

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560594

研究課題名(和文) 駿河湾の地震(2009年8月)による東名牧之原地区における盛土崩壊事故の事後解析

研究課題名(英文) Post-mortem analysis of the embankment failure at Makinohara of Tomei Expressway induced by Surugawan Earthquake (Aug. 2009)

研究代表者

太田 秀樹(Ohta, Hideki)

中央大学・研究開発機構・機構教授

研究者番号：80026187

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：降雨後の駿河湾地震(2009年8月)で崩壊した東名高速道路牧之原盛土の盛土材料を実験に供したうえで現場データと比較照合したところ、現場で崩壊せずに残った盛土がおおむね1200kPa程度の定体積せん断強度を持っていたと判断された。崩壊した盛土の強度が120kPa程度であったことが分かっているから、崩壊した盛土は水がしみ込んで泥濘上になり強度が120kPa程度にまで低下していたと推定できる。永年の浸水による盛土の劣化・強度喪失のメカニズムを一連の実験によって推定したところ、崩壊前後の現場状況と定量的に整合し力学的に妥当と思われる結果がえられ、水による盛土の経年劣化機構が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Comparing the laboratory test data with the in-situ dry density and moisture content, it was concluded that constant volume shear strength of the fill which did not fail during the Surugawan earthquake (Aug. 2009) was about 1,200kPa while the strength of the fill which failed during the earthquake was estimated to be about 120kPa based on the back-calculation. The possible mechanism of this reduction of the shear strength of the fill material, at Makinohara, Tomei Expressway, caused by a long-term in filtration of the water was quantitatively clarified by the overall observation at the site together with a series of laboratory tests on the fill material.

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：土質力学 斜面崩壊 締固め 盛土

1. 研究開始当初の背景

2009年8月に発生した駿河湾の地震により、東名高速道路の静岡県牧が原地区における盛土が崩壊した事例を研究対象として取り上げている。事故発生によりお盆の交通ラッシュがさらに混乱し、ニュースとして話題になった事例である。

2. 研究の目的

現場での崩壊土砂は長靴でも歩けないほどの泥土状態であったが、崩壊せずに残った盛土部分はしっかりと締固まっており、両者の差が際立っていた。実際に崩壊した時点での盛土の強度がいくらであったのか、この問題を探求すべく数年にわたって研究を続けてきた。

3. 研究の方法

研究を次の2段階に分けて実施した。

(A) 崩壊盛土が崩壊時に保有していたせん断抵抗力の推定

被災前の航空写真(2008年撮影)と被災直後の写真を比較することによって、盛土の崩壊が、下部のり面(側道下のり面)の崩壊と、それによって誘発された上部のり面の崩壊の2段階で発生したと推定した。地震時に発生したと考えられる水平加速度と鉛直加速度の範囲を1000galまでと仮定し、実際には上部が礫質土で下部が粘性土であった盛土材料が計算上は均質一様であると仮定している。

(B) 盛土材料の圧密締固め-強度特性に基づく盛土の経年劣化機構の推定

降雨後の地震で崩壊した東名高速道路牧の原盛土の盛土材料を、圧密締固め-定体積単純せん断試験に供した。採取した盛土材から2mm以上の礫分を取り除いたあと、試料を5種類の含水比に調整して圧密締固め-定体積単純せん断試験に供した。圧密試験機や単純せん断試験機といった実験装置のサイズが限定されているから、本研究では2mm以上の礫分を除去して使用している。

4. 研究成果

被災前の航空写真(2008年撮影)と被災直後の写真を比較することによって、盛土の崩壊が、下部のり面(側道下のり面)の崩壊と、それによって誘発された上部のり面の崩壊の2段階で発生したと推定されている。その概略を示したのが、図-1の上図である。それぞれの推定すべり面に対して安定解析をした結果が、図-1下図である。

馬の背状の基盤岩のうえに鞍状の盛土が覆いかぶさっている現場の地震時応答を推定した結果を参考に、水平加速度と鉛直加速度が最大で770galと570gal程度であったと推定した。これに基づく安定解析によれば、盛土崩壊時に盛土が保持していたせん断抵抗 s_u が、粘着力換算で120kPa程度であったと概

算された。

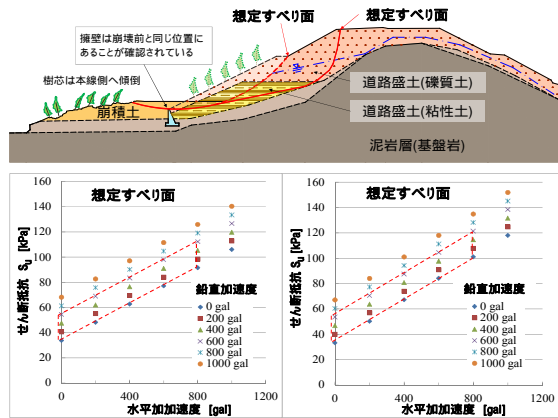


図-1 推定すべり面と崩壊時の盛土の強度 s_u

降雨後の地震で崩壊した東名高速道路牧の原盛土の盛土材料を、圧密締固め-定体積単純せん断試験に供した。採取した盛土材から2mm以上の礫分を取り除いたあと、試料を5種類の含水比に調整して圧密締固め-定体積単純せん断試験に供した。盛土材料を力学試験に供する場合、圧密試験機や単純せん断試験機といった実験装置のサイズが限定されているから、それに適合したサイズの粒径に調整する目的で、2mm以上の礫分を除去して使用している。

当然乾燥密度・間隙比・含水比・透水係数といった値が、現場での盛土材料とは違う値になるのであるが、透水係数以外は福本ら(1998)の方法を用いて粒径補正したうえで現場データと比較照合している。有名なWalker-Holtzの方法とくらべると、福本らの粒径補正法の方が信頼性が高いことを確認している。

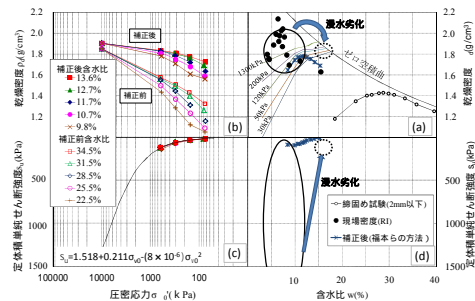


図-2 推定した盛土の浸水劣化機構

図-2(b)において任意の圧密応力を選ぶと、それに対応する乾燥密度-含水比の組み合わせが5組得られる。この5組の試料を定体積単純せん断に供すると、図-2(c)に示すようにせん断強度が圧密応力の関数となった。

この関係を用いて、図-2(a) に等せん断強度線を描くことができる。現場で崩壊し残った盛土の含水比と乾燥密度を RI で測った結果が、図-2(a) にプロットしてある。おおむね 1300kPa 程度以上の定体積せん断強度を持っていると見てよいから、崩壊しなかった盛土は前述した盛土の必要せん断抵抗の 10 倍以上の強度を有していたといえる。崩壊した盛土は水がしみ込んで泥濘上になっていたからほぼ飽和状態であったと考えられ、その強度が前述のように 120kPa 程度であったと思われるから、水の浸透によって含水比が増加し乾燥密度が低下したのであろう。すなわち図-2(a) のプロットで示される現場の状況が、永年の浸水によって矢印のように変化したのであろうと推測される。乾燥密度の微小な減少が、強度の大幅な減少につながっている。研究代表者らにとってこの結果は意外であったから、今後も慎重に検討を進めていきたい。

結論：

永年の浸水による盛土の劣化・強度喪失のメカニズムを一連の実験によって推定したところ、崩壊前後の現場状況と定量的に整合し力学的に妥当と思われる結果がえられ、水による盛土の経年劣化機構が明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

- 1) 平田昌史, 飯塚敦, 太田秀樹: 二次圧密による先行効果を考慮した弾・粘塑性構成モデルの拡張. 土木学会論文集 C (地盤工学), Vol. 69, No. 4, DOI 10.2208/jscejge.69.404, 404-416, 2013, 査読有
- 2) 高倉功樹, 原 満生, 西尾 経, 齋藤邦夫: 残置既製杭の破碎と地盤改良の同時施工を可能とする新しい深層混合処理工法 エポコラム -Taf 工法, 土と基礎, Vol.61, No.3, 2013, http://ci.nii.ac.jp/els/110009596369.pdf?id=ART0010054719&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1402290108&cp, 26-27, 査読有
- 3) 石井武司, 齋藤邦夫: 連続地中壁の施工時における隅角部溝壁の安定評価手法, 建設機械, Vol.49, No.11, 2013, 56-61, 査読有
- 4) 齋藤邦夫, 西尾 経, 竹田敏彦, 高倉功樹: 複合相対攪拌翼による残置 PC 杭破碎と地盤改良工の同時施工攪拌機構と施工事例, 第 10 回地盤改良シンポジウム論文集, 2012, 35-38, 査読有
- 5) 辻慎一朗, 竜田尚希, 石垣勉, 太田秀樹: ジオグリッドを用いたアスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法に関する現場実験, ジオシンセティックス論文集, 第 27 巻, 2012, DOI 10.5030/jcigsjournal.27.89, 89-92, 査読有
- 6) Watabe, Y., Yamada, K. and Saitoh, K.: Hydraulic conductivity and compressibility of mixtures of Nagoya clay with sand or bentonite, Geotechnique, Vol. 61, No. 3, DOI 10.1680/geot.8.P.087, 2011, 211-219, 査読有
- 7) 鈴木孝一, 西尾 経, 田中信哉, 原 満生, 高倉功樹, 齋藤邦夫: エポコラム-Taf 工法 - 残置杭破碎工と地盤改良工の同時施工 -, 建設機械, No.557, Vol.47, No.7, 2011, 60-66, 査読有
- 8) Honda, M., Ohno, S., Iizuka, A., Kawai, K. and Ohta, H.: Theoretical Evaluation of the Mechanical Behavior of Unstaturated Soils; Geotech Geo1 Eng Vol.29, 2011, DOI 10.1007/s10706-010-9340-6, 171-180, 査読有
- 9) 鈴木孝一, 古澤政夫, 蓮香朋宏, 齋藤邦夫: 複合相対攪拌翼を用いた深層混合処理工法の改良原理と適用事例, 材料学会論文集, Vol.59, No.1, 2010, DOI 10.2472/jsms.59.32, 32-37, 査読有
- 10) 中村洋丈, 横田聖哉, 菅浩一, 安田進, 太田秀樹: 東名牧之原地区における盛土のり面災害の動的変形特性; 第 55 回地盤工学シンポジウム, 2010, 205-212, 査読有
- 11) 阿部文彦, 菅浩一, 石田誠幸, 浜井邦彦, 山田宏, 杉江茂彦, 西田憲司, 太田秀樹: 東名牧之原地区における盛土のり面災害の復旧工事; 第 55 回地盤工学シンポジウム, 2010, 197-204, 査読有
- 12) 高木宗男, 横田聖也, 菅浩一, 安田進, 太田秀樹: 東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態, 第 55 回地盤工学シンポジウム, 2010, 193-196, 査読有
- 13) 王宗建, 竜田尚希, 服部浩崇, 辻慎一朗, 太田秀樹: 岩手・宮城内陸地震における二重構造を有する補強土壁の被害と補修工事; 第 55 回地盤工学シンポジウム, 2010, 179-184, 査読有
- 14) 太田秀樹, 内田善久, 藤山哲雄, 荒井幸夫, 石垣勉, 竜田尚希, 林雄介: 招待論文 締固め地盤材料の構造部材としての工学的応用の可能性; 土木学会論文集 C Vol.66 No.4, 2010, DOI 10.2208/jscejc.66.757, 757-775, 査読有
- 15) Pipatpongsa, T., Heng, S., Iizuka, A. and Ohta, H.: Statics of Loose Triangular Embankment under Nadai's Sand Hill Analogy; Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.58, Elsevier, 2010, DOI 10.1016/j.jmps.2010.07.013, 1506-1523,

査読有

- 16) Ohta, H., Pipatpongsa, T., Heng, S., Yokota, S. and Takemoto, M.: Significance of Saturated Cays Seams for the Stability of Rainfall-Induced Landslides; Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol.69, Issue 1, 2010, DOI 10.1007/s10064-009-0246-6, 71-87, 査読有

〔学会発表〕(計9件)

- 1) Ohta, H., Ishigaki, T. and Tatta, N.: Retrofit technique for asphalt concrete pavements after seismic damage, N., Proc. 18th Int. Conf. Soil Mech. and Geotechnical Engineering, 1333-1336, 2013.9.2-6 (Paris)
- 2) 木村勝, 石垣勉, 横田聖也, 藤岡一頼, 阿部文彦, 飯塚敦, 齋藤邦夫, 太田秀樹: 東名牧の原崩壊盛土材料の締固め - 定体積単純せん断強度特性; 第48回地盤工学研究発表会講演論文集, 481-482, 2013.7.23-26 (富山)
- 3) 木村勝・石垣勉・横田聖也・飯塚敦・齋藤邦夫・太田秀樹: 東名牧の原崩壊盛土材の締固め強度特性, 第47回地盤工学研究発表会講演論文集, 253-254, 2012.7.14-16 (八戸)
- 4) Ohta, H., Ishigaki, T. and Tatta, N.: Keynote lecture: Asphalt pavement using confined-reinforced earth, Int. Symp. Sustainable Geosynthetics and Green Technology for Climate Changes, 1-7, 2012.6.20-21 (Bangkok)
- 5) Tomida, N., Sato, N., Soda, H., Jikan, S., Ohmori, K. and Ohta, H.: Estimation of rockfill dam behavior during impounding by elasto-plastic model, Dams and Reservoirs under Changing Challenges, 27-34, 2011.6.1-6 (Lucern)
- 6) Ohta, H.: Slope failures and debris flows; Forum on Large Scale Combined Hazards in Coastal Urban Areas -3rd Domestic meeting of TC303-, 2011.3.17-18 (京都)
- 7) Heng, S., Pipatpongsa, T., Mungpayabal, N. and Ohta, H.: Basic Parameters of Clay Seam in a Bedding Shear Zone of the Mae Moh Open-pit Mine of the Thailand; Proc. of the 12th International Summer Symposium, JSCE, 175-178, 2010.9.18 (船橋)
- 8) Pipatpongsa, T., Heng, S., Ohta, H. and Takeyama, T.: Analysis of Groundwater Influence and Destabilized Mechanisms of the Guinsaugon Rockslide; Proc. of the 17th Southeast Asian Geotechnical Conference, Vol.1, 307-310, 2010.4.10-13 (Taipei, Taiwan)
- 9) Heng, S., Ohta, H., Pipatpongsa, T., Takemoto, M. and Yokota, S.: Constant-Volume Direct Box-Shear Test on Clay Seam Materials; Proc. of the 17th Southeast Asian Geotechnical Conference, Vol.1, 83-87, 2010.4.10-13 (Taipei, Taiwan)

〔図書〕(計12件)

- 1) Hideki Ohta, Susumu Iai, Yukihiro Nishida, Shu Morioka, and Atsushi Iizuka: Chapter 1 Tsunami Induced by 2011 Tohoku-Pacific Ocean Earthquake and a Possible Renewal Plan, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 3-18, 2013
- 2) M. Hirata, A. Iizuka, H. Ohta, T. Yamakami, Y. Yokota and Koji Ohmori: Chapter 7 Numerical simulation of soil structure reinforced by geosynthetics, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 95-114, 2013
- 3) K. Matsumoto, A. Kobayashi, and H. Ohta: Chapter 8 Deformation prediction of a structure placed on soft clay in Tokyo Bay affected by heavy deep well pumping, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 115-130, 2013
- 4) T. Fujiyama, T. Ishiguro, Y. Uchita, and H. Ohta: Chapter 9 Elasto-plastic FEM analysis and safety evaluation of large rockfill dams during reservoir filling, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 131-148, 2013
- 5) S. Sugie, H. Ohta, and A. Iizuka: Chapter 10 Three dimensional soil/water

- coupled analysis of reverse concreting excavation work, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 149-162, 2013
- 6) M. Hirata, A. Iizuka, H. Ohta, T. Fujiyama, and T. Takeyama: Chapter 11 Spatial discretization of a water head in soil-water coupled Finite Element Method analysis using the hybrid-type penalty method, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 163-180, 2013
- 7) T. Pipatpongsa and H. Ohta: Chapter 13 Threshold of friction stabilizes self-weight transmission in gravitating loose sand heaps, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 199-214, 2013
- 8) S. Ohno, K. Kawai, A. Iizuka, S. Tachibana, S. Kanazawa and H. Ohta: Chapter 14 Elasto-plastic constitutive model for unsaturated soils with subloading surface concept, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 215-228, 2013
- 9) T. Takeyama, T. Pipatpongsa, A. Iizuka, and H. Ohta: Chapter 15 Stress-strain relationship for the singular point on the yield surface of the elasto-plastic constitutive model and quantification of metastability, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 229-240, 2013
- 10) A. Nishihara, S. Shimamoto and H. Ohta: Chapter 16 Analysis of earth pressure problems by upper and lower equilibrium methods, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 241-252, 2013
- 11) E. Nakayama, I. Kobayashi, A. Iizuka, M. Taya and H. Ohta: Chapter 22 Development of a portable triaxial testing apparatus -Smart triaxial-, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka, ISSN 1573-6059, ISBN 978-94-007-5674-8 ISBN 978-94-007-5675-5 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-5675-5, Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London, 353-374, 2013
- 12) Hideki Ohta, Atsushi Iizuka, Shintaro Ohno: Chapter 13 Soil Mechanics, Constitutive Modelling for Soft Cohesive Soils, Geotechnics and Earthquake Geotechnics Towards Global Sustainability, ed. By Susumu Iai, ISSN 1573-6059, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 231-250, 2011
- [その他]
- 1) 太田秀樹: アスファルト舗装の地震対策型 段差抑制工法の産学連携共同開発: <http://www.yomiuri.co.jp/adv/chuo/research/20110707.htm>, Chuo Online, 2011.7.10
- 2) Hideki Ohta: Joint industry-academia development of Seismic Retrofit of asphalt Pavement using, Confined Reinforced Earth, <http://yomiuri.co.jp/adv/chuo/dy/research/20110721.htm>, Chuo Online, 2011.7.24
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
太田 秀樹 (OHTA HIDEKI)
中央大学・研究開発機構・専任研究員 (機構教授)
研究者番号: 80026187

(2)研究分担者

齋藤 邦夫 (SAITOH KUNIO)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号： 00092552