

平成 20 年岩手・宮城内陸地震で発生した土石流と室内試験による土砂の流動性評価

東北大学 学 平塚 裕介 正 風間 基樹・渦岡 良介

1. はじめに

平成 20 年 6 月 14 日、岩手県内陸南部の深さ約 8km を震源とするマグニチュード 7.2(暫定値)、最大震度 6 強の地震の発生に伴い、甚大な土石流被害が報告されている¹⁾。中でも最も大きな被害が生じた駒の湯源頭部での土砂崩壊の規模は、国土地理院²⁾によれば、崩壊土砂約 150 万 m³(東京ドーム約 1.2 杯分)が、約 10km もの距離を流れ下ったと推定されている。このような土石流の発生要因、流下能力を検証するため、本研究では土石流が発生した沢の地形情報を整理し、その地形効果について考察した。さらに室内試験により土砂の流動特性を評価した。

2. 発生場所の概要

土石流が発生した 5 つの区域 (a 駒の湯, b 産女川上流部, c 耕英南, d ヒアシクラ沢, e 秣岳南) を対象に地形情報を整理し、崩源頭標高や、勾配、流下距離等を算定した。各所の緒元を表-1 に示す。ほとんどの流域において、崩壊源頭部のは勾配 10~20 度で、数キロメートルの長距離を流下していることが分かる。

表-1 発生した土石流の緒元

場所	崩壊源頭標高	崩壊部頭勾配	流下端標高	流下端勾配	流下距離
単位	(m)	(度)	(m)	(度)	(m)
a	1358	22.1	284	4.5	9636
b	1047	27.1	596	4	2424
c	533	7.5	313	2.3	2636
d	564	11.8	284	3.5	2145
e	1371	23.5	974	9	1578

3. 室内試験

土石流発生には多くの要素が起因している。崩壊土砂量と水の供給量、斜面勾配等が要因に上げられるが、同時にそれらは土石流の流下能力にも影響すると考えられる。その中で土の含水比や粒度、抵抗力、空気量、傾斜角度、せん断強度等に着目し、土砂の流動性を評価すべく、以下の試験を行った。いずれの試験も試料への加水量を調整し、含水比を変化させながら測定した。試料には平成 15 年三陸南地震において流動性斜面災害が生じた築館土を使用した。

3.1 物性試験

試験はフォールコーン貫入試験機およびコンクリートに適用されるモルタルエアメーターを用いた空気

量試験、およびフロー試験の 3 種類を行った。試料の粒度、含水比を変えながら、土と水が混合された際に発生する抵抗力や空気量をフォールコーン、エアメーターを用いて計測した。同時にフロー試験によってその流動量を明らかにした。試料と水はモルタルミキサーで練り合わせた。

3.2 斜面を用いた流動試験

土砂を流下させる斜面装置を作成し、上記の物性試験で考慮した物理的要素が流動性にどのように影響しているか、実際に試料を流下させることで確認した。試験は含水比、傾斜角度を調整しながら行い、土石流が発生した沢の緒元と比較することで、渓床勾配、粒度、含水量の検討をする。土砂の流し方は、フロー試験で使用したフローコーンに土を詰め、斜面上で静的に流下させ、各回の試験を同じ条件下で行った。

3.3 一面せん断試験

斜面に土砂を流下させ、得られた結果を検証するため、異なった含水比における土のせん断強度について調べた。圧密定圧一面せん断試験を行い、その結果から残留強度に着目し、斜面における練り混ぜた土の挙動を評価した。定圧条件下では、実際の現場において崩壊土砂の自重が一定の応力として想定できることから、土石流や地すべり考える上で有効と考えた。せん断面上の垂直応力は 50kPa 一定にして、圧密・せん断を行った。

4. 結果・考察

4.1 物性

図-1 にフォールコーン貫入試験、空気量試験、フロー試験の結果を示す。フロー試験より測定されたフロー値は土砂の流動性を表しており、フォールコーンの貫入量は土の抵抗値として考える。空気量とフロー値の関係を見ると、含水比が上がると、空気量は低下し、フロー値が伸びている。この時の飽和度を算出すると、空気量が低下に伴い、飽和度が上昇しているためだと考えられる。

また、コーン貫入量が増加すると、フロー値も増加している。したがって貫入量が土の抵抗値を表していることが分かる。フロー値のみに着目すると、粒度によってその値が大きく異なっていることが分かった。細粒分が少ない土に比べ、多く入っている土の流動が小さい。これは細粒分が粘性を発揮したためであり、その含有量が少ない方が流動するのに適度な粒度に近くフローしたものとと言える。

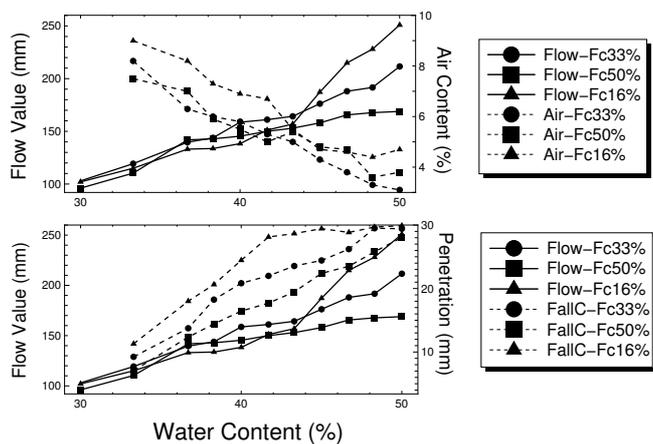


図-1 空気量，フォールコーン貫入量とフロー値の関係

4.2 斜面での流動量

試験の結果を図-2に示す。含水比30%では粒度、角度に関わらずフローしなかった。これはフロー試験の含水比30%と同様の結果である。含水比40%では、細粒分33%含有の土は16%に比べ流動していない。これは物性試験の結果の通り、粒度に対して適度な含水量となり、粘性を有して流れなかったと考えられる。高含水比の50, 55%では、斜面の角度が低い段階では細粒分33%が流動しているが、傾斜が高くなると細粒分16%の流下距離が一気に増加する傾向が確認できる。流れた土砂を観察すると、細粒分33%のときは、流下跡はどこも均一で流下面の高さも一定になっているのに対して、細粒分が少量の試料の方では流下開始地点に土塊状になって一部の土砂が残っている。さらに礫、砂が流下停止地点に集中して確認できるが、これは細粒分の含有が少量の試料が材料分離を起こしているものと考えられる。この現象は高含水比、高角度において顕著であり、全ての土砂が流下末端まで移動せず、大きな礫や砂が水と共に高勾配をもって、長距離を下ったものと考えられる。

実際の土石流の緒元から、崩壊部の勾配は20度以上のものが長距離を流下している。本試験結果でも20度までは、細粒分が多く含有している土の方が流動値が大きいことから、土石流の流下能力には細粒分の量が影響していて、それが大量の崩土を輸送するのに重要であると言える。

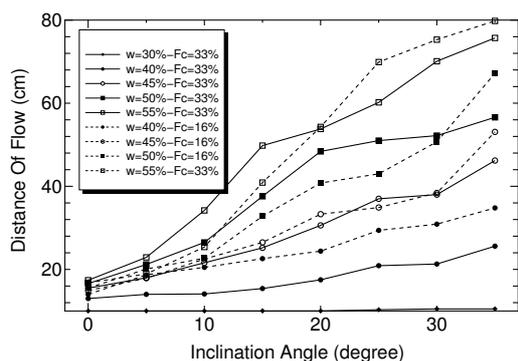


図-2 斜面における土砂の流下距離

4.3 せん断残留強度

図-3に示す試験結果より、異なる含水供試体の残留せん断強度はおおよそ一致している。これは試験前の異なる初期の密度が圧密・排水され皆一定に近づいたためである。実際、試験後の各湿潤密度はほぼ一致している。圧密・せん断するための垂直応力は50kPaに対して、残留強度は70~80kPaを記録した。このことから斜面上における低勾配では、土砂の移動が小さいと言える。斜面での流動試験において、傾斜角20度程度は大きな流動量を示さなかったことが、整合している。また各せん断強度の最大値に着目すると、含水比が低いものが高いせん断強度を有していることが確認できる。試験後の乾燥密度は、含水比30%の試料が他に比べて高く、密度が高い土が高いせん断強度を發揮したと言える。

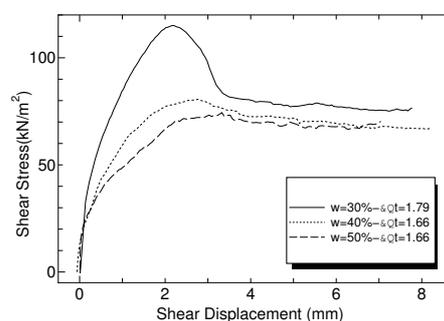


図-3 異なる含水比のせん断強度

5. 結論

本研究では以下のことが分かった。土のフォールコーン貫入量や空気量を測定し、飽和度や乾燥密度を考慮することで流動性の評価ができる。また、土砂の流動能力には含水比、粒度、斜面勾配が影響する。細粒分が少量の試料は流動量が多かったが、同時に材料分離が確認できた。細粒分が礫や砂を水とともに輸送するための役割を果たしていることが分かる。実際の土石流において数キロの長距離を大量の土砂が流れ下ったことから、細粒分が適度に含まれることが必要だと言える。定圧条件下では、土はその垂直方向の応力よりも強いせん断強度が発生することから、斜面における土砂の移動は低勾配では起こりにくい。以上より、今回の研究で対象とした土石流について、土砂の流動特性をもって検証できる。

参考文献

- 1) 土木学会：土木学会・地盤工学会・日本地震工学会・日本地すべり学会合同調査団 岩手・宮城内陸地震速報会資料, 2008.
- 2) 国土地理院：駒の湯温泉に被害を与えた土砂崩落地域を空中写真から確認 <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60030.html>