

## 8.4 土壌・地下水汚染の管理・制御技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：杉田秀樹、森啓年、稲垣由紀子

### 【要旨】

本研究は建設発生土等の地盤材料の環境安全性を評価する技術を確立するとともに、土壌・地下水汚染の周辺環境への影響を把握することを目的として実施するものである。平成 20 年度は、公定法の補完的な役割としての簡易分析法の適用性について検証した。また、ダイオキシン類汚染土壌の浄化にも有効と考えられるバイオレメディエーションにおいて土壌中の微生物を活性化させるために使用する栄養塩の地盤中での拡散状況について、小型土槽実験により調べた。その結果、簡易分析法の適用性については、ヒ素、鉛、ホウ素の溶出量を調べる簡易分析法は適用に向けいくつかの課題が残るが、フッ素の溶出量を調べる簡易分析法は、公定法の補完的役割を期待できると考えられた。一方、栄養塩の地盤中の拡散状況については、注入方法、土の種類等による違いを定性的に把握することができた。

キーワード：土壌汚染、地下水汚染、簡易分析、バイオレメディエーション、栄養塩

### 1. はじめに

平成 16 年度より建設発生土の公共工事土量調査と工事間利用調整が行われ、さらに平成 20 年度には「建設リサイクル推進計画 2008」が策定され、これまでより一層、建設発生土の利用を図ることが求められている。しかし、自然由来の重金属等を含む建設発生土がその環境安全性を十分に確認されないまま他の工事現場で用いられることにより、土壌汚染の拡散を引き起こす可能性もある。

また、平成 15 年 2 月に国民の安全と安心の確保を図るため、土壌汚染の状況の把握、土壌汚染による人の健康被害の防止に関する措置等を規定した「土壌汚染対策法」が施行され、国民の関心も高まっている。今後、現場条件（地下水飲用の有無や現地への人の立ち入りの可能性等）を勘案し、環境リスクに応じた汚染対策（掘削除去、封じ込め、定期的なモニタリング等）を選択して実施することがブラウンフィールド問題などを回避するために重要である。

以上のことから、大量の建設発生土の中から汚染土壌を簡便かつ的確に抽出する方法や、土壌・地下水汚染の環境リスクを算出し、適切な対策の選定・設計を可能にする手法、経済的に汚染土壌を浄化できる方法が求められている。

### 2. 研究の概要

#### 2.1 簡易分析法の現地適用性の検証

建設発生土の工事間の直接利用が困難な場合、ストックヤードで一時的に集積・保管される。ストックヤードには、各工事現場より大量の建設発生土が搬入されるが、受入れの際に土壌汚染の可能性は必ずしも調査されていないのが現状である。

土壌汚染の存在を調査する際、土壌に含まれる重金属類は、平成 3 年環境庁告示 46 号（以下、「公定法」という。）を用いるのが標準である。本手法は、土壌を風乾し、2mm ふるいを通す処理をした後、重金属類の溶出操作において 6 時間振とうが求められるなど、検液の作成に多大な時間を要する。このため、各現場より大量に搬入され、長期にわたる仮置きが困難である建設発生土について実施することは困難である。

そこで、土木研究所では短時間で土壌中の重金属類を抽出する簡易前処理方法を開発した。この方法で自然由来の重金属等を含む岩石・土砂等やストックヤードに搬入された建設発生土から重金属を溶出させた検液を簡易分析法で分析し、ヒ素、鉛、フッ素、ホウ素という自然由来の重金属等として存在可能性が高い重金属等の溶出量を調べた。これを、公定法による溶出量と比較することにより、簡易前処理方法、簡易分析法の適用性を検証した。

## 2.2 微生物機能促進のための栄養塩拡散方法の検討

土壌中に生息する微生物類を利用して、土壌汚染の浄化を促進するバイオレメディエーションでは、栄養塩を地盤中に注入することが一般的である。その際、栄養塩を汚染土壌全体に拡散させる必要があるが、注入された栄養塩の拡散状況については十分に把握されていない。

そこで、本研究では、模型地盤の中央に設けた栄養塩注入孔から栄養塩を注入して観測することにより、注入方法、土壌の種類等による栄養塩の拡散状況を調べた。

## 3. 研究方法および成果

### 3.1 簡易分析法の現地適用性の検証

#### 3.1.1 簡易分析法について

平成19年度までに、重金属類（ヒ素、鉛、フッ素、ホウ素）の溶出特性を簡便に調べる方法として、以下に示すような土研式簡易前処理法を開発した。

(1) 2mmふるいを通過させ、風乾させた土壌と蒸留水を固液比1:4の割合でシリンジに入れ、1分間手振りする。

(2) 1分間の手振り振とう後、シリンジの先に0.45μmのフィルターを付けてろ過し、検液を抽出する。

土研式簡易前処理方法により抽出した検液に対し、ヒ素、鉛、フッ素、ホウ素の溶出量を調べた。ヒ素については検知管、鉛、フッ素、ホウ素については簡易比色計を用いて溶出量を調べた<sup>1)</sup>。

#### 3.1.2 公定法との比較

公定法の補完的な役割を期待し、簡易分析法の適用性について、簡易分析法と公定法による重金属類の溶出量を比較することにより検証した。

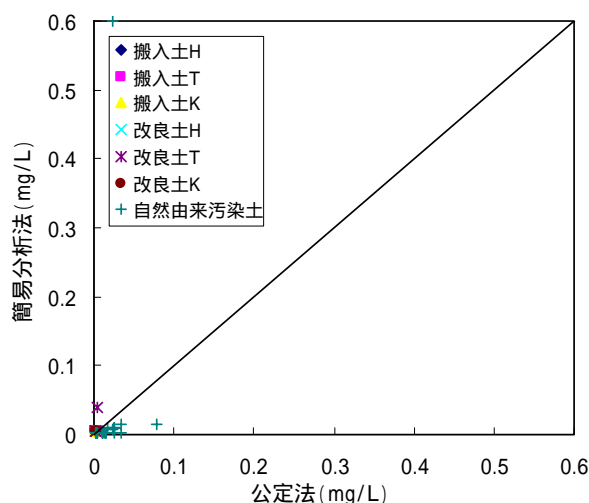
今回は、自然由来の重金属等を含む岩石・土砂等や、ストックヤードに搬入された建設発生土（以下、搬入土）および同じストックヤード内で搬入土に石灰を混合して改良した土（以下、改良土）を対象とした。搬入土および改良土は3箇所のストックヤードからのものである。

#### 3.1.3 公定法との比較結果（ヒ素）

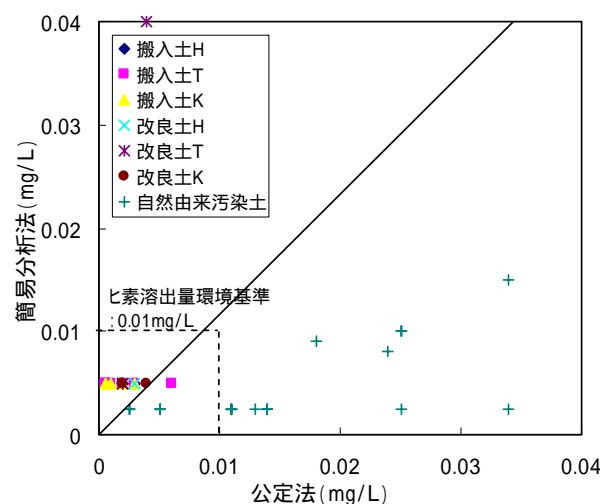
ヒ素の溶出量について、公定法と簡易分析法の関係を図-1に示す。その結果、固液比が2.5倍にも関わらず簡易分析法が公定法に比べて低い値を示す場合がみられた。特に、簡易分析法ではその溶出量が環境基準値未満という評価になるが、公定法では環境基準を超えたケースが多数みられた（図-1(b)）。

適用に向けては、これらの点についてその原因と対応を明確にする必要がある。また、簡易分析に用いたヒ素検知管の測定範囲が水中ヒ素濃度として0.01～

0.3mg/Lであり、その点にも留意が必要である。



(a)全体



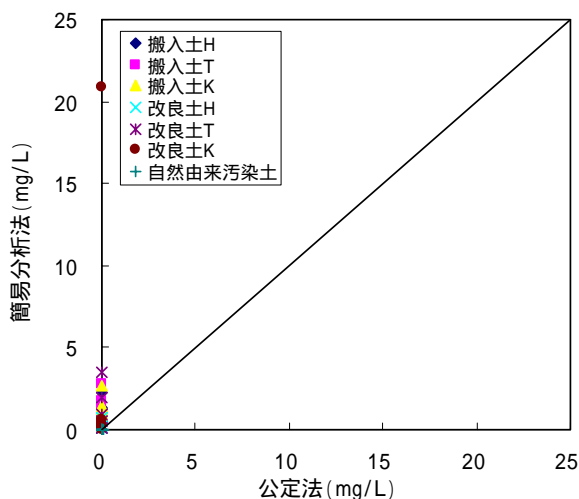
(b)環境基準値付近を抽出

図-1 公定法との比較（ヒ素溶出量）

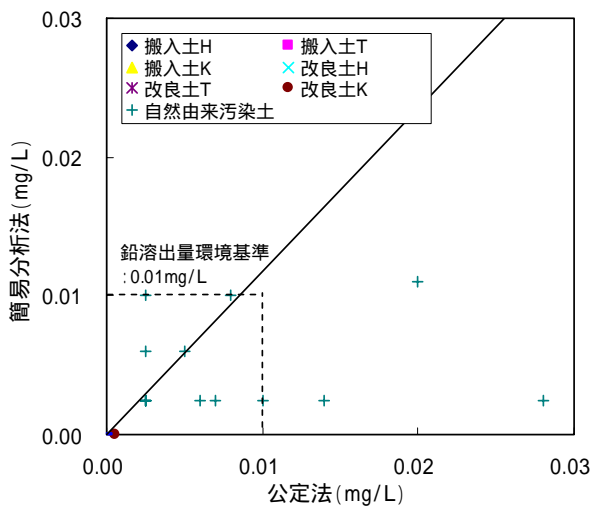
#### 3.1.4 公定法との比較結果（鉛）

鉛の溶出量について、公定法と簡易分析法の関係を図-2に示す。その結果、鉛の溶出量については、公定法では環境基準の0.01mg/Lを下回る場合でも、簡易分析法では、溶出量を過大に評価するケースもあった（図-2(a)）。これは、簡易比色計で吸光度を測定する際、鉛以外の物質の干渉により、吸光度を過大に評価することによると考えられる。

一方で、ヒ素の場合と同様に固液比が2.5倍にも関わらず簡易分析法が公定法に比べて低い値を示す場合がみられた。特に、簡易分析法によると溶出量が環境基準値未満という評価になるが、公定法では環境基準を超えたケースもあった（図-2(b)）。



(a)全体



(b)環境基準値付近を抽出

図-2 公定法との比較 (鉛溶出量)

なお、今回簡易分析法を適用した土の公定法による鉛溶出量が0.001mg/L未満~0.028mg/Lであったのに対し、簡易分析法に用いた簡易比色計の鉛溶出量の測定範囲は0.5~4mg/Lであった。適用に向けては、検液の濃縮などの操作を実施することが必要と考えられる。

### 3.1.6 公定法との比較結果(フッ素)

フッ素の溶出量について、公定法と簡易分析法の関係を図-3に示す。その結果、公定法と簡易分析法で良い相関が得られていると考えられる。また、今回簡易分析法を適用した土のフッ素溶出量は、公定法で0.08mg/L未満~1.3mg/Lであり、概ね簡易分析法に用いた簡易比色計の測定範囲である0.1~1.5mg/Lの中に分布していた。

簡易分析法の方が、公定法に比べてフッ素の溶出量を低く評価するケースもあったが、公定法でも環境基準の

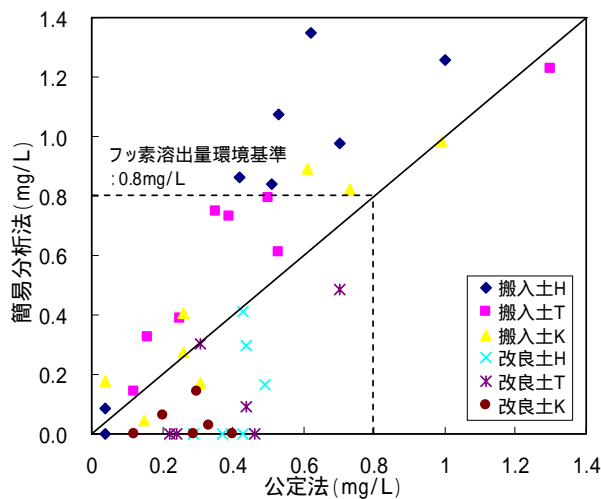


図-3 公定法との比較 (フッ素溶出量)

0.8mg/Lを下回るケースであり、ヒ素や鉛と比較して実用上の問題は少ないものと考えられた。

以上より、フッ素の簡易分析法は、溶出量を短時間で推定する手法として相当の適用性があると考えられる。

### 3.1.7 公定法との比較結果(ホウ素)

ホウ素の溶出量について、公定法と簡易分析法の関係を図-4に示す。その結果、多くの場合、簡易分析法の方が溶出量を高く評価しており、公定法による溶出量の方が大きくなるケースでも、溶出量は環境基準を下回っていた。

しかし、今回簡易分析法を適用した土のホウ素溶出量は、公定法で0.01mg/L未満~0.08mg/Lで、簡易分析法に用いた簡易比色計の測定範囲である0.06~2.5mg/Lからはずれていたケースも多かった。また、溶出量が環境基準の1.0mg/Lを超えるケースがなかった。

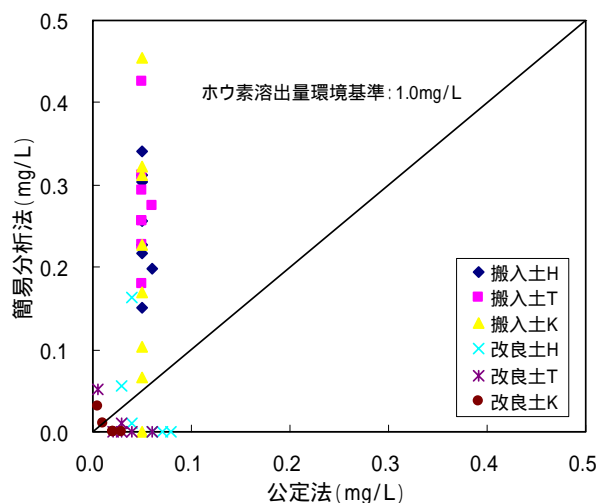


図-4 公定法との比較 (ホウ素溶出量)

以上のことより、ホウ素の簡易分析法の適用に当たっては、環境基準以上の溶出量における簡易分析法と公定法の相関等の評価が必要と考えられる。

### 3.2 微生物機能促進のための栄養塩拡散方法の検討

#### 3.2.1 実験方法

工業用珪砂5号、美浦砂を用い、水締めにより、図-5に示すような飽和地盤を作製した。この模型地盤の中央に設けた注入孔より、模型地盤表面との水頭差を1cmに保ちながら、栄養塩200mlを注入した。栄養塩注入後は乾燥対策をして21日間観測し、模型地盤内に設けた3箇所の採水孔より合計7回の採水と採水された水の水質分析(全有機炭素 TOC、pH、酸化還元電位 ORP の測定)を行った。

今回注入した栄養塩は全て有機物であり、間隙水中の栄養塩の濃度が増えると TOC が上昇し、栄養塩の分解が進み、水素が発生して間隙水中に水素イオンとして溶出すると pH や ORP が低下したと考えられる。

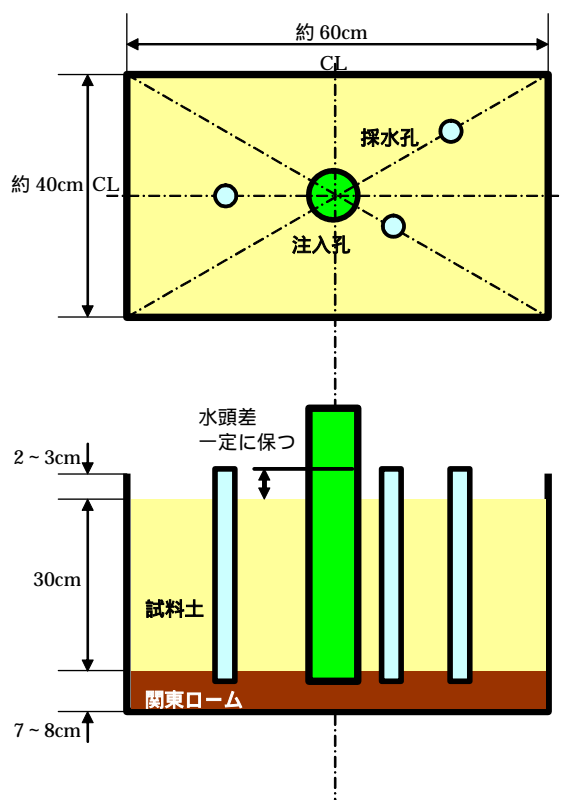


図-5 模型地盤

この実験は、注入方法、土の種類、栄養塩の種類を変え、表-1に示すようなケースで行った。3.2.3~3.2.4に示す実験結果は、注入孔からの中心間距離で6cmの位置のものである。

表-1 実験ケース

No.	試料土	栄養塩	その他条件等
1	工業用珪砂5号	A(液体・10w%)	-
1'	工業用珪砂5号	A(液体・10w%)	ケース1終了後再注入
2	工業用珪砂5号	A(液体・10w%)	注入孔の水頭差を1cmに保つよう、注入孔に水を注入
3	美浦砂	A(液体・10w%)	-
4	工業用珪砂5号	B(液体・50w%)	-
5	工業用珪砂5号	C(ゲル・原液)	-

#### 3.2.2 実験結果(注入条件による違い)

ケース1(初期の栄養塩注入のみ) ケース1'(ケース1終了後の模型地盤にケース1と同条件で栄養塩を再注入) ケース2(初期の栄養塩注入の他、観測期間中、注入孔と模型地盤の水頭差を1cmを保つために適宜水を注入)の結果を図-6に示す。

ケース1とケース2の比較では、TOCの推移に顕著な差は見られなかったが、ケース2ではケース1に比べて観測期間中のpHおよびORPの変化が少なかった結果となった。今回は、いずれのケースも定常的な間隙水流を発生させておらず、栄養塩の注入時、採水時、ケース2の水の注入時以外では、間隙水の移動はほとんど発生していないと考えられる。そのため、ケース2では水の注入により栄養塩の濃度が薄められ、栄養塩注入による影響が緩やかに現れたと考えられる。

ケース1は、栄養塩の再注入後2~6日程度で、栄養塩の分解によると考えられるTOCの上昇、pH、ORPの低下が見られた。ケース1により栄養塩を分解しやすい状態(pHやORPの低下した状態)となった模型地盤へ栄養塩が再注入され、短時間で栄養塩の分解が始まったことによると考えられる。

#### 3.2.3 実験結果(土の種類による違い)

ケース1(工業用珪砂5号)およびケース3(美浦砂)の比較では、両ケースのpH、TOC、ORPに大きな違いは見られなかった(図-7)。両ケース共、14日経過後に栄養塩の分解によると考えられるTOCの上昇、pH、ORPの低下が見られた。

なお、栄養塩の拡散状況に影響を与える要因の1つに、栄養塩の土壌への吸着が考えられる。そこで、模型地盤材料に対してバッチ吸着試験<sup>2)</sup>を行い、着目した物質の土壌への吸着の程度を示す指標となる遅延係数を求めた。

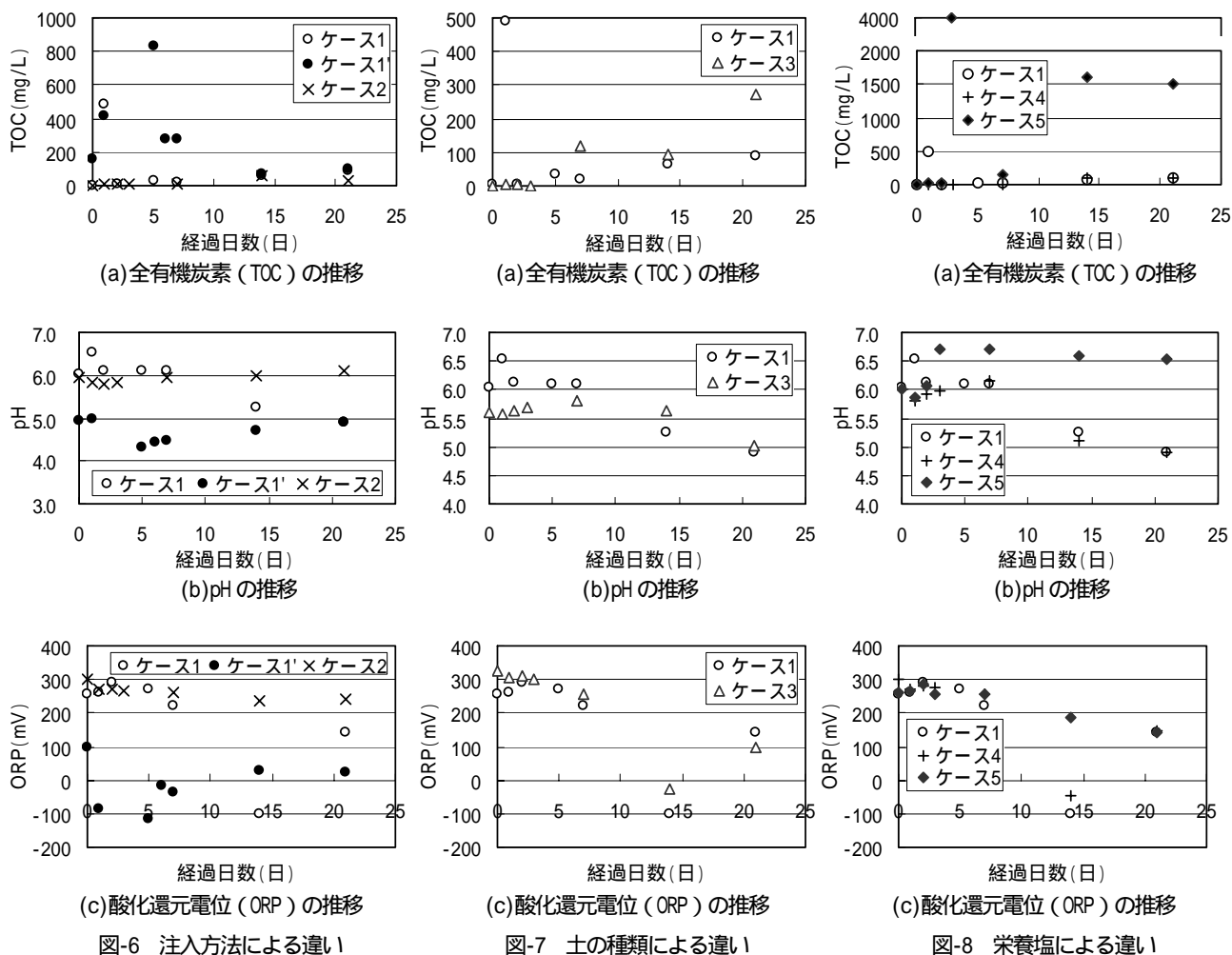


図-6 注入方法による違い

図-7 土の種類による違い

図-8 栄養塩による違い

液体タイプの栄養塩と模型地盤材料の組合せの場合、いずれのケースも遅延係数は1となり、栄養塩の吸着はほとんどなかったと考えられた。

### 3.2.4 実験結果（栄養塩の種類による違い）

ケース1（栄養塩：A（液体タイプ））、ケース4（栄養塩：B（液体タイプ））およびケース5（栄養塩：C（ゲルタイプ））の結果を比較した（図-8）。液体タイプの栄養塩を注入したケース1とケース4では、TOC、pH、ORPの推移に大きな違いは見られなかった。栄養塩の種類は異なるが、ケース4でもケース1と同様、栄養塩の分解が起こったと考えられる。液体タイプの栄養塩を注入したケース1、ケース4とゲルタイプの栄養塩を注入したケース5を比較すると、ケース5の方が、TOCの変化は大きい、pHやORPの変化は小さくなった。これは、ゲルタイプの栄養塩Cは液体タイプの栄養塩Aや栄養塩Bよりも注入濃度が濃いため、TOCは大きくなったが、粘度が液体タイプに比べて高く、間隙水中に溶け出す速度が遅いため、液体タイプに比べて分解が遅く進んだことによると考えられる。

## 4. まとめ

### 4.1 簡易分析法の現地適用性の検証

自然由来の重金属等を含む岩石・土砂等やストックヤードの土（搬入土および改良土）について簡易分析法を適用し、公定法による溶出量と比較した。

この結果、ヒ素や鉛では、溶出量が簡易分析法で環境基準値未満であると評価されても、公定法では環境基準値を超える場合があった。また、鉛については、公定法による溶出量が環境基準値未満でも、簡易分析法では環境基準を大幅に上回る過大な値で評価するケースも目立った。さらに、環境基準と簡易比色計の測定範囲が合わないという問題があった。ホウ素では、今回調べた範囲では溶出量が環境基準を超えるケースがなく、溶出量が環境基準を超える場合の簡易分析法と公定法の相関等を評価できなかった。

そのため、ヒ素、鉛、ホウ素の簡易分析法については、現場の土壌を用いて簡易分析法と公定法の相関を取った上で利用するなど、十分な留意が必要と考えられた。

一方、フッ素の簡易分析法については、ヒ素、鉛、ホ

ウ素の簡易分析法で見られたような問題点が顕著には現れず、溶出量を短時間で推定する手法としての相当の適用性が存在すると考える。

今後はこれらの問題点を考慮の上、ストックヤード等における簡易分析法の適用方法について検討していきたい。

#### 4.2 微生物機能促進のための栄養塩拡散方法

小型土槽実験により、間隙水の流動がほとんどない条件の下、地盤に栄養塩を注入した際の栄養塩の拡散状況を調べた。その結果、注入条件、土の種類等による拡散

状況の違いについて、定性的に把握した。

今後、粘性土地盤における場合の検討等を進め、より効果的な栄養塩拡散方法について検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：簡易分析技術を用いた重金属類を含む土砂を判定する手法の開発に関する共同研究報告書、共同研究報告書第 375 号、2007.3
- 2) 独立行政法人土木研究所：建設工事で遭遇する地盤汚染対応マニュアル[暫定版]、鹿島出版会、pp.123-124、2004.5

## MANAGEMENT METHOD FOR SOIL AND GROUND WATER CONTAMINATION

**Abstract** : The main goal of this research is to establish evaluation methods for the environmental safety of geo-materials using a simplified leaching test and the risk of contaminated site by the advection-diffusion analysis. In addition, the applicability of the bio-remediation method for dioxins contaminated soil is also examined. In fiscal year 2008, the issues to apply the simplified leaching test to the real site are made clear using contaminated soil from sites. Moreover, the behavior of nutrients in the ground for the bio-remediation method was examined by model tests and the effect of the injection is evaluated.

**Key words** : soil contamination, ground water contamination, simplified leaching test, bio-remediation, nutrient