

CS 32

自然斜面を対象とした非矩形三次元多平面安定解析による崩壊形状の推定

神戸大学大学院 学生員 渡辺佳秀

神戸大学工学部 正会員 沖村 孝

神戸大学大学院 学生員 森本功彦

1. はじめに

自然斜面に発生する表層崩壊の崩壊源規模を推定する手法としてかつて沖村らは三次元多平面安定解析手法¹⁾を提案した。その手法では矩形のみを仮定すべり土塊形状として崩壊源規模の推定を行った。さらに仮定すべり土塊形状を非矩形形状で設定し、これに三次元多平面安定解析手法を適用して過去に発生した崩壊源規模のシミュレーション手法も提案されている²⁾。それらの際には、すべり方向は過去の崩壊地の中央に位置するセルの基岩の最急勾配方向と仮定されていた。本報では予知・予測を目的として矩形形状の仮定すべり土塊を対象とした三次元での力のつり合いよりすべり方向を推定する手法を提案する。さらにこの手法を過去に崩壊が発生した自然斜面に適用してすべり方向を推定した後、得られた方向に対して非矩形形状をも対象とした三次元多平面安定解析手法を適用することにより求められた崩壊源規模と従来のようにすべり方向を危険セルの最急勾配方向と仮定して得られた崩壊源規模の推定結果とを比較することにより本報で提案するすべり方向の推定手法の有用性を検討した結果について報告する。

2. すべり方向推定手法の提案

本手法では、分割柱仮想壁面に働く力は側面に垂直な水平力のみとし、せん断力に起因する内部力は無視するものと仮定した。 $m \times n$ 個の分割柱からなる矩形仮定すべり土塊のすべり方向および安全率の求め方を説明する。仮定すべり土塊の設定例を図-1に示す。この図においてすべり方向が矢印で示す方向となった場合斜線で示した部分を下流端分割柱、それ以外の部分を滑動すべり土塊と称する。安全率 F およびすべり方向 θ （図-1参照）にある値を仮定して安定解析を行う。まず滑動すべり土塊全体の X 方向のつり合いを求める。各分割柱に作用する X 方向の力の総和を求め、上流端の分割柱に働く水平力はゼロ（ $Hx_{1,1}=0$ ）と仮定すると滑動すべり土塊全体としての X 方向の水平力の合力（ $\sum_{i=1}^{n-1} Hx_{i,m}$ ）を求めることができる（図-2参照）。同様に Y 方向についても滑動すべり土塊全体としての水平力の合力（ $\sum_{j=1}^{m-1} Hy_{n,j}$ ）を求める（図-2参照）。仮定すべり土塊全体としてすべり方向に対して直交方向の力のつり合いがゼロになると仮定するとすべり方向 θ は次式を満足したときに仮定した θ となる。

$$\left| \sum_{i=1}^{n-1} Hx_{i,m} \cdot \sin \theta - \sum_{j=1}^{m-1} Hy_{n,j} \cdot \cos \theta \right| \leq \delta \quad (1)$$

数値計算においては $\delta=0.1\text{ton}$ 、 θ のきざみは 0.005rad とした。下流端分割柱ではすべり面は水平と仮定する。このため下流端分割柱ではせん断抵抗力（ $Tm_{i,1}$ ）のみが働く（図-2参照）。安全率はすべり方向における土塊全体の力のつり合いより決定する。下流端分割柱の上流側側面に作用するせん断力の合力 H は以下の式で表される。

$$H = \sum_{i=1}^{n-1} Hx_{i,m} \cdot \cos \theta + \sum_{j=1}^{m-1} Hy_{n,j} \cdot \sin \theta \quad (2)$$

また下流端分割柱のせん断抵抗力の合力 T は、以下の式で示される。

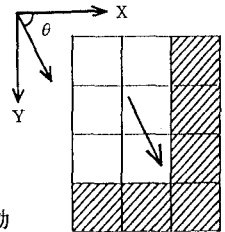


図-1 仮定すべり土塊の設定例（ $m=3, n=4$ の場合）

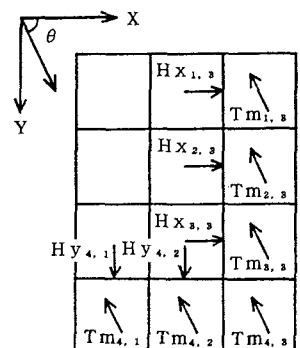


図-2 仮定すべり土塊に作用する力

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} T m_{i,m} + \sum_{j=1}^{m-1} T m_{n,j} + T m_{n,m} \quad (3)$$

よって安全率は次式を満足したときに仮定したFとする。数値計算においては初期安全率を2.00と仮定し、

$$|H-T| \leq \varepsilon \quad (4)$$

くり返しのための安全率は0.01きざみで増加もしくは減少させている。 ε は0.6tonと仮定した。解析対象領域はかつて沖村らが提案した手法⁴⁾により求められた危険セルを中心として7×7のセルで表される領域とした。この領域内で危険セルを必ず含むあらゆる矩形仮定すべり土塊を設定し、最小の安全率を示す矩形仮定すべり土塊のすべり方向を危険すべり方向とした。本報で提案した手法は既提案の安定解析手法ほど厳密な力のつり合いを満足していなため安全率が最小となる矩形仮定すべり土塊形状の信頼度は劣る。このため危険すべり方向のみを採用した。

3. 自然斜面への適用結果

ここでは、過去に崩壊の発生した自然斜面を対象として本報で提案した手法によりすべり方向を推定し、得られた方向で非矩形三次元多平面安定解析手法により崩壊源規模の推定を行った。調査地としては宮城県宮城郡利府町内の入菅谷W地区を選んだ。表土層厚は現地調査により測定した値を格子点データに補間することにより求めた。また、 $c' = 0.28 \text{ tf/m}^2$ 、 $\tan \phi' = 0.75$ ($\phi' \approx 37^\circ$)、 $\gamma_i = 1.73 \text{ tf/m}^3$ を室内試験と一面せん断試験結果より与えた。格子間隔は5mとした。すべり方向の推定結果を図-3に示す。この図で矢印は得られた危険すべり方向である。この図では過去の崩壊源形状と推定される部分を実線で、削剥部と推定される部分を破線で示した。これより、本報で提案した手法は表層崩壊のすべり方向を推定できるものであると考えられる。次に、得られた危険すべり方向と解析対象領域のY軸方向が平行となるように危険セルを中心として座標変換を行い再度7×7のセルよりなる解析対象領域を設定する。この解析対象領域に非矩形三次元多平面安定解析手法を適用し、最小の安全率を示す仮定すべり土塊を危険すべり土塊とした。その結果を図-4に示す。この図より得られた危険すべり土塊はほぼ過去の崩壊源形状に一致していることがわかる。一方、従来のようにすべり方向は危険セルの最急勾配方向と仮定して得られた結果を図-5に示す。これらの図よりすべり方向は危険すべり方向と仮定した場合の方が崩壊源規模を正確に予測し得ることがわかった。

参考文献 1) 沖村孝、前田勉：三次元多平面安定解析による表層崩壊源規模の推定、建設工学研究所報告、32、pp. 141-155、1990。 2) 沖村孝、鈴木洋平、森本功彦：集水性を考慮した非矩形三次元多平面安定解析による崩壊源規模の推定、第27回土質工学研究発表会、pp. 1895-1896、1992。 3) 沖村孝、森本功彦、濱添光太郎：数値地形モデルを用いた三次元斜面安定解析の自然斜面への適用-三次元Hovland法および三次元簡易Janbu法-、平成4年度砂防学会研究発表会概要集、pp. 22-23、1992。 4) 沖村孝、市川龍平：数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法、土木学会論文集、358、pp. 69-75、1985。

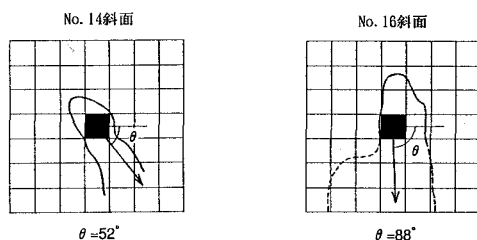
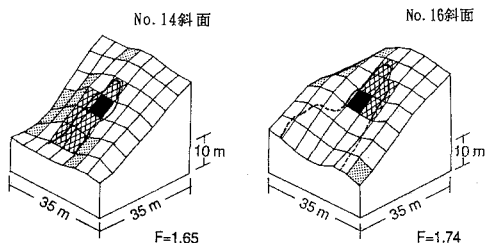
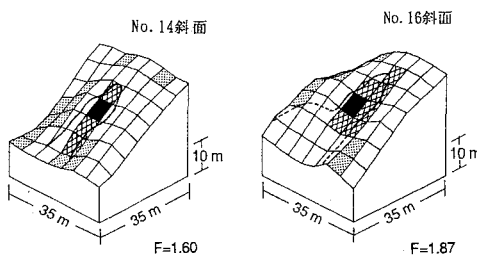


図-3 得られた危険すべり方向



■ 危険セル □ 危険すべり土塊
 ▨ 基岩の最急勾配方向より設定された非崩壊分割柱

図-4 崩壊源規模の推定結果
 (すべり方向は危険すべり方向と仮定)



■ 危険セル □ 危険すべり土塊
 ▨ 基岩の最急勾配方向より設定された非崩壊分割柱

図-5 崩壊源規模の推定結果
 (すべり方向は危険セルの最急勾配方向と仮定)