

実構造物および室内供試体を対象に非破壊評価したコンクリートの反発度と表層透気性の関係

(財)電力中央研究所 正会員 ○蔵重 勲
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 松田 芳範
 東京大学生産技術研究所 正会員 岸 利治

1. はじめに

コンクリート標準示方書設計編に従って、要求される耐久性を満足するように設定されたコンクリートの品質は、主に W/C といった代表パラメータによって配合設計上担保され、施工においてはフレッシュコンクリートや施工に係わる十分な管理・検査を伴って達成されるのが一般的である。しかし、配合通りのコンクリートを用いても、現場技術者の力量や判断に頼るところが大きい施工管理・検査の如何によっては、打込み、養生等の施工品質が低下し、それに敏感に反応するコンクリートの表層品質が損なわれてしまう可能性がある。実際その様な事例が少なくないことは、近年このテーマに関する研究が活発なことから推察される¹⁾。この問題を打開する一つの方法論として、非破壊試験技術の開発・高度化により竣工検査体制を整え、施工後の品質確認をもって耐久性を検証する体系へのシフトが挙げられる。本稿では、竣工検査における耐久性検証システムの確立に向け、各種非破壊試験技術の適用性を評価することを目的とした。コンクリート構造物の強度評価として適用実績が豊富なテストハンマー試験、ならびに物質移動抵抗性の非破壊評価方法として期待され、主に欧州で検討されている Torrent 法表層透気試験²⁾に着目し、実構造物を対象に測定した結果を比較した。また、配合、脱型時期などを変化させた室内供試体に対しても適用し、測定結果の相互関係の分析を以って、品質検査としての有用性を確かめた。

2. 非破壊試験による実構造物の表層品質調査

表 1 に示すように 4~93 年といった幅広い経年数からなる計 17 種類の実構造物を対象に、テストハンマー試験および Torrent 法表層透気試験を適用し、表層品質の非破壊評価を試みた。Torrent らが提案する表層透気性評価では 5 段階のグレードに区分され、透気現象に及ぼすコンクリート中の水分の影響を加味するため、Wenner 法によって測定される電気抵抗率によって評価グレードを補正する考え方が組み込まれている³⁾。本研究では、Torrent らによって提示された表層透気係数と電気抵抗率の関係式³⁾に基づき、図 1 に示すように測定された表層透気係数を、電気抵抗率にしたがって補正した。

図 2 は、実構造物を対象に測定した表層透気係数と電気抵抗率の関係である。なお、同一プロットが複数あるものは、同部材において異なる箇所を測定した結果である。表層透気係数は、 $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ オーダーから $100 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 近くの値を示すものまで幅広く分布した。構造物種類で傾向を整理すると、比較的高い強度が要求される PC 桁の表層透気係数は低い値を示し、対照的にそれほど強度が必要とされない RC 橋脚やマスコンクリートでは高く、ばらつきも大きいことが認められた。また、高湿度環境に置かれるカルバートは PC 桁に近い値を示し、護岸コンクリートの表層透気係数は RC 橋脚群よりも低い結果が得られた。一方、電気抵抗率は、調査前の天候に恵まれたため概ね $10 \text{k}\Omega\text{cm}$ 以上であり、表層透気係数の大きな補正が必要になるものは少なかった。

図 3 は、テストハンマー試験で得られた基準反発度を、電気抵抗率によって補正した表層透気係数と比較した結果である。概観すれば、基準反発度の高いものほど透気係数が低くなる傾向が認められるが、必ずしも一対一の関係にはないことが明らかとなった。これは、コンクリート表層の物質移動抵抗性に及ぼす配合や施工品質の影響が、強度特性への影響と等価でないことを示唆するものと捉えられる。

表 1 調査構造物の一覧

種類	構造物略号	経年*	プロット
PC 桁	桁 A	57	+
	桁 B	55	+
	桁 C	54	○
	桁 D	4	+
RC 橋脚**	橋脚 A	69	○
	橋脚 B ₁	66	△
	橋脚 B ₂		□
	橋脚 C ₁	56	○
	橋脚 C ₂		△
	橋脚 D ₁	43	○
	橋脚 D ₂		△
	橋脚 E	37	×
	橋脚 F ₁	33	△
	橋脚 F ₂		□
橋脚 F ₃	×		
橋脚 G	13	□	
トンネル覆工	覆工 A	93	×
	覆工 B	74	□
カルバート	カルバート A	68	△
	カルバート B	45	○
護岸	護岸 B	9	□
マスコンクリート***	マスコン n	25	○
	マスコン e		△
	マスコン s		□
	マスコン w		×

* 経年数は調査時の値
 ** 同アルファベットは同一構造物を表し、添数字は異なる橋脚であることを示す
 *** 略号の英小文字は調査面の指す方向を表す

キーワード: 耐久性, 表層品質, 品質検査, 非破壊試験, 反発度, 表層透気性
 連絡先: 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター Tel (04)7182-1181

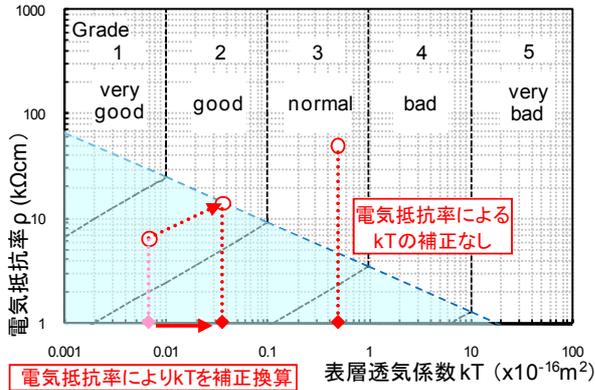


図1 表層透気性の評価区分と本研究における補正方法

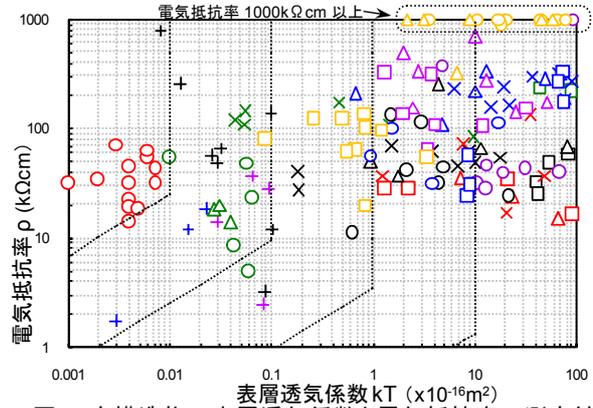


図2 実構造物の表層透気係数と電気抵抗率の測定結果

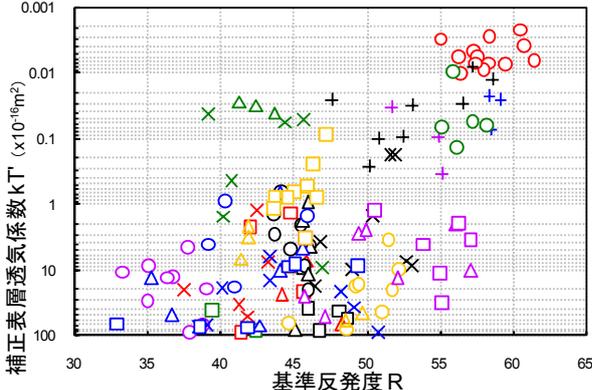


図3 実構造物の基準反発度と表層透気係数の関係

3. 室内供試体を対象とした表層品質の非破壊評価実験

セメント種類や W/C 等が異なる供試体を作製し(表 2), テストハンマー試験および Torrent 法表層透気試験により, 表層品質を非破壊評価した。なお, N5, N5g, N3g, N6, H6 供試体は材齢 5 日で, B5, F5 供試体は材齢 7 日で脱型し, 20°C60%RH 雰囲気中に定置した。また, H6 供試体については, 材齢 1 日で脱型した H6d 供試体, 材齢 5 日に脱型後, 28 日まで水中養生したもの, および促進中性化(20°C60%RH-CO₂5%)させた, それぞれ H6w, H6c 供試体も用意した。

図 4 に表層透気係数と電気抵抗率の測定結果を, 図 5 に基準反発度と補正表層透気係数の関係をそれぞれ示す。配合や養生条件に応じて表層透気係数や基準反発度の関係に相違が認められた。特に, 養生期間が不足した場合には表層透気性が悪化し易く, 中性化が進行した供試体では基準反発度がより顕著に増大した。また, 電気抵抗率に基づき補正した表層透気係数は, 材齢経過に伴う緻密化によって低下が期待されるにもかかわらず, 本実験範囲内において上昇する結果となった。これは, 若材齢への Torrent らの関係式の適用に課題が残されていることを示唆するものであり, 含水の影響評価方法の改良が今後望まれる。以上, 表層透気試験および反発度試験の両非破壊試験方法がそれぞれ物質移動抵抗性, 強度特性の独立評価に資するものであり, 検査に取り入れることでより合理的に品質判定できる可能性が示された。

参考文献: 1) 構造物表面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成果報告書, 土木学会コンクリート技術シリーズ 80, 2008., 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.6, pp.358-365, 1992., 3) R.J. Torrent and G. Frenzer, "A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the covercrete", Proceedings of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), pp.985-992, 1995.

謝辞: 本研究における実構造物の調査は, 土木学会 335 および 216 委員会の活動を通じて実施したものです。両委員会での情報交換, 議論で得られました知見, 頂きましたご助言は, 本研究を推進する上で非常に有益でした。委員各位に深く感謝申し上げます。さらに, 貴重な調査機会をご提供下さった管理者や関係者の皆様には, 多大なご尽力を賜りました。ここに記しまして, 深甚の謝意を表します。

表 2 室内供試体(コンクリート)の配合一覧

略号	セメント種類	W/C(%)	W(kg/m ³)	s/a(%)	Sl.(cm)	Air(%)
N5	普通ポルトランドセメント	50	165	48	12.0	7.4
B5	高炉セメント B 種				14.0	4.7
F5	フライアッシュセメント C 種				16.5	4.9
N5g	普通ポルトランドセメント	36	162	30	10.5	4.9
N3g	普通ポルトランドセメント				10.0	4.7
N6	普通ポルトランドセメント	60	175	48	12.5	6.5
H6	早強ポルトランドセメント		167	44	8.0	5.8

N3g は高性能 AE 減水剤および AE 剤により, その他は AE 減水剤および AE 剤によりフレッシュ性状を調整した

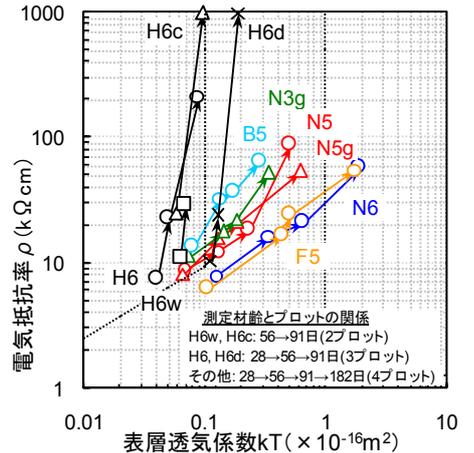


図4 各種供試体の表層透気係数と電気抵抗率の関係

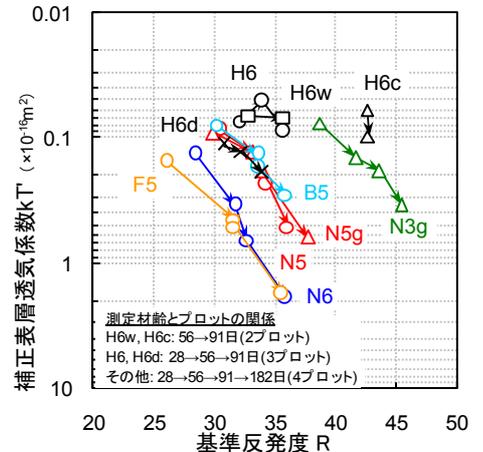


図5 各種供試体の基準反発度と表層透気係数の関係