

2018 年インドネシア・スラウェシ島地震における 大規模地盤流動に関する現地調査および簡易模型実験

金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 ○府玻ひなの
金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 正会員 宮島 昌克
Tadulako University Faculty of Engineering 非会員 Hendra Setiawan
福井工業高等専門学校環境都市工学科 正会員 芹川由布子

1. 本研究の背景・目的

2018 年にインドネシアのスラウェシ島で Mw7.5、震源の深さ約 10km の地震が発生した。この地震によって発生した災害の 1 つとして、Palu 市内およびその周辺の複数の地域での液状化によるとされる大規模な地盤流動がある。これにより最大で家屋が約 1km も流され、その多数が崩壊・埋没した。日本でもこれまでに 1964 年新潟地震などで液状化による地盤流動が発生しているが、その移動量は最大でも 10m ほどであった。世界でも今回ほどの地盤流動は今まで確認されておらず、その地盤条件や発生メカニズムなどはいまだ明確には解明されていない。本研究ではその大規模地盤流動のしくみを解明することを目的とし、現地調査や模型試験で得られた結果をもとに地盤条件、流動メカニズムの推測を行う。本稿では流動発生地域の 1 つである Sibalaya 村での調査結果より地盤流動に関係すると考えられる水膜現象について、簡易模型実験を行った。

れている。これらのことから、Sibalaya 村での地盤流動には、砂層中に難透水層が存在することで液状化終了後に難透水層直下に水膜が生成される水膜現象²⁾が関係すると考えられる。



図-1 Sibalaya 村 空中写真



写真-1 流動後の家屋の様子

2. Sibalaya 村での調査結果

図-1 に Sibalaya 村の空中写真を示す。地盤流動発生地域の 1 つである Sibalaya 村は、Palu 市街地から南に約 30km のところにあり、農地に囲まれた村である。写真-1 に示す家屋は流動の影響を受けているのにも関わらず、ほとんど損傷を受けずに原位置から約 350m も移動していた。このことから、表層下部地盤の上を表層地盤が滑るように移動したような挙動が考えられる。また、この家屋に近いトレンチ S-D-T2 から採取した土質試料のふりい分析結果を図-2 に示す。これより、表層付近の砂層中には難透水性を持つ細粒土層が存在していることがわかる。さらに岡村ら³⁾より、井戸から測定した地震前の地下水位は約-5.6m であったのに対し、地震直後には井戸から水が溢れる状態が 2 日続いたと報告さ

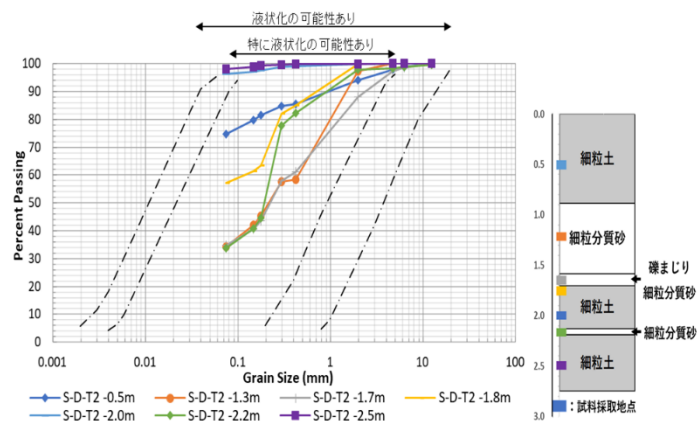


図-2 S-D-T2 の粒径分布と概要図

3. 水膜現象に関する模型実験

3.1 実験概要

水膜現象の基本的性質を検証するために、水膜生成に関する簡易模型実験を行った。模型地盤の概要図を図-3に示す。加振には振動数 5Hz、最大加速度 150gal、加振時間 3s(Tp-1s)の正弦波を使用した。液状化層には珪砂 7号を、難透水層にはブルーシート(DCM 製)を用いた。また、水膜の生成を直接確認するために、難透水層直下に水中カメラ(NIDAGE 製)を設置した。本実験では難透水層の有無と難透水層下の深さ方向について、水圧計から得られるデータを用いてそれぞれ比較検討を行う。

3.2 実験結果及び考察

(1) 難透水層の有無に関する比較

図-4 に過剰間隙水圧比の時刻歴、図-5 に過剰間隙水圧の時刻歴を示す。青線の難透水層なし P1 では加振開始から 13 秒後に水圧消散がみられるのに対し、赤線の難透水層あり P1 では加振開始から 84 秒ほど過剰間隙水圧比 1.0 以上の状態が続いた。また、この時の水中カメラからは、難透水層下の液状化層の土粒子が沈降し、難透水層と液状化層の間に隙間が生じていること、水圧計 P1 はその隙間での値を読み取っていることが確認された。これらのことから難透水層がある場合では、直下に水膜が生成され、その水膜は上載圧を支えられる状態が長時間保たれることがわかる。

(2) 難透水層下の深さ方向に関する比較

図-5 より、緑線の P2(80mm)は加振開始から 10 秒後に水圧消散がみられるものの、赤線の P1(150mm)と同値となった後は水圧消散が急激に収まり、ほぼ一定値を維持している。これにより、図-4 に示す緑線の P2(80mm)における過剰間隙水圧比も約 0.5 となっている。これらのことから、水膜が生成された場合の難透水層以深では、地盤の緩い状態が長時間保たれることがわかる。

4. まとめ

本稿では Sibalaya 村での調査結果から大規模地盤流動に関係すると考えられる水膜現象に関する簡易模型実験を行った。その結果、液状化地盤内の難透水層直下で水膜現象が発生する場合、生成された

水膜には上層を支えられるほどの圧力が長時間保たれること、難透水層以深では地盤の緩い状態が長時間保たれることが明らかとなった。今後の課題として、水膜現象によってどれほど流動するかを模型実験等で定性的に示す必要がある。さらに今後このような地盤流動が他の地域でも発生しうるかについても、現地調査等からその具体的な地盤条件を明らかにして検討・対策を立てる必要がある。

参考文献

- 1) Mitsu Okamura, Kohei Ono, Ardy Arsyad, Utari S. Minaka, Sukiman Nurdin : Large-scale flowslide in Sibalaya caused by the 2018 Sulawesi earthquake, Volume 60, Issue 4, August 2020, Pages 1050-1063, Soils and Foundations, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038080620336878>
- 2) 國生 剛治：水膜現象が液状化砂層の側方流動へ与える影響,土と基礎, 47(4), pp.11-14, 1999.4.1, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110003976267>

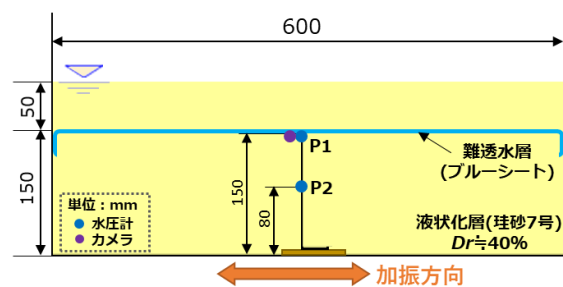


図-3 模型地盤の概要図

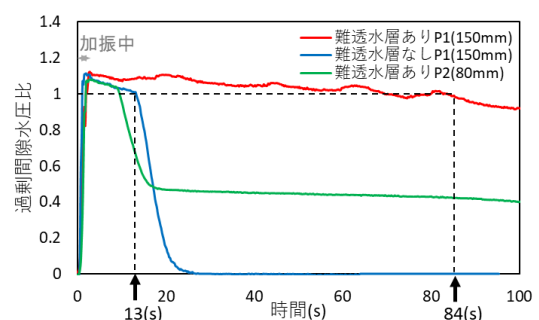


図-4 過剰間隙水圧比の時刻歴

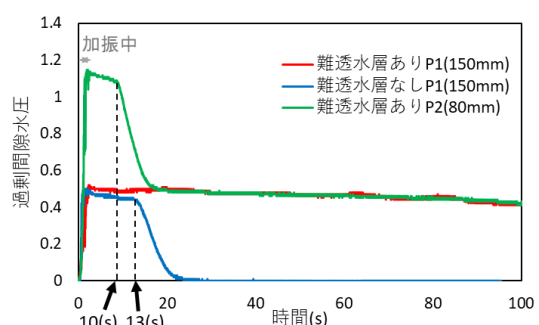


図-5 過剰間隙水圧の時刻歴