

水文調査結果を考慮した熱海盛土崩壊の 空気～水～土連成弾塑性有限変形シミュレーション

斜面崩壊 弾塑性解析 三相系解析

名古屋大学 国際会員 ○吉川 高広 野田 利弘

非会員 田中 祐輔

1. はじめに

令和3年7月3日、熱海市の逢初川源頭部で盛土が崩壊し、土石流災害が発生した。この盛土崩壊のメカニズムを明らかにするために、著者らはこれまでに、弾塑性構成式 SYS Cam-clay model¹⁾を搭載した慣性力対応の空気～水～土連成有限変形解析コード²⁾を用いて、盛土構築から崩壊までの一連過程の数値解析を行った。盛土崩壊領域では降雨時に地下水流入が多いことが水文調査から明らかとなっているため、降雨に加えて地下水流入の条件も考慮した。その結果、降雨時の地下水流入により盛土底部が塑性体積膨張を伴う軟化（吸水軟化）挙動を呈することで盛土全体が崩壊に至ることを示した³⁾。本研究では、水文調査結果⁴⁾を精査し、地下水流入条件を再検討した上で、改めて数値解析を実施したため、その結果を報告する。

2. 解析条件

図1は解析断面と水理境界条件を示す。
2 次元平面ひずみ条件下での数値解析を実施した。盛土崩壊の数値解析における降雨境界条件と地下水流入条件以外は、全て既往研究³⁾と同じであるため、省略する。なお、下部盛土の浸透特性としては、既往研究のケース2の条件を用いた。

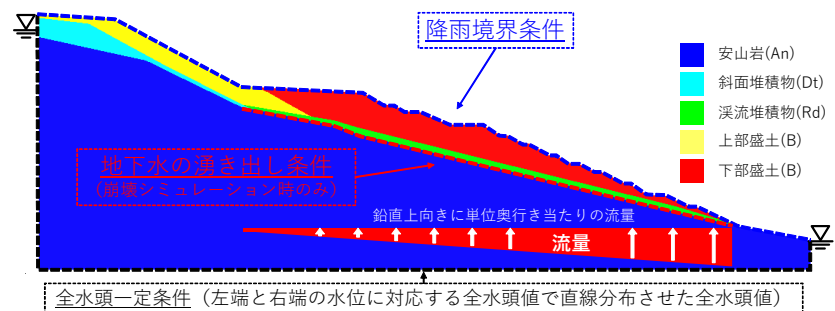


図1 解析断面と水理境界条件

まず地表面の降雨境界条件に関して、既往研究では、本格的に降雨が開始した7/1午前0時から実際に盛土が崩壊した7/3午前10時頃までの58時間に静岡県熱海雨量観測所で観測された459mmを平均化した雨量を与えたが、本研究では1時間雨量のデータを毎時で与えた。次に溪流堆積物底部に設定した地下水流入条件に関して、既往研究と同様に、下流に行くほど地下水が周りから集まりやすいことを2次元平面ひずみ解析で考慮するために、下流に行くほど地下水流入量を直線的に大きくなるように設定した。一方で、既往研究では降雨境界条件の場合と同様に平均的な地下水流入量を与えたが、被災後に実施された三角堰による流量観測結果⁵⁾を考慮して、本研究では1時間当たりの雨量と地下水流入量に比例関係を仮定するとともに、被災後に実施されたボーリング孔を用いた地下水位調査結果⁴⁾を満たすように、地下水流入量を毎時で与えた。さらに、逢初川土石流の発生原因調査報告書⁴⁾内に「R-2」として示されている逢初川左岸側の崩落地を集水域とする流量観測結果を考慮して、鳴沢川流域から降雨後に遅れを伴って流入する地下水の有無の影響も検討した。

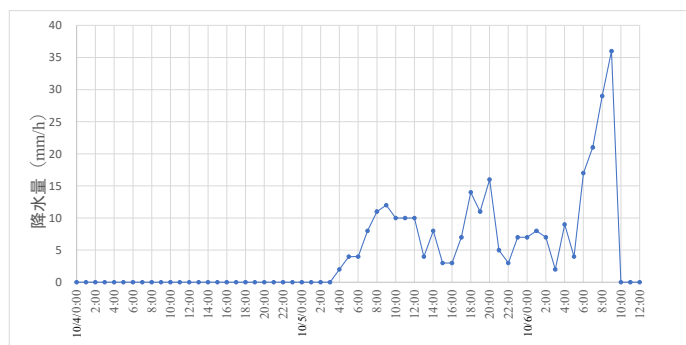


図2 過去最大時の雨量データ（2014年10月）

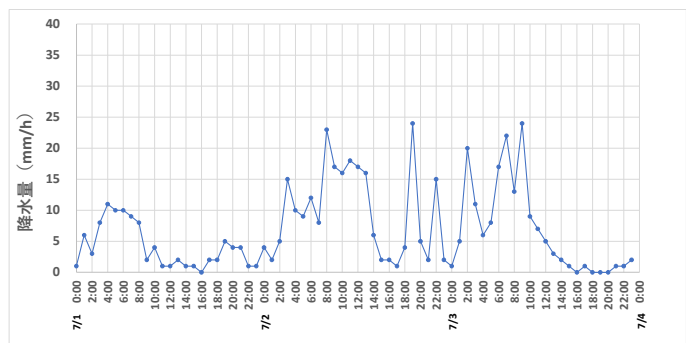


図3 被災時の雨量データ（2021年7月）

図2と図3はそれぞれ、2009年以降最大の48・72時間雨量を記録した2014年10月（以後「過去最大時」）の雨量データと被災時の2021年7月の雨量データを示す。過去最大時の方が最大1時間雨量は36mmで大きい一方、被災時の方が3日間にわたり断続的に降雨が続いている。図4と図5はそれぞれ、過去最大時と被災時の地下水流入条件を示す。過去最大時の場合は、降雨継続時間が短いため、降雨中には遅れを伴う地下水の流入が無い一方で、被災時の場合には3日間にわたり続く降雨により、実際に盛土が崩壊した7/3あたりから、遅れを伴う地下水の流入が見られる。

3. 解析結果

図 6 は(a)過去最大時、(b)被災時および(c)降雨後の遅れを伴う地下水流入を考慮した場合の被災時のせん断ひずみ分布の経時変化を示す。まず(a)過去最大時のせん断ひずみ分布より、降雨開始から 12 時間、19 時間、30 時間と 1 時間雨量が大きい時間帯を経ると、下部盛土の法尻付近から上方へと順にせん断ひずみの局所化領域（以後「すべり」）が生じるが、最終的にはすべり面が下部盛土の最上部の地表面まで到達することはなかった。次に(b)被災時のせん断ひずみ分布より、過去最大時と同様に、1 時間雨量が大きい時間帯を経ると、下部盛土の法尻付近から上方へと順にすべりが生じるが、最終的にはすべり面が下部盛土の最上部の地表面まで到達することはなかった。最後に(c)降雨後の遅れを伴う地下水流入を考慮した場合の被災時のせん断ひずみ分布より、降雨開始から 58 時間経過時に、実際に盛土が崩壊した下部盛土の最上部付近において、盛土底部から地表面までを貫くすべり面が形成される解析結果を得ることができた。紙幅の都合上図面は省略するが、本解析結果においても、既往研究³⁾と同様に、盛土底部のすべり面上に位置する土要素では、塑性体積膨張を伴う軟化挙動を呈していた。

4. おわりに

被災後に実施された地下水位調査結果を基に地下水流入量を設定し、また鳴沢川流域から降雨後に遅れを伴って流入する地下水の有無も検討した。その結果、遅れを伴う地下水流入を考慮することで、2009 年以降最大の

48・72 時間雨量を記録した 2014 年 10 月の降雨・地下水流入条件では盛土は崩壊せず、被災時の条件で盛土が崩壊する結果を得ることができた。

謝辞 静岡県交通基盤部河川砂防局砂防課からは水文／地盤調査データをご提供頂きました。また、元静岡県副知事の難波喬司氏、名城大学の小高猛司教授、岐阜大学の沢田和秀教授、静岡大学の今泉文寿教授にはご助言を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献 1) Asaoka et al.: An elasto-plastic..., S&F, 42(5), 47-57, 2002. 2) Noda and Yoshikawa: Soil-water-air coupled..., S&F, 55(1), 45-62, 2015. 3) 吉川ら: 2021 年 7 月..., 地盤工学会誌, 71(3), 30-40, 2023. 4) 静岡県: 逢初川土石流の発生原因調査報告書 (2022.9.8 公開), 第 5 章 地質・水文調査, 2022.

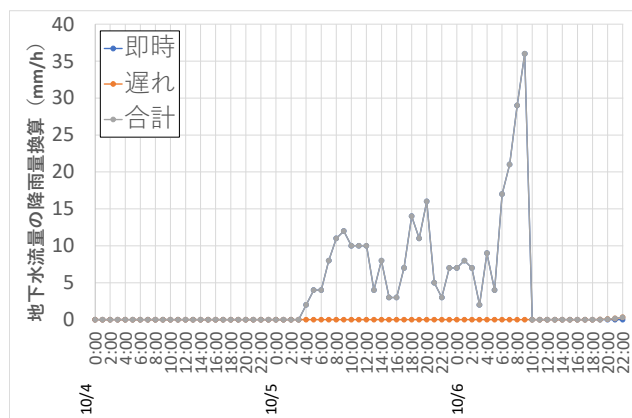


図 4 過去最大時の地下水流入条件（2014 年 10 月）

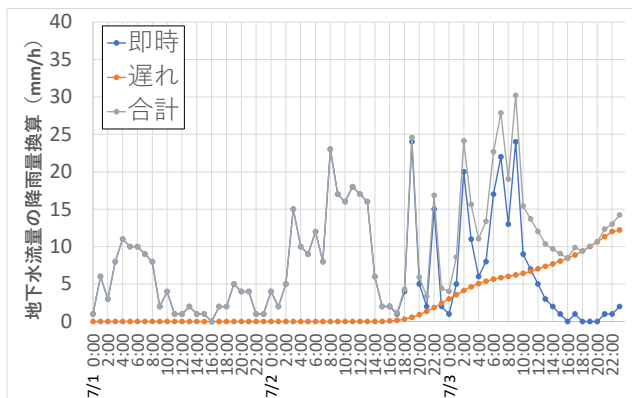


図 5 被災時の地下水流入条件（2021 年 7 月）

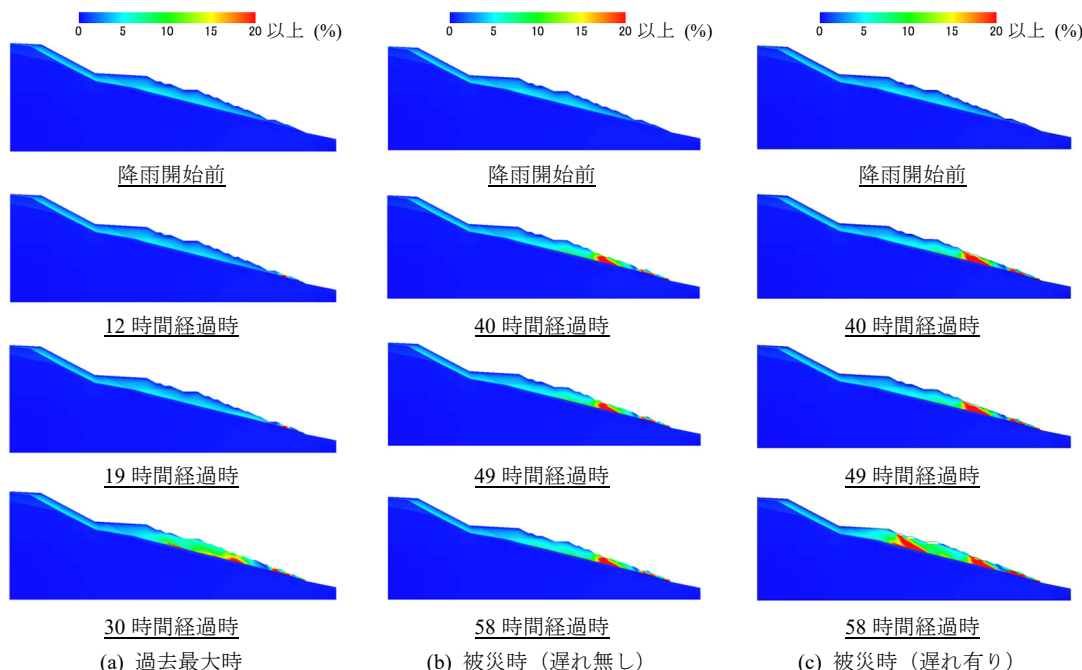


図 6 せん断ひずみ分布の経時変化