

養生・配(調)合の異なるコンクリートの品質評価に関する研究

三谷和裕* 金森誠治* 野中英* 八朝秀晃** 神崎恵三**

本報告は、ダブルチャンバー法透気試験であるトレント法透気試験により各種養生の効果の評価およびコンクリートの含水率とトレント法透気係数の関係からトレント法透気試験を行う材齢の検討を目的に、各種養生を行ったコンクリートを対象として、トレント法透気試験を行った結果をまとめたものである。また、比較として、同一養生のコンクリートの促進中性化試験、塩化物イオン浸透性試験、反発度の測定を行い、透気性との関係性を検討した。

キーワード：品質評価、表層コンクリート、透気性、耐久性、表層強度、養生方法

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐久性は、コンクリートの耐久性の低下に伴う鉄筋の腐食に支配される。耐久性を低下させる劣化因子は、コンクリート表面から浸入するため、コンクリート表層部の品質や鉄筋のかぶり厚さが鉄筋コンクリート構造物の耐久性にとって重要な要因となる。近年では、耐久性を向上させるために、型枠存置期間の延長、吸水性のマット等による保湿養生、表面含浸材等の塗布によりコンクリートの表層を緻密化する工法や撥水性を付与する工法¹⁾²⁾が普及している。表層を緻密化する工法は、試験室における試験結果を実構造物に適用するため、塗布量により管理を行っているが、実際に打設したコンクリートの養生効果を確認する方法がないのが現状である。

実構造物における養生効果は、表層透気性、表面硬度、反発度、吸水性等により評価する方法の研究が行われている。表層透気性に関しては、シングルチャンバー法、ダブルチャンバー法、削孔法等の透気試験がコンクリートの品質評価の手法として研究・検討されている。その中でダブルチャンバー法透気試験であるトレント法透気試験³⁾は、試験装置が市販されているため、容易に測定が可能であり、この結果を用いて養生効果の評価や各種物性との比較による耐久性の評価に関する研究が行われている。

本報告は、トレント法透気試験により各種養生の効果の評価およびコンクリートの含水率とトレント法透気係数の関係からトレント法透気試験を行う材齢の検討を目的に、非塗布剤系養生として封かん養生、水中養生、散水養生、保湿養生を、塗布剤系養生として収縮低減剤、けい酸塩系表面含浸材(以下、けい酸塩系と略記)、シラン系表面含浸材(以下、シラン系と略記)、膜養生剤の塗布により養生を行ったコンクリートを対象としてトレ

ント法透気試験を行った結果についてまとめたものである。養生効果の評価は、促進中性化試験、塩化物イオン浸透性試験、反発度と透気性の関係により検討した。測定材齢の検討は、材齢 1, 3, 6 ヶ月で測定した水セメント比 50, 60, 80%の封かん養生期間の異なるコンクリートの含水率およびトレント法透気係数より行った。

2. 実験概要

2.1 用語

本報告で用いる用語を以下のように定義する。

養生期間：非塗布剤系養生においてコンクリートの打設から養生を終了するまでの期間

前養生期間：非塗布剤系養生においてコンクリートの打設から所定の養生を開始するまでの期間

塗布材齢：塗布剤系養生において塗布剤を塗布する材齢

無塗布：塗布剤系養生の比較用として塗布剤を塗布しない試験体のこと(同一の塗布材齢 1 日と封かん養生 1 日、塗布材齢 5 日と封かん養生 5 日が対応)

(物性)変化率：各種物性において封かん 1-5 を 100 とした場合の比率を求めたもの

2.2 実験ケース

Table1 に、非塗布剤系養生における養生種類を、Table2 に、塗布剤系養生における養生種類を示す。非塗布剤系養生は、封かん養生(以下封かんと略記)5 ケース、水中養生 1 ケース、散水養生 1 ケース、保湿養生 5 ケースの計 12 ケース、塗布剤系養生は、収縮低減剤 4 ケース、けい酸塩系 4 ケース、シラン系 4 ケース、膜養生剤 3 ケースの計 15 ケースとした。

2.3 試験体およびコンクリートの調査

2.3.1 試験体

* 技術研究所 建設材料研究グループ

** 土木事業本部 プロジェクト技術部

Fig.1 に、500×500×150mm の試験体を示す。試験は、トレント法透気試験、含水率の測定、反発度の測定では500×500×150mm の寸法の試験体の500×500mm の面を試験面として使用し、促進中性化試験、塩化物イオン浸透性試験では100×100×400mm の寸法の試験体を3分割したものの100×400mm の型枠の側面に接していた面を試験面として使用した。100×100×400mm の試験体の分割は、塗布剤の塗布後、材齢28日で行った。試験面以外の4面は乾燥の影響を受けないようにエポキシ樹脂を塗布した。

2. 3. 2 コンクリートの調合および使用材料

Table3 に、コンクリートの調合および使用材料を示す。本実験で使用したコンクリートの調合は、水セメント比50, 60, 80%の3種類とした。使用材料は、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材につくば市産川砂(S1:密度2.50g/cm³)、つくば市産砕砂(S2:密度2.59g/cm³)、粗骨材につくば市産砕石(密度2.66g/cm³)を使用した。

2. 4 養生

試験体の前養生はコンクリートの打設後、所定の前養生期間または塗布材齢まで温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内において型枠内で静置した。

封かん養生、膜養生剤による養生は、材齢1日で型枠を取り外した後、500×500mm および100×400mm の試験面を封かん養生ではビニールを用いて封かんし、膜養生剤

では所定量を塗布した。封かん養生は、所定の養生期間終了後でビニールを取り外し、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。収縮低減剤、けい酸塩系およびシラン系による養生は、材齢1日または5日まで封かん養生を行った後、試験面に塗布した。養生実施後は、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。塗布剤の塗布方法は、試験面が鉛直となるように試験体を設置した後に刷毛を用いて塗布剤を塗布した。塗布剤の塗布量は、メーカーの示す標準塗布量を目標としたが、だれ等により標準塗布量を塗布できない場合にはその時点で塗布を終了した。標準塗布量を塗布できなかった原因は、コンクリート表面が緻密であったことおよび含水状態が湿潤であったことによると考えられる。

実際の塗布量は標準塗布量に対して、水セメント比50%で60~70%、水セメント比60%で70~90%、水セメント比80%で100%であった。

2. 5 トレント法透気試験の概要³⁾

2. 5. 1 測定原理

トレント法透気試験は、外部チャンバーを有したダブルチャンバー法と呼ばれるもので、コンクリートのごく表面の影響を排除できるものである。装置は、Fig.2(左)に示すように、内部チャンバー(i:インナーチャンバー)と外部チャンバー(e:エクスターナルチャンバー)を有

Table1 養生種類(非塗布剤系養生)

養生種類		試験体記号	前養生期間	養生期間
非塗布剤系養生	封かん養生	封かん 1-1	1日	1日
		封かん 1-3	1日	3日
		封かん 1-5	1日	5日
		封かん 1-7	1日	7日
		封かん 1-28	1日	28日
	水中養生	水中 1-28	1日	28日
		散水養生	散水 1-5	1日
	保湿養生	保湿 1-5	1日	5日
		保湿 1-10	1日	10日
		保湿 1-28	1日	28日
保湿 3-5		3日	5日	
保湿 3-10	3日	10日		

Table2 養生種類(塗布剤系養生)

養生種類		試験体記号	塗布材齢
塗布剤系養生	収縮低減剤	収縮 A1	1日
		収縮 A5	5日
		収縮 B5	5日
		収縮 C5	5日
	けい酸塩系	けい酸 A1	1日
		けい酸 A5	5日
		けい酸 B5	5日
		けい酸 C5	5日
	シラン系	シラン A1	1日
		シラン A5	5日
シラン B5		5日	
シラン C5		5日	
膜養生剤	膜 A1	1日	
	膜 B1	1日	
	膜 C1	1日	

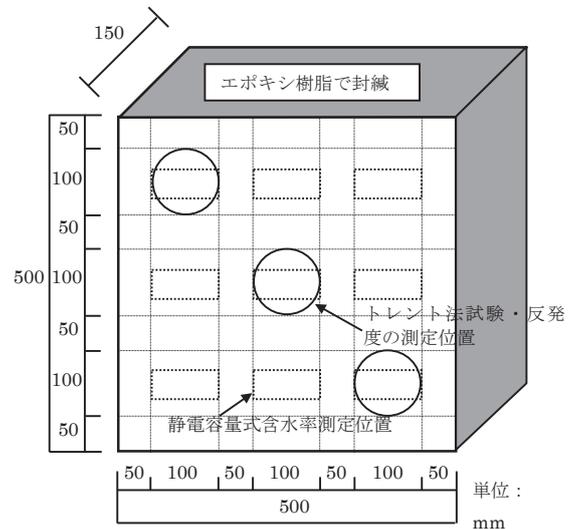


Fig.1 500×500×150mm の試験体図

Table3 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 (%)	組骨材の最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)						
			水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤	
			W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2
50	45.0	20	185	370	184	570	955	3.70	1.11
60	46.6	20	185	308	196	608	955	3.08	0.93
80	50.0	20	195	244	213	663	908	2.44	0.61

【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:つくば市産砕石(密度2.66g/cm³)
 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)

するものであり、外部チャンバーの役割はその圧力が内部チャンバーの圧力変化に従いバランスする ($P_e=P_i$) ため、コンクリート表層部が多孔質で横からの空気の流入の影響を大きく受ける場合に、保護層として働き、その結果、内部チャンバーの空気の流れは Fig. 2 (左) に示すコンクリート表面に直交方向に制御されたものとなる。

2. 5. 2 測定方法

Fig. 2 (右) に、トレント法透気試験装置を示す。測定は、以下の手順により実施した。

1. 付属のコンピュータのスタートボタンを押す。
2. 真空ポンプが起動し、電磁弁 1 (Valve1) が閉まる。
3. 10 秒後にセルを試験体の表面に設置する。このとき、両チャンバーの圧力は独立して低下し、 P_i が内部チャンバーの圧力、 P_e が外部チャンバーの圧力となる。
4. 圧力 P_i があらかじめ定義された $P_e=30\text{hPa}$ まで低下した時に電磁弁 2 (Valve2) が閉まり、内部チャンバーの減圧を停止する。
5. 内部チャンバーはコンクリート表面からの空気の流入によりその圧力 P_i は徐々に増加する。このとき外部チャンバーの圧力は $P_e=P_i$ となるように空気量を制御する。
6. $t=60\text{s}$ 時の内部チャンバーの圧力を P_0 として測定を開始する。測定間隔は 15 秒とし、測定項目は時間 (t)、圧力 P_i (hPa)、圧力 P_e (hPa)、内部チャンバーでの圧力差 ΔP (hPa) $=P_i(t)-P_0$ とする。
7. 測定は以下のいずれか 1 つに達した段階で停止する。
 - a) $\Delta P_{\text{ieff}}(t) = \Delta P(t) - \Delta P_{\text{cal}}(t) \geq 20\text{hPa} *$
 - b) $t=360\text{s}$ (6min)
 - c) 測定値 L があらかじめ設定した L_{max} に到達した場合

* ΔP_{ieff} : 内部チャンバーでの有効圧力上昇
 ΔP_{cal} : 校正時に計測した圧力増加

2. 5. 3 トレント法透気係数 kT の算出

内部チャンバーの気圧上昇の測定値からトレント法透気係数 kT を算出するには、コンクリートを均質体と仮定し、透気試験において気圧変化を生じる影響領域が時間とともに深部へ拡大するといったモデル化を行い⁴⁾、圧縮性流体の一次元流れを表す Hagen-Poiseuille 式を適用し、

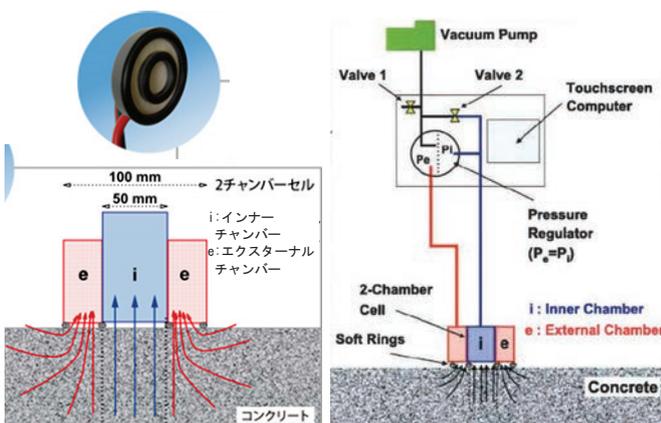


Fig. 2 トレント法透気試験の概要図

式(1)によりトレント法透気係数を算出し、その結果から式(2)により影響深さ L を算出する。

$$kT = \left[\frac{V_c}{A} \frac{\mu}{2\varepsilon P_a} \frac{\ln \frac{P_a + \Delta P_{\text{ieff}}(t_f)}{P_a - \Delta P_{\text{ieff}}(t_f)}}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \quad (1)$$

$$L \approx 1000 \left[\frac{2kTP_a t_f}{\varepsilon \mu} \right] \quad (2)$$

ここに、

- kT : トレント法透気係数 (m^2)
- L : 影響深さ (mm)
- 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 ($=2.0 \times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)
- P_a : 大気圧 (N/m^2)
- ΔP_{ieff} : 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) ($=60\text{s}$)

2. 5. 4 トレント法透気係数の評価

Dr. Torrent は、トレント法透気係数の評価を Table4 に示す 5 段階のグレードで評価する方法を提案している⁵⁾。測定マニュアルでは、静電容量式含水率計により測定した含水率が 5.5%以下で測定することと示されているが、測定材齢によりグレード評価の結果が変わる場合があり、同手法が必ずしも普遍的な評価方法であるとは限らないため注意が必要である。

2. 6 各種物性の試験方法

各種物性の試験は、Table5 に示した項目について以下の方法により行った。

2. 6. 1 含水率の測定

含水率の測定は、市販の静電容量式含水率計により行った。

2. 6. 2 促進中性化試験

促進中性化試験は、JSCE-K-571 に従い促進開始材齢を 28 日として、促進開始から 13 週で中性化深さを測定した。中性化深さの測定は、割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して、コンクリート表面から赤紫色に呈色する

Table4 トレント法透気係数のグレード評価

評価	1. 優	2. 良	3. 一般	4. 劣	5. 極劣
トレント法透気係数測定値	0.001~ 0.01	0.01~ 0.1	0.1~ 1	1~ 10	10~ 100

Table5 試験項目・試験方法および試験体寸法

試験項目	試験方法	試験体寸法 (mm)
含水率の測定	市販の静電容量式含水率計により測定	500×500×150
トレント法透気試験	文献 ³⁾ に準拠して測定	500×500×150
促進中性化試験	JSCE-K-571 を準用	100×100×400
塩化物イオン浸透性試験	JSCE-K-571 に準拠	100×100×400
反発度の測定	JIS A 1155 に準拠	500×500×150

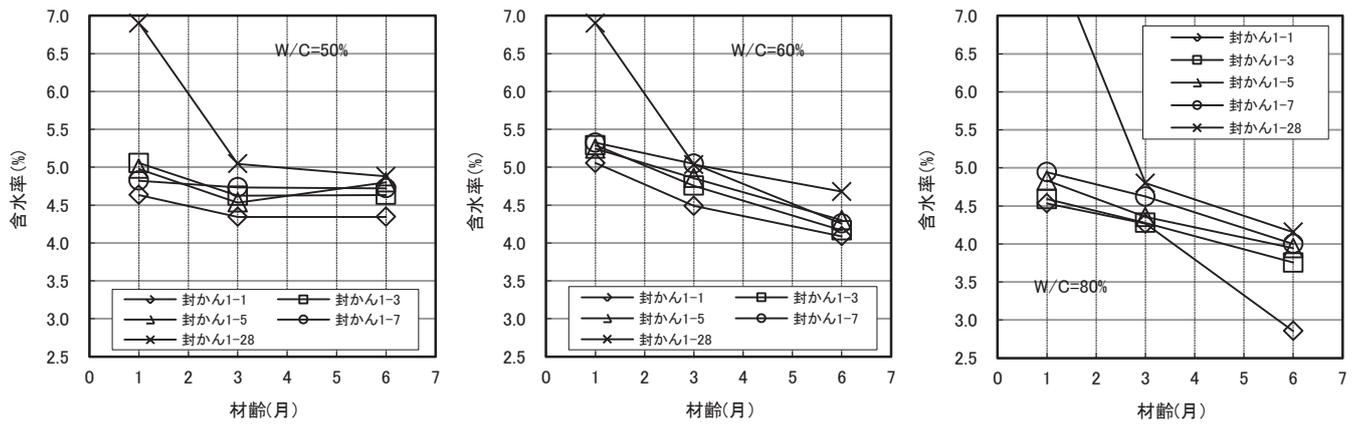


Fig. 3 材齢と含水率の関係

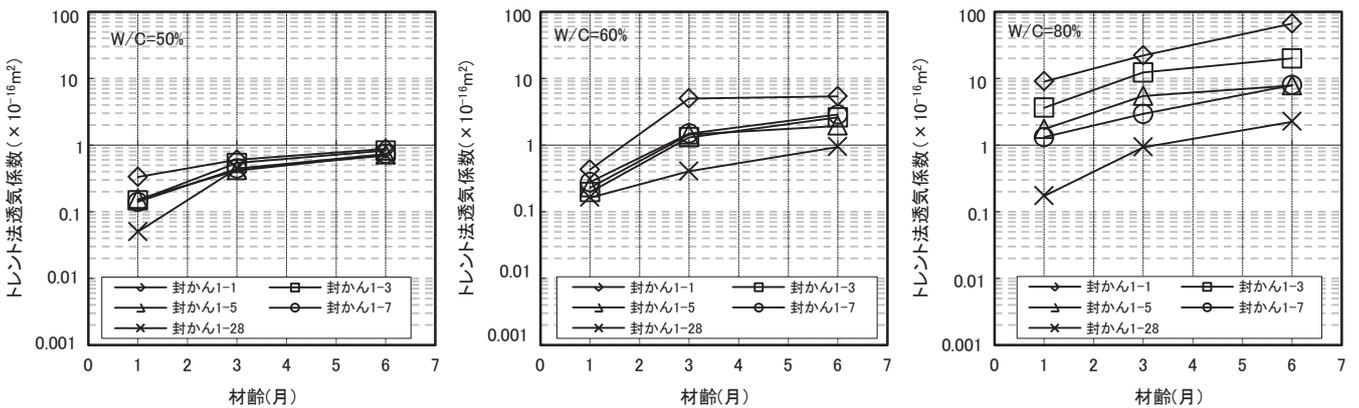


Fig. 4 材齢とトレント法透気係数の関係

部分までの距離を割裂面の両面の計 10 点を測定し、その平均値を中性化深さとした。

2. 6. 3 塩化物イオン浸透性試験

塩化物イオン浸透性試験は、JSCE-K-571 に従い浸漬開始材齢を 28 日として、浸漬開始から 13 週で、塩化物イオン浸透深さを測定した。塩化物イオン浸透性深さの測定は、割裂面に 0.1%フルオレセインナトリウム水溶液および 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧して、コンクリート表面から蛍光を発する部分までの距離を割裂面の両面の計 10 点を測定し、その平均値を塩化物イオン浸透深さとした。

2. 6. 4 反発度の測定

反発度の測定は、リバウンドハンマーにより行った。測定は、JIS A 1155 に準拠して、1 箇所当たりの測定点数を 9 点とし、その平均を反発度とした。

3. 実験結果

3. 1 測定材齢の検討

本節では、封かん養生の材齢 1, 3, 6 ヶ月で測定した含水率およびトレント法透気係数により、測定材齢を統一することの必要性を示し、含水率の違いや水和による組織の緻密度の違い等から測定材齢の検討を行った。

3. 1. 1 材齢と含水率の関係

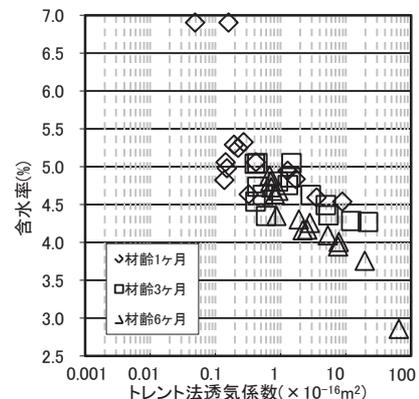


Fig. 5 測定材齢別のトレント法透気係数と含水率の関係

Fig. 3 に、材齢と含水率の関係を示す。含水率は、材齢の経過に伴い小さくなる傾向にあった。傾きは、水セメント比 50%において材齢 1 ヶ月から 3 ヶ月で大きいが、材齢 3 ヶ月から 6 ヶ月で小さく、水セメント比 60, 80%において材齢 1 ヶ月から 6 ヶ月で大きくなった。含水率は、封かん養生期間が長くなるほど大きくなり、材齢が経過した場合でも養生期間による順番に違いが認められなかった。封かん 1-28 (封かん養生期間 28 日) の含水率は、材齢 1 ヶ月において封かん養生終了日の測定のため、他の封かん養生と比較して大きくなったが、材齢 3 ヶ月以降で、他の封かん養生と同様な値となった。

3. 1. 2 材齢とトレント法透気係数の関係

Fig. 4 に、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、材齢の経過に伴い大きくなる傾向になった。傾きは、水セメント比 50%において材齢 1 ヶ月から 3 ヶ月で大きい、材齢 3 ヶ月から 6 ヶ月で小さく、水セメント比 60, 80%において材齢 1 ヶ月から 6 ヶ月で大きくなった。トレント法透気係数は、同一の養生、調査において材齢の違いにより最大で 10 倍程度の差が認められ、グレード評価を行う場合にはグレード評価に違いが生じる場合があると考えられる。

3. 1. 3 トレント法透気係数と含水率の関係

Fig. 5 に、測定材齢別のトレント法透気係数と含水率の関係を示す。トレント法透気係数は、含水率が小さくなるのに伴い大きくなった。また、測定材齢別の含水率の範囲は、材齢 1 ヶ月で 8.0 以上~4.5%、材齢 3 ヶ月で 5.0 ~4.3%、材齢 6 ヶ月で 4.9~2.9%であり、材齢 3 ヶ月で材齢 1, 6 ヶ月と比較してばらつきは小さく、安定した。

3. 1. 4 測定材齢の検討

トレント法透気係数は、既往の研究⁶⁾によると、含水率が 5.5~4.0%の範囲であれば含水状態の影響を受けにくいといわれている。本研究においては、Fig. 3, Fig. 4 に示すように、材齢の経過に伴い、含水率は低下し、トレント法透気係数は増加したことから、トレント法透気係数は含水状態の影響を受けると考えられる。また、トレント法透気係数は、同一養生、調査において材齢の違いにより最大で 10 倍程度の差が認められた。Table 4 に示すグレード評価を行う場合には、含水率が 5.5%以下で測定を行うことと示されているが、材齢の経過に伴う含水率の低下により 1 グレードの違いが生じる場合があることや水和の進行による緻密度の変化がグレード評価に影響を与える可能性があることから測定材齢を統一する必要がある。測定材齢に関しては、含水状態のばらつきや水和の進行によるばらつきが大きい材齢 1 ヶ月を避け、便宜上早期に品質の評価を行うために材齢 3 ヶ月とするこ

ととした。
なお、含水率が小さい場合および測定材齢が 3 ヶ月以降である場合には、トレント法透気係数は大きくなる傾

向にあり、評価としては安全側となることから、その値を採用しても良いと考えられる。材齢 3 ヶ月以前における測定や含水率が大きい場合の測定については、補正等の検討が必要である。

3. 2 トレント法透気係数

3. 2. 1 静電容量式含水率

非塗布剤系養生および塗布剤系養生を行った材齢 3 ヶ月のコンクリートの含水率の範囲は、5.0~4.3%であった。

3. 2. 2 トレント法透気係数

Fig. 6 に、非塗布剤系養生と塗布剤系養生における養生種類別のトレント法透気係数を示す。

封かん養生のトレント法透気係数は、封かん 1-1 が $0.60 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して封かん 1-28 が $0.44 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 0.73 倍となり、養生期間が長いほど小さくなった。前養生期間 1 日のトレント法透気係数は、保湿 1-5 が $0.56 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して保湿 1-28 が $0.15 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 0.26 倍となり、養生期間が長いほど小さくなった。これは、前養生期間 3 日においても同様の傾向であった。

各種非塗布剤系養生のトレント法透気係数における同一養生期間の封かん養生との比較では、養生期間 28 日において封かん 1-28 が $0.44 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して水中 1-28 が $0.05 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 0.11 倍、保湿 1-28 が $0.15 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 0.34 倍と小さくなり、養生期間 5 日において、封かん 1-5 の $0.41 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して、保湿 1-5 が $0.56 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 1.4 倍、保湿 3-5 が $0.54 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 1.3 倍と大きくなった。

各種塗布剤系養生のトレント法透気係数の塗布材齢の違いによる比較では、収縮 A1 が $0.37 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して収縮 A5 が $0.50 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 1.4 倍、けい酸 A1 が $0.77 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対してけい酸 A5 が $0.95 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 1.2 倍と塗布材齢が遅くなると大きくなったのに対して、シラン A1 が $0.68 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対してシラン A5 が $0.35 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と 0.51 倍と塗布材齢が遅くなると小さくなった。

各種塗布剤系養生のトレント法透気係数における同一塗布材齢別の無塗布との比較では、塗布材齢 1 日において無塗布の封かん 1-1 が $0.60 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して収縮 A1 が

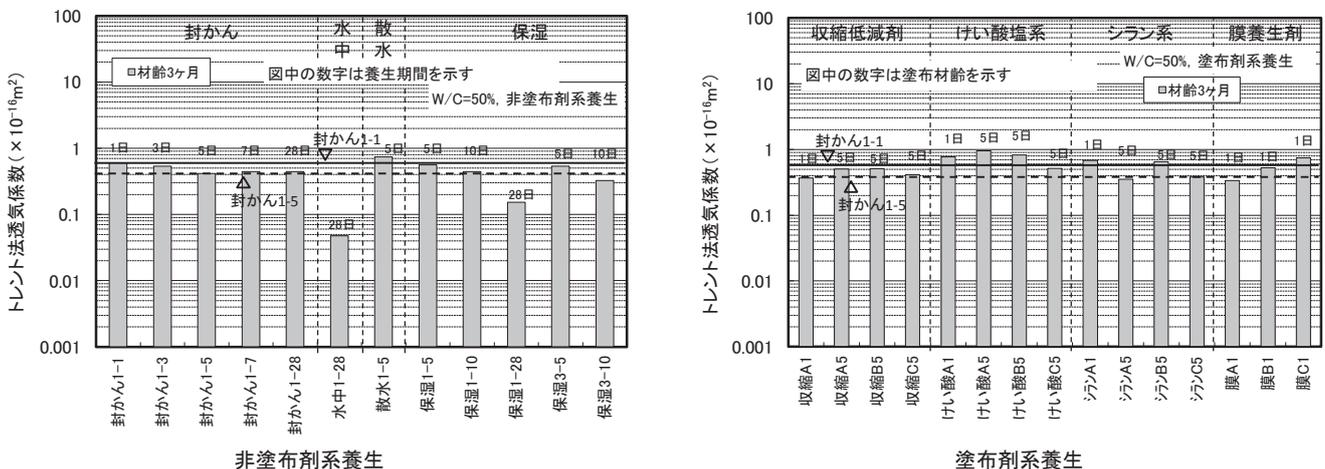


Fig. 6 養生種類別のトレント法透気係数

0.37×10⁻¹⁶m²と0.62倍,膜A1が0.34×10⁻¹⁶m²と0.57倍,膜B1が0.53×10⁻¹⁶m²と0.88倍と小さくなったのに対して,けい酸A1が0.77×10⁻¹⁶m²と1.3倍,シランA1が0.68×10⁻¹⁶m²と1.1倍,膜C1が0.75×10⁻¹⁶m²と1.3倍と大きくなり,塗布材齢5日において無塗布の封かん1-5が0.41×10⁻¹⁶m²に対し,収縮A5が0.50×10⁻¹⁶m²と1.2倍,収縮B5が0.51×10⁻¹⁶m²と1.2倍,けい酸A5が0.95×10⁻¹⁶m²と2.3倍,けい酸B5が0.82×10⁻¹⁶m²と2.0倍,けい酸C5が0.51×10⁻¹⁶m²と1.2倍,シランB5が0.65×10⁻¹⁶m²と1.6倍と大きくなったのに対して,収縮C5が0.41×10⁻¹⁶m²と1.0倍,シランA5が0.35×10⁻¹⁶m²と0.85倍,シランC5が0.38×10⁻¹⁶m²と0.93倍と同等若しくは小さくなり,同

系統の養生種類でも差は大きくなった。

3.3 トレント法透気係数と各種物性

3.3.1 促進中性化深さ

Fig.7に,非塗布剤系養生と塗布剤系養生の養生種類別の中性化速度係数を示す。

非塗布剤系養生における養生期間の違いによる中性化速度係数は,封かん養生と保湿養生は養生期間が長いほど小さくなり,保湿養生では前養生期間が異なる場合においても同様な傾向であった。各種養生方法における同一養生期間での比較では,養生期間28日では水中1-28は封かん1-28より小さく,保湿1-28は封かん1-28より

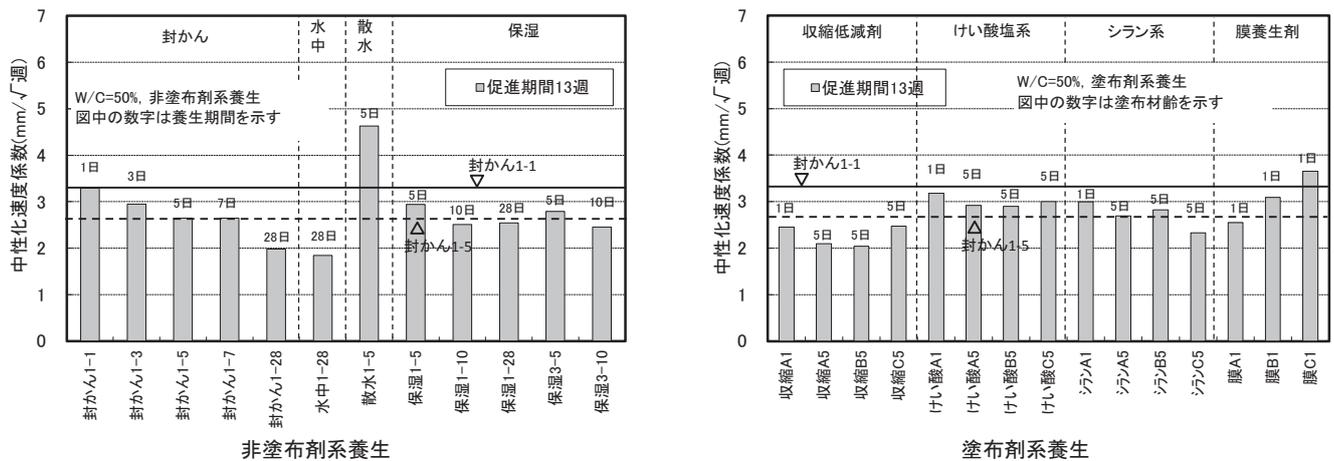


Fig.7 養生種類別の中性化速度係数

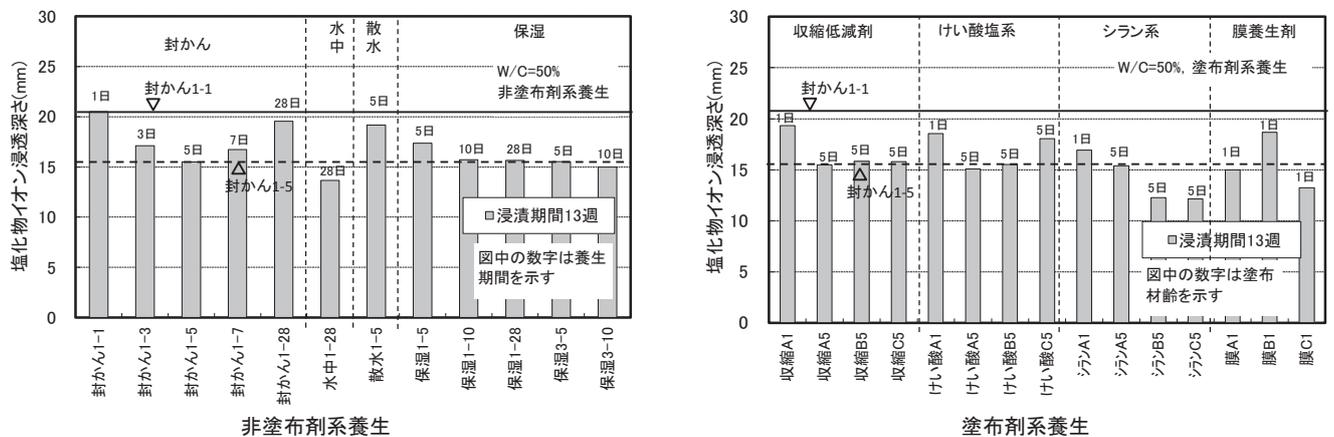


Fig.8 養生種類別の塩化物イオン浸透深さ

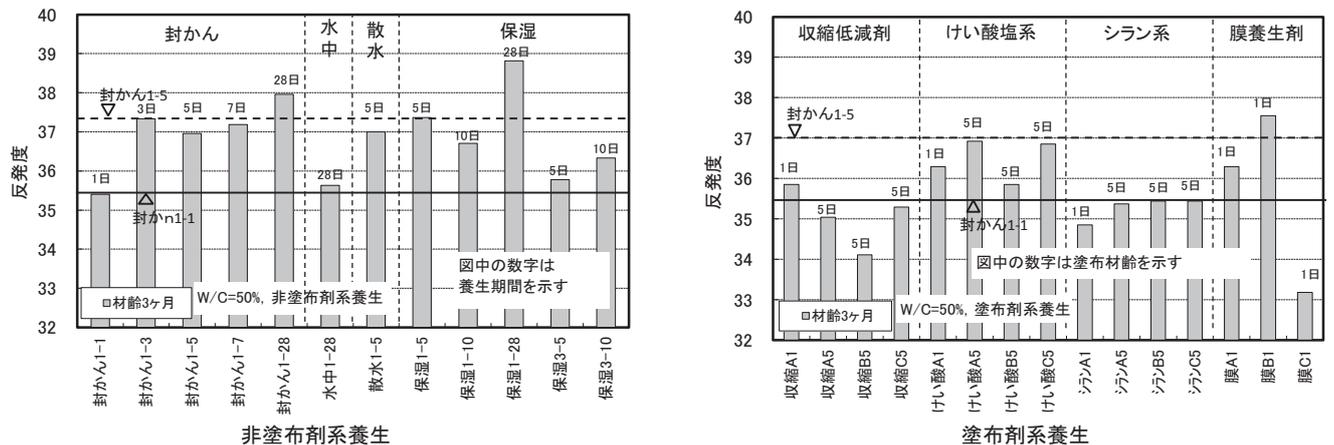


Fig.9 養生種類別の反発度

大きくなり、養生期間 5 日では散水 1-5 は封かん 1-5 より大きく、保湿 1-5 と保湿 3-5 は同等であった。

塗布剤系養生における塗布材齢の違いによる中性化速度係数は、収縮 A、けい酸 A、シラン A とともに塗布材齢が遅いほど小さくなった。同一塗布材齢における無塗布との比較では、塗布材齢 1 日において膜 C1 は大きくなり、それ以外では小さくなり、塗布材齢 5 日ではけい酸 A5、けい酸 B5、けい酸 C5、シラン B5 で大きくなり、それ以外では同等もしくは小さくなった。

3. 3. 2 塩化物イオン浸透深さ

Fig. 8 に、非塗布剤系養生と塗布剤系養生における塩化物イオン浸透深さを示す。

非塗布剤系養生における養生期間の違いによる塩化物イオン浸透深さは、封かん養生で養生期間 5 日までは養生期間が長くなるのに伴い小さくなるが、養生期間 7 日、28 日では養生期間が長いほど大きくなり、保湿養生では養生期間が長いほど小さくなった。各種養生方法における同一養生期間での比較では、養生期間 28 日では水中 1-28 と保湿 1-28 は封かん 1-28 より小さく、養生期間 5 日では散水 1-5 と保湿 1-5 は封かん 1-5 より大きく、保湿 3-5 は封かん 1-5 と同等であった。

塗布剤系養生における塗布材齢の違いによる塩化物イオン浸透深さは、収縮 A、けい酸 A、シラン A とともに塗布材齢が遅いほど小さくなった。同一塗布材齢における無塗布との比較では、塗布材齢 1 日において収縮 A1、けい酸 A1、シラン A1、膜 A1、膜 B1、膜 C1 で小さくなり、塗布材齢 5 日においてシラン B5、シラン C5 で小さくなり、けい酸 C5 で大きくなり、それ以外では同等であった。

3. 3. 3 反発度

Fig. 9 に、非塗布剤系養生と塗布剤系養生における養生種類別の反発度を示す。非塗布剤系養生における養生の違いによる反発度は、封かん養生、保湿養生ともに養生期間が長くなるのに伴い大きくなるが、封かん 1-3、保湿 1-10 等一部に傾向から外れるものが認められた。各種養生方法における同一養生期間での比較では、養生期間 28

日では水中 1-28 は封かん 1-28 より小さく、保湿 1-28 では封かん 1-28 より大きくなり、養生期間 5 日では散水 1-5、保湿 1-5 は封かん 1-5 と同等であり、保湿 3-5 は封かん 1-5 より小さくなった。

塗布剤系養生における塗布材齢の違いによる反発度は、収縮 A で塗布材齢が遅いほど小さくなり、けい酸 A、シラン A では大きくなった。同一塗布材齢における無塗布との比較では、塗布材齢 1 日において収縮 A1、けい酸 A1、膜 A1、膜 B1 で大きくなり、シラン A1、膜 C1 で小さくなり、塗布材齢 5 日において収縮 C5、シラン A5、シラン B5、シラン C5 で同等、それ以外は小さくなった。

3. 3. 4 トレント法透気係数と各種物性

Fig. 10 に、養生種類別の各種物性において封かん 1-5 を 100 とした場合の比率(以下、変化率と略記)を示す。なお、横軸の養生種類はトレント法透気係数変化率の小さい順に並べ直した。各変化率が右上がりであれば、トレント法透気係数と正の相関があるといえる。

非塗布剤系養生では中性化速度係数の変化率は、比率は異なるが、封かん 1-7、封かん 1-28、保湿 1-10 を除き概ね右上がりの傾向となり、塩化物イオン浸透深さの変化率は若干右上がりの傾向が認められるがその傾きが小さく、反発度の変化率は傾きが非常に小さいとともに右上がりの傾向も認められなかった。一方、塗布剤系養生において全ての塗布剤のトレント法透気係数の関係を調べた結果、中性化速度係数、塩化物イオン浸透深さ、反発度ともにトレント法透気係数と同様な右上がりの傾向は認められなかった。このことから、塗布剤種類別に検討を行った。Fig. 10(右)に、塗布剤系養生の各種物性の変化率を示す。Fig. 10(左)と同様に、横軸はトレント法透気係数の小さい順とした。塗布剤種類別に検討した結果、中性化速度係数の変化率はシラン系および膜養生剤において右上がりの傾向となったが、塩化物イオン浸透深さの変化率および反発度の変化率は、右上がりの傾向は認められなかった。また、全ての物性の変化率は収縮低減剤およびけい酸塩系においては右上がりの傾向は認められなかった。

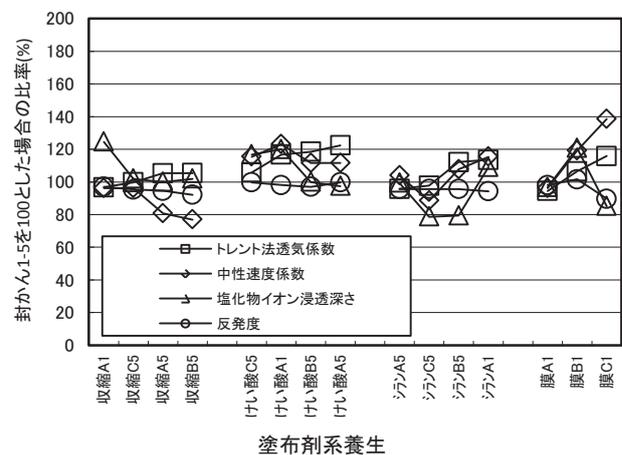
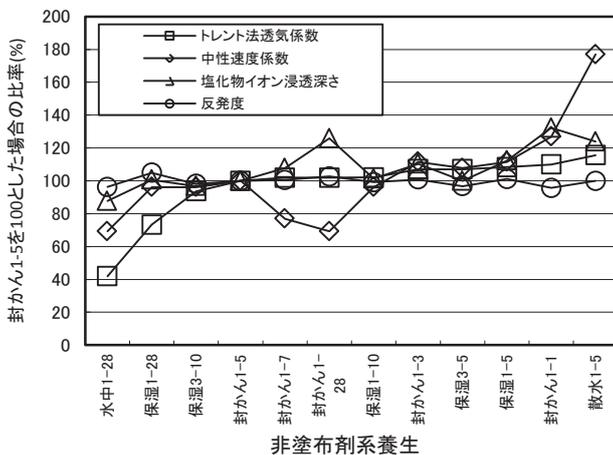


Fig. 10 養生種類別の各種物性において封かん 1-5 を 100 とした場合の比率

4. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 含水率は、材齢の経過に伴い小さくなる傾向にあった。傾きは、水セメント比 50%において材齢 3 ヶ月から 6 ヶ月で小さくなったほかは、大きくなった。
- 2) トレント法透気係数は、材齢の経過に伴い大きくなる傾向となった。傾きは、水セメント比 50%において材齢 3 ヶ月から 6 ヶ月で小さくなったほかは、大きくなった。
- 3) トレント法透気係数は、含水率が小さくなるのに伴い大きくなった。また、測定材齢別の含水率の範囲は、材齢 3 ヶ月で材齢 1, 6 ヶ月と比較してばらつきは小さく、安定した。
- 4) トレント法透気係数のグレード評価を行う場合、材齢の経過に伴う含水率の低下により 1 グレードの違いが生じる場合があることや水和の進行による緻密度の変化がグレード評価に影響を与える可能性があることから、測定材齢を統一する必要がある。
- 5) トレント法透気係数の測定材齢は、含水状態のばらつきや水和の進行によるばらつきの大きい材齢 1 ヶ月を避け、便宜上早期に品質の評価を行うために材齢 3 ヶ月とすることとした。
- 6) 非塗布剤系養生におけるトレント法透気係数は、封かん養生および保湿養生では養生期間が長いほど小さくなった。同一養生期間の封かん養生との比較では、養生期間 28 日において封かん 1-28 に対して水中 1-28, 保湿 1-28 が小さくなり、養生期間 5 日において封かん 1-5 に対して保湿 1-5, 保湿 3-5 が大きくなった。
- 7) 塗布剤系養生におけるトレント法透気係数は、塗布材齢が遅くなると収縮 A, けい酸 A では大きくなり、シラン A は小さくなった。無塗布との比較では、塗布材齢 1 日において収縮低減剤で 0.62 倍、シラン系で 1.1 倍、けい酸塩系で 1.3 倍、膜養生剤で 0.57~1.3 倍、塗布材齢 5 日において収縮低減剤で 1.0~1.2 倍、シラン系で 0.85~1.6 倍、けい酸塩系で 1.2~2.3 倍と同系統の養生においても違いが認められた。
- 8) 各種物性とトレント法透気係数の関係を検討した結果、

非塗布剤系養生では中性化速度係数、塩化物イオン浸透深さで正の相関が認められ、塗布剤系養生ではシラン系、膜養生剤の中性化のみで正の相関が認められた。

本実験において、トレント法透気係数と各種物性の比較により、非塗布剤系養生では一部で養生効果が認められたが、塗布剤系養生では概ね養生効果が認められなかった。これは、塗布剤の塗布材齢が封かん養生終了日であるため含水率が大きかったこと、水セメント比が 50% であり比較的緻密であったこと、鉛直面での施工であったことから塗布量が少なくなったことにより養生効果が十分得られなかったことによると考えられる。今後は、最適な塗布時期や塗布方法、含水率による補正方法等を検討し明確に効果が確認できるか検討する予定である。

謝辞

本研究にあたっては、コンクリート表層品質および試験方法に関して日本大学湯浅教授のご指導を、日本大学の学生には測定にあたり協力を頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリートライブラリー137 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案), 土木学会, pp.13-22,2012
- 2) 土木学会編：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計施工指針(案), 土木学会, pp.55-67, 2005
- 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
- 4) 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
- 5) 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-C E)*, pp985-992,1995
- 6) R.J. Torrent : Permea TORR Air permeability tester : Improvements, Applications, and R&D,

Quality evaluation of concrete with different curing and preparation

Kazuhiro MITANI, Seiji KANAMORI, Akira NONAKA, Hideaki YATOMO and Keizo KANZAKI

Abstract

Authors evaluated the effects of various curing of concrete from the results of surface air permeability test. We measured the air permeability of concrete of 50% water-cement ratio with various curing. For comparison, we measured the air permeation to the carbonation, the chloride diffusion and the rebound degree of the concrete, and we examined these relations to the air permeability.

By considering the relationship between the air permeability and moisture content of the concrete, it was thought the measurement time of air permeability.

Key words: Quality evaluation, Concrete surface, Air permeability, Durability, Surface strength, Curing method
