H28年熊本地震による大規模斜面崩壊の再現解析と考察

長崎大学大学院工学研究科 学生会員 郭 雪寧 学生会員 史 嘯 石田純平長崎大学大学院工学研究科 フェロー会員 蒋 宇静 正会員 杉本知史

1.研究の背景・目的

2016年4月14日21:26 に熊本地方を震源として発生した M6.5 の地震(前震)および,2016年4月16日1:25 に発生した M7.3 の地震(本震)により,熊本県南阿蘇村等で数多くの斜面崩壊や地すべりが発生した.中でも,立野地区の斜面において発生した大規模斜面崩壊は,阿蘇大橋を崩落させ,甚大な被害をもたらした(写真-1).本研究では, この崩壊発生地の三次元斜面解析モデルを作成し,当時の地震動を再現した安定解析を実施する.また,崩壊土砂が崩壊領域下部を流れる黒川の対岸に到達していたことから,崩壊発生地の地形条件から,崩壊した土砂が滑落した速度を算定する.これにより,当時の崩壊メカニズムを把握することを目的とする.

2. 三次元斜面安定解析モデルの作成

土木学会地盤工学委員会の報告¹⁾より,崩壊は写真-1に示す, 上部崩壊領域と下部崩壊領域の二つの領域で発生したと考えられる.

本研究では, Itasaca 社の FLAC3D を用いて, 三次元モデルを 作成し,有限差分法によるシミュレーションを行った.解析モデ ルの作成範囲を図 - 1 に示す.図中の黄線が解析モデルの境界で あり, X 軸の長さは約 800m, Y 軸の長さは約 750m である.

完成した解析モデルを図-2 に示す.モデルの地表面形状は崩 壊が発生していない 2012 年 10 月 27 日に測定された標高データ に基づいている.レーザー観測による現地調査²⁾から,崩壊は図 -2 中の青い破線で示す,上部と下部の二箇所で崩壊が生じたと 考えられる.モデルの側面境界はエネルギー伝達境界であり,底 面は垂直方向の変位を拘束している.また,地表面境界は自由境 界である.

3. 地震動を再現した安定解析と土砂の滑落速度算定

解析に用いた物性値は,当該地から採取した試料を用いて実施 した試験結果³⁾より,表-1に示す値を用いた.

	变形係数	ポアソン	密度	粘着力	せん断抵抗角
	(MPa)	比	(kg/m ³)	(kPa)	(deg)
風化土層	20	0.4	2200	20.0	40.0
基盤岩層	10	0.3	2200	10000.0	45.0

表-1 入力物性值

まず,作成したモデルの全体安全率および,安定性の低い箇所 を把握するため,せん断強度低減法に基づいた静的な安定解析を 実施した.表-1に示す粘着力およびせん断抵抗角を初期値とし, 図-3に示すように徐々に低減させながら安定解析を実施した結 果,粘着力およびせん断抵抗角が初期値の80%となった時点で モデルが不安定となった.この時の不安定箇所を図-4に示す.



写真-1 阿蘇大橋付近斜面崩壊 (2016 年 5 月 14 日撮影)



図-1 モデル作成範囲 (撮影:アジア航測(株)



この結果より,作成したモデルの全体安全率は1.25 であり,図-4の不安定箇所が地形条件に満足する潜在的に崩壊の危険性が高い箇所であると言える.

次に,地震動を再現した安定解析を実施するため,図-5 に示す地震の加速度をモデルの底部に与えて安定解析を 実施した.地震波の伝播速度は約 1.2×10³m/s であり,モデルの底面から入力された地震波が地表面に到達するの は,約0.27~0.35 秒後である.地震波入力 10 秒後の合成変位の分布図を図-6 に示す.上部崩壊領域および下部崩壊 領域の傾斜が急な箇所で変位が大きく生じていることが確認できる.また,中腹部の傾斜が緩い箇所では変位はあ まり生じていないことから,この大規模斜面崩壊は地震動により,斜面の上部と下部の二箇所で生じた崩壊である ことがわかった.しかし,図-2 に示したように,レーザー計測の結果では,下部崩壊領域では急崖地より上部の傾

斜の緩い箇所でも崩壊が生じていたと考えられるが,解析の結果では急 崖地のみで変位が生じた.これは,上部から滑落してきた土砂の衝撃に より,下部の傾斜の緩い箇所で崩壊が生じたためと考えられる.

崩壊土砂は崩壊地の下部を流れる黒川の対岸に達していた.ここで, 崩壊土砂が崩壊が生じた側の川岸を通過するときの速度を V₀ m/s とす ると,対岸に到達するために必要な速度を式(1)と式(2)を用いて計算す ることができる.

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$
 (1) $L = V_0 t$ (2)

ここで,hは川の深さ,Lは川幅を表す.地形データから, $30 \text{ m} \le L \le 60$ m, $25 \text{ m} \le h \le 30 \text{m}$ とわかり,この結果から, $V_{0\text{max}}=26.83$ m/s, $V_{0\text{min}}=12.24 \text{ m/s}$ と計算でき,崩壊土砂が川の対岸に到達するには,崩壊 側の川岸の最小速度が12.24 m/sであることがわかった.ビンガム流体 のシミュレーション⁴⁾により,崩壊土砂が滑落する速度を算定すると, 崩壊発生20秒後に上部崩壊領域の土砂が崩壊側の川岸に到達し,その 時の速度は10 m/sであり, $V_{0\text{min}}$ よりも小さい値となった.本シミュレ ーションは崩壊発生後の土砂の初期速度を0と仮定していたため,実 際の崩壊では,地震動により,崩壊土砂が初期速度を与えられたことに より,崩壊土砂の到達距離が延長されたことが示唆される.

4.おわりに

本研究では、地震動を再現した三次元斜面安定解析および崩壊土砂の 滑落速度の算定により、地震時の崩壊メカニズムの検証を行った.地震 動を再現した解析により、変位分布の計算結果から、崩壊地の上部と下 部で崩壊が発生したことがわかった.また、崩壊土砂の滑落速度の算定 により、崩壊土砂が地震動により初期速度が与えたと考えられる. 謝辞

本研究に用いた地形データは、アジア航測㈱、熊本河川国道事務所よ り提供していただきました.ここに感謝の意を表します. 参考文献

- 1) 土木学会地盤工学委員会:平成 28 年(2016 年)熊本地震地震被害調査結果 速報会の資料, 2016.
- 2) アジア航測株式会社,「平成28年熊本地震」災害状況,2016.
- 3) Dang, Khang, et al : Mechanism of two rapid and long-runout landslides in the 16 April 2016 Kumamoto earthquake using a ring-shear apparatus and computer simulation (LS-RAPID), Landslides Volume13, Issue6, pp. 1525-1534, 2016.
- 4) Xiao Shi, Yujing Jiang, Boli: Numerical simulation of debris flow: a Gis-based mdoel and parametric analysis, 第 36 回 西日本岩盤工学シンポジウム, 2015.



図-4 不安定箇所(塑性領域)



図-5 地震波の加速度

