

細骨材容積率がモルタル内部の塩分浸透性状および細孔構造変化に与える影響

広島大学 学生会員 ○中田 拓真
 広島大学 正会員 小川 由布子
 広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

海洋環境下の鉄筋コンクリート構造物は外部から塩化物イオンが侵入するため、コンクリート内部の鋼材腐食が発生する可能性がある。このためコンクリート中の塩化物イオン浸透性状に対する影響因子を明らかにすることは、塩害劣化予測において重要である。塩分浸透の評価項目である塩化物イオン拡散係数は水セメント比や養生方法、硬化体内の細孔構造の影響を受ける。このうち、硬化体の細孔構造に影響を与えるものとして骨材に着目した検討が行われている。皆川らは単位細骨材量の増加は空隙量の減少につながり、イオン透過性が低下すると報告している¹⁾。一方で、久田らは細骨材量の増加が空隙量の増加を招き、塩化物イオンが浸透しやすい内部組織の形成につながると報告しており²⁾、矛盾がある。また細孔径6nm以下の空隙量が多いほど塩化物イオンの透過不可能な空間が増え、拡散経路が迂回した経路をとるという報告³⁾があることから、細孔構造に関する詳細な検討を行うことが塩化物イオン浸透性状を検討するうえで重要であると考えられる。

そこで本研究では普通ポルトランドセメント(OPC)およびフライアッシュ(FA)を使用したセメント硬化体の細骨材容積率が塩化物イオン浸透性状および細孔構造変化に与える影響を明らかにすることを目的として、浸漬試験を行った。

2. 実験概要

配合を表1に示す。本実験では、水結合材比(W/B)0.50のセメントペーストおよびモルタルを対象とした。細骨材容積率は一般的なコンクリートにおいて50%~55%であることから0%、40%、55%の3条件とした。セメントにはOPC(密度3.16g/cm³、比表面積3380cm²/g)を用い、混和材としてFA(密度2.20g/cm³、比表面積4000cm²/g)を0%、20%置換した。細骨材には砕砂(表乾密度2.59g/cm³、吸水率1.18%)

を用い、練混ぜ水には水道水を使用した。供試体はΦ50×100mmの円柱供試体と40×40×160mmの角柱供試体を作製した。供試体は打設後24時間で脱枠し、材齢28日まで20°C水中養生を行った。養生後、材料分離の影響を除くため、打込み時の上下10mm部分を切断し、暴露面一面以外をエポキシ樹脂で被覆した。エポキシ樹脂の硬化を確認後、水中に24時間保存した。以上の処理を行った供試体を10%のNaCl溶液に所定期間(28, 56日)浸漬した。浸漬終了後、円柱供試体は暴露面から7mm間隔で切り出し、各測定を実施した。検討項目は全塩化物イオン量、細孔径分布、鉱物組成である。角柱供試体については浸漬終了後、樹脂で補強したのち、EPMA面分析試験を実施し、塩化物イオン濃度分布を明らかにした。

表1 配合

配合名	W/B	細骨材容積率	単位量 (kg/m ³)			
			W	OPC	FA	S
N0	0.50	0.00	611	1223	0	0
N40	0.50	0.40	367	734	0	1036
N55	0.50	0.55	276	551	0	1425
NF0	0.50	0.00	611	979	245	0
NF40	0.50	0.40	367	587	149	1036
NF55	0.50	0.55	276	440	110	1425

3. 実験結果および考察

図1にN40, N55のEPMA面分析による塩化物イオンの濃度分布結果を示す。なお、図の下部が暴露面であり、色の濃淡は塩化物イオン濃度(mass%)を示す。N55はN40と比較して塩化物イオン浸透深さが小さい。しかし暴露面近傍のセメントペースト部分に着目すると、N55はN40と比較して塩化物イオン濃度が高くなっている。この傾向は、NF配合においても同様であった。すなわち、混和材の有無にかかわらず、細骨材量が増加すると、塩分浸透が抑制される一方で、暴露面近傍のセメントペースト部分の塩化物イオン濃度が増加することが明らかとなった。

キーワード 塩化物イオン, フライアッシュ, 細孔径分布, EPMA, モルタル, 細骨材

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科 TEL082-424-7786

図2に細孔径分布試験の結果を示す。図2(a)の浸漬28日の結果ではいずれの配合も細骨材量の増加によって総細孔量が減少することが確認された。一方でセメントペースト量当たりの総細孔量は細骨材量の増加とともに増加している。このことから細骨材量の増加によってセメントペースト部分は粗大な細孔構造を形成することが示唆された。これは細骨材量の増加によって骨材周辺に形成する遷移帯がセメントペースト部分を占める割合が高くなることが原因と考えられる。遷移帯は骨材とペースト間に存在する材料的に不連続な領域であり、他の部分と比較して空隙が多いとされている⁴⁾。

図2(b)の浸漬56日の細孔径分布試験の結果では浸漬28日の結果と比較して、いずれの配合も総細孔量に占める細孔径50nm以下の細孔量の割合が増加した。これはセメントの水和反応の進行に伴って細孔構造が緻密化したためと考えられる。セメントペーストあたりの総細孔量に着目すると、浸漬28日では細骨材量の増加によって総細孔量が増加しているのに対して、浸漬56日では細骨材量の違いによらず総細孔量は同程度となっている。このことから特に遷移帯部分の細孔構造が緻密化したことが示唆された。特にFAを混和したNFシリーズでは、遷移帯の空隙量を代表する細孔径50~2000nmの細孔量の割合が1割程度減少している。これはポズラン反応の進行により遷移帯組織の改善が進んだためと考えられる。

浸漬56日のN40とN55ではセメントペースト部分の総細孔量は同程度であるが、N40はN55と比較して深部への塩分浸透が確認されている。このことから塩分浸透性状に対しては細孔構造の影響よりも骨材の存在による物理的な遮蔽効果が大きいことが明らかとなった。

4. まとめ

異なる細骨材容積率のモルタルを対象とした10%NaCl溶液への浸漬試験の結果、細骨材量の増加によって塩化物浸透深さが小さくなることが明らかとなった。一方で暴露面近傍の塩化物イオン濃度は細骨材量の増加によって増大した。また細孔径分布試験の結果から浸漬28日では細骨材量の増加によってセメントペースト部分の細孔構造が粗大になる一方で、浸漬56日ではセメントの水和反応やポズラン反応の進行によって組織が緻密化するため、細骨材

量の違いによる細孔構造の違いはわずかであることが明らかとなった。

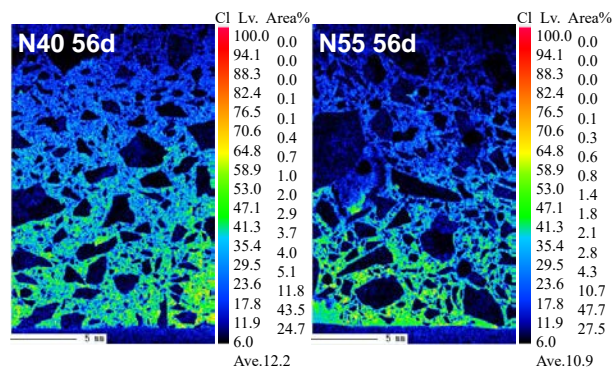


図1 EPMA 面分析試験結果（塩化物イオン）

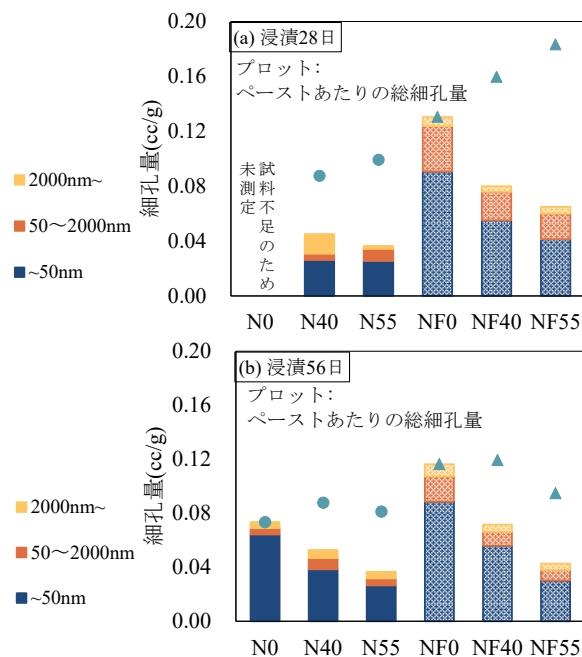


図2 細孔径分布試験結果（表層7mm）

参考文献

- 1) 皆川浩ほか: コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E, Vol.66, No.1, pp.119-131(2010)
- 2) 久田真ほか: コンクリート中の塩化物イオンの電気泳動に及ぼす骨材の影響, 土木学会論文集, No.599, pp.71-80(1998)
- 3) 菊池道生ほか: 酸素及び塩化物イオンの実効拡散係数によるセメント系硬化体におけるイオン移動性状の評価, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.346-353(2010)
- 4) 内川浩ほか: 硬化モルタル及びコンクリート中の遷移帯厚さの評価並びに遷移帯厚さと強度との関係の検討, コンクリート工学論文集, Vol.4, No.2, pp.1-8(1993)