

コンクリート細孔組織中における液状水移動と水蒸気移動の分離評価

長岡技術科学大学 学生会員 ○香川 雄治

長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

コンクリート構造物の種々の劣化現象の予測において、コンクリート内部の水分状態を把握することは共通の課題である。実構造物の多くは大気に接する境界条件に曝されることから、コンクリート細孔組織中に水蒸気と液状水が共存する不飽和状態におけるコンクリート中の水分移動現象を精緻に予測することが特に重要となる。

著者らは、土壌工学の分野における知見¹⁾を参照して、不飽和コンクリート中における水分の移動流束成分として、水蒸气流束と液状水流束があると仮定し、コンクリート中の水分移動を計算するモデルを構築した²⁾。しかし、このうち水蒸气流束については気体の濃度拡散メカニズムにより生じていることに疑いの余地はないが、不飽和状態のコンクリート中における液状水移動については、その実態が必ずしも直感的ではなく、実験により検証した例もない。そこで本研究では、やはり土壌工学における実験¹⁾にならい、塩化物イオンを液状水移動のトレーサーとして用いる実験手法により、不飽和コンクリート中における液状水移動の存在を実験的に確認した。本実験法は、塩化物イオンは液状水移動とともに運ばれ、液状水から水蒸気への相変化時にはその位置に残り残される性質を利用している。

2. 実験概要

コンクリート中の水分移動現象を、他の多孔材料よりも複雑にしているのは、セメントの水和反応であると考えられる。そこで本研究では、まず水和反応の影響がない条件下で実験を行うため、セメントと粒子径の近い炭酸カルシウム粉末（密度 2.7kg/m^3 ）を用いてモルタル供試体を作製し実験を行った。続いて、通常のセメントモルタル供試体を用いて実験を行った。

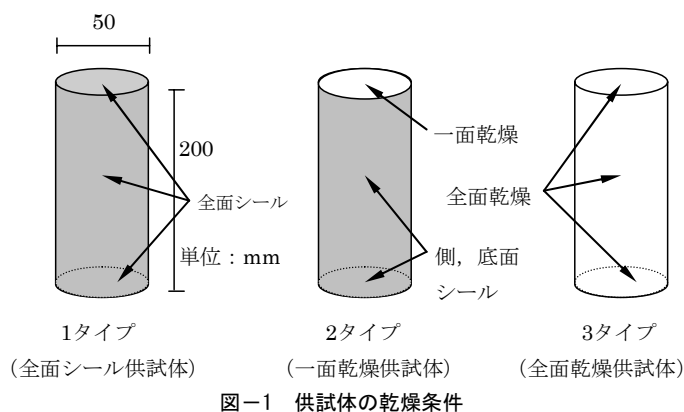


図-1 供試体の乾燥条件

表-1 に炭酸カルシウムモルタル供試体の実験条件を示す。初期水分量が液状水の移動に与える影響を調べるため、単位水量を 295kg とした A シリーズ、 246kg とした B シリーズ、 197kg とした C シリーズと、3 種類の供試体を作製した。

表-2 にセメントモルタル供試体の実験条件を示す。D シリーズは常温（ 20°C ）での乾燥、E シリーズは水分移動が促進される 60°C での乾燥を行った。全面シール、一面乾燥、全面乾燥、と 3 種の乾燥条件で供試体を作製した。モルタル打設時には 2 層 3 回で突き固めた。シール面には食品包装用ラップフィルムでシールを施した。

表-1 炭酸カルシウムモルタル供試体の実験条件

実験	乾燥温度 ($^\circ\text{C}$)	乾燥条件	乾燥時間	単位量 (kg/m^3)			
				W	タンカル	S	NaCl
A-1	20	全面シール	14日	287	972	940	5.89
A-2		一面乾燥					
B-1		全面シール		251	1021	987	6.18
B-2		一面乾燥					
C-1		全面シール		212	1074	1039	6.51
C-2		一面乾燥					

表-2 セメントモルタル供試体の実験条件

実験	養生方法	養生時間	乾燥温度 ($^\circ\text{C}$)	乾燥条件	乾燥時間	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)			
							W	C	S	NaCl
D-1	水中養生	7日	20	全面シール	14日	32	320	1000	967	6.06
D-2				一面乾燥						
D-3				全面乾燥						
E-1	塩水中養生	7日	60	全面シール	14日	32	320	1000	967	6.06
E-2				一面乾燥						
E-3				全面乾燥						

キーワード：不飽和コンクリート、細孔構造、水分移動、液状水移動、水蒸気移動、塩化物イオン

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL：0258-47-9603 FAX：0258-47-9600

図-1に使用した供試体の寸法および乾燥条件を示す。φ50mm, 高さ 200mm の円柱供試体を作製し, それぞれ, 水分移動後の供試体より, 上面から 0mm, 10mm, 20mm, 40mm, 80mm, 200mm の位置で, 供試体を 4mm 径のドリルにより削り出し, 採取した粉末を塩化物イオン濃度測定用試料として用いた。

3. 実験結果と考察

図-2にC-3タイプの炭酸カルシウムモルタル供試体の乾燥後の塩化物イオン濃度分布を示す。一面乾燥供試体の上面近傍で塩化物イオン濃度の増加がみられる。これは, 上面（乾燥面）に向かって内部で液状水移動が生じることで塩化物イオンが運ばれ, 上面近傍で気化が起ることで塩化物イオンが取り残されたことを示しており, 液状水移動の生じた痕跡であるといえる。

図-3にDシリーズ(W/C=32%, 乾燥温度 20℃)供試体の乾燥後の塩化物イオン濃度分布を示す。一面乾燥供試体は他の供試体と比べて上面近傍で塩化物イオン濃度の上昇が見られる。しかし, 傾向はCタイプほど顕著ではない。

図-4にEシリーズ(W/C=32%, 乾燥温度 60℃)供試体の乾燥後における水分量分布, および塩化物イオン濃度分布を示す。水分量分布からは, 全面シール供試体では水分の移動がないこと, 全面乾燥供試体では一様に水分量が減少していること, 一面乾燥供試体では全体的に水分量の減少が見られるが表面付近において著しいことがわかる。一方, 塩化物イオン濃度分布では, 一面乾燥供試体において 0mm から 20mm の上面近傍で塩化物イオン濃度の明らかな上昇が見られる。これらの結果より, 一面乾燥供試体内部では液状水移動が存在し, 上面近傍において液状水から水蒸気への相変化および水蒸気の形態での外部への逸散があったことがわかる。

一面乾燥供試体の水分量, 塩化物イオン量ともに 0mm から 20mm の上面近傍で勾配を持つ

ていることから, 液状水移動から水蒸気移動への主たるメカニズムの遷移が徐々に行われたことが示唆される。これは, 不飽和コンクリート中において, 高含水状態では液状水移動が卓越し, 含水率の低下にともない水蒸気移動にとってかわるという, 既往の仮説と矛盾しない。

4. まとめ

塩化物イオンをトレーサーとして用いる実験により, 不飽和状態でのコンクリート細孔構造中において液状水移動が生じることを実験的に確認できた。

参考文献

- 1) 八幡敏雄：土壌の物理，東京大学出版会，1975 年
- 2) 下村 匠：細孔容積分布密度関数に基づくコンクリートの乾燥収縮モデル，東京大学学位論文，1993 年

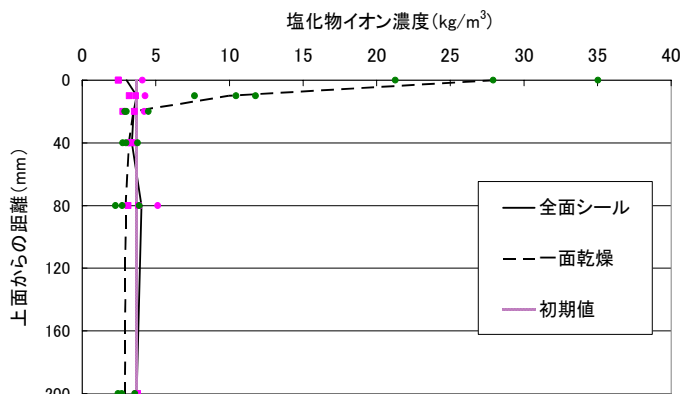


図-2 C-3タイプの供試体の塩化物イオン濃度

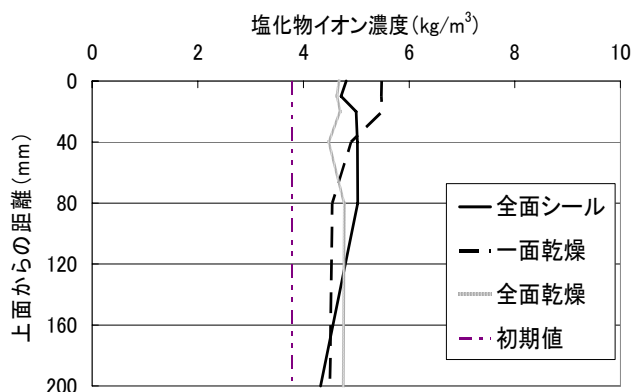


図-3 Dシリーズ供試体の塩化物イオン濃度

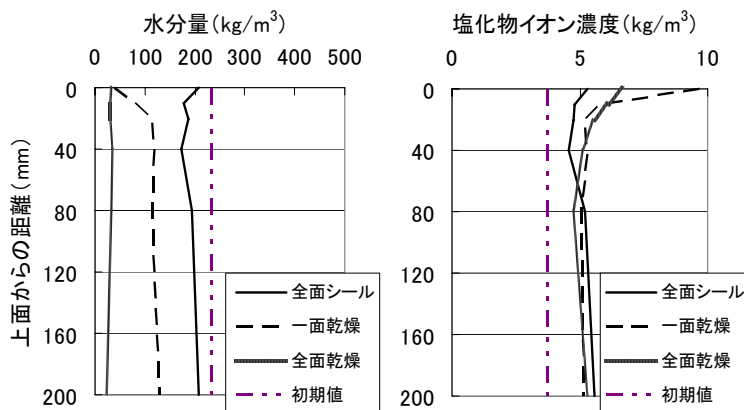


図-4 Eシリーズ供試体の水分量および塩化物イオン濃度