

IV-5 セメント系固化処理土に関する検討

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 11～平 14

担当チーム：土質チーム

研究担当者：恒岡 伸幸、森 啓年、
大野 真希

【要旨】

平成 11 年 12 月に「セメント系固化処理土検討委員会」が設置され、地盤改良材をはじめとするセメント全般について六価クロムに対する安全性を検証することとなった。その結果を受け、セメント改良土については、平成 12 年 3 月 24 日(平成 13 年 4 月 20 日見直し)に当面の措置を講ずる旨の通達が出された。本研究はセメント改良土からの六価クロム溶出の特性及び溶出した六価クロムの周辺地盤への影響を解明することを目的として実施するものである。

その結果、セメント改良土の溶出濃度と長さがその改良土の保持する六価クロム量と密接に関連することや周辺地盤には六価クロムの移動を抑制する効果があることがわかった。

キーワード：セメント、改良土、六価クロム、カラム試験

1. はじめに

土とセメントまたはセメント系固化材を混合して作製する改良土(以下、セメント改良土)の一部から、土壤環境基準を超過する六価クロム(0.05mg/l)が溶出することが懸念されている。

そこで、平成 11 年 12 月に「セメント系固化処理土検討委員会(委員長：嘉門京都大学大学院教授)」が設置され、地盤改良材をはじめとするセメント全般について六価クロムに対する安全性を検証することとなった。その結果を受け、セメント改良土については、建設省大臣官房技術調査室(現国土交通省大臣官房技術調査課)から平成 12 年 3 月 24 日(平成 13 年 4 月 20 日見直し)に当面の措置を講ずる旨の通達が出された。

一般的に浅層改良と呼ばれるセメント改良土からは、浸透・通過した雨水等に伴って溶出した六価クロムがセメント改良土の外部へ拡散する可能性がある。しかし、現状ではセメント改良土からの六価クロムの溶出濃度や量、溶出した六価クロムの周辺地盤における挙動について、ほとんど知見がないのが現状である。

そこで本研究では、セメント改良土からの六価クロム溶出の特性及び溶出した六価クロムの周辺地盤への影響を解明することを目的に、セメント改良土を用いたカラム試験を実施した。

2. カラム試験

2.1 概要

カラム試験は、① セメント改良土からの六価クロム溶出特性の把握、② 周辺地盤における六価クロムの挙動の把握、を目的に行った。セメント改良土からの六価クロム溶出特性の把握のためには、長さ、六価クロム溶出濃度、土の種類が異なるセメント改良土をカラムに充填し、流量と方向を変化させて通水を行った。一方、周辺地盤における六価クロムの挙動の把握のためには、六価クロム溶出濃度が異なるセメント改良土と周辺地盤を模した未改良土を同一のカラムに充填し、流量を変化させ通水を行った。

2.2 セメント改良土からの六価クロム溶出特性に関する実験

2.2.1 実験

実験は内径 10.4cm のアクリル製カラムにセメント改良土を充填し、ポンプにより純水を一定流量で下方または上方からカラムに通水した。そして、カラム透過水の pH を pH 計で測定するとともに、一定時間毎にセメント改良土を通過した水(以下、改良土通過水)を回収し六価クロムの濃度測定を実施した。実験装置を図-1 に示す。なお、前述の実験と同様に六価クロムの濃度測定はジフェニルカルバジド吸光度法を用いて行った。

表-1 実験ケース

ケース	充填改良土			通水方法(注入側)	改良土の種類
	長さ	充填密度	環告 46 号 Cr(VI)溶出濃度		
1-1	10cm	1.2g/cm ³	0.06mg/l	0.5ml/min (下方)	1 (火山灰質粘性土)
1-2	10cm	1.2g/cm ³	0.38mg/l	0.5ml/min (下方)	2 (火山灰質粘性土)
1-3	10cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	0.5ml/min (下方)	3 (火山灰質粘性土)
2-1	10cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	0.5ml/min (上方)	3 (火山灰質粘性土)
2-2	40cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	0.5ml/min (上方)	3 (火山灰質粘性土)
2-3	100cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	0.5ml/min (上方)	3 (火山灰質粘性土)

表-2 改良土の調整方法

改良土	環告 46 号 Cr(VI)溶出濃度	調整方法
1	0.06 mg/l	火山灰質粘性土にセメント系固化材を 50kg/m ³ の割合で配合
2	0.38 mg/l	火山灰質粘性土(2mm フルイを通過)にセメント系固化材を 300kg/m ³ の割合で配合(粉体添加)。7 日間養生後、2mm フルイを通過。
3	0.89 mg/l	火山灰質粘性土(2mm フルイを通過)にセメント系固化材を 300kg/m ³ の割合で配合(粉体添加)。7 日間養生後、2mm フルイを通過。

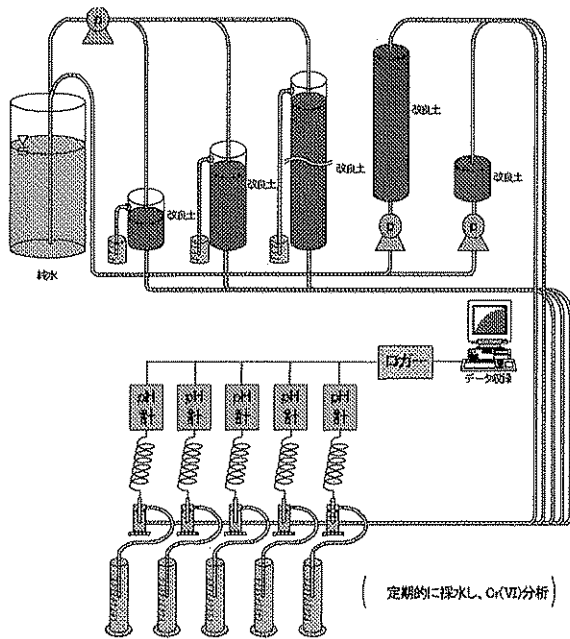


図-1 実験装置概要

実験ケースは表-1 に示す通りであり、3 種類の改良土(表-2)に対して、充填長さを変えた計 6 ケースについて行った。なお、改良土の透水係数をケース 1-1 で計測した結果、 1×10^{-6} cm/sec であった。

2. 2. 2 結果

実験結果を図-2 に示す。横軸が改良土通過水の量(L)、縦軸が改良土通過水の六価クロム濃度(mg/L)を示す。実験においては、改良土通過水の六価クロム濃度は通水の初期の段階で最高濃度を示し、その後漸減する傾向がみられた。また、改良土通過水の pH はセメントに起因するアルカリのため 10~12 という高い値を示した。

以上から、実験結果は次のように整理できる。

(1) 改良土の溶出濃度(環告 46 号)

改良土の溶出濃度に関わらず初期の改良土通過水の六価クロム濃度は 0.3mg/l とほぼ一定であった。その後、改良土の溶出濃度の小さいケースほど急激に改良土通過水の六価クロム濃度が小さくなる傾向がみられた。この結果から、改良土の溶出濃度は改良土通過水の六価クロムの初期(最高)濃度には影響がなく、六価クロム濃度の持続に影響を及ぼすと考えられる。

(2) 改良土の長さの影響

改良土の溶出濃度と同じく、改良土の長さに関わらず初期の改良土通過水の六価クロム濃度は 0.3mg/l とほぼ同じであった。その後、改良土の長さの短いケースほど急激に改良土通過水の六価クロム濃度が小さくなる傾向がみられた。この結果から、改良土の長さは改良土通過水の六価クロムの初期

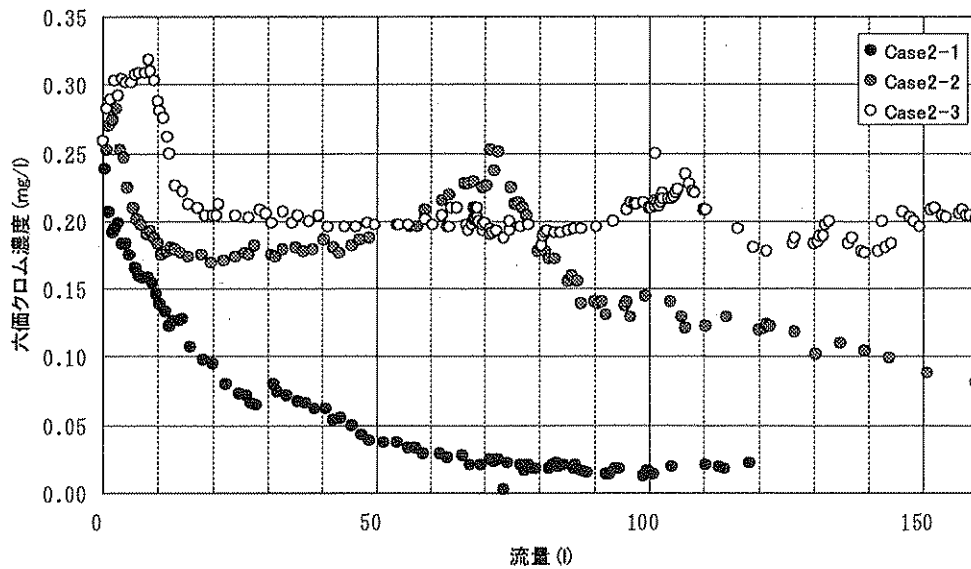
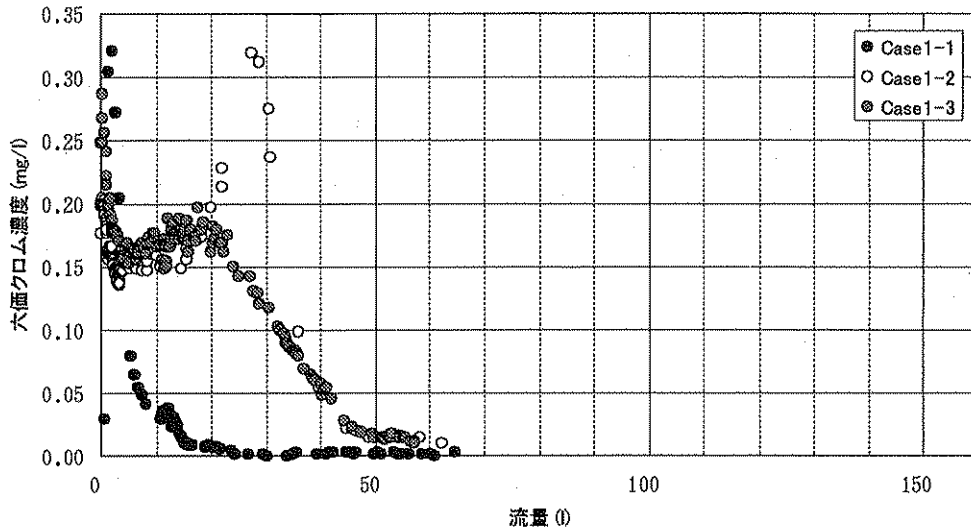


図-2 実験結果

(最高)濃度には影響がなく、六価クロム濃度の持続に影響を及ぼすと考えられる。

(3) 通水速度・方向の影響

通水速度・方向の影響は本実験においてはほとんどみられなかった。

2. 3 六価クロムの周辺地盤における挙動に関する実験

2. 3. 1 実験

実験は内径 10.4cm のアクリル製カラムにセメント改良土(火山灰質粘性土)と未改良土(砂質土、火山灰質粘性土)を充填後、ポンプにより純水を一定の流量で下方から通水し、カラムを透過した水(以下、カラム通過水)の pH および六価クロム濃度を測定した。

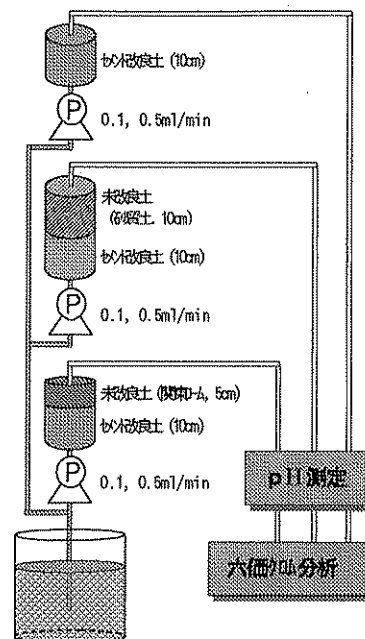


図-3 実験装置概要

表-3 カラム通水実験ケース (*環境庁告示第46号法試験による)

ケース	充填セメント改良土			充填未改良土			通水方法(注入側)
	長さ	充填密度	Cr(VI)溶出濃度*	長さ	充填密度	種類	
3-1	10cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	なし	—	—	0.1ml/min(下方)
3-2	10cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	10cm	1.7g/cm ³	砂質土(美浦産)	0.1ml/min(下方)
3-3	10cm	1.2g/cm ³	0.89mg/l	5cm	0.8g/cm ³	火山灰質粘性土	0.1ml/min(下方)
3-4	10cm	1.2g/cm ³	0.38mg/l	なし	—	—	0.5ml/min(下方)
3-5	10cm	1.2g/cm ³	0.38mg/l	10cm	1.7g/cm ³	砂質土(美浦産)	0.5ml/min(下方)
3-6	10cm	1.2g/cm ³	0.38mg/l	5cm	0.8g/cm ³	火山灰質粘性土	0.5ml/min(下方)

表-4 カラム充填材料

充填材料	含水比	Cr(VI)溶出濃度	調整方法など
改良土	88.5%	0.89mg/l, 0.38mg/l	火山灰質粘性土(2mmフルイを通過)にセメント系固化材を300kg/m ³ の割合で配合(粉体添加). 7日間養生後, 2mmフルイを通過させる. Cr(VI)の溶出濃度は7日養生後に測定.
未改良土 (砂質土(美浦産))	3.2%	<0.02mg/l	
未改良土 (火山灰質粘性土)	135%	<0.02mg/l	改良土に用いた火山灰質粘性土(2mmフルイを通過)

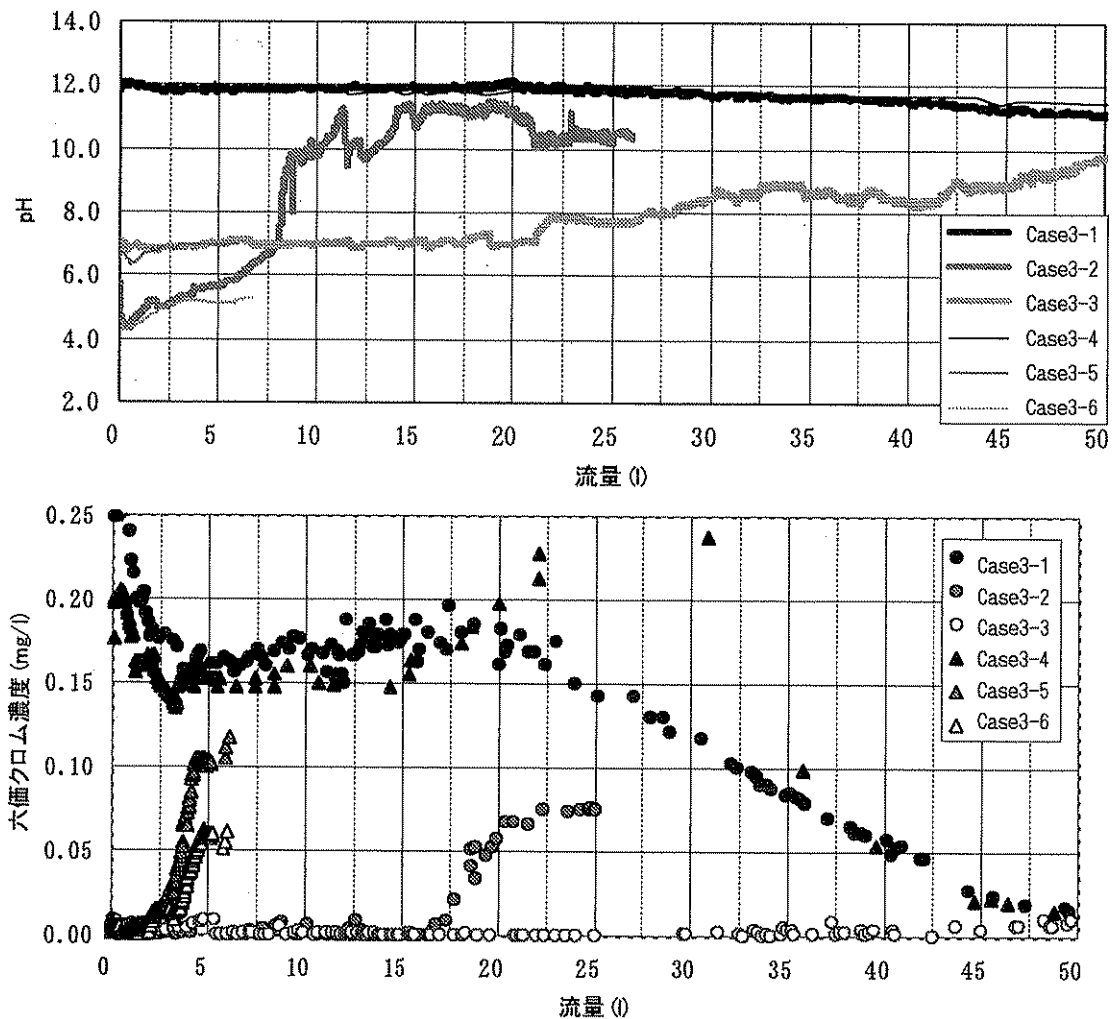


図-4 実験結果

なお、前述の実験と同様に六価クロムの濃度測定はジフェニルカルバジド吸光光度法を用いて行った。実験装置を図-3に示す。実験ケースは表-3に示す通りであり、溶出濃度の異なる2種類の改良土(0.89, 0.38mg/l;表-4)に対して土質と長さ(10cm(砂質土), 5cm(火山灰質粘性土))の異なる未改良土を組合せ、流量(0.5, 0.1ml/min)を変えた計6ケースについて行った。

2. 2. 2 結果

実験結果を図-4に示す。横軸が改良土通過水の量(L)、縦軸がカラム通過水のpHおよび六価クロム濃度(mg/L)を示す。セメント改良土のみのケース3-1, ケース3-4は通水開始直後から六価クロムが検出され、pHもセメントに起因するアルカリのため12という高い値を示した。ケース3-2の場合、通水開始から17L通水までは通過水から六価クロムの溶出はなかった。17L通水以降、六価クロム濃度が上昇しており、これに先行してpHも上昇(破過)している。また、ケース3-3はpHの上昇は認められるものの六価クロム濃度の上昇はみられなかった。通水速度を速くすることによってケース3-5、ケース3-6はともに3L通水付近で破過した。なお、カラムに充填したセメント改良土の六価クロム溶出濃度は0.89mg/lと0.38mg/lと異なるが、ケース3-1、ケース3-4を比較するとカラム通過水の六価クロム濃度はほぼ同じ値を示していることから、未改良土に負荷される六価クロム量はほぼ同等であると考えられる。

続いて、未改良土中での六価クロムの挙動を把握するためケース3-2、ケース3-3においては未改良土を幅10mmで、ケース3-5、ケース3-6においては幅20mmで切り出し環告46号法に基づいて六価クロムの溶出試験を行った。

図-5にケース3-2とケース3-3の切り出した未改良土の溶出試験結果を示す。ケース3-2の場合、ほとんどの部分で未検出またはごくわずかに検出されただけであった。pHは全長にわたって初期の5から10に上昇した。ケース3-3の場合、改良土の近くで六価クロムが検出されたが、改良土から離れるに従って、その濃度は低下した。両者の通水実験の結果を比較すると、ケース3-3の火山灰質粘性土はケース3-2の砂質土の半分の長さで砂質土より大きな六価クロムの捕捉能力を有することがわかった。26l通水時点でケース3-1から累積で4.4mgの六価クロ

ムが溶出しており、破過した量を差し引きケース3-2の未改良土に捕捉された六価クロム量は3.9mgと推定される。ケース3-3の場合、通水開始から54l通水(ケース3-1の通過水から六価クロムの溶出がほぼ終了)まで六価クロムの溶出はなかったことから、ケース3-3の未改良土に捕捉された六価クロム量は6.1mgと推定される。また、ケース3-2の砂質土は捕捉した六価クロムがほとんど再溶出しなかったが、ケース3-3の火山灰質粘性土は改良土に近い部分で捕捉した六価クロムの再溶出が見られた。なお、ケース3-3の再溶出した量は全捕捉量の2%程度であった。

一方、図-6にケース3-5とケース3-6の切り出した未改良土の溶出試験結果を示す。通水量からケース3-5とケース3-6に供給された六価クロム量は1.0mgと推定され、ケース3-3とケース3-3に供給された量の4分の1から6分の1程度である。ケース3-4の砂質土ではケース3-2と同様にほとんど再溶出はなかった。一方、ケース3-6の火山灰質粘性土ではケース3-3と同様に改良土に近い部分で再溶出がみられ、改良土から離れるに従ってその溶出濃度は低下するという同様の傾向を示したが、溶出濃度は通水速度が大きいケース3-6がより大きな値を示した。ケース3-6の再溶出した六価クロム量は全捕捉量の51%程度であった。これはケース3-3の切り出しを通水開始から368日(54l通水)でおこなったのに対し、ケース3-6では8日(6l通水)で実施しており、ケース3-3では土壌の六価クロム捕捉後の経過時間が長期に亘り、六価クロムが再溶出しない状態になったことによる影響と考えられる。

以上から、実験結果は次のように整理できる。

(1) 未改良土の種類の影響

砂質土と比較して、火山灰質粘性土は六価クロムの移動抑制効果が大きいことが確認された。これは火山灰質粘性土の粒径が小さく、比表面積が大きいことや粘土鉱物などによる重金属類の吸着効果がはたらくためと考えられる。

(2) 通水速度の影響

通過水量が大きい場合と比較して、小さい場合では六価クロム濃度の上昇がみられるカラム通過水の流量が大きくなった。これは、セメント改良土を通過した水の未改良土中における滞留時間が長くなることにより、土壌への六価クロム吸着量が上昇することを示している。

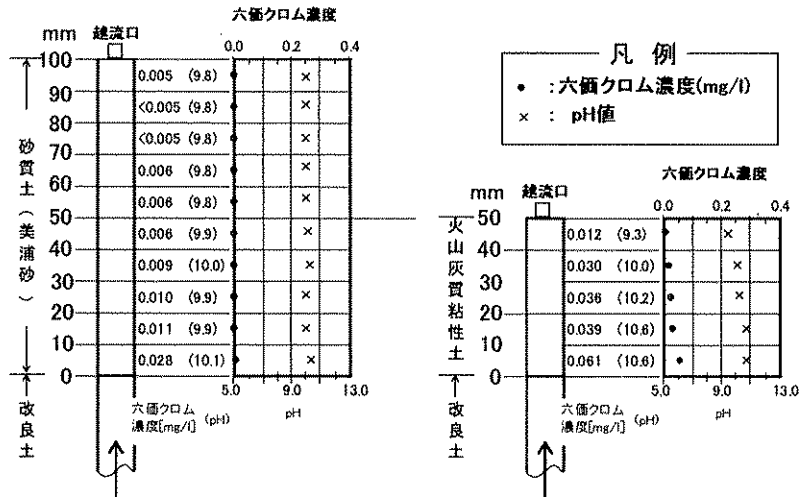


図-5 通水後の未改良土の六価クロム溶出試験結果 (0.1ml/min)
(左: Case3-2 砂質土, 右: Case3-3 火山灰質粘性土)

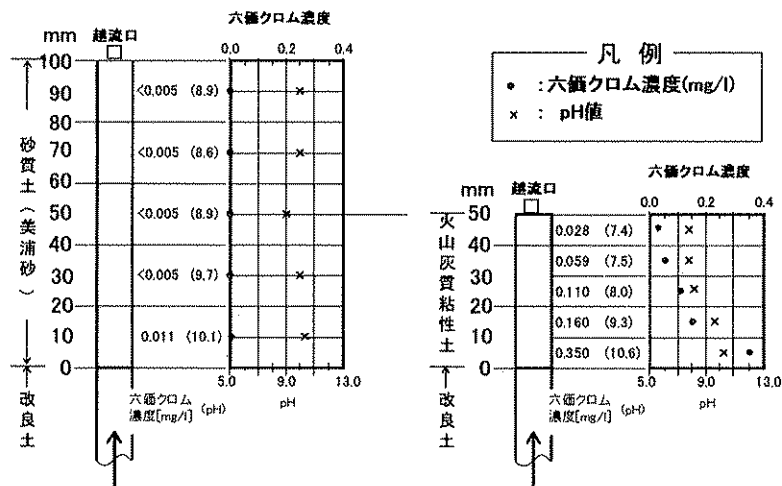


図-6 通水後の未改良土の六価クロム溶出試験結果 (0.5ml/min)
(左: Case3-5 砂質土, 右: Case3-6 火山灰質粘性土)

3. まとめ

実験の結果から以下のような知見が得られた。

- ① 改良土通過水の六価クロム濃度がどれだけ持続するかについては、改良土の溶出濃度と長さの影響を受ける。この理由として、改良土の溶出濃度と長さがその改良土の保持する六価クロム量と密接に関連するためと考えられる。
- ② 浅層改良のセメント改良土から溶出する六価クロムは周辺地盤において、その移動を抑制されることが確認された。

実際に、国土交通省が行った追跡調査においても、セメント改良土の周辺地盤において環境基準を超過する六価クロムが発見されたという報告は現在のところない。

参考文献

- 1) 三木博史、小橋秀俊「セメント系固化工法と環境問題」基礎工 2000.9, pp.12-14
- 2) 森啓年「セメント系固化処理土に関する通達見直し経緯について」土木技術資料 2001.9, pp10-11
- 3) 森、恒岡、大野「セメント改良土からの六価クロム溶出特性に関する実験」土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集、pp.1547-1548、2002.9