

混和材を混入したモルタルの塩害と中性化の複合劣化に関する一検討

九州大学大学院 学生会員 祝井健志 九州大学大学院 フェロー 松下博通
九州大学大学院 正会員 佐川康貴 九州大学大学院 学生会員 川端雄一郎

1. はじめに

高炉スラグや微粉末やフライアッシュは塩害対策に有用な混和材である一方で、中性化に対する抵抗性が低下することが知られている。近年では、複合劣化に関する議論が盛んに行われているが、塩害と中性化が複合的に作用した場合における混和材の影響に関しては不明な点も多い。そこで本研究では、高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを混入したモルタル供試体に、塩水浸漬と促進中性化を交互に作用させ、塩化物イオンの浸透性状や固定化性状、細孔構造の変化について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製

本研究で使用した材料を表 - 1 に、モルタルの配合を表 - 2 に示す。水結合材比は 55%とし、高炉スラグ微粉末の置換率は内割りで 30%及び 60%、フライアッシュ II 種は 15%、30%とした。また、細骨材の単位量を一定とした。

供試体は 10×10×10cm の立方体状の供試体とし、打設後 1 日で脱型し、材齢 28 日まで水中養生を行った。なお、打設時側面の 2 面を除く 4 面をエポキシ樹脂で被覆した。

2.2 試験方法

塩害と中性化の複合劣化を模擬するために、塩水浸漬と促進中性化を交互に繰り返した。浸漬する塩水は、NaCl 濃度 3.5%、水温 20℃とし、促進中性化試験は、温度 20℃、湿度 60%R.H.、二酸化炭素濃度 5%とした。塩水浸漬と促進中性化の繰り返し周期は、塩水浸漬 7 日、促進中性化 7 日とした。また、比較要因として、塩水浸漬 7 日、乾燥(温度 20℃、湿度 60%R.H.)7 日を 1 サイクルとする塩水乾湿繰り返し試験を行った。試験開始は材齢 35 日とし、所定の材齢が経過した後に塩化物イオン濃度、中性化深さ、細孔径分布を測定した。

塩化物イオン濃度は、供試体を 5mm 又は 10mm の厚さにカットし、JIS A 1154 に準じて電位差滴定法により全塩化物イオン濃度及び、可溶性塩化物イオン濃度を測定した。

中性化深さは供試体の割裂面にフェノールフタレイン 1%エタノール溶液を噴霧して未着色の部分を 20 点測定し、その平均を中性化深さとした。

細孔径分布は、供試体表面から 0～5mm の位置より約 5mm 角のモルタル試料を採取し、水銀圧入式ポロシメータにより測定した。

3. 結果及び考察

図 - 1 に複合劣化試験及び塩水乾湿繰り返し試験 16 サイクルにおける全塩化物イオン濃度測定結果を示す。なお、図中には複合劣化試験における中性化深さも併せて示している。まず塩水乾湿繰り返し試験について見ると、塩化物イオン濃度は内部方向へと減少しており、混和材を混入したものは無混入のものに比べて塩化物イオンの浸透が抑制されていることが分かる。一方で複合劣化試験を行ったものは、表面近傍 0～5mm 部分の塩化物イオン濃度よりも 5～10mm 部分の方が大きく、塩化物イオンの濃縮傾向が確認される。中性化の進行が少なかった N55 に関しては 10mm より深い部分における差異は小さく、中性化が及ぼす影響は小さいが、一方で比較的中性化の進行した FA30、B60 に関しては内部へ塩分の浸透が促進されていることが分かる。なお、

表 - 1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm ³ , 比表面積:3280cm ² /g
混和材	高炉スラグ微粉末 (BFS) 密度:2.88g/cm ³ , 比表面積:4100cm ² /g フライアッシュII種 (FAII) 密度:2.41g/cm ³ , 比表面積:4100cm ² /g
細骨材	海砂 密度 2.58 g/cm ³ 吸水率1.60%

表 - 2 モルタルの配合

配合名	W/B	S/B	単位量(kg/m ³)					フロー値
			W	C	BFS	FAII	S	
N55	55	3.15	263	479	-	-	1509	203
B30		3.18	261	332	142	-	1509	195
B60		3.22	258	188	281	-	1509	191
FA15		3.20	259	400	-	71	1509	207
FA30		3.26	255	324	-	139	1509	219

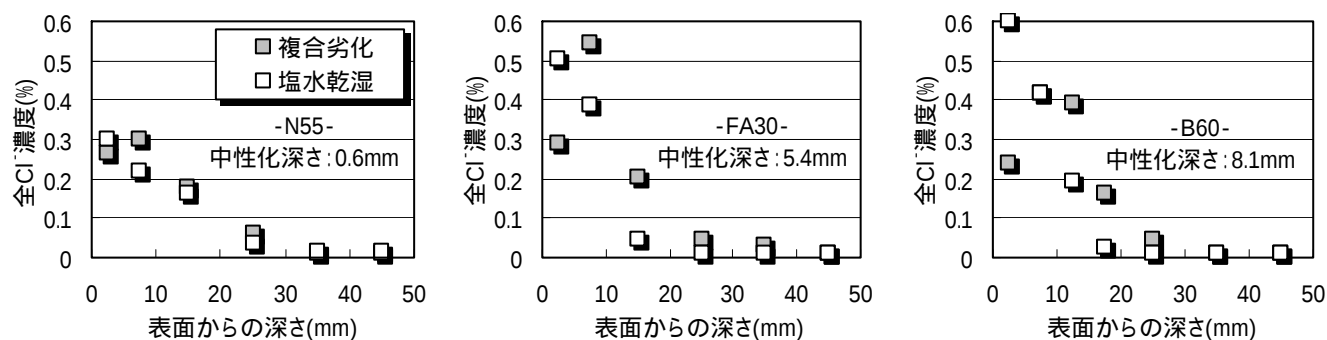


図 - 1 塩化物イオン濃度測定結果

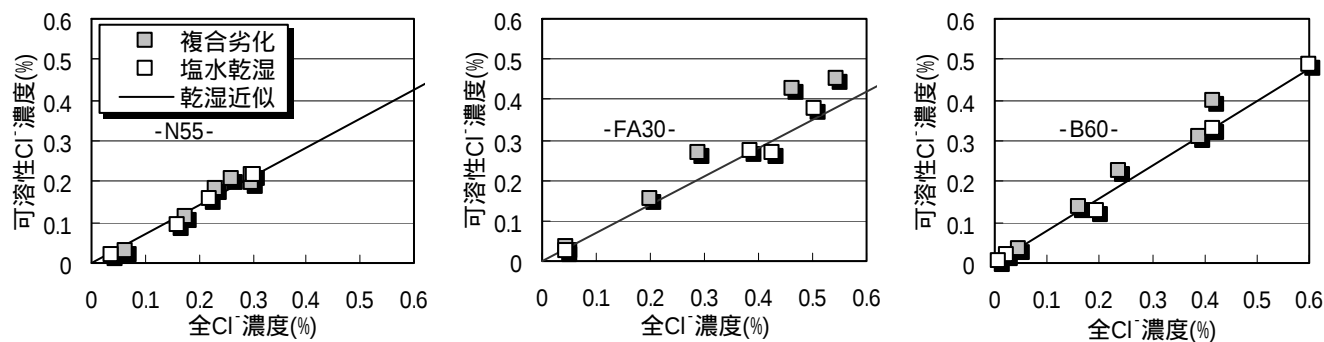


図 - 2 全塩化物イオン濃度と可溶性塩化物イオン濃度の関係

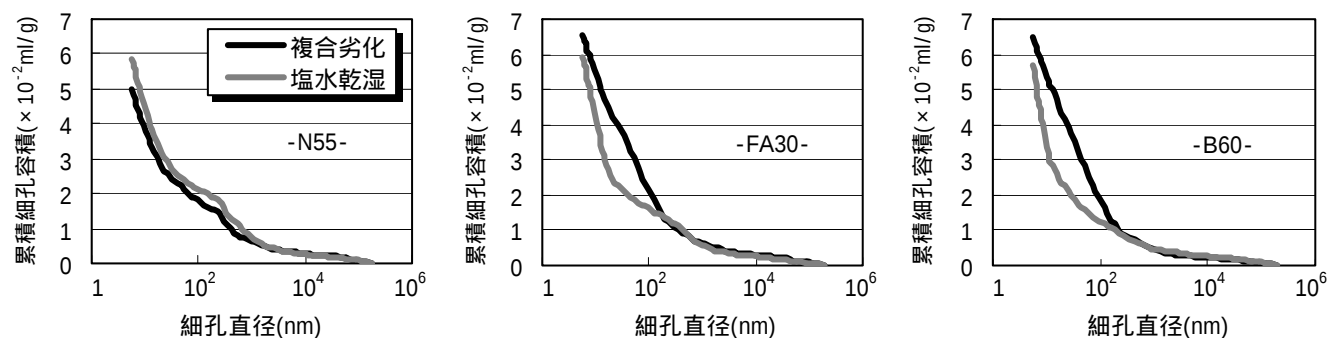


図 - 3 細孔径分布測定結果

図中には示してはいないが、FA15、B30 についても程度の違いはあるものの、同様の傾向が確認された。

図 - 2 に全塩化物イオン濃度と可溶性塩化物イオン濃度の関係を示す。まず、塩水乾湿繰返し試験の結果について見ると、混和材の混入の有無に関わらず、両者には良好な直線関係が確認された。複合劣化の場合は、中性化が比較的進行していた FA30、B60 のプロットが塩水乾湿繰返し試験結果の近似直線よりも上方に推移しており、固定塩化物の解離による可溶性塩化物イオン濃度の増加が塩化物イオンの浸透を促進させる一因となったものと考えられる。一方、中性化の進行が小さい N55 にはこのような傾向は顕著には見られなかった。

図 - 3 に試験材齢 8 サイクルにおける供試体表面 0～5mm における細孔径分布測定結果を示す。N55 は複合劣化試験による中性化の進行は微小であったが、塩水乾湿繰返しを行ったものと比べて細孔容積が小さい傾向が見られた。N55 は塩化物イオンの濃縮傾向はみられた一方で、細孔構造の緻密化が見られたことから、塩化物イオンの浸透領域には大きな影響を与えなかったものと考えられる。一方で、混和材を混入したものに関しては、複合劣化を行ったもののほうが塩水乾湿繰返しを行ったものと比べて、比較的小さな径ではあるが細孔容積が大きく、塩化物イオンの浸透に影響を及ぼしているものと考えられる。

4. まとめ

高炉スラグ微粉末やフライアッシュを混入した場合、中性化の影響により無混入の場合よりも内部への塩化物イオンの浸透が促進されることが明らかとなった。また、その原因は、固定塩化物の解離、細孔構造の変化が寄与しているものと考えられる。