

森林総合研究所 ○大倉 陽一・北原 曜・三森 利昭  
黒川 潮・落合 博貴

1. はじめに

1998年8月26~31日、停滞前線と台風の影響による未曾有の集中豪雨に見舞われた福島・栃木両県では、土砂・洪水災害により人命財産に多大な被害を被った。とりわけ、福島県では西郷村、大信村などを中心に約1,000箇所にも上る崩壊により、西郷村真船総合社会福祉施設「太陽の国」で5名、同村葎の目で2名、大信村赤仁田で1名の死者を出した他、重傷者5名の人的災害、家屋、公共施設、道路、通信施設、農地、林地などに激甚な災害を受けた(図-1)。

今回の崩壊による土砂災害の特徴として、急傾斜地のみならず20度程度、場合によっては15度程度の緩斜面でも崩壊が発生したこと、崩壊した土砂が多量の水分を含んでおり流動化して到達距離が予想以上に大きかったことが挙げられる。このことは1997年に発生した秋田県八幡平ならびに鹿児島県針原川の土石流に関しても同様の傾向が観られ、さらに1996年長野県蒲原沢において発生した土石流も含め、崩壊土砂の「流動化」機構の解明・予測の問題が今日的問題としてクローズアップされてきた<sup>1), 2)</sup>。しかし、肝心の崩土が流動化したか否かの判定基準は曖昧なままである。そこで、本研究では西郷村における崩壊地測量ならびに、土質試験から崩土の到達距離に影響を及ぼす要因についての検討を行い、流動化判定の定量化を試みる。

2. 土質試験結果

「太陽の国」給食センター脇の崩壊源頭部付近において土壌断面を作成し、400cc採土円筒によりサンプルを採取し、土層ごとの透水係数ならびに飽和密度の測定をおこなった(図-2)。崩壊地の状態からⅢBとⅢCの境界がすべり面と推定され、図示のように透水係数はⅢBとⅢCで明確に異なり1/20以下に急減する。また飽和密度もⅢBとⅢCを境にして急速に大きくなり土質が異なることが分かる。このⅢCの透水係数値は降雨強度に換算すると29mmに相当し、西郷村役場で観測された最大1時間降雨量60mmの半分程度であり、残り半分の30mmは地下水位を形成し、間隙水圧の上昇とともに斜面が不安定化したものと推定される。

図-3に西郷村内4カ所の崩壊地滑り面から採取したサンプルを用いた現場一面せん断試験による傾斜とtanφの関係を示す。今サンプルに限れば斜面傾斜とtanφとの関連性は観られなかった。

3. 崩壊土砂の到達距離に及ぼす要因の検討ならびに流動化判定

図-4、5に西郷村内で調査を行った21の崩壊地における崩壊土量あるいは斜面傾斜と等価摩擦係数ならびに重心等価摩擦係数の関係を示す。ここで等価摩擦係数とは、崩土の堆積域最前端から崩壊源頭部を見上げた直線の勾配を指す。重心等価摩擦係数は崩土の堆積域における重心から崩壊発生前の土塊重心を見上げた直線の勾配を指す。重心等価摩擦係数は現地における測量結果を基に算出し、斜面傾斜ならびに等価摩擦係数は現地での直接観測結果である。図-4より崩壊土量と等価摩擦係数の関係は明瞭ではなかった。10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>以上のオーダになると、負の相関が見られるという研究例もあるが<sup>3)</sup>、今回の崩壊土量は10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>程度までなのでこのような結果になったものと考えられる。

図-5によると斜面傾斜と等価摩擦係数とは正の相関が観られた。この理由に関し、図-6を用いて考察を行う。一般的に床面との摩擦係数がtanφの物体が傾斜θの斜面を滑りながら下部平坦面上で停止するとき、等価摩擦係数はtanφよりも大きなtanφ'となる。なぜなら、傾斜変換点において垂直方向の速度成分に由来する運動エネルギーE<sub>loss</sub>が消散するからである。すなわち、勾配変換点においてエネルギーE<sub>loss</sub>がE<sub>loss</sub>だけ下方へ平行移動することになる。tanφ'をtanφならびにθを用いて表現すると(1)式のようになり、θが大きくなるほどtanφ'も大きくなること分かる。

$$\begin{aligned} \tan \phi' &= H / (E / \tan \phi + H / \tan \theta) \\ &= \tan \theta / \{ 1 + (\sin \theta / \tan \phi - \cos \theta) \cos \theta \} \end{aligned} \quad (1)$$

(1) 式中のφを崩壊滑り面上における内部摩擦角と仮定すれば、崩壊土砂の理論上の等価摩擦係数tanφ'が求

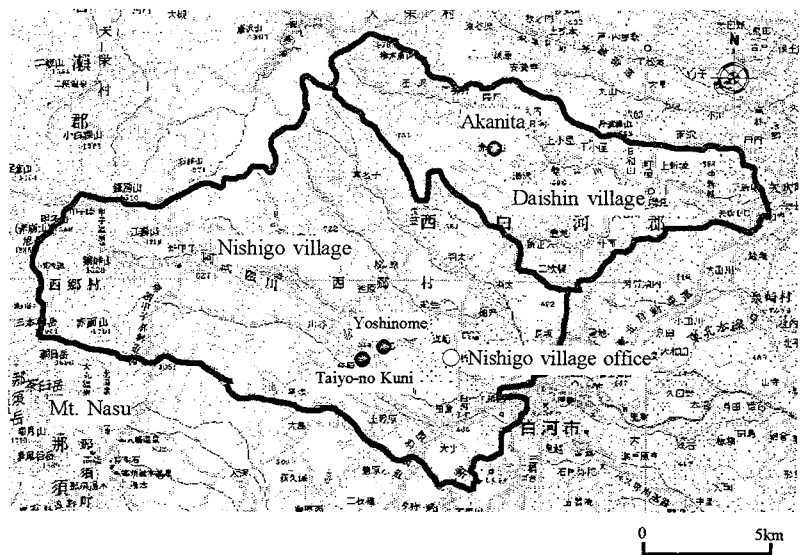


図-1 福島県西郷村ならびに大信村位置図。

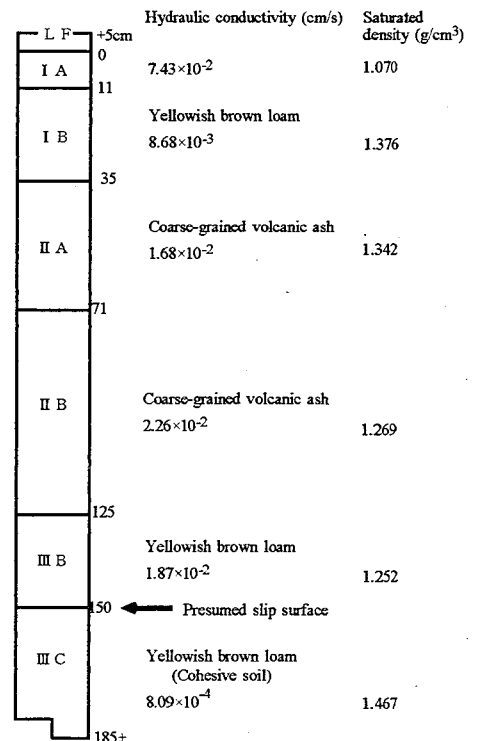


図-2 「太陽の国」給食センター東側崩壊源土壌断面図。

まるはずである。4カ所の一面せん断試験により求められた $\phi$ の平均値 $26.5^\circ$ を用いて $\tan \phi'$ を斜面傾斜ごとに算出し図-5上に表示した。今回調査を行った崩壊の大部分が $\tan \phi'$ よりも小さな等価摩擦係数の値をとり、固体の摩擦則より予測される地点よりも遠方まで流下した事になる。そこで、(1)式で求められる $\tan \phi'$ を流動化境界等価摩擦係数と呼ぶ事にすれば、この値よりも観測された等価摩擦係数が小さい場合には流動化したと判断することができる。すなわち、今回調査を行った崩壊の大部分が流動化していたことが判明した。

4. まとめ

1998年8月27日、福島県西郷村・大信村地区では局地性豪雨により多数の崩壊が発生した。降雨資料ならびに土質試験により崩壊発生要因を明らかにした。また多数の崩壊地測量により、斜面傾斜が崩土の到達距離に及ぼす要因の一つであることを明らかにした。さらに、斜面傾斜と内部摩擦角とから流動化境界等価摩擦係数を提示し、今災害で発生した崩壊の大部分が流動化したことを明らかにした。

また、流動化境界等価摩擦係数は崩土の最低到達域を設定できるが、最大到達域に関しては21ヶ所の崩壊地を調査した結果、仰角は11度前後が最低であった。西郷村および大信村など地質が同様なこの地域で、崩土が流動化した場合は、仰角11度が崩土の最大到達範囲と考えてよい。この値は今後、斜面下部に建築物などを配置する際の参考となる。

引用文献

- 1) 福岡浩・汪彦武・佐々恭二：崩壊誘起土石流の発生過程の再現試験。第30回砂防学会シンポジウム講演集，pp.11-20(1998)。
- 2) 石川芳治：地震による土石流の発生に関わる地形、地質条件。砂防学会誌，Vol.44，No.5，pp.35-42(1999)。
- 3) Scheidegger, A. E. :On the Prediction of the Reach and Velocity of Catastrophic Landslides. Rock Mechanics 5, pp231-236
- 4) (全体的に) 北原曜・大倉陽一・三森利昭：福島県南部における1998年8月末豪雨による土砂災害報告。福島県林務部報告書。

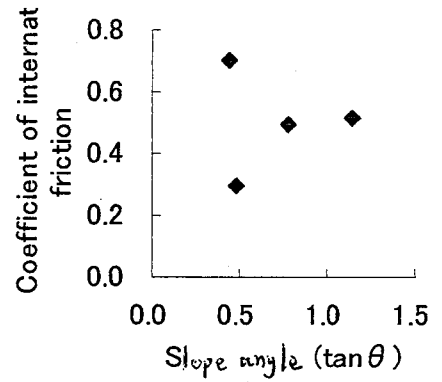


図-3 西郷村内における崩壊滑り面上の土質強度定数と傾斜の関係

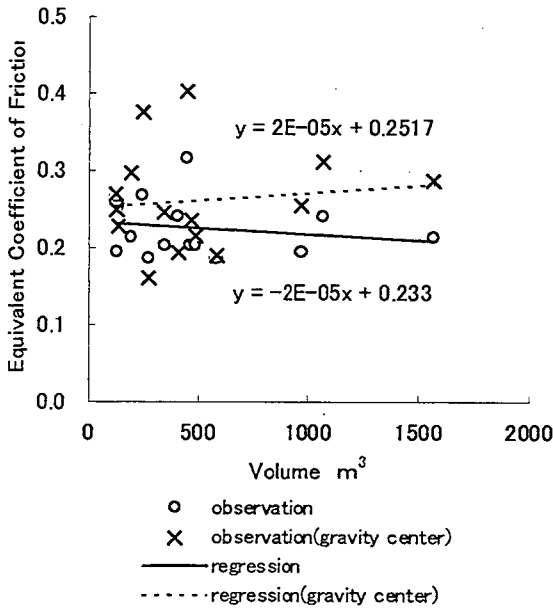


図-4 西郷村における崩壊土量と等価摩擦係数の関係。

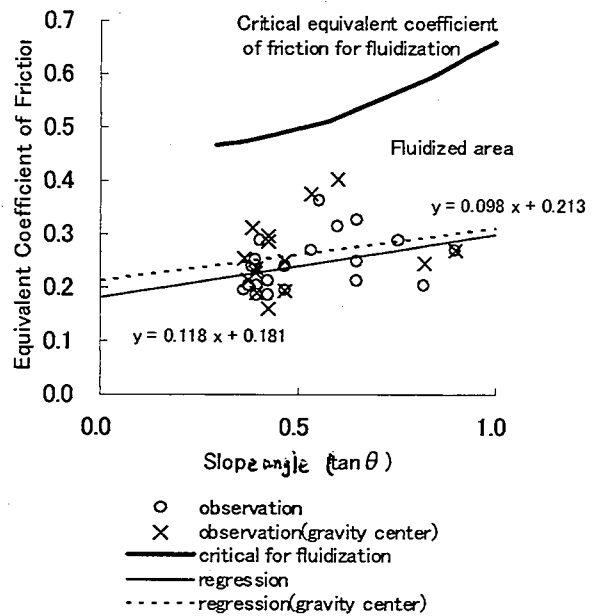


図-5 西郷村における崩壊斜面傾斜と等価摩擦係数の関係 (流動化境界等価摩擦係数は $\tan \phi = 0.5$ で算出)。

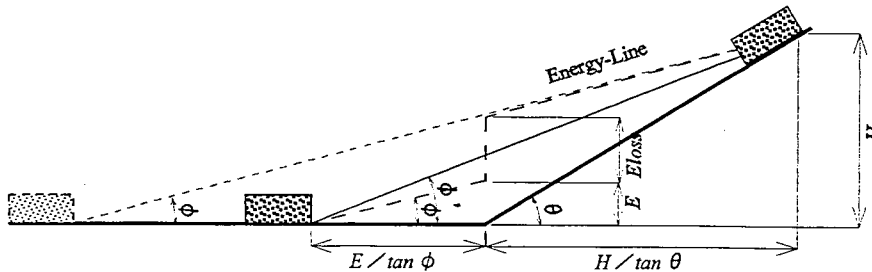


図-6 斜面を滑り落ちる固体が水平面と衝突する際のエネルギー線変換図。(phi: 固体と床面との摩擦角、phi': 見かけの摩擦角)