

スラウェシ島 Jono-oge 地区の液状化地すべりの再現解析

関西大学 学生会員 ○村田 宗一郎

関西大学 正会員 一井 康二

関西大学 学生会員 Karina A. SUJATMIKO

1. はじめに

2018年9月28日18時2分現地時刻にインドネシアのスラウェシ島北部に位置する Palu 近郊でマグニチュード7.5の地震が発生した。この地震では、液状化による地すべりによって2000人以上が犠牲になった。しかし、このような大規模な液状化による地滑りが発生したメカニズムは未だ明らかになっていない。そこで、本研究では数値解析による地すべりの再現を試みた。

2. 検討対象

今回の検討対象は Jono-oge 地区の地すべりである。地表面の傾斜角は 1.5° から 2° と非常に緩やかな斜面である。この地点では、ビデオ画像の解析により 5.1m/s の速度にまで流動の速度が達していたと報告されている¹⁾。また、ビデオ撮影地点は地震開始から70秒で250mほど下方に流動したと推定されている。

本研究では、70秒で250mもの移動量に達した地盤流動を数値解析的に再現することを試みる。

3. 検討方法

本研究では、2次元有限要素有効応力解析プログラム FLIP²⁾を用いて解析を行った。図1に、スラウェシ Jono-Oge 地区で行われたボーリング調査³⁾の概略と、それに基づく有限要素モデルを示す。総節点数は26、総要素数は24である。図1に示すように1次元のモデルであるが、傾斜角(2°)に応じた重力加速度を要素の各方向に与えた。また、簡単のため、下方境界は剛基盤とし、各要素の両端の節点を多点拘束して、斜面下流方向への流動を再現した。

入力地震動は Palu で観測された NS 方向の地震動を使用した⁴⁾。地盤のパラメータについては Sibalaya で原位置採取されたシルト質砂をもとに求められたパラメータ⁵⁾を使用した。なお、Jono-Oge 地区の土質試験データなどが得られていないため、現時点では暫定的な値であり、また、シルト層と砂層で基本的には同じ物性値を使用することとした。

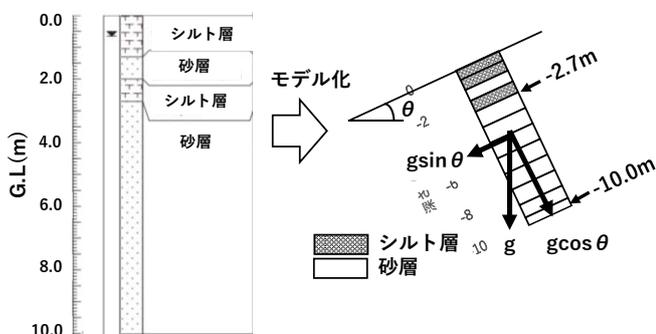


図1 Jono-Oge のボーリングデータの概略³⁾と作成した地盤モデル

表1 今回の解析で使用した物性値

| | |
|--------|---|
| 共通の物性値 | 初期せん断剛性: 49,334kPa 体積弾性係数: 128,655kPa (平均有効拘束圧: 98kPa 時) 質量密度 = 2.064g/cm^3 C: 0 ϕ : 35.16° 最大減衰定数: 0.24 ダイレイタンスーのパラメータ (ϵ_d^{cm} : 0.15, $r\epsilon_d$: 2.0, $r\epsilon_d$: 1.6, q_1 : 3.8, q_2 : 1.0, l_k : 2.0, r_k : 0.49, c_1 : 1.0, s_1 : 0.005) |
| ケース A | 透水係数 砂層: $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$, シルト層: $1.0 \times 10^{-6}\text{m/s}$, q_{us} は設定しない |
| ケース B | 透水係数 砂層: $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$, シルト層: $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$, q_{us} は設定しない |
| ケース C | 透水係数 砂層: $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$, シルト層: $1.0 \times 10^{-4}\text{m/s}$, $q_{us} = 0.025\text{kN/m}^2$ |
| ケース D* | 透水係数 砂層 = $1.0 \times 10^0\text{m/s}$, シルト層 = $1.0 \times 10^0\text{m/s}$, q_{us} は設定しない |

*ケース D は下層部から $1\text{m}^3/\text{s}$ の水を流入させる

キーワード 地震, 液状化, 地滑り, 地下水

連絡先 〒561-0882 大阪府豊中市南桜塚3-10-26 村田 宗一郎 TEL 090-6670-1067

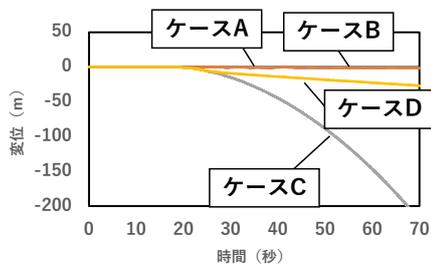
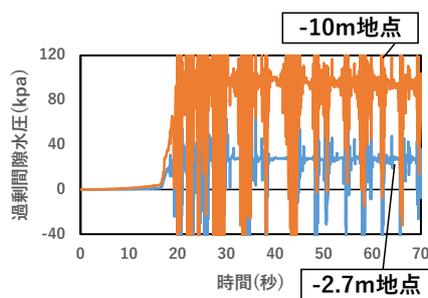
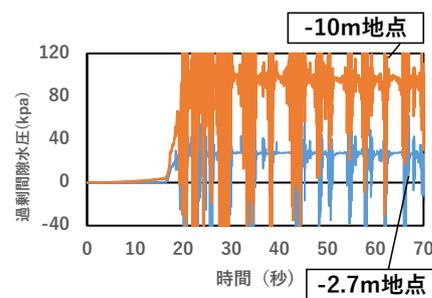


図2 4 ケースの地表面における水平方向の変位



(a) ケース A



(b) ケース B

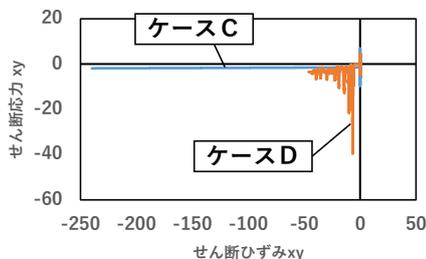
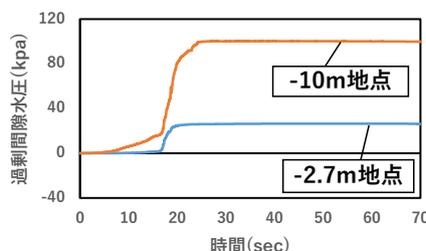
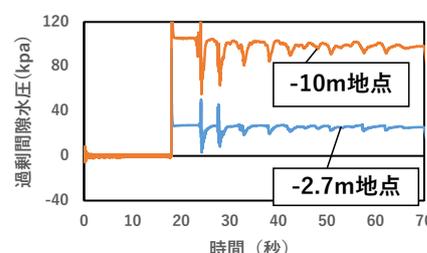


図4 ケース C と ケース D のせん断ひずみとせん断応力比の関係図



(c) ケース C



(d) ケース D

図3 各ケースの過剰間隙水圧の時刻歴

表1に今回の解析で使用した物性値と検討方法を示す。ケース A は現地の土層構成に応じてシルト層と砂層モデルの透水係数を変えて設定したものであり、ケース B 以降は簡単のためシルト層と砂層の透水係数を同じにした。ケース C は現地の状態を無理やり再現するために Steady State 時のせん断強度を 0.025kN/m^2 としたものである。また、ケース D では、Steady State 時のせん断強度の値はいじらず、その代わりとして下層部より $1\text{ m}^3/\text{s}$ の水を流入させた。なお、この時は地割れの発生などを想定して、透水係数も大きくした。

4. 結果

図2に示すように、ケース A の通常の設定では地表面における水平方向の変位はそれほど大きくならない。また、ケース B のように透水係数を単純化しても、変化はあまりない。ケース C では地震開始から70秒後の地表面の変位がほぼ200mにまで到達し、実際の流動現象の再現をほぼ出来たといえる。ケース D ではケース A やケース B に比べると変位が大きいものの、実際に流動現象の再現には至っていない。

ケース A からケース D の過剰間隙水圧時刻歴を図3に示す。ケース A やケース B の間隙水圧には振動の影響が出ており、ケース D ではサイクリックモビリティによるものと思われる間隙水圧の減少が時々見られるが、平均的に過剰間隙水圧の値は同様である。また、図4に示すように、ケース C では Steady State 時のせん断応力比の値でひずみが急増しているが、ケース D では、同程度のせん断応力比の値に達するものの、散發する間隙水圧の減少に対応したためか、せん断応力比が時々回復し、せん断ひずみが急増していない。

5. 結論

現時点で、当該地点の流動メカニズムは明らかになっていない。(実際には考えにくい) Steady State 時のせん断強度が小さい特殊な地盤であった場合は、解析的に再現が可能である。一方で、被覆地下水の影響などである場合、解析ステップの細分化などの、さらなる検討を行わなければ再現が難しい。

参考文献

- 1) Karina A, Sujatmiko, Koji Ichii, Velocity of liquefaction induced landslide in Jono-Oge triggered by 7.5 Mw Palu earthquake, *The 40th JSCE Earthquake Engineering Symposium*, No.1573, 2020.
- 2) Iai, S., Tobita, T., Ozutsumi, O., and Ueda, K. (2011): Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 35(3), pp. 360-392.
- 3) 独立行政法人国際協力機構, (最終閲覧日: 2021年2月14日), <https://www.jica.go.jp/index.html>
- 4) インドネシア気象・気候・地球物理学庁, (最終閲覧日: 2021年2月14日) <https://www.bmkg.go.id/?lang=ID>
- 5) 山本 航, 飛田 哲男, 2018年スラウェシ島地震における緩斜面地すべりの発生メカニズムに関する解析的検討, 第40回地震工学研究発表会, No.1596, 2020.