

異なる試験方法による透気性の検討

日大生産工(院) ○野中 英 日大生産工 湯浅 昇

1 はじめに

近年、建物の長寿命化により、構造体コンクリートの耐久性向上が求められている。構造体コンクリートの耐久性は、使用するコンクリートの品質のみならず、施工や養生、環境条件により低下する場合がある。しかし、実際に施工した構造物の耐久性は、劣化現象が発生しない限り評価することが困難である。一方で、コンクリート構造物の耐久性を評価するために、構造体コンクリートの透気性を非微破壊により評価する試みが行われている¹⁾。これらの方法は、測定対象を相対的に評価することにおいては適しているが、絶対値として評価する場合にはおのおの基準を示しているもののその位置づけが明確でないのが現状である。

透気試験は、構造体コンクリートに適用可能な方法として、非・微破壊による方法やコンクリートから採取したコアなどを利用する方法がある²⁾。コアを採取する方では、RIREM TC 116-PCD (Permeability of Concrete as Criterion of its Durability)などで試験方法として提案されているが、非・微破壊試験方法である削孔法、シングルチャンバー法、ダブルチャンバー法に関しては規格化された試験方法がない。これらのことから透気試験に対しては共通の理解・認識を行うことが、透気性を評価する上で重要であると考えられる。

本研究では、筆者らが検討している簡易透気試験³⁾結果がどのような位置づけに「あるかを検討することを目的に、水セメント比60%の普通コンクリートにおいて乾燥開始材齢1日、3日、7日、28日とした4種類を対象に、簡易透気試験、トレント法透気試験、φ100mmのコアを用いた透気試験を実施した結果について述べるものである。

2 実験概要

2.1 実験の因子と水準

実験の因子と水準は、水セメント比を60%の1水準、乾燥開始材齢を1日、3日、7日、28日

の4水準、透気試験方法を簡易透気試験、トレント法透気試験、φ100コアを用いた透気試験の3水準とした。

2.2 試験体の作製

(1)コンクリートの調合および使用材料

コンクリートの調合および使用材料は、表2に示すものとした。

(2)試験体の形状、寸法および養生

図1に、試験体図を示す。試験体の寸法は300×300×150mmとし、試験面は□300×

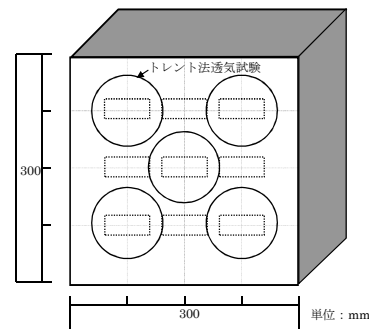


図1 試験体図

表1 実験の要因と水準

要因	水準
水セメント比	60%
乾燥開始材齢	1日, 3日, 7日, 28日
透気試験方法	簡易透気試験 トレント法透気試験 φ100mm コアを用いた透気試験

表2 コンクリートの調合および使用材料

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
		水		セメント		粗骨材		混和剤	
		W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2	
60	46.6	185	308	196	608	955	3.08	0.93	

【使用材料】セメントC : 普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³)
 細骨材 S1 : つくば市産川砂 (密度 2.50g/cm³)
 S2 : つくば市産砕砂 (密度 2.59g/cm³)
 粗骨材 G : つくば市産採石 (密度 2.66g/cm³; Gmax20mm)
 混和剤 Ad1 : P社製 AE 減水剤 (4倍希釈液)
 Ad2 : P社製 AE 助剤 (100倍希釈)

Examination of Air-Permeability for Different Testing Methods

Noboru YUASA and Akira NONAKA

300mmの2面とした。コンクリート打設後の試験体は、温度20℃の恒温室内で湿空養生とした後、材齢1日で脱型し、300×150mmの4面はエポキシ樹脂を塗布し、300×300mmの2面はビニールを用いて密封した。乾燥の開始は、所定の乾燥開始材齢でビニールを取り外すことにより行い、その後の養生は試験材齢まで温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内で静置した。図2に、コンクリートの養生条件を示す。

2.1 測定方法

(1)簡易透気試験方法

簡易透気試験は、図3に示すようにコンクリートを振動ドリルで削孔した直径10mm、深さ50mmの孔および装置を用いて測定するものである。測定は材齢3ヶ月において、直径10mm、深さ10mmのシリコン栓により密封した削孔内部を減圧した後、孔の周壁から空気の流入により真空度が X_1 kPaから X_2 kPaに低下する時間(T)を計測した。このとき、式(1)に示すように低下した真空度(X_2-X_1)kPaを時間(t)で割った値を簡易透気速度と呼び、透気性の指標とした。 X_1 および X_2 は、 X_1 を21.3kPa、 X_2 を25.3kPa(真空度の低下時間が10秒以下の場合には、 X_1 を13.3kPa、 X_2 を33.3kPa)として測定した。

$$K = (X_2 - X_1) / T \quad \dots (1)$$

ここに、K : 簡易透気速度(kPa/s)

X_1 : 時間測定開始時の真空度(kPa)

X_2 : 時間測定終了時の真空度(kPa)

T : 真空度の低下時間(s)

(2)トレント法透気試験方法

トレント法透気試験は、材齢3ヶ月において文献4)に従いコンクリート表面に減圧したチャンバー(内部チャンバーと外部チャンバーの2つのチャンバーを有する)を設置し、内部チャンバーの気圧変化から透気係数を算出した。図4にトレント法透気試験装置の概要図を示す。

(3)φ100mmコアを用いた透気試験方法

φ100mmコアを用いた透気試験方法は、図5に示す試験装置により行った。試験体は、簡易透気試験、トレント法透気試験を終了した試験体からφ100mmのコアを採取し、40℃の乾燥炉で質量が一定になるまで乾燥させた。測定は、100mm、厚さ40mmの試験体を圧力容器に設置し、0.5MPaの窒素ガスを試験体に作用させ、窒素ガスの流れが定常となったときの単位時間あたりに試験体を透過し、水に置換された窒素ガスを透気量とし、式(2)により透気係数を求めた。

$$K = \frac{2LP_2\gamma_a}{P_1^2 - P_2^2} \times \frac{Q}{A} \quad \dots (2)$$

ここに、

K : 透気係数 (cm/sec)

L : 試験体厚さ(cm)

P_1 : 載荷圧力+大気圧(MPa)

P_2 : 大気圧(1.0) (MPa)

A : 透気面積 (cm²)

γ_a : 空気の単位容積質量 (1.025 × 10⁻⁶kg/cm³)

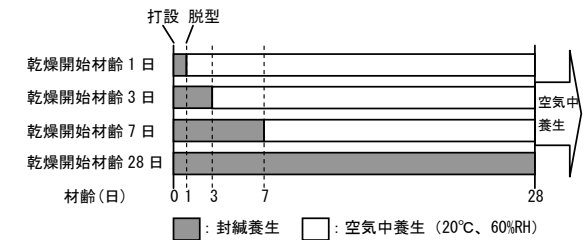


図2 コンクリートの養生条件

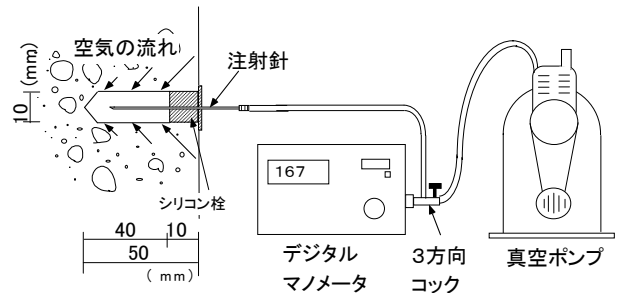


図3 簡易透気試験装置

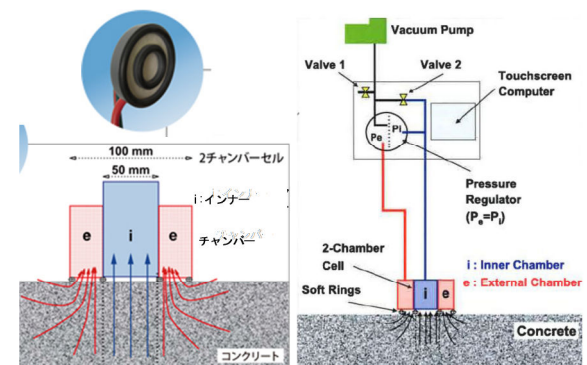


図4 トレント法透気試験装置の概要図

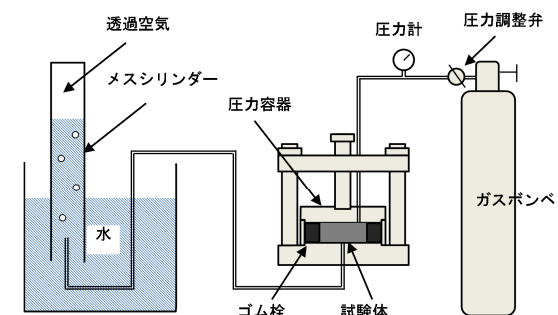


図5 φ100mmコア透気試験装置

3 実験結果

図6に、乾燥開始材齢と簡易透気速度の関係を示す。簡易透気速度は、乾燥開始材齢が遅くなるのに伴い小さくなった。乾燥開始材齢の違いによる簡易透気速度の低下は、乾燥開始材齢1日から3日および7日から28日で大きいですが、乾燥開始材齢3日から7日では小さくなった。

図7に、乾燥開始材齢とφ100mmコアを用いた透気係数の関係を示す。φ100コアを用いた透気係数は、乾燥開始材齢が遅くなるのに伴い小さくなった。乾燥開始材齢の違いによるφ100mmコアを用いた透気係数の低下は、乾燥開始材齢1日から3日では大きいですが、それ以降では小さくなった。

図8に、乾燥開始材齢とトレント法透気係数の関係を示す。トレント法透気係数は、乾燥開始材齢が遅くなるのに伴い小さくなった。乾燥開始材齢の違いによるトレント法透気係数の低下は、乾燥開始材齢1日から3日および7日から28日で大きいですが、乾燥開始材齢3日から7日では小さくなった。

図9に、乾燥開始材齢と各透気試験結果における乾燥開始材齢1日を100とした場合の比率を示す。各試験結果における比率の違いは、簡易透気速度とトレント法透気係数で乾燥開始材齢1日に対して乾燥開始材齢3日で70%程度、乾燥開始材齢3日と7日の差は少なく、乾燥開始材齢7日と28日の差は20~30%程度と同様な傾向が認められたが、φ100mmコアを用いた透気係数では乾燥開始材齢3日で50%まで低下し、その後乾燥開始材齢28日においても35%とその後の変化は少なく、簡易透気速度およびトレント法透気係数と傾向が異なった。

簡易透気速度、トレント法透気係数とφ100mmコアを用いた透気係数の傾向の違いは、コンクリートが不均質材料であり、乾燥開始材齢が早くなると乾燥の影響によりコンクリート表層部5cm程度までが粗になり透気しやすくなることが影響していると考えられる。特に表面法であるトレント法透気試験では、乾燥によりコンクリート表層部が粗になる影響が大きかったとともに、削工法である簡易透気試験においてもトレント法透気試験と同様に表層の影響を受けているのではないかと考えられる。一方で、コアによる方法は、試験体の厚さが40mm程度であり、養生期間が長くなると内部の密な部分の影響が大きくなるため、材齢3日以降の差が小さくなったものと考えられる。

図10に、簡易透気速度とφ100mmコアを用いた透気係数の関係を示す。簡易透気速度とφ100mmコアを用いた透気係数の関係は、簡易

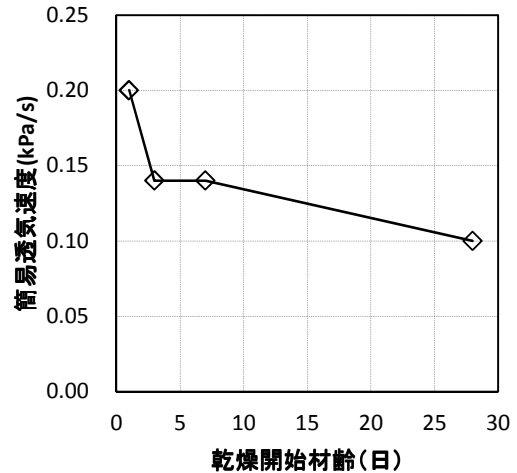


図6 乾燥開始材齢と簡易透気速度の関係

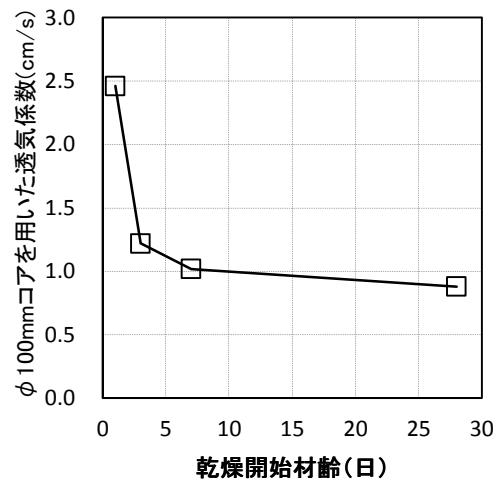


図7 乾燥開始材齢と透気係数の関係

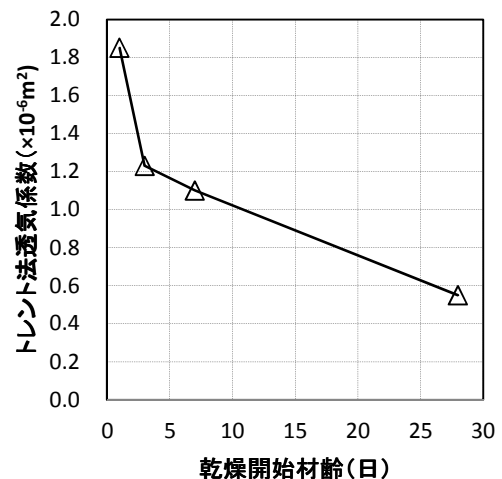


図8 乾燥開始材齢とトレント法透気係数の関係

透気速度の増加に伴いφ100mmコアを用いた透気係数も増加する傾向にあり、直線回帰した結果、決定係数が0.89と高い相関が認められた。

図11に、簡易透気速度とトレント法透気係数の関係を示す。簡易透気速度とトレント法透気係数の関係は、簡易透気速度の増加に伴いト

レント法透気係数は増加し、直線回帰の結果、決定係数が0.98とφ100mmコアを用いた透気係数よりも相関が高くなった。

簡易透気速度とφ100mmコアを用いた透気係数およびトレント法透気係数の関係では、双方とも高い相関が認められた。既往の研究においてもでは、乾燥開始材齢材齢の違いにおいては相関が高いことが確認されており、同様な傾向となった。

4 まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- (1)乾燥開始材齢と各種透気試験の関係を示し、簡易透気速度およびトレント法透気係数では材齢の経過とともに透気性が小さくなることを示すとともに、φ100mmコアを用いた透気係数では、材齢3日まで急激に小さくなるが、それ以降の変化は少ない。
- (2)簡易透気速度とφ100mmコアを用いた透気係数およびトレント法透気係数の関係では、直線回帰の結果、双方とも高い相関が認められた。

今後の課題として、水セメント比や養生の違いによる試験を行いデータを追加することにより簡易透気速度とφ100mmコアを用いた透気係数およびトレント法透気係数がどのような関係にあるかを示すとともに、簡易透気試験の影響範囲などを検討することにより、どの位置を測定しているのかもしくはどの位置の影響を大きく受けるのかなどの位置づけを明確にしたいと考える。

また、測定方法の違いにより異なる位置の透気性を測定していることを考えると、測定対象に応じた試験方法を提案できるようなデータとしてとりまとめを行う。

「参考文献」

- 1)土木学会コンクリート委員会編：コンクリート技術シリーズ No.97 構造物表層のコンクリートの品質と耐久性検証システム小委員会(JSCE335委員会)第二期成果報告書およびシンポジウム講演梗概集, 土木学会, 2012
- 2)今本啓一, 下澤和幸, 山崎順二, 二村誠二：実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状, コンクリート工学, Vol.44, No.2, pp.31-38, 2006.2
- 3)笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇, 野中英：ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法(その1)~(その2), 日本建築学

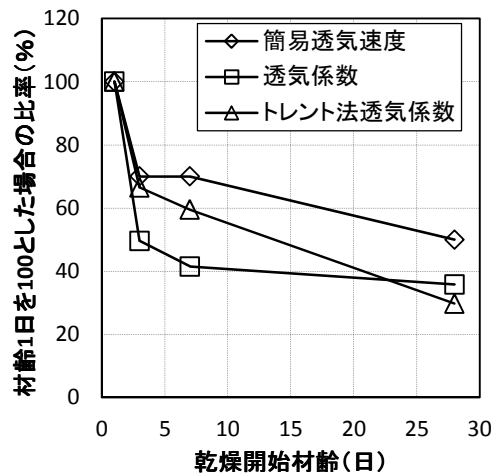


図9 乾燥開始材齢と材齢1日を100とした場合の比

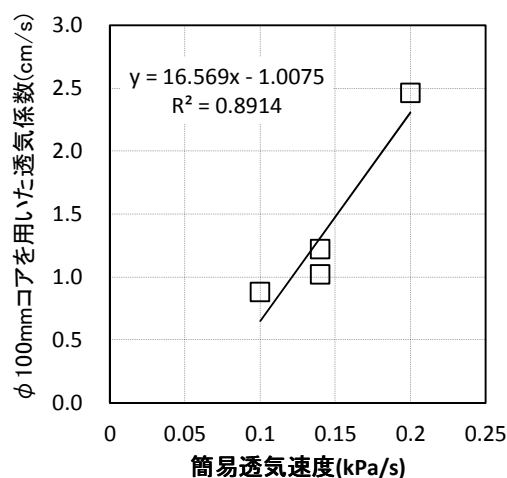


図10 乾燥開始材齢と簡易透気速度の関係

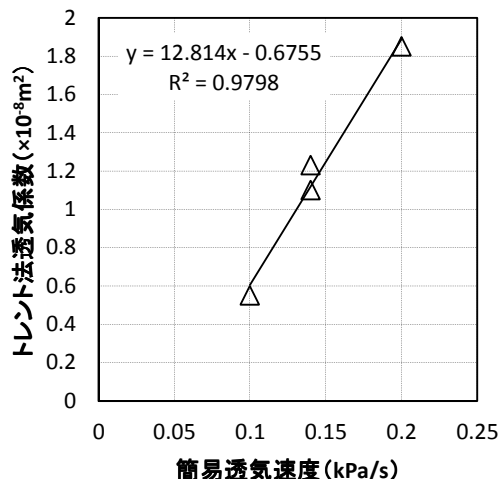


図11 乾燥開始材齢と透気係数の関係

会大会学術講演梗概集A-1, pp.669-702, 1999

- 3)R.J. Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air the concrete cover on site. Materials and Structures, vol.25, No.6, pp358-365, 1992