

熱力学連成解析システムを用いた低 W/C 領域に着目したモルタルの塩分浸透解析

東京大学大学院 正会員 ○高橋 佑弥
東京大学大学院 正会員 石田 哲也

1. はじめに

本研究では、特徴的な塩分浸透性状を示すと考えられる¹⁾低 W/C セメント材料の遮塩性能を実験的に評価するとともに、著者らにより開発され²⁾、塩分・水分移動について nm サイズ空間の挙動に基づいて高度化された¹⁾熱力学連成解析システムが、低 W/C 材料の塩分浸透性状を適切に再現可能かどうか検証を行った。

2. 供試体条件

表-1 に示す複数の配合条件のもとφ5×10cm の円柱および 4×4×16 cm の角柱モルタル供試体を作製した。養生は、1 日脱型後水中養生の条件を基本としたが、W/B15%の配合は、他に、打設後 4h 経過時より上昇速度 3°C/h、60°C 到達後 70h まで等温保持、その後 0.8°C/h で徐冷の条件で高温履歴を作用させ、以降は 20°C 一定の封緘養生とした供試体を追加した。

3. 圧縮強度測定試験

材齢 3, 7, 28, 91 日経過時に、φ5×10cm 円柱供試体を用いて圧縮強度を測定した。また熱力学連成解析システムを用いて長さ 2.5cm の一次元要素を作成し、実際の配合・養生条件を入力して解析を行った。シリカフューム（以下、SF）は現行の解析システムでモデル化の途上であるため本解析では不活性粉体として取り扱った。実験結果と解析結果の比較を図-1 に示す。実験結果を見ると、W/C が低い、または、SF を用いた場合に強度が増すこと、初期に高温

表 - 1 示方配合

	W/B [%]	単位体積重量[kg/m³]					Air [%]	SP/ B [%]
		W	B			S		
			OPC	LPC	SF			
N20	20	233	1165	-	-	1000	2	3.50
N30	30	293	976	-	-	1000	2	3.00
N40	40	336	840	-	-	1000	2	0.00
N50	50	369	737	-	-	1000	2	0.00
NSF15	15	188	1127	-	125	1000	2	3.00
NSF20	20	227	1021	-	113	1000	2	2.60
LSF15	15	191	-	1146	127	1000	2	2.25
LSF20	20	230	-	1037	115	1000	2	1.55

養生を施すことで材齢極初期に著しく強度が増進することがわかる。解析結果を見ると、OPC 供試体の W/C による強度の違いや、高温養生による極若材齢の強度増進について概ね良好に追跡できている。N20 の解析強度が若干大きい、これは解析で想定する理想的な材料の分散が実験では実現されにくいからであると考えている。今後、他の試験シリーズの解析精度の向上の為に、SF および LPC の水和特性についての適切なモデル化と検証が必要であると考え。

3. 空隙径分布測定試験

OPC 供試体について、材齢 15 か月時点で空隙構造を測定した。角柱供試体の中心部より一辺約 5mm の立方体試料を複数採取し、水銀圧入試験に供した。試料は 24h のアセトンによる水和停止後 D-dry 乾燥条件にて 24h 真空乾燥前処理を行い、全空隙量を測定した。図-2 に実験および解析による全空隙の空隙径分布を示す。解析は長さ 16cm の一次元要素を用いて行い、表面より十分に深い位置より結果を抽出

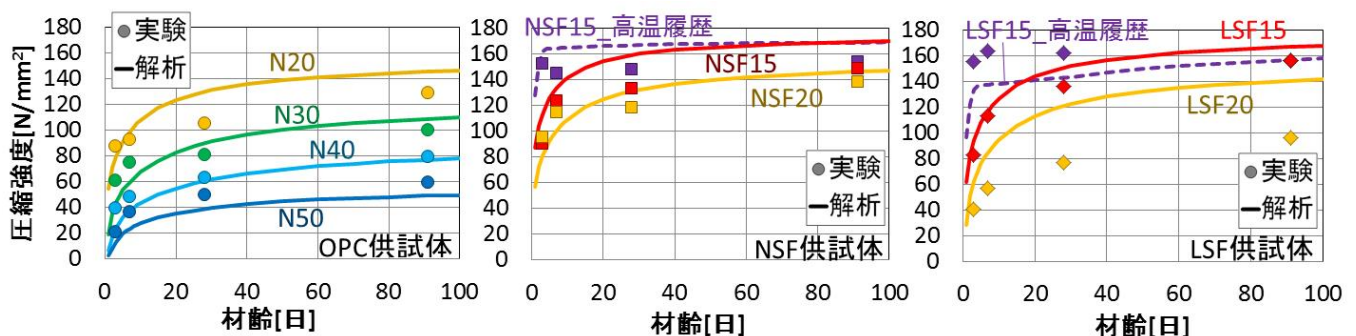


図-1 圧縮強度試験結果および解析結果

キーワード 塩水浸せき試験、低水セメント比、シリカフューム、熱力学連成解析

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 工学部 1 号館 329 室 TEL 03-5841-6146

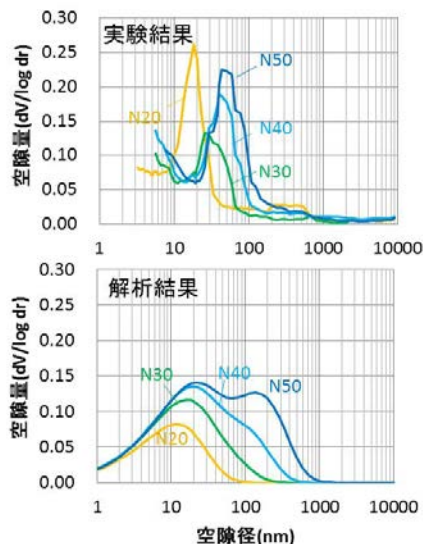


図-2 全空孔の空隙径分布

した。実験結果と解析結果を比較すると、分布の形状は両者で若干異なるものの、空隙ピーク径および空隙全体量についてはN20を除いておおむね良好に再現されている。N20については実験において著しく空隙量が大きくなったが、この点については実験の妥当性を含めて再考する必要があると考えている。

4. 塩水浸せき試験による塩化物イオン分布

角柱供試体を用いて塩水浸せき試験を実施した。材齢28日経過後に4×4cmの浸せき面1面を残してエポキシ被覆し、20℃一定の3%NaCl水溶液中に浸せき面を底面として垂直に設置した。3か月浸せき材齢経過後にOPC供試体、1年浸せき材齢経過後に全ての供試体について電位差滴定法により塩分分布を測定した。滴定用粉体試料採取の際は、ディスクグラインダーを用いて1~3mm毎に研削しながら試料を採取する方法を用いた。また、OPC供試体を対象として16cmの一次元要素を作成し、解析を実施した。

図-3にOPC供試体の実験結果および解析結果を示す。実験結果を見ると、細かい間隔で試料採取を行った事により、数mm単位で表層部の細かい塩分浸透状況の違いを捉えることが可能となっていることがわかる。W/Cが低下するほど塩分浸透深さは小さくなった。解析結果を見ると、特に若材齢でW/Cによる塩分浸透深さの違いが良好に再現されている。1年浸せき材齢のN20供試体については、解析の塩分浸透深さが実験よりも若干大きい。液状水と塩分両者の挙動に着目しながら長期の浸せき材齢で検証を重ねることで、モデルの改善点の抽出および修正に取り組む必要がある。

図-4にNSF供試体およびLSF供試体についての

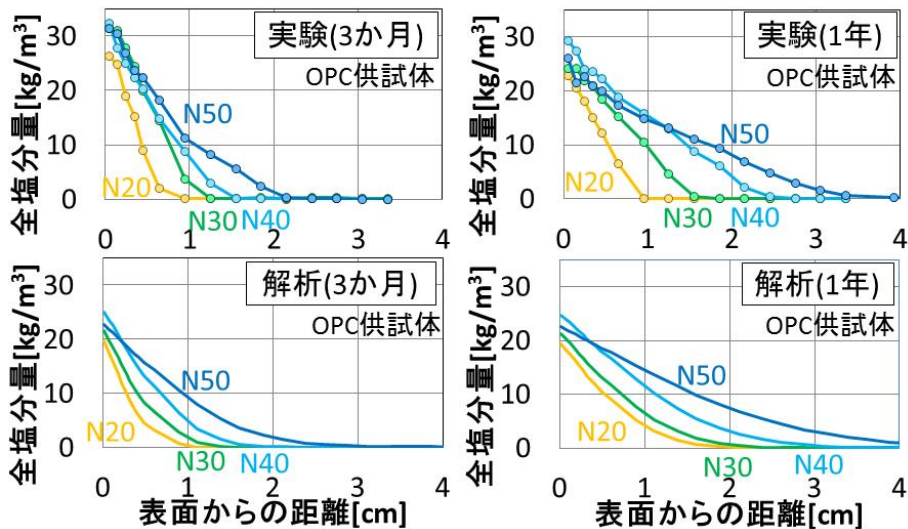


図-3 OPC 供試体の塩分分布

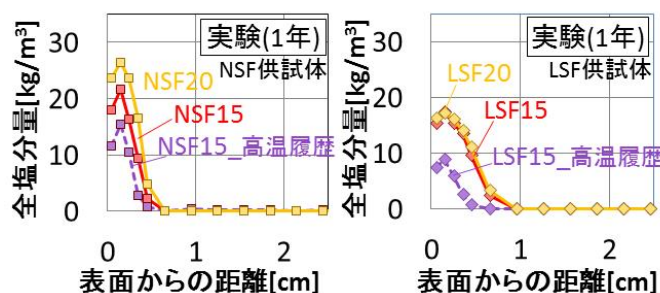


図-4 NSF・LSF 供試体の塩分分布

1年浸せき材齢の実験結果を示す。OPC供試体に比べて塩分浸透深さが極めて小さく、SFを使用することにより塩分浸透抵抗性が大きく向上することが示された。W/B15%と20%で浸透深さに顕著な差は見られなかった。今後、SFの水和および空隙構造形成のモデルを実装することで、これらSFを用いた供試体の塩分浸透挙動についても解析的な再現が可能になると考える。

5. 結論

本研究では低W/Cを含むモルタルへの塩分浸透挙動について検討した。研削による試料採取を行う事で細かな塩分浸透状況の違いが観察可能となった。また、実験の再現解析を実施し、強度・空隙構造・塩分分布について低W/C領域での解析システムの適用性を確かめた。長期材齢における検証およびシリカフュームの水和モデルの実装が今後の課題である。

参考文献

1. 高橋佑弥, 石田哲也, 岸利治: 低水セメント比領域に着目したコンクリート中の塩分浸透および液状水移動に関する熱力学連成解析の高度化, コンクリート工学年次論文集, 第34巻, 第1号, pp.796-801, 2012
2. Maekawa, K., Ishida, T., Kishi, T.: MULTI-SCALE MODELLING OF STRUCTURAL CONCRETE, Taylor and Francis, 2008