

# 鋼管矢板遮水壁の打設に起因する環境影響の評価

京都大学 稲積真哉 <sup>\*1</sup>

京都大学 與北雅友 <sup>\*2</sup>

京都大学 木村 亮 <sup>\*3</sup>

京都大学 嘉門雅史 <sup>\*4</sup>

連結鋼管矢板工法研究会 西山嘉一 <sup>\*5</sup>

By Shinya INAZUMI, Masatomo YOKITA, Makoto KIMURA,  
Masashi KAMON and Yoshikazu NISHIYAMA

海面埋立処分場において鋼管矢板を打設することで構築される鋼管矢板遮水壁は、埋め立てられた廃棄物からの浸出水が外海へ漏出することを防ぐ重要な遮水工要素である。一方、鋼管矢板が遮水工としての機能を発揮するためには、継手を有する鋼管矢板の嵌合打設において周辺地盤との密実性を保持しなければならない。本研究では、鋼管矢板遮水壁の打設における周辺地盤の乱れ領域の形成に着目し、海面埋立処分場全体の環境保全機能に対する乱れ領域の影響、乱れ領域の形成を抑制する打設工法の効果およびサンドコンパクションパイル工法による地盤改良の影響を、浸透・移流分散解析によって評価する。本研究における成果の一例として、下部堆積粘土層において形成される乱れ領域が特定経路における有害物質漏出の漏出量に大きく影響し、一方、ソイルセメントによる鋼管矢板周辺の地盤改良を伴う鋼管矢板の打設工法が有害物質の漏出抑制に効果的であることを示した。

【キーワード】海面埋立処分場、鋼管矢板遮水壁、打設施工、遮蔽性能

## 1. はじめに

従来、我が国では山間谷地部の水源地帯に廃棄物処分場（内陸埋立処分場）を求めることが多かった。しかしながら、近年では水源地の保全を図り、処分場からの浸出水による地下水環境への汚染リスクの低減のため、比較的小規模の内陸埋立処分場から都市部の港湾域に大規模展開する海面部の埋立て（海面埋立処分場）へと処分場の立地条件の多様化が進められている。全国統計<sup>1)</sup>では、平成15年度において全廃棄物処分場のうち海面埋立処分場が全体容量で23.3%、特に大都市圏では80%以上の容量を占めている（図-1参照）。

海面埋立処分場における埋立護岸（廃棄物埋立護岸）は、廃棄物、建設発生土および浚渫土砂の海面

埋立処分に対応して、港湾保全との整合を図りつつ、埋立処分する空間を確保するためのものである。廃棄物埋立護岸には、地震や波浪、高潮および津波等の海上特有の諸外力から埋立地を護る護岸機能とともに、廃棄物からの浸出水が海域へ流出することのない側面遮水工としての環境保全機能が要求される。

近年では、大水深施工が可能な鋼管矢板が、その施工性および経済性の観点から、廃棄物埋立護岸（以降では“鋼管矢板遮水壁”と称する）として海面埋立処分場を中心に広く用いられている<sup>2), 3), 4)</sup>。ここで、鋼管矢板遮水壁が側面遮水工として機能する前提には、継手を有する鋼管矢板の嵌合打設において周辺地盤との密実性を保持しなければならない。

海洋での施工となる鋼管矢板遮水壁の打設は陸上

<sup>\*1</sup> 京都大学 大学院工学研究科 075-383-3262  
<sup>\*2</sup> 京都大学 大学院工学研究科 075-383-3244  
<sup>\*3</sup> 京都大学 産官学連携センター 075-383-3053  
<sup>\*4</sup> 京都大学 大学院地球環境学学 075-753-5114  
<sup>\*5</sup> 連結鋼管矢板工法研究会 03-3437-5448

inazumi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp  
 yokita@catfish.kuciv.kyoto-u.ac.jp  
 kimura@iic.kyoto-u.ac.jp  
 kamon@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp  
 hamoni@h-joint.jp

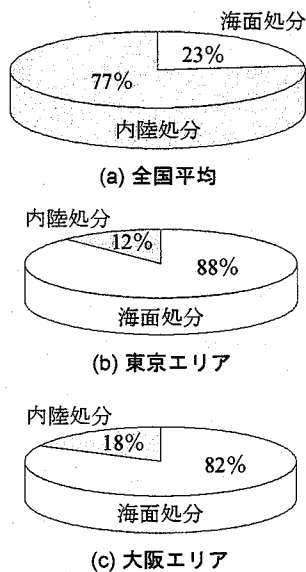


図-1 廃棄物処分場における内陸・海面処分の全体容量比（平成 15 年）

と異なり、海上輸送による長尺鋼管矢板の輸送が可能であり、多くは 1 本ものの長尺鋼管矢板が嵌合打設される。しかしながら、長尺鋼管矢板は打設時の抵抗が大きく、一般的に用いられるバイプロハンマーの大型化のみでは打設できず、補助工法としてジェット工法を採用する必要がある（図-2 参照）。ジェット噴射による補助工法は、打設する鋼管矢板の周面および先端の地盤を乱す結果、鋼管矢板と周辺地盤との界面において水みちの発生（図-3 参照）や支持力不足を引き起こす可能性があり、鋼管矢板遮水壁の性能低下が懸念される。また、バイプロハンマー工法を単独で用いた場合でも鋼管矢板の押し引きによる地盤の乱れが生じる<sup>5)</sup>。

本研究では、鋼管矢板遮水壁の打設において一般的に用いられるバイプロハンマー工法に起因する打設周辺地盤の乱れに着目し、鋼管矢板遮水壁周辺での乱れ領域の形成が海面埋立処分場全体の有害物質の遮蔽性能に及ぼす影響を、浸透・移流分散解析を実施することで評価する。さらに、鋼管矢板と周辺地盤との密実性を向上させ、力学的・水理学的に安定した鋼管矢板の打設施工が期待できるソイルセメントによる矢板周辺地盤の改良（以降では“SC 改良工法”と略する）を伴う鋼管矢板の打設工法の可能性を、既往施工法の一つであるサンドコンパクションパイル工法（以降では“SCP 改良工法”と称する）による地盤改良工法と比較検討する。

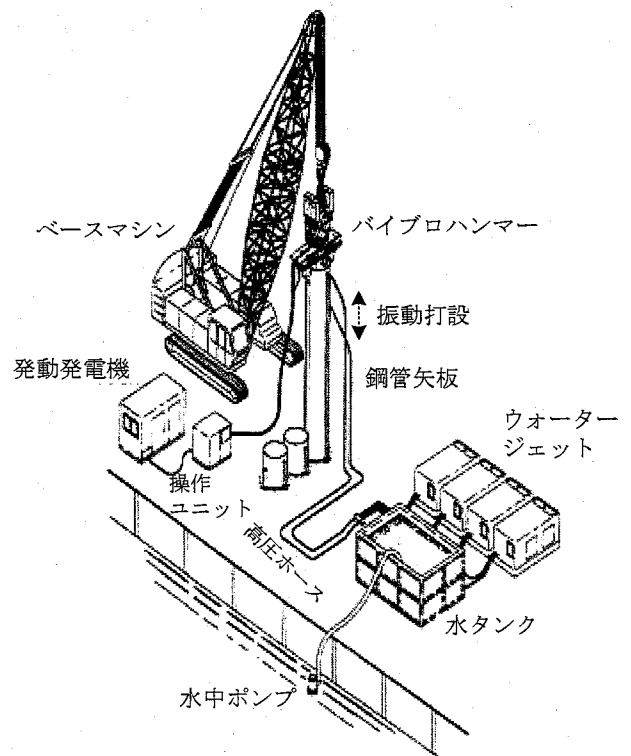


図-2 ウォータージェット併用バイプロハンマー工法による鋼管矢板打設の概略

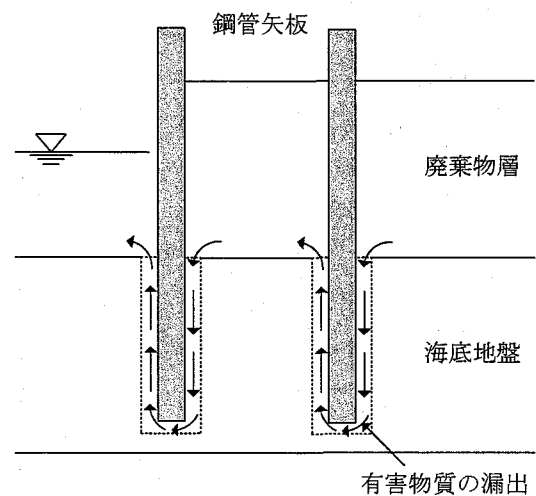


図-3 乱れ領域の形成によって想定される有害物質の漏出経路

## 2. 鋼管矢板遮水壁の打設

鋼管矢板遮水壁は、水圧、波圧、廃棄物および埋立土による土圧、地震力、自重、上載荷重およびその他の外力に対して力学的に安定を保持しなければならない。

一般的に海面埋立処分場では、バイプロハンマー工法によって嵌合打設（図-2 参照）される鋼管矢板遮水壁の力学的安定のため、海底堆積粘土層においてサンドコンパクションパイル工法（SCP 改良工法）を用いた地盤改良が施される。SCP 改良工法は、バイプロハンマーを使用してケーシングを地盤内に挿入後、ケーシング内に砂等を投入してケーシングの上下動と振動または衝撃により砂を地盤中に圧入して直径が大きく圧縮された砂杭を造成することで地盤の安定を図る工法である。軟弱な粘性土に対しては砂杭群と原地盤の複合地盤としての強度増加とドレーン機能を併せ持つものである<sup>6)</sup>。しかしながら、SCP 改良工法は底部遮水工である海底堆積粘土層に砂杭を造成するため、底部遮水工の透水係数は増し、結果的に海底堆積粘土層の底部遮水基盤としての機能が失われる可能性がある。

上記したバイプロハンマー工法ならびに SCP 改良工法を用いた鋼管矢板の打設において問題となる諸課題を克服するために、ソイルセメントによる地盤改良を伴う鋼管矢板の打設工法（SC 改良工法）が提案されている<sup>7)</sup>。SC 改良工法は、ソイルセメントが鋼管矢板と周辺地盤の接触面に充填されることで、打設した低透水性の鋼管矢板と周辺地盤との界面で生じる漏水問題（図-3 参照）や支持力不足を効率的に克服することが期待できる。本打設工法を用いた施工手順は以下のとおりである。

- (1) 鋼管矢板をバイプロハンマーにより水中に建て込み、鋼管矢板が自立する深さまで打設する。
- (2) (1)においてバイプロハンマー打設した鋼管矢板の鋼管内に拡大ヘッド付攪拌掘削機を挿入し、鋼管矢板先端より以深の原地盤にセメントミルクを注入・混合させてソイルセメント壁体を造成する。
- (3) 鋼管矢板先端以深で造成されたソイルセメント壁体が固化する前に、鋼管矢板上杭を現場溶接して造成したソイルセメント壁体内に圧入する。
- (4) 鋼管矢板先端下部のソイルセメントによる地盤改良と鋼管矢板上杭の溶接の間隔、打設サイクルを検討し、矢板先端の地盤を先行改良し、(1)～(3)の打設工程を繰り返す。

ここで、図-4 はソイルセメントによる地盤改良を伴って打設された鋼管矢板遮水壁に沿う浸出水の想

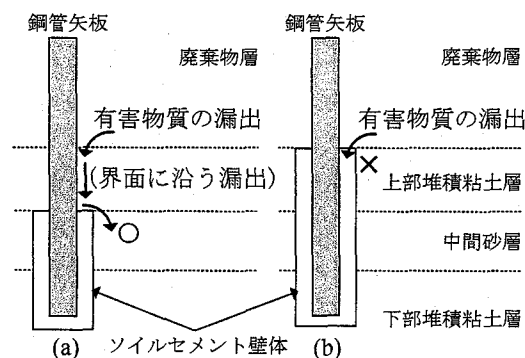


図-4 SC 改良と有害物質の漏出経路

定漏水経路を示している。これより、ソイルセメントによる地盤改良が上部粘性土層の下部に位置する砂層以深のみで実施された場合（図-4(a)参照）、廃棄物からの浸出水は鋼管矢板と上部粘性土層の界面から砂層へ漏出する可能性があり、結果的に上部粘性土層の底部遮水基盤としての機能が損なわれる可能性がある。よって、本打設工法が鋼管矢板遮水壁の遮水性向上により貢献するためには、ソイルセメントによって上部粘性土層と鋼管矢板の界面まで改良する必要がある（図-4(b)参照）。すなわち、鋼管矢板を上部粘性土層内で一時的に自立させ、ソイルセメントによって底部遮水基盤でもある上部粘性土層以深の原地盤を改良することが重要である。これは、本打設工法における(1)の工程で示された建て込む鋼管矢板下杭の矢板長を、上部粘性土の層厚および支持力特性に対応して短く調節することで対応できる。また、クレーン等により建て込む鋼管矢板下杭を吊り下げておくことでも対応できる。本打設工法の特徴は次のとおりである。

- (1) 鋼管矢板の目的深度までは固化前のソイルセメント壁体が造成されているので、鋼管矢板の挿入が容易である。
- (2) バイプロハンマーによる鋼管矢板の打設で問題となる地中抵抗（粘着と閉塞）が低減できる。
- (3) 鋼管矢板の打設に伴う矢板周面および底部の地盤の乱れを防止でき、周辺からの水の流入を防止できる。
- (4) ソイルセメント配合比を調整することで、所定の遮水性・支持力が得られる。
- (5) 鋼管矢板を海底線以深に挿入し、その下部をソ

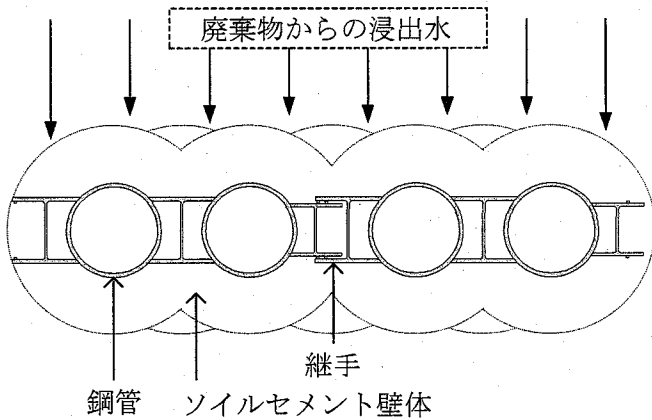


図-5 ソイルセメント壁体と合成鋼管矢板

イルセメントで改良することで注入混合する固化材が、上部粘性土の存在により海中に漏出し

ない。

- (6) 鋼管矢板下杭以深の継手箇所における遮水処理が不要である。

本打設工法を適用して打設された鋼管矢板は、図-5に示すとおり鋼管矢板とソイルセメントの一体化によりソイルセメント壁体径を有効径とする地盤の鉛直支持力および水平支持力を得ることができる<sup>8)</sup>。

### 3. 浸透・移流分散解析

浸透・移流分散解析では、飽和・不飽和状態の浸透、移流分散に基づく地下水中的の水および溶質の移動を表現する有限要素解析コードである Dtransu-2D・EL<sup>9)</sup>を用いた。本解析コードでは、浸透および移流分散それぞれにおける圧力水頭および濃度の取扱いに2段階解析法を用いている。また離散化方法は、浸透流解析は Galerkin 法、時間項のみ後退差分法によって離散化している。移流分散問題は Neuman によって提案されたオイリアン-ラグランジアン法 (EL 法) によって離散化している。本解析は全て飽和領域で行っている。本解析コードの浸透、移流分散方程式の基礎方程式は式(1)に示す。

$$\{\beta S_s + C_s(\theta)\} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ K_{ij}^s \{K_r(\theta)\} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + K_{i3}^s \right] - Q_c \quad (1)$$

ここに、 $\beta$ : 1 (飽和領域)、0 (不飽和領域)、 $S_s$ : 比貯留係数、 $C_s$ : 比水分容量、 $\phi$ : 圧力水頭、 $K_{ij}^s$ : 飽和透水テンソル、 $K_r(\theta)$ : 比透水係数、 $Q_c$ : 湧出・吸

込項を表している。また、移流分散方程式は式(2)で表される。

$$R\theta\rho \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \theta\rho D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta\rho v_i c) - \theta\rho\lambda Rc - Q_c \quad (2)$$

ここに、 $R$ : 遅延定数、 $D_{ij}$ : 分散テンソル、 $v_i$ : 実流速、 $\lambda$ : 減衰定数、 $\theta$ : 体積含水率を表している。さらに、分散テンソルは式(3)で表せる。

$$D_{ij} = \alpha_T \|V\| \delta_{ij} + (\alpha_L + \alpha_T) \frac{V_i V_j}{\|V\|} + \alpha_m \tau \delta_{ij} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha_T$ : 横分散長、 $\alpha_L$ : 縦分散長、 $V_i$ : 実流速ベクトル、 $\|V\|$ : 実流速のノルム、 $\alpha_m$ : 分子拡散係数、 $\tau$ : 屈曲率、 $\delta_{ij}$ : クロネッカのデルタである。

なお、嘉門ら<sup>10)</sup>は本浸透・移流分散解析を通じて、海面埋立処分場の側面・底面遮水工構造の適正化に関する考察を行っており、特に海面埋立処分場の重力式ケーソン護岸の有害物質遮水性能を評価するため、処分場からの有害物質の流出を移流分散問題として定量的に評価している。また、稲積ら<sup>11)</sup>は海面埋立処分場における鋼管矢板遮水壁が有害物質の封じ込めに与える効果に着目し、鋼管矢板遮水壁の性能および設置条件と環境適合性との関連性を検討している。本研究において実施する浸透・移流分散解析においては、主として上記した報告を参考にして

### 4. 鋼管矢板遮水壁が及ぼす環境影響評価

#### (1) 解析対象

図-6は、本解析において設定した鋼管矢板遮水壁を有する海面埋立処分場の基本断面を示している。なお、図-6に示した基本断面は、東京都港湾局・新海面処分場におけるAブロック北側護岸標準断面<sup>12)</sup>を参考にして、解析断面として設定した海面埋立処分場における海底地盤は、上部堆積粘土層が8m、中間砂層が5m、下部堆積粘土層が13m、それぞれ自然堆積している。また、鋼管矢板遮水壁が設けられる上部堆積粘土層周辺にはSCP改良工法を用いた地盤改良が総幅82mで施され、また、13.5m幅の二重鋼管矢板遮水壁 (各鋼管矢板径1m) 内は中詰土として砂岩ずりによって埋め立てられている。さらに、

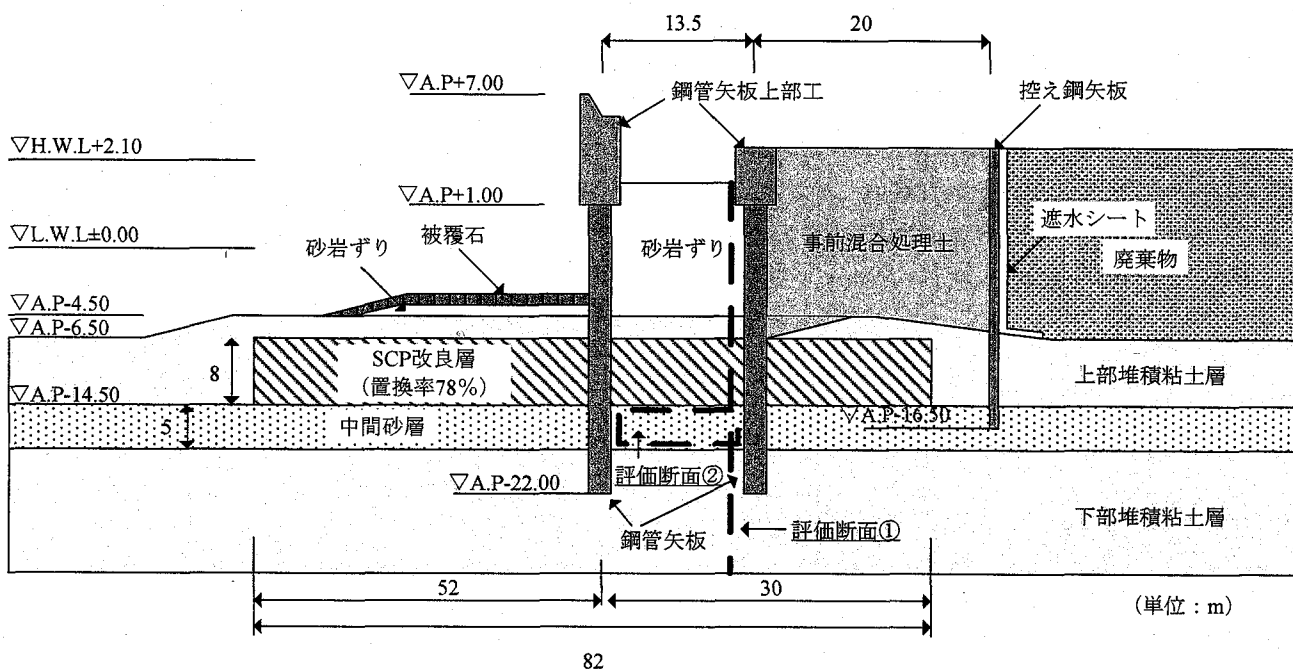


図-6 解析対象とした海面埋立処分場断面（東京都港湾局・新海面埋立処分場）

表-1 構成各層に設定した特性値

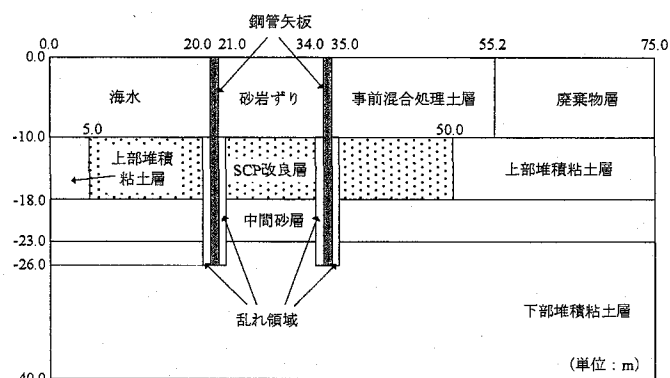
| 材料             | 透水係数<br>(水平方向)<br>$k_H$ (cm/s)                                               | 透水係数<br>(鉛直方向)<br>$k_V$ (cm/s)                                               | 有効間隙率<br>$\theta$ | 縦分散長<br>$\alpha_L$ (cm) | 横分散長<br>$\alpha_T$ (cm) | 分子拡散係数<br>$D_m$ (cm <sup>2</sup> /s) | 遅延係数<br>$R_d$ |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|
| 鋼管矢板           | $1 \times 10^{-7}$                                                           | $1 \times 10^{-7}$                                                           | 0.1               | 10                      | 0.1                     | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 粘土層            | $7 \times 10^{-7}$                                                           | $5 \times 10^{-7}$                                                           | 0.65              | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 2             |
| 砂層             | $1 \times 10^{-3}$                                                           | $1 \times 10^{-3}$                                                           | 0.4               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| SCP改良層         | $1 \times 10^{-6}$                                                           | $6 \times 10^{-4}$                                                           | 0.45              | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 砂岩ずり           | $1 \times 10^{-2}$                                                           | $1 \times 10^{-2}$                                                           | 0.4               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 事前混合<br>処理土層   | $1 \times 10^{-6}$                                                           | $1 \times 10^{-6}$                                                           | 0.4               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 廃棄物層           | $1 \times 10^{-0}$                                                           | $1 \times 10^{-0}$                                                           | 1.0               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 海 水            | $1 \times 10^{-0}$                                                           | $1 \times 10^{-0}$                                                           | 1.0               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 乱れ領域<br>(粘土層)  | $1 \times 10^{-1}, 1 \times 10^{-3}$<br>$1 \times 10^{-5}, 1 \times 10^{-6}$ | $1 \times 10^{-1}, 1 \times 10^{-3}$<br>$1 \times 10^{-5}, 1 \times 10^{-6}$ | 0.65              | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 2             |
| 乱れ領域<br>(砂層)   | $1 \times 10^{-1}$                                                           | $1 \times 10^{-1}$                                                           | 0.4               | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| 乱れ領域<br>(SCP層) | $1 \times 10^{-1}, 1 \times 10^{-3}$                                         | $1 \times 10^{-1}, 1 \times 10^{-3}$                                         | 0.45              | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 1             |
| ソイルメント壁体       | $1 \times 10^{-6}$                                                           | $1 \times 10^{-6}$                                                           | 0.65              | 10                      | 1                       | $1 \times 10^{-5}$                   | 2             |

処分場側鋼管矢板と廃棄物埋立区域内の廃棄物との間（間隔 20 m）には事前混合処理土（砂質土系）が埋め立てられている。ここで、**図-6** では遮水シートおよび鋼矢板が存在しているが、解析実施断面では遮水シートおよび鋼矢板を施していない、すなわち、危険側の評価において解析を実施した。一方、鋼矢板（透水係数： $1 \times 10^{-6}$  cm/s）を設置した場合においても予備解析を実施しており、漏出時間に影響を及ぼすものの、全体的な漏出挙動には大きな影響がない結果を得ている。

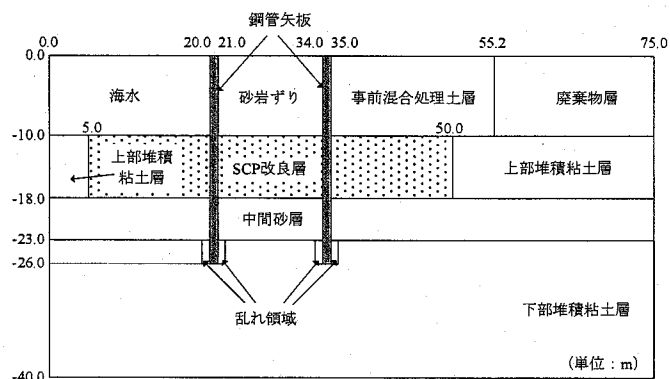
海面埋立処分場において、廃棄物中の有害物質の漏出は、鋼管矢板遮水壁の遮水性能に応じて抑制することができる。これを評価するため、解析では廃棄物層を汚染源として考え、有害物質漏出の可能性を評価する。有害物質濃度  $C = 100$  を固定条件で与え、その他の層は初期有害物質濃度  $C = 0$  とした。さらに、境界条件は濃度未知とし、流入出が可能として解析を実施した。なお、海面埋立処分場では、一般的に処分場内外の水位差が 2 m を超えないように管理水位が設けられていることから、海水上端部の最左端部から最右端部に全水頭  $H = 0$  m、廃棄物層上端部の最左端部から最右端部に全水頭  $H = 2$  m を固定条件で与え、境界条件としては水頭未知である。定常浸透流にて解析を実施した。また、解析対象の構成各層の構造骨格は変形しないものとして解析を実施した。

各構成層に与える材料特性は、透水係数（水平方向）、透水係数（鉛直方向）、有効間隙率、縦分散長、横分散長、分子拡散係数および遅延係数である。**表-1** には、材料特性として与えた本解析で用いた物性値を示している。なお、**表-1** に示された材料特性値は、文献<sup>7), 10), 11)</sup>を参照して決定している。

得られた解析結果は、鋼管矢板遮水壁における有害物質の遮蔽性能を評価するため、処分場側鋼管矢板の直左全深度（**図-6** における評価断面①）における有害物質の漏出濃度に着目し、廃棄物層の濃度  $C = 100$  に対する該当箇所の単位長さあたりの漏出濃度比率を用いて議論した。なお、解析条件によっては、与えた条件が有害物質の漏出経路に及ぼす影響をより詳細に検討するため、廃棄物層の濃度  $C = 100$  に対する二重鋼管矢板遮水壁内に存在する中間砂層（**図-6** における評価断面②）での有害物質の濃度比率についても議論している。さらに、有害物質は移流およ



(a) Case-1



(b) Case-2

**図-7 乱れ領域の形成を想定した解析断面例**

び分散効果によって移動するため、解析結果は移流および分散を併せた濃度を示している。

## (2) 遮水壁周辺地盤の乱れ領域が及ぼす環境影響

鋼管矢板遮水壁周辺での乱れ領域の形成が、海面処分場全体における有害物質の漏出挙動に及ぼす影響を検討する。

本解析では**図-7** に示すとおり、乱れ領域が上部堆積粘土層・中間砂層・下部堆積粘土層に形成された場合（Case-1）および下部堆積粘土層のみに形成された場合（Case-2）における廃棄物からの有害物質の漏出特性を評価する。なお、乱れ領域の幅について、80 cm の鋼管杭をバイプロハンマー打設した場合、杭周面より側方 20 cm 以上の領域では原地盤の特性を維持しているとの報告<sup>5)</sup>に基づき、本解析では乱れ領域幅を 10 および 20 cm に設定した。

**図-8** は、乱れ領域を上部堆積粘土層・中間砂層・下部堆積粘土層に形成させた場合（Case-1）および下部堆積粘土層のみに形成させた場合（Case-2）における、廃棄物層の濃度  $C = 100$  に対する廃棄物側鋼管矢

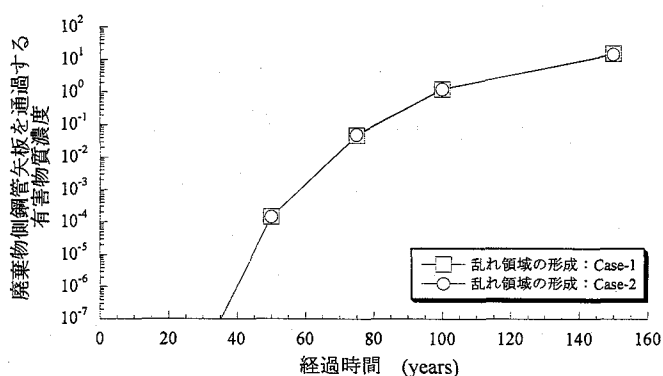


図-8 乱れ領域の形成と有害物質の漏出濃度

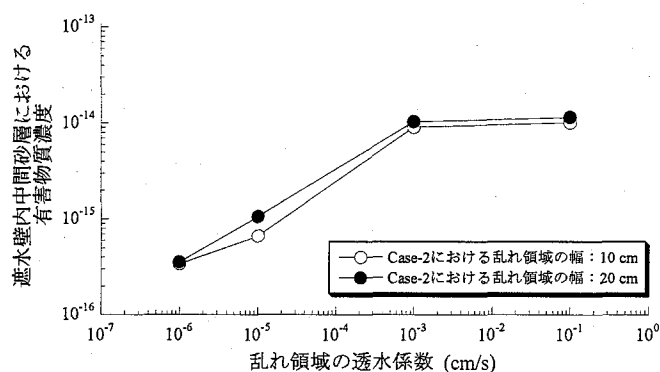


図-9 乱れ領域の透水係数と有害物質の漏出濃度

板の直左全深度での有害物質の濃度比率を表している（乱れ領域幅：20 cm、上部・下部堆積粘土層における乱れ領域の透水係数： $1 \times 10^{-3}$  cm/s、および中間砂層における乱れ領域の透水係数： $1 \times 10^{-1}$  cm/s）。これより、廃棄物側鋼管矢板を通過する有害物質の濃度において、上部堆積粘土層および中間砂層内における乱れ領域の形成の有無による大きな相違はみられない。この原因として、SCP 改良層における透水係数の影響を考えることができる。すなわち、SCP 改良層の透水係数は鉛直方向が水平方向と比較して大きい<sup>4)</sup>ため、SCP 改良層内に到達した有害物質は鉛直方向への移動が支配的となる。よって、有害物質を含んだ浸出水は、上部堆積粘土層における乱れ領域に到達する以前に SCP 改良層を鉛直方向に通過して中間砂層に浸入することが考えられる。なお、中間砂層に浸入した有害物質は下部堆積粘土層内を移動するため、下部堆積粘土層と鋼管矢板の界面における乱れ領域の形成が有害物質の漏出に対して重要な因子となる。そこで、図-9 は Case-2 における廃棄物層の濃度  $C = 100$  に対する鋼管矢板遮水壁内の中間

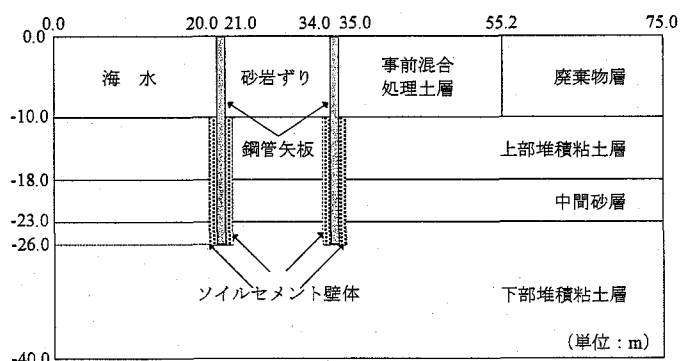
砂層での濃度比率と乱れ領域幅および乱れ領域の透水係数の関係を表している。乱れ領域の透水係数および乱れ領域幅によって、鋼管矢板遮水壁内の中間砂層に含まれる有害物質の濃度に違いが生じている。特に、乱れ領域の透水係数は、鋼管矢板遮水壁内の中間砂層に漏出する有害物質濃度に影響を与え、乱れ領域の透水係数が  $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$  cm/s に変化すると、漏出する有害物質の濃度は 30 倍程度増加している。

鋼管矢板遮水壁の打設に伴う周辺地盤における乱れ領域の形成による有害物質の漏出は、廃棄物層から SCP 改良層、中間砂層、下部堆積粘土層内における乱れ領域および鋼管矢板を通過し鋼管矢板遮水壁内の中間砂層に漏出する経路において顕著に確認された。さらに、下部堆積粘土層において形成された乱れ領域が保持する透水係数は、上記の漏出経路における漏出量に支配的に影響を与える。したがって、鋼管矢板遮水壁の構築では、鋼管矢板と周辺地盤との密実性を保持することが重要である。そこで、ソイルセメントによる鋼管矢板周辺の地盤改良を伴う鋼管矢板の打設工法（SC 改良工法）が開発されており（2. 参照）、ソイルセメントによる地盤改良を伴う鋼管矢板の打設工法は鋼管矢板の打設に伴う周辺地盤の乱れを防ぐために有効であると考えられる。

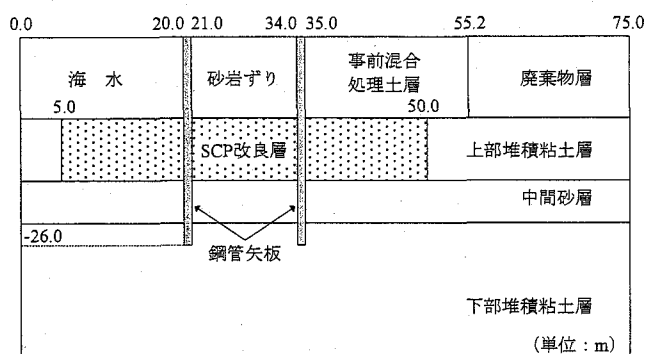
### (3) SC および SCP 改良工法が及ぼす環境影響

本解析では、SC 改良工法（2. 参照）によって施工された鋼管矢板遮水壁が海面処分場全体における有害物質の漏出挙動に及ぼす影響を検討する。すなわち、図-10 に示す解析断面において、SC 改良工法によって鋼管矢板遮水壁が施工された場合（Case-SP）、および鋼管矢板の力学的安定性を増すためにサンドコンパクションパイル工法（SCP 改良工法）を用いて鋼管矢板遮水壁が施工された場合（Case-SCP）における廃棄物からの有害物質の漏出特性を評価する。ここで、Case-SC では鋼管径 100 cm に対してソイルセメント径を 140 cm と設定している。

図-11 は、Case-SC および Case-SCP における廃棄物層の濃度  $C = 100$  に対する廃棄物側鋼管矢板の直左全深度での有害物質の濃度比率を表している。これより、SC 改良工法を用いることによって、廃棄物側鋼管矢板を通過する有害物質の漏出濃度は、SCP 工



(a) SC改良を伴う海面処分場断面 (Case-SC)



(b) SCP改良を伴う海面処分場断面 (Case-SCP)

図-10 SC改良およびSCP改良工法を想定した解析断面例

法を用いた場合に比べて1オーダー以上抑制できる。これは、SCP工法を用いた鋼管矢板遮水壁ならびに海面埋立処分場では上部堆積粘土層がSCP改良層で置換されるため、上部堆積粘土層の有する底部遮水基盤としての遮水性が損なわれた結果である。よって、SC改良工法を用いた鋼管矢板遮水壁の構築は、一般的に用いられてきたSCP工法と比べて有害物質の遮蔽に効果的であり、さらに廃棄物埋立容量の合理的な増大に対しても貢献することができる。

図-12は、SC改良工法における改良深度を変化させた場合における廃棄物層の濃度 $C = 100$ に対する廃棄物側鋼管矢板の直左全深度での有害物質の濃度比率を表している。これより、SC改良が上部堆積粘土層まで造成されると、中間砂層以深のみで造成された場合と比べて劇的に有害物質の漏出抑制効果が向上している。この原因として、図-4に示すようにSC改良が上部堆積粘性土層の下部に位置する中間砂層以深のみで実施された場合、廃棄物からの浸出水は鋼管矢板と上部粘性土層の界面から砂層へ漏出する可能性があり、結果的に上部堆積粘性土層の底部遮

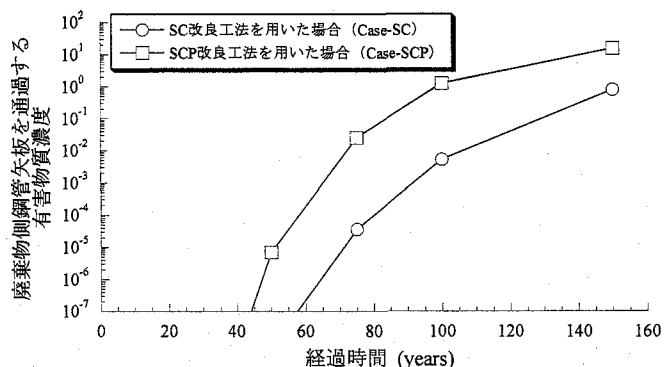


図-11 改良工法の違いと有害物質の漏出濃度

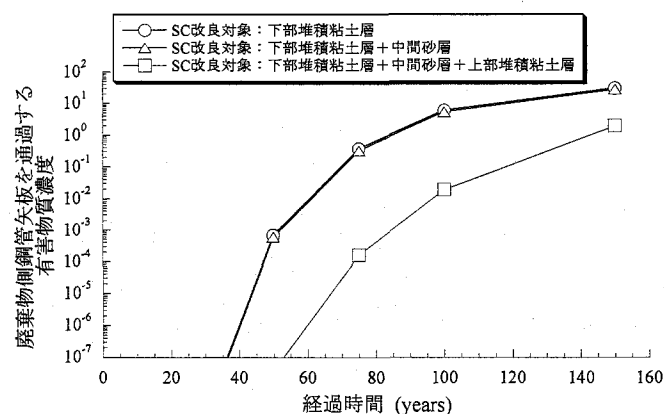


図-12 SC改良工法における改良深度と有害物質の漏出濃度

水基盤としての機能が損なわれるためである。よって、SC改良工法が鋼管矢板遮水壁の遮水性向上により貢献するためには、鋼管矢板を上部粘性土層内で一時的に自立させ、ソイルセメントによって底部遮水基盤でもある上部粘性土層以深の原地盤を改良することが重要である。これは2.で説明したとおり、建て込む鋼管矢板下杭の矢板長を、上部堆積粘性土の層厚および支持力特性に対応して短く調節することで対応できる。

## 5. おわりに

本研究では、海面埋立処分場における鋼管矢板遮水壁の打設における打設周辺地盤の乱れに着目し、鋼管矢板遮水壁周辺での乱れ領域の形成が海面埋立処分場全体の有害物質の遮蔽性能に及ぼす影響を評価した。さらに、鋼管矢板と周辺地盤との密実性が

期待できる SC 改良工法の可能性を、既往地盤改良工法の一つである SCP 改良工法と比較検討した。

得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 鋼管矢板遮水壁の打設に伴う周辺地盤における乱れ領域の形成は、有害物質を含んだ浸出水が廃棄物層・SCP 改良層・中間砂層・下部粘土層内における乱れ領域・鉛直遮水壁を経由し、鉛直遮水壁内の中間砂層に漏出する経路が生じる原因となる。さらに、下部堆積粘土層において形成された乱れ領域が保持する透水係数は、上記の有害物質の漏出経路における漏出量に大きく影響を与える。
- (2) SCP 工法を用いた鋼管矢板遮水壁ならびに海面埋立処分場では上部堆積粘土層が SCP 改良層で置換されるため、上部堆積粘土層の有する底部遮水基盤としての遮水性が損なわれる。すなわち、SCP 改良工法による底部遮水工の改良は、SCP 改良層の透水係数および改良幅に応じて有害物質の鉛直方向への漏出移動に影響を与える。
- (3) SC 改良工法を伴う鋼管矢板の打設工法が有害物質の漏出抑制に効果的であることを示した。なお、SC 改良によって上部堆積粘土層内から鋼管矢板先端まで改良することで、SC 改良工法が鋼管矢板遮水壁の遮水性能向上により貢献する。

#### 【参考文献】

- 1) 環境省ホームページ：<http://www.env.go.jp/>.
- 2) 渡部要一：海面処分場の設計，*処分場建設の調査・設計から施工* 講習会資料，地盤工学会，pp.45-63，2003.
- 3) 嘉門雅史：管理型海面最終処分場の地盤工学的問題と新技術，*基礎工*，総合土木研究所，Vol.34，No.7，pp.10-14，2006.
- 4) 運輸省港湾局：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル，財団法人 港湾空間高度化センター，2000.
- 5) バイプロハンマ技術研究会：バイプロハンマ設計施工便覧，バイプロハンマ技術研究会，2003.
- 6) 最終処分場技術システム研究会：廃棄物最終処分場技術システムハンドブック，環境産業新聞社，1999.
- 7) 稲積真哉，木村 亮，山村和弘，西山嘉一，嘉門雅史：連結鋼管矢板による鉛直遮水壁の施工技術，*材料*，日本材料学会，Vol.54，No.11，pp.1105-1110，2005.
- 8) 木村 亮，松浦勇氣，坂口裕司，中川 敬：繰返し水平荷重を受ける合成鋼管杭の変形挙動に関する遠心模型実験，*第 37 回地盤工学研究発表会発表論文集*，地盤工学会，pp.1461-1462，2002.
- 9) 西垣 誠，菱谷智幸，橋本 学，河野伊一郎：飽和・不飽和領域における物質移動を伴う密度依存地下水流の数値解析的手法に関する研究，*土木学会論文集*，土木学会，Vol.511/III-30，pp.135-144，1995.
- 10) 嘉門雅史・勝見 武・遠藤和人・伊藤圭二郎・土居 亮：矢板式遮水構造を有する海面埋立処分場の性能評価，*第 4 回環境地盤工学シンポジウム論文集*，地盤工学会，pp.279-284，2001.
- 11) 稲積真哉，木村 亮，嘉門雅史，西山嘉一：海面埋立処分場における鋼管矢板遮水壁に対する環境適合性の評価ならびに向上技術の一提案，*建設マネジメント研究論文集*，土木学会，Vol.13，pp.1-10，2006.
- 12) 東京港建設事務所 沖合埋立工事課：新海面処分場建設工事（パンフレット），東京都港湾局，2002.

## Design evaluation and construction for cutoff walls considering environmental impacts

By Shinya INAZUMI, Makoto KIMURA, Masashi KAMON and Yoshikazu NISHIYAMA

SPSP cutoff walls constructed by installing steel pipe sheet piles (SPSPs) at coastal landfill sites are important element of containment facilities preventing the leachate leakage from reclaimed waste to the open sea area. The adhesion with the peripheral ground must be retained in the installation of the SPSPs with joint sections for demonstrating the function which the SPSPs make to be the containment facility. In this study, the generation of turbulence region in peripheral ground around the installation of SPSP cutoff walls is noticed. A seepage and advection/dispersion analysis evaluates the effect of the turbulence region, effect of installation method which suppresses the generation of the turbulence region and soil improvement by the sand compaction pile (SCP) method on environmental preservation function of whole coastal landfill sites with SPSP cutoff walls. As example of result in this study, hydraulic conductivity which turbulence region formed in lower deposition clay layer retained showed that the leakage quantity in the specific route of the toxic substance leakage is greatly affected. The installation method with soil improvement around installing the SPSPs using soil cement was effective in leakage control of the toxic substance.