

極端降雨による表層崩壊土砂の流動化

新潟大学 災害・復興科学研究所 ○福岡 浩
カンボジア工科大学 アティカーニャ・ドク

1. はじめに

近年、極端豪雨イベントによる土砂災害が国内外においてほぼ毎年発生している。ここ数年だけ見ても、平成 21 年山口県防府市災害、22 年広島県庄原市災害、23 年紀伊半島災害、24 年熊本県阿蘇市災害、宇治市災害、25 年東京都伊豆大島災害と毎年甚大な被害を生じる災害が発生している。上記災害の発生場では地質、地形、土砂の組成等は多様であるが、紀伊半島災害の深層崩壊事例を除き、すべての災害で極端な降雨の浸透により引き起こされた表層崩壊が流動化し土石流あるいは土砂流となって流下することで多くの犠牲者、被害が生じていることが共通している。

著者らは従来の防府市、庄原市、阿蘇市の事例について現地調査を行い、採取した土砂試料について、京都大学防災研究所の可視型地震時地すべり再現試験機 (DPRI-7) を用いて間隙水圧制御試験を実施し、破壊時に急激に大きな過剰間隙水圧が発生することが高速流動発生の大きな原因であることを指摘してきた。本報告では特に平成 25 年 10 月伊豆大島災害について現地で採取した試料を用いて地すべり再現試験を実施した試験結果について紹介する。今回の土砂災害は典型的な極端豪雨、極めて狭い範囲に降った豪雨により発生した。今回の主要な崩壊源頭部の分布域は 14 世紀の溶岩噴火時のスコリア堆積域とほぼ一致する。今回の源頭部崩壊の大半は 30 度以上ある急斜面で発生した。ヘリからの観察および現地調査では深さは 3 m 程度までである。黒色火山灰の堆積層が表層崩壊をおこし、直ちに流動化し土砂流となった。京都大学防災研究所・山田真澄氏による地震計の解析によれば、午前 2 時台から 3 時過ぎまで 5 回の高周波イベントが認められ、それぞれ約 2 分間の震動が観測されている。地震波を出すような轟音を出して流下する経路の長さを源頭部中央から神達地区までの距離を用いて高速で流動したことを推定した。



図 1 最も甚大な被害を与えた中央部の崩壊頻発斜面。すきまなく崩壊している。



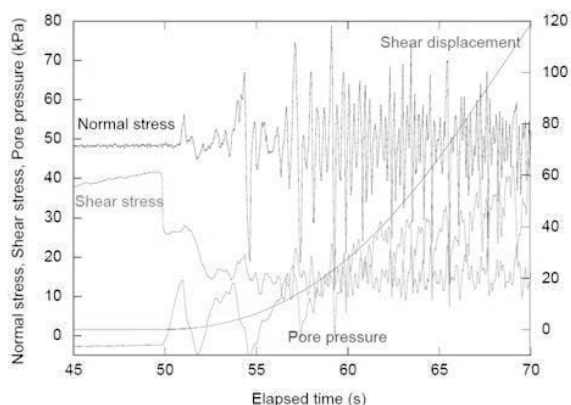
図 2 源頭部崩壊のすべり面付近。黄色火山灰層の上の黒色火山灰層がすべった。

2. 地すべり再現試験

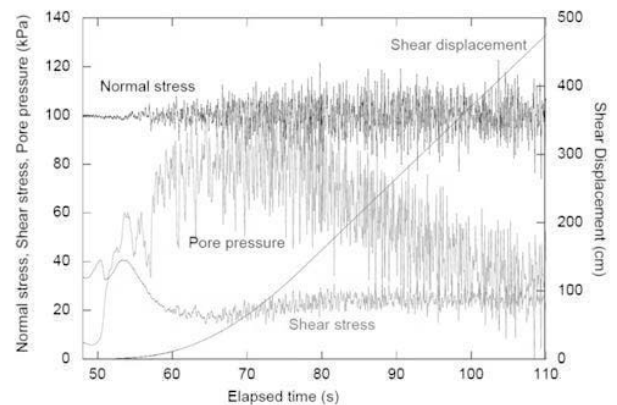
今回、リングせん断試験のための試料を採取するにあたり、国立公園指定区域外の流路に堆積した火山灰土

砂流堆積物を採取した。粒径は1mm程度で、源頭部において観察したものと同様である。源頭部では典型的な急傾斜地の表層崩壊が発生していたため、垂直応力は本試験機としては極めて低いレベルで制御する必要があった。当初水圧制御試験をする予定であったが十分な制御精度が得られなかったため、圧密後垂直応力を一定に保ちながら、せん断応力を増大させる試験を実施した。図3に黒色火山灰砂に対してリングせん断試験を行った結果と試験後の試料を示す。すべり面の深度が1-2mと応力が小さいため、試験機の制御可能下限の50kPaの一定垂直応力および飽和非排水条件で一定速度(1mm/s)でせん断した。せん断開始後、ただちに過剰間隙水圧が発生し、間隙圧比は0.8-0.9近くまで上昇しせん断抵抗は低下した。その際の有効応力は10-20kPaであるが、その過程で間隙水圧が上昇/下降を繰り返すふらつきが観察された。これはおそらく粒子破碎が始まる応力が10-20kPa程度と低いこと、また粒子が円礫のように摩耗されていないことによるダイラタンシー特性が現れやすいと推測されることから説明できる。10-20kPaは傾斜35度の現場では深度1-2mに概ね相当することから、今回のような浅い崩壊でも粒子破碎により流動化は容易に発生しえたことを示唆している。火山灰は透水係数が高く、試験後でも透水係数は約 $7 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ であったが、部分排水でも過剰間隙水圧の増大が一時的に発生したのはせん断が生じると粒子破碎が急激に進行しせん断ゾーン内で間隙水圧が発生したためと考えられる。図4は100kPaの垂直応力、部分排水条件で実施した試験結果である。50kPa試験と同様、せん断開始後急激に過剰間隙水圧が発生したが、排水条件のため、その後発散した。しかし、過剰間隙水圧のピークは垂直応力とほぼ同レベルに達し有効応力は同じく10kPa程度まで低下した。両試験に共通しているのはせん断開始直後に急激に過剰間隙水圧が部分排水条件でも発生することで有効応力は10kPa程度まで低下することである。これらはもろく粒子破碎が発生しやすい火山灰の特性を反映していると考えられる。

今回の災害では源頭部付近の急傾斜地で表層崩壊が発生した後、下方の比較的緩傾斜の地盤に落下し森林と地盤を挟りながら高速で進行したが、上記の試験結果は、間隙水圧が発散しやすい火山灰の薄い堆積層でも高速で運動すれば過剰間隙水圧は維持されうること、さらに斜面下方の土砂を巻き込みながら厚くなっていくことにより粒子破碎の進行が促進され、一方で移動土塊の厚さが増大することで間隙水圧発散経路が長くなることになり、土砂全体の流動化に到り易くなること、急傾斜の源頭部付近では大きな加速度が得られることから上記の大きな速度も可能であることを示唆している。



火山灰の非排水応力制御リングせん断試験結果(経時変化)。垂直応力 50kPa でせん断応力を増大させたところ、約 40kPa で破壊、直後に過剰間隙水圧が発生、20 秒後には垂直応力とほぼ同等レベルまで増大した。



垂直応力100kPaで部分排水応力制御試験の経時変化図。比較的低いせん断応力で破壊が生じ、部分排水であるにもかかわらず、大きな過剰間隙水圧が発生した。約20秒後には水圧は垂直応力とほぼ同等になり、ほぼ液状化に近い状態に達した。