

3.3 災害地の土質特性（土質試験結果）

3.3.1 調査の背景・目的

大金沢流域では広範囲に渡って複数の表層崩壊が発生し、これらの表層崩壊の崩壊土砂がそのまま土石流となった。また、土石流は緩い尾根などを乗り越えて流下している（石川ら，2014）。今後の対策を考える上では伊豆大島の土質特性を十分検討した上で実施する必要がある。

これまで火山地域での表層崩壊に関してはいくつかの知見がある（野村ら，2003；木佐ら，2013）。野村らは、三宅島・有珠山・桜島について飽和透水試験・散水試験・攪拌抵抗試験を行い、水の浸透特性や流動化特性を比較している。特に粘土分が多い有珠山で流動化が起きにくいことを実験によって示していることが特筆すべきである。木佐ら（2013）は2011年の霧島山（新燃岳）の噴火による火砕物堆積斜面について、火砕物の層厚の違う斜面の表面流発生痕跡の有無を調査し、火砕物の層厚が厚いほど表面流が発生しやすいことを示している。

表層崩壊については土質強度や間隙水圧の点からもそのメカニズムを議論すべきであるがこの点については研究事例が少ない。そこで本研究では、平成25年10月の伊豆大島での災害で表層崩壊が発生した大金沢の土砂について、火山灰とレスの違いに着目して液性限界・塑性限界試験、透水試験、一面せん断試験、三軸圧縮試験、リングせん断試験等を実施し、土の特性について調査した。

3.3.2 調査箇所の地質及び調査内容について

検討箇所は図3.3.1に示す大金沢のSt-1～3である。それぞれの崩壊地の特徴は表3.3.1に示すとおりである。また、写真3.3.1にそれぞれの箇所の様子を、写真3.3.2に代表的な地層の様子を示す。いずれの箇所も火山灰及びレス層が分布していた。

実施した試験の内容について、物理試験を表3.3.2に、力学試験を表3.3.3に示す。いずれの試験も3箇所においてそれぞれ火山灰、レスについて試験を行った。ただし、リングせん断試験についてはSt-3の火山灰のみで実施した。



図 3.3.1 土砂採取箇所

表 3.3.1 崩壊地の諸元及び採取土砂の種類について

名称	崩壊地諸元			採取土砂
	幅(m)	長さ(m)	勾配(°)	
St-1	10	60	40	レス, 火山灰
St-2	37	55	28	レス, 火山灰
St-3	30	31	30	レス, 火山灰, レス・火山灰の境界



写真 3.3.1 土砂採取箇所の様子。(a)St-1。(b)St-2。(c)St-3。



写真 3.3.2 地層の様子。灰色が火山灰, 赤褐色がレス層である。

表 3.3.2 本研究で実施した物理試験の内容

試験種	粒度試験	土粒子の密度試験	含水比試験	液性塑性限界試験	透水試験
仕様	JIS A 1204	JIS A 1202	JIS A 1203	JIS A 1205	JIS A 1218
試料数	6	6	6	6	6
得られる物性値	粒度分布	土粒子密度	自然含水比	コンシステンシー特性	透水係数

表 3.3.3 本研究で実施した力学試験の内容

試験種	一面せん断試験	三軸圧縮試験	リングせん断試験
仕様	JGS0561	JGS 0523	-
試料数	6	6	1
得られる物性値	有効応力のピーク強度	全応力・有効応力のピーク強度	全応力・有効応力の残留強度
備考			St-3の火山灰のみで実施

表 3.3.4 土粒子の密度

採取場所	土砂の種類	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)
St-1	レス	2.81
	火山灰	2.84
St-2	レス	2.81
	火山灰	2.83
St-3	レス	2.79
	火山灰	2.85

表 3.3.5 土の含水比

採取場所	土砂の種類	自然含水比 W_n (%)
St-1	レス	46.3
	火山灰	22.0
St-2	レス	39.0
	火山灰	16.7
St-3	レス	46.5
	火山灰	18.1

3.3.3 物理試験の結果について

(1) 土粒子の密度試験

土粒子の密度試験の結果を表 3.3.4 に示す。レス層よりも火山灰層の方がやや大きい値となったがほぼ同様と言える。一般的な無機質土であれば $2.6 \sim 2.8 \text{g/cm}^3$ の範囲であることが分かっており（地盤工学会，2000），本研究の値はそれに近いと言える。

(2) 土の含水比試験

土の含水比試験の結果を表 3.3.5 に示す。レス層は 40%程度，火山灰は 20%程度であることが分かった。このことから，レス層は火山灰層に比べ水を含みやすいことが分かった。

(3) 土の粒度試験

表 3.3.6 及び図 3.3.2 に粒度試験の結果を示す。それぞれの箇所で砂分については火山灰の方が多く、シルト分についてはレスの方が多く分かるが、大きな違いはなく、いずれも地盤材料としてはシルト質砂であった。

(4) 土の液性限界・塑性限界試験

表 3.3.7 に土のコンシステンシー特性を示す。また、図 3.3.3 に塑性図を示す。レス層は液性限界 $WL=55.8 \sim 61.6\%$ ，塑性限界 $IP=23.4 \sim 25.4\%$ となり，塑性図上では MH:シルト（高液性限界）に分類される。液性指数は $0.34 \sim 0.49$ で，自然含水比は液性限界寄りとなっている。採取場所によるコンシステンシー特性の差はあまりない。なお，火山灰は NP（非塑性）となり，塑性を示さなかった。

(5) 土の透水試験

表 3.3.8 に土の透水試験の結果を示す。なお，St-1, 2 については攪乱試料を採取し，室

内で水中落下法によりコアを整形しており、あくまで参考値である。透水係数はいずれも 10^{-5} (m/s) 程度であり、火山灰とレスで大きな違いはなかった。なおこの値から火山灰、レスともに透水性としては低いと言える（公益社団法人地盤工学会，2009）。

表 3.3.6 土の粒度割合

採取場所	土砂の種類	粒度割合 (%)			
		粘土	シルト	砂	礫
		0.005(mm)未満	0.005-0.075(mm)	0.075-2(mm)	2-75(mm)
St-1	レス	7	35	56	2
	火山灰	5	24	69	2
St-2	レス	9	25	64	2
	火山灰	6	18	73	3
St-3	レス	16	29	53	2
	火山灰	10	24	66	0

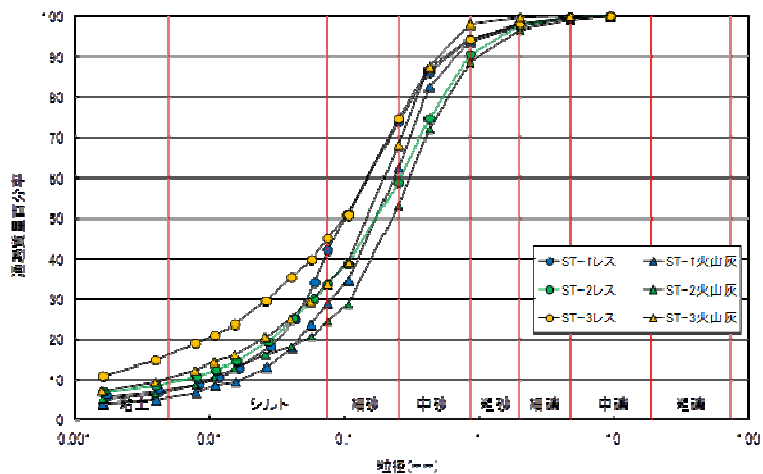


図 3.3.2 土の粒度分布

表 3.3.7 土のコンシステンシー特性

採取場所	土砂の種類	自然含水比 W _n (%)	コンシステンシー			
			液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	塑性指数 IP	液性指数 IL
St-1	レス	46.3	61.6	38.2	23.4	0.35
	火山灰	22.0	NP(非塑性)			
St-2	レス	39.0	55.8	30.4	25.4	0.34
	火山灰	16.7	NP(非塑性)			
St-3	レス	46.5	58.6	35.1	23.5	0.49
	火山灰	18.1	NP(非塑性)			

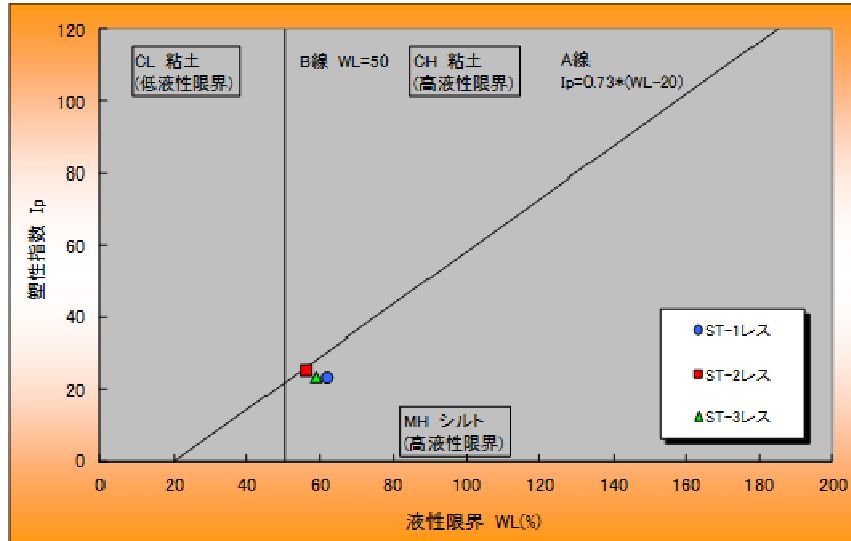


図 3.3.3 塑性図

表 3.3.8 透水試験の結果

採取場所	土砂の種類	室内透水係数 K_r (m/s)	供試体 作成方法
St-1	レス	3.6×10^{-4}	水中落下法
	火山灰	3.0×10^{-5}	
St-2	レス	2.3×10^{-6}	
	火山灰	1.1×10^{-5}	
St-3	レス	1.9×10^{-5}	不攪乱試料
	火山灰	2.1×10^{-5}	

3.3.4 力学試験の結果について

(1) 土の圧密非排水三軸圧縮試験

三軸圧縮試験には圧密時とせん断時の排水条件及び間隙水圧の測定の有無を組み合わせることで4種類の試験条件が規定されているが、本研究では圧縮時の間隙水圧に着目した研究を実施することから、圧密非排水 (CUbar) での試験を行った。

St-3の試料については不攪乱試料から供試体を作製した。St-1, 2については攪乱試料を採取し、水中落下法により供試体を作製した。なお、圧密後の乾燥密度を計測するとSt-3と比較して大きな差がないことが確認されている。試験条件は表 3.3.9 に示す通りである。

土質強度の結果を表 3.3.10 に示す。圧密過程終了後の供試体の乾燥密度は各試料とも同じ試料であれば同程度であった。不攪乱試料のSt-3と水中落下法により作製したSt-1, 2の乾燥密度に大きな差はなく、攪乱試料の供試体作製は妥当なものとなっていると考えられる。全応力のせん断抵抗角 ϕ ではレス<火山灰という関係になっており、レスの $\phi=10.0 \sim 17.2^\circ$ 、火山灰の $\phi=16.8^\circ \sim 29.1^\circ$ となっている。有効応力のせん断抵抗角 ϕ' では各採取場所におけるレスと火山灰の大小関係に規則性はない。レスの $\phi'=28.8 \sim 33.3^\circ$ 、火山灰の $\phi'=29.7 \sim 35.5^\circ$ となっておりほぼ同様の値と言える。

図 3.3.4～図 3.3.6 にそれぞれ軸ひずみと過剰間隙水圧の関係、主応力差と過剰間隙水圧の関係、主応力差と軸ひずみの関係を示す。主応力差の増加によって軸ひずみが発生し、さ

らには過剰間隙水圧が発生している。この過剰間隙水圧の発生が表層崩壊発生の一因となったと考えられる。なお、火山灰とレスに大きな違いはない。

(2) 土のリングせん断試験

本研究では火山灰について土のリングせん断試験を実施した。図 3.3.7～図 3.3.9 に圧密圧力をそれぞれ 25, 50, 75kPa とした場合のせん断変位量とせん断応力、間隙水圧との関係を示す。いずれも間隙水圧がせん断面近傍と供試体で同様の挙動を示している。また、せん断初期に 20～70kPa の過剰間隙水圧が発生している。しかし、せん断変位量 30,000mm 付近からは徐々に過剰間隙水圧が減少しており、それに伴いせん断応力が上昇している。写真 3.3.3 にリングせん断試験後の供試体の様子を示す。粗粒分が供試体上位に移動し、かつ、細粒分が供試体下位に移動しており、この分級現象によって過剰間隙水圧が消散に向かったと推察される。

表 3.3.9 土の圧密非排水三軸圧縮試験の実験条件

供試体サイズ	直径 ϕ 50mm, 高さ 100mm
ひずみ速度	0.1%/min
最終変位量	軸ひずみ 15%
圧密応力	25kPa, 50kPa, 75kPa

表 3.3.10 土の圧密非排水三軸圧縮試験の実験結果

採取場所	土砂の種類	採取試料の状態	平均乾燥密度(圧密後) (g/cm^3)	全応力		有効応力	
				粘着力 C (kPa)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)	粘着力 C' (kPa)	せん断抵抗角 ϕ ($^\circ$)
St-1	レス	攪乱	0.89	6.5	17.2	0.8	33.1
	火山灰		1.33	8.7	29.1	2.0	35.5
St-2	レス		0.91	2.6	16.1	1.1	28.8
	火山灰		1.34	2.1	16.8	2.7	29.7
St-3	レス	不攪乱	1.01	28.7	10.0	3.2	33.3
	火山灰		1.38	3.6	19.3	0.5	31.7

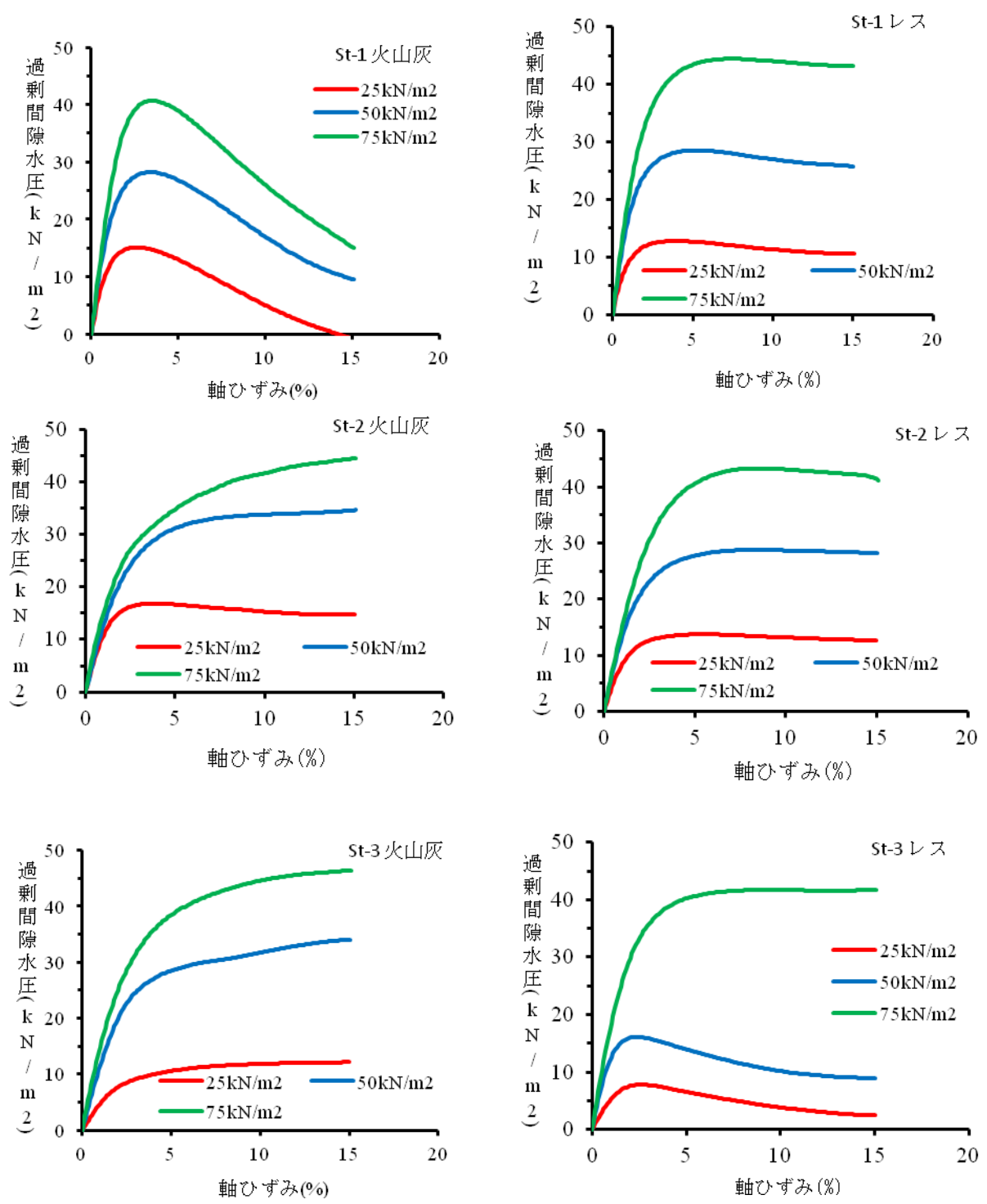


図 3.3.4 軸ひずみと過剰間隙水圧の関係

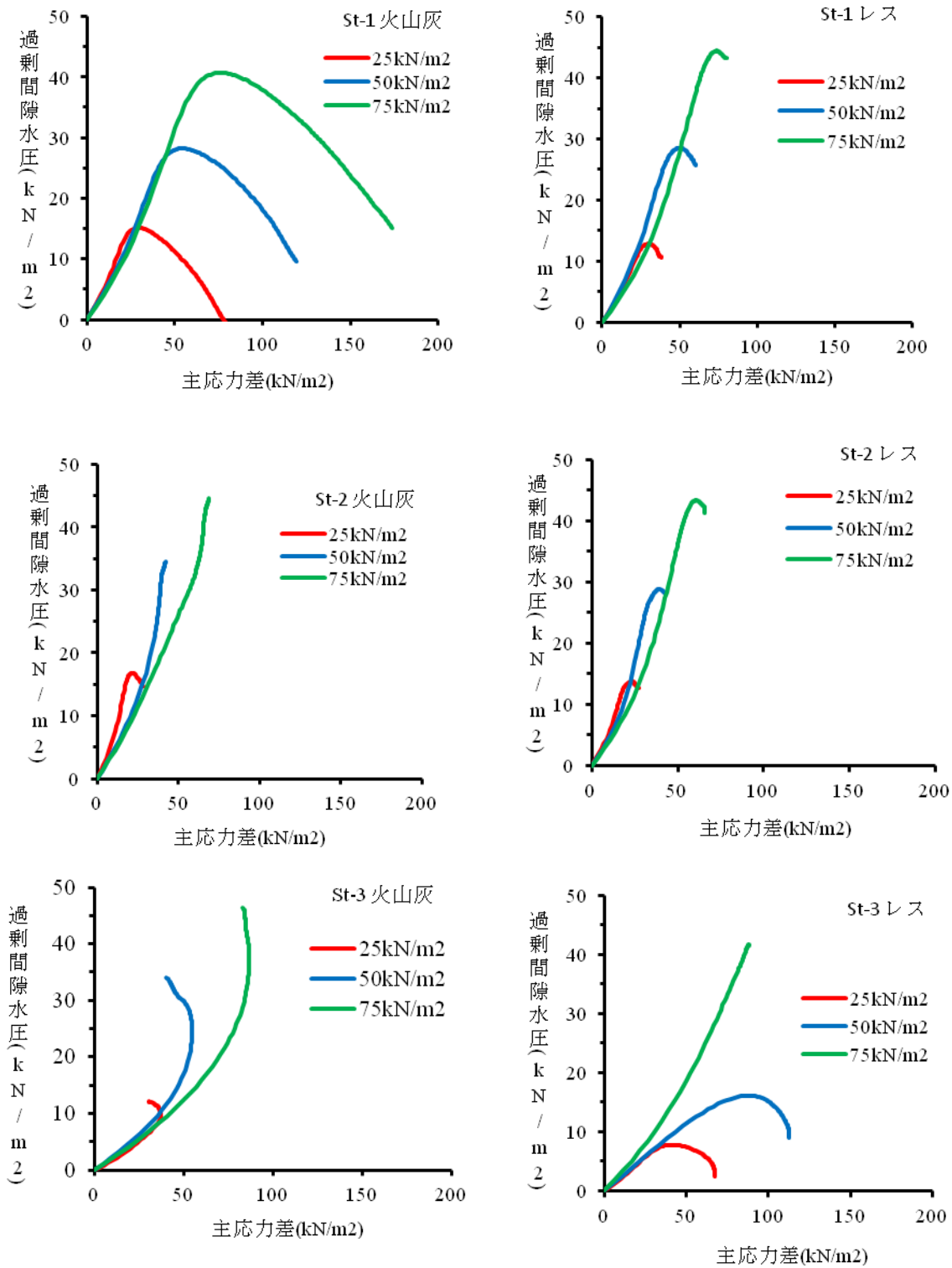


図 3.3.5 主応力差と過剰間隙水圧の関係

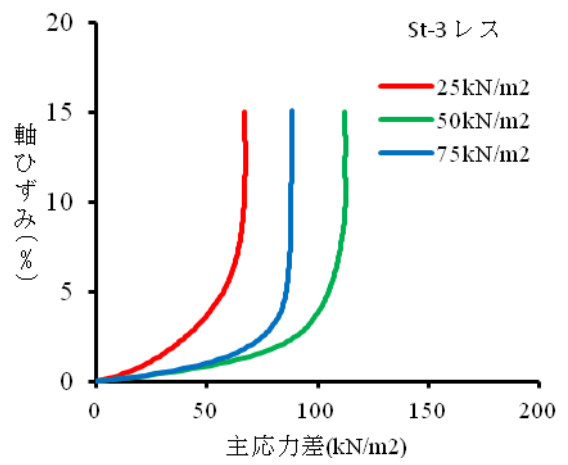
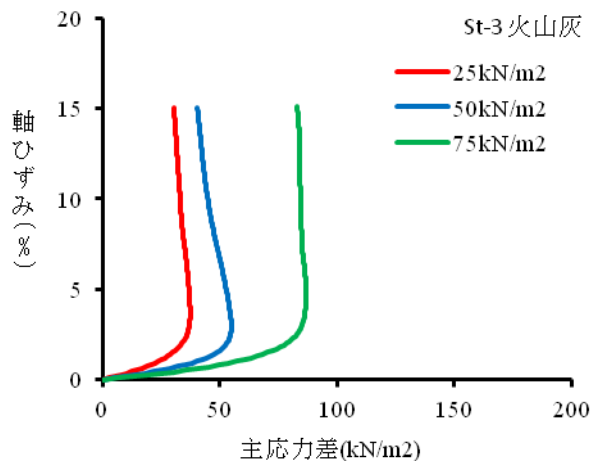
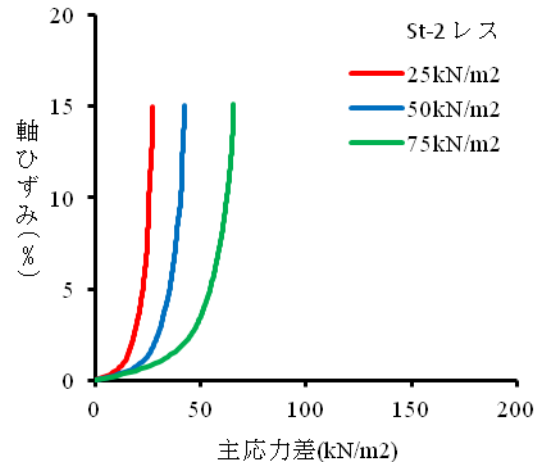
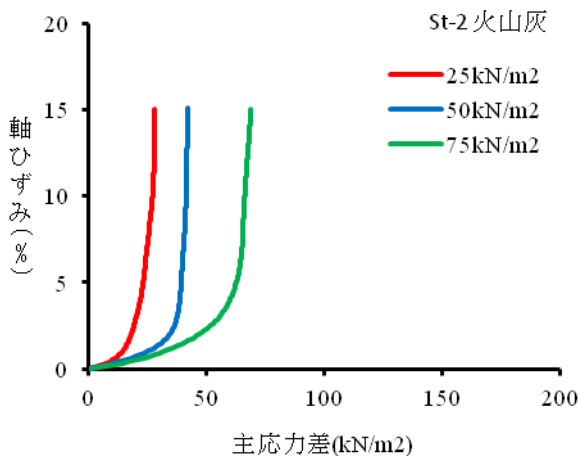
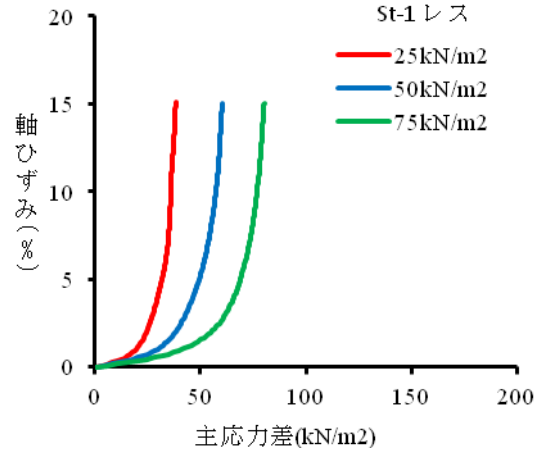
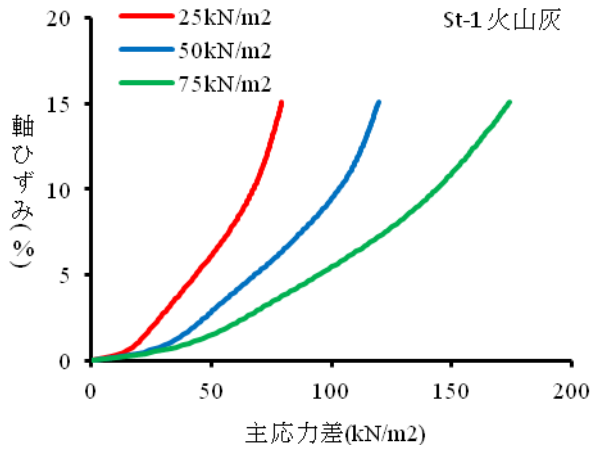


図 3.3.6 主応力差と軸ひずみの関係

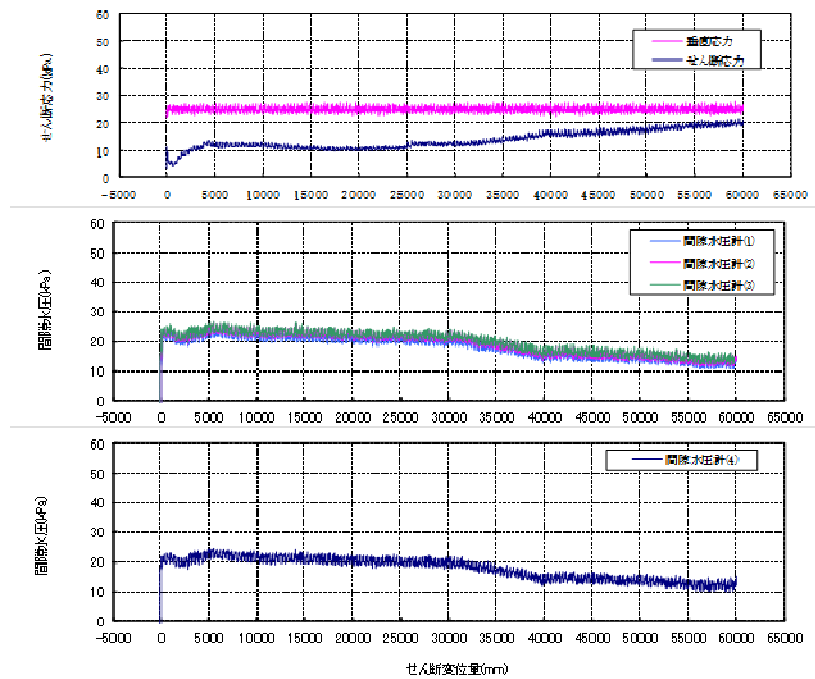


図 3.3.7 圧密応力 25kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。

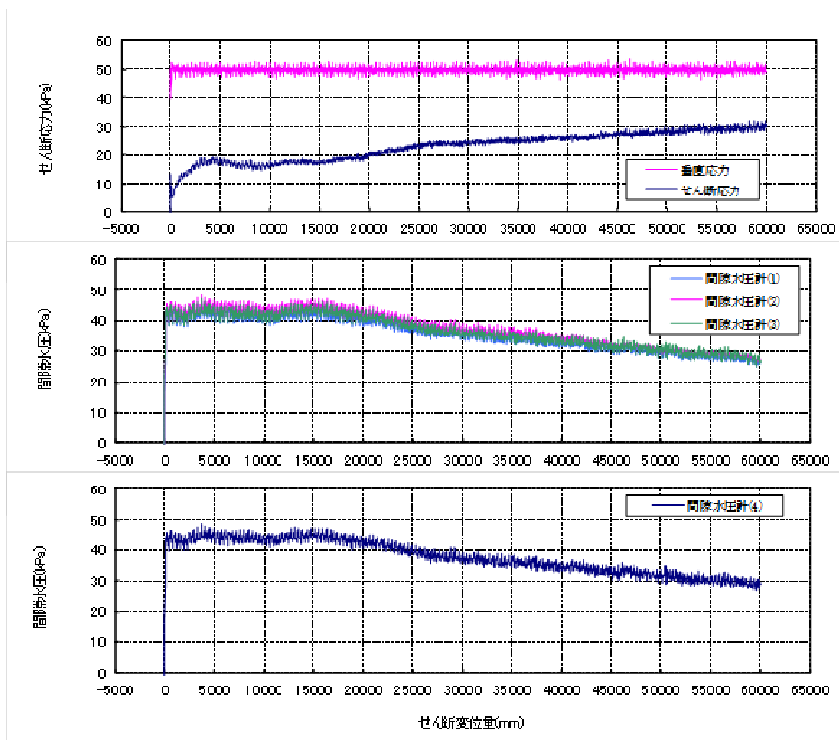


図 3.3.8 圧密応力 50kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。

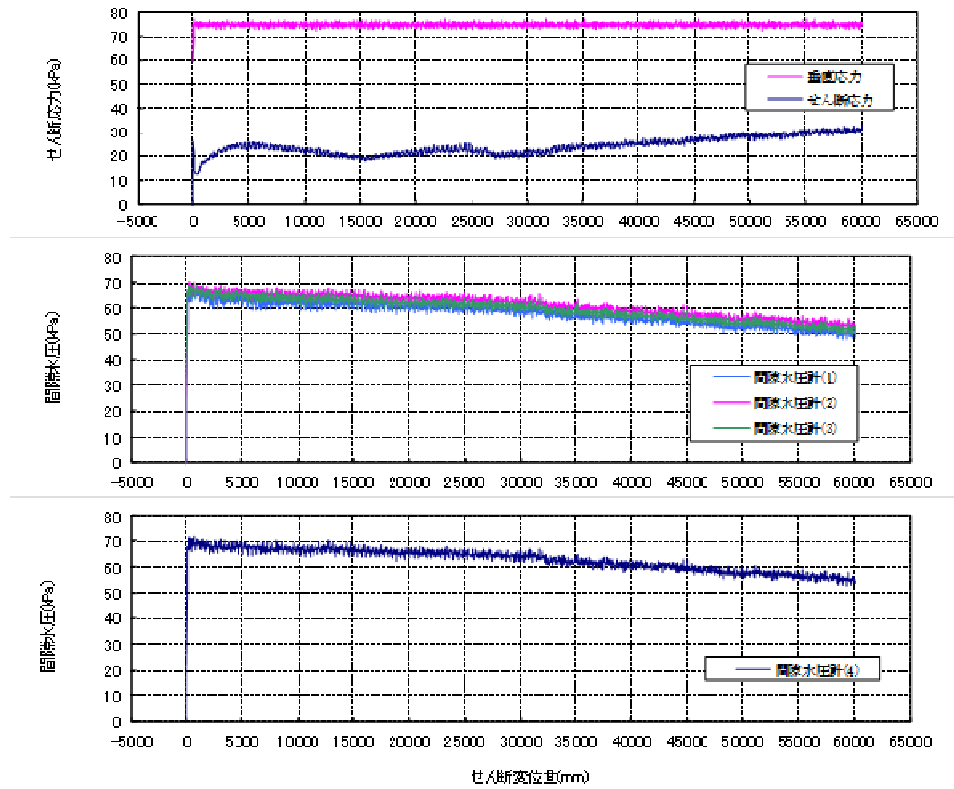


図 3.3.9 圧密応力 75kPa の時のせん断変位量とせん断応力，間隙水圧の関係。間隙水圧計 (1)～(3)はせん断面近傍を，(4)は供試体上面の間隙水圧を計測している。



写真 3.3.3 リングせん断試験後の供試体の様子。大きい粒径が上に移動している

3.3.5 まとめ

大金沢の土質試験の結果をまとめると以下の通りである。

- ・物理試験の結果から、火山灰とレスでは土粒子の密度・粒度分布・透水係数の点では違いが無かった。一方、自然含水比はレス層が火山灰の2倍程度であった。また、土の液性限界・塑性限界試験の結果から、レスは高液性限界(MH)であったのに対し火山灰は非塑性(NP)となった。
- ・土の圧密非排水三軸圧縮試験について、レスの $\phi' = 28.8 \sim 33.3^\circ$ 、火山灰の $\phi' = 29.7 \sim 35.5^\circ$ となっておりほぼ同様の値であった。また、火山灰・レスともに歪みの発生に伴って間隙水圧の上昇がみられ、このことが表層崩壊の発生の一因になったと考えられる。
- ・火山灰についてのリングせん断試験の結果から、せん断変位に伴ってせん断応力の上昇と間隙水圧の低下がみられた。試験後の供試体の観察結果から粗粒分の供試体上部への移動が見られておりこのことが原因とみられる。

引用文献

- 石川芳治・池田暁彦・柏原佳明・牛山素行・林真一郎・森田耕司・飛岡啓之・小野寺智久・宮田直樹・西尾陽介・小川洋・鈴木崇・岩佐直人・青木規・池田武穂（2014）：2013年10月16日台風26号による伊豆大島土砂災害，砂防学会誌（新砂防），Vol. 66, No. 5, p. 61-72
- 公益社団法人地盤工学会（2009）：地盤材料試験の方法と解説
- 木佐洋志・山越隆雄・石塚忠範・杉山光徳・瀧口茂隆（2013）：2011年霧島山（新燃岳）噴火による火砕物堆積斜面の降雨表面流出特性，砂防学会誌（新砂防），Vol. 65, No. 6, p. 12-21
- 野村康裕・小杉賢一朗・水山高久（2003）：三宅島・有珠山・桜島の火山灰の物理特性の比較検討，砂防学会誌（新砂防），Vol. 55, No. 6, p. 3-12