

三次元斜面安定解析を用いた斜面危険度および崩壊土砂量に関する一考察

九州大学大学院 学生会員 ○田中 大貴 正会員 笠間 清伸 正会員 古川 全太郎

1. 研究の背景と目的

地盤の深層崩壊とは、山地及び丘陵地の斜面が豪雨や地震、融雪などを誘因として風化の進んだ層だけでなくその下の基盤まで崩壊する現象であり、近年増加傾向にある。深層崩壊は、表層崩壊と比べ従来のハード対策では対応が難しく、ひとたび発生すると広範囲に大きな影響を及ぼす可能性があるため、災害の前兆現象や発生位置及びその規模を事前に推定し避難誘導などのソフト対策を進めていくことが極めて重要になる。

本文では、地盤の深層崩壊の危険度および深層崩壊にともなう土砂の移動到達範囲を推定するための基礎的検討として、三次元斜面安定解析を用いて崩壊土砂量を決定し、崩壊後の土砂の到達範囲を数値解析的に検討した<sup>1)</sup>。

2. 解析概要

深層崩壊による土砂の崩壊量を調べるために、斜面の安定性をビショップ法を基にした三次元斜面分割法により評価した。ビショップ法とは、回転モーメントの力のつり合いにより斜面の安全率を導く手法である。図-1に解析対象とした仮想斜面を示す。図中の  $F_s$  は安全率、 $r$  は球の半径、 $e$  は柱状要素から回転軸の垂直距離、 $\theta$  は斜面の角度、 $A$  は面積である<sup>2)</sup>。

ここで静止した柱状要素に働く力を表すと図-2a) のようになる。柱状要素に働く力は、地震力  $F$ 、土塊の自重  $W$ 、土塊に働くせん断力  $R$ 、すべり面に働く垂直な力  $N$  及び間隙水圧  $u$  である。この条件よりモーメントのつりあいから、すべり面を決定し、崩壊土砂量を求めた。

また、上記の斜面安定解析により最小の安全率となるすべり面を決定した後、すべり面上の土砂が崩壊・移動すると仮定し、図-2b) で示すように崩壊する柱状土塊に働く力を求める。ここで図-2と図-3の柱状要素は同一の柱状要素である。柱状要素に働く力は、前述した地震力、自重、せん断力に加えて、土塊の側面に作用する水平土圧  $P$ 、間隙水圧  $u$  である。これらの力の合力に比例して地すべり土塊は、加速度  $a$  で加速・減速するため土塊の質量を  $m$  としたとき、次式で表される<sup>3)</sup>。

$$m \cdot \vec{a} = (\vec{W} + \vec{F}) + \left( \frac{\partial P_x}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial P_y}{\partial y} \Delta y \right) + \vec{R} \tag{1}$$

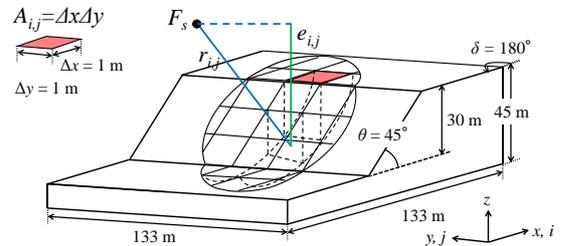


図-1 三次元斜面図

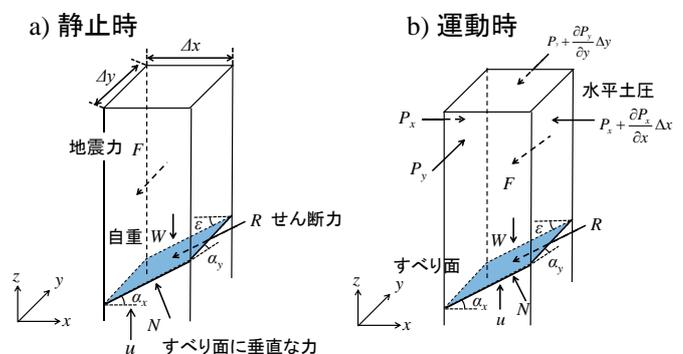


図-2 柱状要素に働く力

表-1 解析条件

名称	記号	設定値	単位
傾斜角(x成分)	$\theta$	45, 60, 75	°
傾斜角(y成分)	$\beta$	0	°
方位角	$\delta$	180	°
単位体積重量	$\gamma$	18.82	kN/m <sup>3</sup>
粘着力	$c$	0 ~ 90	kPa
内部摩擦力	$\phi$	0 ~ 45	°
間隙水圧	$u$	0	kN/m <sup>2</sup>
初速度(x成分)	$u_0$	0	m/s
初速度(y成分)	$v_0$	0	m/s
格子の幅(x成分)	$\Delta x$	1	m
格子の幅(y成分)	$\Delta y$	1	m
重力加速度	$g$	9.807	m/s <sup>2</sup>

キーワード 斜面の安定、数値解析、三次元

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 W2-1111 九州大学大学院工学研究院 TEL 092-802-3383

(1) 式を差分化し、汎濫解析等で用いる連続の式・ナビエストークスの式を利用することにより、土砂の流動範囲を推定した<sup>4)</sup>。表-1に解析条件を記す。解析は図-1に示す高さ30mの仮想斜面を対象に行った。傾斜角は45°、60°、75°と変化させ、一様な単位体積重量を有する斜面を仮定し、地盤内の間隙水圧を0と仮定した。また、地震力による外力は考慮していない。粘着力を0kPaから90kPa、内部摩擦角を0°から45°に変化させ、解析を行った。柱状要素の大きさは、縦横1mとした。また、安全率を計算する格子間隔を4mとし、x方向は20mから100m、z方向は30mから100mにて計算を行い、安全率が小さくなる場所では1m間隔とした。

3. 解析結果

図-3に仮想斜面における傾斜角 $\theta$ と安定係数 $N_s$ の関係を示した。図の横軸は傾斜角 $\theta$ 、縦軸は安定係数 $N_s$ を示す。安定係数は(斜面の単位体積 $\gamma \times$  斜面の高さ $H$ )/安全率が1.0となる斜面の粘着力)より求めた。図-3より三次元斜面安定解析より導き出された安全率はテルツァギの斜面安定の値とほぼ同じ値をとるためこの仮想斜面における仮定は妥当であることが推定できる<sup>5)</sup>。

崩壊土砂量を調べるために内部摩擦角と崩壊土砂量の関係を図-4に表した。図の直線は図-3の安全係数と傾斜角の関係より導き出した。内部摩擦角が35°傾斜角45°の崩壊土砂量は、内部摩擦角が15°の崩壊土砂量の半分に減少することが分かる。更に、内部摩擦角が5°から35°に変化する際に、傾斜角が75°において崩壊土砂量は20%減少したのに対し、傾斜角が45°の場合は79%減少した。これより、傾斜角が大きくなると内部摩擦角の角度変化によらず、崩壊土砂量の変化は小さくなることが推定される。また、内部摩擦角が25°以上となると崩壊土砂量は10000m<sup>3</sup>より減少せずほぼ変化しない。これより、傾斜角によらず、仮想斜面における最小の崩壊土砂量が推定できることを示唆する。

図-5に斜面の傾斜角が45°の場合のすべり面と崩壊土砂を示した。x軸が水平距離、z軸が斜面の高さを表している。また、図-5には粘着力を20kPaとした場合における2.4s後のすべり面と崩壊土砂の表面を二次元で解析した図を示している。内部摩擦角が15°の時に比べ、内部摩擦角が30°であると崩壊土砂量が50%程減少している。この解析より時間の経過と共に崩壊土砂が移動しており、土砂の移動・到達距離が推定できる可能性がある。

参考文献

1)地頭菌隆：深層崩壊に挑む，土木學會誌，第100巻，第八号，pp.7-9，2015。 2)Reid, M. E. Christian, S. B, Brien, D. L. and Henderson, S. T. : Scoops3D-Software to analyze three-dimensional slope stability throughout a digital landscape : U.S Geological Survey Techniques and Methods, Chapter-2.Basis of the Slope-Stability Analysis, pp.7-26, 2015。 3)佐々恭二：地すべり・斜面崩壊の運動予測-改良そりモデルとシュミレーションモデル，京都大学防災研究所年報第30号B-1, pp.8-12, 1987。 4)岩佐義朗・井上和也・水鳥雅文：汎濫水の水利の数値解析法，京大防災研究所年報第23号B-2, pp3~6, 1980。 5) Terzaghi. K. and R.B Peck : Soil Mechanics in Engineering Practice, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, 1967

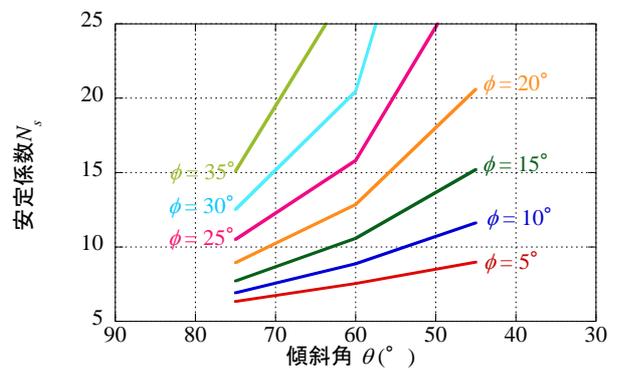


図-3 仮想斜面における土の斜面安定性の関係

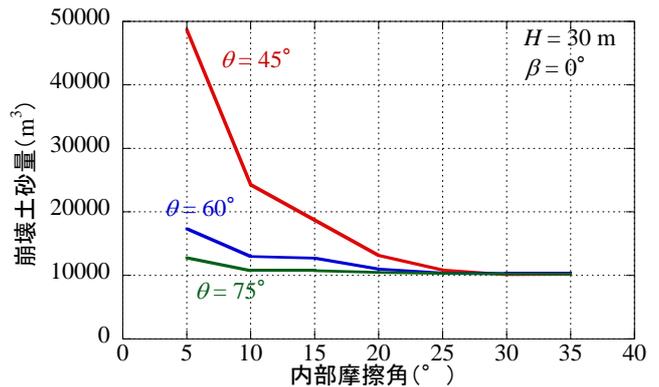


図-4 内部摩擦角と崩壊土砂量の関係

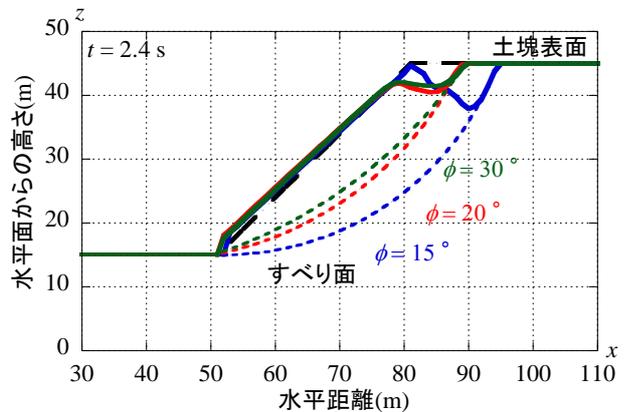


図-5 内部摩擦角によるすべり面と崩壊土砂の関係図 (theta = 45°)