養生条件が異なるコンクリートの促進中性化速度係数と非破壊測定した表層透気係数の相関

(財)電力中央研究所　正会員　○蔵重　勲　廣永 道彦

1. はじめに

コンクリートのより信頼性の高い耐久性確保のため，設計で照査，担保された性能が施工プロセスを経た上で達成されていることを検査・確認するシステムの導入について活発に議論されている[1~3]。そこでは，検査に必要な非破壊試験技術の整備とともに，実務において有用となる品質判定基準等[4]，検査システムの構築が重要な課題として挙げられ，既往知見の整理や新規検討が実施されている。本研究では，コンクリートの中性化抵抗性に及ぼす養生の影響を実験評価し，その品質変化を表層透気試験によって定量的に非破壊評価できることを明らかにした。その結果より，所要の中性化抵抗性に対応する表層透気係数を，実験データ等に基づき定義することで，品質の判定基準を策定できる可能性を示した。

2. 実験概要

表 1 の配合に従ってコンクリートを打設し，脱型材齢や曝露環境が異なる供試体を作製した。材齢 91 日において Torrent 法表層透気試験を実施するとともに促進中性化試験を開始し，養生条件の影響ならびに両評価値の関係を調べた。

3. 養生条件がコンクリートの中性化抵抗性に及ぼす影響

図 2 に促進中性化期間の平方根と中性化深さの関係を示す。√t 則に従えば両者は直線関係にあるが，それに近いものは 1-W，1-H 供試体など比較的条件の良い養生を行ったものであった。これに対し，1-6 供試体では明らかに中性化抵抗性が低く，中性化が内部に及ぶに従って中性化深さの増加量が小さくなっていることから，表層の品質が内部よりも劣っていることが分かる。このような中性化抵抗性の不均質性を持ったコンクリートに対しては√t 則の適用が困難であるため，**図 3** のように促進中性化期間と中性化深さの関係に対して累乗関数を定義し，回帰分析を行った。回帰式の累乗根が 0.5 であれば√t 式となるが，表層と内部で品質が異なるほど累乗根の値はより小さくなる傾向を示した。**図 4** は促進中性化試験結果に基づき実材齢における中性化進行に試換算した例である。示方書設計編に示されている予測式で算出される中性化速度係数は 0.93mm/√年（W/C=0.5）であり，本実験における 1-W，1-H 供試体の中性化速度係数（12mm/√年程度）を用いて促進倍率を求めると約 13 倍となった。また，魚本・高田らの研究では，CO_2 濃度 5%の促進条件では室内大気曝露に比べ約 5 倍中性化速度係数が大きいことが示されている[5]。これらを参考にして，今回の試算では促進倍率を 10 倍と設定した。試算結果においてかぶり厚 30mm を仮定して中性化残りが 10mm となる経年数を比較すると，1-6 供試体以外は 100 年経過してもそれに到達しないにも係わらず，早期脱型後乾燥環境に曝された 1-6 供試体ではわずか 30 年前後で中性化残りが 10mm となることを明らかにした。耐久性に対する養生インパクトの大きさを確認するとともに，その定量評価の可能性を示した。

4. 表層透気係数と促進中性化速度係数の関係

非破壊測定した表層透気係数は，**図 5** に示すとおり，早期脱型後乾燥環境に曝露された 1-6 供試体で最も大きく，水中養生を行った 1-W 供試体で最小値を示した。**図 6** は表層透気係数と各促進期間における中性化深さの関係を整理したものであり，両者に強い相関が認められることから，表層透気試験を用いた中性化抵抗性評価の可能性がうかがえる。その一検討として，**図 3** に示した中性化進行に対する累乗関数回帰式の各係数と表層透気係数の逆数（表層透気抵抗性と定義した）の関係を比較した（**図 7**）。両係数は表層透気抵抗性の指数関数で良く表現され，中性化速度の大小を表す係

表 1 コンクリート供試体の配合

W/C (%)	s/a (%)	Ac (ml/kg-C)	Unit content (kg/m³)				Slump (cm)	Air (%)
			W	C	S	G		
50	48	3.0	165	330	859	956	7.5	5.7

Ac：AE 減水剤添加率，W：水，C：普通ポルトランドセメント，S：陸砂，G：砕石

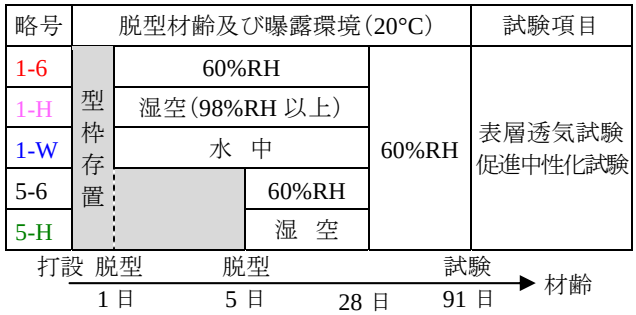

図 1 供試体の養生条件および試験項目

キーワード：中性化抵抗性，養生，表層品質，品質検査，非破壊試験，表層透気試験
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

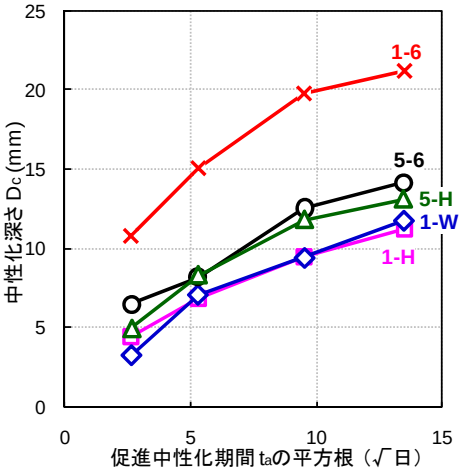

図 2 養生条件が異なる供試体の促進中性化試験結果

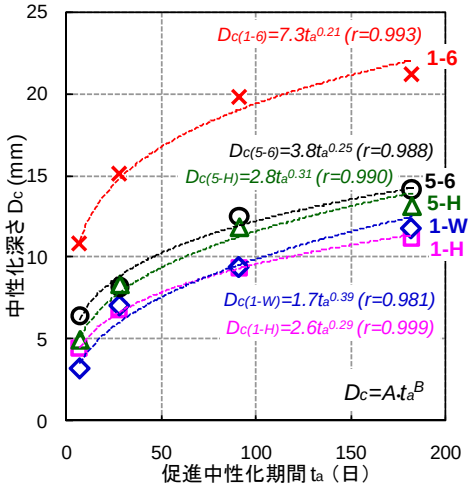

図 3 促進中性化試験結果の回帰分析

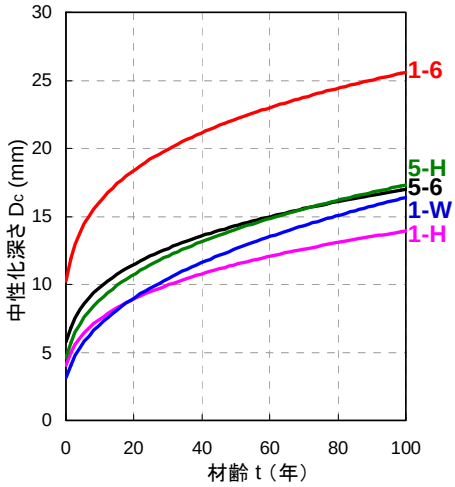

図 4 促進中性化試験結果に基づいた中性化進行の試算例

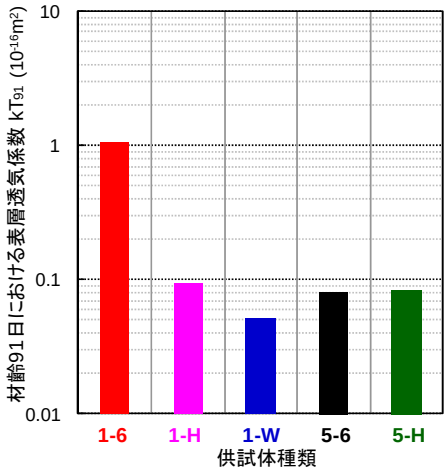

図 5 養生条件が異なる供試体の表層透気係数測定結果

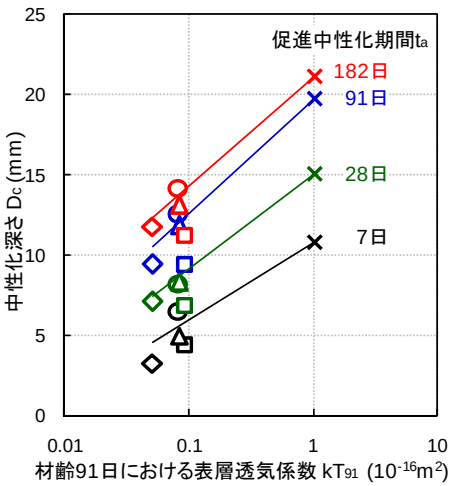

図 6 表層透気係数と各促進期間における中性化深さの関係

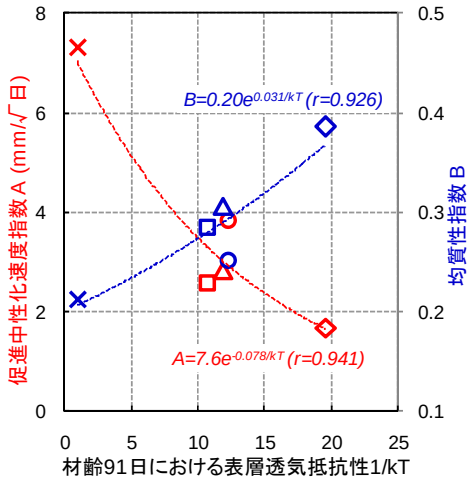

図 7 表層透気係数と回帰式係数との関係

数 A を√t 則の中性化速度係数と区別するために中性化速度指数と定義し，係数 B は累乗関数の傾き変化を決定するもので，品質の均質性と関連することから均質性指数と定義した。両指数関数回帰式（図 7）を，中性化進行を表す累乗関数回帰式（図 3）に導入し，非破壊測定した表層透気係数を代入して算出した中性化深さの予測値を実測値と比較した（図 8）。その結果，両者の強い相関が確かめられ，竣工構造物を対象に非破壊測定された表層透気性を用い，中性化抵抗性を定量評価できる可能性が示された。

5. おわりに

より広範な材料や配合，ならびに養生条件への対応に関する発展検討に加え，促進中性化試験結果と実環境における中性化進行の対応関係について環境作用機構などに着目して研究を行っていきたい。

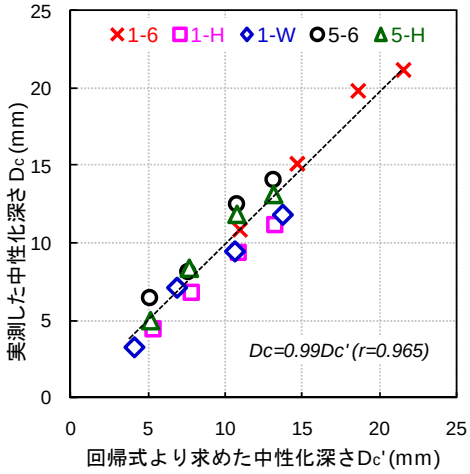

図 8 表層透気係数を関数とした回帰式から算出した中性化深さと実測値の相関

参考文献：1)R.J. Torrent and L.F. Luco: RILEM Report 40 Non-Destructive Evaluation of the Penetrability and Thickness of the Concrete Cover, State of the Art Report of RILEM Technical Committee TC 189-NEC: 'Non-destructive Evaluation of the Concrete Cover', 2007.

2)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.

3)歴代構造物品質評価／品質検査制度研究小委員会（216 委員会）成果報告書，土木学会コンクリート技術シリーズ 87，2009.

4)下澤和幸，今本啓一，山崎順二，永山勝：鉄筋コンクリート構造物の耐久性能検証のための透気性試験による指標値と中性化深さの関連について，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.2005-2010，2009.

5)魚本健人，高田良章：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451，V-17，pp.119-128，1992.

謝辞：本研究は土木学会 335，216 委員会の活動に関連して実施したものです。委員各位との議論は研究推進にとって大変有益でした。深く感謝申し上げます。また，本研究の一部は，国土交通省建設技術研究開発補助金（実用化研究開発：コンクリート構造物長寿命化に資する品質保証／性能照査統合システムの開発，代表者：東京大学石田哲也准教授）の助成を得て実施したことを付記致します。