

宮城県栗原市・日影森地すべりの長距離運動機構に関する土質力学的検討

独立行政法人森林総合研究所 ○岡田康彦、黒川潮、浅野志穂

1 はじめに

岩手・宮城内陸地震（平成20年6月14日午前8時43分に発生、岩手県奥州市を震源地とする直下型地震、マグニチュードは7.2、最大震度6強）では、宮城県栗原市、岩手県奥州市を中心に、土石すべり、土石流、落石、岩盤崩落など大小種々のタイプの地すべりが発生した。ここで用いている用語「地すべり」は、英語のLandslideの訳語として使用しており、崩落、前方回転、すべり、側方流動、流れを包含するものである（佐々，2003）。著者らは、地震発生後6日目の6月20日から現地調査にはいったところ、長距離を運動する流れタイプの地すべりにおいても、水と土石が渾然一体となったいわゆる土石流の他、運動する土砂が水で飽和するまでには至っておらず、不飽和の状態でも運動したアースフローや土石の流れが確認された。本報では、後者の一例である宮城県栗原市日影森東方斜面で発生した複合型の地すべりを対象に、大型の水路を用いた土砂の流下実験を行った結果を報告する。

2 日影森地すべり

日影森地すべりは、宮城県栗原市の日影森東方斜面で発生した複合型の土石すべりーアースフロー（写真1）である。未固結の軽石凝灰岩の上に溶結した凝灰岩がキャップロック状に乗っている斜面で発生しており、土石すべりの滑落崖は幅が約75m、高さが20m程度と大きく、土塊をあまり乱すことなくスランプ状に運動していた。土石すべりの堆積幅は約120mであった。すべり面は、軽石凝灰岩層で形成されていた。大半の土砂は運動距離にして20m程度で停止したものの、土石すべりの左岸側の一部の土砂が流動化し、谷地形に沿って方向を変えながら約150m以上を流下した。堆積域は勾配が約10度以下と緩いものであったが、末端では、先端の土砂が約25度の大きな勾配を持って堆積していた。また、この末端部のすべり面近傍からは、泥水となって流出しその後沈積したと考えられる細粒土粒子の堆積が認められた。細粒土粒子の堆積層は厚さが10mm程度で、土砂堆積末端部から約6m先方にまで広がっていた。流走域から堆積域において土砂が水で飽和した様子は認められず、それほど飽和度の高くない不飽和の状態でも流下してきたと推定される。一方、土砂堆積先端部から滲出した細粒土粒子の堆積層からわかるように、すべり面近傍ではせん断変形に伴い細粒土粒子が間隙水に浮遊し、このことにより間隙流体圧が上昇していたと推定可能である。土砂の運動が停止し圧力の開放が進行するに従って浮遊していた細粒土粒子が滲出し堆積したというわけである。

3 大型も模型水路を用いた土砂流下実験

土砂が流下する際の間隙流体圧の上昇や運動距離を検討するために、大型の水路模型を対象に、日影森地すべりの源頭部より採取した0.6m³の攪乱サンプルの流下実験を行った。水路は、幅0.6m、全長が9mで、このうち5mは勾配可変となっている。水路底面には、粗度を与えるために、粒径0.4mmから2.0mmの砂を密に吹き付けたシートを貼り付けた。勾配可変部の端部1mには水密ゲートが設置されており、供試体の下部から水を徐々に注入することにより0.6m³の飽和供試体を作成可能な仕様となっている。水密のゲートは油圧によりコントロールされている。ゲートの上下に設置されたピンを油圧により抜き去ることにより、観音開き方式でゲートは一気に開放され、水を含んだ土砂供試体が傾斜水路を流下する仕組みである。

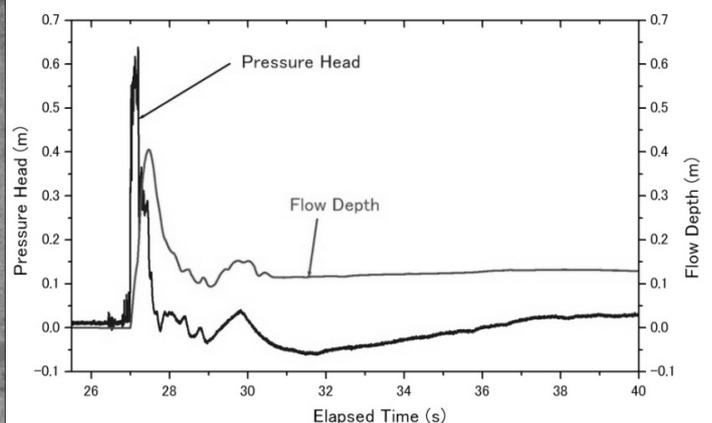
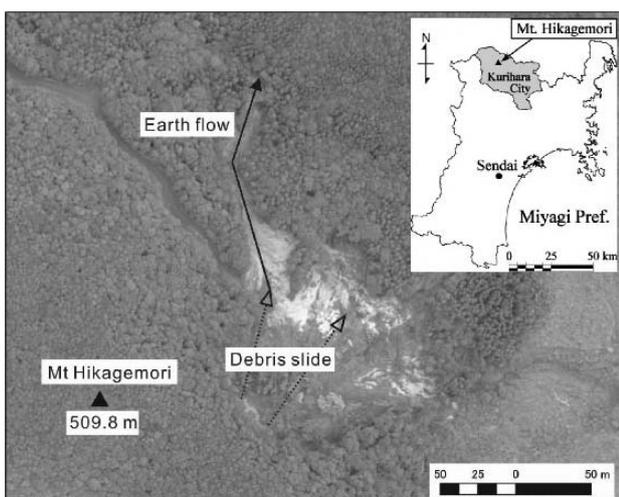
日影森地すべり（アースフロー）はすべり面近傍では間隙流体圧が上昇したものの、運動土砂の大半は不飽

和の状態を流下したと推定される。そこで、 0.6m^3 の供試体の内、下方半分程度が水で飽和するように供試体を作成した。水路の勾配を 30 度に設定して流下させたところ、土砂は 30 度傾斜の水路で減速し、土砂の主体はゲートから 2.5m 以内で停止した。また傾斜水路の底面で計測した圧力水頭値とその時の流動深の関係を調べても、過剰な圧力の上昇は認められなかった。計測された等価摩擦係数は 0.545 と大きな結果になった。

続いて、 0.6m^3 の供試体全てに水を循環させた上で、同様に 30 度水路を流下させた。傾斜水路底面で計測した圧力水頭値とその時の流動深の関係では（図－1）、約 27 秒時に、流下土砂が計測ポイントを通りしはじめ約 27.5 秒までの間、圧力水頭値が流動深を上まわる結果が得られた。この間、流下土砂の底面付近では、高い間隙流体圧力が発生していたと考えられる。一方、経過時間が約 30 秒から 36 秒までにおいては、圧力水頭値は負の値を示している。これは、供試体作成時に水路底面から水を 3 時間以上かけて徐々に注入したものの、供試体全体として飽和状態とまでは言えない不飽和の状態であったことが主因と考えられる。飽和度の低い部分が残存し流下過程でこの部分に間隙水が引っ張られ、また、傾斜水路に残留する土砂と流下を続ける土砂があったためその過程で体積膨張による引張応力が生じたと推定される。

一部の土砂は傾斜水路に堆積したものの、一方で流下した土砂の一部は傾斜変換点を超えて水平水路上を最大で 6.6m 運動した。中速デジタルビデオ（ 60 フレーム毎秒）で撮影した画像を確認したところ、飽和度の低いブロック状の土砂が、泥水を底面にして水平水路を滑らかにすべった後に停止していた。この土砂は、傾斜水路を流下する際は先頭付近に位置しており、水平水路に到達した後、分離しながら運動して停止していた。泥水は、細粒土粒子が浮遊していることを意味し、見かけ上の密度が上昇して水路底面の流体圧上昇に寄与していると考えられる。この実験では、計測された等価摩擦係数は 0.256 と小さく、水が充分含まれておりすべり面近傍の流体圧が上昇した状態であれば高い流動性を示すことがわかった。

本実験は、国内最大級の水路を用いてはいる。しかし、特に不飽和の供試体を対象にした実験の結果では、今回対象とした軽石凝灰岩のような粘着力成分の大きな材料については、実際の斜面で発生している流下土砂の長距離運動を再現することが困難であることが示された。一方、試料に水が充分含まれており、すべりが生じている近傍の間隙流体圧が高い場合は、土砂の一部が高い流動性を示し長距離運動する可能性を示す結果が得られた。この結果は、不飽和の土砂を主体とする日影森地すべりの長距離運動を直接的に再現するものではないが、すべり面近傍の飽和土砂で発揮される摩擦係数が低下して長距離運動を引き起こす可能性を示唆するものである。



写真－1 複合型の日影森土石すべり－アースフローのオルソ画像

図－1 大型の模型水路を用いた土砂の流下実験で計測された流下土砂底面における圧力水頭値と流動深の関係