

1. はじめに

斜面崩壊・地すべり崩土による被災域の予測は防災上、重要な課題となっている。崩土の流動性を評価する際に、しばしば「等価摩擦係数H/L」という用語が使われる(図1)。これは、流下中の崩壊土砂の抵抗が摩擦抵抗のみからなる運動を考えた場合、運動量保存則からこの動摩擦係数は最終的に“全流下高H/全流下距離L”に等しくなることから呼ばれたものである。また、運動解析においては、妥当な動摩擦係数をいかに見積もるかが解決すべき課題となっている。ここでは、その摩擦係数の概略的推定手法についてこれまでの著者の考え方を整理するとともに1998年8月末の豪雨により発生した福島県西郷村の斜面崩壊の流動性を検討した。

2. 動摩擦係数の推定

一般的に動摩擦係数と最も関係深い要素は静止摩擦係数である。そこで、崩土について両者の関係を明らかにするべく、加速度計を用いた流下実験並びに既発表のせん断試験結果から考察を行った。

2.1 流下実験による摩擦係数 実験は直線斜面上に載っている物体に加速度計を設置し、斜面の勾配を徐々に大きくすることによって流下させるとともに、流下中の物体の加速度 a を計ることにより動摩擦係数を求める方式をとった ($\mu_k = (\sin \theta - a/g) / \cos \theta$)。ここで、 μ_k : 動摩擦係数、 θ : 限界斜面勾配、 g : 重力加速度である。実験で用いた加速度計は振りひずみ型のもので静的な傾きについても変化するため、斜面上の物体が流下し始める限界斜面勾配(最大静止摩擦係数)も同時に求めることが出来る。従って、本手法は同一材料の静止摩擦係数、動摩擦係数を一連の実験の中で測定できる。実験では直線斜面と流下物体との境界面条件を種々変えて(砂粒子の有無や固定、非固定)、両摩擦係数を測定した¹⁾。静止摩擦係数と動摩擦係数は各条件によって異なり、まちまちであるが、各境界条件ごとの静止摩擦係数に対する動摩擦係数の比はほぼ一定で0.74~0.85の範囲に収まっていることがわかった。これは、静止物体が移動し始めると、それまで保持していた摩擦抵抗はほぼ一定の割合で低下することを意味する。この実験では間隙水圧の影響はなく、摩擦抵抗の変化のみを捉えている。

2.2 せん断試験における静止摩擦係数と動摩擦係数の関係

土のせん断強度はせん断変位の増加とともに徐々に大きくなり、ピークに達する。その後はせん断強度は低下して一定値(残留強度)を示すようになる。このせん断試験におけるピーク強度値は静止摩擦係数に、残留強度値は動摩擦係数に匹敵する。図2はこれまで公表されている地すべり粘土の両せん断強度について両者の関係を表している(文献省略)。図からも明らかなように、地すべり粘土でも静止摩擦係数と動摩擦係数との間に一定の直線関係が見られる。動摩擦係数は静止摩擦係数のほぼ70%に低下する傾向を示している。三雲²⁾は岩石の動摩擦係数 σ_d と静止摩擦係数 σ_s を求める破壊試験を行ない、その比 σ_d / σ_s は0.75~0.85であると報告している。

従って、崩土の動摩擦係数は静止摩擦係数の0.70-0.85倍程度になると推定することができる。

いま、崩壊源の斜面勾配(図1の θ)を釣り合い

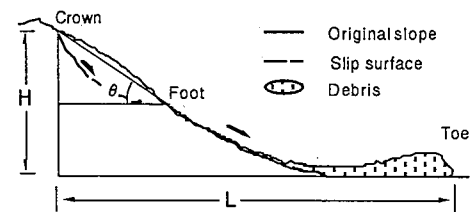


図1 崩土の運動に関するジオメトリー

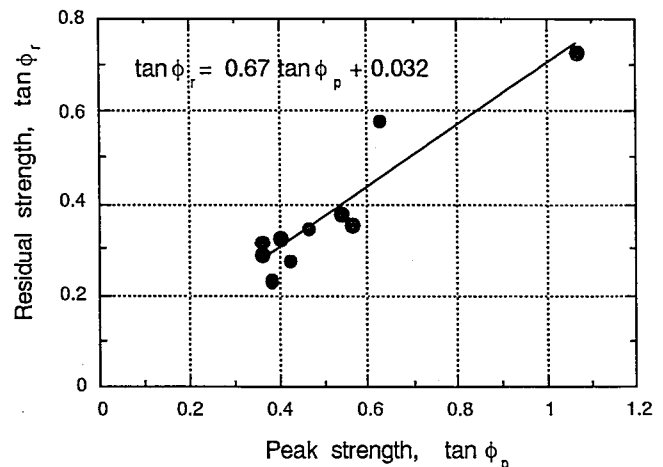


図2 ピーク強度と残留強度

の関係から近似的に静止摩擦係数に等しいとみなすと、運動計算に必要な動摩擦係数（等価摩擦係数）は崩壊源となる斜面勾配の約0.70-0.85程度に低下した値を見積って求めればよいことになる。また、到達距離も事前に予測できる。

図3は崩壊源の斜面勾配と等価摩擦係数との関係について国内外の崩壊事例を調べたものである。図3からも明らかのように明瞭な関係が見られる。各データは崩壊規模の大小、地質、誘因に制限を与えることなく抽出した。等価摩擦係数が斜面勾配の0.75-0.85倍という上述の関係よりも図3はやや小さい値を示している。これは崩土の崩壊が土粒子の摩擦抵抗の低下だけでなく、豪雨型崩壊に見られるように間隙水圧の影響などにより流動性の高いもののが含まれているためと推定される。

3. 1998年8月福島豪雨災害における崩壊斜面の斜面勾配とH/Lの関係及びその流動性

図4は1998年8月末北関東・南東北の集中豪雨により発生した、福島県西郷村の斜面崩壊の到達距離と崩壊源の斜面勾配との関係を示している。本地域の斜面崩壊は主にA.緩斜面に堆積した火山灰堆積層を主体とする崩壊、B.溶結凝灰岩を滑落面とする表層崩壊のタイプが多い。斜面勾配、鉛直距離、水平距離などの計測にはノンプリズムレーザ距離計（鉛直角度精度は±0.1度、距離精度は±5cm/100m）を用いた。図4によると、1) 傾斜勾配と等価摩擦係数H/Lの間には明瞭な関係があり、緩い斜面勾配を持つ斜面の崩壊ほど高さに比して遠くまで流下すること、また、2) 両者を表す直線式が斜面勾配の0.63倍となっており、図2で求めたH/Lに比べて勾配が緩い結果となっている。つまり、崩土の流動性が平均的に高いこと意味する。この流動性の高さは、本地域の火山灰堆積層の土質特性のほか、緩斜面が多いことから崩壊に至るまでにはかなりの間隙水圧の上昇を必要とした（高含水比）ことも影響しているであろう。大倉ら³⁾は同じく西郷村や大信村周辺の調査から崩土の等価摩擦係数は仰角11-17度（H/L=0.19-0.30）が多いこと、ならびに崩土の最大の到達範囲として仰角11度（H/L=0.19）を見出している。図4の関係は、各斜面ごとにもう少しきめ細やかな推定ができる可能性を示している。

4. おわりに

ここでは、崩土の到達距離予測のための等価摩擦係数を斜面勾配から求める方法を提示した。また、1998年夏の豪雨で発生した福島県西郷村の崩壊についてもその関係式が成り立ち、かつ流動性が高いことを示した。しかし、ここで取り扱った西郷村の崩壊データ数も少なく、概略的な傾向を示すに留まっている。今後、さらにデータを蓄積して崩壊時の間隙水圧の影響をはじめ、詳細な検討を加えたい。

（参考文献）

- 1) H.Moriwaki (1987) : Geomorphological Predictions of the Travel Distance of A Debris. Proceeding of Japan-China Field Workshop on Landslides, 1987, 79-84. 2) 三雲 健 (1980) : 地震を発生させる応力の大きさと断層の破壊. 月刊地球, Vol.2, No.8, 560-568. 3) 大倉陽一・三森利昭・北原 曜 (1999) : 平成10年8月末の福島県南部豪雨災害における崩壊土砂の流動化. 京大防災研共同研究10G-3「土砂の流動化機構に関する研究」, 45-54.

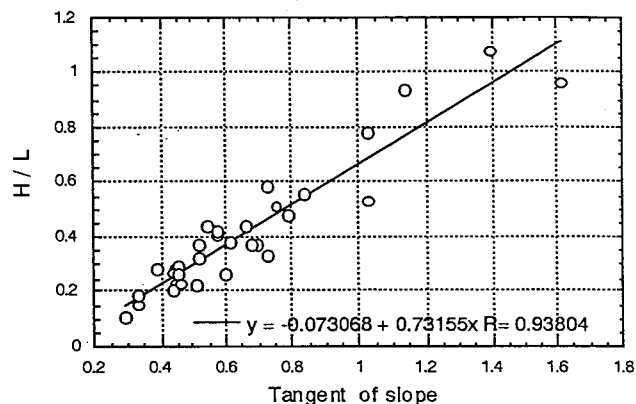


図3 崩壊源の斜面勾配とH/L

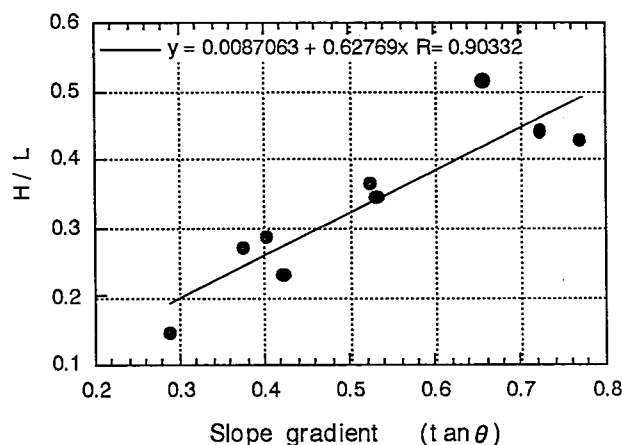


図4 斜面勾配とH/L (福島西郷村)