

DDA を用いた水俣市宝川内集地区における斜面崩壊メカニズムに関する一考察

九州大学大学院 学生会員 森山 崇 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 平松 浩三

1. はじめに

2003年7月18日から20日にかけての豪雨で、熊本県水俣市および鹿児島県伊佐郡菱刈町で崩壊とそれに起因する土石流が多数発生した。水俣市宝川内集地区においては、深層崩壊した土塊が土石流となり、15名の方がなくなった。この崩壊のメカニズムについては、これまでいくつかの検討がなされてきたが、未だ解明されていない。本文では、水俣市宝川内集地区の崩壊地点において攪乱および不攪乱試料の採取を行い、採取試料を用いて各種室内土質試験および DDA 解析による斜面崩壊シミュレーションを行った。その結果を基に、この斜面崩壊メカニズムについての検討を行った。

2. 試料採取及び室内土質試験結果

2.1 試料採取

図-1 に試料採取を行った崩壊部の平面図を示す。試料採取位置は、崩壊部右面である。試料採取の方法としては、不攪乱試料としてシンウォールサンプリングおよびネイルサンプリングを行い、攪乱試料として試料を土嚢に詰めた。現場状況は、傾斜掘削工事(全面)、モルタル吹き付け(左面)、土留め壁(前面)等ほぼ対策工がなされているが、崩壊部右面において、今回の崩壊の滑り面と考えられる粘土化した強風化安山岩がまだ残っており、土質試験試料土として不攪乱および攪乱の粘土試料を採取した。

2.2 各種物理試験結果

崩壊部右面から採取した強風化安山岩の各種物理試験結果を表-1 に示す。表-1 に示すように、崩壊すべり面と考えられる採取した強風化安山岩の土粒子密度 $\rho_s=2.693\text{g/cm}^3$ 、自然含水比 $w_n=31.6\%$ 、湿潤密度 $\rho_t=1.819\text{g/cm}^3$ である。また空隙比 $e=0.948$ と緻密であり、飽和度 $S_r=89.7\%$ と含水比が高い状態であることがわかる。図-2 に粒径加積曲線を示す。採取試料は、シルト分および粘土分である細粒分を多く含んでいる。また、均等係数 $U_c=40.8$ であることから、粒径 0.075mm 以下の範囲で幅広く分布していることがわかる。コンシステンシー特性としては、コンシステンシー指数 $I_c=0.668$ である。一般に $I_c < 1$ なら自然含水比が塑性限界に近く安定していることを示すことより、比較的硬くて圧縮強度が大きいと考えられる。また塑性図を図-3 に示す。細粒土の工学的分類によると、高液性限界の粘土(：分類記号 CH)となり、圧縮性が大きく透水性の小さい粘土的な性質をもつことを示している。ここで注目すべき点は、採取試料である強風化安山岩は、緻密な粘土であるということである。斜面上部に分布する弱風化安山岩は柱状節理が発達しており高透水性である。今回崩壊が生じたような降雨時には、難透水層である凝灰角礫岩に浸透水が集中し、上部に粘土として薄く堆積する強風化安山岩層が弱面層となりうることを確認できる。

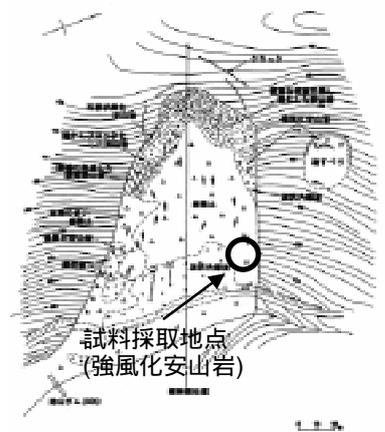


図-1 試料採取地点(平面図)

表-1 採取試料の物理特性

土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	自然含水比 $w_n(\%)$	湿潤密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$	空隙比 e	飽和度 $S_r(\%)$
2.693	31.6	1.819	1.382	0.948	89.7
粒度試験(%)					
礫分	砂分	シルト分	粘土分	均等係数 U_c	曲率係数 U_c
16	10	38	36	40.8	0.272
コンシステンシー特性					地盤材料の分類
w_L	w_p	I_p	I_L	I_c	
61	17	44	0.332	0.668	CH

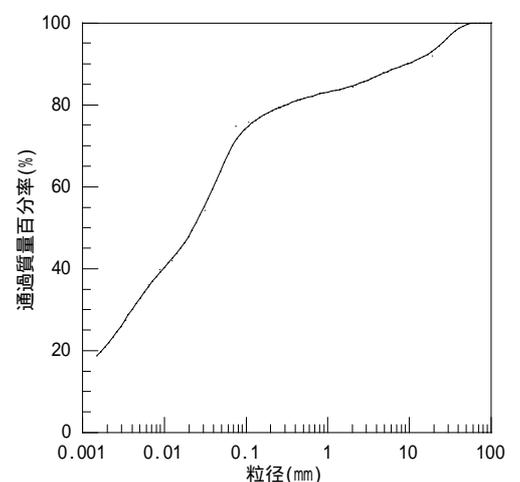


図-2 粒径加積曲線

2.3 一面せん断試験

本文では、解析に用いる強度定数を求めるために、採取した不攪乱試料を用いて、試験装置の取り扱いが比較的簡単であり直接的にせん断強度を求めることのできる圧密定圧一面せん断試験を行った。供試体は、不攪乱試料をカッターリング法により直径 6.0cm、高さ 2.0cm に成形している。試験手順は、圧密過程とせん断過程から成り立っている。圧密過程では、垂直応力を 50, 100, 200kN/m² に設定して 20 分間圧密を行った。せん断過程では、せん断速度 0.2mm/min で、せん断変位量が 7mm になるまでせん断を行った。図-4 に試験結果を示す。近似直線として、モール・クーロンの破壊基準線を引くと、圧密排水 (CD) せん断強度として、内部摩擦角 $\phi_d=9.5^\circ$ となり、粘着力 $c_d=37.4\text{kN/m}^2$ が得られた。

3. DDA 解析及び崩壊メカニズムの検討

水俣の大規模斜面崩壊のメカニズムは、集中豪雨による上流の小規模崩壊により川が堰き止められる。林道にあふれ出た濁流により斜面下部が洗掘 洗掘を誘因として一次崩壊発生 その後背後の斜面の大規模な二次崩壊が発生したと言われている。崩壊の主たる要因としては、降雨を誘因とした斜面下部の洗掘および含水比上昇に伴うせん断強度定数の低下であると考えられる。この仮定に、本文では、斜面の細部形状や崩土の変形およびエネルギー損失等を考慮できる DDA 解析の適用を試みた。今回の DDA 解析では、潜在不連続面の強度定数として、ノンダイレイタント応力以下の応力状態を仮定して、不攪乱試料による一面せん断試験により求めた圧密排水 (CD) せん断強度を用いた。基盤層として凝灰角礫岩、崩積土層として安山岩、すべり面である粘土層として強風化安山岩を仮定した。解析ケースとして斜面下部の洗掘前後において、崩壊が発生するかどうかを検討した。まず斜面下部の洗掘前の斜面モデルを図-5(a)に示す。斜面は安定状態にあり、崩壊は発生しなかった。次に斜面下部の洗掘後の斜面モデルを図-5(b)に示す。斜面下部の洗掘により崩壊が発生した。崩壊状況を図-5(c)に示す。まず洗掘による一次崩壊が発生し、それによって安定を失った二次崩壊が発生した。DDA による斜面崩壊シミュレーションにより、二段階崩壊の様子がうまく再現できていることがわかる。

4. おわりに

本文では、水俣市宝川内集地区から採取した不攪乱試料を用いて各種物理試験および一面せん断試験を行い、得られた強度定数をもとに DDA による斜面崩壊シミュレーションを行った結果、二段階崩壊をうまく再現することができた。しかしながら、崩壊要因の一つである含水比の増加に伴う粘着力の低下の評価が不十分である。今後、雨量と崩壊を関連付けるために、不飽和土用一面せん断試験装置を用いて、含水比と粘着力低下の評価を行い、その結果を DDA 解析に取り入れることにより水俣の大規模斜面崩壊のメカニズムを解明していくことが課題である。

参考文献 1) 2003 年 7 月梅雨前線による九州地方の豪雨災害調査報告書, 地盤工学会・土木学会, 2003 2) 北村・牛嶋他: 水俣市宝川内にて採取した試料の土質試験結果について, 自然災害研究協議会西部地区部会報, 第 28 号, pp73-76, 2004 3) 陳光斉: 不連続変形法及び土工学への適用, 九州計算力学シンポジウム, pp46-55, 2003

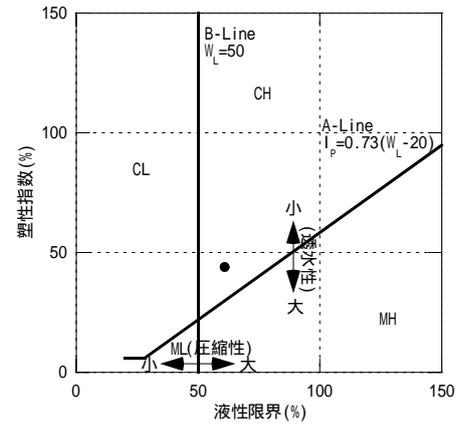


図-3 塑性図

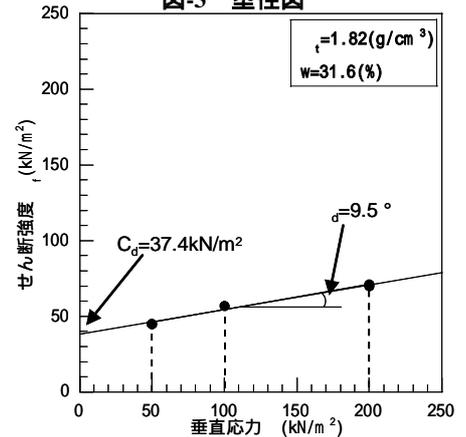


図-4 モール・クーロンの破壊基準線

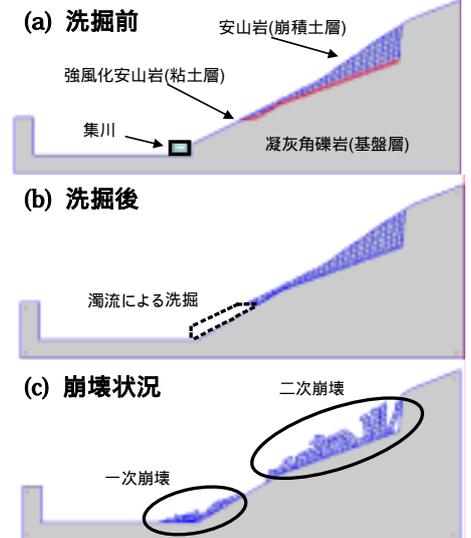


図-5 DDA 解析の一例