

平成 29 年 7 月九州北部豪雨で被災した深層風化斜面の物理特性

九州大学大学院

学生会員

○山本 秀平

九州大学工学部

学生会員

高橋 亮丞

九州大学工学研究院

正会員

笠間 清伸

古川 全太郎

八尋 裕一

1. はじめに

平成 29 年 7 月九州北部豪雨により、福岡県朝倉市、東峰村及び大分県日田市を中心に広域的に斜面崩壊及び河床洗堀・河岸侵食が発生し、多量の崩壊土砂及び土砂堆積によって甚大な被害をもたらした。多数の斜面崩壊と多量の発生土量の原因の一つとして、花崗閃緑岩地帯における地盤の深層風化が考えられる。本文では、福岡県朝倉市の白木谷川の崩壊斜面における現地調査・試験をもとに、地盤の深層風化に着目して物理特性を分析した。

2. 調査概要

図-1 に福岡県朝倉市周辺の地質図を示す。図より、朝倉市周辺は中生代の三郡変成岩類（砂質片岩、苦鉄質片岩、泥質片岩）、花崗閃緑岩及び、新第三紀以降の豊肥火山岩類（安山岩、凝灰角礫岩等）が広く分布し、斜面崩壊が多かった地質は泥質片岩と花崗閃緑岩であった。これらの岩石は、風化・変成・変質作用及び断層などの影響により、材料特性が変化する。特に花崗閃緑岩が風化したまき土は、水の侵食に弱い特性をもつ。

調査箇所は、図-1 に示す Site 1 と Site 2 である。本文では、Site 2 に関する調査結果を報告する。Site 2 の斜面では、斜面の表層部が崩れ落ちる表層崩壊によって表面の土が露出し、降雨と河川水による洗堀・侵食が顕著であった。崩壊前後の LP データによると、崩壊前の平均傾斜角は 35.6° であり、崩壊高さが 41.6m、平均崩壊深度は 2.6m であった。図-1 の地点①～⑤に示す斜面の源頭部から河床部までの 5 か所において、崩壊斜面の表層で試料採取、現場密度試験、現場透水試験及び山中式土壌硬度計による貫入試験を実施した。また、採取した試料に対して、土粒子密度試験、含水比試験、粒度と強熱減量試験を実施した。

3. 調査結果

表-1 に各地点での物理特性、図-2 に粒度分布を示す。なお、せん断強さは山中式土壌硬度計の換算式²⁾($D=6.10\ln(q_u)$ -8.50, D =貫入深さ mm)から一軸圧縮強さ q_u を求めた後、せん断強さ $s(=q_u/2)$ を算定した。また、針貫入試験も実施したが、全個所で測定下限値を下回った。

表-1 の物理特性より、斜面上部の地点①と②の含水比がそれぞれ 23%と 28%であり、河床部に近づくとも 9%前後まで低下した。逆に土粒子密度は、地点①と②がそれぞれ 2.590g/cm^3 と 2.549g/cm^3 となり、深度が深くなると、 2.668g/cm^3 まで増加した。このように、斜面の深度が深くなると、含水比、強熱減量及び透水係数は低下した。密度とせん断強さは増加する傾向がみられた。斜面上部から中腹にかけて細粒分を多く含み、下部では細粒分がほとんど含まれなかった。細粒分が多い要因は、風化作用により花崗閃緑岩の土粒子が細粒化したことが考えられる。

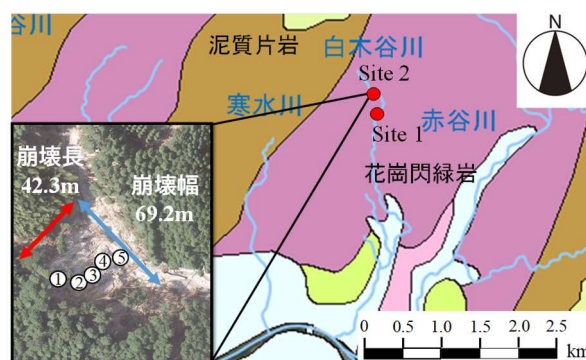


図-1 福岡県朝倉市周辺の地質図と現地調査位置

表-1 物理特性

測定位置	①	②	③	④	⑤
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.590	2.549	2.579	2.625	2.668
含水比 w (%)	22.84	27.95	18.38	9.9	8.77
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.223	1.485	1.377	1.607	1.637
飽和度 S_r (%)	52.68	98.64	54.56	40.57	37.33
礫分 (%)	6.9	5.6	10.2	32.4	39.7
砂分 (%)	61.4	39.3	56.6	65.7	58.8
細粒分 (%)	31.7	56.1	33.2	1.9	1.5
土質分類	SF-G	FS-G	SF-G	SG	SG
強熱減量 L_i (%)	4.030	4.996	3.946	2.106	2.143
透水係数 k (10 ⁻⁶ m/s)	9.29	1.15	10.00	5.22	5.93
山中式硬度 D (mm)	15	13	15	26	25
せん断強さ s (kN/m ²) $D=6.10\ln(q_u)-8.50$ $s=q_u/2$	23.55	16.97	23.55	142.96	121.35

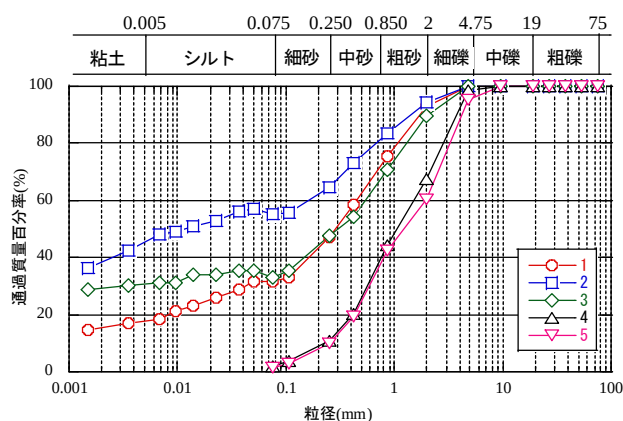


図-2 花崗閃緑岩地帯の粒度分布

図-3 に強熱減量と細粒分含有率の関係を示す。ここでは風化度を表す指標として簡単に求められ、誤差も少ない強熱減量を用いた³⁾。なお、図中には西中国地方に分布する広島型まさ土の結果も示す。図より、斜面下部の細粒分含有率は1.8%前後に対し、強熱減量が高い斜面上部は56%まで増加した。強熱減量の増加に伴い、細粒分含有率も増加する直線関係にあった。この傾向は広島型まさ土も同様だが、白木谷川の地点①、②、③の試料の方が広島型まさ土より細粒分が多い。また、今回調査した朝倉市の花崗閃緑岩の方が、広島型まさ土に比べて強熱減量の増加に対する細粒分増加の割合が大きい。広島型まさ土は比較的粗粒分が多いまさ土であるため、違いに影響したと考えられる。

図-4 に強熱減量とせん断強さの関係を示す。ここでは斜面表層部の力学的な指標としてせん断強さをを用いた。図より、斜面下部となる河床部に近い地点④と⑤のせん断強さがそれぞれ143kN/m²と121kN/m²に対し、斜面上部では17kN/m²まで低下した。強熱減量が2.5%前後増加すると、せん断強さは約1/9程度まで低下した。

図-5 に飽和度とせん断強さの関係を示す。図より、特に斜面上部にある地点①～③では飽和度の増加に伴い、せん断強さは顕著に減少する傾向にあった。斜面上部の母材は砂分を多く含んでいるが、風化した造岩鉱物間の粒子間力が低いいため、含有する細粒分の影響が卓越する。細粒分は保水性が高いため、降雨による浸透水が斜面表層部に貯留されることで、飽和度の上昇に伴う粘着力の低下により、強度も低下したとみられる。このような強度低下特性は、花崗閃緑岩の乾燥時は固いが、浸水により脆弱となる特性⁴⁾として認識される。図中には、大津らによるタイの斜面崩壊地点で採取した花崗閃緑岩の強度低下特性⁵⁾を示し、Grade は風化特性⁶⁾を表す。図より、斜面の地点④と⑤の試料は Grade IVに含まれるため、非常に風化しているといえる。一方、地点①、②、③の試料は Grade VIに含まれるため、まさ土まで風化しているといえる。

4. 結論

白木谷川中流域の斜面崩壊が発生した花崗閃緑岩地帯では、斜面上部の細粒分含有率が56%であり、下部との増加率は36%であった。強熱減量の3%増加と飽和度の13%増加により、せん断強さは約1/9程度まで低下した。

謝辞：なお、本研究は地盤工学会平成29年7月九州北部豪雨地盤災害調査団の調査結果の一部である。また、航空写真ならびにLPデータは、福岡県県土整備部砂防課と国土交通省九州地方整備局にご提供いただいた。また、本調査研究の一部は、JSPS 科研費17K20140及び九州建設技術管理協会「建設技術研究開発助成」の助成を受けて実施したものである。関係者各位には深甚の謝意を表したい。

【参考文献】

- 1) 国立研究開発法人産業技術研究所地質総合センター：地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#13.33.39718.130.81444>, 2017年12月28日閲覧。 2) 永留健, 御手洗義夫, 大森慎哉, 細川和成: 山中式土壌硬度計を用いたセメント系固化処理土の強度特性評価, 第7回地盤工学会関東支部発表会講演集, pp94-97, 2010。 3) 村田秀一, 兵動正幸, 安福規之: 風化度に着目したまさ土の圧縮・せん断特性, 土木学会論文集, 第382回, III-7, pp131-140, 1987。 4) 大津宏康, 北岡貴文, 野並賢: 花崗岩の風化特性に着目した降雨に対する切土のり面の安定性に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp103-114, 2015。 5) Phien-wej, N., Nutalaya, P., Aung, Z. and Zhibin, T.: Catastrophic Landslides and Debris Flows in Thailand, Engineering Geology, pp.93-100, 1993。 6) Little, A.L.: The engineering classification of residual tropical soils, Proceedings 7th International Conference on Soil, 1969。

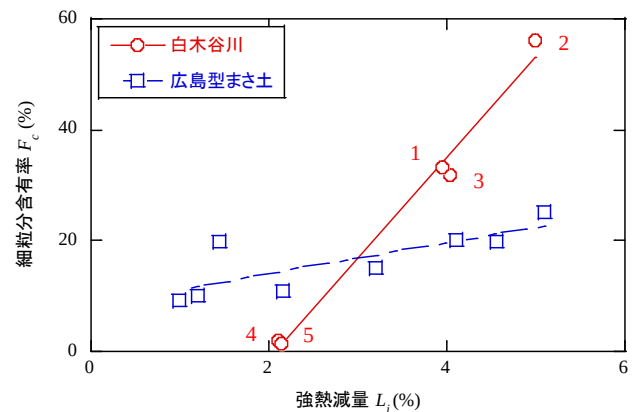


図-3 強熱減量と細粒分含有率の関係

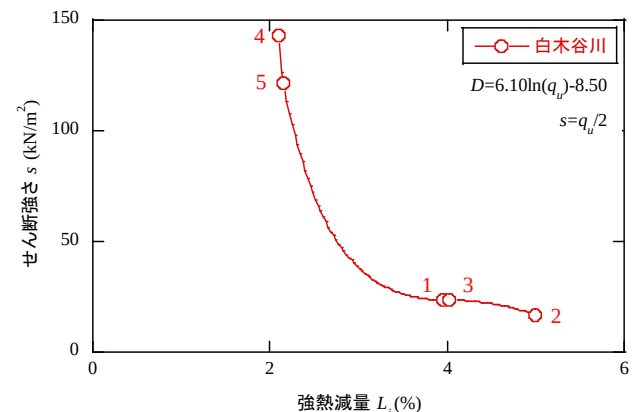


図-4 強熱減量とせん断強さの関係

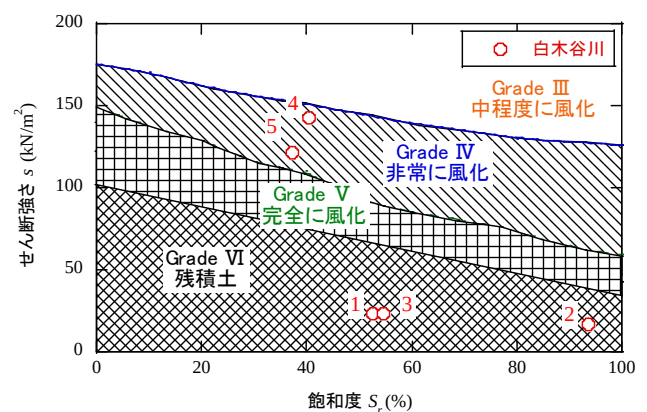


図-5 飽和度とせん断強さの関係