

## 速報

地下水排除の場所が及ぼす大規模地すべり斜面の安定性の変化<sup>\*1</sup>浅野志穂<sup>\*2</sup>

キーワード：地すべり，三次元斜面安定解析，地下水排除工

## I. はじめに

各地で発生する大規模な地すべり災害は、被害を及ぼす範囲が特に広く地域生活に大きな被害を与えるため、被害の拡大に備えて多くの対策が実施される。特に大規模な地すべりは移動土塊の体積が大きく移動時の推力が大きいため、杭工などのみでは工事が膨大になる等の理由もあり、すべり面の間隙水圧の上昇を抑制するための地下水排除工が対策の中心となることが多い。限られた数の地下水排除工による地下水位低下の範囲は、広範囲に跨る大規模な地すべり地の一部にしかならないため、効率的な対策を行うためには地下水排除の場所選定の考え方が必要となる。

また広範囲に跨る大規模な地すべりは、内部に様々な微地形を含み、地すべりの移動方向やすべり面の形状が斜面傾斜方向に一致しないことも多い。このため斜面に代表的な測線を設定して行うこれまでの二次元解析で地すべりの水位低下による安定性の検討を行うことには精度的に問題を多く含んでおり、地すべり全体を再現する三次元解析で安定性を考えることが必要である。しかし、三次元的な検討を行うためには、多くの地下情報を広範囲に収集する必要があるなど、実施には多くの困難を伴うため、これまで実際の現場を対象とした検討事例は少ない。

そこで本研究では実際の大規模地すべりを対象に、数値実験的に現地調査結果に基づく三次元地すべり安定性と地下水排除の設置位置との関係について検討を行った。

## II. 研究手法

本研究対象地は山形県中央部に位置し約130haの範囲が1つのブロックとして変位した大規模な地すべりである(図-1)。地すべりは第三系泥質岩の上位に第四紀火山砕屑物が厚く堆積する地域に位置し、台地の辺縁部の斜面で発生した。すべり面は火山砕屑物層より下位の泥質岩層中にあり、深度は深いところで約120mであり、斜面縦断面でみるとすべり面は椅子型となる。

斜面安定解析を行うための地すべり地の三次元モデルを作成した。モデルは地すべり地を包括する範囲とし、すべり面及び火山砕屑物層と風化泥質岩層の境界面は、地すべり地で多数実施したボーリングの柱状図の結果を参考にした。作成範囲は東西方向2,055m、南北方向2,860mの範囲である。解析実行のために三次元モデルのうち、地すべりブロックの範囲を三角柱状のコラムに分割した。地形の特徴を反映するため水平方向のコラムの大きさは15m程度とし、地層やすべり面の交差部分はコラムを細分化した。その結果コラムの個数は19,207となった。解析に用いる土質パラメータは、実際のすべり面から採取した試料による試験結果を用いた。それぞれの解析パラメータを表-1に示す。粘着力や内部摩擦角はすべり面の強度である。解析方法については、極限平衡法による斜面安定解析は力学的に不静定問題を内包するため、仮定条件の与え方によって解析方法に幾つか方法がある。ここでは簡易法などに比べてより解析精度が高いと言われる三次元簡易ヤンプ法(鶴飼ほか1988)を採用することとし、実際の解析にはSSA\_3D(五大開発(株)製)を用いて行った。

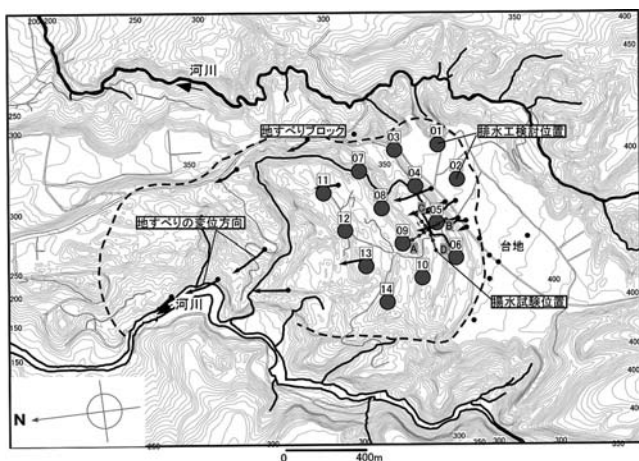


図-1. 対象地地形図

表-1. 解析時の土質パラメータ

	湿潤重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	飽和重量 $\gamma_{\text{sat}}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	粘着力 $C$ ( $\text{kN/m}^2$ )	内部摩擦角 $\phi$ (度)
第1層(火山砕屑物)	16.59	18.96	58.50	42.10
第2層(風化泥岩)	17.83	19.67	0.00	3.05

<sup>\*1</sup> Asano, S. : Effect of the location of groundwater drainage on the 3-dimensional slope stability of the landslide.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

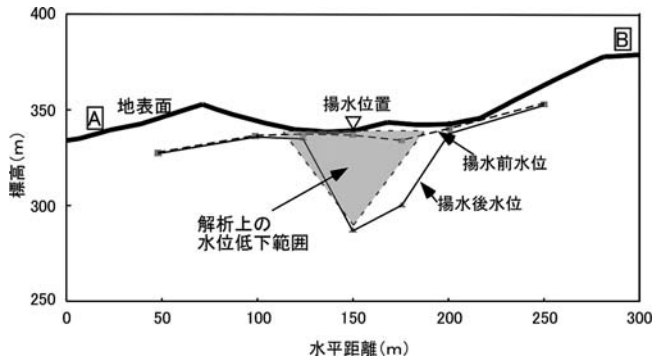


図-2. 揚水試験による水位低下

当地すべりは平成8年の豪雪後、大量の融雪水の浸透により大きく活動した。この時には現地でも本格的な観測を行っていなかったため、地すべりが活動したときの実際の水位は不明である。このため、便宜上ここでは地すべりの活動が無いときに実施した調査ボーリングで計測した水位から水面を作成し、これを解析水位とした。

地すべり地で行われる排水工には幾つか種類があるが、当地すべり地でも緊急対策的に実施されたのはディープウエル工と呼ばれる、全深度にスクリーンを設けた大口径の井戸を設置して排水する手法である。本研究もディープウエル工を想定して水位低下の影響を検討した。1地点で排水を行った時の水位低下の影響範囲は余り大きくなく、実測を行うためには高密度な観測が必要である。ここでは現地で揚水試験を行った結果を用いて、地下水排除による水位低下範囲を定めた。図-2は図-1に示した場所にて実施した揚水試験の結果を示したものである。この結果から排水をしたときの水位低下モデルとして、地下水面から深さ50m、直径75mの円錐形状の水位低下を仮定した。実際の井戸による水位低下は周囲の地下水フラックスなどにも影響を受けて場所により変化すると考えられる(浅野ほか2005)が、ここでは地すべり安定性と水位低下の場所との関係を特に比較するため、水位低下量は一定値と仮定して、水位低下の場所が変わったときの安定性の違いについて検討した。水位低下の場所は、現地の排水工の状況を勘案して、図-1に示す斜面上部の14地点について検討した。

### Ⅲ. 結果と考察

本研究において基準とする排水工による水位低下が無い時の地すべりの斜面安全率(Fs)は、Fs=1.4であった。これは地すべりの活動が始まるFs=1.0より大きい値であるが、解析水位が地すべり活動時の実測値でないことや、調査ボーリングの配置密度の関係で、特に斜面末端部付近のすべり面形状の精度が高くないことなどの影響によるためと考えられる。次に各排水工の設置ケースについても解析を行い、基準とした無排水時に対する変化について検討した。

表-2に各ケースの解析結果を示す。ケース11では安定解析の解が収束しなかったため検討から外した。ここで安全率は増分量が大きいほど水位低下が斜面の安定性に大きく働くことを示す。各ケースで水位低下の量の差はあまりないが、地すべりの安全率の増分量は異なった。特にケース1, 4, 8の時に安全率が大きく

表-2. 安定解析結果

ケース番号	無排水時に 対する安全率 の増分量	すべりの方向 (南向きから時計 回りの角度)	滑動力 ( $\times 10^6 \text{kN}$ )	滑動力に対する 抵抗力 ( $\times 10^6 \text{kN}$ )
無排水	-	118.5	2.46	3.47
1	0.096	108.2	2.24	3.37
2	0.002	118.5	2.46	3.47
3	0.021	113.6	2.37	3.38
4	0.118	107.0	2.22	3.38
5	0.000	118.5	2.46	3.47
6	0.001	118.6	2.46	3.47
7	0.001	118.5	2.46	3.47
8	0.118	107.0	2.22	3.38
9	0.000	118.5	2.46	3.47
10	0.000	118.5	2.46	3.47
12	0.000	118.5	2.46	3.47
13	0.000	118.5	2.46	3.47
14	0.000	118.5	2.46	3.47

なった。一方で安全率の変化に影響を及ぼさないケースも発生した。安全率が大きくなったこれらのケースでは、地すべり土塊に作用する滑動力と抵抗力ともに他のケースとは異なる大きさとなった。ここで滑動力は安定解析時の各コラムのすべり力の合力を示し、滑動力に対する抵抗力は、各コラムに働くすべりに対する抵抗力の合力を指す。また滑動力の方向についても安全率の増加が小さいケースでは無排水ケースと余り差がなかったが、安全率の増加が大きいケースでは、力が西北西方向からより西向きにずれる結果となった。これらのことから水位低下については地すべりの安定性に強く影響する場所があり、その時の地すべり全体の力のバランスが変化することが分かった。

次に各排水位置の特徴を検討するために、斜面上部の排水工設置付近のすべり面形状と各コラム毎の滑動力ベクトルを図-3に示した。ベクトルの長さは各コラムの力の大きさを示す。すべり面の勾配は地すべりの境界付近は急勾配になっているが、それより下部では勾配が緩やかになっている。特にケース4付近では、実際の地すべりの移動方向がケース4からケース8へ向かう方向であるのに対して、すべり面の勾配は東北東方向となり、移動方向に対して高角度に交差する方向であり、すべり面が谷形状と

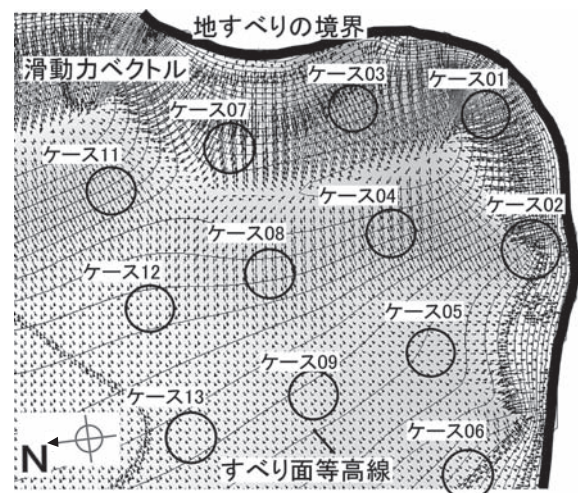


図-3. 排水工付近の滑動力ベクトルの分布

なっている。また滑動力の大きさはすべり面の形状に影響を受けている傾向が見られ、勾配が急な部分ほど大きくなる傾向がある。安全率の増分が大きいケース1, 4, 8付近の滑動力ベクトルをみると、ケース4, 8では地すべりの境界付近の急勾配部分で発生した力を受け止める様な、東北東向きに生じる滑動力が比較的大きく働く場所にあたる。ケース1では地すべりの移動方向に大きな力が働いているが、同時にケース3側からの移動方向の力を受け止める方向のベクトルにもなっていると見ることができる。これらのことから本ケースでは地すべりの滑動力を押しやる働きが大きい場所で、水位低下をさせることで、地すべり全体の安定性を効果的に高めることができるものと考えられる。

## 謝 辞

本研究は東北森林管理局との共同研究の一部として実施した。ご協力いただいた関係各位に対して謝意を申し上げます。

## 引用文献

- 浅野志穂ほか (2005) 応用地質 45(6) :309-315.  
鵜飼恵三ほか (1988) 土木学会論文集 394Ⅲ -9:21-25.  
(2009年10月27日受付 ; 2010年 1月24日受理)