

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 5 月 27 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22241045

研究課題名（和文） ジオシンセティック排水材を用いた盛土防水工に関する研究

研究課題名（英文） Study on the applicability to the reinforced soil retaining wall of L-shaped drainage using Geosynthetics

研究代表者

澁谷 啓（SHIBUYA SATORU）

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00206153

研究成果の概要（和文）：本研究では、ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工を、補強土（テールアルメ）壁工法に適用し優れた効果を確認した。谷埋め盛土など背面側からの浸透水が懸念される箇所でも有効に機能するものと思われる。排水機能が健全な状態では震度6強～7強震動観測地区であっても被災を免れると考えられる。また、スラグおよびスラグ混合土を用いた土層の変位量が一般土を用いた場合より小さいこと、また、スラグ補強土壁の盛土造成時の締固め度80～85%程度でも安全率が $F_s=1.6$ 以上確保できた事実よりスラグ補強土壁が施工性に安全であると判断される。

研究成果の概要（英文）：In order to examine the applicability of L-shaped drainage method in in-situ in this study, the full-scale model test was performed. As a result, the excellent effect on the applicability to the reinforced soil retaining wall of L-shaped drainage using Geosynthetics in this research could be evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
2011年度	17,100,000	5,130,000	22,230,000
2012年度	9,700,000	2,910,000	12,610,000
総計	35,300,000	10,590,000	45,890,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：ジオシンセティックス・室内実験・数値解析・水砕スラグ・製鋼スラグ

1. 研究開始当初の背景

最近の雨の降り方は尋常ではない。大地震も多発している。豪雨・地震による宅地・道路盛土の被害が後を絶たない。台風による豪雨により盛土内へ雨水が浸入して盛土本体が弱体化し、同時に谷部に雨水が滞水して盛土がダム化し、基礎のすべり破壊が生じたのが原因であった。この破壊事例の最大の教訓は、この種の盛土崩壊を防ぐためには、盛土内および周辺への雨水の浸透および帯水を許さないことであった。事実、中越地震、能登地震でも地下水のある高い含水状態の盛

土に被害が集中している。

本研究では、多様な盛土材に対しても高い通水性能を発揮できるジオシンセティックス排水材を開発し、実物大の試験盛土を用いた一連の降雨浸透実験を実施して、提案する盛土防水工の既存工法に対する優位性を検証することを目的とする。

2. 研究の目的

最近、豪雨および地震、あるいは両者の複合作用による道路・宅地盛土の変状・崩壊の被害が多発している。学術被害調査から、盛

土内の地下水位の上昇が、この種の災害の決定的な要因の一つであることが指摘されている。本研究では、この種の被害軽減のためには「盛土の防水」がなにより重要であるとの着想から、ジオシンセティクス排水材を盛土周辺に適切に配置することにより、安全、低コストで環境に優しい「盛土防水工」の研究開発を実施する。ジオシンセティクス排水材を用いた盛土防水工が実用化されれば、公共投資費（あるいは維持管理費）の効率化が期待される。また、H18年の宅造法の改正に伴う都道府県レベルで実施されている大規模宅地盛土造成地の耐震化事業への寄与が期待できる。

3. 研究の方法

「L型排水盛土防水工」では、盛土を囲むようにジオシンセティクス等の排水材をL型に配置し、鉛直に設置した排水材で受けた盛土背部からの浸透水を盛土底部に水平に設置した排水材に流すことにより盛土外へ速やかに排出させる。従来の盛土内に設置した排水工とは異なり、盛土内への浸水を防ぎながら浸透流を盛土外へ速やかに排水する「盛土防水工」の発想に最大の特徴がある。一連の小型模型地盤実験により、盛土内の防水領域での水位低下効果を実証している。また、不飽和・飽和浸透流解析結果と実験結果の比較検討により、数値シミュレーション手法の工学的適用性を確認している。

《各種室内試験》

ジオシンセティクス材料の排水性能および盛土材料（＝不飽和まさ土）の水理特性・せん断特性を求めるための室内試験は多岐に亘るため、研究分担者が独自に開発した試験装置（不飽和土の透水試験、三軸圧縮試験、一面せん断試験）を用いて、それぞれの分担研究項目を実施する。最終的な結果は、神戸大でとりまとめた。

《解析》

不飽和浸透解析プログラムは、既に開発済みであり、まさ土の模型地盤を用いた計測および浸透解析の比較検討により、数値シミュレーション能力を検証済みである（Saito et al, 2008）。

別途、修正ニューマーク法による安定解析プログラムを開発している（鳥居ら, 2008）。本研究では、一連の室内実験結果から得られる不飽和土の力学特性を適切に反映させ、両プログラムを融合した汎用性の高い不飽和地盤の浸透・安定プログラムの開発を目指す。

《実物大盛土実験》

本申請で使用予定の神戸大学都市安全研究センター大実験室内にある地下コンクリ

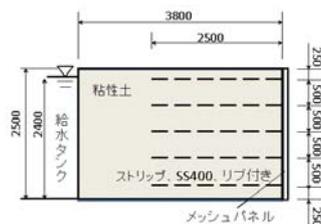
ートピットの寸法は、長さ4m、高さ3m、奥行き2mである。計測用の各種センサーを埋設したまさ土の試験盛土を締め固めにより築造し、盛土背面から注水し、盛土の変形・破壊挙動を詳細に観察する。浸透実験は3ケース実施の予定であり、1ケースにつき1ヶ月程度の期間を要した。

4. 研究成果

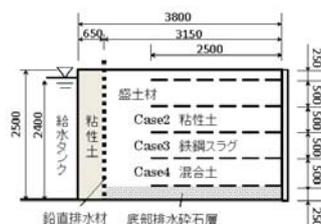
(1) 実物大盛土実験概要

大型土槽実験装置は、高さ3.0m、幅2.0m、奥行き4.0mの内空断面で、周囲を防水シートで被覆しており、背面部には注水管（VP管、直径200mm、ストレナ加工）を建て込んでいる。補強土壁による盛土（高さ2.5m、幅2.0m、奥行き3.8m）は、1層当り25cmで60kgプレートを用いて転圧し、砂置換法と簡易支持力測定器キャスポルにより所定の締め固め度に管理しながら構築した。

また、盛土内にサクシオン計および土壌水分計をそれぞれ16点、傾斜計（パイプひずみ計）2箇所計9点、水位計、温度計それぞれ1点、水位観測孔を4箇所設置することにより観測した。また、補強土壁の変形はメッシュパネル前面に変位計3点を設置することにより計測した。



(a) 無対策盛土 (Case1)



(b) L型排水盛土 (Case2, Case3, Case4)

図-1 実物大盛土断面概略図

図-1 に実物大盛土断面概略図、表-1 に実物大実験に用いた試料の主な物性値を示す。鉄鋼スラグは平均含水比 7.1%の気乾状態の試料を用いた。Case1 は事前に行った粘性土の土質試験結果から飽和状態で安全率 $F_s \approx 1.0$ となる様にストリップの配置仕様決定を行い、粘性土のみを用いて排水材は設置していない。その他の実験ケースも Case1 と同じ設計で施工を行った。今回、Case1, Case2 で用いた粘性土は細粒分含有率 $F_c = 32.6\%$ であるため、テールアルメの設計基準によれば、[B]

材料にあたり，無対策では盛土材として用いることができない材料である。

表-1 盛土材料の主な物理特性

区 分	透水性係数 k_v (cm/d)	液性限界 w_L (%)	塑性指数 PI (%)	せん断抵抗係数 ϕ (°)	実験体面の摩擦角 δ (°)	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	最適含水比 w_{opt} (%)
CASE1 粘性土 (補強材無し)	1.85	24.4	17.5	29.7	90	1.576	22.1
CASE2 粘性土	1.78	22.3	17.5	29.7	90	1.576	22.1
CASE3 製鋼スラグ	2.17	7.1	0.4	44.1	85	2.370	9.1
CASE4 混合土	1.92	15.1	4.8	37.4	85	1.973	15.1

L型排水材の排水効果を確認するために，同じ粘性土を用いて図-1(a)に示す無対策盛土(Case1)土と図-1(b)に示すL型排水盛土(Case2)の比較を行った。また，鉄鋼スラグの盛土への適用性を確認するためにCase3, Case4ではそれぞれ鉄鋼スラグと粘性土と鉄鋼スラグを容積比6:4で混合したもの(以下，混合土と記載)を盛土材として用いた。

また，実物大盛土実験によって得られた各測定結果をもとに数値シミュレーションを行い，測定結果と数値シミュレーションの結果を比較することによってその再現性を確認した。

① 無対策実験(Case1)

背面からの注水に伴い盛土内の水位は上昇，前面への排水は注水後約25分経過した時点で認められた。このとき，ストリップ先端部に亀裂が発生，壁面は80~100mmの変位量を示した。継続した注水によりさらに盛土内水位が上昇(図-2(a))，補強土背面部中心に亀裂拡大した。52分後に注水停止したが水位低下は鈍く，壁は補強材と一体で大きく前方へ挙動し，最終的には崩壊に至った(写真-1)。

② L型排水防水工実験(Case2)

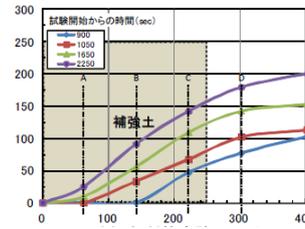
注水開始直後より水平排水層前面から排水し，背面水位が盛土高さの2.5mに達するに2hを要する。この過程でCase1同様ストリップ先端付近にヘアクラック(写真-2)が生じたが，範囲が拡大することは無かった。その後，定常水位状態にて5h維持したが，盛土内への水位上昇は認められず(図-2(b))，補強土壁面の水平変位も最大4.7mmと微小変形に留まり，安定した状態にあった。一方，背面土では地表面が5cm沈下するなど，経時変化に伴い乱れが生じた。



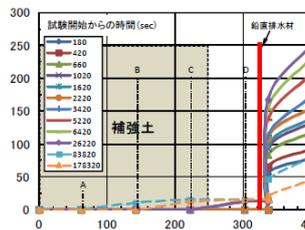
写真-1 Case1-実験後(崩壊)



写真-2 Case2-表層部の状態



(a) 無対策実験 Case1



(b) L型排水防水工実験 Case2

図-2 注水実験における水位変動の比較

③ L型排水防水工実験(Case3, Case4)

Case3とCase4では，スラグ混合による改良効果を確認するため，細粒分の含有率が33%程度の土60%に対して容積比で製鋼スラグ40%を現場で混合して盛土材料として利用した。参考として，テールアルメ工法の設計・施工マニュアルには，細粒分25%以下の土であれば改良することなく盛土材として使用できると規定されている。スラグ盛土の計画安全率は，ストリップの引抜きに対する安全率の場合，通常は $F_s=2.0$ として設計されるが，本実験においては，真の安全率を確認するため $F_s=1.0$ として設計した。さらに，スラグ補強土壁の場合，図-3のようにL型排水材の性能評価とともに上載荷重に対する安全性も評価するため施工後に2.3トン程度の荷重を盛土の上部に載せてその挙動を調査した。

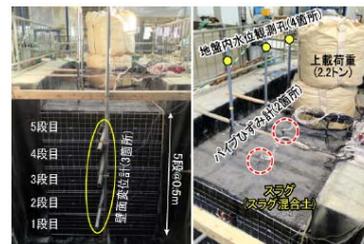


図-3 スラグ補強土壁の実験全景

(2) 補強土壁の構造と実験モデル

本実験に用いた補強土壁は実施工に使用されている部材を用い、テールアルメの設計基準に沿って設計した。ただし、浸透水に対するセンシビリティを高め、挙動確認を容易にするため、使用する部材の組合せや設計上の配慮を行っている。

表-2 リブ付きストリップを用いた一面せん断試験結果

供試体 D×H(cm)	6.00×2.50	
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.610	
γ_{smax} (g/cm ³)	1.560	
$\gamma_s = \gamma_{smax} \cdot 0.90$	1.404	
含水比 w (%)	24.0	
試料の状態	不飽和	飽和
粘着力 C (kN/m ²)	2.6	4.3
せん断抵抗角 ϕ (°)	35.1	33.0

盛土材の粘性土は、細粒分含有率 F.C.=32.6%であることから、テールアルメの設計基準によれば[B]材料に該当する。[B]材料ではストリップとの摩擦係数は、 $f^* = \tan \phi$ の関係において ϕ (プサイ) =25(°) とされるが、本実験ではリブ付きストリップを用いた一面せん断試験結果(表-2)に基づき、ストリップと盛土材との摩擦係数を検討した。また、算定された安全率を表-3に示す。

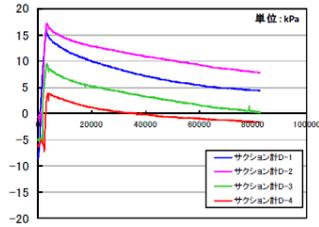
表-3 各段における引抜け安全率

段数 (i)	ΔH (m)	ΔB (m)	L (m)	Fs
1	0.50	1.00	2.50	1.042
2	0.50	1.00	2.50	1.025
3	0.50	1.00	2.50	1.007
4	0.50	1.00	2.50	1.158
5	0.50	1.00	2.50	1.300

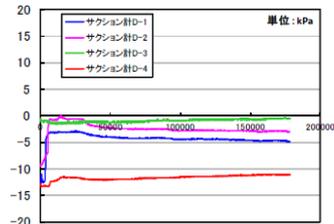
(3) 結果の考察

① Case1 と Case2 について

図-4 は補強土背面(D-Line)におけるサクシヨン圧の経時変化である。Case2 は Case1 に比して排水効果が明瞭であり、長時間持続している。Case1 での地中ひずみの分布状況(図-5)より、A,B-Line 共に 0.5~1.0m 付近での挙動が認められ、上位では壁面側の A-Line でのひずみが卓越する。これらに基づき崩壊形態を推定し、すべりによる安全率評価(図-6)を行うと、最大水位を考慮時に安全率 $F_s=0.97$ 、水位の無い状態では $F_s=1.04$ となり、各ケースでの事象に整合した。これらより、L型排水防水工にて、テールアルメの外的安定性が確保できたものと判断する。



(a) 無対策実験 Case1



(b) L型排水防水工実験 Case2

図-4 D-Line におけるサクシヨン圧の比較

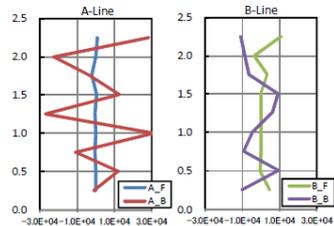


図-5 地中ひずみ分布:Case1, 6000sec

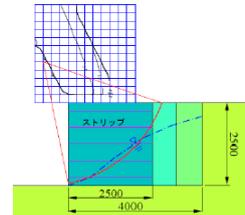


図-6 円弧すべりによる安全率評価

② Case3 と Case4 について

図-7 と図-8 は、それぞれ盛土造成後の背面注水開始から観測された壁面の水平変位とパイプひずみの分布であるが、スラグを用いた場合(ケース3 とケース4)のはらみだし量がケース2(粘性土盛土)と比べ、極端に小さい値(0.5mm 以下)を示している。また、補強土壁の上部に発生したクラックも数 mm 程度で、沈下もほとんどなかった。この結果は表-4 に示すように一般土砂よりスラグ単体やスラグ混合土の場合、弾性係数(E_{50})が大きくポアソン比(ν)が小さいことに起因したと考えられる。また、図-9 は各ケースにおける水位経過を示している。この結果より、L型排水材の設置によって盛土内部への水の浸透はないことが確認でき、下部の礫排水層の浸潤線の差があるよう見えるが、全体的な傾向はほぼ同様であった。

表-4 用いた試料の変形・強度特性(室内試験結果)

区分	弾性係数 E_{50} (kPa)	ポアソン比 ν	粘着力 c_d (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_d (°)
ケース2(粘性土)	7,500	0.32	17.5	29.7
ケース3(スラグ)	19,000	0.25	0.4	44.1
ケース4(混合土)	10,000	0.28	4.8	37.4

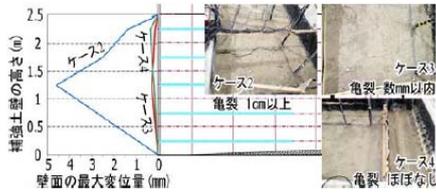


図-7 壁面の水平変位(はらみ出し)

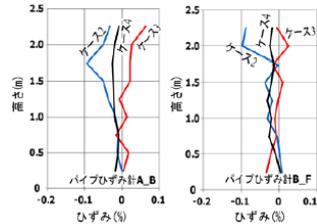


図-8 パイプひずみ分布図

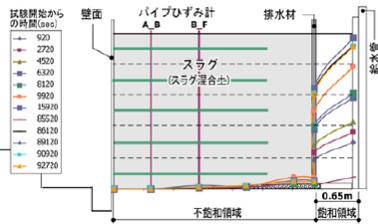


図-9 盛土内の浸潤線分布図(ケース3)

また、鉄鋼福産物である製鋼スラグは元来強いアルカリ性を有している。従って、本研究では、L型排水材の設置後に排出される浸透水のpHを測定して環境に及ぼす影響を検証した。粘性土を用いた場合の排出水のpHは10であり、スラグを用いた実験では11~11.6であった。L型排水材を設置にかかわらずpHが11以上検出された理由は、撒き出し時にスラグの微粉が下部の礫排水層に落ちた結果ではないかと考えられる(図-10)。この結果より、適切な防水工の採用と土材料と混合することによりスラグのアルカリ性の問題を解決できると考えられる。

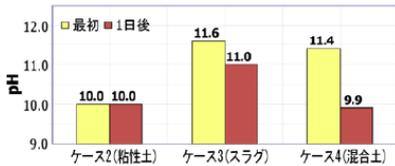


図-10. 地盤材料によるpHの経時変化

(4) 結論

今回、ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工を、補強土(テールアルメ)壁工法に適用し優れた効果を確認した。谷埋め盛土など背面側からの浸透水が懸念される箇所で有効に機能するものと思われる。また、東北地方太平洋沖地震では補強土壁面の一部が大変形した事例が報告されており、補強土壁盛土内への雨水浸透や排水不良が誘因として挙げられている。排水機能が健全な状態では震度6強~7の強震動観測地区であっても被災を免れており、防水効果の高い本工法の適用は巨大地震時にも有意と考えられる。

また、スラグおよびスラグ混合土を用いた土層の変位量が一般土を用いた場合より小さいこと、また、スラグ補強土壁(ケース3)の盛土造成時の締固め度80~85%程度で、補強土全体的な安全率が $F_s=1.6$ 以上(表-5)確保できた事実より、スラグ補強土壁が施工性に優れ、安全である。スラグ混合土も施工性、安全性に優れ、細粒分の多い不良土の改良にも十分な効果があり、pHの影響もない。

表-5 スラグ補強土の安全率

区分	上載荷重なし	上載荷重(20kPa)
ケース2(粘性土)	1.042	—
ケース3(スラグ)	1.652	1.419
ケース4(混合土)	1.289	1.089

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3件)

- ① 許晋碩, 澁谷啓, カルバートの実施工に伴うジオテキスタイル補強盛土の変状トラブルに関する事例研究, 第27回ジオシンセティックス論文集, 査読有, 27巻, 2012, 165-172
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jcigsjournal/27/0/_contents/-char/ja/
- ② 許晋碩, 澁谷啓, コンクリートカルバートの実施工に伴う変状の原因と対策に関する事例研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), 査読有, 68巻, 2012, I_361-I_372
http://www.jsce.or.jp/committee/amc/jam/jam_sympo.html
- ③ 白濟民, 許晋碩, 尾方武文, 金秉洙, 忠野祐介, 澁谷啓, 補強土におけるL型防水工の適用性に関する実験的研究, 財団法人建設工学研究所論文報告集, 査読有, 54巻, 2012, 123-134
<http://www.kensetsuk.or.jp/work/work6.html>

〔学会発表〕(計9件)

- ① 白濟民, 澁谷啓, 許晋碩, 尾方武文, 製鋼スラグを用いたテールアルメ擁壁の適用性に関する実物大盛土実験, 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム, (公益社団法人)地盤工学会関西支部, 2012年11月9日, 大阪, 2012, 111-118
- ② Hur, J.S. and Shibuya, S., Case study on a largely-deformed geotextile-reinforced soil retaining wall induced by recent heavy rainfall in Japan, 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics, 2012年9月10日, Bangkok, Thailand, 2012, 1027-1042
- ③ 忠野祐介, 澁谷啓, 金秉洙, 許晋碩, 白濟民, 尾方武文, 石川雅英, 森英一郎, 水田智幸, 市原明恵, ジオシンセティックを用いたL型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験(その1) - 大型土槽実験によるL型排水材の検証実験一, 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月16日, 八戸工業専門大学, 2012, 1323-1324
- ④ 尾方武文, 石川雅英, 本郷隆夫, 許晋碩, 金秉洙, 澁谷啓, ジオシンセティックを用いたL型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験(その2) - テールアルメにおけるL型排水材の効果について一, 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月16日, 八戸工業専門大学, 2012, 1325-1326
- ⑤ 許晋碩, 森英一郎, 水田智幸, 市原明恵, 尾方武文, 本郷隆夫, 澁谷啓, ジオシンセティックを用いたL型防水工の補強土壁への適用性に関する実物大盛土実験(その3) - スラグを用いた補強土壁の挙動について一, 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月16日, 八戸工業専門大学, 2012, 1327-1328
- ⑥ 三浦ミナミ, 忠野祐介, 河野祐斗, 澁谷啓, 藤原照幸, 岸本真輝, 松元弘昭, 山越陽介, 水田智幸, 鉄鋼スラグ材料を用いた浚渫粘性土の改良実験(室内配合試験), 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月15日, 八戸工業専門大学, 2012, 845-846
- ⑦ 藤原照幸, 澁谷啓, 河恩勁, 野並賢, 塚本登土, 岸本真輝, 森英一郎, 赤司有三, 水田智幸, 鉄鋼スラグ材料を用いた浚渫粘性土の改良実験(試験施工概要), 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月15日, 八戸工業専門大学, 2012, 843-844
- ⑧ 金秉洙, 中村努, 尾方武文, 澁谷啓, 一面せん断試験装置を用いた製鋼スラグ混合土とメタルストリップ補強材との摩擦特性の測定, 第47回地盤工学研究発表

会, 2012年7月14日, 八戸工業専門大学, 2012, 501-502

- ⑨ 白濟民, 金秉洙, 本郷隆夫, 澁谷啓, 製鋼スラグ混合土の透水・力学的特性に関する研究, 第47回地盤工学研究発表会, 2012年7月14日, 八戸工業専門大学, 2012, 541-542

〔図書〕(計0件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澁谷 啓 (SHIBUYA SATORU)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00206153

(2) 研究分担者

川口 貴之 (KAWAGUCHI TAKAYUKI)
北見工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20310964

鳥居 宣之 (TORII NOBUYUKI)
神戸市立工業高等専門学校・都市工学科・准教授
研究者番号: 70294246

(3) 連携研究者: なし