

## 表層崩壊時における地下水位の推定



写真 平成25年伊豆大島土砂災害

美馬健二 (太田ジオリサーチ)  
太田英将 (太田ジオリサーチ)

2015.4.13 日本地すべり学会関西支部若手交流会

## 背景 (1/2)

斜面防災は、事前にどこの斜面が崩れるのかを的確に予測することが必要である。

なぜ一部の斜面だけ崩れるのか？

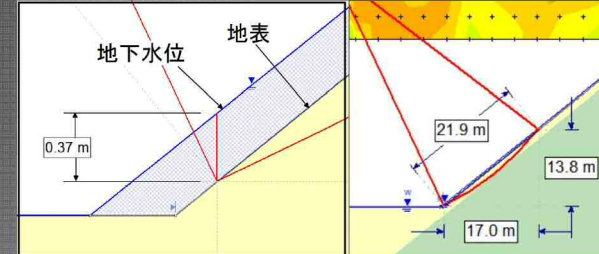


しかし、その的確な予測に必要な崩壊機構や調査技術はまだ確立されていない。

## 発表の概要

研究目的は、表層崩壊のメカニズムの解明

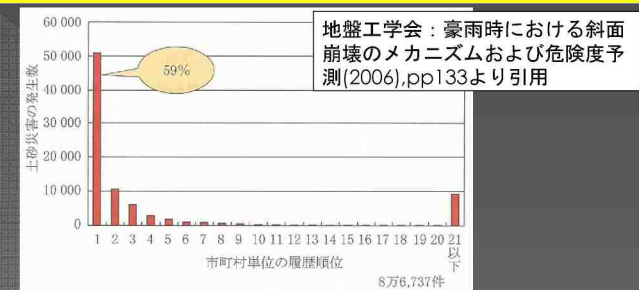
- 表層崩壊時の地下水位を解析した結果、**被圧水**条件で崩壊するケースがあることが分かった→表層崩壊の原因はパイプ流の被圧水化



- パイプ流**による被圧水で崩壊したと見られる実際の現場と、崩壊メカニズムの図を紹介
- パイプ流のある場所 (水みち) の調査手法を検討

## 背景 (2/2)

ひとつ分かっていることは、最大級の土壌雨量指数(豪雨)で斜面が崩壊するケースが多いということである。



- 崩壊現象を捉えるべく、最大級の豪雨で崩壊した実際の現場で土質強度を計測し、崩壊に至った地下水位(間隙水圧 $U$ )を逆算で求めた。
- 崩壊箇所を的確に予測するには、誘因となる地下水がどこを通ってきているのかを特定することが重要であり、その調査手法を検討した。

# 1. 表層崩壊時における地下水位の推定

表 検討対象箇所

対象箇所	(1)伊豆大島土砂災害	(2)九州北部豪雨災害(熊本県阿蘇)
年月	平成25年10月	平成24年7月
24時間雨量	525.5mm(観測史上1位)	493.0mm(観測史上1位)
1時間雨量	122.5mm(観測史上1位)	108.0mm(観測史上1位)
10分間雨量	25.5mm(観測史上5位)	25.5mm(観測史上1位)

※(1)は大島観測所、(2)は阿蘇乙姫観測所



(1) 伊豆大島土砂災害の対象斜面



(2) 九州北部豪雨災害の対象斜面

上記2箇所で発生した表層崩壊の地下水位を推定した。

# 地下水位を推定する方法

安定解析で地下水位を求める

安定解析において必要なデータ

- ① 斜面勾配(地形図を用いる)
- ② 土層深
- ③ 土質定数 $c, \phi$
- ④ 単位体積重量 $\gamma$



①~④の実測値を用いれば、崩壊時(安全率 $F_s < 1.00$ )の地下水位を逆算して求めることができる。

## ②土層深及び③土質定数 $c, \phi$ は土層強度検査棒により測定する

②土層深	先端コーン付きの細いロッドを人力で静的に押し込んで土層深を測定する
③土質定数 $c, \phi$	羽根つきコーン(ペーンコーン)に交換して、所定の深度でロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なペーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置での内部摩擦角 $\phi$ と粘着力 $c$ を測定する。なお、3回測定し、その平均を $c, \phi$ とする。



土層強度検査棒による $c, \phi$ 測定状況

土質定数 $c, \phi$ を測定する先端のペーンコーン



土層深を測定する先端コーン

## ④単位体積重量 $\gamma$ は土壌サンプリングにより測定する

<サンプリング方法>

100ccの直径5cm採取器(大起理化工業製)を用い、崩壊土層より土壌を採取した。なお、3箇所以上採取し、その平均を単位体積重量とする。

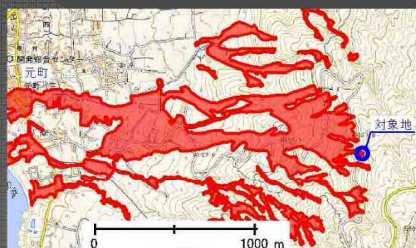


土壌の採取例

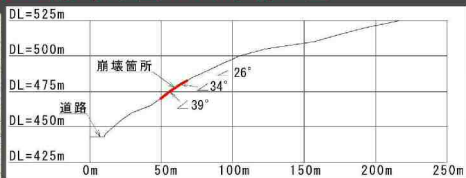


④質量測定状況

# (1) 伊豆大島土砂災害の対象地



対象地  
(原図は国土地理院電子国土Webより)



対象地の崩壊前の断面図

(国土地理院：国土基本図S61年修正の等高線より作成)



崩壊斜面下方の道路  
(H26.11.1撮影,土砂撤去後)



対象斜面 (崩壊源頭部の状況)

崩壊規模：幅約10m,長さ推定約20m,深さ約1.5m  
(崩壊前の斜面勾配34~39°)

# (1) 伊豆大島土砂災害

## 試験結果

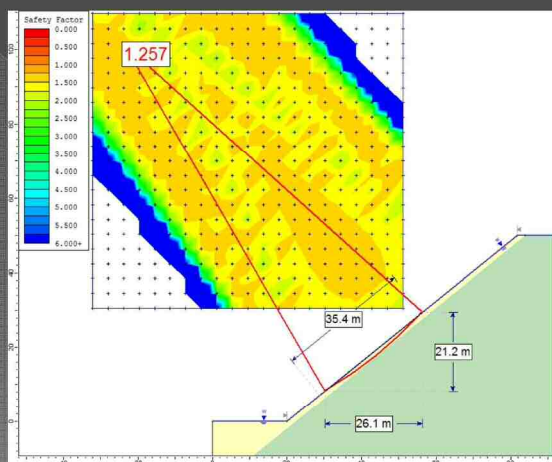
定数	試験結果	土質試験の内容
②土層深	1.7m	土層強度検査棒による貫入試験
③土質定数 $c, \phi$	$c=10.0\text{kPa}$ $\phi=25.6^\circ$	土層強度検査棒によるベーンコーンせん断試験。 $c, \phi$ は3試験の平均値。試験の深度はすべて1.0mである。なお、崩壊土層の土質は砂質土。
④単位体積重量	13.1kN/m <sup>3</sup>	湿潤密度試験。6試料の平均値とした。



土層強度検査棒①②の試験位置

# (1) 伊豆大島土砂災害

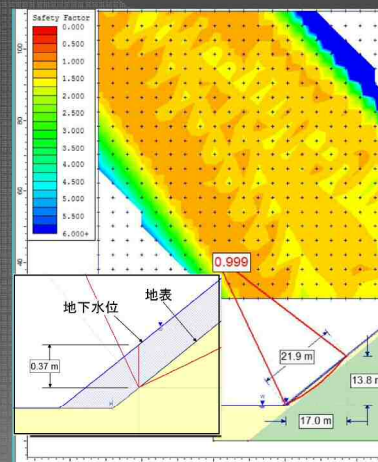
## 安定解析結果 (満水状態)



満水状態での最小安全率FS=1.257 (>1.000)

# (1) 伊豆大島土砂災害

## 安定解析結果 (被圧水条件)



地下水位は、地表より0.37m上 (被圧水) となる。

降雨が地中の隙間に浸透して、地下水位が上昇するような単純モデルだけでは被圧水圧は説明が困難である。

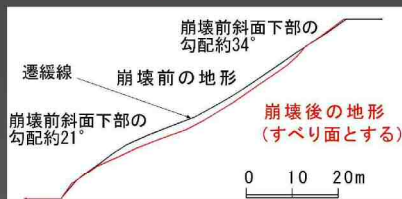
おそらく崩壊する土層内の水は、斜面上方からパイプ流で流入していたものと考えられる。

被圧水条件での安全率FS<1.000

## (2) 九州北部豪雨災害の対象地(熊本県阿蘇)



対象地  
(原図は国土地理院電子国土Webより)



レーザープロファイラ図による  
崩壊前と崩壊後の横断形状



対象地(崩壊斜面)の状況  
崩壊規模: 幅約25m, 長さ約50m, 深さ約1m  
(崩壊前の斜面勾配約34°)

## (2) 九州北部豪雨災害

### 試験結果

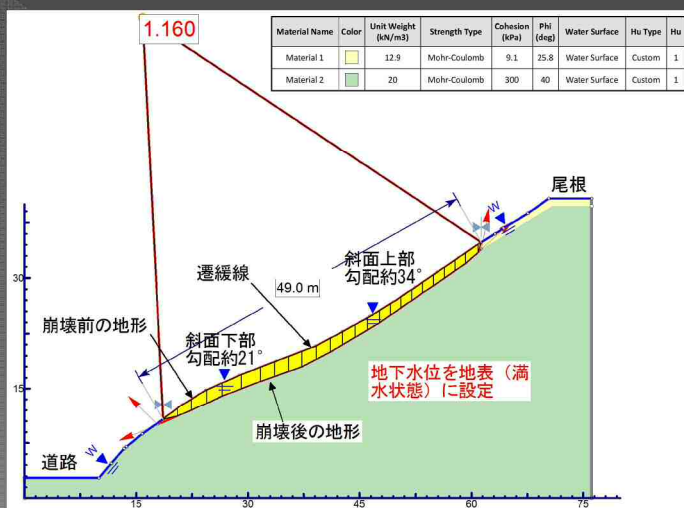
定数	試験結果	土質試験の内容
②土層深	1.0m	土層強度検査棒による貫入試験
③土質定数c,φ	c=9.1kPa φ=25.8°	土層強度検査棒によるペンコーンせん断試験。c,φは3試験の平均値。試験の深度はすべて1.0mである。
④単位体積重量	12.9kN/m <sup>3</sup>	湿潤密度試験。3試料の平均値



土層強度検査棒②③の試験位置

## (2)九州北部豪雨災害

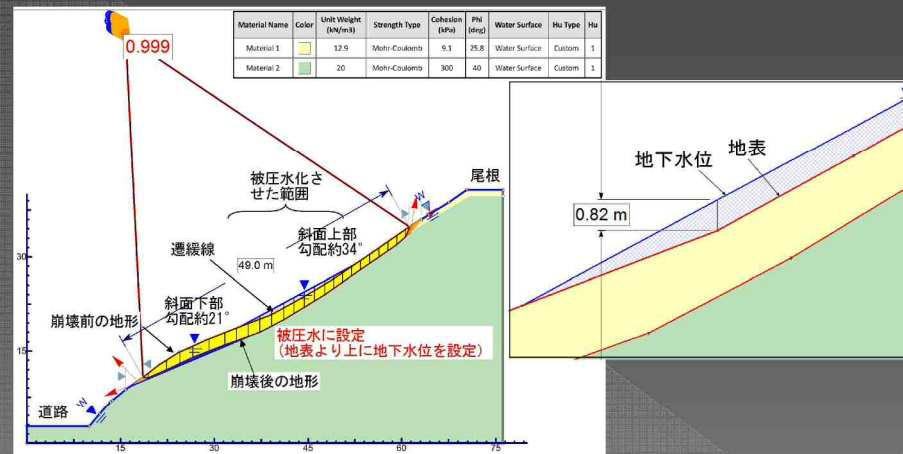
### 安定解析結果 (満水状態)



満水状態での最小安全率FS=1.160 (>1.000)

## (2)九州北部豪雨災害

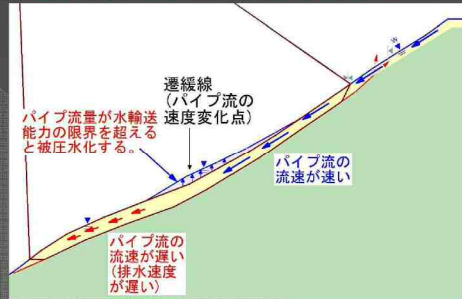
### 安定解析結果 (被圧水条件)



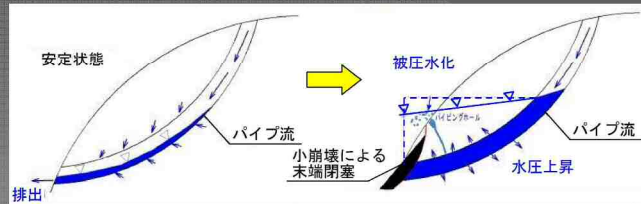
被圧水条件での安全率FS<1.000

地下水位は、地表より0.82m上(被圧水)となる。伊豆大島同様にパイプを流れる水が被圧したものと考えられる。

### 安定解析結果 (被圧水条件)



パイプ流量が水輸送能力の限界を超えて被圧水化するモデル



パイプ流の排水口が小崩壊で閉塞されて被圧水化するモデル

### パイプ流による被圧水が原因と見られる崩壊現場



パイプ流の被圧水圧で爆裂した穴

### パイプ流による被圧水が原因と見られる崩壊現場



爆裂した時の水で流出したと見られる崩土

### パイプ流による被圧水が原因と見られる崩壊現場



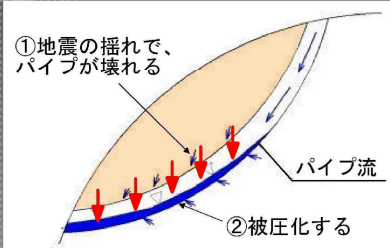
巨石を吹き飛ばす大きな水圧が作用したものと見られる。

パイプ流の被圧水圧で爆裂した巨大な穴

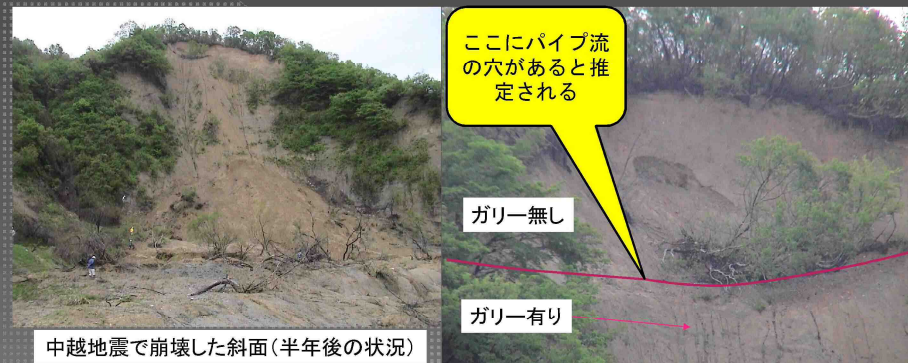
## パイプ流による被圧水が原因と見られる崩壊現場



中越地震で崩壊した斜面  
パイプ流の被圧水圧で爆裂した巨大な穴

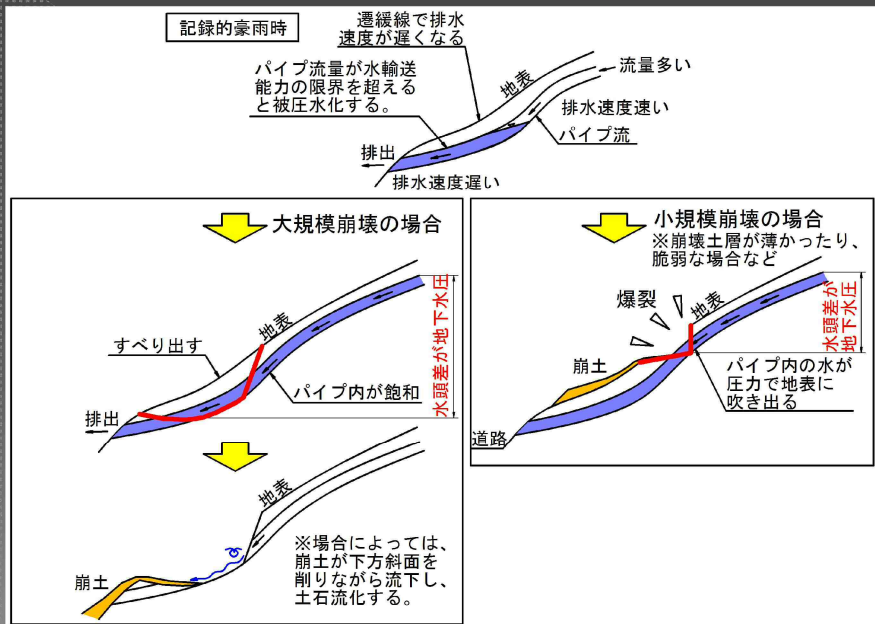


## パイプ流による被圧水が原因と見られる崩壊現場

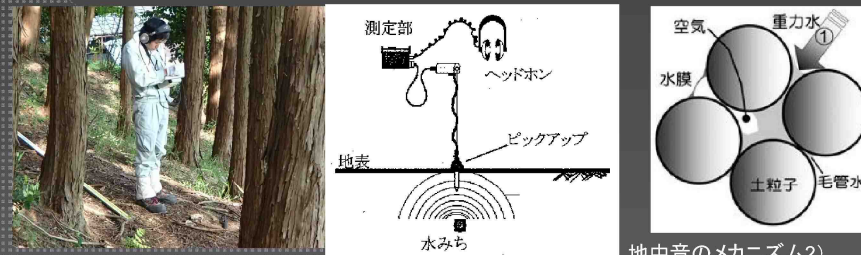


中越地震で崩壊した斜面 (半年後の状況)

## 表層崩壊のメカニズム (推測)



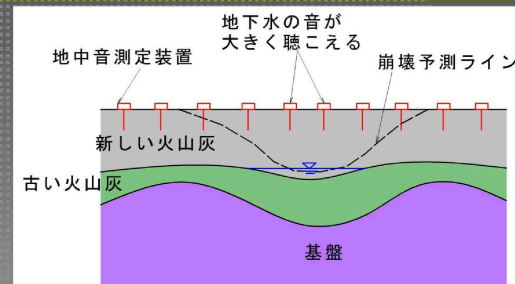
## 2. パイプ流(水みち)の調査手法



地中音測定の様子

地中音測定の概要1)

### 地中音測定装置でパイプ流(水みち)を特定する



地中音のメカニズム2)  
(水膜が割れる瞬間に「ポコ」、  
「ポコ」と気泡の弾ける音が発生する)

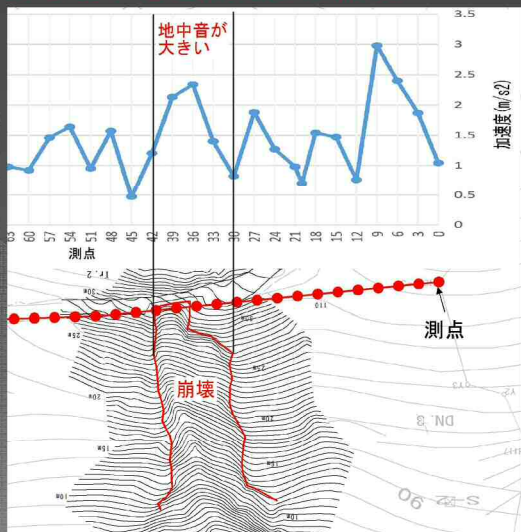
- 1) 多田泰之, 2008
- 2) 多田泰之ら, 2006

未崩壊地での調査概要

## 実際に崩壊した現場で地中音を測定した結果



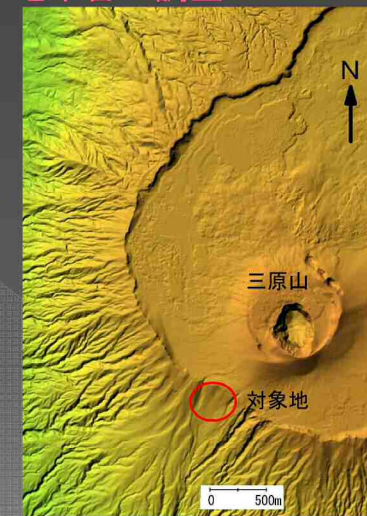
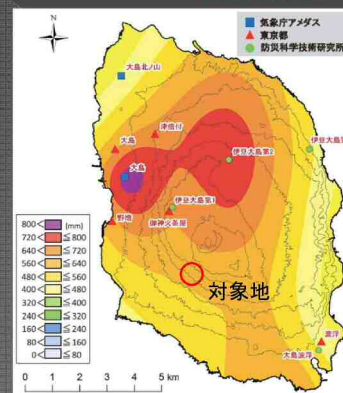
崩壊箇所状況



崩壊箇所と地中音の関係

崩壊箇所で地中音が大きくなる結果が得られた

## 未崩壊地での地中音の調査



調査対象地  
背景図は24時間積算降水量 (H25年10月15日9時～10月16日8時)の分布図(山本晴彦ら,2014)

調査対象地  
背景図は国土地理院の色別標高図

侵食がまだ発達していない斜面を対象に調査箇所を選定した。

## 未崩壊地での地中音の調査



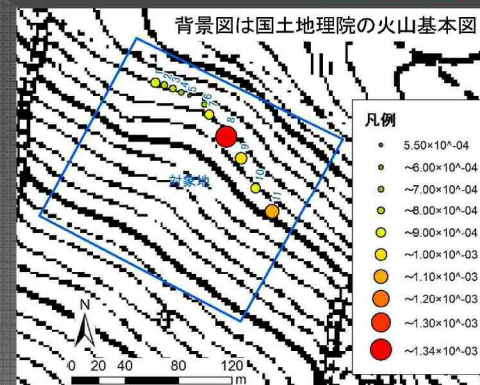
測定箇所の斜面(濃霧により撮影不良)  
斜面勾配は30°程度。植生ほぼない。



対象地の土質は砂礫

- 測定周波数: 300~800Hz
- 測定間隔: 5~15m (測定地点はGPSで計測)

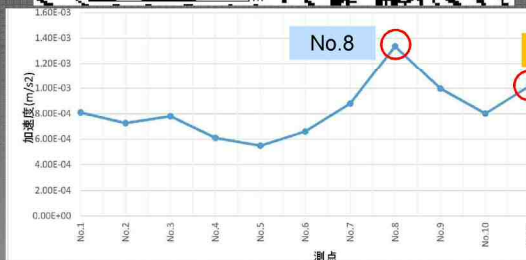
## 未崩壊地での地中音測定結果



No.8地点がピーク

地形と照らし合わせると、No.8は微地形の谷部に相当

崩壊予測として、谷の発達していないいわゆる0字谷は注意が必要と考えられる。



No.11は、谷地形ではないが、大きな値を示す。

地形とは関係なく、パイプ流は流れている可能性がある。

## まとめ

- ◎ 表層崩壊の誘因は、パイプ流であると考えられる。
- ◎ パイプ流の被圧水で崩壊する斜面もある。
- ◎ パイプ流（地下水）のある斜面の特定は、地中音探査手法がある。
- ◎ 地中音探査より、パイプ流は地形とは関係なく、地中を流れている可能性がある。