

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360212
 研究課題名（和文）廃棄物処分による地盤環境リスクの低減と、持続可能な社会への貢献
 研究課題名（英文）Geo-environmental risk management and contribution to sustainability on waste disposal
 研究代表者
 勝見 武（KATSUMI TAKESHI）
 京都大学・大学院地球環境学堂・教授
 研究者番号：60233764

研究成果の概要（和文）： 廃棄物の処分に伴う環境汚染を防止するための様々な地盤工学技術に関する研究、ならびにそれらの技術が社会の持続的な発展にいかに関与するかについての研究を行った。処分場における遮水工にはどの程度の能力・性能が期待できるのか、処分場の中で重金属類にはどのような反応が生じているのか、対策が必要な処分場ではどのような修復技術を適用したらよいか、といった点に関しての議論や提言を実験や解析に基づいて行った。

研究成果の概要（英文）： Geotechniques to minimize the environmental contaminations arisen from waste disposal and containment and their contributions to sustainable development were discussed. Performances of the barrier materials in particular clay liners in waste containment facilities were experimentally evaluated. Fate and transport of heavy metals in waste landfills were experimentally and analytically discussed. Applicability of remedial options on the abandoned landfills were discussed based on the experimental and numerical studies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2008 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	9,200,000	2,760,000	11,960,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤環境

1. 研究開始当初の背景

廃棄物処分問題は極めて重要な地盤工学の課題であるにも関わらず、我が国では地盤工学的な見地からの取り組みは充分になされてきたとは言えない状況であった。環境影

響物質を含みうる廃棄物は管理型処分場に埋め立てられるが、管理型処分場からの浸出水にはこれらの環境影響物質が含まれることから、廃棄物処分場の構造に関する地盤工学的な照査が必須であり、特に適正な遮水

工の設置が極めて重要である。特に我が国の基準・設計では遮水シート(ジオメンブレン)に遮水性の過大な期待をしていると考えられ、シートの健全性とモニタリングに関する技術開発は盛んであるのに対して粘土ライナーに関する研究例は限られており、粘土ライナーと遮水シートの健全な使用と合理的設計のために遮水構造設計思想の確立が望まれる。一方、平成10年の基準施行以前につくられた廃棄物処分場や不法投棄現場は上記の遮水構造を有しておらず、修復対策を必要とするサイトが顕在化している。このような現場に対して各種の対策手法が提案・適用されているが、ステークホルダーの理解を得るために合理的・体系的な評価手法を確立することが急務の課題である。このようなことから、新規処分場の遮水構造設計思想の確立を図るとともに、古い処分場のレメディエーションを適切に行う工学的枠組みを確立するために、地盤工学分野の貢献が不可欠と考えられた。

一方、環境修復に投入する資源・エネルギーの有限性についても議論する必要がある。例えば汚染地盤をどの程度まで浄化する必要があるのか(汚染物質を地盤中から完全に除去する必要があるのか、封じ込めや不溶化など汚染物質を地盤中に残したままでよいのか)といった課題についての解決が求められる。我が国の経済・社会活動の活性化を考えたとき、環境修復事業自体の事業性のみならず、跡地の活用度、周辺地域の経済・社会活動へのインパクト・還元、といった多面的観点から評価を行うことは、環境修復事業の合理性・正当性を説明する上で極めて有意義なものである。地盤環境の修復事業が社会にいかに複眼的に貢献しうるのか評価できれば、持続可能な社会の実現に資するという意義も示しうるものと期待される。

2. 研究の目的

1で述べた背景を踏まえ、本研究では廃棄物処分による地盤環境リスクを低減し、かつ持続可能な社会の実現への貢献を目指した地盤環境工学に関する研究を実施した。具体的な内容は以下の通りである。

- (1) 粘土ライナーを中心としたバリア材の物性と性能評価に関する研究
- (2) 処分場における重金属の動態と環境影響の評価手法に関する研究
- (3) 既存処分場への対応技術と跡地利用に伴う多面的インパクトに関する研究
- (4) 廃棄物処分における地盤環境リスクの体系化・多面的評価と評価手法の提案

3. 研究の方法

研究の方法は以下の通りである。

- (1) 粘土ライナーを中心としたバリア材の物

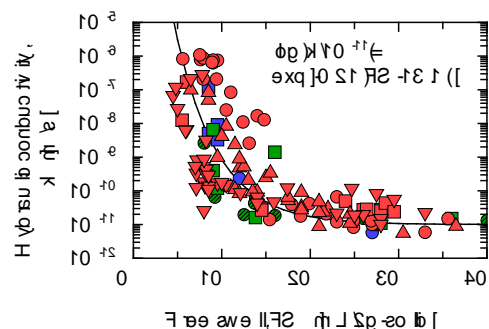
性と性能評価に関する研究: 研究代表者らが従来行ってきた粘土ライナーの特性と遮水性能に関する実験的研究をさらに発展させ、粘土-化学物質系の相互作用を明らかにし、長期性能の解明、現地条件を反映した設計手法の確立をめざした。

- (2) 処分場における重金属の動態と環境影響の評価手法に関する研究: 研究代表者らが行ってきた廃棄物処分場内の物質輸送の議論に基づき、廃棄物層における水収支と重金属動態の予測手法の確立をはかり、廃棄物処分、処分場修復ならびに跡地利用に伴う地盤環境リスクの定量化の基礎データの構築を試みた。
- (3) 既存処分場への対応技術と跡地利用に伴う多面的インパクトに関する研究: 旧基準に基づく処分場等に適用しうる修復対策をレビューし、適用性を示した。修復効果については解析的な検討を実施し、地盤環境リスク低減効果の定量評価を試みた。
- (4) 廃棄物処分における地盤環境リスクの体系化・多面的評価と評価手法の提案: 廃棄物処分における地盤環境リスクの体系化をケーススタディデータなどに基づいて行った。

4. 研究成果

- (1) 粘土ライナーを中心としたバリア材の物性と性能評価に関する研究

粘土ライナーを中心としたバリア材について、化学物質溶液や廃棄物浸出水に対する遮水性能、プレハイドレーション含水比の影響、温度上昇の影響などの検討を行った。特に化学物質溶液や浸出水に対する遮水性能については、著者らが従来提案していた「化学平衡」に達するまで十分に時間をかけて透水試験を行う方法を採用し、3~6年にわたる長期の透水試験を様々な実験条件で行った。



- 080021.st ei mu# BK BN# #nu# (
- 02M# # nu# # ei ts IS008 (
- 00001.st ei # (BN# #nu# (
- 00001.st ei # (B2M# # nu# (
- 10001.st ei # (CG# # nu# # ei ts IS001 (
- 5001.st ei # (CG# # nu# # ei ts IS001 (
- ▲ 0001.st ei # (CG# # nu# # ei ts IS001 (
- ▼ 0001.st ei mu# BK BN# #nu# # ei ts IS001 (

図1 粘土ライナーの透水係数と膨潤量

図1はこのような長期透水試験結果の一例であり、透水試験から得られた透水係数と、ベントナイト粘土の膨潤試験から得られた膨潤量との関係を示したものである。図1に示したデータは異なるベントナイト粘土試料、化学物質溶液、廃棄物浸出水の条件によるものであるが、透水係数と膨潤量とは相関関係がみられ、短時間で結果が得られる膨潤量から長期間の試験時間を必要とする透水係数が予測できることが示された。

(2) 処分場における重金属の動態と環境影響の評価手法に関する研究

処分場による地盤環境リスクの低減には、(1)で示した遮水工バリア材のほかに重金属そのものの動態に関する考察が重要となってくる。特に、図2に示すような海面処分場では水面下深く廃棄物が埋設され、嫌気条件が卓越した状況では重金属類は比較的安定して存在すると期待されるが、そのような現象を実験的に検証した例はほとんどみられない。そこで本研究では海面処分場を模擬した大型カラム試験やバッチ溶出試験などを実施した。大型カラム試験では、粘土層上に廃棄物層を設けて1年以上にわたる通水試験を実施し、間隙水の化学特性を分析するとともに、透水試験終了後の廃棄物層および粘土層の重金属の存在形態を逐次抽出法によって解析し(図3)、移動性・安定性の検討を行った。その結果、海面処分場のように嫌気性が卓越するような条件では重金属にはある一定の安定性がみられ、粘土層の吸着特性や遮水性なども考慮すれば地盤環境リスクは低いと考えられるが、(3)や(4)で対象とするような跡地利用に伴う処分場の形質変更を行う際には化学環境の変化に伴い重金属の安定性に変化が生じることが示唆された。

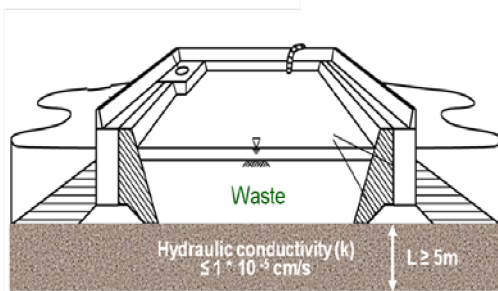


図2 海面処分場の構造

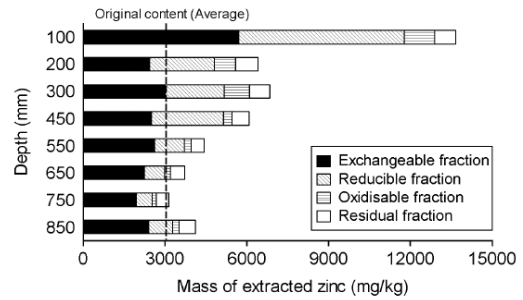


図3 亜鉛の逐次抽出試験結果

(3) 既存処分場への対応技術と跡地利用に伴う多面的インパクトに関する研究

旧基準による不適正処分場や不法投棄現場での対応技術として、ソイルベントナイト遮水壁やカバーなどの効果を実験ならびに数値解析によって評価した。ソイルベントナイト遮水壁はベントナイトと原位置土と混合して築造する地中壁で、ベントナイトを用いることから耐化学性が必須の検討事項であり、(1)の課題とも関連して化学物質溶液に対する遮水性能と設計指標の提案を行った。さらに、固化していない遮水壁であるため構造安定性についての検討が必要であり、遠心模型実験により地震時の安定性についての検討を実施した。不法投棄現場は山間部でよくみられるが、斜面安定性の観点から地下水位の上昇を避けたい事例があり、根入れをしない遮水壁とカバーによる対策効果が有効であることを図4に示すような数値解析によって示した。

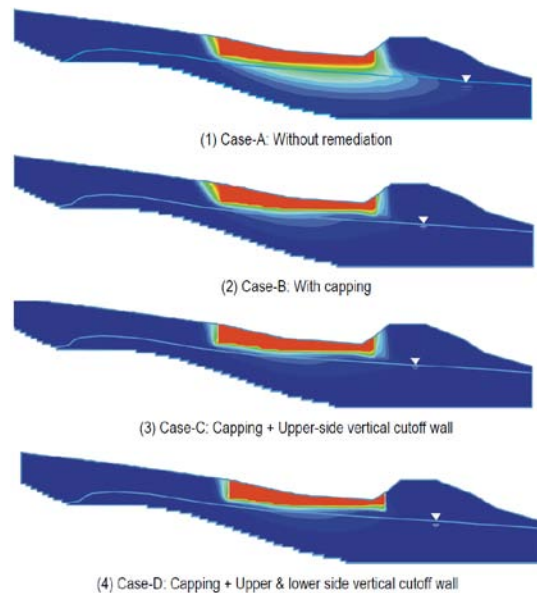


図4 不法投棄現場における対策工の評価例

(4) 廃棄物処分における地盤環境リスクの体系化・多面的評価と評価手法の提案

廃棄物の処分ならびに跡地利用や形質変更に伴う地盤環境リスクについての事例・文

献調査を行い、体系化を実施した。廃棄物処分場における形質変更については、廃棄物地盤、浸出水、発生ガスなどへの対応が必要であり（図 5 参照）、これらの地盤環境リスクを予測・評価しうる指標の整理と、跡地利用にあたっての要求性能のとりまとめを行った。

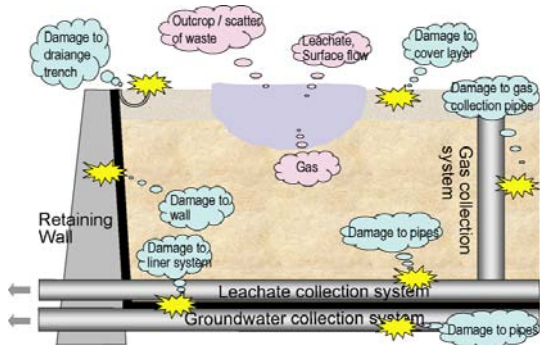


図 5 廃棄物処分場の形質変更によるリスク

以上の研究成果により 5 に示すような研究発表を行った。その中でも、本研究のインパクトを示すものとして以下の点が特筆される。

- i) 主に (1) および (3) の成果により、Geotextils and Geomembranes 誌論文賞次点、地盤工学会関西支部学術賞を受賞した。また、論文共著者（石森）がジオシンセティックス学会日本支部論文奨励賞を受賞した。特に Geotextiles and Geomembranes 誌はインパクトファクターが 3.7（2009 年 8 月時点）で研究代表者が関わる地盤工学分野では最も高く、その学術誌での論文賞次点ということで、学術的に高く評価されたものと考えている。
- ii) 米国 National Research Council から発行された処分場遮水工に関するガイドライン（Assessment of the Performance of Engineered Waste Containment Barriers）に研究代表者らの研究成果が引用されており、研究成果は国際的かつ実務的に評価されている。
- iii) 図書やホームページ教材などで、研究成果の普及に努めた。5 [図書] 1) は 4 ヶ国の海外研究者との共同執筆による英文技術書であり、研究代表者は 1 章を担当した。また、JST の WEB ラーニングプラザの教材作成に本研究の成果を反映させ、より広い範囲の技術者ならびに社会に対して当該研究の重要性の発信に寄与した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 53 件）

- 1) Plata, H., Inui, T., Katsumi, T., Oya, Y., and Kamon, M. (2010): Speciation and mobility of zinc in coastal landfill sites with MSW incinerator ash, *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 査読有 (accepted for publication).
- 2) Li, Z., Imaizumi, S., Katsumi, T., Inui, T., Tang, X., and Tang, Q. (2010): Manganese removal from aqueous solution using a thermally decomposed leaf, *Journal of Hazardous Materials*, Elsevier, 査読有 (accepted for publication).
- 3) Inazumi, S., Ohtsu, H., Shiotani, T., and Katsumi, T. (2010): Elementary study on evaluation of environmental loads and costs for waste treatment system in Bangkok, *Journal of Global Environment Engineering*, JSCE, Vol.15, pp.79-86, 査読有.
- 4) 石森洋行・深川良一・勝見 武・松宮芳樹・久保田謙三・久保 幹 (2010) : 原位置バイオレメディエーションの効率化のためのエアスパーキング後の空気飽和度分布と溶存酸素濃度の評価, 材料, Vol.59, No.1, pp.78-83, 査読有.
- 5) 乾 徹・高井敦史・栗原太志・勝見 武・嘉門雅史 (2010) : 遠心模型実験によるソイルベントナイト地中連続遮水壁の地震時挙動の評価, 材料, Vol.59, No.1, pp.84-88, 査読有.
- 6) Inui, T., Oya, Y., Plata, H., Katsumi, T., and Kamon, M. (2009): Speciation and mobility assessment of heavy metals in the coastal MSW incinerator ash landfill, *Journal of ASTM International*, Vol.6, No.8, Paper ID JAI102166, 査読有.
- 7) Mariappan, S., Kamon, M., Ali, F.H., Katsumi, T., and Akai, T. (2008): Performances of landfill liners under optimum moisture conditions, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.13, Bundle F (<http://www.ejge.com/>), 査読有.
- 8) Mariappan, S., Kamon, M., Ali, F.H., Katsumi, T., and Akai, T. (2008): Landfill interface study on liner member selection for stability, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.13, Bundle D (<http://www.ejge.com/>), 査読有.
- 9) Katsumi, T., Ishimori, H., Ogawa, A., Maruyama, S., and Fukagawa, R. (2008): Effects of water content distribution on hydraulic conductivity of prehydrated GCLs

against calcium chloride solutions, *Soils and Foundations*, JGS, Vol.48, No.3, pp.407-417, 査読有.

- 10) Katsumi, T., Ishimori, H., Onikata, M., and Fukagawa, R. (2008): Long-term barrier performance of modified bentonite materials against sodium and calcium permeant solutions, *Geotextiles and Geomembranes*, Elsevier, Vol.26, No.1, pp.14-30, 査読有.
- 11) 嘉門雅史・乾 徹・嶋田大士・田邊雅哉・勝見 武・貴田晶子 (2008): 促進劣化試験を用いた廃コンクリート再生碎石の溶出挙動の評価, *材料*, Vol.57, No.1, pp.66-70, 査読有.
- 12) 石森洋行・勝見 武・深川良一 (2007): 高温条件下におけるジオシンセティッククレイライナーの遮水性, *ジオシンセティック論文集*, 第 22 巻, pp.153-158, 査読有.

上記はジャーナル論文のみ記載。上記のほかには国際会議論文 (査読有) 26 件、国内シンポジウム論文 (査読有) 15 件を発表した。

[学会発表] (計 30 件)

- 1) 栗原太志・羽田野隆之・乾 徹・勝見 武・嘉門雅史: 砂地盤に打設されたソイルベントナイト鉛直遮水壁の動的特性, 第 44 回地盤工学研究発表会, 関東学院大学 (横浜市), 2009 年 8 月 20 日.
- 2) 最上裕生・勝見 武・乾 徹・嘉門雅史: 重金属を含む酸性水対策へのベントナイト系遮水材の適用, 第 15 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究会, 名古屋国際会議場 (名古屋市), 2009 年 6 月 19 日.
- 3) 大矢好洋・乾 徹・勝見 武・嘉門雅史: 海面埋立処分場内部における重金属の存在形態と移動性の評価 (その 1): γ チ試験による評価, 第 43 回地盤工学研究発表会, 広島国際会議場 (広島市), 2008 年 7 月 11 日.
- 4) 田中有紀・乾 徹・勝見 武・嘉門雅史: 傾斜地に位置する地盤汚染サイトの対策工の解析的評価, 第 43 回地盤工学研究発表会, 広島国際会議場 (広島市), 2008 年 7 月 9 日.
- 5) 嘉門雅史・松橋大作・勝見 武・乾 徹・高井敦史・荒木 進: ソイルベントナイト遮水壁の遮水性能に及ぼす影響要因, 第 42 回地盤工学研究発表会, 名古屋国際会議場 (名古屋市), 2007 年 7 月 4 日.

以上のほか合計 30 件の学会発表を行った。

[図書] (計 6 件)

- 1) Katsumi, T. (2010): Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners, Chapter 4 in *Geosynthetic Clay Liners for Waste Containment Facilities*, A. Bouazza and J.J. Bowders (eds.), CRC Press, pp.55-83.
- 2) 国際ジオシンセティックス学会日本支部ジオメンブレン技術委員会 (2009): 廃物処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック (勝見武が分担執筆・編集委員会副委員長を担当), 技報堂出版.
- 3) 日本粘土学会編 (2009): 粘土ハンドブック第 3 版 (勝見武が第 III 編応用編 6.4「廃棄物埋立処分場における粘土」執筆), 技報堂出版, pp199-210.
- 4) 地盤工学会編 (2009): 建設工事における環境保全技術, 地盤工学・実務シリーズ 26 (勝見武が編集委員ならびに分担執筆), pp145-146, pp190-194, pp217-219.
- 5) 京都大学地球環境学研究会著 (2008): 京大人気講義シリーズ 地球環境学へのアプローチ, 丸善株式会社 (勝見武が第 12 章「環境と地盤—社会基盤技術による環境保全と創造」執筆), pp170-219.
- 6) 嘉門雅史・日下部治・西垣 誠 (編) (2007): 地盤環境工学ハンドブック, 朝倉書店 (勝見武が 2.4「酸性雨」分担執筆, 10.2「廃棄物最終処分場の遮水構造」執筆, 「付録」担当), pp41-48, pp451-465.

[その他]

- 1) Web ラーニングプラザ「大地をめぐる環境問題」、社団法人地盤工学会 Web ラーニング制作委員会制作、科学技術振興機構著作、勝見 武監修 (2010) .

6. 研究組織

(1) 研究代表者

勝見 武 (KATSUMI TAKESHI)
京都大学・大学院地球環境学堂・教授
研究者番号: 60323764

(2) 研究分担者

乾 徹 (INUI TORU)
京都大学・大学院地球環境学堂・准教授
研究者番号: 90324706
稲積 真哉 (INAZUMI SHINYA)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 90362459

(3) 連携研究者

嘉門 雅史 (KAMON MASASHI)
香川高等専門学校・校長
研究者番号: 40026331