

# 袋詰脱水処理工法による汚染底質封じ込め

森 啓年\* 恒岡伸幸\*\* 三木博史\*\*\*

## 1. はじめに

### 1.1 背景

建設工事では安全かつ円滑に工事を進めるため、限られた工期内に大量の汚染土壌を処理する技術が必要とされている。その背景は次の通りである。

近年、香川県豊島・和歌山県橋本市・大阪府能勢町・埼玉県鳩ヶ谷市など日本全国において廃棄物の不法投棄や焼却場の不適切な運用などに起因する土壌汚染問題が顕在化している。これらの土壌汚染問題はひとたび顕在化すると、その対策には長期間と莫大な費用が必要となる。

日本地盤環境浄化推進協議会が公表した「統計的処理により予測される都道府県別土壌汚染の比較」<sup>1)</sup>では、東京都・大阪府・愛知県などでは5万箇所以上の土壌汚染調査が望まれる敷地があげられている。そのため、今後土壌に関する環境調査が進むにつれ地盤環境の汚染問題はさらに顕在化することが予想され、建設現場においても汚染された土壌・地下水に遭遇する危険性は増加していくと予想される。

国土交通省においても京浜工事事務所管轄内の鶴見川多目的遊水池建設現場から大量のPCBに汚染された土壌が発見されたため、一般公開された土壌処理技術検討委員会を開催し、遊水池の水門建設場所変更やPCB汚染土壌の処理法について検討が進められている。また、首都国道工事事務所管轄内においても、外かく環状道路建設予定地の高谷地区において、ダイオキシン類に汚染された土壌が発見され、対応が検討されている。

このため、汚染土壌の対策技術の我が国での取り組みは大変盛んになってきている。そのような中、土壌中の有害物質の無害化処理など恒久的な対策技術については、土壌を高温にすることで無害化を図る物理処理技術やアルカリなどを用いる

化学処理技術などを始めとして、数多く提案されている。しかし、どの恒久的な対策技術も処理期間が長期となる、もしくは処理費用が高価であるなど、大量の汚染土壌を迅速かつ安価に処理する技術は確立されていないのが現状である。

### 1.2 土木研究所の取り組み

土木研究所では、建設事業で遭遇するにおける地盤環境の汚染に対する技術的問題点を解決するため、平成9~11年度に(財)土木研究センターならびに民間21社との間で建設省官民連帯共同研究「地盤環境の性状保全型建設技術の開発」<sup>2)</sup>、平成12~14年度に国土技術政策総合研究所、建築研究所とともに総合技術開発プロジェクト「建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発」<sup>3)</sup>を行っている(表-1, 2)。

表-1 地盤環境の性状保全型建設技術の開発

研究内容	■影響予測・調査・モニタリング技術の開発
	■影響防止対策技術の開発

表-2 建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策技術の開発

研究内容 (土木研究所担当分)	■調査モニタリング技術の研究
	■汚染土壌・底質原位置処理工法に関する研究

本報文では、それらの取り組みの中で検討されている技術の一つである袋詰脱水処理工法を用いた汚染底質の暫定対策技術の開発に関する成果について述べる。ここでの暫定対策とは、恒久対策が早期に実施できない場合の、恒久対策が実施に至るまでの汚染拡散を防止する対策を言う。

## 2. 研究内容

### 2.1 目的

本研究は建設発生土のリサイクル技術である袋詰脱水処理工法<sup>4)</sup>を汚染底質にも適用し、封じ込め工法として実用化することを目的としている。

建設発生土の再利用を計る工法としての袋詰脱水処理工法(写真-1)は、そもそも浚渫土などの

Containment Method for Contaminated Dredged Soil Using the Geo-Tube Method

高含水比土壌をジオテキスタイル製の透水性袋に注入し、脱水を促進させ、取り扱いを容易にする工法であり、大掛かりな施工機械を必要としないといった特長がある。封じ込め工法としては、脱水の際に袋から出る排水の濁りが袋の持つフィルター効果によって短時間で非常に小さくなるという特長が活かされるものである。

ダイオキシン類・PCB・一部の重金属類などの有害物質は土壌に吸着しやすく水には溶解しにくいという特徴をもつ。土木研究所材料地盤研究グループ土質チームではこの点に着目し、袋詰脱水処理工法の持つフィルター効果を利用して、汚染底質を封じ込めると同時に脱水による減量化を可能にする工法として用いることができなかと考え(特許出願中)、研究を進めている<sup>5),6),7)</sup>。図-1に袋詰脱水処理工法による汚染底質封じ込めの施工概要を示す。なお、海外での同様の取り組みとして、米国において海域の汚染底質を対象にジオテキスタイル製のコンテナにより処理を行うという研究が行われている<sup>8)</sup>。

## 2.2 概要

袋詰脱水処理工法の汚染底質封じ込めへの実用化を図るために以下の三種類の実験を行った。

### ① 粒度毎の汚染物質含有量の把握

汚染土壌の基本的な特性を把握し、効率的な封じ込めを実現するため、実サイトから採取した二種類の汚染土壌に対して、粒度毎の汚染物質含有量の傾向を調査した。

### ② 袋材の選定実験

汚染土壌封じ込めに適した袋材を選定するため、大気圧下と被圧下で高含水比土壌のろ過実験を行った。

### ③ 袋への汚染土壌注入実験

①、②の実験結果をもとに条件を設定し、二箇所の実サイトで採取した試料と土木研究所で調整した1種類の試料を、小型のジオテキスタイル製袋へ注入し、袋詰脱水処理工法の汚染底質封じ込めへの適用性を確認した。

## 3. 研究結果

### 3.1 実験試料

二箇所の実サイトから汚染土壌を採取し、ふるい(2cm)にかけ礫やゴミを取り除き、試料調整を行った。それらの試料のうち、PCB・重金属類に

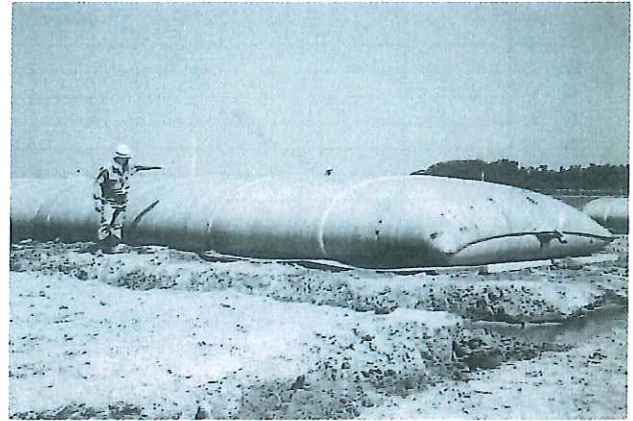


写真-1 袋詰脱水処理工法

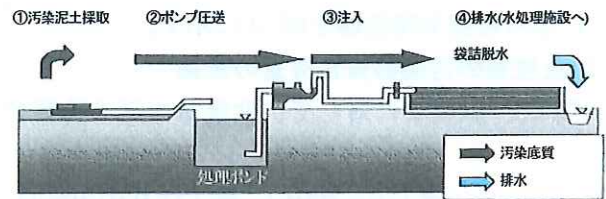


図-1 袋詰脱水処理工法を用いた汚染底質封じ込め工法  
表-3 試料特性

試料 1	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.607	
	含水比 (%)	27.6	
	液性限界 (%)	39.7	
	強熱減量 (%)	9.85	
溶出量 (mg/l) (2地点平均)	ヒ素	<0.005	
	鉛	<0.005	
	PCB	<0.0003	
含有量 (mg/kg) (2地点平均)	ヒ素	16.5	
	鉛	194.5	
	PCB	3.5	
試料 2	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.665	
	含水比 (%)	66.3	
	液性限界 (%)	51.7	
	強熱減量 (%)	6.63	
含有量 (pg-TEQ/g) (2地点平均)	ダイオキシン類	71,500	
試料 3	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.64	
	含水比 (%)	20.96	
	液性限界 (%)	—	
	強熱減量 (%)	1.67	
含有量 (pg-TEQ/g) (2地点平均)	ダイオキシン類	3,600	

汚染された試料を試料1とし、ダイオキシン類に汚染された試料を試料2とした。また、低濃度のダイオキシン類汚染土壌を作成するため、試料2に無汚染の真砂を混合し、それを試料3とした。

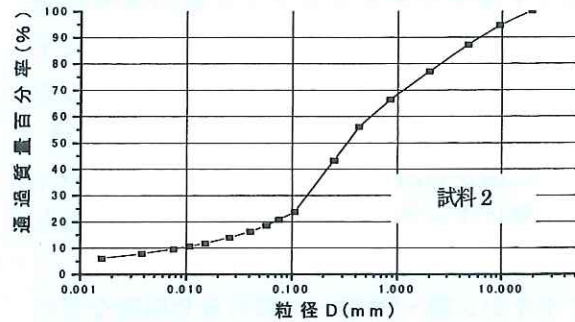
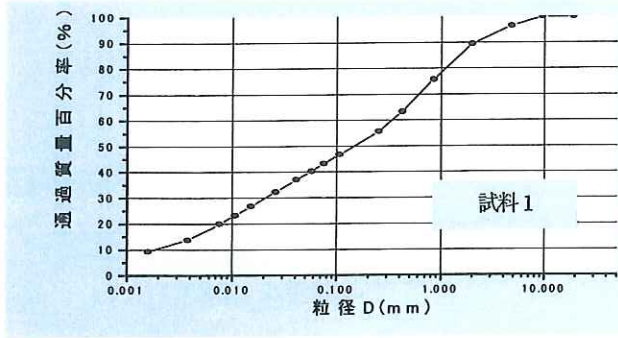


図-2 粒径加積曲線

各試料に対して土質試験、含有量分析、溶出試験を行った結果は表-3のとおりである。また、試料1, 2の粒径加積曲線を図-2に示す。

### 3.2 粒度毎の汚染物質含有量の把握

試料1, 試料2に対して、粒度毎の汚染物質含有量の傾向について調査した。実験試料を5つの粒度区分、礫(75-2mm)、砂(2-0.075mm)、シルト1(0.075-0.0409mm)、シルト2(0.0409-0.005mm)、粘土(0.005mm-)に分け、各区分のヒ素、鉛、PCB、ダイオキシン類の含有量を測定した。

測定の結果、図-4, 5の鉛、PCBは粘土など細粒分ほど含有量が高くなる傾向がある。また、図-3のヒ素は細粒分と礫にはほぼ同量が含有されている。細粒分の有害物質含有量が比較的多くなるのは、主に土粒子の比表面積が細粒分ほど大きくなることに起因していると考えられる。また、土永による大阪市内の河川底質中の粒度別重金属濃度分布調査結果<sup>9)</sup>では、重金属類の粒度区分別含有量の傾向は有機物含有量などの化学的性質の違いにより異なるが、概して粒径が小さいほど高濃度となる傾向がみられ、本結果とも矛盾しない。

図-6のダイオキシン類は粘土など細粒分ほど含有量が高くなる傾向が見られた。これは、このダイオキシン類汚染が焼却場の排煙に由来する塵芥に起因することから、土粒子の比表面積が大きい細粒分により付着するためと考えられる。

この結果から、汚染土壌の封じ込めを考える際には、含有量が高くなる傾向がみられる細粒分を効率的に封じ込めることが重要であると考えられる。

### 3.3 ジオテキスタイルの選定

袋詰脱水処理工法の袋はジオテキスタイルを縫製することによって作成される。そのため、ジオテキスタイルの持つろ過効果が封じ込めに及ぼす影響は大きい。

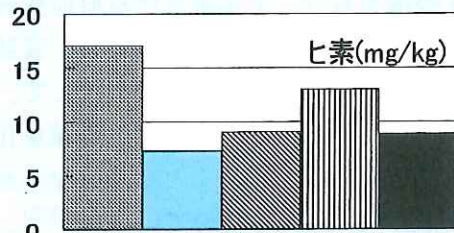


図-3 粒度区分別含有量 (ヒ素)

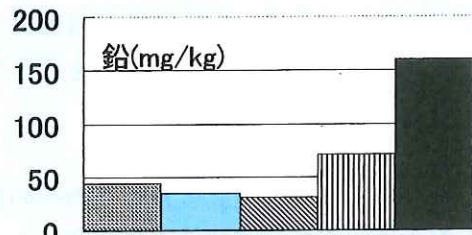


図-4 粒度区分別含有量 (鉛)

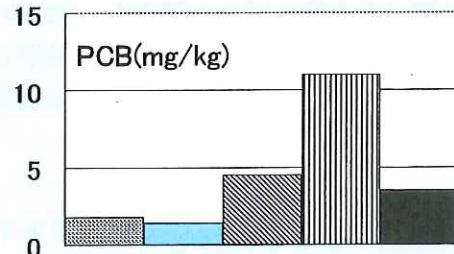


図-5 粒度区分別含有量 (PCB)

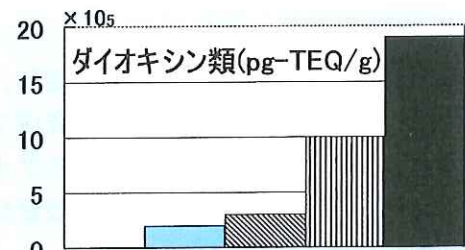


図-6 粒度区分別含有量 (ダイオキシン類)

- 礫: 75mm-2mm
- 砂: 2mm-0.075mm
- シルト1: 0.075mm-0.0409mm
- シルト2: 0.0409mm-0.005mm
- 粘土: 0.005mm-

そこで、布材として数種のジオテキスタイルのろ過効果を比較検討するため、大気圧下と10kPaの被圧下でろ過試験を実施した。実験は直径5cmの円状に整形した布をろ過器のろ布としてセットし、霞ヶ浦浚渫土を含水比800%に調整した濁水をろ過させることで行った。

各布の特性と実験結果を表-4に示す。実験の結果、布1のろ過試験後の濁度が小さく、封じ込め効果が高いと考えられたため、袋を作成する布として選定した。

### 3.4 袋への汚染土壌注入実験

#### 3.4.1 実験方法

実験は図-7のような装置を使用し、注入する汚染土壌試料、袋の大きさおよび凝集剤添加の有無が異なる表-5の6ケースについて行った。粒度毎の有害物質含有量の把握において細粒分の有害物質含有量が比較的高いことが分かったため、細粒分を凝集しろ過しやすくする凝集剤を幾つかのケースにおいて添加した。また、2.4 ジオテキスタイルの選定の結果より布1を用いて小型袋を作成した。実験手順は以下の通りである。

- 1) 試料に水道水を加え、含水比600%に調整する。
- 2) 試料を小型袋(20L)又は中型袋(200L)へ注入する。小型袋には自然流下で土槽から注入し、中型袋には注入の乱れが少ないモノポンプを用いて注入を行う。
- 3) 袋からの排水を採取瓶に採取し、排水中の有害物質濃度の測定を行う。

#### 3.4.2 実験結果

図-8のように全てのケースにおいて排水が進むにつれ、排水中の有害物質濃度は減少していった。有害物質濃度の減少量は排水の初期において大きく、排水が進むにつれて小さくなっていった。また、凝集剤の添加により排水中の有害物質濃度がさらに減少する傾向がみられた。ヒ素・鉛・PCBの凝集剤を添加したケースについては、5~10リットル排水が進んだ時点で環境基準値以下になり、最終的に検出されなくなるケースもあった。一方、ダイオキシン類は排水の最終段階までその濃度は排水基準値以上であった。

表-4 ジオテキスタイルの特性

布	厚さ (mm)	重さ (g/m <sup>2</sup> )	透水性 (cm/s)	ろ過試験結果 (大気圧) 濁度 (OD660)	ろ過試験結果 (10kPa) 濁度 (OD660)
布1 (織布)	0.35	210	4.82*10 <sup>-3</sup>	25.5	64.8
布2 (不織布)	3.0	300	7.00*10 <sup>-1</sup>	596	27,600
布3 (織布)	0.45	—	—	43.1	383
布4 (不織布)	3.5	595	—	1,490	44,100

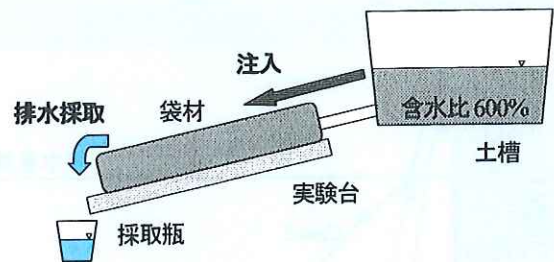


図-7 実験装置概要

表-5 実験ケース

ケース	試料	袋材の大きさ	凝集剤
1	試料1 (鉛、ヒ素、PCB)	0.02m <sup>3</sup>	—
2	試料1 (鉛、ヒ素、PCB)	0.02m <sup>3</sup>	添加
3	試料1 (鉛、ヒ素、PCB)	0.2m <sup>3</sup>	添加
4	試料2 (ダイオキシン類、高濃度)	0.02m <sup>3</sup>	—
5	試料2 (ダイオキシン類、高濃度)	0.02m <sup>3</sup>	添加
6	試料3 (ダイオキシン類、低濃度)	0.02m <sup>3</sup>	添加

表-6 封じ込められた有害物質量の割合

ケース	有害物質	袋内に残存 (%)
1	ヒ素	99.71
	鉛	99.61
	PCB	99.69
2	ヒ素	99.95
	鉛	99.98
	PCB	99.91
3	ヒ素	99.98
	鉛	99.99
	PCB	99.98
4	ダイオキシン類	99.51
5	ダイオキシン類	99.83
6	ダイオキシン類	99.82

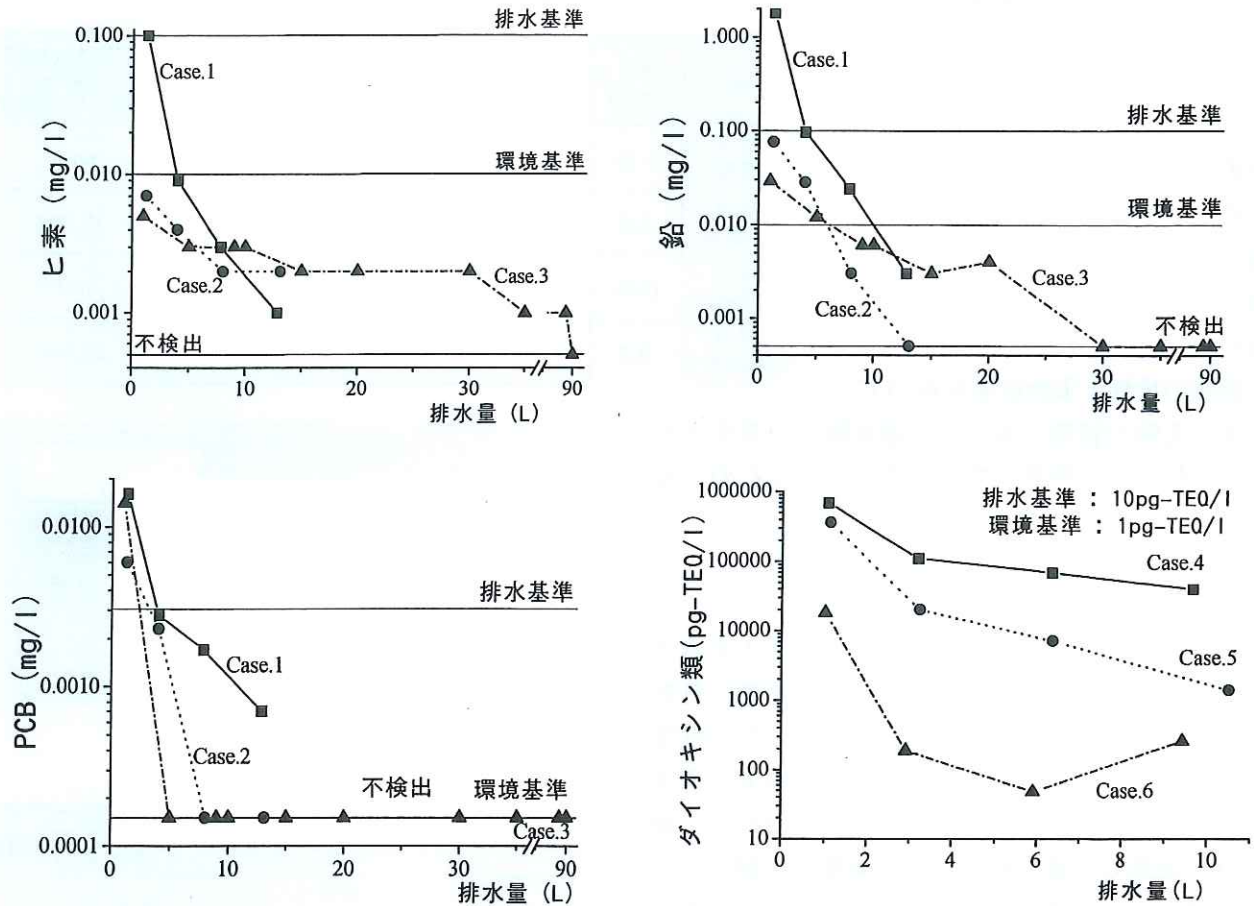


図-8 排水中の有害物質濃度

### 3.4.3 袋詰脱水処理工法の汚染底質封じ込め効果

表-6のように注入した有害物質に対する袋内に封じ込められた有害物質の割合を求めると、凝集剤を加えたケースではヒ素・鉛・PCB・ダイオキシン類ともに全て99.8%以上となり、ほとんどの有害物質は袋内に封じ込めることが可能であった。

ケース2, 3で袋の大きさの影響をみると、0.2m<sup>3</sup>の中型袋のケースでは99.98%以上となり、0.02m<sup>3</sup>の小型袋より封じ込められる有害物質の割合が高かった。これは、小さな袋ほど袋の縫い目の長さが袋の大きさに対して高い割合になっているためであると考えられる。したがって、大きな袋になるほど封じ込めには有利になると考えられる。

また、ケース5, 6で有害物質濃度の封じ込め効果への影響をみると、ダイオキシン類について濃度が20倍程度異なる試料を用いて実験を行った結果、汚染濃度に関係なくほぼ同じ割合で有害物質が封じ込められた。したがって、袋詰脱水処理工法を用いることで、濃度に関わりなく

汚染底質を効率的に封じ込められることが明らかになった。

## 4. おわりに

### 4.1 研究の成果

これまでの研究から得られた結果は以下の通りである。

- ① 袋材の内側に出来る底質によるフィルター層により、袋詰した汚染底質からの排水に含まれる有害物質濃度は排水の初期の段階で急激に低下する。
- ② 袋内に封じ込められた有害物質の割合を算出することにより、本技術は以下の特徴を持つことが明らかになった。
  - 1) 99.8%以上の有害物質を袋内に封じ込めることが可能
  - 2) 汚染濃度に関わりなくほぼ一定の封じ込め効果を発揮
  - 3) 有害物質を比較的多く含む細粒分を凝集させることで袋材による細粒分の効率的なろ過を可能にするため、凝集剤の添加により封じ

込め効果は向上

- 4) 袋の縫い目が表面積に占める割合が小さくなることから、袋の大きさが大きいほど封じ込め効果は向上

今後の課題として、袋詰した汚染土壌の長期にわたる封じ込め効果への確認などが挙げられる。

#### 4.2 今後の課題

現在、土木研究所では袋詰脱水処理工法の汚染底質への適用の実用化を図り、現場への導入を促進するため施工マニュアルの作成を行っている。その中でダイオキシン類については、以下の課題についてさらに検討が必要と考えている。

##### ① 施工時の汚染拡散防止手法

袋詰脱水処理工法の施工法を考慮し、周辺・作業員などへの暴露汚染拡散防止手法の検討

##### ② 袋からの排出水の処理手法

「ダイオキシン類汚染土壌からの排水の処理手法」として民提案型共同研究を実施

##### ③ 汚染土壌を内部に含む袋の保管手法

汚染土壌を内部に含む袋の特性を考慮した保管手法について検討

こうした課題を、実サイトにおける試験施工によって解決するため是非現場の提供などをお願いしたい。

#### 参考文献

- 1) 日経コンストラクション, p3, 2000.2.25
- 2) 建設省：官民連帯共同研究『地盤環境保全が他建設技術の開発報告書』, p1, 2000.3
- 3) 国土交通省「平成 13 年度建設技術研究開発の概要, pp.36-37, 2001.
- 4) 建設省大臣官房技術調査室：発生土利用促進のための改良工法マニュアル, p104, 1997,12
- 5) 森、三木、小橋：袋詰脱水処理工法を用いた汚染土壌封じ込めに関する実験, 第 7 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.173-174, 2000.12
- 6) 森、三木、恒岡、小橋：袋詰脱水処理工法による汚染土壌封じ込めの適用性に関する一考, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, III-B32, 2001.10
- 7) H.Mori, H.Miki & N.Tsuneoka : The use of geotube method to retard the migration of contaminants in dredged soil, Seventh International, Evaluation of Geosynthetic Fabric Containers to Contain Contaminated Dredged Sediment, Sixth International Conference on Geosynthetics, pp.1173-1176, 2002.
- 8) 土永：底質中の重金属の分析法と動態, 技報堂出版, pp.135-165, 1996.

森 啓年\*



独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質チーム研究員  
Hiroto MORI

恒岡伸幸\*\*



同 土質チーム上席研究員  
Nobuyuki TSUNEOKA

三木博史\*\*\*



同 技術推進本部総括研究官, 工博  
(前 材料地盤研究グループ長, 工博)  
Dr.Hiroshi MIKI