

コンクリートに内在する深さ方向の透気性分布を評価可能な非破壊試験法の開発

(財)電力中央研究所 正会員 ○蔵重 勲 廣永 道彦

1. はじめに

コンクリートの耐久性検査に有用な非破壊試験法として近年 Torrent 法透気試験(以下, Torrent 法)が注目され, 実務への適用検討が進められている。Torrent 法はダブルチャンバー構造を成し, コンクリート表層において 1 次元の流れ場を形成することによって, 表層の透気係数を評価する方法である¹⁾。耐久性に及ぼす代表的な施工因子として養生が挙げられるが, 養生が不十分な場合, セメント水和に必要な水分が表面より逸散してしまい, 表層品質の低下とともに深さ方向の品質分布を生じる原因となる。これに対し, Torrent 法は養生の良否を相対的に評価可能なものの, コンクリートを均質体として仮定し透気係数を算出するため, 品質分布までも直接評価することは難しい。以上の背景より, 本研究では, 深さ方向の透気性分布評価といった付加価値を与えた非破壊透気試験法の開発を目的に, トリプルチャンバー型非破壊透気試験(以下, トリプルチャンバー法)の装置試作および適用性評価を行った。なお, 本研究は平成 22 年度吉田研究奨励賞の表彰を受け, 実施したものである。

2. トリプルチャンバー法の概要

外部チャンバーの気圧制御による 1 次元流れを対象とした Torrent 法とは対照的に, トリプルチャンバー法は図 1 のように同心円状に配置した 3 層のチャンバー(最外縁径約 200mm)に 3 次元的に流入する空気を捉えるものである。3 層のチャンバーそれぞれの気圧変化はコンクリートの品質の良否やその分布の影響を受けるものと考えられ, 逆解析することによってそれらを推定できるものと期待される。実際には, コンクリート表面に装置を当て, 真空ポンプによって各層を減圧した後(本研究における条件:60 秒間, 3kPa 以下), バルブを閉じて各層の気圧上昇をモニタリングするものであり, 試験時間は中心層の気圧が 50kPa を超えるか, バルブ閉鎖後 660 秒経過するまでとした。

3. トリプルチャンバー法による非破壊透気試験結果

W/C=40%および 60%の普通ポルトランドセメントコンクリートを用いてφ300mm×D300の供試体を作製し, 材齢 5 日にて脱型した後, 気中曝露したものと材齢 28 日までフィルム被覆養生を行って気中曝露したものを準備した。それらを対象に, 材齢 364 日においてトリプルチャンバー法による非破壊透気試験を行った。その結果を W/C 別に図 2 および図 3 に示す。W/C が小さいほどチャンバー気圧の上昇速度は小さく, 3 層のチャンバー圧力の差も比較的大きくなっており, トリプルチャンバー法によって W/C の差異を検知できることが明らかとなった。また, 養生の差異も試験結果に表れており, 養生の良否による品質変化も推定することが可能と思われる。

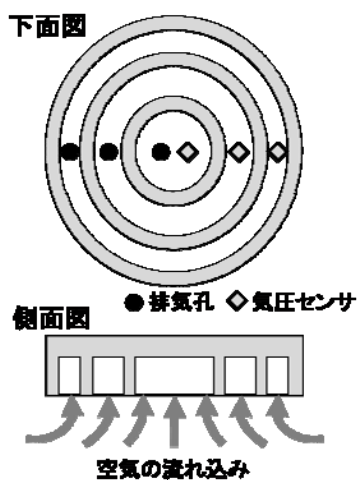


図 1 トリプルチャンバー型
非破壊透気試験装置の模式図

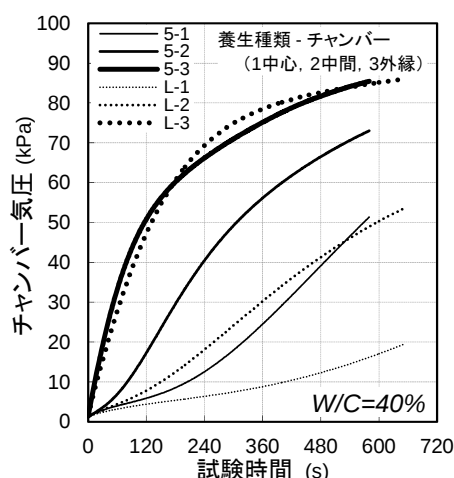


図 2 トリプルチャンバー法試験結果
(W/C=40%供試体)

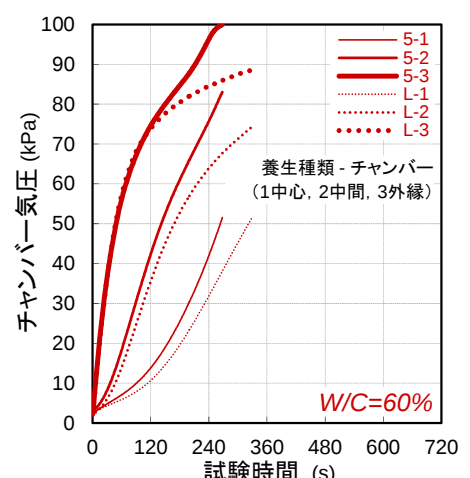


図 3 トリプルチャンバー法試験結果
(W/C=60%供試体)

キーワード: 表層品質, 非破壊試験, 透気性, 品質分布, シミュレーション, 非線形最適化問題, 最急降下法

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

4. トリプルチャンバー法試験結果を用いた透気性分布の推定

4.1 トリプルチャンバー法を対象とした透気シミュレーションの方法

供試体を円筒座標系にて二次元化し、基礎式として質量保存式 $\partial/\partial t(\rho\rho_g) = \nabla\rho_g v_g$ および気体透過式として一般化されたダルシー式 $J = -K/\mu \nabla P$ を用いて数値計算を行った。ここで、透気係数 K は既往の実験データ²⁾を参考に、空隙率 ϕ と関連付けて定義した ($K(10^{-16}m^2) = 3.0 \times 10^{-5} \times e^{1.1\phi}$)。また、透気係数の深さ分布を、水分逸散が拡散側に従うものとして導いた累乗関数 $K = ad^b$ を用いて定義し、その係数 a および b を与えることで表現した。

4.2 チャンバー気圧の非線形最適化問題

トリプルチャンバー法試験結果を用いた透気性分布の推定は、係数 a, b を最適化することによる。具体的には、前節に示した方法のとおり透気係数分布に対して初期値を与え、各チャンバーの気圧変化を数値計算により算出し、実際に測定したデータとの誤差を最小化するように逐次係数を変化させるといった非線形最適化問題となる。最適化手法としては、本研究では勾配法のうち最急降下法を用いた。

4.3 透気性分布の推定結果

図4に最適化された a および b を用いて表した深さ方向の透気係数分布を示す。W/C が大きいほど、養生条件が悪いほど透気係数は相対的に高く、表面近傍での透気性が高くなる傾向が分かる。また、材齢364日に推定された透気係数の変化領域を概して評価すれば、材齢5日に脱型したW/C40%供試体で1~2cm, W/C60%の場合は2~3cm程度と既往の知見と大差ない結果が得られた。これらの透気係数分布は、コンクリートからの水分逸散進行と密接な関係があるものと考えられ、同図に示した材齢91日における試験結果を用いて推定した透気係数分布は、材齢364日のものより全体的に小さい値を示している。翻って、トリプルチャンバー法は水分逸散過程を捉えられる可能性も示唆される結果と思われる。図5および図6は、推定された透気係数分布を与え透気シミュレーションを行った結果である。本手法により、透気係数の深さ方向分布に依存した3層のチャンバーそれぞれの気圧変化を表現できることを実証した。

5. おわりに

設計・試作したトリプルチャンバー型非破壊透気試験装置を用いて、コンクリートに内在する透気性の深さ方向分布を推定可能か検証した結果、その適用性を見出すことができた。今後は、より広範な条件への適用性検討や最適化手法の効率化などに取り組む予定である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 河野俊一, 氏家勲: 乾燥によるコンクリートの透気係数の変化に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp847-852, 1999.

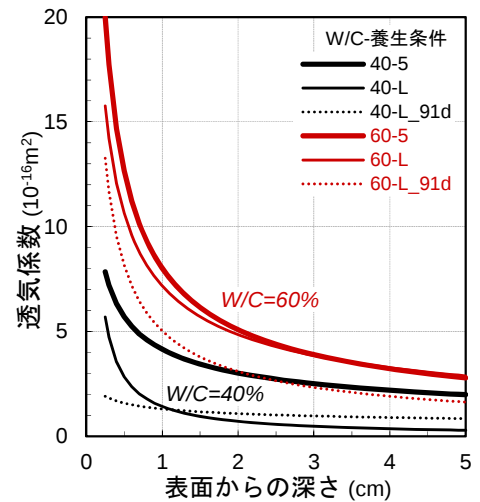


図4 透気係数分布の推定結果

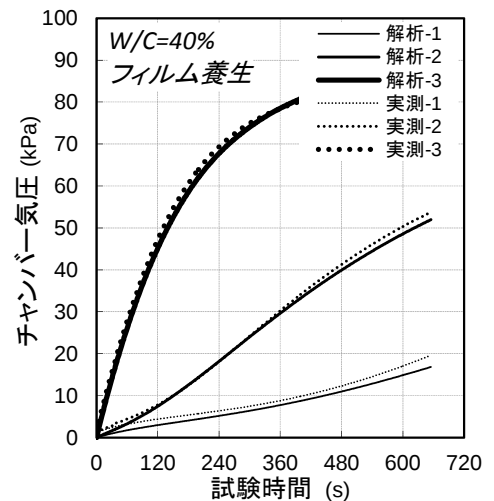


図5 チャンバー気圧変化の解析結果 (W/C=40%フィルム養生)

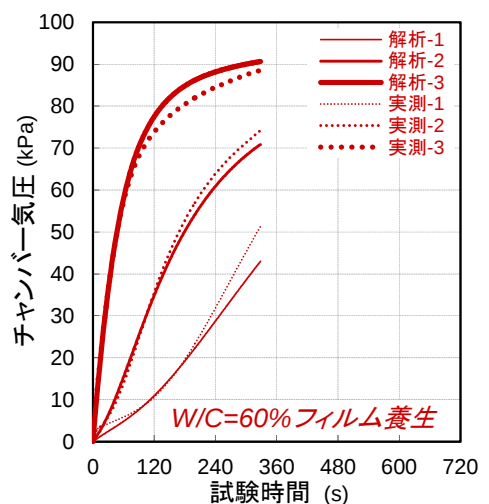


図6 チャンバー気圧変化の解析結果 (W/C=60%フィルム養生)