

不かく乱ローム粘土および黒ボク土の一面せん断強度に及ぼす飽和度の影響

秋田大学 学生会員 一戸涼華 正会員 荻野俊寛
 正会員 高橋貴之 正会員 及川洋
 奥山ボーリング株式会社 非会員 小松順一

1. はじめに

2013年8月9日、秋田県および岩手県をまたがって襲った集中豪雨によって、両県の広い範囲で大規模な洪水、土砂災害が発生した。地盤工学会はこれを受けて調査団を編成し、地盤災害の現地調査を実施した¹⁾。本報告はこの集中豪雨によって大規模な土石流が発生した秋田県仙北市供養佛地区から採取した試料について著者らが現在実施している物性試験、圧密試験および一面せん断試験の結果を速報として報告するものである。

2. 試験概要

実験に用いた試料は土石流現場頂部の滑落崖下から採取してきたものである。現場の地盤は、表層部に火山灰質粘性土(ローム質粘土)および黒ボク土が堆積しており、その下層には基盤となる風化した火山礫凝灰岩が堆積していた(写真-1参照)。黒ボク層との境界部には基盤の強風化層と思われる細粒分質礫質砂(厚さ50mm程度)が確認された。表層から基盤までの層厚は2~3mと推定される。火山灰質粘性土、黒ボク土および細粒分質礫質砂は内径60mm、高さ20mmのカッターリングを貫入して採取した。また、基盤の風化火山礫凝灰岩は岩石ハンマーを用いてブロックサンプリングした。これらの試料に対し、物性試験、圧密試験および一面せん断試験を実施した。表-1に物性試験および圧密試験の結果を示す。図-1は粒度試験による火山灰質粘性土と細粒分質礫質砂の粒径加積曲線である。



写真-1 試料採取現場の写真

一面せん断試験は所定の応力($\sigma_v=20, 40, 80, 100, 200\text{kPa}$)で圧密した試料に対し、定体積および定圧条件で実施した。圧密過程は原位置の状態を再現するために不飽和状態で実施したが、土石流発生時を想定した実験では降雨を再現するため、圧密後、浸水筒内に水を注入し、供試体を飽和させた後にせん断を行った。この一連の試験によってそれぞれの土の強度を把握することができる。また、基盤である風化火山礫凝灰岩と細粒分質礫質砂との境界の強度を求めるため、上せん断箱に細粒分質礫質砂、下せん断箱に風化火山礫凝灰岩からなる2層供試体(せん断面が試料の境界となるように成形した)を作成し、繰返しせん断試験を実施した。圧密応力は50, 100kPa、せん断は定圧条件で片振幅5mmの両振り、繰返し回数は10回とした。

3. 試験結果および考察

圧密試験結果では火山灰質粘性土の圧密降伏応力 p_c は著しく大きい、他試料の結果や現場の状況から、実際の p_c は100kPa~200kPaと想定して一面せん断試験を行った。原位置の土被り圧は層厚から40~60kPa程度と想定されるため、原地盤はOCR=2~5程度の過圧密状態にあると考えられる。まず、火山灰質粘性土について定体積せん断試験における $\tau-d$ 曲線を図-2に示す。この図から、不飽和状態でのピーク強度は、圧密応力200kPaのときに89kPa、20kPaのときに67kPa、40kPaのときに63kPa、80kPaのときに59kPa、100kPaのときに38kPaであり、飽和状態でのピーク強度は、80kPaのときに51kPa、40kPaのときに25kPa、20kPaのときに19kPaであり、 $\sigma_v \leq 80\text{kPa}$ の結果では不飽和状態の場合、強度は圧密応力によらずほぼ一定値を示しているが、飽和化によって強度が大幅に低下することがわかる。次に、火山灰質粘性土の応力経路を図-3に示す。図-2の不飽和時の強度は c_{cu} として現れており、飽和したことにより著しく強度が低下していることがわかる(図中矢印)。強度低下の主な要因は飽和化によるサクシジョンの低下と考えられる。なお、不飽和状態の供試体の飽和度は80~90%程度であるが、飽和化によって97%程度まで上昇している。図-1に示されるように火山灰質粘性土は多くの細粒分を含むため、飽和度が低い場合、サクシジョンの働きによる粘着力の増加が起きるが、降雨によって土中の水分量が増加しサクシジョンが働かなくなることで強度が大きく低下すると考えられる。このことはこの土が降雨によって強度が大きく低下する粘土であることを意味している。また、応力経路から得られる c_{cu} および ϕ_{cu} の関係(図中破線)から求められる圧密降伏応力 p_c は、147kPaであった。これは試験前の圧密降伏応力のおおよその予想と合致している。次に黒ボク

表-1 物性試験の結果

		火山灰質粘性土	黒ボク	細粒分質礫質砂
一般	湿潤密度 ρ_s [g/cm^3]	1.618	1.441	1.428
	乾燥密度 ρ_d [g/cm^3]	1.098	0.981	1.102
	土粒子密度 ρ_s [g/cm^3]	2.783	2.529	2.585
	自然含水比 w_n [%]	49.6	46.9	29.6
	間隙比 e	1.535	1.578	1.346
	飽和度 S_r [%]	85.8	75.2	56.8
	強熱減量 L [%]		18.295	
コンシシ システ マ	液性限界 w_L [%]	92.70	100.63	38.30
	塑性限界 w_p [%]	41.87	57.24	29.95
	塑性指数 I_p	50.83	43.39	8.35
圧密	試験方法	段階載荷	段階載荷	段階載荷
	圧縮指数 C_c	0.44	0.49	0.42
	圧密降伏応力 P_c [kPa]	370.5	90.6	203.4
	透水係数 c [cm/s]	1.03×10^{-6}	1.66×10^{-6}	1.95×10^{-6}

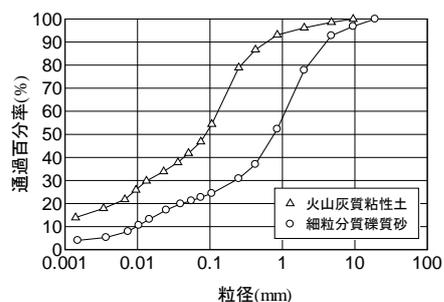


図-1 粒径加積曲線

について、 τ - d 曲線を図-4 に示す。火山灰質粘性土とは異なり、不飽和状態の強度は圧密応力とともに増加している。また、飽和化による顕著な強度低下も認められない。次に一面せん断試験から得られた黒ボクの応力経路を図-5 に示す。圧密試験による黒ボクの P_c は 90kPa であるが、不飽和状態の応力経路を見ると過圧密領域と正規圧密領域での差がほとんど見られず、飽和状態の応力経路と比べても大きな差は見られない。 c_{cu} はほぼ 0 となっており、火山灰質粘性土とは対照的な結果となっている。黒ボクは有機質土であり ($L_i=18\%$)、サクシオンが働きにくい。そのため不飽和、過圧密状態においても粘着力が小さく、かつ、降雨により飽和度が增加しても強度に大きな変化が見られないものと考えられる。

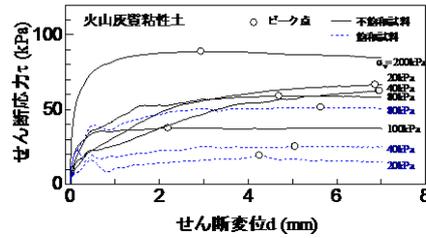


図-2 火山灰質粘性土の τ - d 曲線

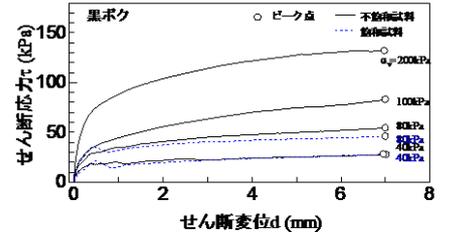


図-4 黒ボク土の τ - d 曲線

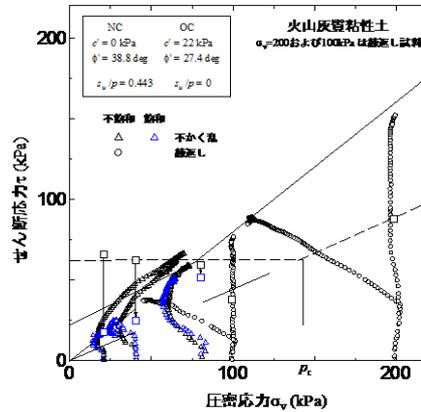


図-3 火山灰質粘性土の応力経路

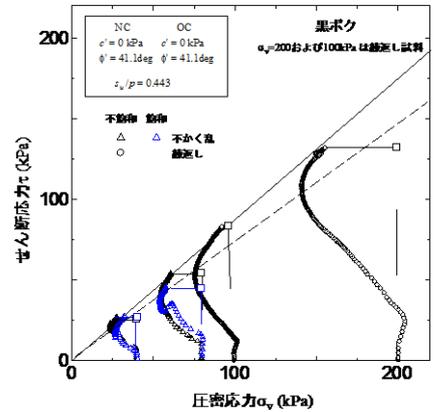


図-5 黒ボク土の応力経路

次に、風化火山礫凝灰岩および細粒分質礫質砂からなる 2 層供試体について、繰返し一面せん断試験の結果を図-6 に示す。供試体作成方法を考慮すれば、図-6 に示されるピーク強度は原位置のピーク強度と必ずしも対応しないが、凹凸はあるものの、ピークから残留状態にかけて強度の低下が確認できる。これらの結果から応力経路を描くと、図-7 のようになる。破壊包絡線から得られる 2 層供試体の残留強度は $c_r=2.5\text{kPa}$ 、 $\phi_r=41^\circ$ と非常に高く、火山灰質粘性土や黒ボク土の強度定数と比較しても、大きな差は無い。 ϕ_r は細粒分含有率あるいは塑性指数が低下するほど大きくなる傾向を示し、文献 2) によれば、用いた細粒分質礫質砂の場合、およそ 35° 程度になるが、実験結果はこの値よりもやや大きい。図-6 の応力-ひずみ関係を見ると、繰返しせん断が進むにつれ、せん断の反転時近傍で τ が急激に増加する傾向が見られることから、このような大きな ϕ_r を示す要因のひとつとして、礫分の混入や、砂が上下せん断箱のすき間に入り込み干渉した可能性が考えられる。すき間の調整や摩擦の低減等の対策を行った上で、強度定数を再評価する必要があると考えられる。

4. 結論

2013 年 8 月 9 日の秋田・岩手豪雨によって土石流が発生した秋田県田沢湖市供養佛地区から採取した不かく乱試料に対し、一面せん断試験をはじめとする一連の室内土質試験を実施した結果を速報としてとりまとめた。本報告から得られる知見は以下の通りである。

1. 火山灰質粘性土、黒ボク、細粒分質礫質砂に対する圧密試験、一面せん断試験の結果から、試料の圧密降伏応力は 100kPa~200kPa と推定された。原位置の土被り厚から現地盤はおよそ OCR2~5 程度の過圧密状態にあると考えられる。また、圧密試験から求められる透水係数はいずれの試料も 10^{-6}cm/s オーダーであった。
2. 火山灰質粘性土は不飽和状態の場合、サクシオンの働きにより高い粘着力を有しており、過圧密領域においては圧密応力によらずほぼ一定の強度を示すが、降雨等によって土中の水分量が増加し、飽和化することによりサクシオンが低下し、強度が著しく低下した。対照的に、黒ボク土は有機分を多く含むためサクシオンが働きにくく、飽和度に関係なく強度は圧密応力とともに増加した。
3. すべり面となった風化火山礫凝灰岩と細粒分質礫質砂の境界部の強度は残留状態に向かうにつれて低下する傾向を示したが、混入や上下せん断箱と砂分の干渉により残留状態の強度定数は $c_r=2.5\text{kPa}$ 、 $\phi_r=41^\circ$ と大きな値を示した。

【参考文献】1) 平成 25 年 8 月 秋田・岩手根豪雨災害調査報告, <https://www.jiban.or.jp/images/H25-8akitaiwatesaigaichosahokoku.pdf>, 2013. 2) 地すべり安定解析用強度決定法—実務における新たな展開をめざして—, (社)地すべり学会東北支部, 2001.

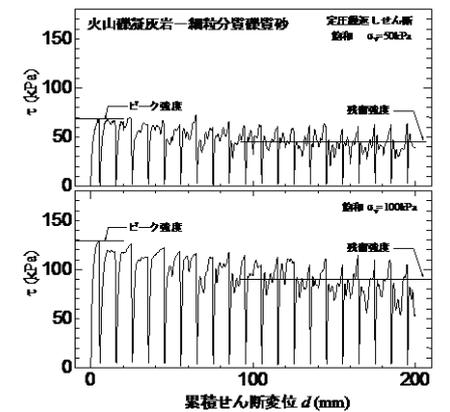


図-6 2 層供試体の τ - d 曲線

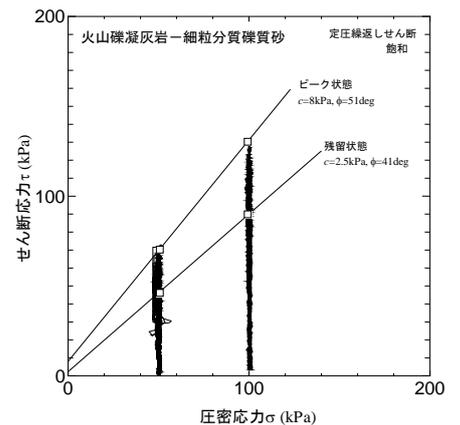


図-7 2 層供試体の応力経路