

## S 3 - 1 サンプルング機器の違いによる土壌試料の性状について

堀田朝丈<sup>1</sup>・草場周作<sup>2</sup>・佐藤秀之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>日本地下水開発株式会社・<sup>2</sup>株式会社アイ・エス・ソリューション・<sup>3</sup>株式会社ランドコンシェルジュ

### 1. はじめに

土壌汚染対策法が施行されて以降、自主調査を含めて非常に多くの土壌汚染調査が実施されている。現在までに、多くのサンプルング機器が導入され、調査に適用されている。近く土壌汚染対策法の一部改正が予定されており、オンサイトあるいは原位置での浄化対策の要求が高まるものと予想され、ますます精度の高い土壌調査が必要になると考えられる。適正な土壌汚染調査を行うにあたっては、多様なサンプルング機器の中から、現場の状況や対策等の目的に適したものを選定し、運用することが重要である。しかし、土壌汚染調査の現状として、サンプルング機器特性の理解不足や先入観から、この「サンプルング機器の選定」が適切に行われていない事例が多く見られる。「サンプルング機器の選定」が適切でないことは、調査精度の低下を招き、汚染原因の究明や浄化工事の施工に影響を与え、調査や浄化工事のコストや工期の増大へと繋がるものである。

そこで筆者らは、実際にサンプルング機器を用いて比較試験を行い、サンプルング機器の特性と土壌試料の性状について整理した。採取された土壌試料の性状、サンプルング機器の長所・短所から、適応条件と改善のための用法について報告する。

### 2. 比較試験方法

#### 2.1 対象機器

現在、主流となっているサンプルング機器として、振動式サンプルング機器（以後、振動式と記す）と打撃式サンプルング機器（以後、打撃式と記す）の2種類の機器を対象として比較試験を行った。

#### 2.2 試験条件

様々な条件においてサンプルング機器の特性を比較するために、模擬的に作製した人工地盤と自然地盤2例（砂層、粘性土+砂礫層）において土壌試料採取を行った。

人工地盤は、挟在層の採取状況を確認するために、塗料で染色した珪砂を鍵層として挟んで作製した。

人工地盤の作製手順および仕様は次の通りである。（写真-1）

バックホウで深さ 2.5m のトレンチを掘削する。

掘削したトレンチを山砂(細砂)で埋め戻す。山砂で 20 cm分埋め戻す毎に、塗料で染色した珪砂を約 2 cm分挟むように埋め戻す。

2.5m 分を埋め戻す間に、全部で 11 層の珪砂層を挟在する。

なお、作製した人工地盤は地下水位より浅い不飽和帯砂層である。



写真-1 人工地盤作製状況

Characteristics of Soil Samples Affected by Different Sampling Methods

Tomotake Hotta<sup>1</sup>, Shusaku Kusaba<sup>2</sup> and Hideyuki Sato<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Japan Ground water Development Co.,Ltd.,<sup>2</sup>In Situ Solutions Co.,Ltd.,<sup>3</sup>Land Concierge Co.,Ltd.)

連絡先：〒990-2313 山形県山形市松原 777

日本地下水開発株式会社 事業本部 地盤環境部 環境プロジェクトグループ 堀田朝丈

TEL：023-688-6000 FAX：023-688-6009 E-mail：t-hotta@jgd.co.jp

### 3. 比較試験結果

#### 3.1 サンプルング機器の仕様

試験対象としたサンプルング機器の仕様は表-1 に示す通りである。両機とも土壌・地下水汚染調査用という目的に特化して作られているため、大きさ、重さ、運動性は類似している。ともに4トン車にて積載・運搬し、現場内は装備したクローラで自走して移動することが可能である。

表-1 サンプルング機器の仕様と基本性能

	振動式	打撃式
掘削方法	振動+回転掘削(泥水不要) ケーシングを併用	打撃掘削(泥水不要)
騒音・振動 (参考値)	距離 1m : 騒音 95 dB 振動 85 dB 5m : 騒音 82 dB 振動 71 dB 10m : 騒音 76 dB 振動 60 dB <騒音:小, 振動:大>	距離 1m : 騒音 104 dB 振動 54 dB 5m : 騒音 91 dB 振動 41 dB 10m : 騒音 83 dB 振動 35 dB <騒音:大, 振動:小>
サンプラーの 特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプラー径 86 mm</li> <li>・ビニールパックに試料採取</li> <li>・コア径約 70 mm</li> <li>・先端ビット内の土量が多い</li> <li>・オープンサンプラーのため、スライムの混入やコンタミネーションが生じる可能性がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サンプラー径 50 mm</li> <li>・アクリルチューブに試料採取</li> <li>・コア径約 40 mm</li> <li>・先端ビット内の土量が少ない</li> <li>・クローズドサンプラーにより、コンタミネーションを防止することができる</li> <li>・ピンポイントでサンプルングすることができる</li> </ul>
サンプルング 可能な地質	粘土、砂、砂礫 玉石混じり層も可能であるが時間を要する	粘土、砂、砂礫 玉石混じり層は難

#### 3.2 土壌試料採取状況

##### 1)人工地盤(砂層に染色珪砂層を挟在)

人工地盤における土壌試料の採取状況を表-2 に示す。

表-2 人工地盤における土壌試料採取状況

振動式	打撃式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・珪砂層は厚さ 2 cm で採取</li> <li>・珪砂層は全 11 層を確認</li> <li>・GL~GL-1.00mのコア長は 1.00m</li> <li>・GL-1.00~2.00mのコア長は 1.10m</li> <li>・GL-2.00~3.00mのコア長は 0.90m</li> <li>・土壌の攪乱は少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・珪砂層は厚さ 1~2 cm で採取</li> <li>・珪砂層は全 11 層を確認するが、一部に珪砂層の圧縮が見られる。</li> <li>・GL~GL-1.00mのコア長は 0.80m</li> <li>・GL-1.00~2.00mのコア長は 0.75m</li> <li>・GL-2.00~3.00mのコア長は 0.65m</li> <li>・土壌の攪乱は少ない</li> </ul>

2)自然地盤 A ( 不飽和帯砂層、飽和帯砂層 )

自然地盤 A の土層状況は次に示す通りである。自然地盤 A における土壌試料の採取状況を表-3 に示す。  
<土層状況>

- 0 ~ 0.75m 埋土 (砂質土)
- 0.75 ~ 3.00m 砂 (細砂主体、一部中砂層挟む、粘土分若干混入) 自然水位は GL-1.20m

表-3 自然地盤 A における土壌試料採取状況

振動式	打撃式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GL ~ GL-1.00mのコア長は 1.00m</li> <li>・ GL-1.00 ~ 2.00mのコア長は 1.10m</li> <li>・ GL-2.00 ~ 3.00mのコア長は 1.10m</li> <li>・ 埋土と地山の境界は明瞭</li> <li>・ 地下水位以浅は土層の攪乱少なく、色調変化、ラミナも確認できるが、地下水位以深は土層の攪乱がある</li> <li>・ コアの下部 50 cmは攪乱が少ないが、色調変化、ラミナはやや不明瞭である</li> <li>・ コアの中部 (下位より 50 ~ 70 cm) は攪乱あり、色調一様、ラミナ不明瞭で砂粒子の咬み合いがやや弱い</li> <li>・ コアの上部 30 cmは土層の攪乱が著しく、色調一様、ラミナ確認できず、砂粒子の咬み合いが弱い (液状化現象が生じたとみられる)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GL ~ GL-1.00mのコア長は 0.86m</li> <li>・ GL-1.00 ~ 2.00mのコア長は 0.96m</li> <li>・ GL-2.00 ~ 3.00mのコア長は 0.86m</li> <li>・ 埋土と地山の境界は明瞭</li> <li>・ 全体に色調変化、ラミナを確認することができ、土層の攪乱は無い</li> <li>・ 中砂主体となる部分が確認できる</li> <li>・ 地下水位以深も土層の攪乱は無い</li> </ul>

3)自然地盤 B (粘性土 砂層 砂礫層に変化)

自然地盤 B の土層状況は次に示す通りである。自然地盤 B における土壌試料の採取状況を表-4 に示す。  
<土層状況>

- 0 ~ 1.50m 埋土 (砂礫、粘性土)
- 1.50 ~ 1.75m 粘性土 (砂質シルト)
- 1.75 ~ 2.50m 砂 (上部は粘土分を含む、含水多い)
- 2.50 ~ 5.00m 砂礫 (マトリックスは粒径不均一な砂、礫は 5 ~ 50 mm亜円礫 ~ 亜角礫、シルト分若干混じる。含水多い) 自然水位は GL-1.50m

表-4 自然地盤 B における土壌試料採取状況

振動式	打撃式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 埋土 (砂礫) の土壌試料は概ね良好</li> <li>・ 埋土 (粘性土) はやや攪乱があり、色調変化、ラミナは不明瞭</li> <li>・ 砂層のコアは全体に攪乱があり、層境界、粘土分を含む部分、色調変化、ラミナは確認できず</li> <li>・ 砂礫層のコアは全体に攪乱があり、色調変化、ラミナは確認できず</li> <li>・ 礫とマトリックスの咬み合いが無く、礫が移動したとみられる</li> <li>・ マトリックスに礫を破碎したスライムとみられる細粒分が多く混入している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 埋土 (砂礫) の土壌試料は概ね良好</li> <li>・ 埋土 (粘性土) は圧縮がみられるが、色調変化、ラミナは確認できる</li> <li>・ 砂層のコアは少し圧縮がみられるが、層境界、粘土分を含む部分、色調変化、ラミナ、層内の含水変化は確認できる</li> <li>・ 砂礫層のコアは少し圧縮がみられるが、色調変化、ラミナは確認できず</li> <li>・ マトリックスの攪乱が若干みられるが、礫とマトリックスの咬み合いはあり、礫の移動は少ないとみられる</li> </ul>

#### 4. 考察

##### 4.1 比較試験の結果のまとめ

比較試験の結果をまとめると、次の通りである。

###### 1)振動式

人工地盤（軟弱地盤） 不飽和帯砂層、粘性土層では概ね良好な試料が採取できる。  
飽和帯砂層では試料採取時に液状化現象が生じ、コアの上部では土壌の攪乱が顕著である。  
砂礫層ではマトリックスの攪乱、礫の移動、マトリックスへのスライムの混入が生じる。  
玉石混じり砂礫層では試料の加熱、マトリックスへのスライムの混入が生じる。

###### 2)打撃式

飽和帯砂層、不飽和帯砂層、粘性土層では概ね良好な試料が採取される。  
人工地盤（軟弱地盤） 粘性土層ではコアの圧縮が生じる。  
砂礫層ではマトリックスの攪乱が若干生じる。  
玉石混じり砂礫層は掘削困難である。

表-5 土壌試料の性状

##### 4.2 土壌試料の性状

サンプリング機器毎の土壌試料の性状を表-5に示す。「○」は試料の性状が良好な場合を示し、「△」は分析試料として供することはできるが、分析結果の解釈には注意が必要である場合を示す。土壌試料の性状から、分析試料に供することができない「×」の評価をする試料は無いが、「△」に評価されるものが多くあることに留意が必要である。無条件に分析試料に供することができる「○」の試料でないことを認識した上で分析結果の解釈を行わないと、適正を欠く調査結果につながる可能性がある。

	振動式	打撃式
人工地盤	○	○
砂(不飽和)	○	○
砂(飽和)	△	△
粘性土	△	△
砂礫	○	○

○:適している △:要注意

##### 4.3 コアの伸び・縮み

土壌試料の性状悪化の要因の一つとして、コアの伸び・縮みがあげられる。振動式ではコアが伸びる場合が多く、打撃式ではコアが縮む場合が多い。振動式では、スライムとコアを区別することとコアが伸びた箇所の把握が重要である。打撃式では、土壌の攪乱が少なく層序等は判定できるが、コアが縮んだ箇所の把握が必要である。特に油汚染の調査の場合は、土壌試料性状の把握に特に注意が必要である。油汚染は地下水位付近に滞留し、LNAPLの厚さは極わずかとなる。コアを精度良く観察し、性状について判断することが調査の鍵となる。

#### 5. まとめ

##### 5.1 土壌試料性状の改善方法

今回の比較試験の結果を踏まえて、土壌試料の性状を改善する方法としては、次の事項があげられる。

###### 1)振動式

飽和帯砂層では、コア採取長を短くし、サンプラーに振動をかける時間を可能な限り短くする。  
砂礫層、玉石混じり砂礫層では、無水掘削とせず、清水を少量送水し、コアチューブの冷却、破碎スライムの排除を行う。

###### 2)打撃式

人工地盤（軟弱地盤） 粘性土層、砂礫層では、コア採取長を短くし、コアの圧縮を抑える。  
人工地盤（軟弱地盤） 粘性土層では、打撃力を小さくし、コアの圧縮を抑える。

##### 5.2 その他の特長

今回の比較試験の結果とこれまで現場にて経験したことを踏まえて、サンプリング機器の特長をまとめると、次の通りである。

###### 1)振動式

ケーシング併用掘削のため、同工程で井戸を設置することができる。  
大口径ケーシングを使用することにより、口径 100A までの井戸を設置することができる。  
試料採取量が多く、分析項目数が多い場合に適している。  
掘削で生じる残土量と残孔を閉塞するために必要な土量が多い。

## 2)打撃式

井戸の設置は土壌試料採取とは別工程で行う。

打ち込み式ケーシングを使用するため、井戸設置のみとする場合には、作業が迅速である。

口径 50A までの井戸を設置することができる。

専用の地下水サンプラーを使用することにより、井戸設置無しで地下水調査をすることができる。

各種ダイレクトセンシングツールにより、公定法分析以外の調査方法の適用が可能である。

試料採取量が少ないので、分析に必要な量の確認が必要である。

コア径が小さく、掘削スライムが発生しないので、残土量が少なく、残孔を閉塞するために必要な土量が少なく済む。また、クローズドサンプラーであるため目的の深度区間のみでの試料採取が可能である。

## 5.3 特長を踏まえたサンプリング機器の用法

特長を踏まえたサンプリング機器の用法をまとめると次の通りである。

### 1)振動式

人工地盤、軟弱地盤に適している。

分析項目が多い場合に適している。

液状化する地盤（飽和帯砂層）には適していない。

VOC・油汚染の調査においては、振動による影響を把握して適切な判断を下す必要がある。

以上のことから、土壌汚染状況調査に適していると言える。

### 2)打撃式

液状化する地盤（飽和帯砂層）に適している。

特定の試料採取深度を設定した調査に適している。

調査地点数の多い土壌・地下水汚染調査に適している。

井戸設置のみを行う場合に適している。

人工地盤、緩い地盤、玉石混じり層、分析項目が多い場合には、コアの圧縮等、その特性を理解する必要がある。

以上のことから、詳細調査、汚染原因究明調査、浄化のための調査に適していると言える。また、原位浄化工事、公定法分析以外の各種調査にも応用することが可能である。

## 6. おわりに

サンプリング機器の的確な運用と土壌試料性状の判定を行うことにより、土壌汚染調査の精度を向上させることができる。調査精度を向上させることは、汚染原因の究明や適切な浄化工事の設計・施工に繋がりを、引いては土壌・地下水汚染対策事業全体のコスト縮減や工期短縮に繋がるものである。本報では、土壌試料の観察を元に、サンプリング機器の適用の可否について検討した。今後は、各種物理・化学試験を加えた検討を進め、サンプリング機器の選定や、土壌試料性状の判定について、より詳細な評価基準を提案したいと考えている。