広島大学大学院工学研究科	国際会員	土田	孝
広島大学大学院工学研究科	国際会員	加納	誠二
広島大学大学院工学研究科	国際会員	〇中川	翔太

1.背景·目的

平成21年7月25日5時30分頃,東広島市志和町 内地区において豪雨による土砂災害が発生した.崩壊 の特徴は,建設残土処分場の盛土が崩壊し,比較的傾 斜が緩やかな斜面にもかかわらず,土砂が下流まで到 達し,住宅を押し潰したことである(図-1).

図-2 は、崩壊現場付近の雨量観測所である志和と 造賀における7月の時間雨量と累積雨量である.この グラフからも7月初めからこの地域には、時間雨量 20mm 程度の強雨が断続的にあり、崩壊した盛土に 多量の水が含まれていたと考えられる.また,崩壊発 生後に,崩壊源頭部付近で地下水位観測1)が行われた が、図-3 に示すように、地下水位の上昇は降雨ピー クから数時間遅れをもち,土砂災害発生要因として, 地下水や谷水として流域内から集められた水の影響 が大きいと考えられる. 図-4 は、崩壊源頭部付近の 写真であるが,過去の土石流堆積物である渓床堆積物 が流下している様子を観察できる.また, 湧水流出跡 もみられ,崩壊発生時に多量の水が盛土に供給されて いたことが考えられる.このように、今回の流動性の 高い崩壊の原因として降雨による盛土の飽和度の上 昇,源頭部上流や谷から集水された水が盛土下部にあ る渓床堆積物層を通じて,盛土内に供給され盛土内の 水位を上昇させたことなどが推測される.

そこで、本研究では、降雨と地下水上昇に着目して 模型実験を行い、本災害の崩壊メカニズムと推測され る土砂が流動化した要因について検討を行うことを 目的とする.

2. 実験概要

実験にはアクリル土槽(480×910×950mm)に作成 した模型斜面を用いた. 傾斜した油粘土で作成した不 透水層の上に斜面を構成した. 現地の斜面との類似点



図-1 住宅の被害状況





図-3 地下水位観測結果



図-4 流下した渓床堆積物

として,盛土層と見立てた豊浦砂層の下に透水性のよい渓床堆積物層と見立てた珪砂層を敷いた.また,ピ エゾメータは,斜面勾配変化点の地下水位変動が計測 できるように配置した(図-5).

今回の模型実験では、地下水と降雨に着目した.地 下水位を上昇させるために、斜面背後にタンクを設置 した(図-6).地下水位を上昇させる際には、タンクの な位を上昇させ、斜面内の地下水面との水頭差によっ て、斜面内に水を流入した.また、降雨は、空気圧と 水圧を調整して水を噴霧できる降雨装置を用いて、斜 面に均等に降雨を降らせた.

実験は、3 ケース行った(表・1). Casel は背後から水 の供給を行った.背後からの水の供給は、実地盤にお ける先行降雨によって源頭部上流や谷から集められ た水の盛土への流入を再現している. Case2 は降雨 強度 30,60mm/hr 程度の強い降雨を降らせた. Case3 は降雨を降らせて土層の飽和度を上昇させた後(地下 水位が形成し始めた直後)、降雨を停止して、Case1 と同じように背後から水を供給した. Case1 と Case3 は、先行降雨の有無による斜面の初期飽和度の違いで 流動性が異なるかを検討している.全ケースで斜面を 崩壊させ、土砂の挙動や強度について検討を行った.

また,各ケースにおける土砂の流動性を評価するた めに,崩土の移動距離と崩土のせん断強さの計測を行 った.崩土の移動距離の計測については,斜面側面に 設置したターゲット(質量 0.25g,直径 6.0mm)を撮影 し,撮影した写真を用いて画像解析を行った.写真は 毎分2コマずつ斜面横方向から撮影し,画像解析ソフ トには, MoveTr2D を使用した.崩土のせん断強度 の計測については,実験終了時に斜面下流端から所定 の位置における崩土堆積箇所でベーンせん断試験を 行った.ベーンせん断試験は,十字になった4枚の金 属でできた羽を地盤に貫入させて,軸を中心に回転さ せ,トルク値を測定し,そのトルクから羽根の端部で 地盤をせん断するときのせん断抵抗を求めるもので ある(図-7).

3. 実験結果

各ケースともに斜面下部で崩壊が発生し,斜面天端



地下水供給用タンク

図-6 地下水供給用のタンク 表-1 実験ケース

	珪砂		豊浦砂		条件	
実験 Case	飽和度 (%)	間隙比	飽和度 (%)	間隙比	降雨	背後から 水の供給
1	40	0.6	40	0.75	無	有
2	40	0.6	40	0.75	有 (30,60mm/hr)	無
3	40	0.6	40	0.75	有 (30mm/hr)	有



に崩壊が進行するという崩壊形態であった(図-8). 図 -9に Case1 における崩壊開始時の地下水位を示すが, 斜面下部で地下水位が表層付近まで上昇しているこ とがわかる.このような地下水位の形成状況は,全ケ ースで確認できた.このことから,地下水位の上昇に よって上向きの浸透流が生じ,斜面下部から崩壊が発 生したと考えられる.次に,各ケースでの崩壊概況に ついて詳細に説明する.

[Case1] 斜面上部まで崩壊が進行した.崩壊面から 地下水の流出とともに土砂が流下している様子を観 察でき,土砂は流動化していると判断した.

[Case2] 降雨強度 60mm/hr 程度の降雨を降らせた 場合,崩壊は斜面下部で発生したが,斜面上部に進行 しなかった.降雨によって土層内に浸透した水が盛土 層下の渓床堆積物層を通じて勢いよく排水されてい る様子を観察できた.(降雨強度 30mm/hr では,崩壊 に至らなかった.) 斜面上部まで崩壊に至らなかっ た原因としては,崩壊開始後に下部部分の土層の飽和 度が上昇し,透水係数が大きくなったことが考えられ る.排水速度が降雨による地下水位形成速度より大き くなり,斜面中部や上部の地下水位が上昇しなかった ためと考えられる.

[Case3] Case1 と同様の崩壊形態で,斜面上部まで 崩壊が進行した. Case1 よりも地下水位は早い段階で 上昇し,斜面全体で高い地下水位を形成した. 流動化 については, Case1 と同様の理由から土砂は流動化し ていたと判断した.

各ケースの崩壊状況から、多量の降雨があっても、 地下水位の上昇がなければ、大規模な崩壊は発生せず、 土砂が高い流動性を持つことはないと考えられる.ま た、崩壊概況から Case 1 と Case 3 については土砂が 流動化したと判断したが、流動性の評価や比較を行う ために崩土の移動距離とせん断強さに着目して、流動 性を定量的に表し、比較を行った.



図-8 崩壊形態



1)崩土の移動距離について

流動性の評価として,崩土の移動距離が大きいと流動性が高いと定義した.図-10に,Case1とCase3において実験開始時刻,つまり背後から水を供給し始めた時間から実験終了時(10650s)までの各計測点での崩土の移動距離を示す.計測点は,斜面下流端から340mm~560mm間の斜面中部の表層に位置する.図-10に示す

ように, 計測点 12 点の崩土の総移動距離については, Case1 では,1687mm,Case3 では 1639mm であった. Case3 は, Case1 に比べ早い時間から断続的に動くな ど崩壊傾向の違いは確認できたが, 距離に着目すると, 実験ケースと崩土移動距離にあまり関係性は見られ ず, 流動性の評価が困難であると考えられる.

2)崩土のせん断強さについて

流動性の評価として, 崩土のせん断強さが小さいと 流動性が高いと定義した.図-11に崩土堆積箇所にお ける深度 5mm のベーンせん断試験結果を示す. Case2 では, 下部の崩壊部分 2 箇所で試験を実施した が,地下水を供給した Case1,Case3 よりも顕著にせ ん断強さが大きくなっており, 流動性は低いと考えら れる.Case1 と Case3 を比較すると, Case1 より Case3 は斜面中部でせん断強さが小さい.この理由と しては, Case3 は先行降雨によって盛土部分の飽和度 が高いために, 強度が小さくなったと考えられる.ま た,ベーン試験実施時の地下水位を図 12 に示すが, Case3 は Case1 よりも斜面全体で地下水位が高いこ とがわかる.このことも,崩土に多量の水が含まれる 要因と考えられ, Case3 は実験ケース中最も流動性が 大きいと考えた.

4. 結論

平成 21 年 7 月 25 日に東広島市志和町内地区で発生 した土砂災害の原因を模型実験で検討し,以下のこと がわかった.

斜面に多量の降雨を与えると表層が崩壊するが、
本盛土の下部にある渓床堆積物層からの地下水の供給がない条件では、崩壊土砂の流動化は起きない.
2)降雨により斜面の地盤の飽和度が高い状態で、渓床堆積物層を通じた盛土内部への地下水の供給があると、斜面の下部から上部に進行する崩壊が発生し、崩壊した土砂が高い流動性を持つ.この現象は今回の災害の崩壊状況とよく類似している.



図-12 ベーンせん断試験実施時の地下水位

参考文献:

広島大学大学院工学研究科地盤工学研究室:平成21年度土砂災害発生原因調査報告書,平成21年10月.