

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820213

研究課題名(和文) Mechanisms of liquefaction-prone initial stresses in embankments caused by formation of arch and damage-resistant materials requirements against excessive basal settlement

研究課題名(英文) Mechanisms of liquefaction-prone initial stresses in embankments caused by formation of arch and damage-resistant materials requirements against excessive basal settlement

研究代表者

ピパットボンサー ティラポン (PIPATPONGSA, THIRAPONG)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10401522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、砂丘内の主動的・受働的限界応力の条件下でアーチ作用に関する基本的な知見を得た。下界定理による半無限くさびの極限解析に基づく数値解を検証するために、法面勾配を安息角で形成した盛土模型実験が行われた。基礎の沈下を僅かに増加させた場合、盛土中央部の圧力が有意に減少した一方、基礎を隆起させることで再び元の位置に戻す過程においては、盛土中央部の圧力は徐々に増加した。実験においてヒステリシスの影響を受ける変位経路を与えたが、主動的・受働的土圧の限界の数値解は、降伏の範囲内にある測定値と合理的に一致した。

研究成果の概要(英文)：Active and passive limits in sand heaps provide a fundamental knowledge on arch action under two extreme conditions. In the present study, the lower bound limits of an infinite wedge were analyzed. To validate the results, a series of physical models of an embankment inclined at angle of repose was conducted. As the basal deflection was slightly increased, the central pressure significantly decreased. Once the base was upturned, the central pressure gradually increased. Though hysteretic reversals were applied in the experiments, active and passive limits were reasonably consistent with measurements in a certain range of deformation.

研究分野：地盤工学

キーワード：アーチ効果 荷重分布 地盤沈下 下界定理 締固め土 盛土 模型実験 土質力学

1. 研究開始当初の背景

国土交通省東北地方整備局の調査によると、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震による堤防被害の主要因の一つは、地盤上に砂質系材料を用いて築堤した堤体下部において、圧密沈下により基礎地盤表層が凹状となり、ゆるみが発生し、その上部で堤体基礎地盤に浸透した雨水がたまり、飽和領域を形成した部分において、地震動により間隙水圧が上昇し液状化が発生したと報告されている。

堤防内の静的応力状態は、均質・一様ではなく、複雑であるがために液状化判定を難しくしている。本研究によって、堤体内の正確な応力状態を信頼できる精度で推定する手法を提案することができれば、今後、地震時の堤防の安定検討に大きく貢献すると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、基礎地盤の沈下のたわみに跨る受働アーチが形成された場合の初期応力状態が、液状化に対する抵抗を低下させるメカニズムに与える影響を検討し、地震時の堤防の安定性を評価することを目的とする。砂質地盤の盛土に関して静的模型実験およびアーチ効果の理論による応力解析を実施することを目指す。

最初に、基礎の沈下による盛土中央の圧力減少のみに着目した検討を行うために、図1および図2に示すように、1g場での模型実験の構造フレームを製作すると同時に、アーチ効果に基づく理論的な初期応力を求める。模型に必要な素材・剛板・装置を準備し、実験装置を組み立てる。盛土沈下に伴う荷重伝達メカニズムを捉えるため、盛土各部に設置する計測器の配置を決定し、レーザー変位計、土圧計などの必要な種類・数を用意する。

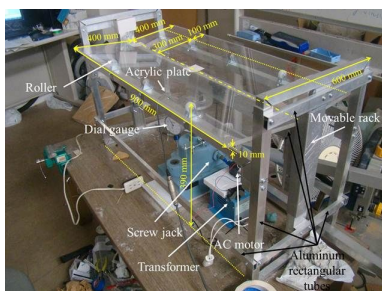


図1：1g場での模型実験の構造フレーム

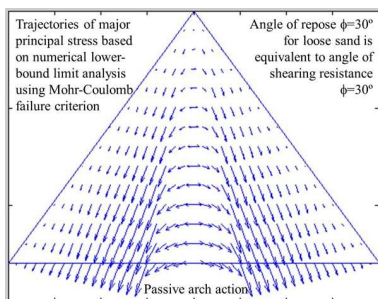


図2：アーチ効果理論に基づく初期応力

3. 研究の方法

まず、三角形盛土の静的荷重伝達メカニズムを詳細に知る必要があるため、緩い砂質盛土に関する模型実験(図3)を開始し、緩詰め盛土の相対密度および地盤パラメータを設定する。模型地盤の材料には、乾燥状態の珪砂6号および8号を用いて、網ふるい降下法により、緩詰め盛土を作成する。

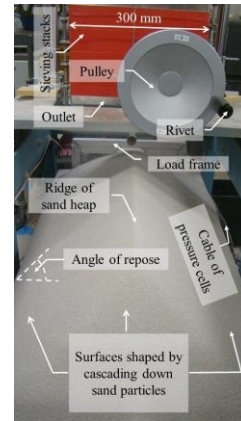


図3：三角形盛土模型実験

盛土沈下によるアーチ現象の確認として、盛土中央直下付近における応力が鉛直方向に減少すると同時に水平方向に増加するという現象が生じるかを調べる。静止土圧分布の妥当性を検討するため、土圧計を利用する。盛土挙動と沈下量の関係を把握するために、液状化の可能性のある沈下盛土層が存在することを前提とし、1g場で作成される模型内部の応力状態を解析(図4および図5)と比較する。

アーチ作用が生じることにより、鉛直深度と地盤密度から計算される鉛直土被り圧が、実際に計測される鉛直土圧と整合しないことを確認する。また、砂質盛土の沈下挙動とアーチ効果の進展を理解するため、盛土の両斜面において、斜面下方、法先下部、法尻付近および法肩付近に設置した土圧計に関して、盛土天端並びに盛土底部の沈下量と鉛直応力の変動から得られる特徴的な関係を検証する。

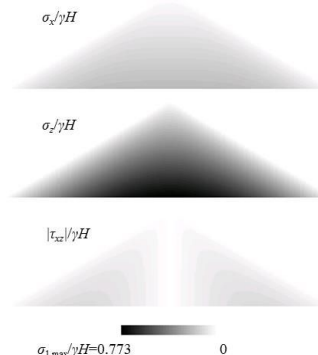


図4：砂丘内の主働的限界応力分布

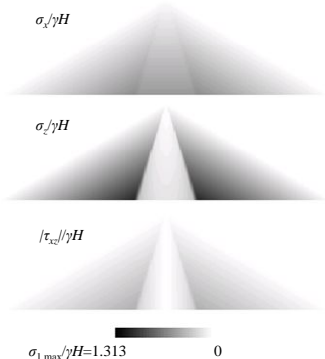


図 5 : 砂丘内の受働的限界応力分布

盛土中央の圧密沈下した際の、中央部での急激な圧力現象が確認することができた。地震時における、砂質系堤防の安全検討をする際に堤防内の応力分析が必要なことが分かる。図 6 のような模型実験による三角形盛土の沈下実験では堤防下部で主応力の向きが変化し、沈下直後に急激に盛土下部の鉛直方向の圧力が下がることを確認されている。

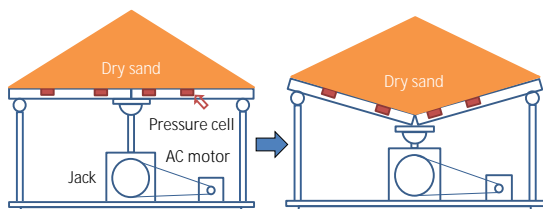


図 6 : 三角形盛土の沈下実験

さらに、アーチ効果の進展と堤防の高さとの関係を調べるため、既存の研究と同じく基礎地盤が沈下上昇を再現できる 1g モデルの実験装置上に三角形盛土以外に様々な高さの台形盛土を形成する。模型実験で使用する砂は乾燥した珪砂 6 号、珪砂 8 号と含水比が 10% になるように調整した珪砂 6 号の 3 種類を用いる。乾燥した珪砂 6 号、8 号は砂撒き装置を用いた空中落下法により盛土を作成し含水比 10% の珪砂 6 号での実験は既存の研究で用いられ物理的性質が既知であるものにするため相対密度が 35% になるように調整して盛土を作成した。盛土形成後は沈下中の堤防下部の鉛直方向の土圧、水平方向の土圧を計測し、初期状態からの変化を観察した。模型実験後は実験結果と主応力軸の向きを仮定して計算した理論上の解析結果との比較を行なった。

4. 研究成果

本研究では、砂丘内の主働的・受働的限界応力の条件下でアーチ作用に関する基本的な知見を得た。ニュートン法を用いた下界定理による半無限くさびの極限解析に基づく数値解を検証するために、法面勾配を安息角で形成した 1g 場での盛土模型実験が行われた。

乾燥珪砂 6 号および 8 号を用いて網ふるい降下法によって作成された盛土に対して、界面摩擦、最大沈下、ヒステリシスなどの異なる条件で実験を実施した(図 7 ~ 図 11)。

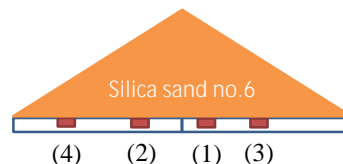


図 7 : 三角形盛土における土圧計の位置

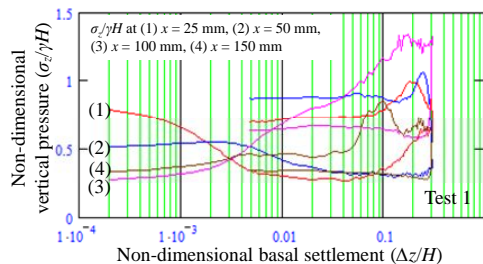


図 8 : 珪砂 6 号 ($\Delta z = 0 \quad 46 \quad 0 \quad 0 \quad 0$ mm)

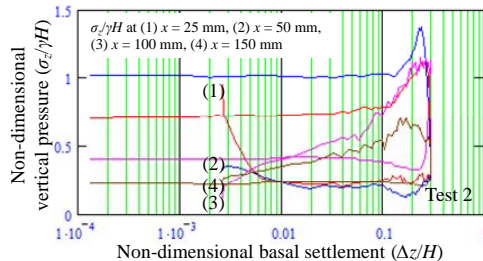


図 9 : 珪砂 6 号 ($\Delta z = 0 \quad 46 \quad 0 \quad 0 \quad 0$ mm)

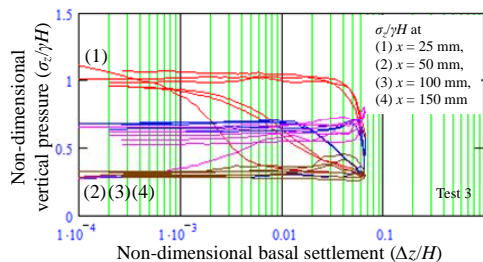


図 10 : 珪砂 6 号

($\Delta z = 0 \quad 10 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad 10 \quad 0$ mm)

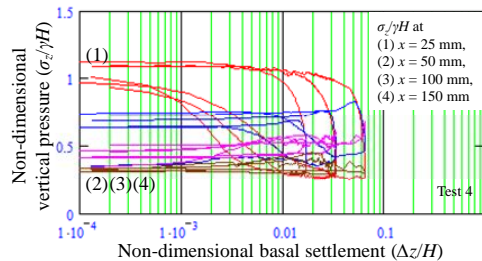


図 11 : 珪砂 6 号

($\Delta z = 0 \quad 10 \quad 0 \quad 10 \quad 0 \quad 10 \quad 0$ mm)

盛土内の降伏に関しては，中央にヒンジを有する剛な基礎の中央部分の沈下および隆起によって誘導された．基礎の沈下を僅かに増加させた場合，盛土中央部の圧力が有意に減少した一方，基礎を隆起させることで再び元の位置に戻す過程においては，盛土中央部の圧力は徐々に増加した．実験においてヒステリシスの影響を受ける変位経路を与えたが，主働的・受働的土圧の限界の数値解は，降伏の範囲内にある測定値と合理的に一致した（図 12～図 14）．

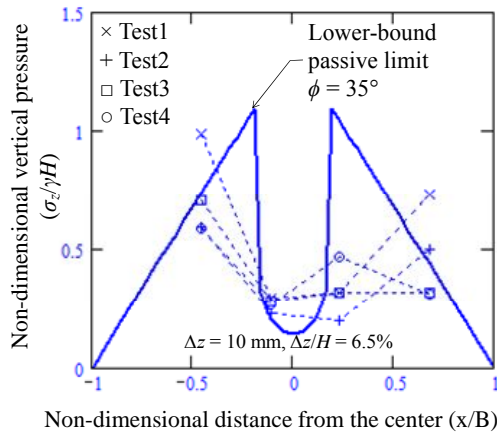


図 12： 珪砂 6 号（受働）

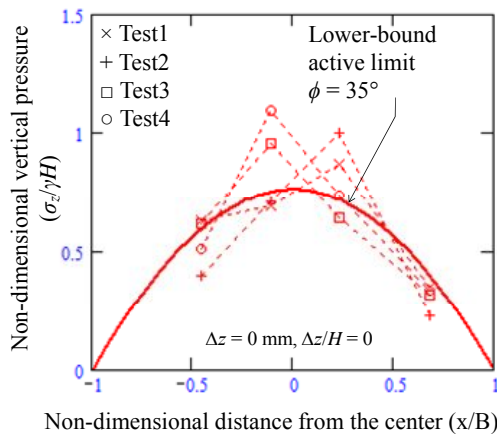


図 13： 珪砂 6 号（主働）

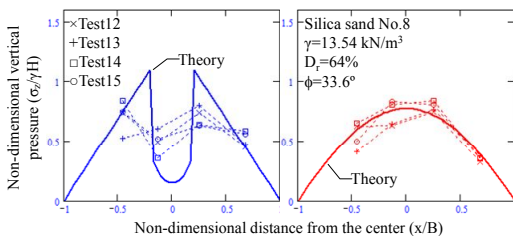


図 14： 珪砂 8 号（受働および主働）

本研究によって以下の内容が明らかになった．

(1) 基礎の地盤が沈下すると三角形盛土や

盛土の幅に対して高さが高い台形盛土では沈下直後にアーチ効果が観測された．

(2) 基礎の沈下直後に盛土の縁はその沈下量以上に沈下し，逆に盛土中央部分は基礎の沈下量より沈下は少ない．そのため沈下後の盛土下部は中央が緩く，縁の部分は密になっていることがわかる．

(3) 盛土下部の鉛直方向の土圧は沈下後に中央部分では減少し，縁の部分では増加する．これは前述の変形の議論を裏付ける結果にもなっているので妥当だと考えられる．また，沈下後に盛土下部では水平方向の土圧が上昇しているため，アーチ効果が発生していると考えられる．

(4) 珪砂 8 号の実験と珪砂 6 号の実験より，粒径が小さく粒度のばらつきが大きい珪砂 8 のほうが基礎の沈下に対して，アーチ効果の発生が緩やかなになることが分かった．

(5) 乾燥珪砂と湿潤珪砂では盛土の変形は湿潤珪砂のほうが基礎の沈下に対して盛土の沈下量は小さいため盛土下部が緩みやすいことが分かった．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

M.H. Khosravi, J. Takemura, T. Pipatpongsa and M. Amini, In-flight excavation of slopes with potential failure planes, *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 査読有, 142(5), 2016, 06016001
DOI: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001439

R. Ouch, B. Ukritchon and T. Pipatpongsa, Stability of soil block on low interface friction plane with and without side supports, *Engineering Journal*, 査読有, 20(2), 2016, 123-145
DOI: 10.4186/ej.2016.20.2.123

T. Pipatpongsa, T. Matsushita, M. Tanaka, S. Kanazawa, and K. Kawai, Theoretical and experimental studies of stress distribution in wedge-shaped granular heaps, *Acta Mechanica Solida Sinica*, 査読有, 27(1), 2014, 28-40
DOI: 10.1016/S0894-9166(14)60014-8

T. Pipatpongsa, Statically admissible stress solutions in gravitating loose earth of wedge and valley with plane slopes inclined at angle of repose, *Granular Matter*, 査読有, 15(5), 2013, 645-659
DOI: 10.1007/s10035-013-0439-3

〔学会発表〕(計 8 件)

T. Pipatpongsa, J. Nakamura and C. W. Lu, Investigation of initial stress

changes in physical models of embankment caused by formation of arch, Proceedings of the 16th Conference on Current Researches in Geotechnical Engineering in Taiwan, 査読無, H10, 2015

Y. Miyata, T. Pipatpongsa, T. Techawongsakorn and J. Takemura, Arch action in embankments subjected to subsidence of foundation, 第 50 回地盤工学研究発表会発表講演集, 査読無, 1189-1190, 2015

T. Pipatpongsa and T. Matsushita, Static stress fields in loose sand heaps loaded by self weight, Proceedings of the 17th International Summer Symposium, 査読無, 49-50, 2015

T. Pipatpongsa, J. Nakamura, C. Borely and M.H. Khosravi, Numerical lower bound limit analyses of sand heap subjected to basal settlement with hysteretic reversals, Proceedings of The 14th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 査読有, 513-518, 2014

宮田凱斗, ピパットポンサー・ティラポン, 竹村次朗, ホスラヴィ・モハンマドホセイン, 基礎の沈下を受ける台形盛土内のアーチ効果, 第 63 回理論応用力学講演会, 査読無, GS01-02-04, 2014

Y. Miyata, T. Pipatpongsa and J. Takemura, Pressure redistributions in trapezoidal embankment due to basal movements, The 7th AUN/SEED-Net Geological Engineering Conference and The 2nd AUN/SEED-Net Natural Disaster Conference, 査読無, No.93, 2014

宮田凱斗, ピパットポンサー・ティラポン, 竹村次朗, ホスラヴィ・モハンマドホセイン, 基礎の沈下を受ける台形盛土の物理模型実験, 第 11 回地盤工学会関東支部発表会, 査読無, 115-118, 2014

T. Pipatpongsa, T. Takeyama, A. Iizuka and H. Ohta, Central pressure drop induced by passive arch action of materials prone to liquefaction underneath embankments due to basal settlement, 第 62 回理論応用力学講演会講演論文集, 査読無, OS20-05, 2013

〔図書〕(計 件)なし

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)なし
取得状況(計 件)なし

〔その他〕
ホームページ等
<http://georisk.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者
ピパットポンサー ティラポン
(PIPATPONGSA, Thirapong)
京都大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号: 10401522

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし