である。以下、この手法をWIST(ウイスト)と表記する。

図3に、WISTの概要を示す。WISTを工学的に表現すると、表面における水の消失や流れ出しの挙動を目視で、あるいは可視光の反射・吸収特性として計測機器で識別し、コンクリート表層の吸水現象を評価する手法、となる。WISTでは、少量の散水をコンクリート表面の同一箇所を繰り返しつつ、水の状態を繰り返し観察あるいは計測する。少量の水分を付与する以外にコンクリートへの影響はないため、同一箇所での繰り返しが可能であり、繰り返して情報量が増加できる。これらはWISTの大きな特長のひとつである。

WISTでは、散水後の水の状態を「観察する」A法と「計測する」B法の2種類がある。A法では、測定者は目視で散水後の水が流れ出したかどうかを観察する。散水後に水が流れ出した時点で測定は終了となり、それまでの散水回数で評価を行う。B法では、測定者はハンディタイプの計測機器で散水後のコンクリート表面の色などを計測する。散水後の色などの変化が飽和するまでの散水回数で評価を行う。A法とB法のいずれも、吸水しない緻密なコンクリートでは散水

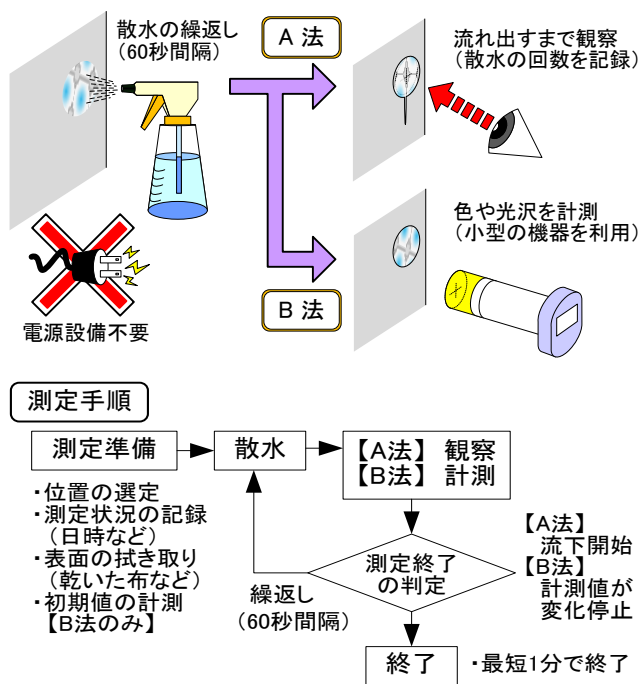


図3 散水試験(WIST)の概要

表1 A法とB法の特徴

項目	A 法	B 法
利点	散水だけで済む (簡便性)	吸水性状に関する詳細把握
作業性	同時に5箇所	同時に2箇所
作業人員	1名 (準備, 測定, 記録)	
外部電源	不要	不要 (電池駆動)
使用機材	スプレー、タイマー、筆記具	左記+計測機器
測定面の方向	鉛直面に適している	全方向の平面に対応可能
測定条件	1回の散水量: 0.3ml 散水領域: 直径60mmの円内 繰返し時間間隔: 60秒 測定面の凹凸: こて仕上げ程度 測定面の乾湿: 濡れ面は不可 測定環境: 冬季は水の凍結に配慮	
用途	一次診断、簡易調査、調査箇所選定	二次診断、詳細調査

回数が少なくなることを実験で確認している。表1に、A法とB法の特徴を整理した。A法とB法のいずれも電源設備は不要で、作業は1名で可能、かつ、使用機材は手荷物として携行可能なレベルである。散水器具は一般的な手動式のスプレーで、散水の量と面積を専用の器具で調整して安定化させている。測定面の方向で水の流れ出し方などが異なることを考慮する必要があり、現段階ではWISTを水平面の上面と鉛直面の2パターンで適用している。

4. 表層品質の調査事例

RC高架橋を模擬した実物規模の柱状の試験体³⁾(以下、柱試験体とする)にWISTおよび表層透気試験のトレント法を適用し、表層品質を調査した。図4に、柱試験体の外観を示す。柱試験体は東京大学生産技術研究所の岸研究室主導の下に作製されたもので、総数20本の柱試験体はコンクリートに品質差を設定するため、配合と養生方法を変えた10本ずつが夏季と冬季の2回の時季に施工された。ここでは、各種調査データが揃っている夏季に施工された4本を対象とした調査結果を示す。表2、表3に、柱試験体と調査の概要を示す。調査項目は、WISTおよびトレント法による非破壊での調査のほか、コンクリートの物質透過性に関する特性値として、柱試験体から採取したコンクリート試験体を用いて塩化物イオンの拡散係数と中性化速度係数³⁾を調査した。調査はいずれも直射日光や雨がかりの影響の少ない高架橋の内面側を対象とした。

図5に、調査結果を示す。物質透過に対する抵抗性の低いコンクリート(中性化・塩化物の各係数が大きい)ほど、WIST B法による散水回数ならびにトレント法による透気係数 kT が大きくなった。WIST A法では、ほとんどの柱試験体において散水回数1回で水が流下したが、物質透過に対する抵抗性が最も低い試験体S5では散水回数が平均3回程度となっ



図4 柱試験体³⁾の外観

表 2 柱試験体の概要

番号	呼び強度	養生条件	脱型材齢	試験体の設定
S1	60	早期脱型	1日	高強度配合
S3	24	早期脱型	1日	養生不足
S4	24	標準養生	5日	標準
S5	24*1	標準養生	5日	材料不具合*1

*1：打設直前に約 20kg/m³加水

表 3 調査の概要

調査項目	方法	試験条件など
表層品質の非破壊評価	トレント法	測定点数 3, 平均値
	WIST A 法	測定点数 4, 平均値
	WIST B 法	測定点数 1, 既報 ¹⁾
中性化速度係数	JIS A 1152	測定材齢 15 箇月, 測定点数 8, 平均値, 既報 ³⁾
見掛けの塩化物イオン拡散係数	JSCE G 572	浸漬開始材齢 15 箇月, 浸漬期間 32 週, 測定点数 1

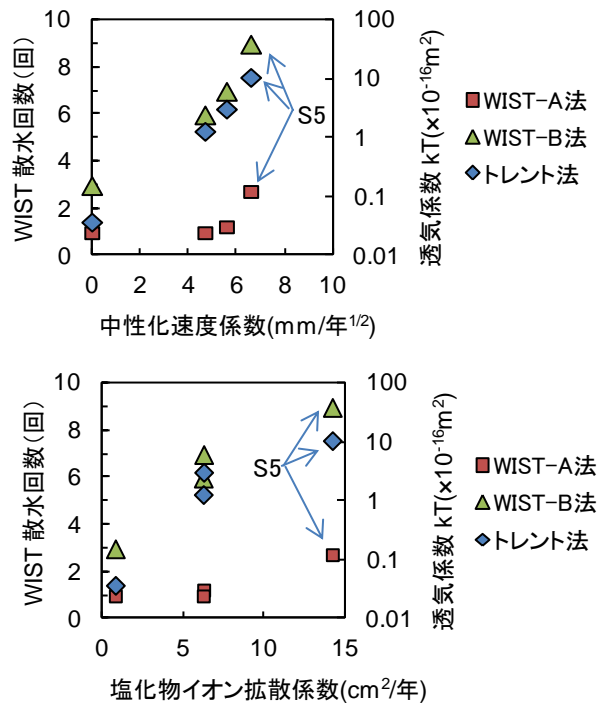


図 5 非破壊調査結果と物質透過性の関係

た。つまり、最も作業が簡易な WIST A 法を一次診断的に活用することで、耐久性上の問題が生じる可能性のあるコンクリートを容易に選別できる可能性が見出された。さらに、WIST B 法も必要に応じて併用することで、簡易な作業で表層品質の差異を細かく判別できる可能性がある。

5. おわりに

コンクリート表層部の物質透過性を非破壊で評価する各種の技術を紹介した。各技術は異なる特長があり、例えば鉄道総研が開発した「散水試験(WIST)」では、「大がかりな測定機材がなく、外部電源が不要で、特殊な専門知識も必要としない、非常に簡便な技術である」という特長がある。各種の技術は、表層品質に関する簡易な一次調査用、詳細な二次調査用など、目的に応じて使い分けることで、その特長がより活きるものとなる。出来上がったコンクリートに対して、表層品質を実際に評価する、という行為が一般化することで、コンクリート構造物における表層品質の重要性が再認識され、構造物の耐久性向上に繋がることを期待している。

なお、本研究の遂行にあたって、東京大学生産技術研究所の岸利治教授には柱試験体の活用を快諾いただいたほか、貴重な調査データなども提供いただいた。ここに付記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 西尾壮平, 上田洋: コンクリート表層品質の簡易な非破壊評価手法の開発, 鉄道総研報告 2014 年 2 月号, pp.5-10, 2014.2
- 2) 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
- 3) 家辺麻里子, 秋山仁志, 岸利治: 水の流下試験によるコンクリート表層の品質評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.670-675, 2012