

地形・地質情報の利用による地震・豪雨時の土砂流動予測に関する研究

2015.6.4
国土技術研究センター

野々山栄人（名古屋大学，現防衛大学校）
余川弘至（中部大学）

謝辞

- ✓ 一般財団法人国土技術研究センターの研究開発助成（平成26年度）（研究受付番号：第13006 号）
- ✓ 国土交通省神通川水系砂防工事事務所，岐阜県土整備部
- ✓ 名古屋大学中野正樹教授，岐阜大学沢田和秀教授，中部大学浅野憲博士
- ✓ 中部大学武藤大和氏，山下航平氏，名古屋大学浜島圭佑氏

2

はじめに

- 我国は環太平洋造山帯に属しており，活火山が散在
→国土の1/4は火山地域
- 火山噴火以外にも**地震**や**異常気象の影響**によって**多発する豪雨**を誘因とした土砂災害が発生
→甚大な被害が生じている

火山地域における近年の**豪雨災害事例**(稲垣, 2014)

発生年	災害	気象 (mm)	雨量	死者・行方不明者	地質	地域	
1958年1月	長野川台風豪雨(大島)	台風	455.8	87.5	2	新第四紀火山砂	伊豆諸島
1962年7月	長崎豪雨	梅雨	372	187	299	新第四紀火山砂層	九州
1950年7月	阿蘇豪雨	梅雨	448	118.5	8	第四紀火山灰	九州
1958年9月	台風豪雨	台風	1,258	39	8	第四紀堆積物・火砕流堆積物	東北
1958年9月	熊野・南茅渚豪雨	台風	300	73	-	新第四紀火山砂層	北海道
2003年7月	水俣豪雨	梅雨	429	91	15	新第四紀火山砂層	九州
2010年7月	琵琶湖豪雨	梅雨	174	91	1	第三紀火山灰	山陰
2010年8月	神奈川豪雨(新豪雨)	台風	495	76.5	0	富士山溶岩・タフ	フェウスマグマ
2012年7月	九州北部豪雨	梅雨	368	108	32	第四紀火山砂	九州
2013年10月	伊豆大島豪雨	台風	824	122.5	39	第四紀火山砂	伊豆諸島

伊豆大島で発生した土砂流動(2013)
(PASCO HPより引用)

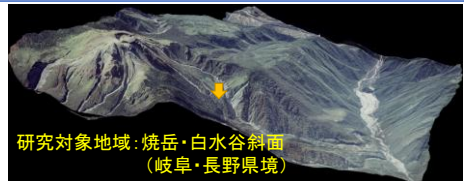
3

研究の目的

火山地域の地質特性:

- 地表面は火山噴火の際に噴出される火山岩および火山灰(以下，火山碎屑物)が堆積
- 火山碎屑物は水を含むと脆弱となる特性を有している
⇒災害ポテンシャルが高い

火山地域における地盤災害の被害軽減に向けて，火山碎屑物で覆われた斜面の崩壊予測を試みる



4

研究内容

I. 現地調査

踏査・試料採取・土壌硬度計による貫入抵抗の測定

II. 火山碎屑物を用いた土質試験

物理試験・力学試験

III. 粒子法による火山碎屑物斜面の変形解析

材料定数の決定

デジタル写真測量および踏査に基づいた解析断面の決定

骨格構造を考慮した弾塑性構成モデルを導入した粒子法による解析

5

現地調査(試料採取)

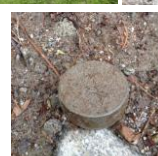
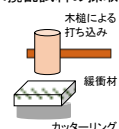
採取場所(遠景)



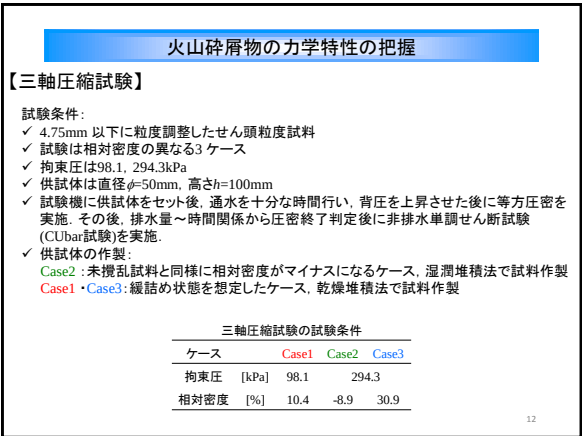
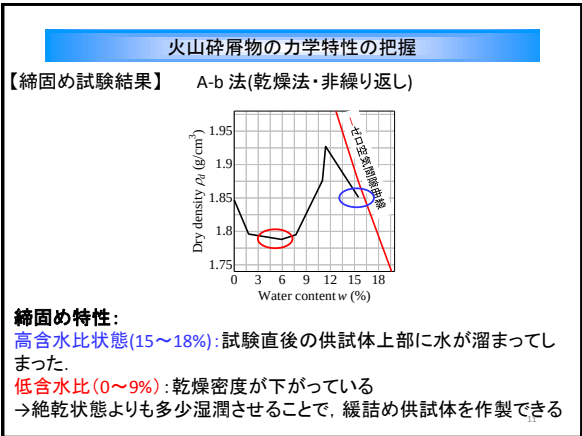
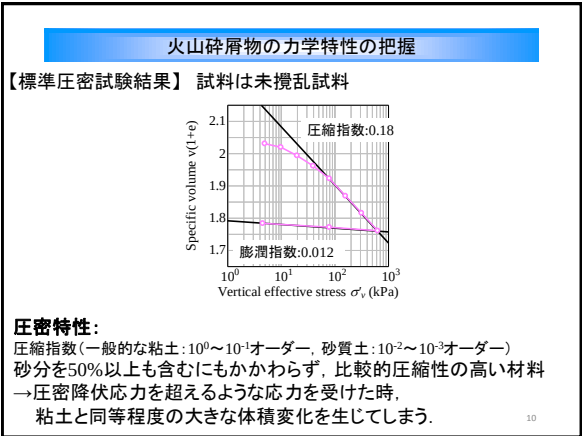
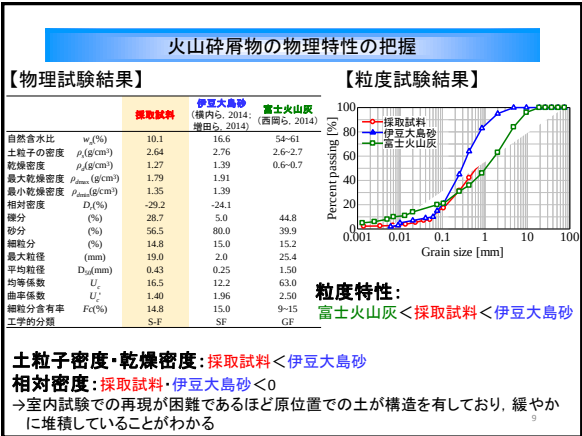
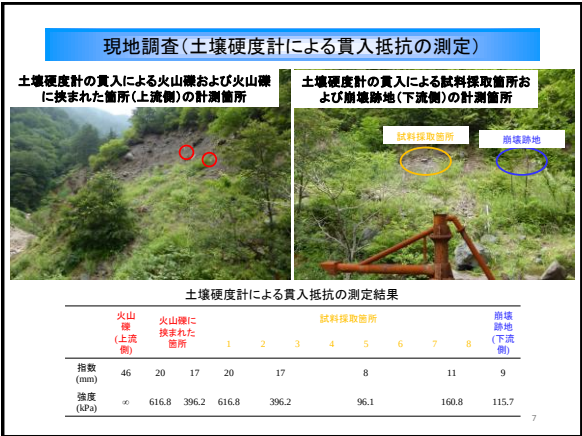
未攪乱試料の採取場所



未攪乱試料の採取

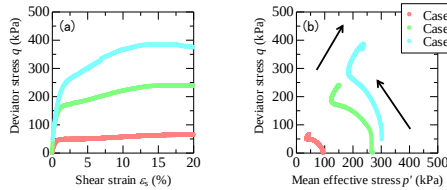


6



火山砕屑物の力学特性の把握

【三軸圧縮試験結果】

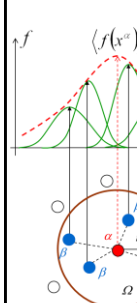


- 明瞭なピークがみられず、いずれのケースについても単調増加した。
- 有効拘束圧によらず、平均有効応力が一度減少した後、平均有効応力は増加に転じ、それに伴って軸差応力も増加する過圧密土のような挙動がみられた。
- 有効拘束圧が低いケースは、高いケースに比べて、極端に強度が弱い。
→ 相対密度が負になるような緩い状態であっても、十分な有効拘束圧が作用していれば、十分な強度を有し、一方、斜面表層付近ではより崩壊しやすいことを示唆している。

13

粒子法による火山砕屑物斜面の変形解析

粒子 (Smoothed Particle hydrodynamics) 法



評価点粒子 α の物理量やその空間勾配は
平滑化領域内に位置する周辺粒子 β の物理量
平滑化関数 W やその空間勾配
を用いて補間する

物理量の評価式

$$f(x^\alpha) = \int_{\Omega} f(x^\beta) W(x^\alpha - x^\beta, h) dx^\beta \quad \text{① 平滑化近似}$$

$$f(x^\alpha) = \sum_{\beta} \frac{m^\beta}{\rho^\beta} f(x^\beta) W(x^\alpha - x^\beta, h) \quad \text{② 粒子近似}$$

$$= \sum_{\beta} \frac{m^\beta}{\rho^\beta} f(x^\beta) W^{\alpha\beta}$$

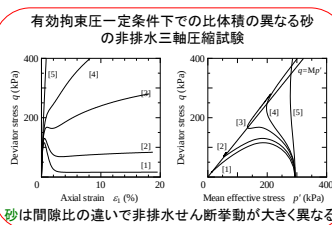
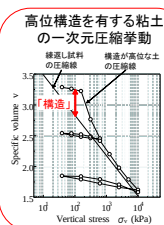
物理量の空間勾配の評価式

$$\frac{\partial \langle f(x^\alpha) \rangle}{\partial x_i} = - \sum_{\beta} \frac{m^\beta}{\rho^\beta} f(x^\beta) \frac{\partial W^{\alpha\beta}}{\partial x_i}$$

14

構成モデル

簡易な構成モデルで用いる材料定数(粘着力と内部摩擦角)だけでは変形挙動の予測が難しい地盤材料がある
e.g. 自然に堆積した構造が高位で過圧密状態にある地盤

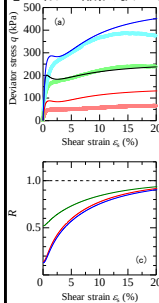


SYSカムクレイモデル (Asaoka et al. 2002) の導入

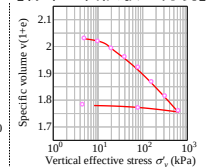
塑性変形に伴って、土の骨格構造(構造の劣化、過圧密の解消、異方性の発達・消滅)を記述できるモデル

(1) 火山砕屑物の材料定数について

【三軸圧縮試験の再現】

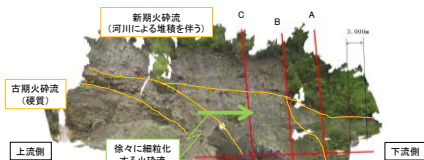


【標準圧密試験の再現】



実験結果を概ね再現。火山砕屑物は初期過圧密比を有している

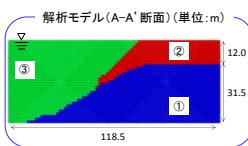
(2) 解析対象断面について



解析断面の取得:

1. 現地で撮影した写真を用いてデジタル写真測量を実施し、斜面の三次元形状の作成
2. 得られた三次元形状から、CADツールを介して解析断面を作成

※斜面上部については、植生の影響で正確な斜面形状の捕捉が難しかったため、現地調査結果を踏まえて解析断面(断面A-A')を決定



(3) 解析条件について

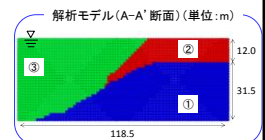
材料定数:

- ・領域①(試料採取層): (1)で得られた材料定数を採用
- ・領域②(試料採取層を覆う新期火砕流層): 植生に覆われている・浸食が進んでいる樹根の影響による見かけの粘着力を考慮して、試料採取層(領域①)と同様とした。
- ・試料採取の下位に位置する層: 礫分の含有量が多い・上流側では直立した壁面を有していた
→ 変形し難いと考え、解析上では変形しない壁として取り扱う。

斜面のモデル化:

成層地盤の作製

深さ方向に均質な初期構造・初期比体積を有する飽和地盤
初期過圧密比は初期構造・初期比体積の値から算出
初期応力は、土被り圧に対応する等方応力を与える
領域③を掘削し、(2)で決定した斜面の断面形状を模擬
掘削方法は該当の計算点を瞬間的に取り除き、斜面表面に作用している応力を外力として作用させ、除荷を模擬した。
降雨履歴は、降雨を直接モデル化するのではなく、危険側を想定して、完全飽和した斜面と仮定して計算を実施。

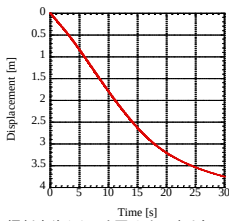


	初期値	過圧密比
①>②	1.91	5.0
③	5.7	

15

(4)解析結果

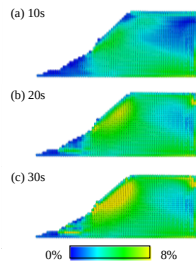
斜面上端部の沈下量



掘削直後から、法肩は沈下するものの、時間の経過とともに収束する傾向

危険側を想定した飽和斜面にもかかわらず、火山砕屑物斜面の崩壊挙動にみられる表層崩壊やその後の後退性崩壊の再現には至らなかった。

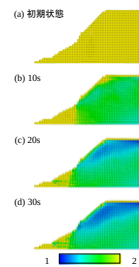
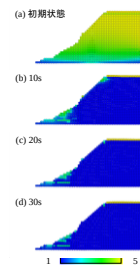
最大せん断ひずみ分布



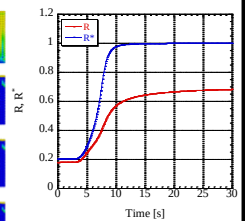
斜面中腹の表層の勾配変化点から斜面内部にかけて、せん断ひずみの蓄積が確認できる。

19

(4)解析結果

過圧密 R の程度構造 R^* の程度

地盤中の過圧密と構造の推移



地盤が大きく変形しなかった理由として、地盤を掘削後、構造は徐々に喪失する($R^* \rightarrow 1$)が、過圧密の解消($R \rightarrow 1$)に至っていないことが考えられる。

20

まとめ

火山砕屑物斜面の崩壊予測のために、焼岳の白水谷斜面を対象として研究を実施。

地形調査：

- ◆ 焼岳白水谷斜面の地層構成は、3層で構成される地盤であった。
- ◆ 上流側の下層に古期火砕流が堆積し、それを覆うように新期火砕流が堆積しており、下流に向かってつれて、徐々に細粒化していた。

火山砕屑物を用いた土質試験：

- ◆ 採取した火山砕屑物は、物理特性から判断すると砂礫材料に近い性質であり、他の火山性堆積物に比べて粗粒分が多い。
- ◆ 原位置での乾燥密度は最小乾燥密度より小さく、室内試験で再現が困難であるほど緩やかな状態で堆積していた。
- ◆ 材料特性として圧縮性が大きく、せん断性は砂礫材料と同様な力学特性を示していることがわかった。

21

まとめ

火山砕屑物斜面の崩壊予測のために、焼岳の白水谷斜面を対象として研究を実施。

粒子法による火山砕屑物斜面の変形解析：

- ◆ 骨格構造概念に基づいて実施した土質試験結果の再現により、採取試料の材料定数およびその初期値を決めることができた。
- ◆ 現地で撮影した写真を用いたデジタル写真測量により、斜面の三次元形状を作成できる可能性を示した。
- ◆ その斜面形状をもとに実施した解析では、斜面内にせん断ひずみの蓄積を確認したものの、火山砕屑物斜面の崩壊形態である斜面の表層崩壊とその後の後退性崩壊といった崩壊形態を再現するには至らなかった。

今後の課題：

- ◆ 材料定数や解析条件、さらには取得した解析断面が崩壊後のある程度安定している地盤にあったことなどを見直して、再度検討してゆきたい。
- ◆ 地震作用時や降雨のモデル化を検討してゆく。

22