

表層コンクリートの簡易な透気試験方法の比較

(株)熊谷組 ○野中 英
日大生産工 湯浅 昇

1 はじめに

表層コンクリートを評価する方法は、表層強度、空隙量の測定、水や空気の透過性などの測定があり、実構造物への適正性の検討が進められている¹⁾。その内、コンクリートの透気性は中性化の進行と密接な関係があることから、削孔法、ダブルチャンバー法、シングルチャンバー法と多くの試験方法が提案されてきた。

これまでに筆者らは、構造体コンクリートに適用可能な方法として、削孔法である簡易透気試験を整理・発展させてきた²⁾³⁾。構造体コンクリートに適用可能な簡易な透気試験方法は、削孔法、シングルチャンバー法⁴⁾、ダブルチャンバー法⁵⁾の各試験について整理、提案されているが、相互の結果を検討していないなどの問題があった。

本研究は、削孔法、ダブルチャンバー法、シングルチャンバー法の試験結果を比較し、その結果がどのような関係にあるかを把握することを目的に、水セメント比、乾燥開始材齢の異なるコンクリートの測定を行った。また、各々の試験における透気性の測定結果を対比することにより、同一のコンクリートの測定結果がどのように異なるか検討する。

2 実験方法および測定方法

2.1 実験の要因と水準

実験の要因は、各種透気試験方法とコンクリートの呼び強度とし、水準は表1に示した。

2.2 使用材料及び調合

表2に使用材料を、表3にコンクリートの調

合を示す。コンクリートは、表3に示す呼び強度15、27、33、40の4種類とし、レディーミクストコンクリート工場で製造したものを使用した。各呼び強度に対応する水セメント比は表3に示す通りであった。

2.3 試験体

試験体は、寸法を1800×900×200mmとし、1800×900mmの面を測定面とし、2体作製した。測定は、コンクリート打設後約3ヶ月で実施した。圧縮強度は、図4に示す通りであった。

表1 実験の要因と水準

要因	水準
試験方法	簡易透気試験 ダブルチャンバー法透気試験 シングルチャンバー法透気試験
コンクリートの呼び強度*	15 (85.7%)、27 (54%)、 33 (47%)、40 (40%)

* () 内の数字は水セメント比

表2 使用材料

材料	種類	密度* (g/cm ³)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15
水	回収水（上澄水）	-
細骨材	大阪府茨城産砕砂	2.66
	京都府城陽産山砂	2.57
粗骨材	大阪府茨城産碎石	2.69
混和剤	高性能 AE 減水剤	-
	AE 減水剤	-
混和材	大阪府高槻産碎石粉	2.70

*密度は表乾密度

表3 コンクリートの調合

呼び強度	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)						
			セメント	水	砕砂	山砂	碎石	混和剤	混和材
15	85.7 (72.0)*1	47.8	210	180	442	424	974	2.40 (AE)*2	40
27	54	49.2	333	180	436	424	915	2.90	-
33	47	47.3	383	180	410	398	925	2.99	-
40	40	44.9	450	180	378	365	936	3.51	-

*1 水粉体比、*2AE 減水剤

Comparison of Rapid Air-Permeability Testing Methods for Structural Concrete

Akira NONAKA and Noboru YUASA

2.3 試験方法

(1)簡易透気試験

簡易透気試験は、図1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行った。測定は、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。 X_1 および X_2 は、 X_1 を21.3 (kPa) 、 X_2 を25.3 (kPa) (真空度の低下時間が10秒以下の場合には、 X_1 を13.3 (kPa) 、 X_2 を33.3 (kPa))として同一削孔で4回測定した。

簡易透気速度 Kd は、(1)式により求めた。1回目の結果を除いた2回目以降の3回の簡易透気速度を求め平均し、一削孔の測定値とした。

$$kd = \frac{X_2 - X_1}{T} \quad \dots (1)$$

Kd : 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)シングルチャンバー法透気試験 (日大式)

シングルチャンバー法透気試験は、文献4に従い、図3に示す装置により行った。測定は、真空ポンプを用いてデシケータの蓋の内部を減圧した後、コンクリート表面からの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)を同一箇所でも4回計測した。 X_1 および X_2 は、簡易透気試験と同様とした。

シングルチャンバー法透気速度 Ks は、(2)式により求めた。1回目の結果を除いた2回目以降の3回のシングルチャンバー法透気速度を求め平均し、1測定箇所における測定値とした。

$$ks = \frac{X_2 - X_1}{T} \quad \dots (2)$$

Ks : シングルチャンバー法透気速度(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)

(3)トレント法透気試験

図2に、トレント法透気試験の概要を示す。市販の装置により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、そ

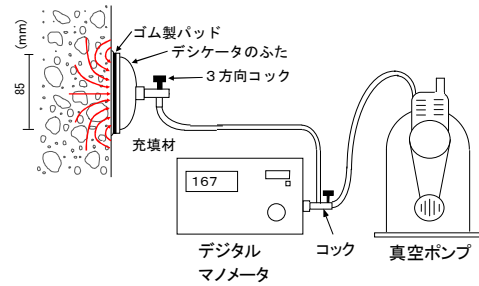


図1 削孔法による試験装置

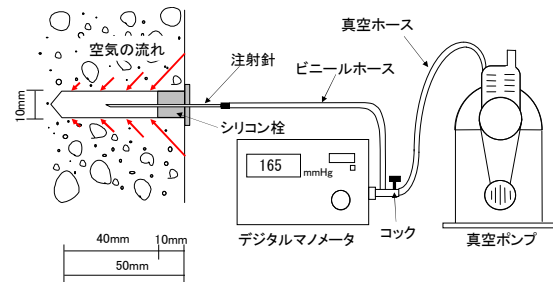


図2 シングルチャンバー法による試験装置

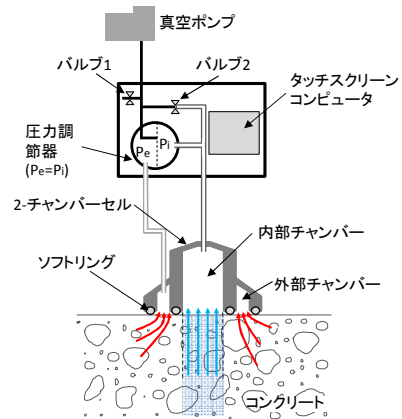


図3 トレント法による試験装置

の内部チャンバーの気圧変化から透気係数を(3)式により算出した⁵⁾。

$$T = \left[\frac{V_c}{A} \right]^2 \frac{\mu}{2\varepsilon P_a} \left[\frac{\ln \frac{P_a + \Delta P_{ieff}(t_f)}{P_a - \Delta P_{ieff}(t_f)}}{\sqrt{t_f} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \quad \dots (3)$$

kT : トレント法透気係数(m^2)

V_c : 内部セルシステムの容積(m^3)

A : 内部セルの断面積(m^2)

μ : 空気の粘性係数 ($=2.0 \times 10^{-5} N \cdot s / m^2$)

P_a : 大気圧(N / m^2)

ΔP_{ief} : 試験終了時内部セルの有効圧力上昇 (N / m^2)

t_f : 試験終了時間(s)

t_0 : 試験開始時間(s) ($=60s$)

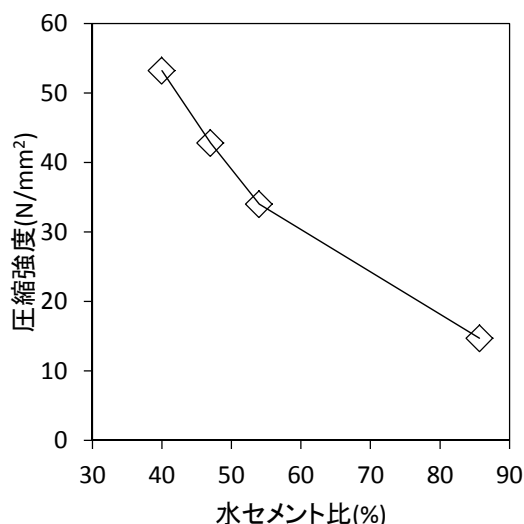


図4 圧縮強度

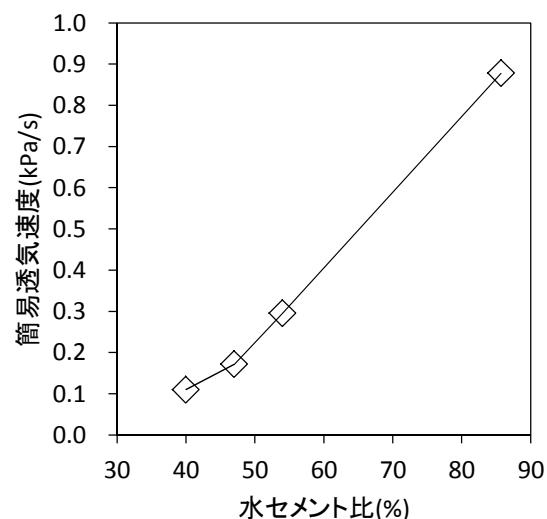


図5 簡易透気速度

3 実験結果および考察

3.1 各種透気試験の結果

図5に簡易透気速度を、図6にシングルチャンバー法透気速度を、図7にトレント法透気係数を示す。

どの試験方法によっても、水セメント比の増加に伴い、透気性の指標値は大きくなった。シングルチャンバー法の水セメント比54%では、特異な値であったとがこれは既往の研究と比べても異なる傾向であった。シングルチャンバー法は、表層の品質低下や微細なひび割れの影響を受けると言われており、その影響により試験結果がばらついたと考えられる。

また、水セメント比の違いでは、簡易透気速度、シングルチャンバー法透気速度（水セメント比54%は除く）では、水セメント比の増加に伴い直線的に増加しているのに対し、トレント法透気係数では、水セメント比54%以下では水セメント比の増加に伴い直線的に増加しているが、水セメント比54%を超える場合には、その増加量は大きくなった。

3.2 透気試験の相互比較

図8に簡易透気速度とシングルチャンバー法透気速度の関係を、図9に簡易透気速度とトレント法透気係数の関係を、図10にトレント法透気係数とシングルチャンバー法透気係数の関係を示す。既往の研究では、各種透気性の指標値の相互関係が概ね1本の線で表せ、相互に互換が可能である範囲を示している。そこで、既往の試験結果との違いを検討するため、図中に今回の試験結果を■で、既往の結果を◇で示した。

簡易透気速度とシングルチャンバー法透気速度の関係、トレント法とシングルチャンバー法透気速度の関係では、呼び強度15および27

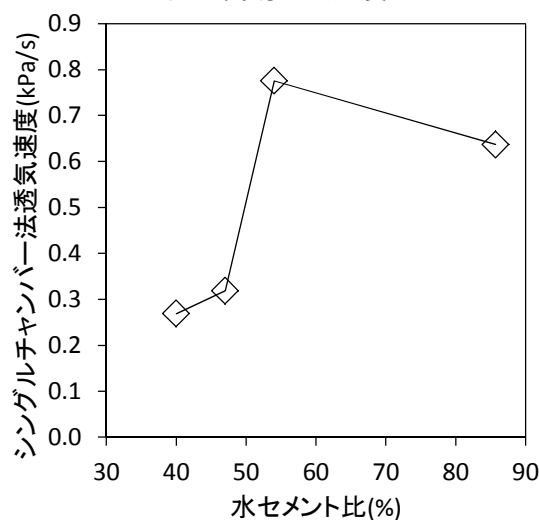


図6 シングルチャンバー法透気速度

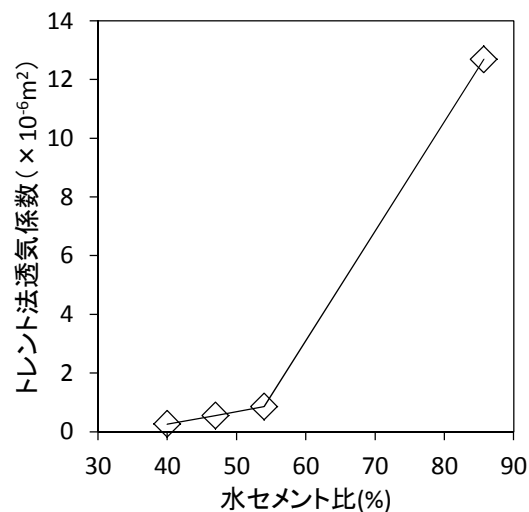


図7 トレント法透気係数

の結果が、既往の結果と異なっているが、呼び強度33および40では既往の傾向と同様となった。

簡易透気速度とトレント法透気係数の関係は、概ね前回の傾向線付近となり、既往の傾向と同様となった。

シングルチャンバー法透気速度との関係において呼び強度15および27の結果が既往の傾向と異なった理由としては、測定結果の不備が考えられる。また、既往の研究においてもシングルチャンバー法のばらつきが大きいことが指摘されており、シングルチャンバー法をもいって互換を行う場合には、注意が必要である。

本実験の結果は、既往の結果と大きな違いが認められなかったことから、既往の研究における結果を用いて相互に試験値を互換可能であることを示した。

5 まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

- 1) 水セメント比の増加に伴い、各種透気試験の指標値も増加する傾向となった。
- 2) 既往の研究における互換を検討したグラフに、本実験の結果を入れて検討したところ、シングルチャンバー法透気速度の一部の結果を除いて、概ね前回と同様な傾向となり、範囲において相互に互換が可能であることを示した。

「参考文献」

- 1) 日本建築学会編：鉄筋コンクリート建築物の品質管理および維持管理のための試験方法，2007.3
- 2) 野中英，湯浅昇：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の提案，日本建築学会構造系論文集，第79巻，第700号，pp.689-696，2014.6
- 3) 野中英，湯浅昇：簡易透気試験による構造体コンクリートの中酸化抵抗性評価，日本建築学会構造系論文集，第80巻，第711号，pp.727-734，2015.5
- 4) 国本正恵，湯浅昇，笠井芳夫，松井勇：構造体コンクリートのコールドジョイント評価方法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1，pp.433-434，2000.9
- 5) 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

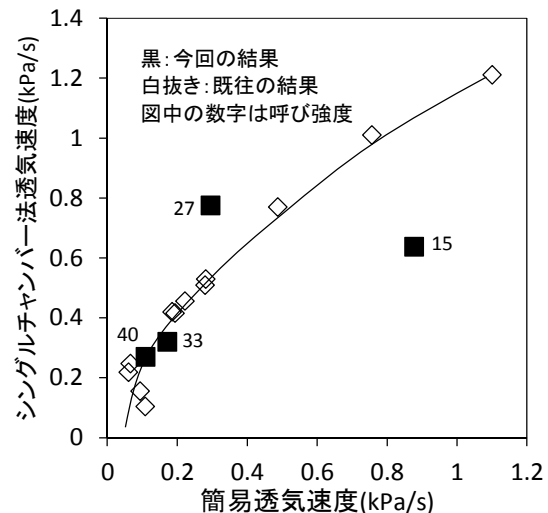


図8 簡易透気速度とシングルチャンバー法透気速度の関係

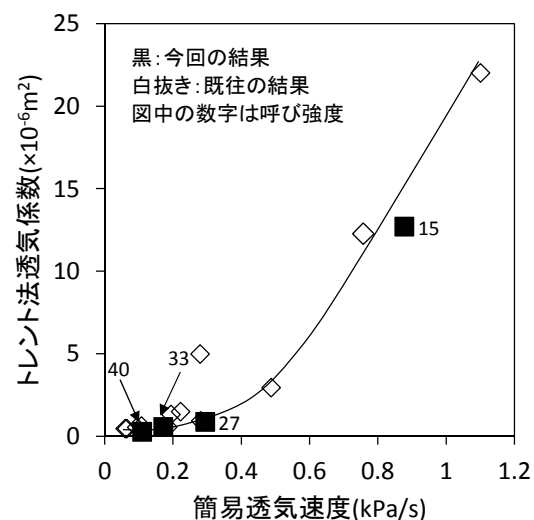


図9 簡易透気速度とトレント法透気係数の関係

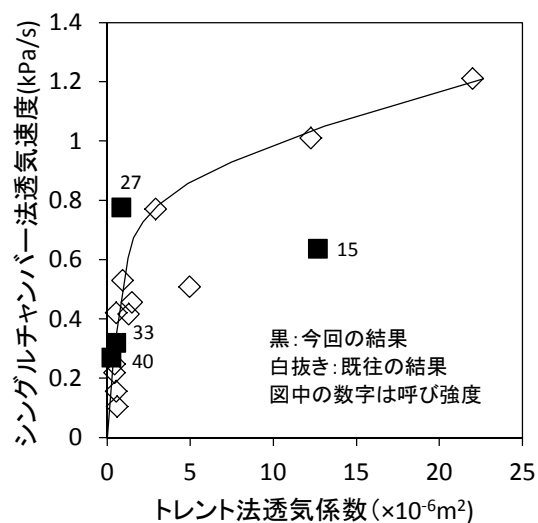


図10 トレント法透気係数とシングルチャンバー法透気速度の関係