

硫酸第一鉄の超多点注入工法による六価クロム 原位置還元安定処理

川添陽生*・村井貞人*・高月 修*・坪田康信**

現在、重金属の汚染に対しては汚染の種類、濃度、周辺への影響に応じて、封じ込めや掘削除去、原位置浄化などの処理が行われている。砂質地盤における原位置浄化の施工法のひとつとして注入工法がある。この工法は機械設備がコンパクトであるため、狭い場所や建屋内での施工が可能であるが、注入の不均一さによる浄化効果への影響が懸念される。本報告は、この問題を解決するために超多点注入工法を適用して硫酸第一鉄水溶液による六価クロムの原位置還元処理について試験施工を行ったものである。

キーワード：重金属，原位置還元処理，超多点注入工法，硫酸第一鉄

1. はじめに

現在、土壌および地下水汚染の原位置浄化技術として従来の地盤改良の施工方法が多く利用されている。その中の1つとして砂地盤への注入工法の適用がある。この工法は機械設備がコンパクトであるため、狭い場所や建屋内での施工が可能であるが、注入の不均一さによる浄化効果への影響が懸念される。そこで今回はこの問題を解決するために超多点注入工法を用いて硫酸第一鉄を注入する六価クロムの原位置還元処理について試験施工を行った。

困な土粒子間に浸透注入させることが可能である。

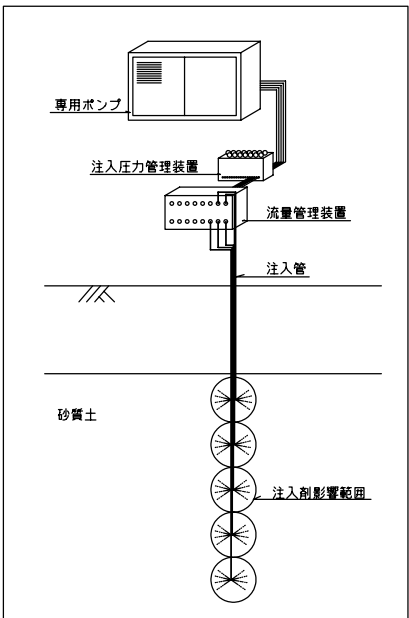


図-1

2. 超多点注入工法の特徴と試験施工の目的

通常の地盤改良における薬液注入工法は、地盤の不均一さ、注入圧力の高さなどから脈状注入となり、理想的な浸透注入とはなりにくい。土壌、地下水浄化の場合には従来の地盤強度増加や遮水などの用途に比べ要求品質が微視的であり、脈状注入では地盤内に未浄化部が残存することが懸念される。

そこで土壌、地下水浄化の施工法として浸透性の高い超多点注入工法に着目した。この工法には以下に示す特徴があり、砂地盤（透水係数 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/sオーダー）の液状化対策として実績のある工法である（写真-1参照）。

同時に複数箇所（最大32箇所）から超低压(0.1～0.2MPa)で脈動のない定吐出量で長時間連続注入することにより、広範囲な土粒子間に浸透注入させることが可能である。

①同時に複数箇所（最大32箇所）から超低压で脈動のない定吐出量で長時間連続注入することにより、広範

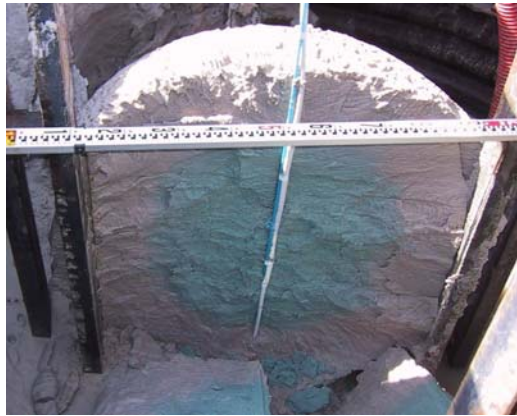


写真-1 透水係数 10^{-3} cm/s 地盤における浸透注入実験による造成体

* 関東支店土木部 **環境修復事業部

②注入圧力管理装置、流量管理装置を設置することにより、各箇所の注入圧力、注入量を経時的に監視し、調整することが可能である（図－1、写真－2、写真－3参照）。

今回の超多点注入工法による試験施工の目的を以下に示す。

- ①粘土およびシルト（透水係数 3.0×10^{-6} cm/s以下）、砂と粘土の互層（透水係数 2.2×10^{-4} cm/s）、細砂（透水係数 2.9×10^{-3} cm/s）の透水係数の異なる3つの地盤での注入結果から、土質的な適用範囲（透水係数）を把握する。
- ②注入濃度の違いによる浄化効果および浄化可能範囲を把握する。
- ③原位置における地下水中の六価クロム濃度変化を確認する。

3. 試験施工内容

3.1 注入パターン

注入は硫酸第一鉄水溶液濃度による浄化効果の違いを把握するため表－1に示す2パターンについて行う。注入深度はGL-7m～-22mの範囲に深度方向1m間隔で同時注入する。注入はまず、硫酸第一鉄注入量が500kgになるまで行い、地下水中の六価クロム濃度変化を確認する。その後、土壌溶出量の低減を図るためにさらに注入を継続するものとする。本試験では、地下水濃度が環境基準値以下となった後、その約4倍量の硫酸第一鉄を追加注入することとした。

3.2 事前調査

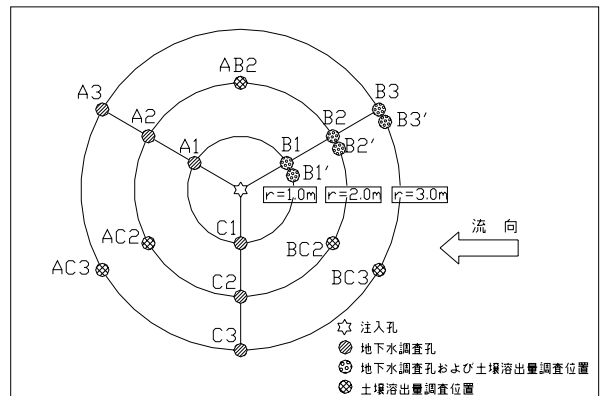
パターン1、2それぞれにおいて図－2に示すように注入孔から半径方向に1、2、3mの位置で地下水の汚染を確認するための調査孔を9箇所（A1～3、B1～3、C1～3）を設置し、そのうち3箇所（B1～3）で合わせて土壌の溶出量を確認するための調査ボーリングを行い、事前の地下水、土壌の六価クロム汚染濃度を把握する。なお、試験施工位置の地下水位はGL-3m、流向は図－2に示すように右から左へ2.2cm/dayで流れている。土質構成および土壌の汚染状況を表－2に示す。



写真－2 注入設備全景



写真－3 注入流量・注入圧管理状況



図－2 超多点注入工法概要図

表－1 注入パターン

	地下水試験			土壌試験	
	注入液濃度 (%)	注入液量 (L)	FeSO ₄ 注入量 (kg)	注入液量 (L)	FeSO ₄ 注入量 (kg)
パターン1	0.6	850,000	500	—	—
パターン2	5.0	10,000	500	50,000	2,500

3.3 確認調査

注入中はパターン1, 2における硫酸第一鉄濃度の違い, および, 硫酸第一鉄注入量の違いによる浄化効果を把握するために地下水汚染濃度を測定する。また, パターン2において硫酸第一鉄500kgの注入後, さらに2,000kgの注入を行なった後, ボーリングにより土壌溶出量調査を実施した。

4. 結果

4.1 地下水

4.1.1 硫酸第一鉄絶対量に対する浄化効果

硫酸第一鉄500kgを注入した時の地下水中の六価クロム濃度の変化を図-3に示す。

パターン1においては注入孔からの距離に関係なく六価クロム汚染濃度の低減はほとんど認められない。

パターン2においては半径2mまでは環境基準値(0.05mg/L)を満足している。また, 半径3mにおいては六価クロム汚染濃度の低減がほとんど認められない。

4.1.2 地下水濃度の経日変化

試験施工完了から10日後に地下水の六価クロム溶出値を確認した結果を図-4に示す。

パターン1においては試験施工完了時に若干の汚染濃度の低減が認められるが, 10日後には初期値程度に戻っていることが確認できる。

パターン2においては施工完了時に半径2mまでは環境基準値(0.05mg/L)を満足しており, 10日後に六価クロム濃度の上昇は認められない。しかし, 半径3mにおいては若干, 汚染濃度が上昇している。

4.2 土壌

パターン2については硫酸第一鉄2,500kg注入時点で土壌の汚染調査を行った。その結果を表-2に示す。

- ①粘土およびシルト(透水係数 10^{-6} cm/s以下)においては, 注入孔からの距離に関係なく六価クロム汚染濃度に低減は認められない。
- ②砂と粘土の互層(透水係数 2.2×10^{-4} cm/s)においては, 半径2mまでは環境基準値(0.05mg/L)を満足している箇所と, していない箇所があるが, 半径3mにおいては六価クロム汚染濃度の低減がほとんど認められない。
- ③細砂層(透水係数 2.9×10^{-3} cm/s)においては, 半径2mまでは環境基準値(0.05mg/L)を満足している。しかし, 半径3mにおいては環境基準値を満足している箇所と, していない箇所がある。

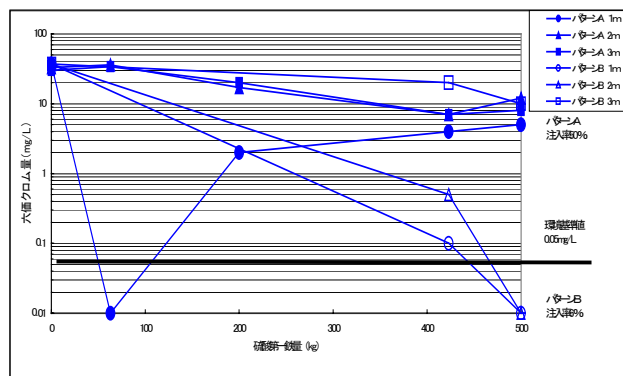


図-3 硫酸第一鉄絶対量と六価クロム溶出値の変化(地下水)

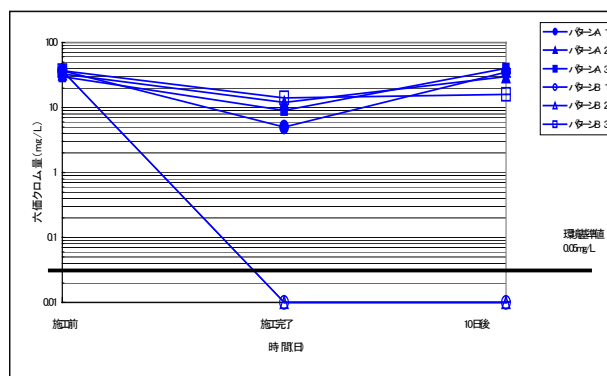


図-4 六価クロム再溶出の確認(地下水)

5. 考察

5.1 地質的な適用範囲(透水係数)

地質別に汚染濃度が異なり, 一概に比較はできないものの, パターン2の土壌溶出量の結果から, 細砂層(透水係数 2.9×10^{-3} cm/s)以上の透水係数の地盤には, 本工法は適用可能と考える。

5.2 注入量および注入濃度と浄化効果(浄化範囲・硫酸第一鉄必要量)

硫酸第一鉄注入量が同じでも注入濃度の違いにより, 浄化効果が異なることが判明した。細砂層(透水係数 2.9×10^{-3} cm/s)において, 高濃度注入(パターン2: 5%)では注入量500kgで半径2mまでの地下水, 注入量含み2,500kgで土壌ともに環境基準値を満足し, 濃度の上昇は認められない。これに対し低濃度注入(パターン1: 0.6%)では, 硫酸第一鉄注入量が同じ場合でも, 地下水の浄化が不十分であった。これは注入液量が大きいため, 浄化想定範囲外へ浸透拡散しているためと思われる。

これらのことから, 本工法で効率的な浄化を行うためには, 汚染濃度, 地盤特性に合った適切な注入濃度, 注入量を設定することが重要である。

表-2 注入前後での六価クロム溶出量値の変化 (土壌)

柱状図	透水係数 cm/s	半径(m) 調査時期 孔番	六価クロム汚染濃度 (mg/L)										
			r=1		r=2					r=3			
			施工前	施工後	施工前	施工後			施工前	施工後			
	B1	B1'	B2	B2'	AB2	AC2	BC2	B3	B3'	AC3	BC3		
粘土	3.0×10^{-6}	-7.0	1.00	2.00	4.00	0.50	2.00	0.20	4.00	2.00	2.00	2.00	1.00
		-7.5	4.00	2.00	6.00	1.00	0.00	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	1.00
		-8.0	8.00	2.00	4.00	1.00	0.00	4.00	1.00	4.00	1.00	4.00	2.00
		-8.5	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	4.00	1.00	2.00	1.00	8.00	2.00
		-9.0	6.00	0.00	2.00	0.00	2.00	2.00	1.00	1.00	0.20	4.00	0.50
		-9.5	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	4.00	0.00
		-10.0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
砂と粘土の互層	2.2×10^{-4}	-10.5	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	2.00	0.00	0.10	0.00
		-11.0	0.10	0.00	0.50	0.20	2.00	4.00	2.00	1.00	0.50	0.50	0.50
		-11.5	4.00	2.00	4.00	4.00	4.00	4.00	8.00	4.00	4.00	4.00	1.00
		-12.0	4.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.10	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00
		-12.5	1.00	0.05	1.00	2.00	0.20	0.20	4.00	4.00	4.00	0.20	0.50
		-13.0	1.00	0.00	0.20	0.00	0.05	0.05	4.00	2.00	0.10	0.20	0.20
		-13.5	0.20	0.05	0.20	0.00	0.20	0.10	4.00	1.00	0.05	0.20	0.10
		-14.0	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	0.20	0.10
		-14.5	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		-15.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
シルト	3.0×10^{-6}	-15.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
		-16.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
		-16.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00
		-17.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
細砂	2.9×10^{-3}	-17.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00
		-18.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		-18.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00
		-19.0	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.05	0.00	0.20	0.50	0.20	0.00
		-19.5	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00	0.10	0.00
		-20.0	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.05	0.20	0.00
		-20.5	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00
		-21.0	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00
		-21.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.10	0.20	0.10	0.00
		-22.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00

: 環境基準値 (0.05mg/L) を越える値

6. おわりに

今回の試験施工の知見をもとに、超多点注入工法に硫酸第一鉄注入孔を列状に配置し、敷地外への六価クロム汚染の流出を防止するための応急的なバリア壁として良好な結果を得ることができた。今後は以下の検討を進めることにより、本工法の信頼性の向上と適用範囲の拡大を目指している。

- ・ 地盤特性、汚染濃度と注入液濃度浸透拡散との関係についての検討。
- ・ 溶出量だけでなく含有量に着目した検討。
- ・ 還元処理後の再溶出についての検討。

In-Situ Hexavalent Chromium Reduction Treatment with FeSO₄ Using Super-Multi-Points Injection Method

Haruo KAWAZOE, Tadahito MURAI, Osamu TAKATSUKI and Yasunobu TSUBOTA

Soils polluted by heavy metals are treated by means of the containment, the excavation and treatment, or the in-situ remediation according to the site situations such as contamination contents and the influence to the ambient. An injection method is one of the in-situ treatment methods for sand layer contaminations. Although this method can be applied for the execution in a building or a narrow site as its equipments are compact, the effect is not always complete due to the difficulties of the homogeneous injection. This paper reports the experimental execution of in-situ reduction treatment of hexavalent chromium by means of the super-multi-point injection method using iron sulfate solution.