

大規模地震時の斜面崩壊を想定した土砂流下シミュレーション

阪神高速先進技術研究所 正会員 ○服部 匡洋 九州工業大学 正会員 幸左 賢二

IABC 正会員 本橋 英樹 宮崎大学 正会員 原田 隆典

1. はじめに

2016 年 4 月熊本地震では、阿蘇大橋周辺で大規模な斜面崩壊が発生し、それが落橋の一因になったと考えられている¹⁾。高速道路をはじめ、広域ネットワークを形成する構造物群は、線形条件等の制約上橋梁が斜面に隣接して建設される場合も多く、このような箇所では斜面崩壊により流下した土砂が構造物に衝突し、損傷を生じさせる可能性があるため、斜面崩壊が影響を及ぼす範囲や橋梁に及ぼす影響の度合いについて評価するための数値解析ツールの開発が望まれている。そこで、本検討では有限面積法を用い、実際に発生した大規模な斜面崩壊の再現シミュレーションを行うことで、解析手法の適用性について検討した。

2. 検討対象範囲

図-1 に対象範囲の地震前後の鉛直方向成分の差分を示す。本検討では、阿蘇大橋周辺の 1 km 四方の範囲を対象とし、文献 2) を参考に三次元地形モデルを構築した。斜面の頂部付近では 20 m ～ 25 m 程度の土砂の流出が確認される。これが一次崩壊領域を示していると考えられる。また、一次崩壊の下方では 10 m 程度の土砂の流出が確認され、これが二次崩壊領域を示していると考えられる。これらの崩壊で流失した崩土は河川に流入し、特に下流側ではこれらの崩土が堆積していることが確認できる。

3. 解析概要

構築した三次元地形モデル（1 km 四方）を用いて数値解析を行う。図-2 に三次元解析モデルを示す。解析プログラムは三次元汎用流体解析ツールである OpenFOAM³⁾を用いた。本検討では、今後実務においても斜面崩壊の影響評価を実施することを想定し、計算負荷が小さく、粒子流動に適する Savage-Hutter 粒子流動モデルを使用し、対象範囲の斜面崩壊の影響評価を試みた。また、このモデルにはモール・クーロン理論が導入されており、内部散逸応力及び底面抵抗力を鉛直応力に比例する摩擦力（クーロン摩擦則）で評価するため、凹凸した複雑な地形における土砂の崩壊、雪崩、地滑りなどを土圧論に基づき解析することができる。

表-1 に土の物性値を示す。本検討では対象地点の地質情報²⁾を参考に設定した。また、地震後の三次元地形モデルの地表面をすべり面とするため、斜面崩壊が発生する前に上載していた土砂を仮定する必要がある。そのすべり深さについては図-1 に示した地震前後の鉛直方向成分の差分から求めた。

本検討では、土の物性値、特に動摩擦角が解析結果に与える影響について把握するために、動摩擦角をパラメータとした解析結果について示す。ここで、Case1 は岩質の特性を想定し動摩擦角 $\phi=30^{\circ}$ としたケース、Case2 は火山灰質土の特性を想定し動摩擦角 $\phi=16^{\circ}$ としたケースである。

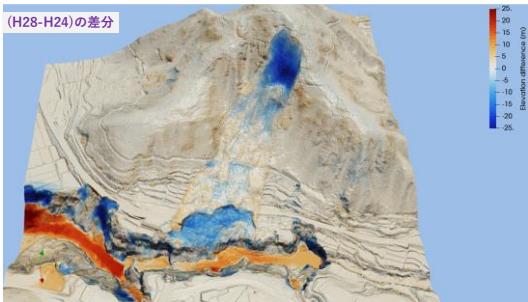


図-1 三次元地形モデル

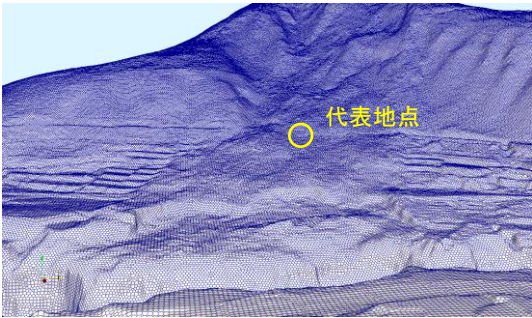
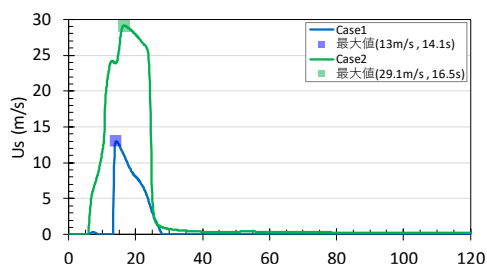


図-2 三次元解析モデル

表-1 土の物性値

土質の物性	参考値
密度 ρ [kg/m ³]	1800
粒径 d [m]	0.01
動摩擦角 ϕ [°]	10 ～ 30(平均20)
重力加速度 g [m/s ²]	9.81

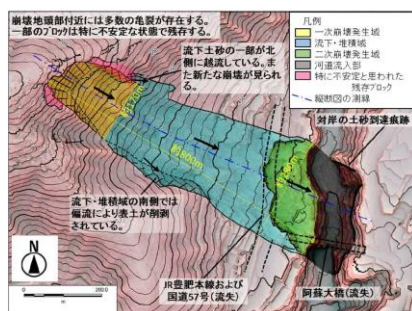
キーワード 斜面崩壊，地震，橋梁，再現解析
連絡先 〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町 4-5-7 東亜ビル 2F
 （一財）阪神高速先進技術研究所 TEL06-6244-6039



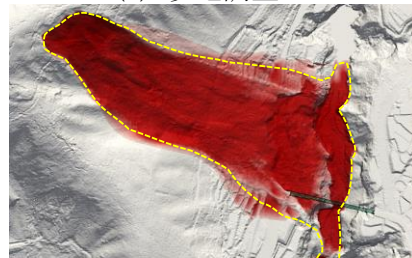
(a) 流速

(b) 堆積深さ

図-3 代表地点における流速及び堆積深さ



(a) 現地調査²⁾

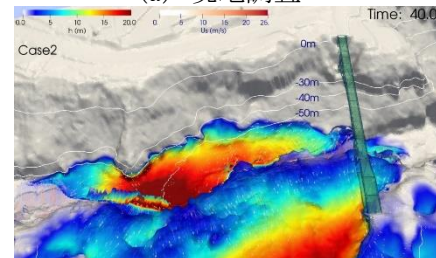


(b) 再現解析

図-4 流下範囲の比較



(a) 現地調査²⁾



(b) 再現解析

図-5 遡上高さの比較

4. 解析結果

図-3 に Case1 と Case2 の堆積深さ分布及び流速分布の比較を示す. Case1 では 10 秒から 20 秒にかけて一次崩壊によって流出した土砂が 5 m/s～10 m/s の速度で下方に移動している様子がわかる. しかし, 30 秒時点ではその土砂の流速が 0 m/s となり, 30 秒以降もその場に留まり, 二次崩壊まで到達しない結果となった. 一方, Case2 では土砂の流速が 20 m/s～25 m/s 程度と Case1 に比べて速く, 30 秒時点では二次崩壊領域まで到達していることがわかる. このように, 動摩擦角の設定が解析結果に大きく寄与することが明らかになった.

図-4 に現地調査及び再現解析により確認された土砂の軌跡を示す. 現地調査²⁾では, 一次崩壊発生域の最大幅は約 170 m, 流下堆積域の最大幅は約 280 m であった. 一次崩壊により流下した土砂が二次崩壊領域まで到達した Case2 における土砂の軌跡と比較すると, 実際の土砂の流下幅は対応しており, 本解析方法により一次崩壊による土砂の流下挙動を概ね再現できたといえる.

図-5 に土砂の対岸への遡上高さを示す. 現地調査²⁾では対岸斜面下部の樹木が流出・倒伏し, 上端付近の樹木が土埃を被った痕跡が見られたことから, 植生流失部の上端(植生残存部の下端)の高さまで土砂が到達したと考えられることから, 土砂は黒川河床から対岸の 30～60m 程度の高さまで遡上したと推察される. 一方, Case2 では黒川河床から最大でも 20m 程度しか遡上しておらず, 対岸への遡上高さについては実際の被害状況を良好に再現するには至らなかった. 本検討では一次崩壊と二次崩壊が同時に発生すると仮定して解析を実施したが, 二次崩壊領域の斜面の傾斜は一次崩壊領域に比べ緩やかであることから, 実際には一次崩壊により流下した土砂が二次崩壊領域に達することで二次崩壊が引き起こされ, 一次崩壊による土砂と二次崩壊による土砂が集合し勢いよく黒川の河床を通過した可能性も考えられる.

5. おわりに

地震後の三次元地形モデルを用いた有限面積法による解析を実施した結果, 動摩擦角の設定が解析結果に大きく寄与することを明らかにした. また, 一次崩壊領域の流下範囲は実際の被害を良好に再現したが, 対岸への遡上高さについては再現解析における遡上高さの方が小さく評価される結果となった. 二次崩壊領域の適切な評価が実現象の再現性の向上, 斜面崩壊メカニズムの解明に繋がると考えられる.

参考文献

- 1) 日経クロステック : <https://xtech.nikkei.com/kn/atcl/cntncrd/15/180528/112100020/>, 2018.
- 2) 砂防学会 : 平成 28 年熊本地震による土砂災害に関する緊急調査報告書, JSECE Publication No.80. 2016.
- 3) OpenFOAM User Guide v2112 : <https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/doc/>