

海面処分場における鋼管矢板遮水壁の リスク評価手法

京都大学 稲積真哉 ^{*1}京都大学 大津宏康 ^{*2}

By Shinya INAZUMI and Hiroyasu OHTSU

海面処分場における側面遮水工には地震、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リスクを軽減、回避もしくは未然防止する機能が要求される。

本研究は側面遮水工の一つである鋼管矢板遮水壁に着目し、継手部から浸出水の局所的な漏水を表現し得る評価モデルを検討し、継手部の3次元的な配置ならびに透水係数分布を考慮した鋼管矢板遮水壁が設けられた海面処分場の汚染リスクおよび汚染リスク低減効果を、3次元浸透・移流分散解析によって評価する。なお、本研究では海面処分場における有害物質を含んだ廃棄物浸出水の海域漏出の可能性を汚染リスク、また浸出水の海域漏出を軽減、回避あるいは未然防止する側面遮水工の効果を汚染リスクの低減効果として定義している。

鋼管本管に比べて高透水性の継手部を有する鋼管矢板遮水壁に対して実施した汚染リスクおよび汚染リスク低減効果の評価では、海面処分場の外域において継手部から有害物質の局所漏出によって、換算透水係数に基づく現行評価モデルと比べて早期に環境基準値を上回る有害物質の汚染リスクを確認した。従って、鋼管矢板遮水壁に関する汚染リスク低減の評価では、継手部の3次元的な配置ならびに透水係数分布の考慮が望ましいことを提案している。

【キーワード】汚染リスク、海面処分場、鋼管矢板遮水壁、継手部

1. はじめに

廃棄物処分場は、ごみとして排出された物からリサイクル可能な物やエネルギーを回収した後、最終的な残渣物を埋立処分する施設であり、我々の生活空間にごみを残さず街をきれいに保つ大切な社会基盤施設である。しかしながら、廃棄物処分場を建設する際、近隣の住民が抱く「浸出水が漏れるのではないか？」等のリスクに関連する不信感によって建設を反対する例が多く、廃棄物処分場の新規建設が困難になっている。同時に、環境規制の強化等を受け、廃棄物処分場の建設コストも大きく上昇している。そのような社会的背景下、我が国では従来、山間谷地部の水源地帯に廃棄物処分場（内陸処分場）を建設することが多かったものの、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リスク低減のために、比較的小規模の内陸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¹⁾では全廃棄物処分場のうち海面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（2003年度）。しかしながら、上述した周辺住民が抱くリスクに関連する懸念は未だ残っており、①海面処分場を将来にわたって安定的かつ計画的に確保すること、ならびに②これまで建設されてきた既往処分場を再整備して延命化措置を講ずることは、大都市圏を中心とする地域の大きな懸案事項である。

海面処分場における側面・底面遮水工は廃棄物の

^{*1} 京都大学 大学院工学研究科

075-383-3262

inazumi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp

^{*2} 京都大学 大学院経営管理研究部

075-383-3260

ohtsu@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp

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。側面遮水工（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リスクを軽減、回避もしくは未然防止する機能が要求される¹⁾。なお、本研究では海面処分場における有害物質を含んだ廃棄物浸出水の海域漏出の可能性を汚染リスクとして、また浸出水の海域漏出を軽減、回避あるいは未然防止する側面・底面遮水工の効果、換言すれば、浸出水の封じ込め効果を汚染リスクの低減効果として定義する。

近年では大水深施工が可能な鋼管矢板が施工性および経済性の観点から、側面遮水工の一つとして海面処分場を中心に広く用いられている^{2), 3)}。しかしながら、**図-1**で示される継手を有する鋼管矢板⁴⁾を用いた側面遮水工（以下、鋼管矢板遮水壁と称する）が確保・発揮しなければならない汚染リスク低減効果の評価は、実験的にも解析的にも非常に複雑を呈する。

本研究では側面・底面遮水工が設けられた海面処分場に対する汚染リスクマネジメントの確立を目的とし、その基礎となり得る側面・底面遮水工が設けられた海面処分場から廃棄物浸出水の汚染リスクを解析的に評価する。具体的には、側面遮水工の一つである鋼管矢板遮水壁に着目し、継手部から浸出水の局所的な漏水を表現し得る評価モデルを検討することで、継手部の3次元的な配置ならびに透水係数分布を考慮した鋼管矢板遮水壁を有する海面処分場の汚染リスクおよび汚染リスク低減効果の将来予測を実施する。

2. 廃棄物処分場とリスク

(1) リスク／リスクマネジメント

リスクは分野や対象によって様々に定義されるが、一般的には「人間の生命や経済活動にとって望ましくない事態が発生する可能性」と解釈されている⁵⁾。ここで、海面処分場が根源のリスクは、廃棄物浸出水の海域漏出として定義した汚染リスク（1. 参照）に加え、次節にて具体的な要因を列挙している。

リスクの大きさは損失期待値として表され、すなわち、リスク発生確率と損失の大きさの積である。

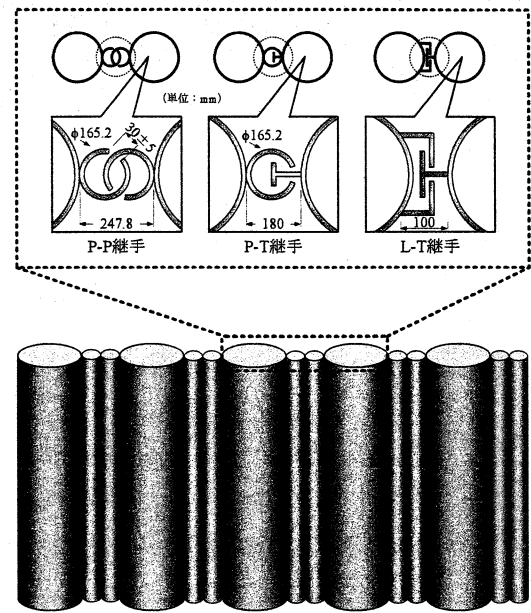


図-1 鋼管矢板と継手形式

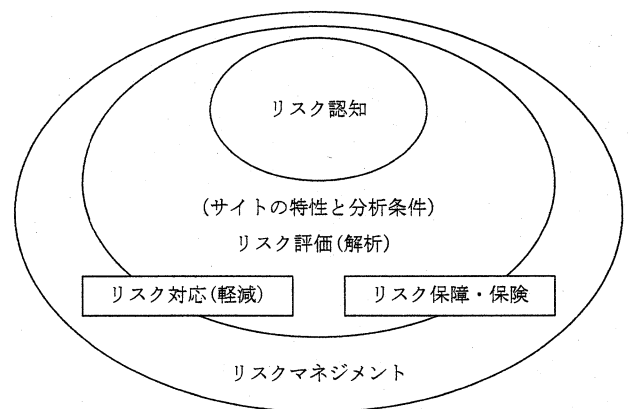


図-2 リスクマネジメントの概念

さらに、リスクマネジメントは可能な限り低コストでリスクを軽減、回避もしくは未然防止するためのマネジメント手法であり、戦略的なシステムの構築が重要である。**図-2**はリスクマネジメントの標準的な手順を示している。これより、リスクマネジメントはリスク認知、リスク評価（解析）、リスク対応（軽減）およびリスク保障・保険の相互関係から成立する。具体的には、対象の分析によってリスクを可能な限り正確に把握し、推定したリスクが許容し得るレベルにあるか否かを評価し、許容できなければ許容リスクレベルへの到達を目指して対応策を講じねばならない。なお、リスクならびにリスクマネジメントの概念は、本研究の対象である海面処分場に対しても適用可能であり、対象とするリスクに即

した海面処分場の計画、設計、建設、操業および維持管理を総合的にマネジメントすることが望ましい。

(2) 海面・内陸処分場に関連するリスク要因

海面・内陸処分場は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃棄物処理法）（1997年改正）」ならびに「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令（1998年に改正命令として示された総理府・厚生省令）」によって、遮水工構造基準や維持管理基準が明示されている¹⁾。なお、同法令の建前は当該技術基準等が順守されれば廃棄物の適正処理がなされ、近隣住民に対する環境リスクが許容範囲内であるとしている。しかしながら、実際には遮水工構造基準等を満足する処分場においても、リスクが発生する要因は多岐にわたり、各リスク要因に対する認知、解析・評価および対応に止まらず、各リスク要因を総合的に考慮したマネジメントを構築しなければならない。

以下では、海面・内陸処分場に対するリスクマネジメントの動機となる、周辺住民が処分場に対して不安視するリスク要因を列挙する。

a) 廃棄物の受入れ

処分場が廃棄物を受け入れる際、当初契約とは異なる物質混入によるリスクが発生する。なお、当該リスクに対しては受入れ廃棄物の特性を正確に把握することが重要である⁶⁾。

b) 廃棄物の搬入

廃棄物の収集運搬車は早朝から処分場へ廃棄物搬入を開始するため、収集運搬車の騒音や土埃によるリスクが発生する。ただし、当該リスクは搬入車の台数制限、住宅街に入った場合の減速、ならびにドライバーの教育徹底等で対応可能である⁶⁾。

c) 廃棄物の埋立

廃棄物埋立段階ならびに埋立終了後の長期間において、廃棄物浸出水の漏出によるリスクが発生する。なお、当該リスクは廃棄物処分場のリスクにおいて最も深刻であり、本研究において対象とする汚染リスクである。当該リスク発生は、側面・底面遮水工による汚染リスク低減効果の低下、ならびに処分場建設・操業時における想定以上の自然現象が原因として考えられる。

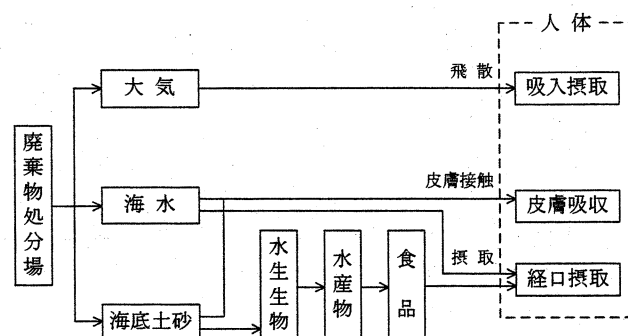


図-3 海面処分場における有害物質の暴露経路

d) 処分場の維持管理

廃棄物処分場が閉鎖された後においても、上述したリスクが発生する。さらに、処分場の周辺住民は、自然環境と異なる環境リスクの恐れがある土地が残されているにも係わらず、責任主体が倒産等で消滅するリスクがあれば、処分場の設置に拒否反応を示すのは当然である。そこで、当該リスクに対しては、一定の要件を満足しなければ処分場の閉鎖を認めない確認制度が廃棄物処理法で定められている⁶⁾。

(3) 海面処分場における汚染リスクと対応

海面処分場の建設ならびに維持・管理補修にあたっては、埋め立てられた廃棄物由来の浸出水や飛散物に伴う周辺の汚染リスクに対して、暴露経路（図-3参照）を特定するとともに、最たる注意を払わなければならない⁷⁾。

一方、近年では廃棄物の処分容量が逼迫している社会的情勢において、ごみの焼却処分による減容化が広く実施されている。よって、海面処分場にて埋め立てられる廃棄物は焼却残渣の占める割合が大きくなっており、焼却残渣中に含まれ得る重金属類が主たる環境汚染物質となっている。重金属類は水溶性であるため、何らかの原因で焼却残渣（廃棄物）から浸出水が処分場外へ漏水した場合には、重金属類も浸出水とともに漏出する。その結果、海面処分場の周辺環境は廃棄物浸出水由来の重金属類によって汚染される⁷⁾。そこで、海面処分場では周辺海域の重金属類による汚染リスクを低減するため、構築される側面・底面遮水工（図-4参照）に十分な遮水効果が求められている。しかしながら、遮水工の汚染リスク低減効果によって、浸出水の漏出を極力抑制することは可能であっても、浸出水の漏出を完全

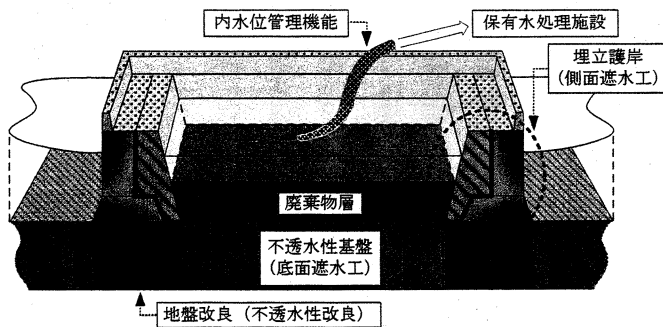


図-4 海面処分場における側面・底面遮水工

に防止する遮水工を建設することは技術的に不可能である。すなわち、処分場由来の汚染リスクを遮水工によって完全にゼロにすることは現状において不可能であり、汚染リスクをどのようにして軽減、回避あるいは管理するかが重要である。

海面処分場においては廃棄物浸出水に起因する汚染リスクを評価・管理するため、年 1 回以上の頻度にて処分場周辺海域の水質をモニタリングしなければならない¹⁾。これは、「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」における維持管理基準として規定されている。また、水質モニタリングの他に、周辺海域の底質等に対してもモニタリングを実施している事例⁶⁾もある。なお、周辺海域の水質ならびに底質に関する環境基準値（管理基準値）としては、「地下水の水質汚濁に係る環境基準」（環境庁告示第 16 号、1999 年）および「土壌の汚染に係る環境基準」（環境庁告示第 46 号、1991 年）（表-1 参照）が一般的に適用されている。これらのモニタリングにより、周辺海域に環境基準値以上の有害物質が検出された等のリスクが発生した場合には、直ちに必要な措置が講じられることになっている^{1), 8)}。ただし、海面処分場に関する修復技術は未だ開発途上であり、汚染リスクに対する適切な対応策（修復技術）の開発が急務の課題である⁴⁾。

現状、海面・内陸処分場にて埋め立てられた廃棄物に含まれる有害物質は、側面・底面遮水工のリスク低減効果として定義される「浸出水の封じ込め効果」に即して永久的に処理・管理されることになる。一方、浸出水の封じ込めは、廃棄物浸出水による周辺の汚染リスクを低減・管理するものの、汚染リスクを処分場内において半永久的に残存させる。さら

表-1 (a)埋立場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る判定基準、および(b)地下水の水質汚濁・土壌の汚染に係る環境基準（いずれも重金属類を抜粋）

項目	(a)	(b)
カドミウム	0.1 mg/L 以下	0.01 mg/L 以下
鉛	0.1 mg/L 以下	0.01 mg/L 以下
六価クロム	0.5 mg/L 以下	0.05 mg/L 以下
水銀	0.005 mg/L 以下	0.0005 mg/L 以下

に、封じ込め環境にある処分場を跡地利用する場合、その用途は非常に制限され、また、跡地利用のための施工管理も困難を伴う。したがって、海面処分場の跡地利用を促進するためには、処分場由来の汚染リスクを建設時から将来にわたって適切に管理・評価した上で、浸出水の封じ込め環境において廃棄物を効率的に浄化（安定化）するシステムを別途構築しなければならないと考える。

(4) 汚染リスクに対する遮水工の構造基準

「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令」は、海面・内陸処分場に起因する人の健康や周辺環境への悪影響の発生する可能性（汚染リスク等の環境リスク）に対して、遮水工の構造基準や廃棄物処理業者の資格要件等を定めている。

同命令による側面・底面遮水工の構造基準は不透水性地盤が存在しない箇所について、次のいずれかの要件を満たさなければならない¹⁾。

- (i) 厚さ 50cm 以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の粘土層、または、これと同等以上の層に遮水シートが敷設されていること。
- (ii) 厚さ 5cm 以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下のアスファルトもしくはコンクリート層、または、これと同等以上の層に遮水シートが敷設されていること。
- (iii) 表面に二重の遮水シートが敷設されていること（二重の遮水シートが同時に損傷することを防止できる不織布等の保護層が設けられているものに限る）。

ただし、処分場底面に不透水地盤が存在する場合には、以下の側面遮水工を設ける。

- (iv) 不透水性地盤よりも上に位置する透水性地盤が、ルジオン値が 1 以下になるまで薬液注入等により固化されていること。
- (v) 厚さ 50cm 以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の連続壁が不透水性地盤まで設けられていること。
- (vi) 鋼（鋼管）矢板が不透水性地盤まで設けられていること。

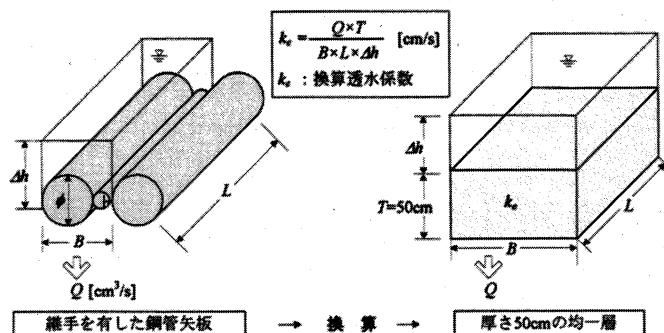
上記(i)～(iii)は、底面やのり面における遮水工を対象としており、重力式（裏込め石がある）や捨石式の側面遮水工に適用されるものと考えられる。一方、(iv)～(vi)については鋼管矢板遮水壁等の側面遮水工を対象としている。海面処分場では、背後地盤を含めて鋼（鋼管）矢板を厚さ 50cm の均一層として置換した換算透水係数（図－5 参照）によって、鋼管矢板遮水壁等の遮水効果ならびに汚染リスク低減効果が評価される¹⁾。また、換算透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下である鋼（鋼管）矢板壁は、(v)の記述と同等の効果を満たすものと見なされる。しかしながら、換算透水係数では鋼管矢板遮水壁における浸出水の継手部からの局所漏出のように、局所的に漏水が生じる遮水壁の遮水効果ならびに汚染リスクの低減効果を厳密に評価することが困難である。そこで、不透水性の鋼管部と透水性の継手部から構成された鋼管矢板遮水壁では、継手部の 3 次元的配置ならびに透水係数分布を考慮した遮水効果ならびに汚染リスク低減効果を評価する必要がある。

3. 海面処分場の汚染リスク評価

本章では、海面処分場由来の汚染リスク（有害物質を含んだ廃棄物浸出水の周辺環境への漏出）に対して、鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果を 3 次元浸透・移流分散解析を用いて評価する。具体的には、鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果に関する換算透水係数を基本とした既往の評価モデルに対する、鋼管矢板遮水壁内での継手部の 3 次元的配置ならびに透水係数分布を考慮した評価モデルの適用性を検討し、汚染リスク低減効果の将来予測を追究する。

(1) 解析対象と評価指標

鋼管矢板遮水壁は、互いの鋼管の間に継手が 3 次元的に配置（図－1 参照）されており、継手部からの



図－5 換算透水係数の考え方

局所的な有害物質の漏出を的確に再現する必要がある。そこで、3 次元浸透・移流分散解析コード「Dtransu-3D・EL」⁹⁾を適用することで、継手部をより精密に再現した鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果を解析的に評価する。

図－6 は本解析において設定した基本的な処分場 3 次元断面を示している。設定した基本断面は海面処分場における鋼管矢板遮水壁ならびに遮水壁近傍における構成層の一部分に着目したものであり、廃棄物層下端ならびに海底には粘土層が堆積し、海面処分場における底面遮水層としての役割を果たしている。なお、鋼管矢板遮水壁は粘土層内に 3m 根入れされており、鋼管矢板遮水壁の透水係数は実験的に報告された既往の文献^{2), 3)}を参考に決定している。

海面処分場における鋼管矢板遮水壁の施工事例では、図－7 に外観を示しているように鋼管矢板遮水壁の力学的安定性の保持ならびにフェイルセーフの概念により、二重の鋼管矢板遮水壁が用いられることがある¹⁾。また、鋼管矢板遮水壁の力学的安定性を向上させるため、底面遮水工の機能を担う自然堆積粘土層においてはサンドコンパクションパイル（SCP）改良等の地盤改良が実施されることもある¹⁾。しかしながら、本研究の対象は鋼管矢板遮水壁が有する汚染リスク低減の評価である。そのため、本解析では図－6 に示すように海面処分場を簡略化し、一重の鋼管矢板遮水壁、廃棄物層ならびに自然堆積粘土層で構成される処分場 3 次元断面を仮定している。また、設定した処分場 3 次元断面は海面処分場が与える周辺への汚染リスクに対して、より厳しい遮水工構造条件である。

海面処分場では、処分場内外の水位差が 2m を超え

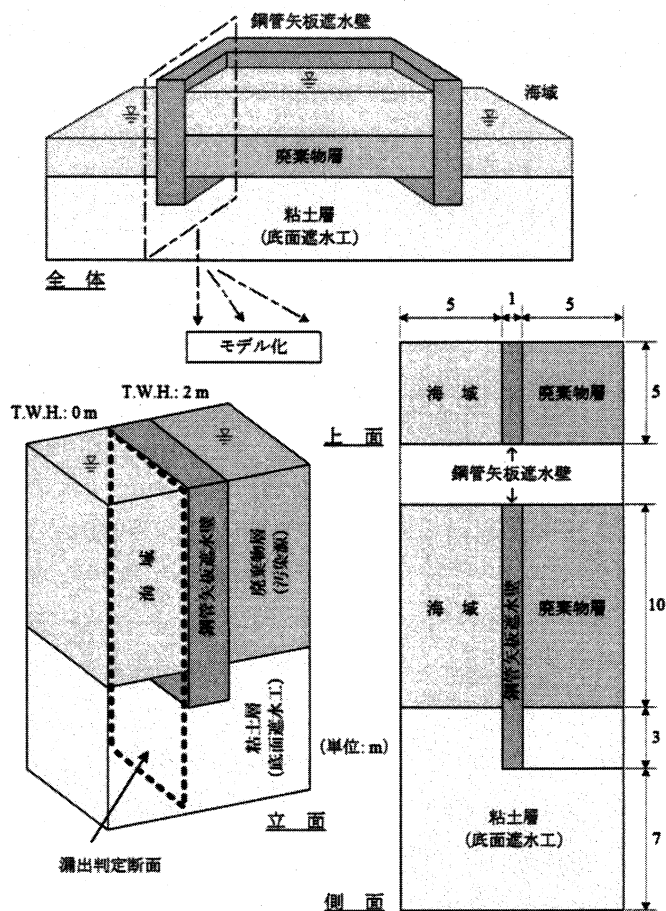


図-6 処分場 3 次元断面(基本断面)

ないように日常的に管理されている¹⁾。そこで、図-6 に示した処分場 3 次元断面では海域上端部に全水頭 $H=0\text{m}$ 、および廃棄物層上端部に全水頭 $H=2\text{m}$ を境界条件として与え、 2m で規定される管理水位を再現している。なお、処分場 3 次元断面の境界端は全て非排水条件である。

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-2 には、材料特性として与えた物性値を示している。なお、表-2 に示された材料特性値は、文献^{2), 4), 9), 10)}を参照して決定している。また、本研究が対象とする処分場から漏出し得る有害物質は重金属類と仮定している。本解析では、廃棄物層において汚染源と仮定して有害物質（重金属類）濃度 $C=1$ を、廃棄物層以外の領域には有害物質濃度 $C=0$ を初期条件として与えている。

海面処分場における環境管理基準として、周辺海域の水質および底質に関する環境基準値（管理基準

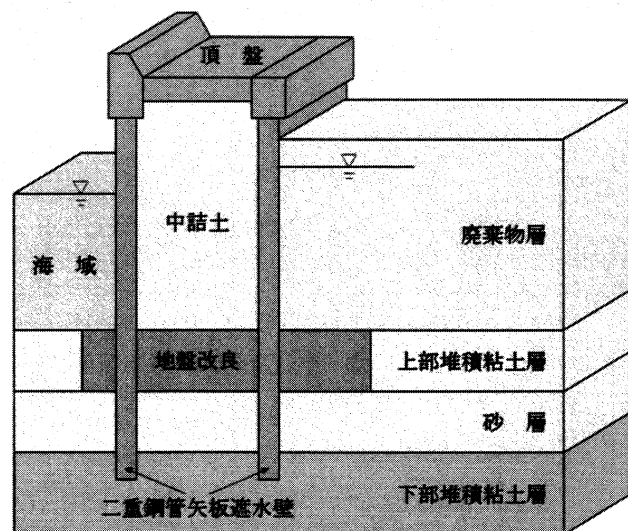


図-7 二重鋼管矢板遮水壁を採用した処分場例

値) は、処分場に廃棄される廃棄物の受入れ基準値 (表-1 参照) の $1/10$ であることが読み取れる。そこで、本解析では鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果を評価する一つの指標として、鋼管矢板遮水壁の海域側端 (図-6 において破線で囲まれた断面) をエンドポイントとして仮定し、本箇所における有害物質濃度に着目する。すなわち、本解析では鋼管矢板遮水壁の海域側端において有害物質濃度が $C=0.1$ に達する時間を、海面処分場ならびに鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果の終焉（汚染リスクの発生）として捉え、 $C=0.1$ に達するまでの時間を評価指標としている。

(2) 均一層モデル／鋼管・継手モデル

海面処分場における鋼管矢板遮水壁に関する汚染リスク低減の評価では、鋼管矢板遮水壁の換算透水係数が一般的に用いられている (2. 参照)。換算透水係数を用いた評価は遮水工構造基準と直接的に照合可能であるため、鋼管矢板遮水壁の技術開発では頻繁に用いられる。一方、換算透水係数を用いた鋼管矢板遮水壁の評価では、漏水の可能性が高い継手部の透水係数と不透水として仮定される鋼管部を平均化しているため、実現場にて問題となる漏水箇所ならびに時間の特定が容易でない。すなわち、鋼管矢板遮水壁における継手部からの局所的な有害物質の漏出による環境影響を評価することが困難である。そこで、鋼管矢板遮水壁における継手部からの浸出

表-2 構成各層に与えたパラメータ

			鋼管矢板遮水壁			粘土層	廃棄物層	海 域
			均一層モデル	鋼管・継手モデル 継手部	鋼管部			
透水係数 (水平方向)	k_H	cm/s	2.0×10^{-6} , 1.0×10^{-6} , 1.0×10^{-7} , 1.0×10^{-8}	2.5×10^{-6} , 1.3×10^{-6} , 1.3×10^{-7} , 1.3×10^{-8}	無限小	7.0×10^{-7}	1.0×10^0	1.0×10^0
透水係数 (鉛直方向)	k_V	cm/s	2.0×10^{-6} , 1.0×10^{-6} , 1.0×10^{-7} , 1.0×10^{-8}	2.5×10^{-6} , 1.3×10^{-6} , 1.3×10^{-7} , 1.3×10^{-8}	無限小	5.0×10^{-7}	1.0×10^0	1.0×10^0
有効間隙率	θ		0.1	0.1	0.1	0.65	1	1
縦分散長	α_L	cm	10	10	無限小	10	10	10
横分散長	α_T	cm	0.1	0.1	無限小	1	1	1
分子拡散係数	D_m	cm ² /s	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	無限小	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
遅延係数	R_d		1	1	1	2	1	1

水の局所的な漏水を表現し得る評価モデルを比較検討する。評価モデルの比較検討では、換算透水係数を用いた評価モデルを「均一層モデル」とし、鋼管と浸出水の漏水経路である継手部を互いに考慮した評価モデルを「鋼管・継手モデル」としている。

図-8 は、均一層モデルおよび鋼管・継手モデルの概略を示している。図-8(a)に示す均一層モデルでは、既往報告^{2), 3)}を基に鋼管矢板遮水壁の換算透水係数として 2.0×10^{-6} 、 1.0×10^{-6} 、 1.0×10^{-7} および 1.0×10^{-8} cm/s を各々与えた。一方、鋼管・継手モデル（図-8(b)参照）では、鋼管径 1m に対して 0.25m の間隔で継手部を設けており、図-1 で示した鋼管矢板の標準的なサイズを再現しているものである。また、鋼管・継手モデルでは、鋼管部と継手部を考慮した全体の透水係数が均一層モデルで与えた鋼管矢板遮水壁全体の透水係数と等しくなるよう、鋼管部ならびに継手部へ透水係数を与える。すなわち、鋼管部は透水係数が無限小であると仮定した上、継手部には 2.5×10^{-6} 、 1.3×10^{-6} 、 1.3×10^{-7} および 1.3×10^{-8} cm/s の透水係数を与えている。

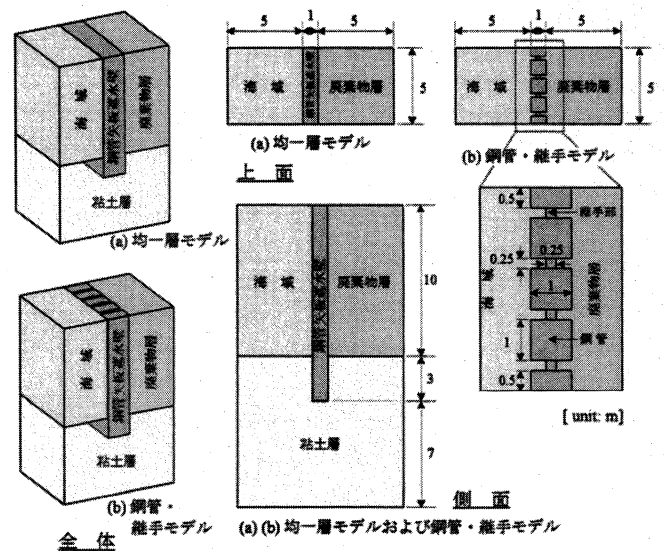


図-8 均一層モデルと鋼管・継手モデルの概要

(3) 鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果

図-9 は、均一層モデルにおいて遮水壁として設定した均一層、鋼管・継手モデルにおいて鋼管部および継手部での、鋼管矢板遮水壁の海域側端を通過する有害物質の濃度フラックス（単位面積および単位

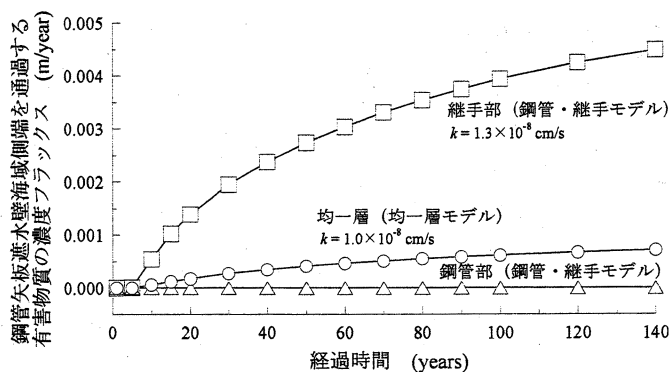


図-9 処分場外へ漏出する濃度フラックスの経時変化

時間あたりに通過する物質質量)を示している。さらに、図-10には両モデルにおいて確認された処分場外に漏出する有害物質の最高濃度と経過時間の関係を、図-11は両モデルにおける廃棄物から漏出する有害物質の濃度分布の時刻暦を表している。

図-9では鋼管・継手モデルが均一層モデルと比較して、継手部において漏出する有害物質の濃度フラックスが集中している。すなわち、鋼管・継手モデルは、鋼管部と比べて透水係数の高い継手部に有害物質を含む浸出水の流量集中、すなわち汚染リスクを定量的に表現することができる。さらに、図-11に示されているように、均一層モデルでは有害物質を含む浸出水が鋼管矢板遮水壁から均等に漏水し、処分場外へ漏出する有害物質濃度が年数経過に従って均一に増加する傾向に対し、鋼管・継手モデルでは有害物質を含む浸出水が継手部において局所的に漏水し、処分場外へ漏出する有害物質濃度が年数経過に従って継手部において局所的に増加する。その結果、図-10に示されるように、鋼管・継手モデルでは処分場外へ漏出する有害物質濃度が均一層モデルと比較して早期に増加する。

例えば、評価指標として設定した鋼管矢板遮水壁の海域側端における有害物質濃度 C が 0.1 に達する時間では、均一層モデル（鋼管矢板遮水壁全体の透水係数 $=1.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ ）において約 110 年、鋼管・継手モデル（鋼管部・継手部を考慮した鋼管矢板遮水壁全体の透水係数 $=1.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ ）において約 70 年である（図-10 参照）。また、鋼管矢板遮水壁全体の透水係数が均一層モデルならびに鋼管・継手モデルにおいて等価である他の解析条件においても、鋼管・継手モデルは浸出水の局所漏水の影響により、

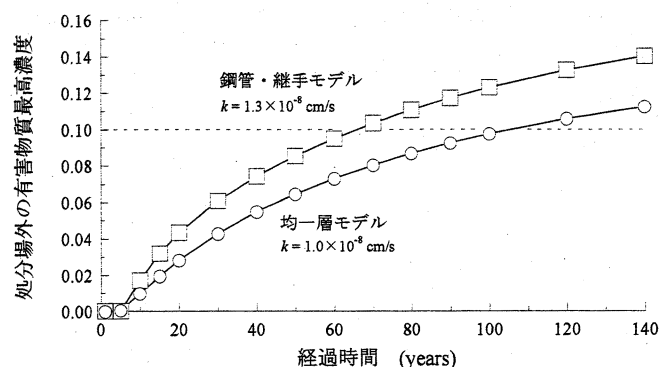


図-10 処分場外へ漏出する有害物質最高濃度の経時変化

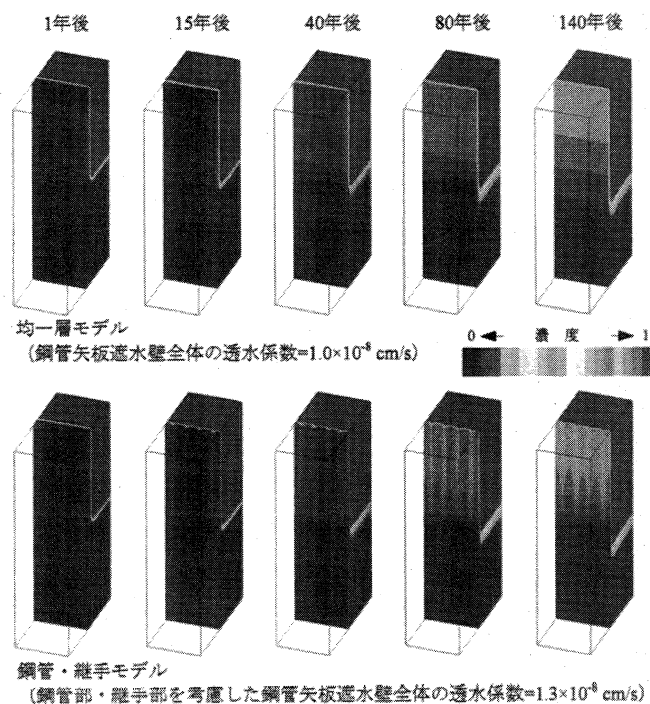


図-11 処分場外へ漏出する有害物質濃度の時刻暦

均一層モデルと比較して早期に環境有害物質の漏出（汚染リスクの発生）が確認され（図-12 参照）、また、その傾向は鋼管矢板遮水壁全体の透水係数の上昇に伴い顕著となる（図-13 参照）。これは上記した一例と同様の傾向である。

上記したように、鋼管・継手モデルを用いた海面処分場における鋼管矢板遮水壁に関する汚染リスク低減効果の評価は、鋼管矢板遮水壁の継手部で発生する局所的な浸出水漏水を再現可能であり、また均一層モデルと比較して図-10で示したように、早期に環境基準値を超過する有害物質が処分場外へ漏出する傾向を示す。換言すれば、従来実施されている

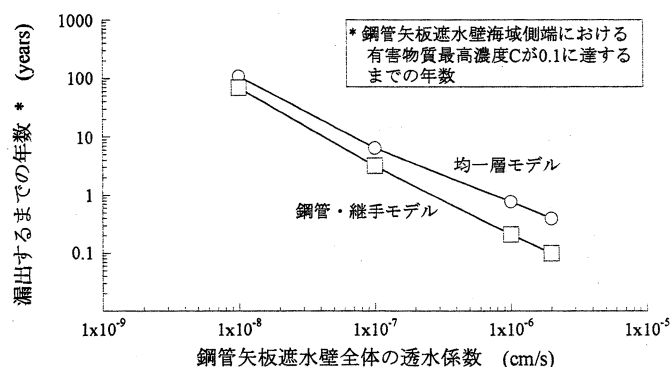


図-12 有害物質の漏出時間と換算透水係数

換算透水係数を基本とした均一層モデルを用いた評価は漏出する有害物質の総物質量は概略的に評価できるものの、鋼管矢板遮水壁における有害物質の局所漏出を再現できないため、汚染リスク低減効果を有害物質の漏出時間として過大に予測している可能性がある。なお、均一層モデルでは、鋼管矢板遮水壁における有害物質の漏出箇所に対する定量的な特定も困難である。

海面処分場において構築された鋼管矢板遮水壁を長期的にマネジメントするためには、鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果が何時そして何れの箇所において損なわれるかを適切に推測することが重要である。本観点からも鋼管・継手モデルを用いた評価によって、鋼管矢板遮水壁の細部にわたる汚染リスク低減効果を検証することが重要である。

(4) 汚染リスク低減のための技術的工夫

(3)で述べたとおり、海面処分場にて構築される側面遮水工の一つである鋼管矢板遮水壁は、廃棄物浸出水による汚染リスクの発生を延命する。換言すれば、遮水工構造基準を満たす透水係数を発揮する鋼管矢板遮水壁が構築された海面処分場においても、長期において汚染リスクの発生は必然である。なお、鋼管矢板遮水壁では、解析にて設定した $1.3 \times 10^{-8} \sim 2.5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ の比較的低透水性を有する鋼管矢板継手であっても、継手の存在自体が汚染リスク発生の要因となる。そこで、鋼管矢板継手の更なる技術開発は重要であり、遮水レベルの技術向上に止まらず、モニタリングを含む鋼管矢板継手の遮水性能に対する維持・管理・補修に関する技術的工夫が望まれる。

文献¹¹⁾では、鋼管矢板遮水壁における継手部の維

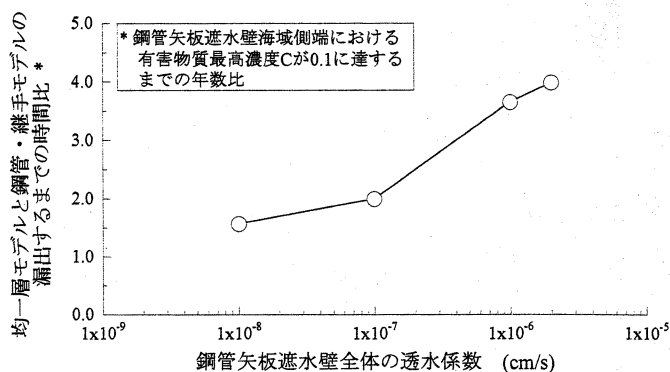


図-13 局所漏水に伴う漏出時間と換算透水係数

持・管理・補修技術の一つとして、継手部内に形成される空間の有効活用を提案している。具体的には遮水処理が施された継手部内に予め集排水空間を設け、その空間を集排水井戸として用いる技術である。本技術は自然水頭差に起因する廃棄物浸出水の鋼管矢板遮水壁への集中、鋼管矢板遮水壁の完全遮水、更には埋立廃棄物の長期的な浄化（安定化）の促進等までが期待できる。今後は、上記した技術に対しても汚染リスク低減の観点から評価する必要がある。

4. おわりに

以下では、本研究で得られた主な成果を示す。

- (1) 鋼管本管に比べて高透水性の継手部を有する鋼管矢板遮水壁に関する汚染リスク低減の評価では、鋼管・継手モデルで再現した継手部からの浸出水局所的な漏出を考慮することが望ましい。海面処分場の外域では継手部からの有害物質の局所漏出によって、現行評価モデルと比べて早期に環境基準値を上回る有害物質の汚染が確認された。
- (2) 海面処分場において構築された鋼管矢板遮水壁を長期的にマネジメントするためには、鋼管矢板遮水壁の汚染リスク低減効果が何時そして何れの箇所において損なわれるかを適切に推測することが重要である。本観点から鋼管・継手モデルを用いた評価によって、鋼管矢板遮水壁の細部にわたる汚染リスク低減効果を検証することが重要である。
- (3) 鋼管矢板遮水壁における継手部の存在自体が汚染リスク発生の要因となる。鋼管矢板継手の更なる技術開発は重要であり、遮水レベルの技術

向上に止まらず、モニタリングを含む鋼管矢板継手の遮水性能に対する維持・管理・補修に関する技術的工夫が望まれる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 沖 健・鳥崎肇一・喜田 浩・吉田 節・坂口裕司・吉野久能：鋼矢板，鋼管矢板を用いた鉛直遮水壁の遮水性能の評価，第5回環境地盤工学シンポジウム論文集，pp.53-58，2003.
- 3) 稲積真哉・木村 亮・三津田祐基・山村和弘・西山嘉一・嘉門雅史：廃棄物埋立護岸における H-H 継手を施した連結鋼管矢板の開発と適用性評価，土木学会論文集 C，土木学会，Vol.62，No.2，pp.390-403，2006.
- 4) 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.4，pp.10-14，2006.
- 5) 嘉門雅史：地盤汚染のリスクマネジメント，土と基礎，Vol.51，No.10，pp.45-46，2003.
- 6) 織 朱實：産業廃棄物のリスクマネジメント入門，東京海上リスクコンサルティング，2001.
- 7) 吉田喜久雄：化学物質の暴露・リスク評価における数理モデルの役割と課題，資源と環境，資源環境技術総合研究所，Vol.9，No.4，2000.
- 8) 半谷高久：新版・環境とリサイクル：@うめたて処分場，小峰出版，2003.
- 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，No.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) 大竹 雄：海面処分場における鋼管矢板遮水壁の環境適合性評価とその向上技術に関する研究，京都大学工学部特別研究，2007.

Risk Evaluation Method for SPSP Cutoff Walls at Coastal Waste Landfill Sites

By Shinya INAZUMI and Hiroyasu OHTSU

An evaluation method that can express the local leakage of leachate from joint sections in steel pipe sheet pile (SPSP) cutoff walls is discussed, in this study. In particular, the evaluation of environmental feasibility (containment of leachates containing toxic substances) considering a three-dimensional arrangement and hydraulic conductivity distribution of the joint sections in the SPSP cutoff wall is compared with an evaluation that generally uses the equivalent hydraulic conductivity. This equivalent hydraulic conductivity assumes that the joint section and the steel pipe are integrated; therefore, the hydraulic conductivity is substituted with a uniform permeable layer. However, in an evaluation that employs the equivalent hydraulic conductivity, it is difficult to consider the local leakage of leachate containing toxic substances from the joint sections in the SPSP cutoff wall. This paper concluded that evaluations of the environmental feasibilities of the SPSP cutoff walls with joint sections must take into account the local leakage of leachates containing toxic substances from the joint section.