

平成 21 年台風 9 号の豪雨によって発生した斜面崩壊に関する一考察

株式会社ダイヤコンサルタント	正会員	○鏡原	聖史
神戸大学大学院	正会員	金	秉洙
神戸大学大学院	正会員	川尻	俊三
神戸大学大学院	正会員	澁谷	啓

1. はじめに

平成 21 年 8 月，台風 9 号の豪雨によって洪水災害および斜面崩壊・土石流などの土砂災害が多数発生し，甚大な被害をもたらした．この豪雨による兵庫県南西部地域における斜面崩壊箇所は，24 時間雨量が 200mm 以上の範囲で多発し，過去の風倒木被害地内で発生したものが 75%程度を占めていたと報告¹⁾されている．そこで，著者らは，過去の風倒木被害地で新規に崩壊した斜面を対象に崩壊土層を推定し，その不攪乱試料を採取，室内試験を実施した．その結果から過去の風倒木被害地で発生した斜面崩壊メカニズムについて考察を加えたので報告する．

2. 崩壊地の概要と現地試料採取

当該斜面は，図 1 に示すように尾根付近からほぼ一直線の表層崩壊型の斜面崩壊が生じている．道路には，大量の枯れたスギ・ヒノキが土砂とともに堆積している．崩壊地は，幅 15m～20m 程度，長さ 190m(平面距離)，崩壊厚さ 0.5m～1.0m 程度であり，崩壊土量の少ない表層崩壊型の斜面崩壊であった．崩壊発生源は，土砂層であり，明瞭な滑落崖が見られないほどの薄層の崩壊である．また斜面下部には，硬質な斑れい岩が露出している．さらに尾根付近から崩壊発生源周辺には倒木した樹木が多数認められることから，過去の風倒木被害地で発生した崩壊であると考えられる．崩壊土層を推定するため崩壊地内と直近の非崩壊斜面内で簡易動的コーン貫入試験を実施した(図 5 左 参照)．現地状況から崩壊土層の深さは約 0.5m であったと推定され，両者の比較から崩壊面はおおよそ $N_d \leq 4$ であると考えられる．

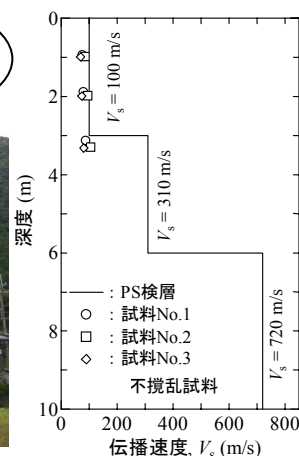
各種室内試験により崩壊土層の詳しい力学的特性を求めるために，簡易動的コーン貫入試験を実施した非崩壊斜面で $N_d \leq 4$ を示す GL-0.5m の深さ付近の土試料をネイルサンプリング²⁾により採取した．

3. 室内試験

崩壊地の隣接斜面から採取した不攪乱試料は，自然含水比 20%程度，細粒分質砂質礫(GFS)に分類される．室内試験に用いる試料の乱れを評価³⁾するため，せん断弾性波速度の測定が可能なベンダーエレメント (BE) が装着された圧密試験機⁴⁾を用いた．図 2 に示すように，本試験で得られたせん断弾性波速度は試料によってわずかな違いがあるものの，原位置 PS 検層の結果に比べてわずかに小さい程度であり，サンプリング時や運搬時，さらには試験の準備過程での室内試料の乱れの影響は小さいと考えられる．次に，不飽和(自然含水比)および飽和状態にある不攪乱試料の排水・排気条件下でのせん断強度定数を求める目的で，定圧一面せん断試験を実施した．今回のような深さ 0.5m 程度の表層崩壊型の



図 1 崩壊地の状況

図 2 V_s の比較

キーワード 斜面崩壊，不攪乱試料，BE 試験，低拘束圧，一面せん断試験

連絡先 〒564-0063 吹田市江坂町 1-9-21 (株)ダイヤコンサルタント TEL 06-6339-9141

崩壊では、原位置において崩壊面に作用する鉛直有効応力は極めて小さいため、低圧用試験装置⁵⁾を用いた。試験は、不攪乱ブロックから、直径 6cm、高さ 2cm に成形した供試体を用いて、各鉛直応力条件(15kPa, 30kPa, 50kPa)で圧密後、せん断させた。図 3 に示すように、不飽和状態のせん断強度より飽和状態のせん断強度が小さいこと、両者の破壊線の傾き(内部摩擦角 ϕ_d)はほぼ同じであること、飽和することによって粘着力 C_d がほとんどなくなることがわかる。この粘着力の低下は、飽和化によるサクシジョンの低下によるものと推察する。

4. 崩壊メカニズム

崩壊地周辺の未崩壊地の調査、室内試験結果を考慮して、図 4 に示す無限長斜面による安定解析⁶⁾を表 1 の条件を入力して実施した。なお、本検討では簡易動的コーン貫入試験の深度分布があまり変化しない位置で崩壊が発生していたことから、 $N_d \leq 4$ が分布する深度までを対象に深さを変数とした。せん断強度は、不飽和状態のせん断強度を用いたケースと降雨が表層から鉛直浸透し、地表面から飽和度が上昇すると仮定し、飽和状態のせん断強度を用いたケースの 2 ケースを実施した。図 5 右に示すように、不飽和状態の場合は $N_d \leq 4$ が分布する深さまで安全率 FS が 2.0 以上あり安定しているが、飽和状態になると安全率 FS が 1.0 付近となり、極限状態に近づく結果となった。以上より、過去の風倒木被害によって、樹木が倒木し、降雨が直接地山に流入しやすい条件となっていたところに、今回の豪雨を受け、降雨が地山に浸透し、土の強度が低下することによって安定を失い崩壊したものと考えられる。

5. おわりに

一連の調査、室内試験を用いた検討によって当該斜面の崩壊メカニズムについて考察を加えた。当該地域には、現在も風倒木被害地が多数存在しており、今後の降雨によっては、同様の崩壊が多数発生することが危惧される。最後に、貴重なデータを提供いただいた兵庫県関係各位に謝意を表します。

参考文献

1) 鏡原ら：兵庫県南西部域で発生した平成 21 年台風 9 号による斜面崩壊地の特徴，平成 22 年度砂防学会研究発表会，投稿中。2) 社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説-第一回改訂版-，2000。3) Toki, S., et al: Standardization of laboratory test methods to determine the cyclic deformation properties of geomaterials in Japan, Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Vol. 2, pp. 741-784, 1995。4) 川尻ら：ベンダーエレメントによる不飽和土のせん断弾性係数 G の測定と評価，応用力学論文集, Vol. 11, pp. 435-442, 2008。5) Shibuya, S., et al: Interpretation of direct shear box testing of sands as quasi-simple shear, Geotechnique, 47, No. 4, 769-790, 1997。6) Davis, J. C. : Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley, 550, 1973。

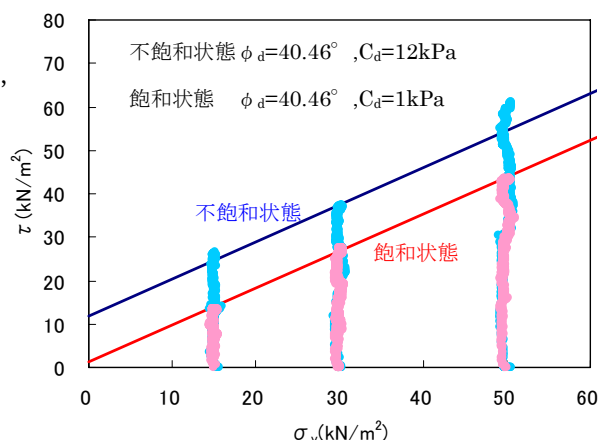


図 3 低拘束圧一面せん断試験結果

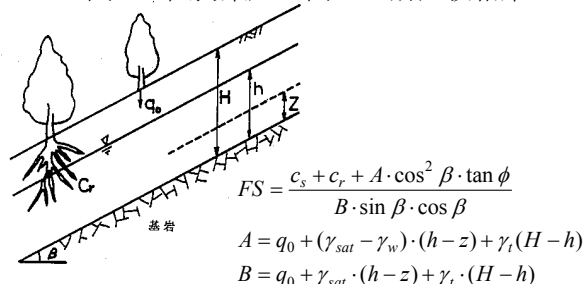


図 4 無限長斜面による安定解析

表 1 安定解析入力条件

入力項目	単位	数値	備考
土の湿潤単位体積重量	γ_t kN/m ³	15.2	採取試料より
土の飽和単位体積重量	γ_{sat} kN/m ³	17.7	〃
水の単位体積重量	γ_w kN/m ³	10	
内部摩擦角(不飽和)	ϕ_d °	40	不飽和状態せん断試験より
粘着力(不飽和)	C_d kN/m ²	12	〃
内部摩擦角(飽和)	ϕ_d °	40	飽和状態せん断試験より
粘着力(飽和)	C_d kN/m ²	1	〃
すべり面勾配	β °	42	縦断図より
植生による上載荷重	q_0	0	不明
根茎	C_r	0	不明
地下水位	h m	0	不明
すべり面の深さ	H m	変数	

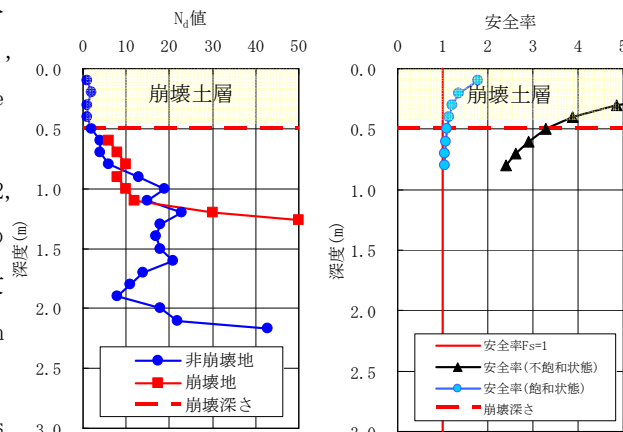


図 5 試験結果と安定解析結果