

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：12608
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760440
 研究課題名（和文） 内部浸食による劣化を考慮した既設盛土の耐震性能評価法の提案
 研究課題名（英文） On the seismic performance of existing embankment deteriorated by internal erosion
 研究代表者
 高橋 章浩 (Takahashi Akihiro)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：40293047

研究成果の概要（和文）：

本研究は、内部浸食による盛土の劣化を考慮した既設盛土の耐震性能評価法を提案することを目標に、浸透流による土の細粒分の流失（内部浸食）による土の変形・強度特性の変化をせん断試験により調べると共に、内部浸食により地盤内に形成されたパイプや内部浸食による細粒分の流失が引き起こす盛土の安定性低下についても模型浸透・振動実験や数値解析により調べた。

研究成果の概要（英文）：

To investigate impact of internal erosion on seismic performance of existing embankment, shearing resistance of internally eroded soils is examined using newly developed triaxial cell and seismic stability of internally eroded embankments is also examined by means of physical model tests and numerical analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：内部浸食，盛土，耐震

1. 研究開始当初の背景

山間部における谷埋め盛土の地震による大規模な変状は、排水不良等により盛土内の地下水面が高くなっていたことにより液状化に似た現象が盛土内で発生したことが原因であるとされている。2007年の能登半島地震では、能登有料道路において谷埋め盛土（特に片盛土）の大規模崩壊が多数見られ、地震後、無被害箇所も含めた大規模な調査が行われた。調査結果によれば、大規模崩壊が生じた箇所では地下水面が高かったと推定され、地震後に湧水も確認されている。これらより、被災した盛土では地震時に盛土内で液状化が発生する条件が整っていたとも考えられるが、実際には盛土材の液状化強度は

大きく、また、緩い砂のように繰返しせん断中に急激にひずみが増加するような現象は室内試験において見られなかったことから、高地下水面による盛土材の液状化だけでは、盛土の地震時大規模被害を説明できないと考えられる。

同じく斜面を有するダムや自然斜面では、浸透水による内部浸食により、土の細粒分が流失したり、地盤内にパイプ流が形成されたりといった現象が見られる。斜面の安定という観点からすれば、前者については、細粒分の流失により土の圧縮性が増すこと等により、液状化強度が低下し、地震時に斜面を不安定にする可能性がある。後者については、パイプが排水孔としての機能を果たせる範

囲の流量であれば、パイプの形成はむしろ歓迎すべき現象であるが、その容量を超えた水流の供給があったり、排水口の閉塞があったりする場合は、降雨時や地震時に法尻付近の過剰な水圧上昇を引き起こし、斜面を不安定にする要因となり得る。即ち、浸透水による内部浸食は地震時の斜面の被災ポテンシャルを高めている可能性がある。

谷埋め盛土のような土構造物においても、地山付近の盛土内（盛土下部）において上記のような内部浸食が発生している可能性がある。都市間を結ぶ幹線道路の山間部区間には、谷埋め盛土が多数存在するが、そのような盛土が地震時に大規模変状を呈してしまうと、震災直後の緊急物資の輸送やその後の復旧・復興を遅延させることとなるため、震前の点検・診断・対策が重要となる。しかし、これまでの内部浸食に対する土構造物や自然斜面の安定性に関する研究は、主に水をためる機能を有するダムや堤防では貯水・洪水時、自然斜面では降雨時に発生する浸透流に起因する破壊に関するものがほとんどで、浸透の結果生じた内部浸食が、盛土の地震時安定性に与える影響について検討しているものは見当たらない。

内部浸食による細粒分流失については、ダムや堤防の適切なフィルター材の粒度設定という観点等からの研究は多く行われているが、そのようなフィルター材が設置されておらず、細粒分が流出する（若しくは、流失してしまった）ことによる土の変形・強度特性の変化については、ほとんど研究例がない。また、内部浸食等によって地盤内に形成されたパイプの土中水移動のバイパスとしての効果は、地震時の水圧分布を多孔質媒体として土をモデル化した場合と異なるものになると想定されるが、具体的にその効果を確認した例はない（特に、排水孔が閉塞されている、排水孔として機能しない場合）。

従来の土質力学の枠組みで説明できない盛土の地震時大規模変状は、上記のような内部浸食に起因する局所的な土の物性・状態の変化（細粒分流失）や土中水移動経路の形成（パイプ）等が原因となっていると考えられる。震前の盛土の耐震点検・診断にあたっては、これらの効果についても考慮する（若しくは、その影響度を把握しておく）必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、土中水の移動に伴う内部浸食による盛土の劣化を考慮した既設盛土の耐震性能評価法提案に資する知見を得ることを目的とする。内部浸食には様々なモードがあり、時間（浸食量）とともにその形態は変化するが、ここでは、特に、(1) 浸透流による土の細粒分の流失と、(2) 内部浸食により地

盤内に形成されたパイプに着目し、前者による土の変形・強度特性の変化と盛土の安定性低下、後者による土中水移動のバイパス効果が、地震時の盛土の変形・安定性に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

浸透流による土の細粒分の流失とそれに伴う土の変形・強度特性の変化については、初期粒度分布等をパラメータとして、浸透流により細粒分流失させた土試料を作成し、これに対して排水・非排水せん断試験を実施することにより、細粒分流失による土の変形・強度特性の変化を調べると共に、同現象による盛土の安定性低下についても模型浸透・振動実験の実施により調べた。

内部浸食により地盤内に形成されたパイプによる土中水移動のバイパス効果が、地震時の盛土の変形・安定性に与える影響については、内部浸食により形成されたパイプを有する谷埋め盛土を対象とした数値解析により調べた。

4. 研究成果

(1) 細粒分流失による土の強度の変化

浸透流により細粒分流出させた土の強度特性を調べるため、土試料への浸透流の付与と流出した細粒分を回収・計量ができ、その後、除荷することなくせん断試験を実施できる三軸試験装置を開発した（図1）。

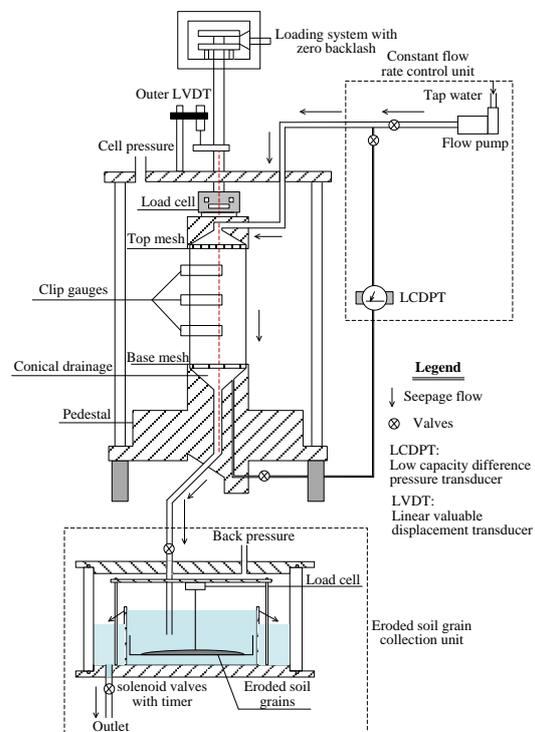
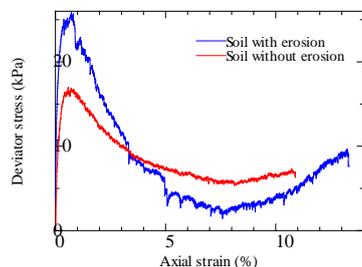
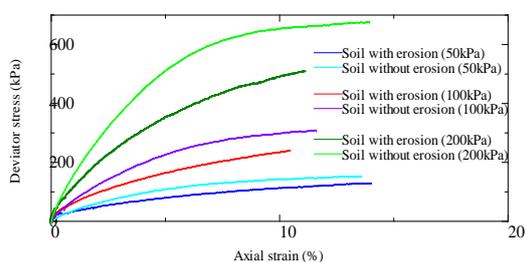


図1: 新たに開発した三軸試験装置の概要

この装置を用いて実施した、典型的な非排水せん断試験結果、並びに、排水せん断試験結果を図 2 に示す。今回実験に用いた土では、非排水せん断強度は、内部浸食によって必ずしも減少しないが、排水せん断試験においては、明確な強度低下が確認できた。



(a) 排水せん断試験結果



(b) 排水せん断試験結果

図 2 : せん断試験結果の例 (細粒分 = 35%)

(2) 細粒分流失による盛土の安定性低下

浸透流により細粒分を流出させた盛土模型に対して振動実験を行い、細粒分流失による盛土の安定性変化について調べた。その結果、初期細粒分含有率や流出細粒分量によって、盛土の地震時安定性が変化することが明らかとなった。

(3) 内部浸食によるパイプのバイパス効果

内部浸食により盛土内に形成されるパイプは、盛土内水の排水を促進し、斜面安定化に寄与する可能性があるが、何らかの理由によりパイプ内に閉塞が生じ、排水機能がなくなった場合、局所的な間隙水圧の上昇を招き、斜面を不安定化させる可能性がある。本研究では、パイプの下流端が、何らかの理由で閉塞された場合、それが盛土の地震時安定性に与える影響について、土水連成有限要素解析により調べた。

パイプの下流端が閉塞している場合、図 3 や図 4 に示すように、盛土下端において地震時に過剰間隙水圧の局所の上昇が生じる (パイプの下流端が閉塞していない場合を Case 0、閉塞している場合を Case 1 とする)。このような法尻部における過剰間隙水圧の上昇は、盛土の不安定化を引き起こす主要因と成り得るが、今回の研究の範囲内では、このような水圧分布の差が、必ずしも盛土の変形量の

差となって現れないことを示した。

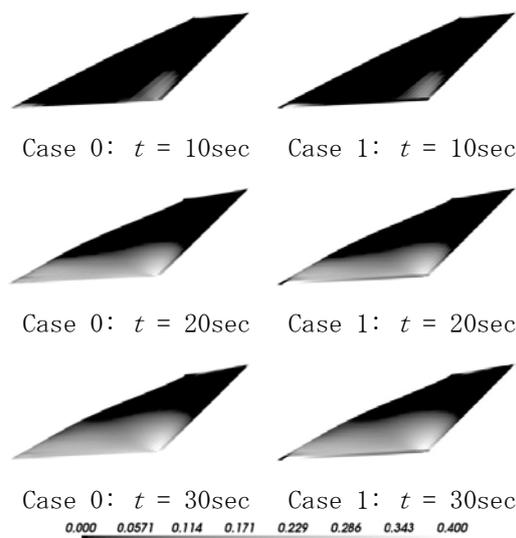


図 3 : 過剰間隙水圧比分布の時間変化

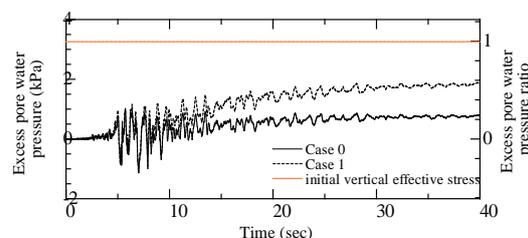


図 4 : 法尻部における過剰間隙水圧の時刻歴

上記のような内部浸食による地盤構造物の劣化を災害発生以前に把握していることは稀であることと、地震等による地盤構造物の破壊は、その痕跡を消し去ってしまうことから、内部浸食による地盤構造物の劣化が、被害を拡大した主たる原因であるという確固たる証拠が示された例はない。本研究により、少なくともその可能性が示されたことは大きな成果であると考えられる。

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 2 件)

- ① A.Takahashi, Effects of horizontal drainage layer for seepage control on mitigation of liquefaction of levee body, *Journal of Disaster Research*, Vol. 7, No. 6, 733-738, 2012. (査読あり)
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=DSSSTR000700060008.xml>
- ② L.Ke & A.Takahashi, Strength reduction of

cohesionless soil due to internal erosion induced by one-dimensional upward seepage flow, *Soils and Foundations*, Vol. 52, No. 4, 698-711, 2012. (査読あり)
DOI: 10.1016/j.sandf.2012.07.010

〔学会発表〕 (計 14 件)

- ① L.Ke & A.Takahashi, Effects of internal erosion on cyclic resistance of gap-graded cohesionless soil, *10th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, 2013/03/1-2, Tokyo.
- ② K.Horikoshi, L.Ke & A.Takahashi, Basic physical model test on seismic performance of fill deteriorated by suffusion, *10th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, 2013/03/01-02, Tokyo.
- ③ 堀越一輝, 柯琳, 関栄, 高橋章浩, 細粒分流出に伴う盛土の不安定化に関する実験, 第 9 回地盤工学会関東支部発表会, 2012/10/05, 東京.
- ④ 堀越一輝, 柯琳, 高橋章浩, 細粒分流出に起因する盛土構造物の不安定化に関する実験的検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012/09/05-07, 名古屋.
- ⑤ L.Ke, K.Horikoshi & A.Takahashi, A newly developed triaxial apparatus for internal erosion tests, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012/09/05-07, 名古屋.
- ⑥ L.Ke & A.Takahashi, Influence of internal erosion on deformation and strength of gap-graded non-cohesive soil, *6th International Conference on Scour and Erosion*, 2012/08/29-31, Paris, France.
- ⑦ K.Horikoshi, L.Ke, & A.Takahashi, Physical modeling tests on the slope destabilization induced by internal erosion, *6th International Conference on Scour and Erosion*, 2012/08/29-31, Paris, France.
- ⑧ 堀越一輝, 柯琳, 関栄, 高橋章浩, 地下水

浸透による盛土の細粒分流出に関する実験的研究, 第 47 回地盤工学研究発表会, 2012/07/14-16, 八戸.

- ⑨ A.Takahashi, Effects of horizontal drainage layer for seepage control on mitigation of liquefaction of levee body, *9th International Conference on Urban Earthquake Engineering*, 2012/03/06-08, Tokyo.
- ⑩ K.Horikoshi, L.Ke & A.Takahashi, Physical model tests on seepage-induced internal erosion, *4th AUN/SEED-NET Regional Conference on Global Environment and Seminar of NRCT-JSPS Asian Core Program*, 2012/01/18-19, Bangkok, Thailand.
- ⑪ L.Ke & A.Takahashi, Strength reduction of gap-graded cohesionless soil due to internal erosion, *5th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils*, 2011/11/14-16, Pattaya, Thailand.
- ⑫ L.Ke, A.Takahashi & S.Seki, One-dimensional upward seepage tests on gap-graded cohesionless soil, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011/09/07-09, 松山.
- ⑬ L.Ke, S.Seki, A.Takahashi, Experimental study on strength reduction of cohesionless soil due to internal erosion, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011/07/05-07, 神戸.
- ⑭ 武田正太郎, 竹山智英, 高橋章浩, パイプの存在が盛土の地震時安定性に与える影響, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011/07/05-07, 神戸.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 章浩 (Takahashi Akihiro)
東京工業大学・大学院理工学研究科・
准教授
研究者番号 : 40293047