

# ボクセルモデルを用いた 高瀬地すべりにおける危険ブロックの推定

1180090 高橋 遥

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

高知県吾川郡仁淀川町高瀬地区の地すべり防止区域では、H22年度、既存4箇所の地すべりブロックに加え、新たに、内2ブロックを包括する大規模な地すべりブロックの存在が明らかとなった。しかし、その明確な範囲は未だ明らかになっておらず、説明が急がれている。本研究では、地すべり範囲の抽出を念頭に、3次元斜面安定解析を用いた危険度の高いエリアの推定を試みた。3次元モデルの作成にはボクセルを採用し、地盤の属性として、すべり面、地下水、森林の情報を付与し解析を行った。結果、地すべりブロックの年間変位量と安全率の傾向がおおむね一致する結果が得られた。また、仮想的に地すべり範囲を設定し解析を行った。仮想範囲内ではデータが存在しない為、すべり深さを変化させながら最小安全率を持つすべり面を探索する事で解析を可能とした。斜面安定解析にボクセルモデルを用いることで、地上および地下におけるこまかな属性を考慮することが可能となり、より現実に近いモデルでの面的な危険箇所の推定が期待出来る。

**Key Words:** ボクセルモデル, 地すべり, 斜面安定解析

## 1. はじめに

高知県吾川郡仁淀川町高瀬地区の地すべり防止区域では、H22年度のボーリング調査の結果、既存4箇所の地すべりブロックに加え、新たに、内2ブロックを包括する大規模な地すべりブロックの存在が明らかとなった。これはA-0ブロックと呼ばれている。しかし、現地調査等によっても、A-0ブロックの明確な範囲は未だ明らかになっておらず、その説明が急がれている。本研究では、今年度から当該地区を対象に、航空測量解析を用いた変位抽出を行っている。本研究では、地すべり範囲の抽出を念頭に、斜面安定解析を用いた危険度の高いエリアの推定を行った。

一般的に地すべりの安定解析は、任意の測線で決定される2次元断面での解析手法がとられている。簡易な方法で計算でき、多くの実績があるが、層の厚い中心の断面のみを用いての解析となる。従って、層の薄い縁部では算出された抑止力が過大となる事や、平面形状に関わらず同じ解析結果となる点が問題視されている<sup>1)</sup>。そこで現在、側部の抑止力を考慮した

3次元安定解析手法の提案<sup>2)</sup>や、有限要素解析を用いたもの<sup>3)</sup>が多く研究されている。本研究でも、平面形状を考慮する事のできる、3次元の斜面安定解析を用いて危険ブロックの推定を行った。3次元モデルの作成には、属性情報を付与する事で、モデル自体に多様な情報を持たせる事のできるボクセルモデルを用いた。今回、ボクセルには、地盤情報や地下水の他に、これまで重要視されていなかった樹木の重量も付与し解析を行った。

## 2. 対象地区・使用データ

図-1 に対象地区の位置図を示す。



図-1 対象地区位置図

高瀬地区は、茶の生産が盛んな中山間地域であり、地区の下方には大渡ダム<sup>4)</sup>の貯水池が位置する。大渡ダムは、水力発電や洪水対策への利用、また、農業用水の水源とも

なる仁淀川本流で最大のダムである。高瀬地区には地すべりブロックが大きく A~D の 4 箇所に分かれ存在し、地すべり土塊がダム貯水域に流入した場合大きな被害が予想される事から、現在までに多くの対策工と、変位監視のための観測がなされている。本研究では、A, B の 2 ブロックを対象に解析を行った(図-2)。また、本研究で使用したデータを表-1 に示す。

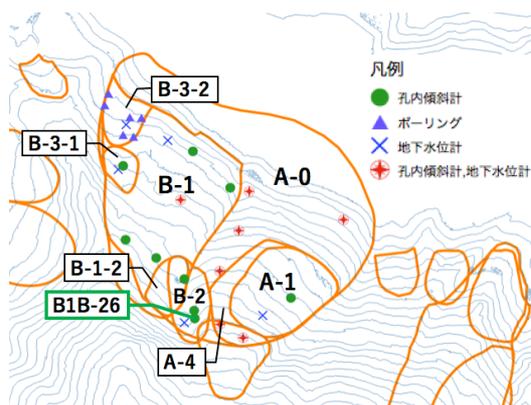


図-2 地すべりブロック名称・計測位置

表-1 使用データ

データ名	使用データ	提供	年
DEM	標高(m)	アジア航測株式会社	2003
DSM	標高(m)	アジア航測株式会社	2003
孔内傾斜計	移動量(mm)	高瀬保全事業報告書	2013
	すべり面(m)		
ボーリング	すべり面(m)	高瀬保全事業報告書	2013
地下水位計	地下水位(m)	高瀬保全事業報告書	2013

### 3. ボクセルモデルを用いた斜面安定解析

#### (1) ボクセルにおける属性情報

表-2 にボクセルに付与する情報をまとめた。

表-2 ボクセルに付与する情報

属性	入力値
すべり面	傾斜角度
土	単位体積重量
地下水	0 or 1
樹木	樹木重量

図-3 にボクセルモデルのイメージ図を示す。X, Y, Z 方向に 1 m のボクセルを、地盤高 0m から DEM より得られる標高まで作成する。すべり面のあるボクセルには傾斜角度(rad), 全ボクセルに土の単位体積重量 (15kN/m<sup>3</sup>), 地下水の有無は(0, 1)の閾値, 樹木は重量を付与し、モデルを作成した。

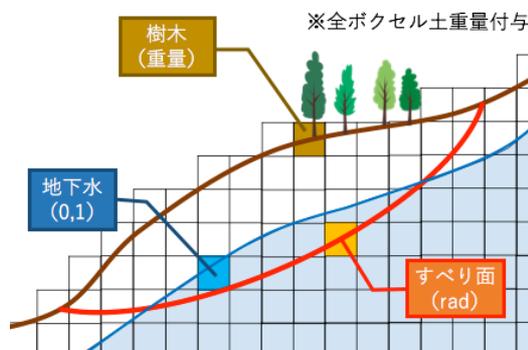


図-3 ボクセルモデルイメージ図

#### a) すべり面の属性値設定

図-2 に示した孔内傾斜計、ボーリング実施位置に、推定すべり深さの標高を入力し、三角形分割補間(TIN補間)を用いてすべり面を補間した。単純化の為、すべり面のボクセルには傾斜角度のみを付与し、解析プログラムですべり面と判断させた。

#### b) 樹木の属性値設定

まず、DSM から DEM を引いた画像に、局所最大フィルタ法を用いて樹木位置の抽出を行った。次に、樹木の質量を、式(a)から算出した。

$$\text{樹木重量} = \text{面積} \times \text{高さ} \times \text{比率} \quad (\text{a})$$

今回は、直径 40cm, 高さ 10m のスギを想定し、ボクセルにはこの重量を付与した。比率はスギの生木係数である 0.81 を用いた<sup>4)</sup>。

#### c) 地下水の属性値設定

図-2 に示した地下水位計の位置に、各測点で観測された高水位時の水位を入力し、三角形分割補間(TIN補間)を用いて地下水面を補間した。地下水のあるボクセルには 1 を、ないボクセルには 0 を付与した。図-4 に属性情報の作成手順をまとめた。

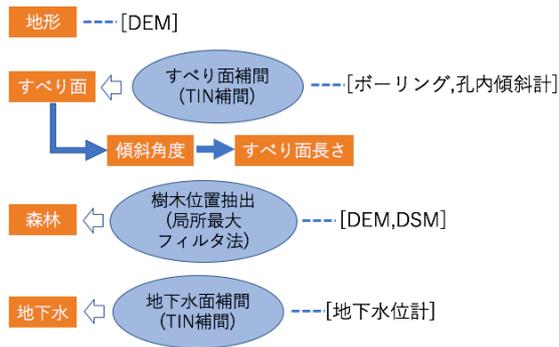


図-4 属性情報の作成フロー

## (2) 解析手法

解析手法は、最も実用頻度が高い式(b)に示すフェレニウス法を用いた<sup>5)</sup>。

$$F_s = \frac{\sum(cL + w \cos \alpha \times \tan \phi)}{\sum w \sin \alpha} \quad (b)$$

c: 粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

L: 滑り面長さ (m)

w: 重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$ : 傾斜角度 (rad)

$\phi$ : 内部摩擦角 (rad)

粘着力Cと内部摩擦角 $\phi$ は、A-0ブロックの実験値が存在しなかったため、隣に位置するDブロックの実験値を用いた。地下水のあるボクセルは水で飽和されていると仮定し、粘着力Cを0にし、単位体積重量は、浮力を考慮して9kN/m<sup>3</sup>軽くした<sup>6)</sup>。この時、式(b)の分子の重量のみを軽くし抵抗力だけを低下させた。

## 4. 高瀬の地すべりブロック

高瀬地区の地すべりブロックについて、ボクセルモデルを用いた斜面安定解析を行った。図-2に示した孔内傾斜計位置より得られている、H25年度の年間変位量と、算出された安全率の結果を比較した(表-3)。結果の色分け図を図-5に示す。年間変位量の小さいブロックは安全率が高く、大きいブロックは安全率が低下する傾向を捉える事が出来た。A-4ブロックについてはH27年度からの観測となっているため比較は行わない。最も安全率が低いのはA-0ブロックであった。

表-3 ボクセルモデルを用いた斜面安定解析結果

ブロック	変位 (mm)	安全率
B-3-1	0.6	3.481
A-1	0.9	2.490
B-1-2	1.3	2.245
B-1	5.3	1.535
B-3-2	7.2	1.687
B-2	10.1	1.305
A-0	15.8	0.906
A-4	-	0.859

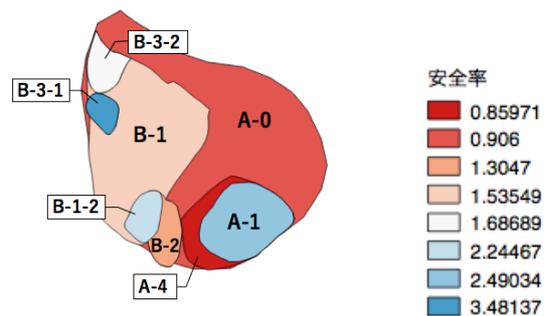


図-5 解析結果色分け

樹木重量、地下水を属性に付与した時の、A-0ブロックでの安全率の変化を表-4にまとめた。樹木の影響は、加算総重量がおよそ596tのとき、0.0006下がる結果となった。樹木の重量は安全率には影響を与えないことが分かった。地下水については、属性付与後、約0.189下がる結果となり、安全率に大きく影響する事が分かる。

表-4 属性の影響 (A-0 ブロック)

属性	有無	安全率
樹木	なし	0.90691
	あり	0.90631
地下水	なし	1.09652
	あり	0.90691

## 5. 仮想ブロックでの解析

前述の通り、A-0ブロックは明確な範囲が未解明である。既存の指定範囲では、境界面ではっきりとした変状が確認されていない事から、A-0ブロックの範囲はさらに上部まで広がっている可能性も考えら

れる。そこで、仮想ブロックを2段階の大きさにわけて設定し、解析を行った。仮想ブロック形状を図-6、図-7に示す。図-6の名称を「中ブロック」、図-7の名称を「大ブロック」とする。

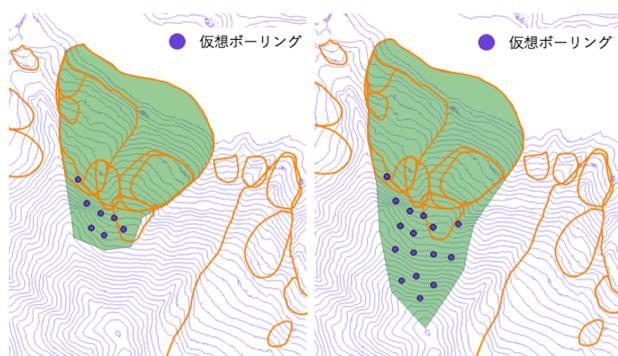


図-6 仮想中ブロック 図-7 仮想大ブロック

仮想ブロック拡大部分にはボーリングデータが存在しないため、仮想ボーリングを設定し、すべり深さを変化させながら解析を行った。滑り深さは、B1B-26番における滑り深さを1として、0.90~1.10までを、0.05きざみに5段階の倍率で変化させ解析を行った(図-2)。なお、この時、地下水を考慮すると、すべり面が深いほど安全率が低下する結果となるため、地下水は考慮しない状態で解析を行っている。中ブロックの解析結果を表-5に、大ブロックの結果を表-6に示す。中ブロックの最小安全率は、すべり深さを0.90倍し、浅くした時に安全率が最小となった。大ブロックでは、倍率1.05で少し深くした時に、安全率が最小という結果となった。次に、最小となったすべり深さのモデルに、地下水の属性を追加し解析を行った。結果は、中ブロックの安全率が1.051、大ブロックの安全率が0.758となり、大ブロックではA-0ブロックより低い安全率を示した。

表-5 仮想中ブロック斜面安定解析結果

	中ブロック				
深さ倍率	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
安全率	1.075	1.080	1.076	1.102	1.174

表-6 仮想大ブロック斜面安定解析結果

	大ブロック				
深さ倍率	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10
安全率	1.089	1.083	1.038	1.013	1.058

## 6. 考察

今回、ボクセルモデルを用いた斜面安定解析による、危険度の高いブロックの推定を行った。その結果、平成25年度の年間変位量と安全率の傾向がおおむね一致する結果が得られた。しかし、H27年度から観測が始まったA-4ブロックにおいては、H28年度年間変位量が0.96mmなのに対し、安全率が0.859と最も低い値を示している。これは、A-4ブロックにボーリングデータが少ない事で、すべり面の補間精度が悪い事や、既に周辺に対策工が数カ所施されており、地形特性に対して滑動力が抑えられている事などが考えられる。しかし、その他は現状と合致する結果となった。仮想ブロックの解析では、滑り深さを変化させながら安全率を算出した。解析結果は、仮想大ブロックはA-0ブロックより小さな安全率を示したが、これは、地下水が過剰に影響している可能性が高いため、地下水部分の計算および補間方法は今後の改善課題である。今後、本手法で得られる危険範囲を対象に、航空測量を用いての変位抽出が可能であるか検証を行い、地すべり範囲抽出のための活用を検討する。

## 参考文献

- 1) 安藤勲:3次元地すべり安定解析における現状と課題
- 2) 西山卓,今西肇,千葉則行,伊藤孝男:準三次元斜面安定解析による対策工設計に関する一考察,2012.
- 3) 木下慎逸,田中比月,酒井哲也,吉松弘行:地すべりにおける深礎杭の3次元FEM解析事例,2001.
- 4) 農林水産省:千葉県バイオマス活用推進計画, pp26, 2011.
- 5) (株)東建ジオテック:斜面の安定解析  
[http://www.jasdim.or.jp/gijutsu/gakekuzure\\_joho/kaiseki/syamenantei/anteil.html](http://www.jasdim.or.jp/gijutsu/gakekuzure_joho/kaiseki/syamenantei/anteil.html)
- 6) 日本道路協会:道路土工擁壁工指針, pp20, 1999
- 7) 高瀬農地保全事業地すべり対策技術検討委託業務報告書, 2009-2016
- 8) 高木方隆:国土を測る技術の基礎, pp324-328
- 9) 地区の様子 | 1. 地区の概要と課題 |  
[http://seneca21st.eco.coocan.jp/working/agou/3\\_1\\_01\\_01.html](http://seneca21st.eco.coocan.jp/working/agou/3_1_01_01.html)