

論文 細骨材率が異なるコンクリートの表層品質確保のための実験的検討

陽田 修*1・井林 康*2・田中 泰司*3・吉原 敬*4

要旨：本研究では、表層品質確保を目的として、ブリーディング性状の支配因子として細骨材率に着目し、細骨材率が異なり、フレッシュ性状が異なるコンクリートの表層品質を施工方法で確保する手段として、透水型枠による効果を実構造物モデルの試験体により実験的検討を行った。その結果、透気係数と吸水抵抗性、表層部の密度から、細骨材率が異なるコンクリートに対して透水型枠により表層品質の向上が確認できた。しかし、乾燥環境では、普通型枠と比べ乾燥により生じる空隙と微細なひび割れの影響が大きくなると考えられた。

キーワード：表層品質，透水型枠，細骨材率，ブリーディング性状

1. はじめに

コンクリート構造物の表層品質は、構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすとして、表層品質向上を目的とした施工方法及び管理手法など、多くの研究や取組みが行われている。

著者らは施工者と共に、新潟県長岡市及び糸魚川市において、既設構造物を対象に表層品質の調査を行った。その結果、工事完成時点で確認されていない微細なひび割れが、両地域の既設構造物表面に共通して見られた。

既設構造物に確認された微細なひび割れは、ブリーディング水によりコンクリート表層部に形成された脆弱層が原因と考えられるが、両地域では、使用される骨材が異なるため細骨材率が異なるコンクリートで施工されている。表-1 に両地区で細骨材率が異なる配合の事例を示す。

本研究では、ブリーディング性状の支配因子として細骨材率に着目し、細骨材率が異なりフレッシュ性状が異なるコンクリートの表層品質を施工方法で確保する手段として、透水型枠による効果を実験により評価した。

事前の調査では、一般的な環境下で、工事完成後1年程度で表面に微細なひび割れが生じていることから、実験は、1年程度の材齢期間で生じる表層品質の変化を調査した。また、表層品質の変化は乾燥環境で顕著となると考え、材齢期間は降雨の影響を受けない条件とした。

表層品質は、微細なひび割れに影響すると考えた表層部の密実性を評価する目的で、吸水抵抗性を表面吸水試験 (SWAT)、透気性を表層透気試験 (トレント法) により評価した。また、試験体からコアを採取し、スライスしたコアの吸水性能と密度から、表面から内部へ深さ方向の品質を評価した。

表-1 新潟県長岡市と糸魚川市の配合事例

配合名	地区区分	細骨材率
21-8-40 高炉B種	長岡市	38.2%
	糸魚川市	43.5%
24-8-25 高炉B種	長岡市	40.5%
	糸魚川市	46.7%

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、幅 3.6m×高さ 1.8m×壁厚 60 cmの垂直壁を2体製作した。試験体の幅 1/4 (90 cm) の表裏両面に、透水型枠を配置した。また、いずれの試験体も壁型枠の片面にアクリル板を使用した透明型枠を配置し、コンクリートの充填状況を目視で確認できる構造とした。尚、実験に使用した透水型枠は、透水シート (織布) と排水シート (不織布) を二層接着した一枚仕様のシートを型枠に貼り、型枠継ぎ目から排水する構造とした。

2.2 コンクリートの配合

表-2 に実験に使用したコンクリートの示方配合を示す。コンクリートは、新潟県糸魚川市内のレディーミクスコンクリート工場で製造したコンクリートを使用した。ブリーディング水の発生量を変化させることを目的として、工場の JIS 規格配合を基準に、細骨材率のみを増減し、単位骨材量が異なる配合とした。

また、表-3 に細骨材と粗骨材の詳細を示す。使用したコンクリートの細骨材は、川砂と山砂を質量比 50 : 50 で混合して使用している。これは、粒度調整が目的ではなく、製造工場の材料入手上の都合である。

*1 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 特命教授 (正会員)

*2 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*3 東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 特任准教授 博士(工学) (正会員)

*4 (株) 笠原建設

表-2 コンクリート示方配合

試験体 No.	呼び強度 (N/mm ²)	組骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
							水 W	セメント C	細骨材① S	細骨材② S	粗骨材 G	混和剤 A
1号	24	25	8	53.5	4.5 ±1.5	53.4	156	292 (高炉 B)	491	479	876	2.92
2号						40.0			365	361	1127	
JIS						46.7			428	420	1001	

表-3 使用骨材

骨材	種類	産地品名	粒の大きさ	粗粒率
細骨材①	川砂	姫川産	5 mm	2.70
細骨材②	山砂	上越市 大口産	5 mm	2.80
粗骨材	川砂利 25~5	姫川産	25 mm	6.90

表-4 打込み後の養生条件

部位	型枠解体材齢日数	追加養生材齢日数	湿潤期間
正面(上)	5	9	14
正面(下)	5	18	23
背面(上)	12	2	14
背面(下)	12	11	23

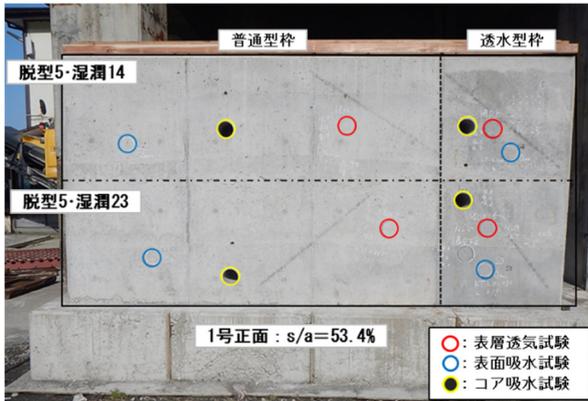


図-1 1号試験体(s/a=53.4%) 正面

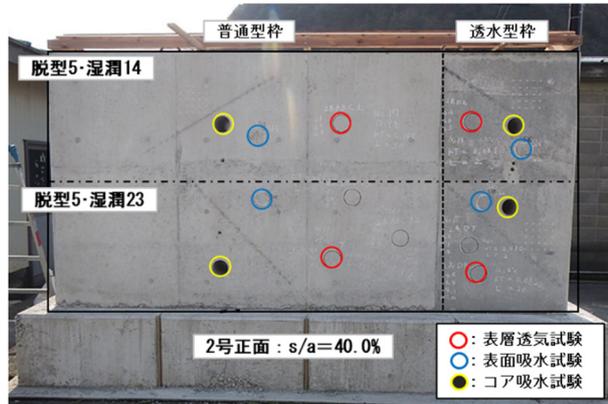


図-3 2号試験体(s/a=40.0%) 正面

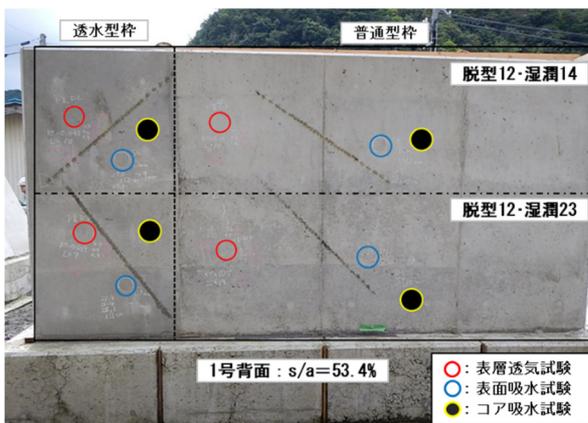


図-2 1号試験体(s/a=53.4%) 背面

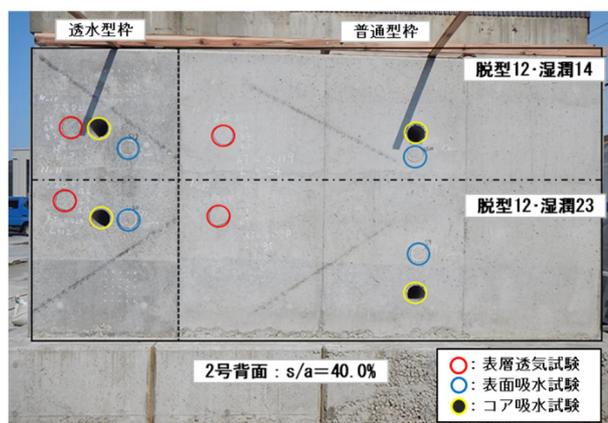


図-4 2号試験体(s/a=40.0%) 背面

2.3 コンクリートの打込み方法

コンクリートの投入は、コンクリートホッパー（容量0.3m³）を使用し、試験体に設置した縦シュートへコンクリートを吐出し、縦シュートのサニーホース（8インチ）の長さを調整することで投入高さを1.0m以内に抑え、投

入時の材料分離を防止した。また、パイプレーターによる横流しを行わないよう、1層の打込み高さが50cm程度となる間隔に投入を行った。

締固めは、高周波内部振動機（直径：43mm、振動数：200~240Hz）1台を使用し、投入時の一次締固めを挿入

表-5 試験項目および方法

試験項目	試験方法	試験日
スランプ	JIS A 1101 に準拠	打込み時 (2016/11/4)
空気量	JIS A 1128 に準拠	打込み時 (2016/11/4)
ブリーディング量	JIS A 1123 に準拠 ただし、コンクリート温度は荷下ろし時の温度、試験温度は室温。	打込み時 (2016/11/4)
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠	材齢 28 日, 材齢 91 日
吸水抵抗性	表面吸水試験 (SWAT) (2.5 (1) 参照)	材齢 132 日, 材齢 314 日
透気係数	表層透気試験 (トレント法) (2.5 (2) 参照)	材齢 132 日, 材齢 314 日
コアの吸水率, 含水率	(2.5 (3) 参照)	材齢 314 日

表-6 表面吸水試験の評価基準

	良	一般	劣
コンクリート 吸水抵抗性 P_{600} (ml/m ² /s)	<0.25	0.25 ~ 0.5	0.5<

表-7 トレント法による評価基準

	優	良	一般	劣	極劣
透気係数 kT (10 ⁻¹⁶ m ²)	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.1	0.1 ~ 1.0	1.0 ~ 10	10 ~ 100

間隔 50 cm 以内で、それぞれの締固め時間を 15 秒で行った。1 層のコンクリート投入完了後、二次締固めを挿入間隔 50 cm 以内で、それぞれの締固め時間を 15 秒で行った。締固め時間は、試験体の部位で締固め度を平均化する目的で統一した。

2.4 打込み後の養生方法

表-4 に打込み後の養生方法を示す。

型枠存置期間を試験体の正面と背面で異なる日数とした。また、型枠解体後に農業用ビニールシート(厚さ 0.02 mm) で追加養生を行った。追加養生は、試験体の上半分と下半分で異なる養生期間とした。型枠存置期間及び追加養生期間を合わせて湿潤養生期間とした。

湿潤養生後、降雨、風の影響を受けない環境を想定し試験体をシートで覆った。シートは、試験体に密着せず試験体とシートの間に 5 cm 程度の通気層を設けた。

2.5 試験項目および方法

試験項目を表-5 に示す。また、表層品質評価試験方法を下記に示す。尚、それぞれの試験は、図-1~図-4 に示す箇所で行った。

(1) 表面吸水試験 (SWAT)

材齢 132 日経過後と材齢 314 日経過後の 2 回、表面吸水試験 (SWAT) ²⁾により、コンクリート吸水抵抗性の指標とされる表面吸水速度 P_{600} の測定を行った。尚、2 回の試験箇所は、図-1~図-4 に示した同じ箇所で行った。

表面吸水速度は、測定開始から 10 分経過した時点で、コンクリート表面が水をどれだけの速度で吸い込んでいくを示す数値である。得られた表面吸水速度を、文献 3)4)にある吸水抵抗性の指標である表-6 の値と比較し、

検討を行った。

(2) 表層透気試験 (トレント法)

材齢 132 日経過後と材齢 314 日経過後の 2 回、表層透気試験 (トレント法) ⁵⁾により、透気係数 kT の測定を行った。尚、2 回の試験箇所は、図-1~図-4 に示した同じ箇所で行った。透気試験は、コンクリート表層を真空状態にし、内部の空気が吸引され真空状態が回復するまでの時間から表層コンクリートの透気性を評価する手法である。得られた透気係数を、文献 5)に示される透気性の指標である表-7 の値と比較し検討を行った。

(3) コンクリートコアの吸水試験

材齢 314 日経過後、試験体からコンクリートコア ($\phi 100$ mm) を採取しコアの吸水試験と密度の測定を行った。

コア表面から 20 mm と 40 mm で切断し、吸水前の体積及び質量を計測後、水槽に 5 日間浸漬した。浸漬期間は、コアの質量がほぼ上限となった期間である。浸漬の水深は約 30 cm、浸漬中は水道水を常時通水し、浸漬期間の水温は 15°C~17°C であった。

吸水後の質量を計測後、105±5°C で 6 日間炉乾燥を行い、乾燥後の質量を計測した。乾燥温度は、粗骨材の吸水率試験法 (JIS A 1110) に準拠し、乾燥期間は、質量が最も小さい値となった日数である。

3. 実験結果と考察

3.1 コンクリートのフレッシュ性状

コンクリート打込み時に測定したフレッシュ性状を表-8 に示す。

表-8 コンクリートのフレッシュ性状

細骨材率区分	スランブ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)
40.0%	8.5	4.0	0.086
53.4%	6.5	5.5	0.067

表-9 圧縮強度試験結果

細骨材率区分	材齢 28 日 (N/mm ²)	材齢 91 日 (N/mm ²)
40.0%	31.9	42.0
53.4%	30.5	39.1

ブリーディング試験は、「コンクリートのブリーディング試験方法 (JIS A 1123)」を準拠したが、打込み現場で試験を行ったため、コンクリート温度は荷下ろし時の温度とし、試験は試験体に隣接する屋内で行った。

配合条件として細骨材率の変化に対して単位水量を変化させていないため、細骨材率 40.0%のフレッシュ性状は、スランブが規格値内であるが、材料分離の状況が若干見られた。細骨材率 53.4%のフレッシュ性状は、材料分離の傾向は見られないものの、スランブが小さくワーカビリティが劣る状況であった。また、ブリーディング量は、想定どおり細骨材率 53.4%の配合で少ない結果となったが、細骨材率 40.0%の配合でも 0.1 cm³/cm²以下と少ない結果となった。これは、細骨材に川砂と山砂を混合していることで粒度分布が良くセメント粒子や骨材粒子間に拘束されない自由水⁹⁾が少ないコンクリート配合であったと推測する。

3.2 圧縮強度試験結果

標準養生供試体の材齢 28 日及び材齢 91 日における圧縮強度試験結果を表-9 に示す。細骨材率区分で比較すると、細骨材率 53.4%で小さな値となっている。これは、単位セメント量が同一のため、粗骨材量の差が強度の差に影響したものと考える。

3.3 表面吸水試験 (SWAT) 結果

表面吸水速度 P_{600} の測定結果を細骨材率、型枠仕様、養生方法で整理したものを材齢期間別に、図-5 及び図-6 に示す。測定時の表面含水率は、材齢 132 日が平均 5.2%、材齢 314 日が平均 4.5%であった。尚、図中に示した点線は、表-6 に示す評価基準「一般」の上限値 0.5 を示している。

材齢 132 日の結果 (図-5) で、 $P_{600}=0.935$ の値は、砂すじ上の測点であった。これを除き、全ての測定箇所ですべて「良」～「一般」の値となった。また、透水型枠では、打ち重ね線に近接した 1 測点 ($P_{600}=0.163$) を除き、ほぼ

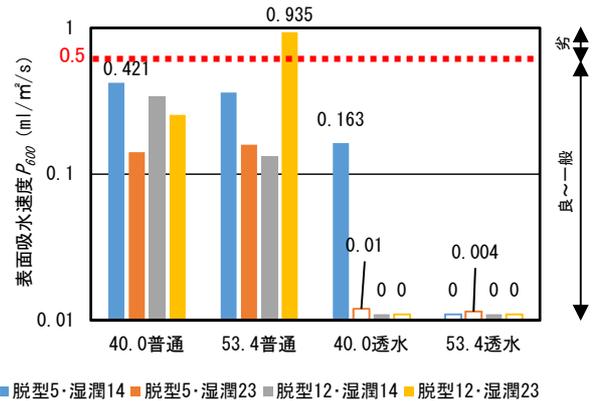


図-5 材齢 132 日の表面吸水速度 P_{600}

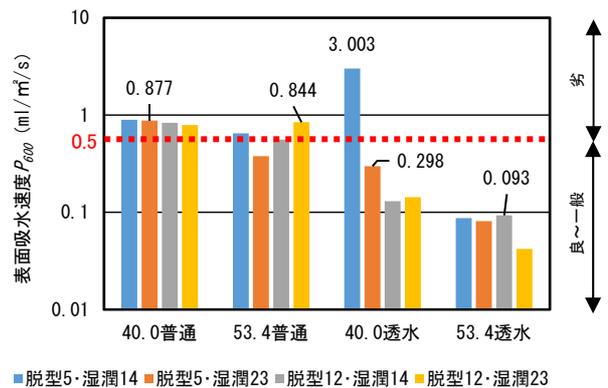


図-6 材齢 314 日の表面吸水速度 P_{600}

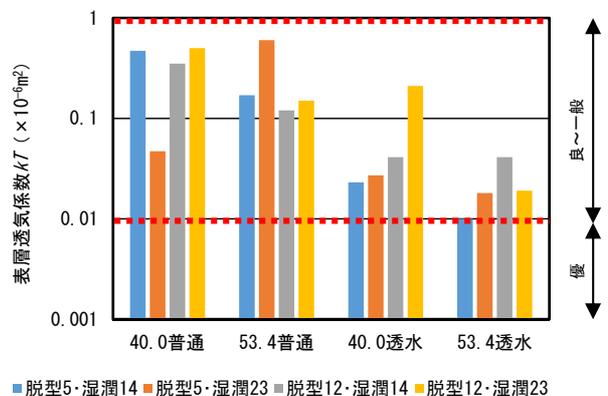


図-7 材齢 132 日の表層透気係数 kT

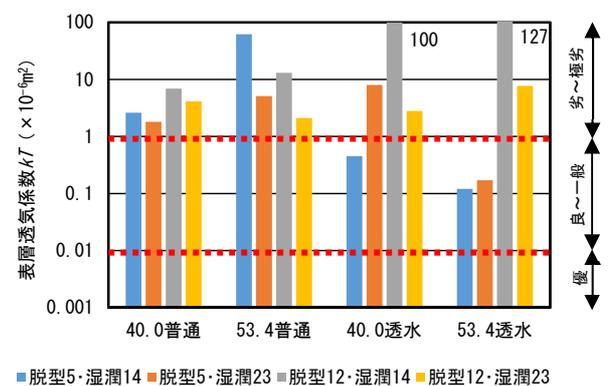


図-8 材齢 314 日の表層透気係数 kT

$P_{600}=0$ となった。

材齢 314 日の結果 (図-6) で、吸水抵抗性が全体的に著しく低下した。これは、試験体を覆ったシート内の温度と湿度の記録から、材齢 132 日までは、平均気温が約 $3.0^{\circ}\text{C}\sim 5.0^{\circ}\text{C}$ 、湿度が約 72%~80%であり表層部の乾燥が進まない環境であったと考えられる。これに対し材齢 314 日までの約 6 か月間は、平均気温が 20°C 以上、平均湿度が約 60%~75%となり乾燥が進行して毛細管空隙が大きくなり、同時に微細なひび割れも生じたものと推測する。

型枠の仕様について考察する。透水型枠では、材齢 314 日の結果 (図-6) で、吸水カップが打ち重ね線に近接し $P_{600}=3.003$ となった 1 測点を除き「良」~「一般」の評価となり、普通型枠との違いが確認された。しかし、材齢 132 日からの吸水速度の上昇は、普通型枠と比べて著しく大きく、透水型枠は乾燥の影響が大きいと考えられる。

細骨材率について考察する。材齢 132 日では、全体的に吸水速度が小さいこともあり、明確な違いは見られない。材齢 314 日では、普通型枠と透水型枠ともに、僅かであるが細骨材率 53.4%の吸水速度が小さい結果となった。細骨材率が多い分、空隙構造に違いがあるものと推測する。

養生方法について考察する。脱型時期及び追加養生日数で吸水速度に差異は見られない。これは、打設日が 11 月 4 日であったため、湿潤養生期間の平均気温が 10°C 程度、最低気温が 4°C 程度と低く、初期の水和反応が進まず、また、雨天が多く乾燥も進まなかったため、脱型日数 7 日、湿潤養生日数 9 日の差では、表層品質に差異が生じなかったと推測する。

3.4 表層透気試験 (トレント法) 結果

トレント法により、透気係数 kT を測定した結果を細骨材率、型枠仕様、養生方法で整理したものを材齢期間別に、図-7 及び図-8 に示す。測定時の表面含水率は材齢 132 日が平均 5.2%、材齢 314 日が平均 4.5%であった。尚、図中に示した点線は、表-7 に示す評価基準「一般」の上限値 1.0 と「優」の上限値 0.01 を示している。

材齢 132 日の結果 (図-7) で全ての測定箇所「良」~「一般」の評価となっていたが、材齢 314 日経過後の結果 (図-8) では、大半の測点が「劣」~「極劣」の評価となった。

これは、表面吸水試験結果と同様に、材齢 314 日までの約 6 か月間で乾燥が進行して毛細管空隙が大きくなり透気係数が大きくなったと推測する。また、透気係数が大きくなる傾向が測定箇所によって異なり、 $100\times 10^{-16}\text{ m}^2$ 以上の異常値もあることから、不規則に発生する微細なひび割れが影響した可能性がある。これは、コンクリー

トの色合いにより微細なひび割れを確認できる範囲があったことから推測する。

型枠の仕様について考察する。材齢 132 日の結果 (図-7) では、透水型枠が普通型枠と比べて良い評価となっているが、材齢 314 日の結果 (図-8) では、一部を除き、透水型枠が悪い評価となっている。

表面吸水試験結果と同様に、透水型枠は乾燥の影響が大きいと考えられる。

細骨材率について考察する。材齢 132 日の結果では同じ型枠の仕様で細骨材率 53.4%の透気係数が細骨材率 40.0%より低い結果となっている。しかし、材齢 314 日の結果では、透水型枠の 4 測点 (脱型 5・湿潤 14, 脱型 5・湿潤 23) で細骨材率 53.4%の透気係数が細骨材率 40.0%より低い結果となっている他は、逆の結果を示している。表面吸水試験と比較して、空隙構造よりも乾燥による微細なひび割れが影響していると推測する。

養生方法については、表面吸水試験結果と同様に脱型時期及び追加養生期間で透気係数に差異は見られない。

以上から、表面吸水試験と同様に長期の乾燥により生じた空隙と微細なひび割れの影響を評価したと考えられるが、数値の変化が大きいことから、表層透気試験ではより深い範囲を評価したと推測する。

3.5 コンクリートコアの吸水試験結果

吸水前の質量及び体積の測定結果から、コアの密度平均値 (それぞれ 4 コア) を表-10 に示す。

吸水後の質量に対する乾燥後の質量から、材齢 314 日のコンクリートコアの吸水性能をコア吸水率 (式 (1) 参照) として測定し、コンクリート表面を基準に、深さ 0~20 mm のコア吸水率を図-9 に、深さ 20~40 mm のコア吸水率を図-10 に示す。

$$Q = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 Q : コア吸水率 (%)

m_1 : 乾燥後の質量 (g)

m_2 : 吸水後の質量 (g)

コアの密度測定結果から、深さ 0~20 mm で透水型枠の密度が普通型枠と比較して僅かに大きくなっている。しかし、深さ 20~40 mm では、逆の傾向となっている。コア切断面にエントラップトエアによる気泡が見られたことから、締固め時間を 15 秒 2 回と統一した締固め作業が深さ 0~40 mm の範囲では不十分であったと考えられる。しかし、深さ 0~20 mm では、透水型枠の排水効果でごく表層部で密実性が向上し、僅かに密度が大きくなったと考える。

深さ 0~20 mm のコア吸水率から、コンクリート表面から 20 mm までの深さは、普通型枠と比較して透水型枠の

表-10 コアの密度測定結果

細骨材率	0~20mm 平均値		20~40mm 平均値	
	普通型枠 (g/cm ³)	透水型枠 (g/cm ³)	普通型枠 (g/cm ³)	透水型枠 (g/cm ³)
40.0%	2.241	2.265	2.250	2.235
53.4%	2.252	2.268	2.314	2.203

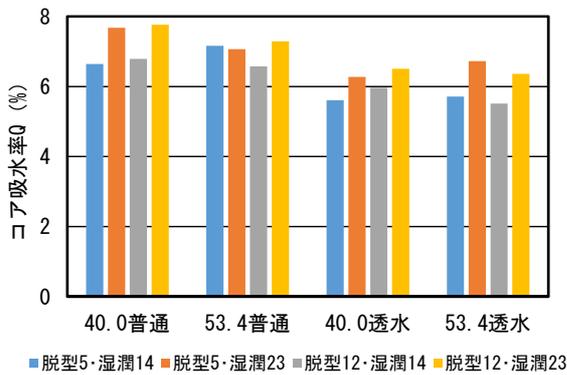


図-9 材齢 314 日のコア吸水率 (0~20 mm)

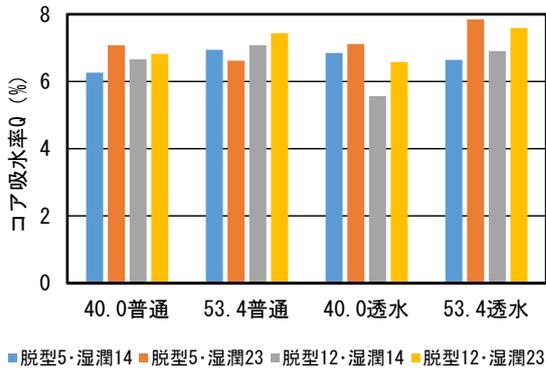


図-10 材齢 314 日のコア吸水率 (20~40mm)

吸水率が僅かに低い結果となった。深さ 20~40mm では、型枠の仕様による明確な差異は見られない。コア吸水率は、コア周面全体からの吸水を捉えたものであるが、密度の結果と同様に、透水型枠により、ごく表層部で密実性が向上したものと考える。

細骨材率で比較すると、型枠の仕様及び表面からの深さで大きな差異は見られない。

養生方法については、表面吸水試験及び表層透気試験と同様に差異は見られない。

4. まとめ

本研究では、細骨材率が異なるコンクリートの表層品

質を確保するために、実構造物モデルの試験体による実験的検討を行った。以下に本研究の範囲で得られた知見を示す。

- (1) 透気係数と吸水抵抗性、表層部の密度から、細骨材率が異なるコンクリートに対して、透水型枠により表層品質の向上が確認できた。しかし、乾燥環境では、普通型枠と比べ乾燥により生じる空隙と微細なひび割れの影響が大きくなると考えられる。
- (2) 表層透気試験と表面吸水試験の全体的な結果の傾向から、表層透気試験は、空隙構造と微細なひび割れの影響を深い範囲で評価すると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、(一社)新潟県建設技術センター平成 28 年度研究助成事業により行った。

また、(一社)新潟県コンクリートメンテナンス研究会より試験体の製作に多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 陽田 修, 井林 康, 田中泰司, 村上祐貴: 新潟県におけるコンクリート構造物の表層品質向上を目的とした施工方法及び評価手法の検討に関する事業, 一般社団法人新潟県建設技術センター平成 28 年度研究助成事業報告書, 2017.3
- 2) 林 和彦, 細田 暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.69, No.1, pp.82-97, 2013
- 3) 林 和彦, 細田 暁: コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1769-1774, 2011
- 4) コンクリート構造物の品質確保の手引き (案) (橋脚, 橋台, 函渠, 擁壁編): 国土交通省東北地方整備局, pp.28, 2015.12
- 5) R.J.Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Material and Structures, Vol.25, pp.358-365, 1992
- 6) 構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会報告書: 公益社団法人 日本コンクリート工学会, pp.5-6, 2017.6
- 7) 氏家 功, 長瀧重義: コンクリートの透気性の定量的評価に関する研究, 土木学会論文集, 第 396 号, V-9, 1998.8