セメント系改良土からの六価クロム溶出機構に関する実験的考察（２）

鹿島建設　　正会員　○間宮 尚　小澤一喜　川端淳一
京都大学大学院　正会員　乾 徹　学生会員　小林直広

１．目的

前報（１）ではセメント系改良土からの六価クロム溶出機構を改良～分析工程での酸化・還元反応による六価クロムの含有量の変化と別の要因による含有六価クロムの溶出量の違いの 2 段階で考えるべきであるとの仮説を述べた。しかし、それらをさらに合理的に説明するためには、説明因子間の相関等を考慮した分析が必要である。本報ではそれらの影響因子についてさらに詳細に検討したので報告する。

２．説明変数間の相関係数

本調査では 50 の試料土に対して土質物理試験、土質化学試験、セメント改良土の溶出試験等を行っている。まず、各試験で分析した項目の相関係数を表 1 に示す。溶出液の pH、ORP、EC 等は互いに強い相関を有しており、六価クロム溶出への影響因子を多変量解析で検討する際には配慮が必要である。改良試料の溶出液の pH は試料土の pH とは相関が弱かったが、試料土（乾土）のリン吸、アロフェン、CEC といった関東ロームと関連する因子との相関は強かった。アロフェンを含む試料土の pH は相対的に低く、セメント改良した際には pH が上昇するものの、他の改良土と比較すると pH が相対的に低い状態で維持されている（図 1)。

３．溶出液成分の主成分分析

改良試料溶出液の分析項目 pH、ORP、EC について相関係数行列を用いた主成分分析を行った結果、表 2 に示す 2 つの主成分によって 95%のばらつきが説明されることが分かった。各改良試料の主成分得点の分布（図 2）を見ると、シルト、粘土の分布傾向と砂質土の分布傾向が異なることが分かる。

風乾後の改良試料中の六価クロム含有量について、セメント配合量から算定した計算値に対する分析値の比

表 1　試料特性の相関関係

		六価ｸﾛﾑ		溶出液				試料土						
		溶出	含有	pH	ORP	EC	SO_4^{2-}	pH	EC	CEC	AEC	ﾘﾝ吸	有機炭素	ｱﾛﾌｪﾝ
六価ｸﾛﾑ	溶出	1.00	**0.78**	0.09	-0.19	-0.28	-0.04	-0.10	-0.24	-0.12	0.13	0.00	-0.34	-0.21
	含有		1.00	**0.51**	**-0.47**	0.13	-0.34	0.09	-0.22	-0.43	-0.09	-0.35	**-0.53**	**-0.42**
溶出液	pH			1.00	**-0.75**	**0.63**	**-0.66**	0.31	-0.15	**-0.64**	**-0.55**	**-0.84**	**-0.53**	**-0.72**
	ORP				1.00	-0.28	**0.56**	-0.17	0.27	**0.48**	**0.40**	**0.64**	**0.50**	**0.58**
	EC					1.00	-0.29	0.37	0.06	**-0.50**	-0.31	**-0.58**	-0.29	-0.30
	SO_4^{2-}						1.00	-0.19	**0.64**	**0.48**	0.32	**0.57**	0.30	0.37
試料土	pH							1.00	0.20	-0.12	-0.38	-0.15	-0.17	-0.13
	EC								1.00	0.28	-0.15	0.16	0.30	-0.04
	CEC									1.00	-0.03	**0.66**	**0.78**	0.20
	AEC										1.00	**0.58**	0.03	**0.76**
	ﾘﾝ吸											1.00	**0.49**	**0.76**
	有機炭素												1.00	0.21
	ｱﾛﾌｪﾝ													1.00

表 2　主成分分析結果

		主成分	
		1	2
固有値		2.13	0.72
寄与率[%]		70.9	24.1
固有ﾍﾞｸﾄﾙ	pH	0.65	-0.06
	ORP	-0.56	0.63
	EC	0.50	0.78

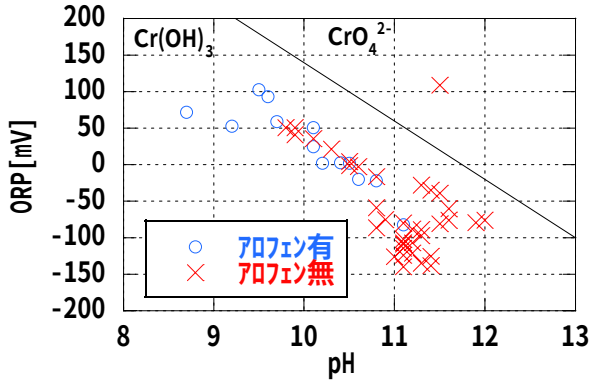

図 1　改良試料溶出液の pH と ORP の関係

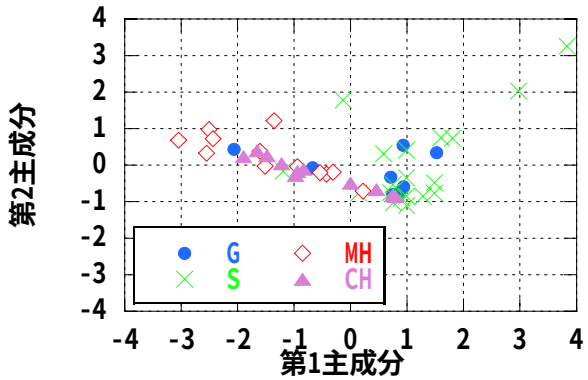

図 2　改良試料溶出液の主成分分析結果

キーワード　地盤改良，セメント系改良土，六価クロム，土質，溶出機構
連絡先　　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島技術研究所　ＴＥＬ 042-485-1111

を含有比と定義し、上記の主成分との相関を図 3、図 4 に示す。含有比は第 1 主成分得点（pH 大、ORP 小）が高く、第 2 主成分得点（ORP 小、EC 小）が低いほど大きい（砂質土を除く）。このことから、前報図 5 の pH-ORP 線図上で六価クロムの存在領域を規定したラインよりも下に移行すれば含有比が低下するというわけではない。

4．試料土特性の主成分分析

試料土（乾土）の CEC、AEC、リン酸吸収係数、有機炭素、アロフェンについて相関係数を用いた主成分数 2 個の多変量解析を行った結果、表 3 に示す 2 つの主成分（アロフェン系と有機質土系）によって 89%のばらつきが説明される。アロフェン系主成分が大きいと含有比は下がり（図 5)、有機質土系主成分は含有比に特定の影響をもたらしていない（図 6)。

5．溶出比への影響

風乾後の改良試料中の六価クロム含有量（分析値）に対する溶出量(分析値の 10 倍)を溶出比と定義し、溶出液、乾土の各主成分との分布を見た（図 7～10)。砂質土の溶出比は 0.3、シルト、粘性土の溶出比は 0.5 程度で、砂質土の改良試料は溶出しにくく、また、砂質土はシルト、粘土とは化学的に特異な傾向を示した。

6．おわりに

以上の検討より､セメント改良土からの六価クロム溶出は２段階の機構を考慮する必要があるものと考えられる。これまでアロフェンを含む関東ロームでの溶出が問題視されることが多かったが､改良～分析工程では pH が低く維持されるアロフェン系で酸化が抑制されて含有比は低下するものの、溶出はしやすい、すなわち２段階目の溶出機構が六価クロム溶出量に大きく影響しているものと考えられる。

参考文献

・小林、乾、小澤、間宮：改良土からの六価クロム溶出特性に及ぼす物理化学特性の影響第 43 回地盤工学研究発表会、投稿中

表 3　主成分分析結果

		主成分 1	主成分 2
固有値		2.84	1.59
寄与率[%]		56.9	31.8
固有ﾍﾞｸﾄﾙ	CEC	0.41	0.53
	AEC	0.37	-0.55
	リン吸	0.56	-0.03
	有機炭素	0.38	0.51
	ｱﾛﾌｪﾝ	0.48	-0.40

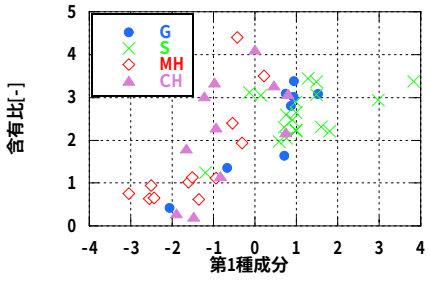

図 3　第 1 主成分（溶出液）と含有比の関係

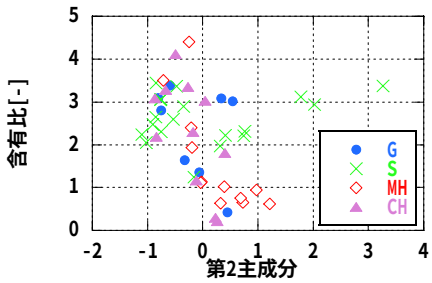

図 4　第 2 主成分（溶出液）と含有比の関係

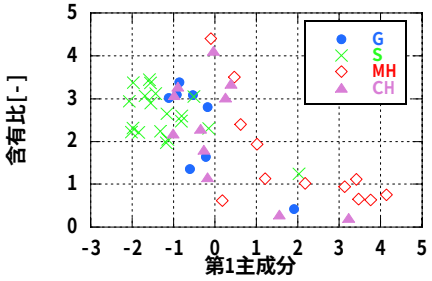

図 5　第 1 主成分（乾土）と含有比の関係

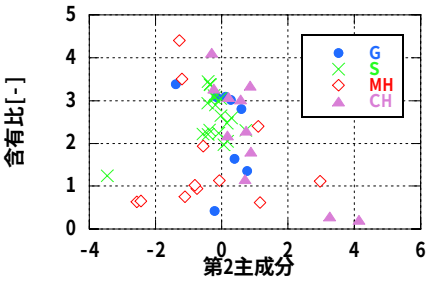

図 6　第 2 主成分（乾土）と含有比の関係

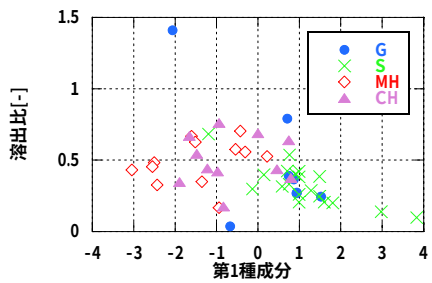

図 7　第 1 主成分（溶出液）と溶出比の関係

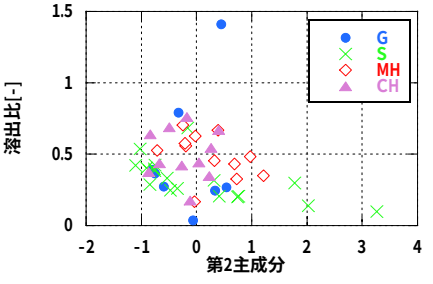

図 8　第 2 主成分（溶出液）と溶出比の関係

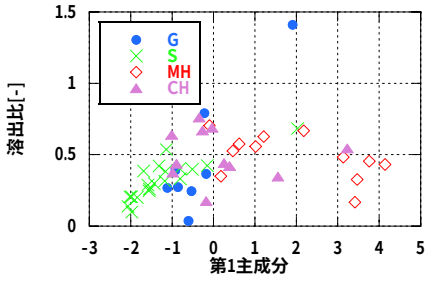

図 9　第 1 主成分（乾土）と溶出比の関係

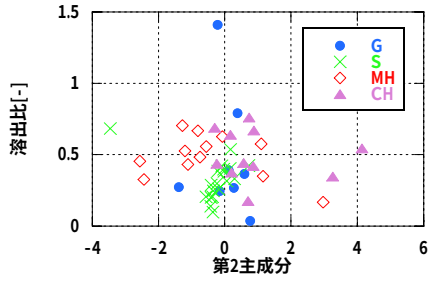

図 10　第 2 主成分（乾土）と溶出比の関係