

簡易透気試験による表層コンクリートの品質評価方法に関する研究 —各種養生剤が透気性におよぼす影響—

日本生産工(院) ○野中 英 日大生産工 湯浅 昇

1. はじめに

近年、初期養生不足により、表層コンクリートは乾燥による強度低下、ひび割れや劣化因子の早期進入による耐久性の低下などによる不具合が認められる場合がある。これらのことからコンクリートの初期養生は非常に重要といえるが、施工工程等により早期に乾燥が開始される場合があるのが現状である。現在、構造体コンクリートの品質管理は、コンクリート打設時に採取した供試体の圧縮強度により行われており、養生不足により表層コンクリートの品質に変化が生じた様な場合には評価が困難である。そこで筆者らは、表層コンクリートの品質の一つである透気性を構造体コンクリートに適用可能な方法として、J.W.Figg の発想に基づいた簡易透気試験を整理・発展させ実用化してきた¹⁾。

本報告では、表層コンクリートの品質向上を目的として、型枠養生、水中養生、散水養生、マット養生、シート養生などの各種養生や、表面含浸剤や表面被覆材などの養生剤を塗布したコンクリートの簡易透気速度を測定し、含水率、促進中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ、トレント法透気係数、表層強度との関係を検討した。

2. 実験概要

(1)実験ケース

表 1 に、実験ケース一覧を示す。養生の仕様

は、①型枠養生 1 種類、②水中、散水、ビニール、テープ、マット養生 5 種類、③表面含浸材 9 種類、④表面被覆材 3 種類の計 18 種類とした（以下、①型枠養生、②水中、散水、ビニール、テープ、マット養生を非塗布剤系養生、③表面含浸材、④表面被覆材を塗布剤系養生と略

表 1 実験ケース一覧

養生の仕様			試験体 記号*	脱型・養生 開始材齢	乾燥開 始材齢
大分類	中分類	小分類			
型枠養生	型枠養生		1-1-1	1 日	1 日
			1-5-5	5 日	5 日
水中、散水、ビニール、テープ、マット養生	水中養生		2-1-1	1 日	1 日
			3-1-5	1 日	5 日
	散水養生*2		4-1-3	1 日	3 日
			4-1-5	1 日	5 日
			4-1-7	1 日	7 日
			4-1-28	1 日	28 日
	ビニール封緘		5-1-5	1 日	5 日
			6-1-5	1 日	5 日
	保湿養生テープ		6-1-10	1 日	10 日
			6-1-28	1 日	28 日
			6-3-5	3 日	5 日
			6-3-10	3 日	10 日
表面含浸材	収縮低減剤系	収縮低減剤 A	7-1-1	1 日	1 日
			7-5-5	5 日	5 日
		収縮低減剤 B	8-5-5	5 日	5 日
	ケイ酸塩系	収縮低減剤 C	9-5-5	5 日	5 日
		ケイ酸塩系 A	10-1-1	1 日	1 日
			10-5-5	5 日	5 日
		ケイ酸塩系 B	11-5-5	5 日	5 日
	シラン系	ケイ酸塩系 C	12-5-5	5 日	5 日
		シラン系 A	13-1-1	1 日	1 日
			13-5-5	5 日	5 日
表面被覆材	パラフィン系	シラン系 B	14-5-5	5 日	5 日
		シラン系 C	15-5-5	5 日	5 日
	アクリル系	パラフィン系 A	16-1-1	1 日	1 日
		パラフィン系 B	17-1-1	1 日	1 日
		アクリル系	18-1-1	1 日	1 日

*1 試験体記号の最初の数字は養生の仕様、2 番目の数字は脱型・養生開始材齢、3 番目の数字は乾燥開始材齢を示している。

*2 散水養生は、朝、夕の 2 回霧吹きにより表面が湿潤になるまで水を噴霧した。

*3 吸水マット養生は、吸水させた保湿性のマット（水溶性ウレタン）を試験体表面に取り付けることによりコンクリート湿潤状態に保つ養生方法である。

Rapid Testing Method for Air Permeability
of Surface Layer Concrete with Drilled Hole
— Air-permeability of different concrete properties —
Akira NONAKA and Noboru YUASA

記)。また、一部の養生では、脱型・養生開始材齢、乾燥開始材齢を変化させたため、実験ケース数は計 29 ケースとなった。

(2)試験体およびコンクリートの調合

簡易透気試験、トレント法透気試験、含水率の測定、反発度の測定、ひっかき試験では、試験体の寸法を 500×500×150mm とし、500×500mm の面を試験面として使用した。促進中性化試験、塩化物イオン浸透性試験では、100×100×400mm の試験体を 3 分割し、100×400mm で型枠側面に接している部分を試験面として使用した。

コンクリートの調合は、水セメント比 50% の 1 種類とした。表 2 に、使用したコンクリートの調合および使用材料を示す。

(3)コンクリートの養生

コンクリートは、打設後脱型・養生開始材齢まで 20℃、60%RH の恒温恒湿室内で型枠内に静置した。このとき、打設面はビニールで封緘し乾燥を防止した。非塗布剤系養生は、脱型・養生開始材齢に型枠を取り外した後、各々の方法で養生を開始し、乾燥開始材齢で養生を終了させ、20℃、60%RH の恒温恒湿室内に静置した。塗布剤系養生は、脱型・養生開始材齢に型枠を取り外した後、表面含浸材および表面被覆材を試験面に塗布した。表面含浸材および表面被覆材の塗布後は、20℃、60%RH の恒温恒湿室内に静置した。表面含浸材および表面被覆材の塗布量は、メーカーの示す標準塗布量を目標としたが、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。

(4)試験方法

表 3 に、試験項目、試験方法および測定材齢

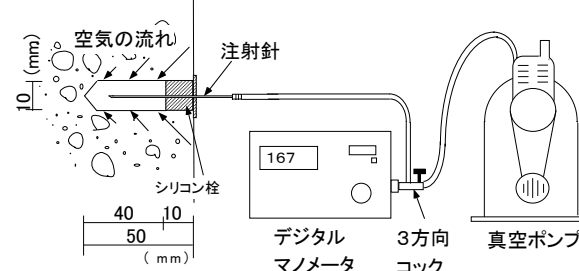


図 1 簡易透気試験装置

を示す。簡易透気試験¹⁾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実施するものである。測定は、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、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。

このとき、 X_1 および X_2 は、 X_1 を 21.3kPa、 X_2 を 25.3kPa (このとき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。

トレント法透気試験は、文献²⁾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。

3. 実験結果および考察

図 2、図 3 に、それぞれ非塗布系養生剤、塗布系養生剤の養生の違いによる簡易透気速度を示す。

非塗布剤系養生の簡易透気速度 (図 2) は、材齢 3 ヶ月までは乾燥開始までの期間が長いほど (試験体記号の 3 番目の数字が大きいほど) 遅くなった。同一の乾燥開始材齢 (試験体

表 2 コンクリートの調合および使用材料

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							空気量 (%)	スランプ (cm)	圧縮強度 (N/mm ²)
		W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2			
50	47.5	180	360	408	408	902	3.70	1.11	5.8	19.5	34.6
【使用材料】											
セメント：普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm ³)											
細骨材：S1、つくば市田中産川砂 (密度 2.50g/cm ³)											
S2、つくば市田中産砕砂 (密度 2.59g/cm ³)											
粗骨材：G、つくば市田中産砕石 (密度 2.66g/cm ³ 、G _{max} =20mm)											
Ad1：P 社製 AE 減水剤 (4 倍希釈液)、Ad2：P 社製 AE 剤 (100 倍希釈液)											

表 3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	測定材齢
簡易透気試験	文献 1) に準拠して測定	1,3,6 ヶ月
トレント法透気試験	文献 2) に準拠して測定	1,3,6 ヶ月
含水率の測定	市販の挿入型電気抵抗式含水率計により測定	1,3,6 ヶ月
ひっかき傷幅の測定	文献 3) により測定	1,3,6 ヶ月
反発度の測定	JIS A 1155 に準拠して測定	1,3,6 ヶ月
中性化抵抗性試験	JSCE-K 571 に準拠	促進 4,13,26 週
塩化物イオン浸透性試験	JSCE-K 571 に準拠	促進 4,13 週

記号の最後の数字が同じ場合)での簡易透気速度は、ビニール封緘で型枠養生と同程度であったが、散水養生、養生テープ、吸水マットでは、型枠養生より大きくなった。材齢6ヶ月の結果は材齢3ヶ月と比較すると、簡易透気速度の増加率が大きくなり、養生による差は少なくなる結果となった。

塗布剤系養生の簡易透気速度(図3)は、収縮低減剤系、ケイ酸塩系、シラン系ともに脱型・養生開始材齢1日(試験体記号の2番目の数字が1)で塗布した場合に型枠養生1日と比べて小さくなり、脱型・養生開始材齢5日(試験体記号の2番目の数字が5)で塗布した場合には、型枠5日養生と比べて同等か大きくなる場合が多くなった。表面被覆材における簡易透気速度は、型枠1日養生と比較して測定材齢1ヶ月では小さくなったが、測定材齢3ヶ月以降では大きくなった。

図4に、 $\phi 6\text{mm}$ 挿入型電気抵抗式含水率(0~1cm)と簡易透気速度の関係を示す。簡易透気速度は、 $\phi 6\text{mm}$ 電気抵抗式含水率の低下に伴い大きくなった。また、材齢の違いでは、材例の経過に伴い含水率の範囲は小さくなるが、簡易透気速度の範囲は大きくなった。

図5に、材齢3ヶ月の簡易透気速度と促進13週の中性化深さの関係を示す。促進中性化深さは、簡易透気速度が速くなるのに伴い大きくなる傾向を示した。この傾向は、塗布材系養生では明確に認められたが、塗布材系養生ではばらつきが大きく明確ではなかった。

図6に、材齢3ヶ月簡易透気速度と浸漬13週塩化物イオン浸透深さの関係を示す。簡易透気速度と塩化物イオン浸透深さは、非塗布剤系養生において簡易透気速度が大きくなるのに伴い塩化物イオン浸透深さは大きくなる傾向を示したが、塗布剤系養生では、簡易透気速度が大きくなるのに伴い塩化物イオン浸透深さは小さくなり、通常とは逆の傾向を示した。これは、塗布剤系養生の中でシラン系が撥水性で

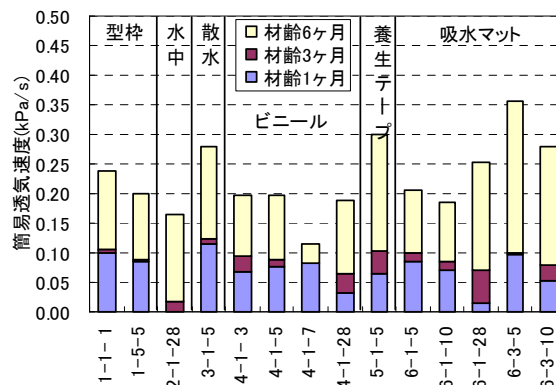


図2 養生の違いによる簡易透気速度 (非塗布剤系養生)

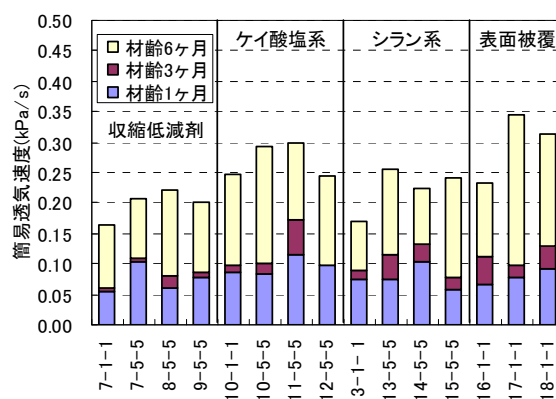


図3 養生の違いによる簡易透気速度 (塗布剤系養生)

あり、乾燥時には他の材料と同程度に乾燥するため簡易透気速度は大きくなるが、水中に浸漬した場合には、コンクリート中への水分の進入を阻害ことにより、塩化物イオン浸透深さは小さくなったためと考えられる。

図7に、簡易透気速度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、簡易透気速度が大きくなるのに伴い大きくなる。この関係は材齢が早いほど明確であり、材齢の経過に伴い同様な傾向ではあるがばらつきが大きくなった。

図8に、材齢3ヶ月における簡易透気速度と反発度(%)の関係を示す。簡易透気速度と反発度は、非塗布剤系養生、塗布剤系養生ともに明確な傾向は認められなかった。

図9に、材齢3ヶ月における簡易透気速度とひっかき傷幅(mm)の関係を示す。簡易透気速度とひっかき傷幅は、非塗布剤系養生、塗布剤系養生ともに明確な傾向は認められなかった。

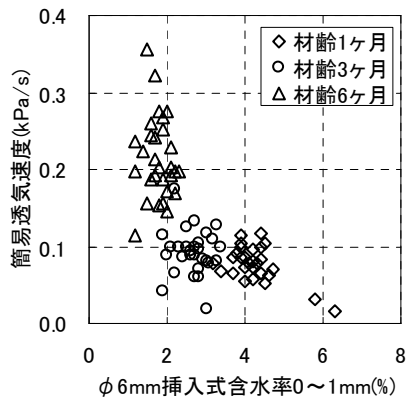


図4 挿入型電気抵抗式含水率(0~1cm)と簡易透気速度の関係

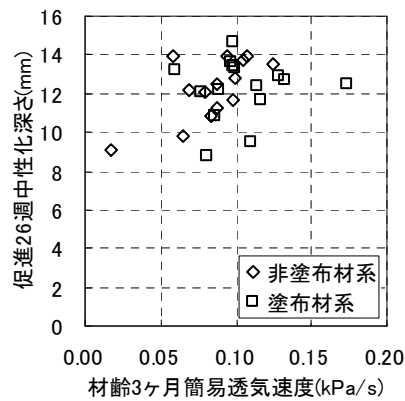


図5 材齢3ヶ月簡易透気速度と促進13週中性化深さの関係

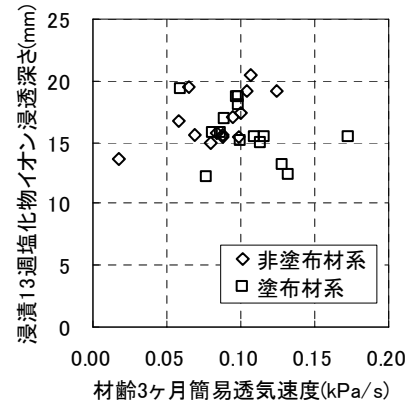


図6 材齢3ヶ月簡易透気速度と浸漬13週塩化物イオン浸透深さの関係

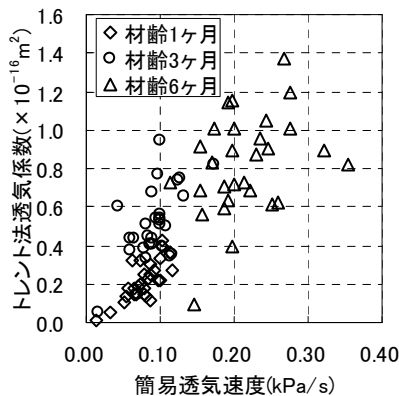


図7 簡易透気速度とトレント法透気係数の関係

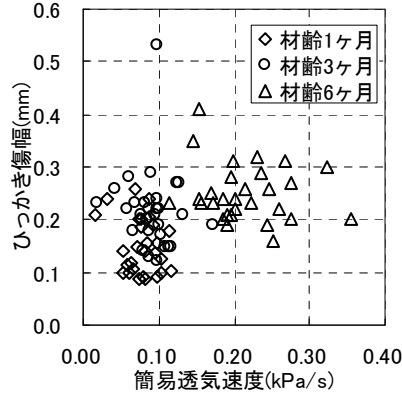


図8 簡易透気速度と反発度の関係

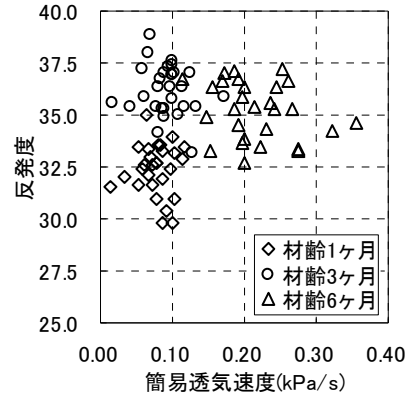


図9 簡易透気速度とひっかき傷幅の関係

4. まとめ

本研究において、簡易透気速度による養生の外の評価および含水率、中性化、塩害、表層強度との関係について検討した。

- (1)非塗布剤系養生の簡易透気速度は、材齢3ヶ月まで乾燥開始までの期間が長いほど小さくなり、同一の乾燥開始材齢では、型枠養生と比較しビニール封緘で同程度、散水、テープ、吸水マットでは大きくなったが、材齢6ヶ月ではその差は小さくなった。
- (2)塗布剤系養生の簡易透気速度は、型枠養生と比較して材齢1日で塗布した場合に小さく、材齢5日で塗布した場合には大きなものが多かった。
- (3)簡易透気速度と各種物性の関係は、促進中性化、トレント法透気係数明確な傾向が認められたが、塩化物イオン浸透深さ、反発度、ひっかき傷幅では明確な傾向は認めら

れなかった。

本研究では、養生の効果を透気性により評価することは困難であった。これは、同一のコンクリートを用いた場合に中性化で1~2割程度の養生効果しかなく、透気試験のばらつきにより養生効果が明確に認められなかったと考えられる。今後は、評価方法を含めさらなる検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1)笠井，湯浅，松井，野中：ドリル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)，日本建築学会大会学術講演概要集，A-1，pp.699-704，1999.9
- 2)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
- 3)湯浅，笠井，松井：ひっかき傷によるコンクリートの表層強度推定方法，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.709-710，1999.9