

平成21年6月4日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19360214
 研究課題名（和文） 豪雨・地震時における道路補強盛土安定性の総合評価システムの構築
 研究課題名（英文） Development of Engineering Practice for Evaluating Stability of Reinforced Earth
 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：

中越地震や能登半島地震で発生した地盤災害は、地下水位の高い盛土に集中していた。一方、豪雨による盛土崩壊も後を絶たない。兵庫県で発生した台風による補強土壁の崩壊事例では、雨水の浸入により盛土本体が弱体化したことに加えて、盛土背部で水位が急激に上昇し、補強土壁盛土全体が押し流された。この種の地盤災害軽減のためには、盛土内および周辺への雨水の浸入を決して許さないことが肝心である。本論文では、盛土を囲むようにジオシンセティック排水材をL型に配置し、鉛直に設置した排水材で受けた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水させる方法であるジオシンセティックを用いたL型排水盛土防水工を新たに提案した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：補強盛土，ジオシンセティックス，通水性能，信頼性解析，数値解析

1. 研究開始当初の背景

最近の雨の降り方は異常である。地震も多発している。そして、既存道路の補強盛土が豪雨や地震により損壊する事例が後を絶たない。研究代表者と共同研究者が中心となり、地盤工学会関西支部が主体となって、2004年10月に発生した台風23号による地盤災害調査を実施した結果、いわゆる片切・片盛施工による道路盛土の被害が圧倒的に多く、補強土工法による盛土の被害例も複数あった。兵庫県養父市で発生したテールアルメ壁工の崩壊現場では、最大高さ20mもある盛土が、一夜にしてすべり落ちた（写真参照）。図は、推定された崩壊のメカニズムである。豪雨に

伴い補強盛土内へ雨水が浸入すると同時に盛土背面にも雨水が滞水し、基礎地盤にすべり破壊が生じた。当該事例では、現行の補強土の設計・施工時の概要マニュアルに照らし合わせて、当該補強盛土の設計・施工上の瑕疵はなかったと判断された。故に、現行の設計・施工マニュアルに不備があると言わざるを得ない(Shibuya & Kawaguchi, ASCE 2005年)。

一方、中越地震においても地震による補強土の液状化によるテールアルメ壁工の被害が報告されている。豪雨・地震による崩壊危険度の高いこの種の道路補強盛土は全国に多数ある。

本申請では、つぎの3つの独立した研究テーマに関して、それぞれの研究分担者が独自に取り組んできた研究成果を発展させ、最終的にはこれらを融合してシステム化する。

2. 研究の目的

ア) 不飽和土の力学試験装置・方法の確立

研究代表者の澁谷 (Shibuya et al., Geotechnique 1997) および研究分担者の川口 (Shibuya, Koseki, Kawaguchi IS-Lyon Keynote Lecture 2003) は、すべり面上の土の強度定数を求めるための一面せん断試験装置・方法の開発に長年取り組んできた。

一方、研究分担者の加藤 (加藤ら、土木学会論文集 2003) は、不飽和土の室内せん断試験装置・方法の開発に取り組んできている。本申請では、澁谷・川口・加藤が知恵を出し合っ、不飽和地盤の崩壊を対象とした超低圧でのすべり破壊強度を正しく求めるための一面せん断試験装置を開発する。

(イ) 不飽和盛土地盤への雨水浸透解析法の確立

研究分担者の斉藤 (例えば、Saito et al.: 2003) は、不飽和土の間隙空気の圧縮を考慮した気液2相流の数値シミュレーション手法の開発に長年取り組んできている。降雨強度が大きい場合や、地盤の透水性・透気性が小さい場合には間隙空気の影響が無視できないことを明らかにしている。一方、研究分担者の河井 (例えば、河井ら、応用力学論文集 2004) は、不飽和浸透に伴う土の変形を考慮した解析法の開発に取り組んできている。本申請では、斉藤と河井が協力して、間隙空気の圧縮および土骨格の変形を考慮した不飽和浸透・変形プログラムを開発する。

(ウ) 不飽和地盤の動的安定解析法の確立

研究分担者の鳥居 (例えば、鳥居ら：土木学会論文集 2006) は、斜面すべりの残留変位量の簡易算定手法として最もよく用いられているニューマーク法に着目し、地震時に発生する過剰間隙水圧の影響を考慮した新たな修正ニューマーク法を提案している。本申請では、実験から得られるピーク強度発現から残留状態に至るまでの不飽和土の軟化特性を考慮した修正解析手法の提案を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、実験、解析および試験盛土 (実物大実験) の3本柱で構成される。

(1) 室内せん断試験装置および表面波探査に関する研究開発 (澁谷, 加藤, 川口)

補強盛土の変形・安定性の評価のために必要となる地山を含む盛土周辺の力学情報を得るために、風化岩堆積土 (まさ土等) の力学諸特性 (ピーク強度、残留強度、サクシオン～水分特性曲線関係、せん断弾性係数) を測定するための一面せん断試験装置・方法の研

究開発を行う。また、一面せん断試験装置に土のサクシオン測定機能を付加することにより不飽和状態にある風化岩堆積土の試験の実施を可能にする。さらに、事例研究の実施により、不飽和地盤の浸透・安定解析に必要な地盤の力学情報を迅速に精度良く求める手法としての適用性も検討する。

また、盛土の施工管理 (あるいは維持管理) の新手法として、非破壊探査法の一つである表面波探査法を導入する。この探査法から得られるせん断弾性波速度 V_s 分布と室内試験での V_s の測定結果を併せて、盛土内および周辺地盤の (V_s の分布) → (サクシオン分布) → (変形・強度特性の推定) を試みる。

(2) 地盤の浸透・安定解析法に関する研究開発 (澁谷, 加藤, 齋藤, 鳥居, 河井)

豪雨時における補強盛土の周辺地盤への雨水浸透を評価あるいは予測するために、土中に存在する空気の圧縮および土骨格の両方変形を考慮した不飽和地盤の浸透解析プログラムの研究開発を行う。風化岩堆積土であるまさ土を対象として、不飽和地盤の浸透解析プログラムおよび斜面安定解析プログラムの構築ならびに高精度化を図るとともに、実験・調査法の研究開発と連動した地盤パラメータ選定の最適化を図ることにより、プログラムの一般性および汎用性を高める。

(3) 地震時の斜面安定解析プログラムの開発 (澁谷, 鳥居)

地震後に残留する変位量に着目し、その大小により斜面の安定性を評価する手法に着目した斜面安定解析プログラムの研究開発を実施する。地震時に発生する過剰間隙水圧の影響およびピーク強度発現から残留状態に至るまでの軟化特性を考慮した精度の高い盛土斜面の安定性の評価および予測が期待され、実験・調査による実測値を反映した汎用性の高いプログラムを構築する。

本研究では、風化岩堆積土であるまさ土を対象として、不飽和地盤の浸透解析プログラムおよび斜面安定解析プログラムの構築ならびに高精度化を図るとともに、実験・調査法の研究開発と連動した地盤パラメータ選定の最適化を図ることにより、プログラムの一般性および汎用性を高める。

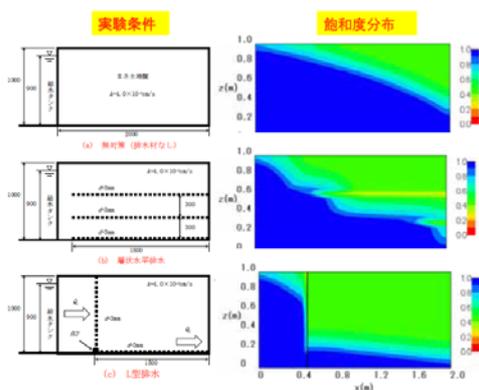
(4) 実物大実験 (試験盛土) (全員)

兵庫県北部地方のテールアルメ補強盛土崩壊事例に対して、一連の調査・実験・解析手法を適用し、提案手法の妥当性を吟味するとともに、試験盛土を築造し、降雨実験を実施して解析手法の妥当性を検討する。

4. 研究成果

科研基盤研究 B: 「豪雨・地震時における道路補強盛土の安定性の総合評価システムの構築」 (研究代表者: 澁谷啓, H19-20 年) の最終段階で、「L型排水盛土防水工」を着想す

るに至った(澁谷ら, 2008). 研究目的で述べたように, 豪雨や地震に強い盛土にとっての必要条件は, 盛土内への浸透水の侵入を許さないことである. 「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ックス等の排水材を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. 下の写真と図は, それぞれ土槽(長さ2m, 高さ1m, 奥行き0.5m)内にジオシンセティックスL字型に配置した浸透実験の様子と数値シミュレーションの結果である. 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.



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8件)

- ① 末永清冬, 澁谷 啓, 長谷川憲孝, 南部光弘, 山口潤: 地盤沈下計測システムによる埋立時の盛土圧縮量計測方法, 土木学会論文集C (登載決定) 査読有
- ② MinSu JUNG, 澁谷 啓: 神戸空港海底粘土の非排水せん断挙動における異方性及び時間効果, 土木学会論文集C (登載決定) 査読有
- ③ 川尻峻三, 澁谷啓, 川口貴之, 鳥居宣之: 現場調査および室内試験による砂

丘斜面の安定性評価, 地盤工学ジャーナル (採択済み) 査読有

- ④ 川尻峻三, 加藤正司, 川口貴之, 澁谷啓: ベンダーエレメントによる不飽和土のせん断弾性係数 G の評価, 応用力学論文集, 11, pp.453-442, 2008. 査読有
- ⑤ 澁谷 啓: 盛土崩壊のメカニズムと対策工, ジオシンセティックス論文集, 23, pp.1-13, 2008. 査読有
- ⑥ 三井仁哉, 原健二, 三宗桂司, 蔡鍾吉, 澁谷啓: 面内方向通水性能試験装置を用いたジオシンセティックス排水材の土中での通水性能評価, ジオシンセティックス論文集, 23, pp.51-58, 2008. 査読有
- ⑦ 澁谷 啓, 齋藤雅彦, 原健二, 榎尾孝之: ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工—数値シミュレーションと模型実験による評価—, ジオシンセティックス論文集, 23, pp.139-146, 2008. 査読有
- ⑧ 原健二, 澁谷 啓, 齋藤雅彦, 鳥居宣之, 蔡鍾吉, 榎尾孝之: ジオシンセティックスを用いたL型排水盛土防水工—実物大実験による評価—, ジオシンセティックス論文集, 23, pp.147-154, 2008. 査読有

[学会発表] (計11件)

- ① Lohani T.N., Shibuya, S., T. Fujiwara, T. & Iwasaki, Y.: Stiffness Characteristics of Quick Clays in Osaka Bay, *Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.153-157, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ② Jung, M. S., Shibuya, S. and Chae, J.G.: Shear rate effects on undrained behavior of natural sedimentary clay at Kobe Airport,

- Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.437-443, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ③ Shibuya, S. and Jung, M. S. : Simulating rate-dependent stress-strain behaviour of natural clay in undrained triaxial test, *Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.461-466, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ④ Kawaguchi, T., Yamashita, S., Kawajiri, S., Kataoka, S., Shibuya, S. : Inherent and induced anisotropy of three natural sedimentary clays reflecting on the elastic shear modulus, *Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.575-579, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ⑤ Kato, S., Shibuya, S., Kim, B.Y., Chae, J.G., Lohani T.N. : Measurement of shear modulus for unsaturated silt under one dimensional consolidation state, *Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.153-157, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ⑥ Fujiwara, T., Shibuya, S., Lohani T.N., Takayama, K., Hasegawa, N.: Strain-rate-dependent compressibility of a Pleistocene clay layer subjected to land reclamation in Kobe, *Proc. of the 4th International Conference on Deformation Characteristics of Geomaterials*, pp.445-451, 2008.9.22-24, Atlanta.
- ⑦ Saito, M., Shibuya, S., Mitsui, J. and Hara, K. : L-shaped geodrain in embankment -model test and numerical simulation-, *Proc. of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*, pp.428-433, 2008.4.1-4, Shang-hai.
- ⑧ Saito, M., Shibuya, S., Mitsui, J. and Hara, K. : In-soil sydraulic transmissivity of geosynthetic drains in the laboratory, *Proc. of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics*, pp.434-439, 2008.4.1-4, Shang-hai.
- ⑨ Chae, J-G., Shibuya, S. and Tanaka, Y. : Reliability analysis for settlement of offshore Kobe airport island constructed by reclamation, *Proc. of the third International Conference on Site Characterization (ISC3)* , CD-ROM , 2008.4.1-4, Taipei.
- ⑩ Ikejiri, K., Chae, J-G., Tsuno, S. And Shibuya, S. : Evaluating stability of inactive soft rock slope by in-situ and laboratory tests, *Proc. of the third International Conference on Site Characterization (ISC3)* , CD-ROM , 2008.4.1-4, Taipei
- ⑪ Fujiwara, T., Shibuya, S., Takayama, K., Kawaguchi, T. and Hasegawa, N. : Strain-rate dependent yielding of Pleistocene clay subjected to one-dimensional compression, *Proc. of the third International Conference on Site Characterization (ISC3)* , CD-ROM , 2008.4.1-4, Taipei
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
 加藤 正司 (KATO SHOJI)
 神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10204471

鳥居 宣之 (TORII NOBUYUKI)

神戸大学・都市安全研究センター・助教

研究者番号：70294246

河井 克之 (KAWAI KATSUYUKI)

神戸大学・都市安全研究センター・助教

研究者番号：30304132

川口 貴之 (KAWAGUCHI TAKAYUKI)

函館工業高等専門学校・環境都市工学科・准

教授

研究者番号：20310964

齋藤 雅彦 (SAITO MASAHIKO)

神戸大学・都市安全研究センター・助教

研究者番号：40283915

(3)連携研究者

なし