

地形図上における自然斜面の諸形態と地形的安全度の評価手法

信州大学工学部 正会員 吉澤孝和 ○学生員 石井哲

地形的安全度 地形学によると、地形(F)とは地史上の種々の時点での時間帯(dT)において、**に関する序論** 構成物質が示す物性(M)とそれに作用する地形営力(P)との相乗作用が蓄積して形成されたものである。¹⁾ Gregory はこれを $F = \int (PM)dT$ で説明している。²⁾ ここで地形変化を人間の時間感覚でとらえてみると、上式は $F = \int (pm)dt + \sum (P_i M_i)$ としたほうがよい。右辺第1項は現代の平常的な地形営力のもとにおける連続的で微細な地形変化であり、第2項は散発的に発生する中～大規模な地形変化であって、山崩れ、地すべり、土石流等の土砂災害を伴うものである。

いま、ある時点 t_i における地形を F_i とすると、これはその時点の営力 P_i と物性 M_i に影響を及ぼす。たとえば、重力は地形営力のひとつであるが、自重による不安定化のしやすさは地形に左右される。また、表流水が滞留する地形は、地中の含水量を増大して構成物質の強度を低下させる。本研究はこのような観点から現時点における地形を対象として、斜面崩壊に対する地形的な安全度を評価する手法を検討するものである。今回は、一様な物質で構成される斜面に発生する円弧すべり面の性質を、各種の斜面について解析する。

一様斜面 まず、一様な勾配で一様な物質で構成される斜面に生ずる円弧すべりの特性を考える。滑動土塊はつぎの2式で囲まれる形状とする。
 $(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 = R^2$ $y = ax$ (1)

図1において、すべり面に発生している滑動力と抵抗力とのモーメントの釣り合いから、安全率 F_s がつぎのように導かれる。式中、 M_A = 滑動力モーメント、 M_B = 粘着力モーメント、 M_C = せん断抵抗力モーメントである。

$$F_s = (M_B + M_C) / M_A \quad (2)$$

$$M_A = \frac{\gamma}{12} \{ 3aR(\sin\beta - \sin\alpha) - 3R(\cos\beta - \cos\alpha) - 3(ax_0 - y_0)(\cos 2\beta - \cos 2\alpha) - aR(\sin 3\beta - \sin 3\alpha) - R(\cos 3\beta - \cos 3\alpha) \}$$

$$M_B = c(\beta - \alpha)$$

$$M_C = \frac{\gamma}{12} \tan\phi \{ 6(ax_0 - y_0)(\beta - \alpha) + 9R(\sin\beta - \sin\alpha) - 3aR(\cos\beta - \cos\alpha) + 3(ax_0 - y_0)(\sin 2\beta - \sin 2\alpha) + R(\sin 3\beta - \sin 3\alpha) - aR(\cos 3\beta - \cos 3\alpha) \}$$

この式からすべり円弧の半径 R と F_s との関係を調べてみる。これは式(2)の極値を求める問題で、偏微分を要するが、式形が複雑となるため、数値解析で検討する。横軸に R 、縦軸に F_s をとると下方に凸のグラフができる。これは、斜面勾配と土質常数に固有な最小安全率を示す円弧の半径 R が存在することを意味する。ただし計算に用いる土質常数は一般的な土で考えられる範囲 ($C=0.5\sim 2.5 \text{ tf/m}$ $\phi=15\sim 35^\circ$ $\gamma=1.8 \text{ tf/m}^3$) で与えている(以下同様)。図2に水平距離100mをもつ種々の勾配の斜面 ($a=1/4, 1/3, 1/2, 1/1$) において最小の安全率を示す円弧すべり面の形状を示した。急勾配になると半径が増大し、すべり面が浅くなる傾向が見られる。

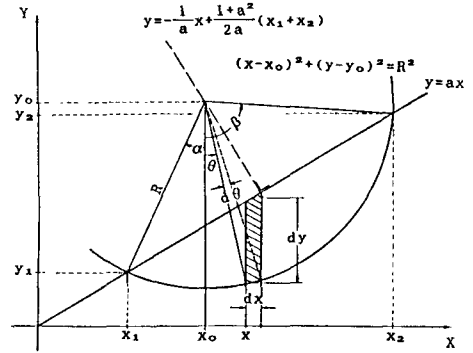


図1 一様勾配斜面の解析モデル

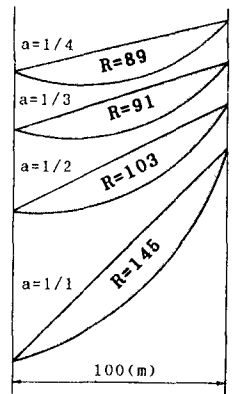


図2 斜面勾配とすべり面形状

¹⁾ P.G.Fookes & P.R.Vaughan: A Handbook of Engineering Geomorphology, Surrey Univ.Press,1986.

²⁾ K.J.Gregory: A Physical Geography Equation,National Geographer 12,1978.

自然斜面上での検討

自然斜面における脚部の切土や崩落等による地形変化と、それに伴う安全率とすべり面形状の変化について、幾つかの地すべり地の断面について検討する。

解析手法はつぎのいずれかを用いる。

〔1点法〕斜面上に、すべり面と地表面との交点を1点与え、その点を通る各種の円弧のうちで、最小の安全率を与えるものを求める方法。

〔2点法〕斜面上に地すべりの頭部と脚部の位置を与え、この2点を通る円弧のうちで最小の安全率を与える形状を求める方法。

図3は、長野市地附山地すべり(1985.7)における右片側の崩落土塊に沿う断面図である。道路建設による切土(陰影部)の影響を検討する。すべり面(1)=切土前の最小安全率断面、すべり面(2)=切土後の最小安全率断面、すべり面(3)=調査結果による推定すべり面である。切土による安全率の低下は5.7%、最低安全率を示す円弧は、切土後の断面では図示のようにやや浅くなった。推定すべり面(3)は円弧ではなく、構造的な要因(滑落崖部の断層)を加味したものである。今後この点を解析に取り入れることが必要である。

図4は、長野県小諸市千曲川右岸に生じた地すべり(1981.8)について解析したものである。構成物質は扇状地性堆積物で、円弧すべり面が形成されやすい条件である。すべり面(2)と(3)は、地表脚部の移動軌跡を解析して推定したものである。すべり面(1)は本法の1点法を用いて境界条件を頭部の滑落崖の位置に置いたもので、すべり面(3)と対比してみると、かなり浅い結果が得られた。

図5は、長野県信州新町奈良尾地区に発生した地すべり(1976.10)である。この地すべりの特徴は、図示の下林山の不安定化により、かなり上方の斜面にまで地すべりの範囲が拡大したことである。すべり面(2)は下林山の頂部に発生した滑落段差を境界点としたもので、誘因的なすべりである。すべり面(1)は最上部と最下部の変状発生点で境界条件を与えたものである。ほぼ直線的なすべり面となったことは、現地の状況をよく反映しているが、やや浅い結果が得られた。

今後の課題 本研究は地形的な因子のみに注目して、斜面の地形的安全率(仮称)を円弧すべり面により評価する手法を検討したものである。最小の安全率を示すすべり面は、実際のすべり面よりも浅いものが得られる傾向である。今後、地質構造的な要素をとり入れた解析法を検討していく必要がある。

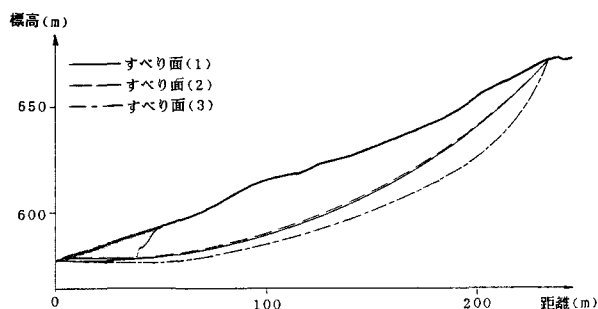


図3 長野市地附山地すべり地・道路切り取り部地形断面図

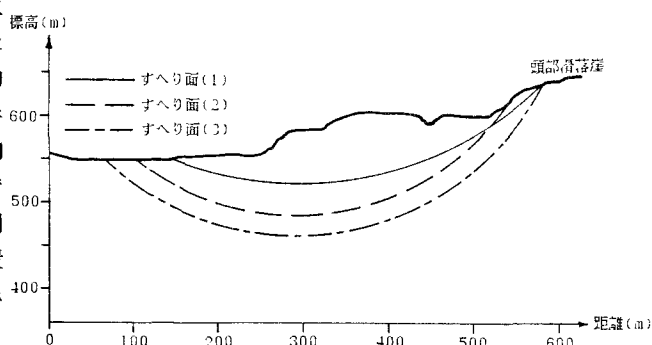


図4 長野県小諸市千曲川右岸地すべり地断面図

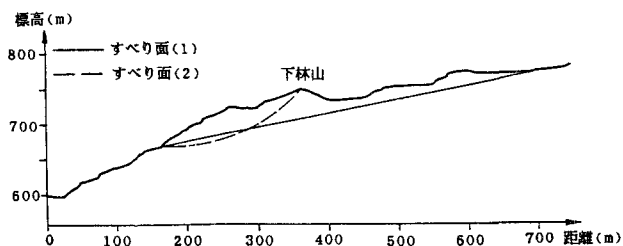


図5 長野県信州新町奈良尾地すべり地断面図