

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月24日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560506

研究課題名（和文）廃棄物処分場の地震リスク評価と性能設計に関する研究

研究課題名（英文）Seismic risk assessment and performance based design for landfills

研究代表者

小竹 望（KOTAKE NOZOMU）

香川高等専門学校・建設環境工学科・教授

研究者番号：60512704

研究成果の概要（和文）：本研究では、表面遮水工の動的境界面せん断特性を考慮した廃棄物処分場の地震リスク評価手法を開発した。遮水シートと不織布などから構成される多層構造の遮水工について、構成材料間の静的・動的境界面せん断特性を傾斜実験ならびにブロック振動実験によって明らかにした。次に、被覆層を含めた全体構造系の地震時滑り破壊モードを振動台模型実験により再現した。この実験結果に基づき、極限平衡法による地震時安定解析法を提案した。

研究成果の概要（英文）：The seismic risk of landfills was analyzed considering the dynamic interface behaviors of geosynthetic barriers. Firstly the static and dynamic behaviors of geosynthetic interfaces including geomembranes and geotextiles were clarified by tilting tests and sliding block experiments using a shaking table device. Then, sliding failure modes of the whole soil structure under seismic motion were simulated by shaking table model tests. Finally a limit equilibrium stability analysis method was proposed for performance based seismic design.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：地震リスク、廃棄物処分場、振動台模型実験、安定解析

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 廃棄物処分場の遮水工が長期間に渡って遮水性能を維持するためには、遮水材料の耐久性と遮水工の構造安定性が求められる。遮水工に関する既往研究の多くは、遮水性能と環境作用に対する耐久性に関わる材料特性の研究が主体であり、遮水工の構造安定性に関する研究例は少ないのが現状である。さらに、遮水工の地震時挙動が未解明であるた

め、廃棄物処分場の地震リスクを適切に評価することができず、耐震性に関わる性能設計が著しく遅れている。

(2) 廃棄物処分場が構造上の問題で損壊した事例は非常に少なく、また地震により被災した経験が未だない。しかし、仮に損壊が発生した場合の経済的損失は非常に大きく、有害性の高い廃棄物が処分されている場合に

は、周辺環境の環境汚染を引き起こす重大な事態になる。

(3) 廃棄物処分場の遮水工は、遮水シート、不織布製保護マット、粘土ライナーなどの多くの材料で構成される多層構造である。これらの構成材料自体のせん断強度と比較して、材料間の摩擦抵抗あるいはせん断抵抗が小さいことから、ライナー構成材料間の境界面は遮水工の構造的な弱点となる。これまでの研究において上記の構造的な特性に着目し、静的問題の範囲について、せん断試験によって構成材料間の境界面せん断特性を明らかにした。さらに、多層ライナー構造の遮水工における変形と安定問題に対して、遮水工と地盤および廃棄物との相互作用問題としてのアプローチを行い、多層せん断実験ならびに施工過程を考慮した非線形FEMを実施した。これらの研究成果により、下記の遮水工に沿ったすべりに対する安定問題を評価した。

- ・陸域処分場を対象とする境界面せん断特性と安定性
- ・埋立完了後の覆土層を含む最終カバーの安定性
- ・海面処分場の施工時から埋立期間中の廃棄物護岸の安定性 (図-1)

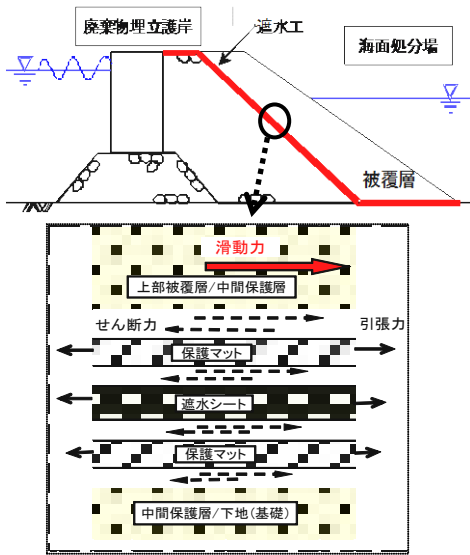


図-1 海面処分場の遮水工

この検討過程で、地震力の作用によって遮水工の安定性が著しく低下する可能性が認められたことから、環境リスク低減という社会的要請に応えるためには、地震リスク評価が必要不可欠な要素であると認識するに至った。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、上記の研究成果を踏まえ、

地震リスク評価のために以下の課題を明らかにすることを目的とした。1) 地震時に予測される廃棄物処分場の破壊形態の抽出、2) 遮水工の構成材料間の動的境界面せん断特性の把握、3) 遮水工の全体系に関する地震時挙動の把握、4) 現行設計による既存施設の地震リスクの評価、5) 廃棄物処分場の性能設計に向けた耐震性評価手法の開発

(2) 遮水工の安定問題では、対象とする遮水工の破壊形態に関して、一般に2次元問題として扱っている。一方、山間部に立地する廃棄物処分場は、谷部地形を埋め立てる構造が多い。これらは硬固な地盤上に築造されるため、現状では地震リスクが特に大きな問題となっていないが、地震時には斜面上の遮水工に沿った滑り破壊や廃棄物層と遮水工を巻き込んだすべり破壊が想定される (図-2)。

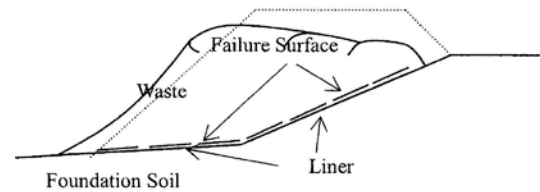


図-2 a) 遮水工に沿ったすべり破壊

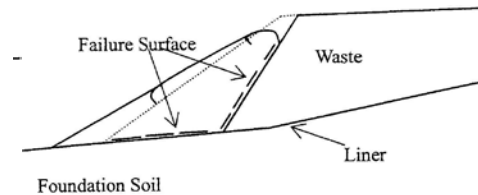


図-2 b) 遮水工と廃棄物層のすべり破壊

(3) 最悪のシナリオは、底面および側面に敷設された遮水工に沿った3次元すべりを引き起こし、廃棄物層全体が崩壊して流出するような事態である。このような問題に関して地震リスクを適切に評価し、耐震性能評価手法を確立することが重要である。

## 3. 研究の方法

(1) 遮水工に現在用いられている代表的な材料を中心に、2次元問題の範囲で前述の課題を解決する方法を検討した。すなわち、1) 材料特性については、動的境界面せん断特性を実験により明らかにし、その特性値を耐震設計や地震応答解析に利用できる形で表現する。2) 全体構造系については、遮水工の地震時挙動を実験的に再現し、地震応答特性を把握する。3) 実験結果に基づき、性能設計に向けた耐震性能評価に適用できる数値解析手法あるいは簡易安定解析法を提案する。

4) 地震時に予測される廃棄物処分場の破壊形態を抽出し、この耐震性能評価手法を用いて現行設計による既存施設の地震リスク評価手法を提案する。

(2) ブロック滑動実験

遮水工の動的境界面せん断特性に関する基礎実験として、機械クランプ式駆動小型振動台を用いたブロック滑動実験を実施した。図-1 に示す遮水シート～不織布製保護マット～土質材料から構成される多層構造の遮水工を対象とした。図-3 に示すブロック滑動実験により、遮水シートと保護マット、保護マットと土質材料の境界面をそれぞれ実験対象とし、構成材料間の動的境界面せん断特性の評価を試みた。

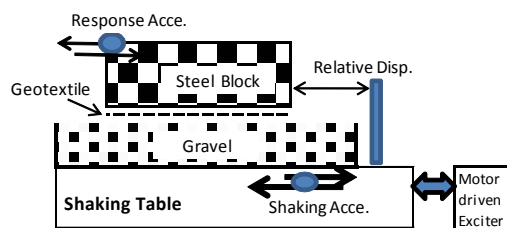


図-3 ブロック滑動実験の概要図  
(保護マットと土質材料の場合)

(3) 極限平衡法による安定解析

実務設計では極限平衡法による安定解析が用いられている。これは、法面部のみ崩壊する法面部分モデルと底面部も含めて全体が崩壊する法面全体モデルをそれぞれ仮定するものである(図-4)。本研究では、震度法を導入してパラメーター・スタディを行うことにより、地震時安定性に影響の大きい要因を抽出した。また、振動台模型実験における主たる実験パラメーターの絞り込みを行った。

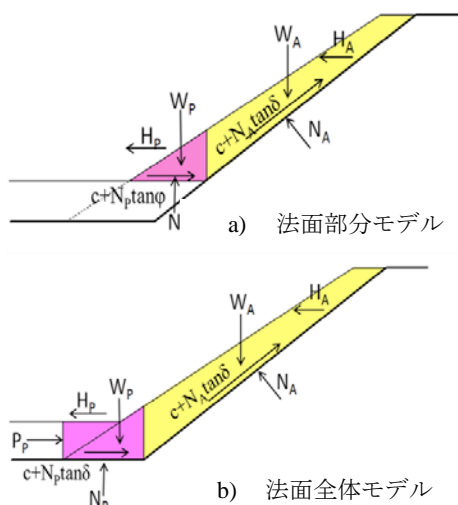


図-4 極限平衡法による安定解析モデル

(4) 振動台模型実験

全体構造系を対象として遮水工の地震時挙動を把握するため、油圧サーボ式振動台を用いてシート遮水工の縮尺 1/30 の模型斜面崩壊実験を行った(図-5)。実験モデル断面は、先に実施した極限平衡法安定解析によるパラメーター・スタディの結果に基づき設定した。検討ケースとして表面遮水工の被覆層の滑り破壊を対象とし、境界面せん断抵抗の最も小さい土質材料～遮水シートの場合を主として検討した。

振動台上に固定したステンレス製土槽(高さ 50cm×幅 99cm×奥行 29cm)の内部に、勾配 1:1.5 の模型斜面をスタイルフォームを用いて作製し、その表面と底面部分に厚さ 1.5mm の HDPE 製遮水シートを接着した。被覆層の土質材料として珪砂 8 号を用い、これに対する質量比で 2% の NSF カオリンと水をそれぞれ混合した試料土を使用した。

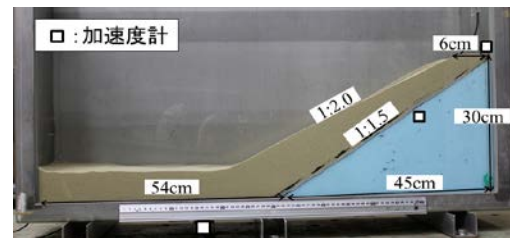


図-5 振動台模型動実験(基本断面ケース)

4. 研究成果

(1) ブロック振動実験

遮水シートと保護マットの境界面および保護マットと土質材料の境界面を対象とする振動台を用いた動的ブロック滑動実験をそれぞれ行った結果、以下の結論が得られた。

・遮水シートと保護マットの動的境界面せん断特性：滑動が生じる加振加速度  $\alpha_T$  について定義される限界摩擦係数  $\mu_{crit} = \tan(\alpha_T/G)$  は静的摩擦係数  $\mu$  と同様な値である。

・保護マットと土質材料の動的境界面せん断特性：ピーク時摩擦係数に相当する加速度で滑動を開始し、以降の滑動中は残留時摩擦係数に相当するせん断力を発揮しながら振動する挙動を示す。不織布製保護マットと土質材料を用いた静的ブロック滑動実験から得られる荷重変位関係は、ピーク後に軟化する傾向を示すことから、ピーク時摩擦係数  $\mu_{s-peak} (= P_{peak}/W)$  と残留時摩擦係数  $\mu_{s-res} (= P_{res}/W)$  がそれぞれ定義される。ここで、 $P_{peak}$  : ピーク時荷重、 $P_{res}$  : 残留時荷重、 $W$  : ブロック重量である。限界加速度  $\alpha_{crit}$  で発揮される摩擦角  $\tan(\alpha_{crit}/G)$  はピーク時摩擦係数  $\mu_{s-peak}$  と同等な値である。また、滑動している状態の加速度  $\alpha_B$  で発揮される摩擦角  $\tan(\alpha_B/G)$

は残留時摩擦係数  $\mu_{s-res}$  に近い値である。

### (2) 振動台斜面崩壊実験

底面保護層の厚さについて、基本形状に準じて設定した  $t_2=6\text{ cm}$  と、その  $1/2$  の  $t_2=3\text{ cm}$  としたケースにおいて、法面部分滑りと法面全体滑りがそれぞれ発生した。前者は法面部分だけが滑動し、底面保護層のレベルで明瞭なせん断面が発生した (図-6a)。後者は、法面から底面に及ぶ範囲が主働土塊として遮水工に沿って滑動し、底面部に明瞭な  $h$  受働土塊が現れて底面前方に達するせん断面が確認された (図-6b)。

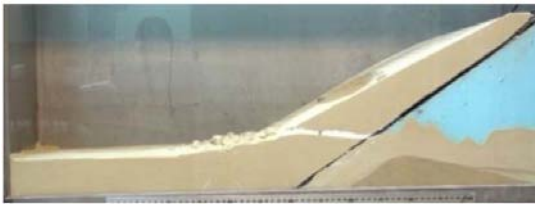


図-6 a) 法面部分滑りによる崩壊 (970gal)

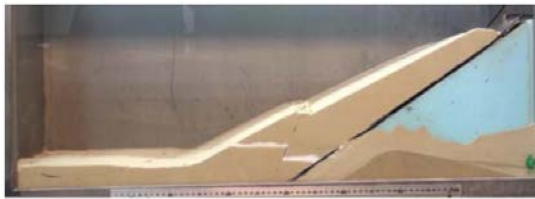


図-6 b) 法面全体滑りの状況 (700gal)

### (3) 安定解析

震度法を用いた極限平衡法による安定解析モデル (図-4) についてパラメータスタディを行った。解析モデルの基本形状を設定し (図-7)、物性値は  $\phi=35$  度、 $c=0$ 、 $\delta=25$  度、 $c_i=0$ 、 $\gamma=20\text{ kN/m}^3$  を基本条件とした。

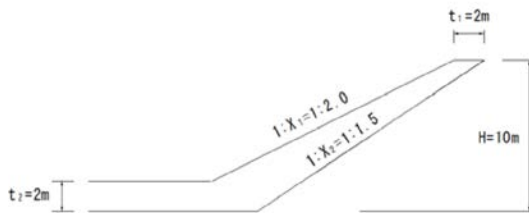


図-7 解析モデル基本形状

図-8 に底面保護層の厚さ  $t_2$  に関して、法面部分モデルと法面全体モデルのそれぞれ解析した場合の水平設計震度と安全率の関係を示す。全般的に法面部分モデルは、法面全体モデルより安全率が小さい傾向がある。しかし、法面全体モデル底面保護層の厚さを小さくすると、法面全体モデルの安全率が法面部分モデルの安全率より小さくなる。

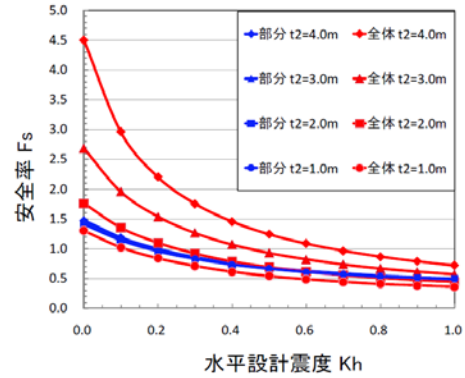


図-8 水平設計震度と安全率の関係 (パラメータスタディ)

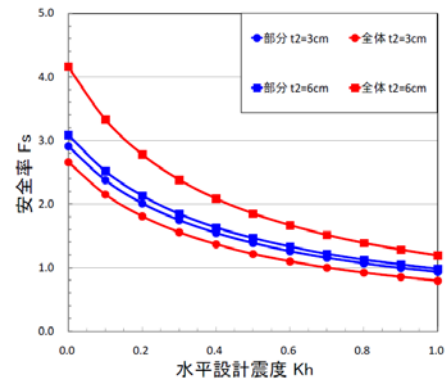


図-9 水平設計震度と安全率の関係 (実験結果の解析)

法面全体滑りが発生した実験ケースに対応する安定計算結果を図-9 に示す。試料土の物性値は、一面せん断試験結果等に基づき  $\phi=33$  度、 $\delta=25$  度、 $c_i=0$ 、 $\gamma=14.2\text{ kN/m}^3$  とした。試料土の粘着力を  $c=1.4$ 、 $14.0\text{ kN/m}^2$  とするとそれぞれ法面部分滑りと法面全体滑りの崩壊時の加振加速度と安定計算で安全率  $F_s=1.0$  となる設計水平震度  $K_h$  がよく一致した。したがって、構成材料間の動的境界面材料特性を評価し、上記安定解析を用いることにより、廃棄物処分場遮水工の耐震性が評価されることが確認された。

### 4. 主な発表論文等

[学会発表] (計 8 件)

- ① 小竹望、松原三郎、濱口竜一、川野裕知、表面遮水工の地震時斜面滑りに関する安定検討、平成 25 年度地盤工学研究発表会、2013 (掲載予定)。
- ② Nozomu Kotake: Engineering challenges in hydraulic barrier construction for environmental protection, Keynote Lecture, MALAYSIA-JAPAN CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING SYMPOSIUM 2013, UiTM, Shah Alam, Malaysia, 2013.
- ③ Takeshi Katsumi, Nozomu Kotake, and B. V. S. Viswanadham: Geosynthetics for

- environmental protection - compatibility and integrity -, Keynote Lecture, *GEOSYNTHETICS ASIA 2012*, 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Bangkok, Thailand, 2012.
- ④ 来田美里・小竹望・松原三郎：シート遮水工の地震時安定性，平成24年度土木学会四国支部第18回技術研究発表会，2012. pp. 169-170.
- ⑤ Kotake, N., Matsubara, S. and Kamon, M. : Dynamic Interface Behaviors of Geosynthetic Barriers by Shaking Table Tests, *Proceedings of the 10th Geo-environmental Engineering (GEE2011)*, Takamatsu, Japan, 2011, pp. 135-140.
- ⑥ 小竹望・松原三郎：廃棄物処分場遮水工の動的境界面せん断特性に関するブロック振動実験（その2），地盤工学会四国支部平成23年度技術研究発表会講演概要集，2011, pp. 77-78.
- ⑦ Kotake, N., Ishida, M. and Katsumi, T. : Installation techniques of geosynthetic barriers into the coastal landfills, *Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics*, 9IGS-Brazil, 2011, pp. 915-918.
- ⑧ 小竹望・松原三郎・本岡伸浩・古川智也：廃棄物処分場遮水工の動的境界面せん断特性に関する基礎実験，地盤工学会四国支部平成22年度技術研究発表会講演概要集，2010. Pp. 103-104.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小竹 望 (KOTAKE NOZOMU)

香川高等専門学校・建設環境工学科・教授  
研究者番号：60512704

### (2) 研究分担者

嘉門 雅史 (KAMON MASASHI)

香川高等専門学校・校長

研究者番号：40026331

土居 正信 (DOI MASANOBU)

香川高等専門学校・建設環境工学科・教授  
研究者番号：10110131