

コンクリート表層部の密実性が長期材齢後の表層品質に及ぼす影響

長岡工業高等専門学校
新潟大学工学部
長岡工業高等専門学校 正会員

○渡邊純平
服部泰斗
陽田修 村上祐貴

1. 実験の背景及び目的

コンクリート構造物は、飛来塩分などの劣化因子がコンクリート表層部から侵入し耐久性が低下する。このため、コンクリート表層部の品質（以下、表層品質と表現する）が向上すれば、耐久性が向上し長期的な安全性を維持することができる。本実験では、密実なコンクリート表層部を形成することを目的に透水型枠を使用した試験体の表層品質評価を行った。また、コンクリート硬化後も型枠に貼り付けた透水シートは透水性を有し、シートに通水することでシートと接するコンクリート面は湿潤状態を維持した養生ができると考え、透水シートを活用した養生の効果を評価した。なお、試験体は3年間、屋根のある雨掛かりのない環境に置き、長期材齢期間における品質の変化を、表層透気試験（トレント法）、表面吸水試験（SWAT）、塩分浸透試験の結果から評価した。

2. 実験概要

2.1 試験体と養生方法

横 600mm、縦 600mm、厚さ 300mm の試験体を4体製作した。表-1 にコンクリートの配合を示す。また、図-1 に型枠解体後の試験体の様子を示す。

実験パラメータとして、試験体の型枠種別、コンクリート打込み後の養生方法を表-2 に示す。

型枠種別で透水とした試験体 T1 および T3 は、透水シートを型枠内面に張り付け打込みを行っている。また、表-2 に示す養生種別で湛水養生とは、型枠を

試験体の高さより高く製作し、その部分へ水を湛水し養生期間中約 10cm 程度の水深を維持した。本実験では透水型枠に二層構造の透水シートを使用した。型枠面に集まる水を通過させる「透水シート（織布）」と、透過した水を速やかに型枠外に排出する「排水シート（不織布）」を、特殊な接着工程により貼り合せ通水性を向上した構造である。この、二層構造の通水性を利用し、湛水養生と併せて使用することで型枠に接するコンクリート表面に養生水を行き渡らせ、水中養生に近い状況を形成できると考えた。試験体のコンクリート打込み時は日平均気温約 29°C 程度であったため、コンクリート標準示方書「施工編」¹⁾に示される、「日平均気温 15°C 以上の湿潤養生期間 5 日」を基準として養生日数を設定した。試験体 T1, T2 は、コンクリートの打込み翌日に、型枠上部に水深 10cm 程度の湛水を行った。湛水は型枠上部から溢れないように連続給水し、この状態を 5 日間維持した。試験体 T1 は、透水型枠を使用しているため湛水した水が型枠面を通水するが、試験体 T2 は、普通型枠のため型枠面での通水は行われぬ。なお、透水シートの通水状況は型枠下端の排水状況から確認した。試験体 T3, T4 は、型枠へ 1 日に数回散水し材齢 5 日まで湿潤状態を維持した。その後 1 日型枠を存置し、材齢 7 日で脱型した。なお、乾燥を防ぐ目的で型枠脱型まで図-2 に示すように型枠をブルーシートで覆った。型枠解体後は、試験体を図-3 に示す小屋で囲い、雨が掛らない環境とした。

表-1 コンクリート示方配合

セメントの種類による記号	呼び強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
N	30	25	8	45	39.6	147	327	725	1148	3.61

表-2 養生・型枠種別

No	型枠	材齢(日)		
		1~5	6	7
T1	透水	湛水養生	型枠存置	脱型
T2	普通			
T3	透水	湿润養生		
T4	普通			



図-1 型枠解体後の試験体の様子

2.2 表層透気試験および表面吸水試験による評価

表層品質を密実性から評価することを目的に、表層透気試験(トレント法)および表面吸水試験(SWAT)を行った。

2.3 塩分浸透試験による表層品質評価

約1年後(材齢360日)と約3年後(材齢1115日)経過した段階で、表層部からの塩分浸透試験を行った。

約1年後の塩分浸透試験は、コンクリート標準示方書[規準編]に記される「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」に基づき、材齢360日で直径100mmのコアを湿式コアドリルにて型枠種別毎に1本採取し、1日乾燥させた後、表面からの塩分浸透深さを確認するために側面、裏側をエポキシ樹脂で覆い、1日間水に浸せきさせた後、塩分濃度10%の塩水に98日間浸せきした。浸せき後、測定箇所に着しているエポキシ樹脂を除去し表面から30mmまで5mm毎に乾式カッターにて切断した。その後、ミルで粉状にした試料を硬化コンクリート全塩分迅速測定(SALMATE-100)を用い、電量滴定法にて全塩化物イオン濃度の測定を行なった。

約3年後の塩分浸透試験は、表面から深さ方向の精度を向上することを目的にドリル削孔粉を採取する方法に変更した。コンクリート表面を不織布で覆い、濃度10%の塩水を散水した。不織布で覆う目的は、塩水の蒸発を防ぎ表面が塩水で均一に潤う状態を維持するためである。9月7日~12月7日の90日間、毎週1回、1試験体に4L、合計16L塩水を散水した。



図-2 湛水・湿润養生状況



図-3 小屋による囲い状況

散水の周期は、週1回の散水で試験体が塩水で潤う状態を維持できることを確認しており、散水するタイミングを統一するために毎週1回とした。散水量は、不織布を飽和状態にするために余裕をもって4Lとした。散水開始から90日経過後、集塵装置付きドリルで粉末を採取し、全塩化物イオン濃度を測定した。測定は、1年後の測定と同様に電量滴定法にて行

った。粉末試料は、0～5, 5～10, 10～20, 20～30mmの各深さで採取した。

3. 実験結果と考察

3.1 表層透気試験による表層品質評価

図-4に、材齢28日、約半年後(材齢180日)、約1年後(材齢360日)、約3年後(材齢1135日)に測定した表層透気試験結果を示す。

約3年を経過し、いずれの試験体も透気係数が増加している。これは、屋根のある雨掛かりの無い環境に置かれていたことで表層部の乾燥が進んだことによると思われるが、トレント法の評価グレード(表-3)では「一般」の品質と評価できる。試験体のパラメータで比較すると、透水型枠を使用したT1試験体とT2試験体は、3年経過後も評価グレードで「優」および「良」の品質を維持している。これは、透水型枠の余剰水排水効果で密実な表層部が形成されたことによるものであり、さらに、T1試験体は透水型枠の通水効果により十分な湿潤養生が行われたことによるものと考えられる。

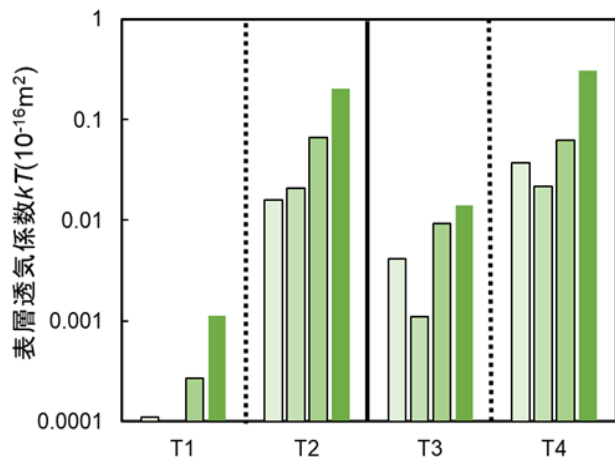
3.2 表面吸水試験による表層品質評価

図-5に、材齢28日、約10カ月後(材齢294日)、約3年後(材齢1121日)に測定した表面吸水試験結果を示す。

約3年を経過し、いずれの試験体も吸水速度が増加し、ほぼ同様の結果を示している。また、SWAT試験の評価グレード(表-4)で0.5以上の「劣」の品質と評価できる。これは、表層透気試験と同様に、屋根のある雨掛かりの無い環境に置かれていたことで表層部の乾燥が進んだことによると思われる。透水型枠を使用することで、コンクリート表層部で乾燥が進むと微細なひび割れが生じるという先行研究の結果²⁾、透水型枠の通水性を活用した湿潤養生を試みたが、表面吸水試験の結果から効果は確認できなかった。

3.3 塩分浸透試験による表層品質評価

約1年後(材齢360日)と約3年後(材齢1115日)経過した段階で行った、表層部からの塩分浸透試験結果を図-6および図-7に示す。なお、表面0mm～

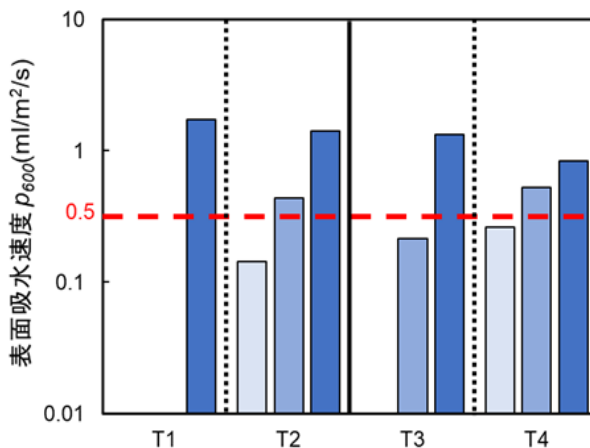


	σ 28	σ 180	σ 360	σ 1135
T1	0.0001	0.0000	0.0003	0.0011
T2	0.0159	0.0208	0.0664	0.2040
T3	0.0041	0.0011	0.0094	0.0142
T4	0.0371	0.0217	0.0629	0.3078

図-4 表層透気試験の経時変化

表-3 表層透気試験(トレント法)評価グレード

表層透気係数		$kT(\times 10^{-16}m^2)$		
優	良	一般	劣	極劣
0.001～0.01	0.01～0.1	0.1～1	1～10	10～100



	σ 28	σ 294	σ 1121
T1	0.000	0.010	1.738
T2	0.143	0.437	1.426
T3	0.000	0.216	1.330
T4	0.263	0.528	0.843

図-5 表面吸水速度の経時変化

5mmの深さは、浸漬および散水した塩水が付着しているため、浸透した塩化物イオン濃度は深さ5mm～30mmの深さ範囲で示している。

約1年後と約3年後では、塩分の浸透方法が異なるため塩化物イオン濃度の値で品質の変化を評価で

表-4 表面吸水試験 (SWAT) 評価グレード

表面吸水速度	p600(ml/m ² /s)	
良	一般	劣
0.25以下	0.25を超えて0.5以下	0.5を超えるもの

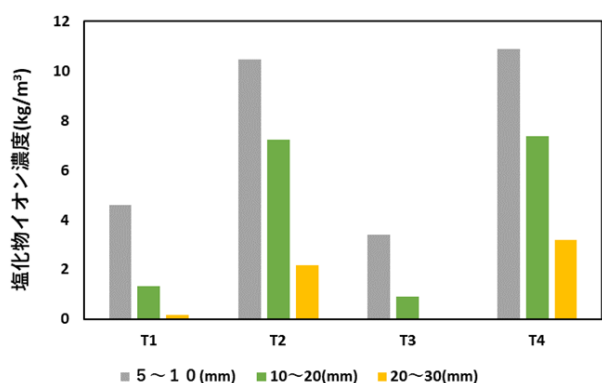


図-6 約1年後の塩分浸透試験結果(材齢360日)

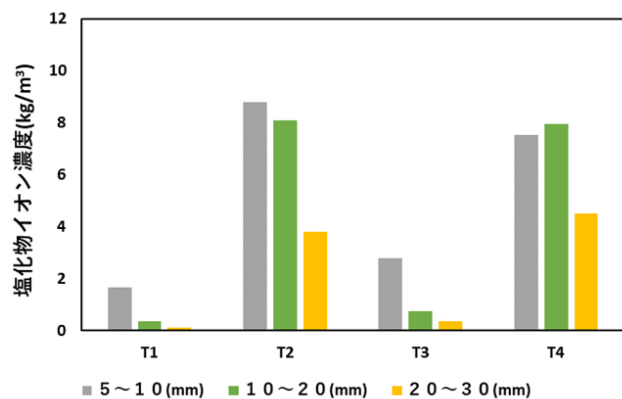


図-7 約3年度の塩分浸透試験結果(材齢1115日)

表-5 見掛けの拡散係数の変化

No	約1年後	約3年後
	見掛けの拡散係数 (cm ² /year)	見掛けの拡散係数 (cm ² /year)
T1	0.25	1.88
T2	1.05	11.98
T3	0.23	1.82
T4	1.44	13.65

きないが、透水型枠を使用した T1 試験体および T3 試験体は、普通型枠を使用した T2 および T4 試験体と比較して塩分の浸透性が低い状態を維持している。また、表-5 に示す見掛けの拡散係数を比較すると、普通型枠を使用した T2 試験体および T4 試験体は、透水型枠を使用した T1 試験体および T3 試験体に比べ大きく増加している。これは、透水型枠を使用することでコンクリート表層部が密実となり、塩分の浸透を抑制していると考えられる。また、前節で示した表面吸水試験の結果から、約3年を経過し全ての試験体で表層部の乾燥が進行しているものの、透水型枠を使用した試験体で吸水抵抗性が低下している範囲はごく表層部の範囲であり、塩分浸透を抑制するバリア効果が維持されていると考えられる。

4.まとめ

コンクリート表層部の密実性を向上し劣化因子の浸透を抑制する目的として、透水型枠による表層部の密実性向上効果を確認した。また、透水型枠の通水性を活用したコンクリート表層部の湿潤養生効果を確認した。乾燥環境に約3年間暴露された試験体の経時変化から得られた知見を下記に記す。

- (1)表層透気試験の結果では、透水型枠を使用し更に通水性を活用した湿潤養生を行うことで、透気抵抗性は乾燥環境に置かれても維持されている。
- (2)表面吸水試験の結果では、透水型枠の使用および養生方法の違いに関わらず、材齢の経過とともに吸水抵抗性が低下している。
- (3)塩分浸透試験の結果から、透水型枠を使用することでコンクリート表層部の密実性が向上し塩分浸透を抑制するバリア効果となり内部への浸透を抑制することが分かった。

謝辞

本研究は、前田工織株式会社の協力を得て行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 [施工編]: 土木学会, 2017
- 2) 陽田修, 他: 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, 工学年次論文集, vol.40, No.1, pp.1269-pp.1274, 2018年7月