

海水を利用したセメント改良土からのふっ素、ほう素溶出量調査

(株)大林組 正会員 ○三浦 俊彦、新村 亮

1. はじめに

土質改良を目的としてセメントを用いる際は、セメントと真水の懸濁液が使用される。しかし、離島や海上、沿岸部での工事や災害復旧の緊急工事等では、真水の入手が困難な場合があることから、海水を用いた土質改良を検討している。コンクリート製造において海水利用を利用した場合、真水に比べて早期強度が高くなり、かつ透水係数が小さい緻密なコンクリートが製造できることが報告されている¹⁾。本報では、土質改良時にセメントと海水の懸濁液を用いた場合の強度発現と、海水に含まれるふっ素とほう素が改良土から溶出する可能性について調べた結果を報告する。

2. 海水を用いたセメント配合試験

2.1 目的 海水と真水を用いた場合のセメント改良土の一軸圧縮強さを比較するとともに、セメント改良土の環告46号法によるふっ素とほう素溶出量を調べた。

2.2 方法 表1に試料土の性状を示す。表2に配合試験のケースを示す。試料土は、山砂とローム、真砂土を使用した。セメントは高炉セメントB種を使用し、高炉セメントでは強度改善が期待できないロームについては、一部セメント系固化材を使用した。土質改良の目的として、地盤改良と高圧噴射、ソイルセメント壁、流動化処理土を想定してセメントと海水（真水）の配合を

表1 試料土の性状

項目		単位	山砂	ローム	真砂土
含水比		%	13.9	111.0	11.4
土粒子密度		g/cm ³	2.716	2.813	2.752
粒度	礫分	%	24.6	5.6	32.5
	砂分	%	74.2	6.4	52.9
	シルト分	%	1.2	63.6	9.6
	粘土分	%		24.4	5.0
分類		—	礫質砂	砂礫混じり 細粒土	細粒分混じり 礫質砂

決めた。セメント懸濁液を試料土に添加した後、ミキサーで10分間攪拌し、直径5cm、高さ10cmのモールドに充填した。20℃で養生し、7日と28日後の含水比、湿潤密度、一軸圧縮強さを測定した。7日養生後の試料を2mm以下に粉砕し、環告46号法のふっ素とほう素溶出量を測定した。

2.3 結果 表2に一軸圧縮強さの結果を示す。山砂と真

表2 セメント改良土の一軸圧縮強さ

目的	試料土	セメント		水	ベントナイト	海水7日後		海水28日後		真水7日後		真水28日後	
		種類	添加量 (kg/m ³)	添加量 (kg/m ³)	添加量 (kg/m ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸強度 (kN/m ²)	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸強度 (kN/m ²)	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸強度 (kN/m ²)	湿潤密度 (g/cm ³)	一軸強度 (kN/m ²)
地盤改良	山砂	高炉B	200	160	—	1.953	1912	1.940	3859	1.962	1434	1.949	3101
			200	240	—	1.985	2852	1.959	4773	1.958	1320	1.974	3383
	ローム	高炉B	300	240	—	1.468	58	1.468	97	1.461	82	1.453	104
			300	360	—	1.443	34	1.441	53	1.430	39	1.436	58
		固化材	300	240	—	1.478	416	1.473	646	1.462	369	1.461	683
			300	360	—	1.448	261	1.446	409	1.426	304	1.418	468
	真砂土	高炉B	200	160	—	2.127	4987	2.112	7696	2.114	4165	2.118	7182
			200	240	—	2.072	3812	2.067	6811	2.042	2368	2.049	5319
高圧噴射	ローム	高炉B	600	800	—	1.433	200	1.427	292	1.412	238	1.410	297
		固化材	600	800	—	1.438	1958	1.429	2588	1.410	1715	1.409	2483
	真砂土	高炉B	600	800	—	1.963	4056	1.938	7144	1.971	2199	1.982	4342
ソイルセメント	山砂	高炉B	300	600	10	1.841	1361	1.817	2427	1.798	523	1.794	1425
	ローム	高炉B	400	600	15	1.438	51	1.431	58	1.408	71	1.397	89
			600	600	20	1.480	403	1.475	458	1.458	412	1.449	499
流動化処理土	ローム	高炉B	100	400	—	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず
			100	300	—	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず	自立せず
			200	300	—	1.446	32	1.448	38	1.413	42	1.412	46
	真砂土	高炉B	100	400	—	1.960	494	1.978	764	1.974	332	2.037	494
			100	300	—	1.980	966	1.957	1747	1.958	586	1.995	1318

キーワード 海水、土質改良、ふっ素、ほう素

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所 環境技術研究部 TEL042-495-1014

砂土のケースでは、同じセメント配合量でも、真水より海水を用いた方が一軸圧縮強さが大きくなる傾向にあった。一方でロームを用いたケースは、高炉セメント B 種とセメント系固化材の両ケースとも、海水と真水で差は見られなかった。高炉セメント B 種と海水を用いた際の強度増加の原因として、塩素によるフリーデル氏塩の生成及び水酸基イオン濃度の上昇によるエーライトの水和促進がある¹⁾が、ロームは比表面積の大きい非晶質を含むため、セメントと海水の反応と同時に、カルシウムイオンや塩化物イオンが土壌粒子に吸着されて、強度が増加し難かったと考えられる。

図 1 に改良土の pH とふっ素、ほう素溶出量の関係を、図 2 に一軸圧縮強さとふっ素、ほう素溶出量の関係を示す。ふっ素溶出量は、pH が比較的小さく、一軸圧縮強度が小さいほど大きくなる傾向にあり、ロームを対象とした一部のケースでふっ素の溶出量基準 (0.8mg/L) を超えた。ほう素溶出量はいずれのケースでも溶出量基準 (1mg/L) 以下であった。海水と真水の両ケースで、強度が小さいほど、ふっ素溶出量の増加がみられたことから、海水の使用が原因ではないと判断できる。ふっ素溶出量が増加したのは、pH が 10~11 で、一軸圧縮強度が改良強度に達していないケースであり、実際の工事においては問題にはならないが、施工不良が原因でセメント改良が不十分な場合は注意を要すると考えられた。

3. 高炉セメントと試料土のふっ素、ほう素溶出量

3.1 目的 配合試験結果でのふっ素溶出量の増加原因を考察するため、高炉セメント B 種と山砂、ローム、真砂土の各材料について、pH を変化させた場合の溶出量を調べた。

3.2 方法 高炉セメント B 種は、pH が 11、7 になるように希硫酸を添加しながら、環告 46 号試験に準じて、ふっ素とほう素の溶出量を測定した。山砂とローム、真砂土は pH が 10、12 となるように消石灰を添加して溶出試験を行った。

3.3 結果 表 3 に結果を示す。参考のため、使用した海水のふっ素とほう素濃度と、各材料の底質調査法によるふっ素

とほう素含有量の測定結果を併せて示す。高炉セメントは、pH が小さいほどふっ素とほう素溶出量が大きくなった。山砂は pH 変化に対して溶出量の変化はなかったが、ロームと真砂土は、アルカリ性になるほどふっ素溶出量が増加した。したがって、配合試験でふっ素溶出量が増加したのは、海水や真水の影響ではなく、pH 変化による使用材料からの溶出が原因と考えられた。ローム及び真砂土では、土質改良に不十分な量の高炉セメントが混合されて、ある程度 pH が高くなっても、セメント結晶鉱物の生成が十分に進行しないと、材料からのふっ素溶出量が増加する。実際の施工においては、事前の配合試験により十分に強度確保できる配合を選定するため、ふっ素溶出量が基準値を超えることはないが、ロームのようにカルシウムを大量に吸着して固化しにくい土質の場合は、適切な材料と添加量を調べる必要がある。

参考文献 1) 片野他, 海水を使用したセメント硬化体の強度および内部組成に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.2017~2021, 2013.

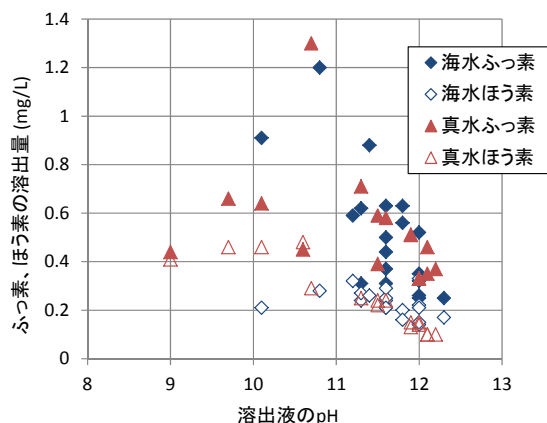


図 1 pH とふっ素、ほう素溶出量の関係

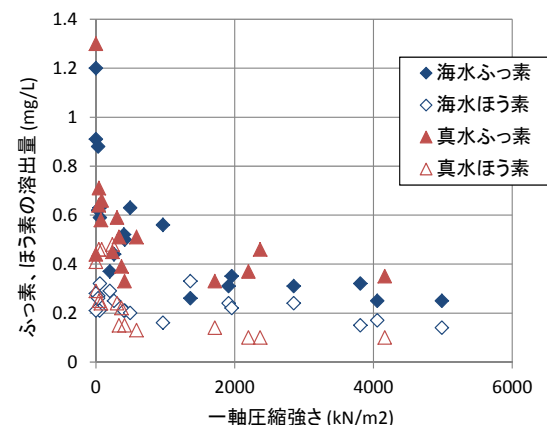


図 2 一軸圧縮強さとふっ素、ほう素溶出量の関係

表 3 セメントと試料土のふっ素、ほう素溶出量

試料	pH	ふっ素 溶出量 (mg/L)	ほう素 溶出量 (mg/L)	ふっ素 含有量 (mg/kg)	ほう素 含有量 (mg/kg)
海水	9.3	—	—	1.1	4.3
高炉セメント	6.6	2.2	2.6	310	74
	11.0	0.58	0.34		
	12.7	0.19	<0.1		
山砂	7.2	<0.1	<0.1	32	20
	10.1	0.13	<0.1		
	11.9	<0.1	<0.1		
ローム	6.6	<0.1	<0.1	70	11
	9.2	0.44	<0.1		
	11.7	0.77	<0.1		
真砂土	7.3	0.10	<0.1	83	<10
	10.0	0.37	<0.1		
	12.2	0.52	<0.1		