

セメント固化改良における海水成分の有効活用に関する一考察

(株)大林組 正会員 ○西村 俊亮
 正会員 谷口 勝基
 正会員 三浦 俊彦
 正会員 森田 晃司

1. はじめに

海上や沿岸部におけるセメント固化改良工事では、練混ぜ水に海水を用いることがある。これは、海水が水道水に比べて安価に手に入り、安定した供給が可能のためである。海水練り改良体の強度については、一般に水道水練りと同程度として扱われている¹⁾。しかし、海水には水道水に比べて多くの成分が溶解しており、強度発現のメカニズムが異なると推察される。また、海水成分を有効に活用できれば、より改良効果が向上する可能性がある。改良効果が向上すれば、要求性能を満足するのに必要なセメント量を低減でき、より経済的なセメント固化改良が可能となる。本稿では、海水成分に作用する助剤を改良材に添加することにより、改良効果が向上することを室内実験で確認した結果を報告する。

セメント固化改良における初期強度の発現には、エトリンガイト($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)の生成が要の一つとなる。エトリンガイトの生成には、海水の主要成分の一つでもある硫酸イオン SO_4^{2-} が必要である。本実験では、海水中の SO_4^{2-} と助剤(アルミニウム系)によってエトリンガイトをより多く生成することで、改良効果を向上させることを狙いとした。改良効果は、一軸圧縮試験(JIS A 1216)と透水試験によって確認した。また、現象のメカニズム解明のため、化学分析とX線回折を実施した。

2. 一軸圧縮試験

表-1 に示す配合で3種類の供試体を作製し、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。試料は、山砂とトチクレーを3:1で混合し、含水比を12%に調整した。含水比は水道水によって調整した。練混ぜ水の海水は、相模湾で採取したものである。一般的なスラリー混合方式の固化改良を想定し、W/Cを100%とした。助剤の添加量は、海水中の SO_4^{2-} (濃度:約0.26%)がすべてエトリンガイト生成に使用されると仮定して、海水重量の0.5%と設定した。

混練手順は、各材料を均一に攪拌するため、図-1のとおりとした。混練した供試体は、φ50mm、h=100mmのサミットモールドにタッピングしながら詰め、20℃の恒温温室で養生した。

図-2に28日強度(3供試体の平均値)を示す。海水を練混ぜ水に用いたS-1の強度は、水道水を練混ぜ水に用いたW-1の約1.5倍に増加した。さらに、助剤を添加したS-2の強度は、S-1よりも約6%増加した。

3. 透水試験

2章と同条件で作製した供試体に対して、三軸透水試験²⁾を実施した。透水試験は、有効拘束圧100kN/m²、背圧100kN/m²、通水圧50kN/m²の条件で実施した。

図-3に透水試験結果(2供試体の平均値)を示す。海水を練混ぜ水に用いたS-1の透水係数は、W-1の約1/2倍にまで低減した。さらに、助剤を添加したS-2の透水係数は、S-1の約1/2倍にまで低減した。

表-1 配合表

	試料土			セメント	水		助剤
	山砂	トチクレー	含水比調整水	高炉B種	水道水	海水	
W-1	6000	2000	826	602	602	-	-
S-1					-	-	-
S-2					-	602	3.01

単位: g

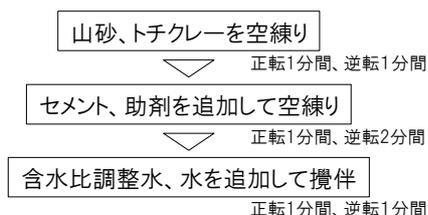


図-1 材料の混練手順

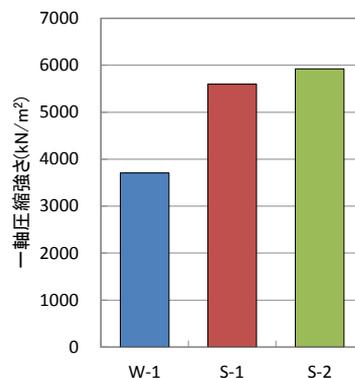


図-2 一軸圧縮試験(σ₂₈)結果

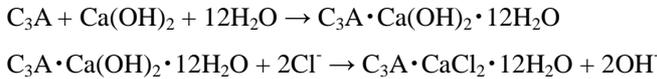
キーワード 地盤改良, セメント固化改良, 海水, エトリンガイト, フリーデル氏塩
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟 TEL:03-5769-1302

4. 化学分析・X線回折

海水および助剤による強度増加および透水係数低減のメカニズムを解明するため、化学試験によって海水使用時の溶解成分の変化を観察した。また、X線回折によって反応により生成される結晶性鉱物を同定した。分析に用いた供試体の配合を表-2 に示す。配合は、セメント・水・助剤の比率を2章の配合と同じにし、試料土を除外した。分析手順を図-4 に示す。

表-3 に化学分析の結果を示す。海水練り(S-1A, S-2A)は、海水成分である Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺の各種イオン濃度が高く、電気伝導度が高い。一方、Ca²⁺の濃度については、海水練りが水道水練り(W-1A)の約 1/3 となった。これは、海水練りではより多くの Ca²⁺が固相として存在していることを示している。

図-5 にX線回折の結果を示す。エトリンガイトのピーク強度は 3 ケースとも同程度であり、海水成分と助剤の効果によるエトリンガイトの生成は明瞭に見られなかった。一方、海水練りではフリーデル氏塩(C₃A・CaCl₂・12H₂O)のピーク強度が高く、水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)のピーク強度が低い。これは、以下の反応によるものと推察される³⁾。



以上の分析結果より、海水による強度増加および透水係数低減には、フリーデル氏塩の生成が寄与していると推察される。

一方、S-1A と S-2A の間には、化学分析とX線回折ともに大きな差異は見られず、助剤の効果は明瞭に見られなかった。

4. まとめ

- ①海水および助剤の使用により、改良効果が向上することが確認された(強度増加, 透水係数低減)。
- ②改良効果の向上には、フリーデル氏塩の生成が寄与していると推察される。

以上の結果より、海水および助剤による強度増加の分だけ、実施工におけるセメント添加量を低減できる可能性を確認できた。今後は、今回得られた基礎データを活用して、より経済的なセメント固化改良を実現したい。

参考文献

- 1) (財)沿岸技術研究センター: 海上工事における深層混合処理工法技術マニュアル(改訂版), p.109, 2008
- 2) (社)地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説, p.525, 2009
- 3) 宮口克一ほか: 塩素固定化材を混和したモルタルと内在塩分を多く含むコンクリートを打ち継いだ場合の塩化物イオンの移動挙動, セメント・コンクリート論文集 Vol.68, pp.218-225, 2014

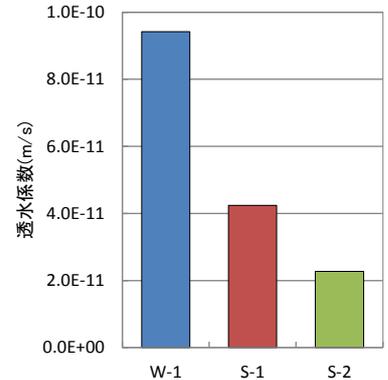


表-2 配合表(分析用)

	セメント	水		助剤
	高炉B種	水道水	海水	
W-1A	200	200	-	-
S-1A		-	200	-
S-2A		-	-	1.0

単位:g

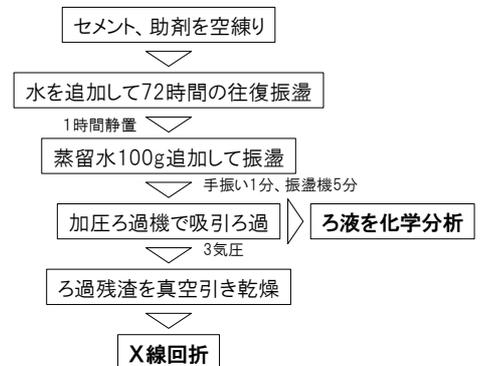
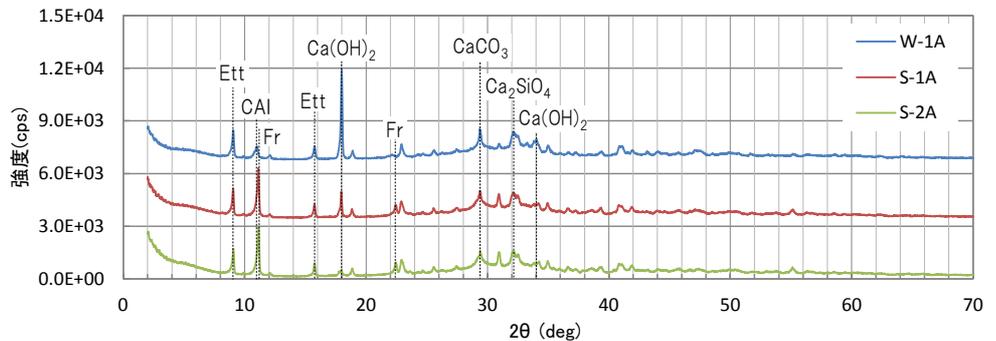


図-4 化学分析・X線回折手順

表-3 化学分析結果

	混合直後	ろ液								
	pH	pH	EC (mS/m)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Al (mg/l)
W-1A	12.8	12.8	1490	10	24	480	970	550	<10	0.9
S-1A	12.6	13.0	4820	7200	100	8000	1400	170	<10	1.1
S-2A	12.6	13.0	4810	7300	100	8000	1400	190	<10	1.4



Ett: エトリンガイト, CaI: カルシウムアルミネート鉄炭酸塩水和物, Fr: フリーデル氏塩, Ca(OH)₂: 水酸化カルシウム, CaCO₃: 炭酸カルシウム, Ca₂SiO₄: ケイ酸カルシウム

図-5 X線回折結果