

群馬県庁 正員 林 賢二
群馬大学 正員 小澤 竹 重機
渋川市 星野 光一

1. まえがき : 山腹崩壊の規模を推定することは、防災的見地からのみならず生産土砂量を予測する上でも重要と考えられる。しかし従来の多くの斜面安定解析は場の等方等質性を仮定して一次元的な取扱いとするために、崩壊の横方向の広がり等を含む、崩壊の規模の推定は行えなかった。一方、山腹崩壊に中間流が大きく関与していることは疑いがない。とくに1つの斜面中でも微地形の凹地では水が集まり易く、中間流の水深上昇は急激となり、このような場所がまず崩壊することが予想される。本研究はこのような考えから、山腹の表層中に中間流の水深分布を与えることにより、場に異方性を持ち込み、これにより崩壊の規模の推定を行おうとするものである。本研究で用いるモデルは昨年度の年次講演会で報告したモデルと同じであるが、本報告は計算法に改良を加え、計算事例を多くした上で、実際の豪雨によって生じた崩壊事例の調査に基づき、このモデルの妥当性の検証を行おうとするものである。

2. モデル及び計算法 : モデルは図-1に示すようであり、昨年度と同じものである。図-1(b)のように斜面の横方向に細片に分割し、1つ1つの細片について(a)図のように円弧すべり面を仮定して安定計算を行う。すべり面は斜面下端で基岩に接するとしている。こうした安定計算を1から始め、横方向に進めていき同じ長さを持つすべり円弧について加え合わせていき、その総合安全率が1より小さくなった円弧及びそのもって崩壊の規模としている。この際にすべり円弧の側面にも粘着力を与える。昨年度は以上の計算を簡便分割法により行ったが、本報では全体を一度に積分する方法に改良している。まず、円弧の中心を中心とした、せん断力のモーメント M_c は(1)式で与えられる。ここに A は円弧の側面積、 δ は横方向の単位巾、 γ_{sat} は土の飽和単位体積重量、 r は円弧の半径、 x_c, y_c は円弧の重心座標である。 γ_{sat} は 1.92 ton/m^3 としている。底面粘着力によるモーメント M_b は式(2)となる。ここに C は粘着力、 D は層の厚さである。また側面の粘着力によるモーメント M_b は式(3)で与えられる。次にせん断抵抗の項に関して、まず重量分による抵抗モーメント M_w は式(4)で与えられる。ここで x_0 は円弧の重心と円の中心を結ぶ直線がすべり面と交わる点の x 座標、 ϕ は内部摩擦角である。 ϕ は 30° としている。間隙水圧によるモーメント M_h は、表面流が発生しない場合とする場合に分けられ、それぞれ式(5)、式(6)で与えられる。 H, L, l, x_s は図-1(a)に示すものである。結局、総合安全率 F_s は式(7)で与えられることとなる。

以上の計算を、斜面長50mと100mの2ケース、層厚は0.5mから3mまで0.5mごとの6ケース、斜面勾配 α は $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ の4ケース、横勾配は 5° と 10° の2ケース、粘着力は 0.1 から 0.8 ton/m^2 までの 0.1 ton/m^2 ごと

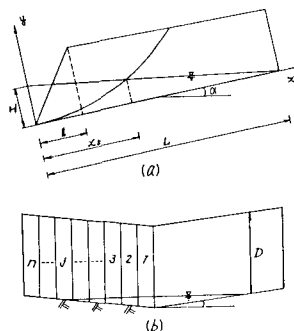


図-1 安定計算モデル

せん断力

$$M_c = (A \cdot \delta) \cdot \gamma_{sat} \cdot \left\{ (r - y_c) \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + x_c \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \right\} \quad (1)$$

底面粘着力

$$M_b = C \cdot \arccos\left(1 - \frac{D}{r}\right) \cdot \delta \cdot r^2 \quad (2)$$

側面粘着力

$$M_b = C \cdot A \cdot \sqrt{x_c^2 + (r - y_c)^2} \quad (3)$$

せん断抵抗 (重量分)

$$M_w = r \cdot A \cdot \delta \cdot \gamma_{sat} \cdot \cos(\alpha + \theta) \cdot \tan \phi \quad (4)$$

但し、 $\theta = \arctan \frac{x_0}{\sqrt{r^2 - x_0^2}}$

(間隙水圧分)

表面流が発生しない場合

$$M_h = r \cdot (I_1 + I_2) \tan \phi \quad (5)$$

但し、 $I_1 = r \cdot \cos \alpha \left\{ \frac{D}{2} (r - \sqrt{r^2 - x_1^2}) - r \arcsin \frac{x_1}{r} + x_1 \right\}$
 但し、 $x_1 = H / (1 + \frac{D}{r})$
 $I_2 = r \cdot (H - r) \cos \alpha \left\{ \arcsin \frac{x_2}{r} - \arcsin \frac{x_1}{r} \right\} + \frac{H}{2} r \cos \alpha \left(\sqrt{r^2 - x_2^2} - \sqrt{r^2 - x_1^2} \right) + r \cdot (x_2 - x_1) \cos \alpha$

表面流が発生する場合

$$M_h = r \cdot (I_3 + I_4 + I_5) \cdot \tan \phi \quad (6)$$

但し、 $I_3 = r \cdot \cos \alpha \left\{ \frac{D}{2} (r - \sqrt{r^2 - l^2}) - r \arcsin \frac{l}{r} + l \right\}$
 $I_4 = r \cdot (D - r) \cdot \cos \alpha \cdot \left\{ \arcsin \frac{x_2}{r} - \arcsin \frac{l}{r} \right\} + r \cdot \cos \alpha (x_2 - l)$
 但し、 $x_2 = L(H - D)/H$
 $I_5 = r \cdot (H - r) \cos \alpha \left\{ \arcsin \frac{x_2}{r} - \arcsin \frac{x_1}{r} \right\} - \frac{H}{2} \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \left(\sqrt{r^2 - x_2^2} - \sqrt{r^2 - x_1^2} \right) + r \cdot (x_2 - x_1) \cdot \cos \alpha$

但し、 $F_s = \frac{M_b + \sum (M_c + M_w - M_h)}{\sum M_c} \quad (7)$

の8ケースについて、すべての組合せについて計算を行った。

3. 計算結果と崩壊例の調査結果との比較

実際の崩壊例の調査は昭和58年7月の山陰豪雨に際して発生した島根県三隅町の崩壊を対象とした。調査方法は航空写真より崩壊の長さ、巾、その斜面の斜面長と勾配、横方向の勾配、を立体視鏡を用いて調べた。

調査箇所の選定は、同一コース上の3枚の連続した航空写真の中央にラインを引く(ラインの長さは約3kmである)、このラインに沿ってほぼ等間隔になるように崩壊を選んだ。但し調査の容易さと精度も考えて比較的大きな崩壊を対象とした。このような方法で1組の写真につき17ヶ所を、2組行い、合計34ヶ所について調査した。この調査結果をヒストグラムの形でまとめたものが図-2

(a)(b)から図-5までである。図-2(a)は崩壊の長さ、(b)は崩壊を起した斜面の長さ、図-3は崩壊の巾、図-4は崩壊を起した斜面の勾配、図-5はその斜面の横方向の勾配、の度数分布である。いずれも過去の多くの災害例の調査結果と同じ傾向にある。図-6から図-8はこの調査結果と計算結果と比較したものである。但しこれらの図はいずれも、粘着力や層厚など

多くのパラメータが関与している現象の中で、図-6 調査結果と計算結果の比較、ただ単純に横軸と縦軸にとった2要素間の関係をプロットしたものであるから、調査結果と計算結果の比較は両者の点と同じような範囲にあるかどうかで判断することになる。図-6は崩壊を起した斜面の長さとの関係を示したものである。図中■印は調査結果、○印は計算結果である。斜面長については50mと100mについてのみ計算を行っているので、計算結果はこのライン上に並ぶ。計算結果での崩壊長は10m以内のものから広く分布しているのに対し調査結果には短いものが入っていないが、これは前述のように小さい崩壊は調査対象としていないことによる。こうしたことを考えると、調査結果と計算結果の分布はほぼ同様の傾向を示していると言ってもよいであろう。図-7は斜面勾配と崩壊長さの関係、図-8は崩壊長と崩壊巾の関係を見たものであり、いずれも前述の理由から計算結果のうち崩壊長の短いものを無視してみれば、ほぼ同じような範囲内に分布していることと見ることができよう。

以上、調査結果と計算結果の比較から、第一義的には本モデルはほぼ妥当であることが認められる。

4. あとがき : 今後はさらに物理定数や層厚などについても実際の崩壊例の調査により検討を進めたい。最後に、航空写真を心よく貸与して頂いた京大防災研究所江頭道治助教授に深く謝意を表す。

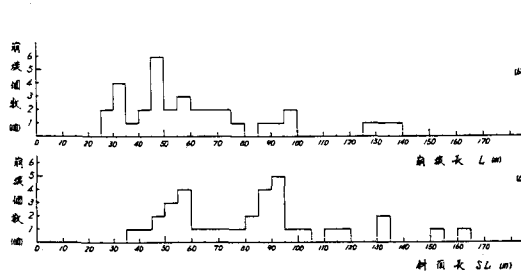


図-2 崩壊長さ及び崩壊斜面長さ(5.58山陰豪雨)

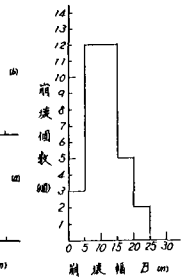


図-3 崩壊巾

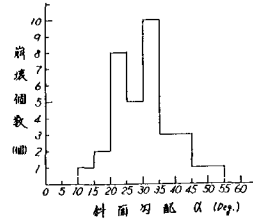


図-4 崩壊した斜面の勾配

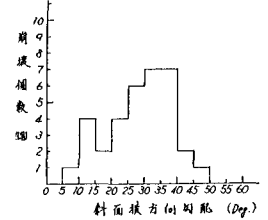


図-5 崩壊した斜面の横方向の勾配

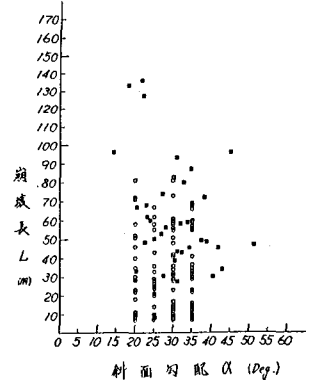
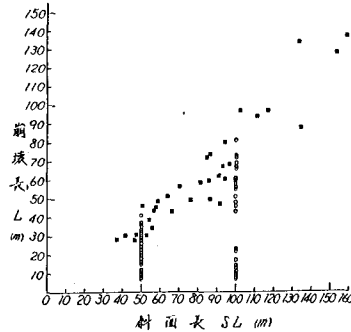


図-7 調査結果と計算結果の比較

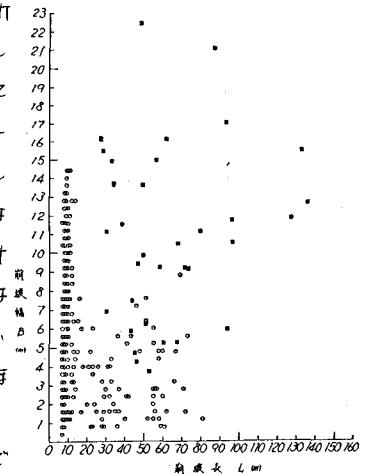


図-8 調査結果と計算結果の比較