アルミノシリケートを活用した塩化物の浸透抑制効果に関する実験的検討

太平洋マテリアル（株）　正会員　○山中　俊幸
太平洋マテリアル（株）　正会員　高橋　洋朗
太平洋マテリアル（株）　中島　裕

１．はじめに

近年，ライフサイクルコストの観点からコンクリート構造物の高耐久化が求められており，沿岸地域での塩害対策による長寿命化が重要視されている．その対策の中の一つとして，カルシウムアルミネート系材料を混和材として活用することで塩化物をフリーデル氏塩として固定化させる技術が広く検討されている[1)]．

そこで，本研究では塩化物の浸透抑制技術に最適な材料を検討するためカルシウムアルミネート系材料と同様にフリーデル氏塩の構成成分の一つであるアルミニウムを多く含有する材料として，アルミノシリケート系材料を活用した場合の塩化物の浸透抑制効果について実験的に検討した結果を報告する．

２．試験概要

本研究では，アルミノシリケート系材料について塩化物の浸透抑制効果を有する混和材として活用できるか可能性を検討するため，浸透抑制効果についてカルシウムアルミネート系材料と比較して評価することとした．

表－１に使用材料を示す．混和材としてカルシウムアルミネート系材料(以下 CA)およびアルミノシリケート系材料(以下 AS)を使用し，カルシウムアルミネート系材料にはハイアルミナセメントを使用した．なお，混和材の化学成分は蛍光 X 線分析にて比較を行った．

試験体の作製に関して，配合は**表－２**に示す通り水結合材比 50 %で砂セメント重量比 3 のモルタルである PL をベースに AS および CA をそれぞれセメントの内割で混和し，CA 10%，AS 5%，AS 10%の水準の試験体(φ 50 × 100 mm)を 20℃-70%RH 環境で作製した. 養生については，材齢 1 日で脱型後材齢 7 日まで 20℃環境にて水中養生を施し，その後試験体を塩分濃度 10%水溶液に 13 週間浸漬した．

浸漬後の試験体の評価方法として，**表－３**に示す通り，塩化物浸透深さは EPMA 法にて分析を行い，試験体は縦方向に半分に切断し試験体側面の表面から中心までの 25 mm を部分的に切り出したものを測定面として用いた．また，フリーデル氏塩の生成を確認するため粉末 X 線回折(XRD)の測定を行った. 測定試料は，試験体表面から 5mm の深さまで切削したものを粉砕して用いた．

表－１　使用材料

材料	略称	種類	備考	密度
水	W	上水道水	千葉県佐倉市	1.00
セメント	C	普通セメント	太平洋セメント(株)	3.16
細骨材	S	セメント強さ試験用標準砂	(一社)セメント協会	2.64
混和材	CA	カルシウムアルミネート系	ハイアルミナセメント	3.16
	AS	アルミノシリケート系	(試作品)	2.59

表－２　モルタル配合

水準名	W/B (B=C+混和材)	S/C	混和材種類	混和量(vs.C)
PL	50 %	3	—	—
CA 10%			CA	10 %
AS 5 %			AS	5 %
AS 10 %			AS	10 %

表－３　試験方法

試験項目	試験方法概要
化学成分	蛍光 X 線分析(オーダー分析)
塩化物浸透深さ	JSCE-G574「EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法」
結晶相同定	粉末 X 線回折(XRD)により分析

キーワード：塩害，アルミノシリケート，固定化，フリーデル氏塩，浸透抑制
連絡先：〒285-0802　千葉県佐倉市大作 2-4-2　太平洋マテリアル株式会社　開発研究所　TEL.043(498)3921

３．結果と考察

表−４に混和材として用いたCAおよびASを蛍光X線で分析した主要化学成分を示す．Al_2O_3含有量で比較すると，CAの方が含有量が多くフリーデル氏塩を生成する上で適していると言える．

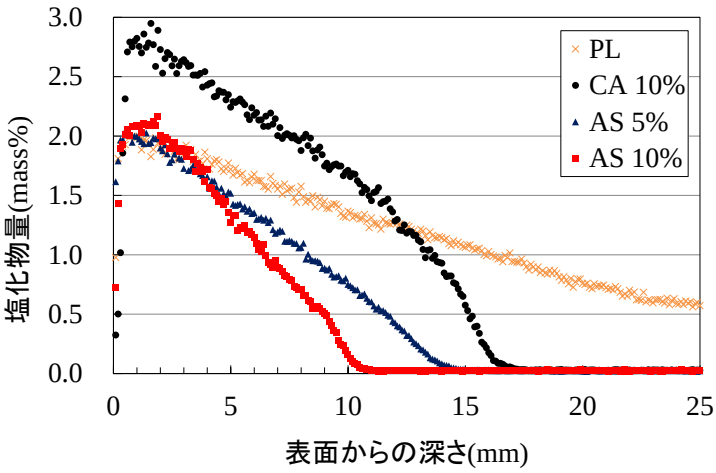
図−１に13週塩水浸漬した試験体についてEPMA法で分析した結果を示す．塩化物浸透深さを比較すると，PL，CA 10%，AS 5%の順で減少しており，AS 10%で最も小さいことがわかる．ASを混和した水準では表層の塩化物量はPLと同等だが，試験体内部に向かうにつれ塩化物量が急激に低下しており，高い浸透抑制効果が確認された．一方，CA 10%での試験体表層の塩化物量はその他と比較して多いにも関わらず，塩化物浸透深さはPLよりも小さいことからフリーデル氏塩による塩化物の固定化が予想される．

図−２に13週塩水浸漬した試験体表層のXRD測定結果について，フリーデル氏塩の第一ピークが確認できる11.3°付近のX線回折パターンを示す．図中のピーク強度からCA 10%，AS10%の両方でフリーデル氏塩の生成が確認され塩化物をトラップしていると考えられる．特に，CAではより多くのフリーデル氏塩が生成しており，EPMA分析における表層の挙動と一致する．

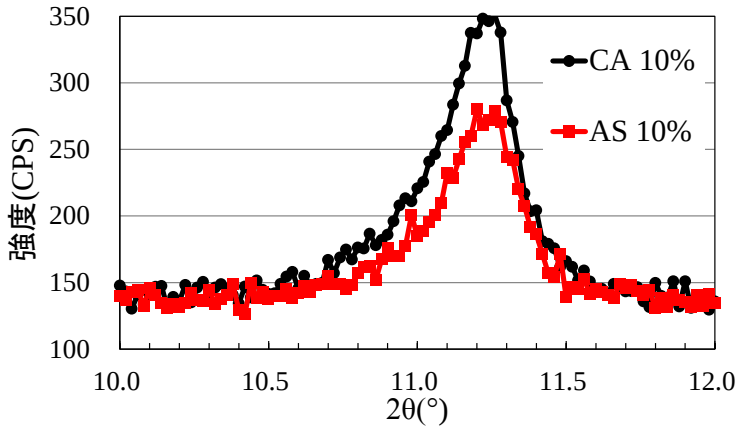
これらの結果から，試験体表層での塩化物の固定化の点ではAl_2O_3含有量の多いCAが効果的であるが，EPMA測定結果から試験体内部への浸透抑制の点でASが効果的であると言える．ASの塩化物の浸透抑制メカニズムについては，フリーデル氏塩生成による固定化効果に加えて，試験体内部での緻密化の影響が可能性として考えられる．

表−４　使用混和材の化学成分

混和材	化学組成(%)		
	Al_2O_3	SiO_2	CaO
CA	69.4	0.20	29.5
AS	46.5	51.0	0.02



図−１　EPMA分析による塩化物浸透深さ



図−２　粉末X線回折パターン

４．まとめ

本研究では，コンクリート構造物の長寿命化に向けた塩害対策として塩化物の浸透抑制技術に着目し，アルミノシリケート系材料を混和材として活用した塩化物の浸透抑制効果について実験的に検討した．

その結果，アルミノシリケート系材料はカルシウムアルミネート系材料と比較して試験体表層でのフリーデル氏塩生成による塩化物の固定化性能は劣るものの，試験体内部での塩化物の浸透抑制性能の点で優れることが示唆された．これによりアルミノシリケート系材料を活用した塩化物の浸透抑制材としての可能性を見出した．浸透抑制効果の詳細については，フリーデル氏塩生成による固定化効果に加えて試験体内部の緻密化が影響している可能性が考えられる．今後は浸透抑制効果のメカニズム解明を目的として緻密性についてより詳細な検討を行いたい．

参考文献

1) 田原和人ほか：$CaO \cdot 2Al_2O_3$ を混和したセメント硬化体の塩化物固定化能力，セメント・コンクリート論文集，No. 64，pp. 428-434(2010)