

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：82707

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23686068

研究課題名(和文) LIQSEDFLOWの展開による海底大規模土砂流動 - 津波連成ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Submarine Sediment Flow - Tsunami Coupled Dynamics based on LIQSEDFLOW

研究代表者

佐々 真志 (Sassa, Shinji)

独立行政法人港湾空港技術研究所・その他部局等・その他

研究者番号：10392979

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：代表者が先駆的に開発し、流体動力学と土質力学アプローチの一体化により、世界で初めて、水中液状化流れのダイナミクスを統合的に予測・再現することに成功したLIQSEDFLOWを現地スケールに展開し、大規模遠心施設を活用した一連の実験と解析及び現地シミュレーションを通じて、沿岸域における海底大規模土砂流動のダイナミクスを体系的に解明した。特に、スカルプ(崖・急峻地形)やテラス(平地)などのイベント時の海底地形の形成に、水中液状化流れにおける内部凝固域の発達・伝搬過程が密接に関わっていることを解明した。そして、沿岸地盤動態と津波の間の密接な関連を一連の地盤流動 - 津波実験・解析を通じて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Through the application of our theoretical framework called LIQSEDFLOW to a submarine field and the integrated use of centrifuge experiments and analyses, we comprehensively revealed the large-scale submarine sediment flow dynamics in coastal oceans. In particular, the present results demonstrated the crucial role of two-phase physics such as the development and propagation of internally solidified zone in the formation of scarps and terrace in submarine liquefied flows. Furthermore, we developed a new tsunami-sediment centrifuge experiment system and applied it to investigate the concurrent processes of tsunami scour, seepage and sediment flows at the vicinity of breakwaters. It is found that the coupled tsunami overflow-seepage promoted the development of scour significantly, resulting in the failure of breakwaters. These findings would effectively contribute to the rational prediction and assessment of coastal disaster risks associated with submarine sediment flows.

研究分野：沿岸地盤、海底地すべり・重力流、バリア地形学、生態地盤学

キーワード：海底地盤流動 ダイナミクス 津波 浸透

1. 研究開始当初の背景

海底地すべり・重力流等の海底土砂流動に関する研究は、主に欧米で精力的に展開されており、近年の地震探査や地質調査技術の進展に伴って、沿岸・沖合域双方において数多くの海底土砂流動イベントの報告がなされている。その中でも、海底地すべり津波は、一般的な地震津波と異なり、卓越波長の違いから比較的水深の浅い沿岸域で崩壊が生じた場合に危険となることが知られている。実際、これまでに、2002年のストロンボリ島、1998年のパプアニューギニア、1964年のアラスカバルデス沿岸、2010年のハイチ沿岸の海底地すべり津波によって計2000名を超える人命が奪われたことが報告されている(ユネスコ, 2009)。又、パイプラインなどの沿岸構造物への海底土砂流動被害については、世界損失額にして年400億円と見積もられている。特に、本年1月のM7のハイチ地震では河口デルタの沿岸堆積物が大規模に液状化・流動し、これによる海底地すべり津波が、現地の最も厳しい津波をもたらしたことが明らかにされている(Hombach et al., 2010)。

このような甚大な被害をもたらす海底大規模土砂流動の特徴は、地震等の自然外力による海底地すべり発生後に高濃度堆積物重力流のかたちに移ることによって長距離流動・再堆積することである(図-1参照)。しかし、これまでの研究は、海底斜面の安定性等の崩壊条件やイベント堆積物の調査・分析に集中しており、上記災害予測・対策に不可欠な「海底土砂流動ダイナミクス」に関して、現地観測がほぼ不可能なこともあり、研究が欧米で未だほとんど進んでいなかった。

研究代表者は、海底地盤液状化にともなう移動境界問題としての流体-地盤系の一体解析(Sassa et al., 2001)を世界に先駆けて実現し、その発展によって、水中液状化堆積物重力流のダイナミクスを予測しうる理論解析フレームワーク: LIQSEDFLOWを開発した(Sassa et al., 2003)。そして、流動中の土砂内部の隙間水のマイグレーションによって“波状”に生じる進行性凝固が海底土砂流動のダイナミクスに大きな影響を及ぼすことを明らかにした(Sassa et al., 2003)。その後、本予測結果を一連の重力流可視化実験を通じて証明するとともに(Amiruddin et al., 2006)、上記モデルを高度化し、水中堆積物の液状化に伴う高濃度重力流れの発達から停止までの一連の過程とその内部機構を統合的に予測・再現することに成功した(Sassa and Sekiguchi, 2010, 図-1)。

2. 研究の目的

本研究は、上述を背景として、LIQSEDFLOWを現地スケールおよび外部流体域に展開することによって沿岸域における海底大規模土砂流動・津波連成場のダイナミクスを理論・実験的に解明する。具体的には、大規模地震津波施設を活用した一連の

可視化実験、数値解析と現地シミュレーションの協働によって、沿岸域における海底地すべり・高濃度堆積物重力流の発生・発達ならびに内部凝固域の伝搬・再堆積過程と津波の連動過程を明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

上記研究目的を達成するために用いた方法は、水中液状化堆積物重力流ダイナミクスの理論解析フレームワーク: LIQSEDFLOWの広域展開による現地シミュレーション、ならびに、海底地すべり・重力流過程および津波・地盤流動の連成過程に関する遠心力場大規模実験装置の開発と適用である。

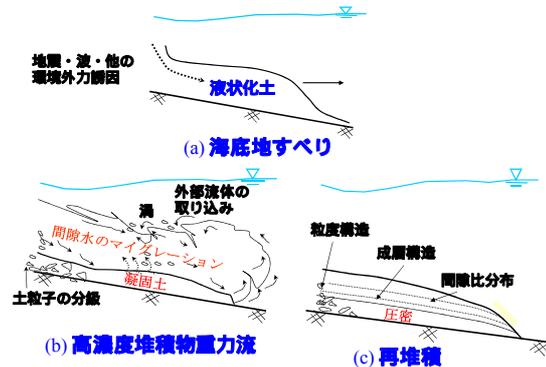


図-1 海底大規模土砂流動過程の特徴

4. 研究成果

本研究では、研究代表者らが先駆的に開発し、流体動力学と土質力学アプローチの一体化により、世界で初めて、水中液状化流れのダイナミクスを統合的に予測・再現することに成功したLIQSEDFLOWを現地スケールに展開し、大規模遠心施設を活用した一連の実験と解析及び現地シミュレーションを通じて沿岸域における海底大規模土砂流動のダイナミクスを体系的に解明した。とりわけ、カリフォルニア州のクラマス川河口デルタにおいて1980年に発生した海底地すべり挙動を再現することに初めて成功した。同解析結果と現地調査結果の突き合わせを通じて、地震液状化にともなう海底地すべり現象に伴って、どのようにスカルプ(崖・急峻地形)とテラス(平地)がキロオーダーで形成されるかを明らかにした。そして、同スカルプ・テラスの形成には、海底液状化流れにおける内部凝固域の発達・伝搬過程が密接に関わっていることを解明した。

さらに、港湾空港技術研究所所有のMark遠心載荷装置を用いて、海底地すべり・重力流可視化実験を実施し、水中斜面の崩壊が重力流に移る条件には、細粒分の含有率が密接に関わっていることを先ず明らかにした。そして、浸透流の存在、粘土分含有率および隙間水の粘性等をパラメータとした一連の海底地すべり・重力流可視化実験を通じて、

海底斜面の崩壊が重力流に遷移しうる条件には、細流分の含有率とともに浸透流の存在が密接に関わっていることを明らかにした。特に、液状化近傍の土砂は僅かな浸透圧の作用により高濃度重力流に遷移することを明らかにした。又、この際、間隙水の粘性の上昇によって、海底液状化重力流の流動性が低下することを示した。

津波による越流と浸透の同時連成作用を機能的に制御し高速度カメラによる高度な画像解析を装備した津波越流 - 浸透連成遠心実験システム(図-2)を新たに開発し、沿岸構造物周りの土砂流動問題に適用した。

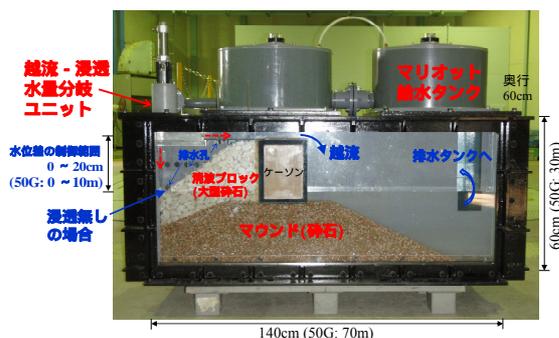


図-2 津波越流 - 浸透連成遠心実験システム

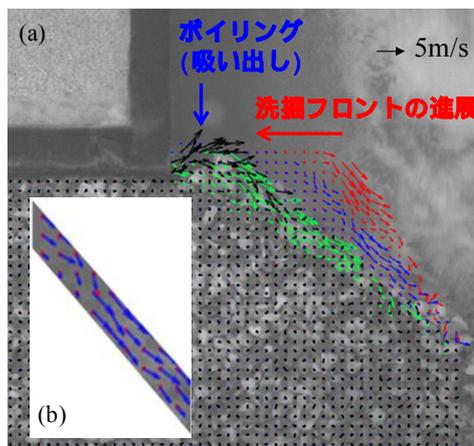


図-3 越流 - 浸透の連成作用による洗掘発達とマウンドの流動機構

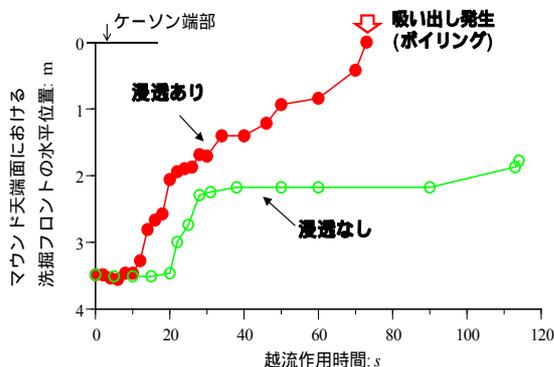


図-4 津波越流 - 浸透連成作用による進行性すべり破壊を伴う新たな洗掘機構

その結果、津波による浸透と越流の連成作用による進行性すべり破壊を伴う地盤流動機構(図-3,4)を明らかにするとともに、同連成作用による海底地盤洗掘・支持力破壊・大規模流動の一連の過程が防波堤の不安定化に及ぼす影響を明らかにした。さらに、東北地方太平洋沖地震津波における調査報告と近年の各種の実験・解析結果を基に、津波による洗掘と侵食の機構を体系的に分析し、上述のような水 - 地盤連成ダイナミクスが津波による洗掘・侵食現象の評価予測に果たす重要性を明らかにした。そして、水 - 地盤系ダイナミクスの見地から、大規模水理実験及び遠心実験結果を比較・分析し、とくに津波浸透の役割に着目して、津波 - 海底地盤 沿岸構造物の相互作用機構を解明した。

以上の知見は、地盤流動に伴う沿岸災害リスクの合理的な評価予測に大きく寄与するものである。

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15件)

- 1) Sassa, S.: Tsunami-Seabed-Structure Interaction from Geotechnical and Hydrodynamic Perspectives, **Geotechnical Engineering Journal**, Vol. 45, No. 4, Special Issue on Offshore and Coastal Geotechnics, 102-107, 査読有, 2014. <http://seags.ait.asia/journals/seags-agssea-journal-december-2014/>
- 2) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流—浸透連成作用による防波堤の不安定化機構と腹付け効果の検証. 土木学会論文集 B3, Vol. 70, No.2, 522-527, 査読有, 2014. http://doi.org/10.2208/jscejoe.70.I_522
- 3) 高橋英紀・佐々真志・森川嘉之・高野大樹・青木亮介・丸山憲治: ケーソン式防波堤の腹付けによる耐力増加に関する遠心模型実験. 土木学会論文集 B3, Vol. 70, No.2, 870-875, 査読有, 2014. http://doi.org/10.2208/jscejoe.70.I_870
- 4) Takahashi, H., Sassa, S., Morikawa, Y., Takano, D. and Maruyama, K.: Stability of breakwater foundation and its bearing capacity induced by seepage under tsunami, **Soils and Foundations**, Vo. 54, No.4, 789-805, 査読有, 2014. doi:10.1016/j.sandf.2014.07.002
- 5) Sassa, S., Takahashi, H., Morikawa, Y., Takano, D. and Maruyama, K.: Tsunami overflow-seepage-coupled centrifuge experiment for the mound scour. Proc. 7th International Conference on Scour and Erosion, 651-666, 査読有, 2014.
- 6) Watabe, Y., Sassa, S. and Kaneko, T.: Development of small erosion test apparatus

- consisting with the pocket erodometer test. Proc. 7th International Conference on Scour and Erosion, 657-666, 査読有, 2014.
- 7) 池谷毅・佐々真志: 津波による洗掘・侵食機構 - 地盤の状態変化を考慮した洗掘・侵食メカニズムの解明 - . 地盤工学会特別シンポジウム 東日本大震災を乗り越えて , 672-677, 査読無, 2014.
 - 8) Takahashi, H., Sassa, S., Morikawa, Y. and Takano, D.: Bearing capacity of breakwater mound under tsunami-induced seepage flow, Proc. 6th Japan-Taiwan Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfall, in CD, 査読有, 2014.
 - 9) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流-浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘への適用. 土木学会論文集 B3, Vol. 69, No.2, 383-388, 査読有, 2013.
http://doi.org/10.2208/jscejoe.69.I_383
 - 10) 高橋英紀・佐々真志・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 遠心力場における防波堤基礎地盤の津波浸透実験. 土木学会論文集 B3, Vol. 69, No.2, 365-370, 査読有, 2013.
http://doi.org/10.2208/jscejoe.69.I_365
 - 11) 高橋英紀・佐々真志・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波による浸透作用下の防波堤基礎マウンドの支持力発現特性. 土木学会論文集 B3, Vol. 69, No.2, 371-376, 査読有, 2013.
http://doi.org/10.2208/jscejoe.69.I_371
 - 12) Takahashi, H., Sassa, S. and Morikawa, Y.: Centrifuge modeling of earthquake-induced submarine landslide and its gravity flow transition, Proceedings of 8th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Perth, 査読有, 2013.
 - 13) Takahashi, H., Sassa, S., Morikawa, Y. and Takano, D.: Bearing capacity of breakwater foundation under seepage flow induced by tsunami, Proc.5th Japan-Korea Geotechnical Symposium, Seoul, 査読有, 2013.
 - 14) Sassa, S. and Watabe, Y.: The impact of suction dynamics effects on erosion: Dynamic stability and optimal design of intertidal sandbars, Proceedings of 8th International Conference on Scour and Erosion, Paris, 114-121 査読有, 2012.
 - 15) Sassa, S. and Sekiguchi, H.: Dynamics of Submarine Liquefied Sediment Flows: Theory, Experiments and Analysis of Field Behavior. **Advances in Natural and Technological Hazards Research** 31, Springer, 405-416, 査読有, 2012.
http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-2162-3_36

〔学会発表〕(計8件)

- 1) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流—浸透連成による防波堤の不安定化機構と腹付け効果の検証, 第49回地盤工学研究発表会, 福岡, 2014年7月17日.
- 2) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流—浸透連成作用による防波堤の不安定化機構と腹付け効果の検証, 第39回海洋開発シンポジウム, 新潟, 2014年6月27日.
- 3) Sassa, S., Takahashi, H., Morikawa, Y., Takano, D. and Maruyama, K.: Tsunami overflow-seepage-coupled centrifuge experiment for the mound scour. 7th International Conference on Scour and Erosion, Perth, 2014年12月3日.
- 4) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流-浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘への適用, 第38回海洋開発シンポジウム, 米子, 2013年6月27日.
- 5) 佐々真志・高橋英紀・森川嘉之・高野大樹・丸山憲治: 津波越流-浸透連成遠心実験システムの開発とマウンド洗掘の発達機構, 第48回地盤工学研究発表会, 富山, 2013年7月24日.
- 6) Sassa, S. and Watabe, Y.: The impact of suction dynamics effects on erosion: Dynamic stability and optimal design of intertidal sandbars, 8th International Conference on Scour and Erosion, Paris, 2012年8月30日.
- 7) 佐々真志: 海底液状化土砂流動: 特性と社会への潜在的インパクト, **招待講演**, 2012年度日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2012年5月23日
- 8) Sassa, S.: Post-Failure Dynamics of Submarine Landslides, 5th International Symposium on Submarine Mass Movements and Their Consequences, UNESCO-IGCP **パネリストリーダー**, Kyoto, 2011年10月24日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々 真志 (SASSA SHINJI)

国立研究開発法人港湾空港技術研究所
地盤研究領域 動土質研究チームリーダー
研究者番号: 10392979