

平成24年6月鹿児島県肝付町で発生した まさ土地帯の地すべり災害事例について

LANDSLIDE DISASTER CASE OF DECOMPOSED GRANITE SOIL

THAT OCCURRED IN KIMOTSUKI TOWN IN JUNE 2012

原田 康弘¹・本田 信孝¹・緒方 康浩¹

Yasuhiro HARADA, Nobutaka HONDA and Yasuhiro OGATA

¹ (株) 日本地下技術 (〒890-0008 鹿児島市伊敷5-16-3)

Key Words: decomposed granite soil, landslide, x-ray diffraction analysis, cohesion, shear strength reduction method

1. はじめに

鹿児島県肝属郡肝付町では、2012年6月26日から27日にかけての大霖により一般国道448号や町道川原瀬線、町道津代線において斜面災害等が発生し、家屋の損壊や住民が孤立する被害があった。

本稿では、図-1に示す町道川原瀬線および町道津代線で発生したまさ土地帯の地すべり災害事例を紹介する。まさ土で地すべり的な挙動を示す例は稀少であるため、通常の地すべり調査に加えてすべり面付近の粘土鉱物の状態を把握することを目的として、X線回折分析を実施した。また、通常の地すべりとは異なる変形過程を示すことも想定されたので、せん断強度低減有限要素法(SSRFEM)による解析を実施した。ここでは、地すべり挙動は、斜面の一部がほぼ原形を保ちながら一体となって移動するものを指す。厚さは、数m以上で、緩斜面(5~20°)に多い。崩壊挙動は、斜面の一部がくずれ小さく分解して移動するものを指す。厚さは、数m以内で、急傾斜地(40°程度)に多い。

2. 地すべり災害概要

(1) 降雨概要

被災現場に近い気象庁内之浦観測所で観測された6月22日~6月28日までの降雨状況を図-2に示す。

6月23日の早朝から雨が降り始め、6月26日までに

約230mmの降雨が観測されている。さらに、6月27日には時間雨量20mmを超える雨が長時間にわたって降っている。最大時間雨量は、6月27日の14:00~15:00で62mmであった。最大24時間雨量は、6月26日の24:00~6月27日の24:00の369mmであった。

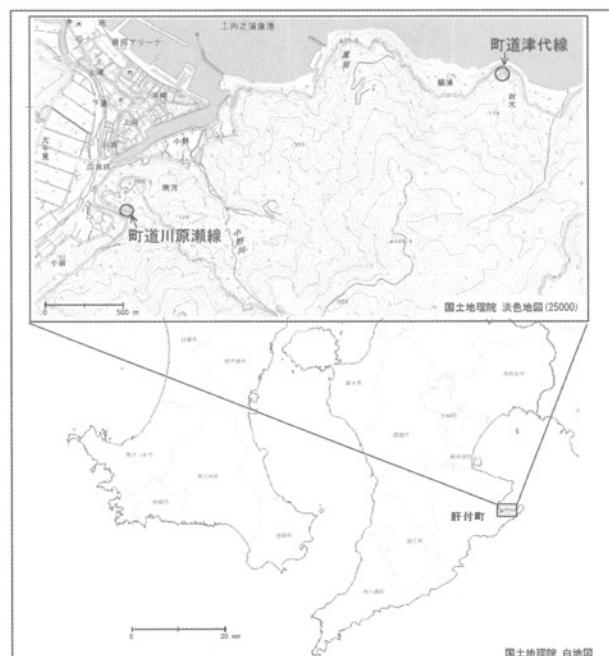


図-1 町道川原瀬線、町道津代線位置案内図

(2) 地質概要

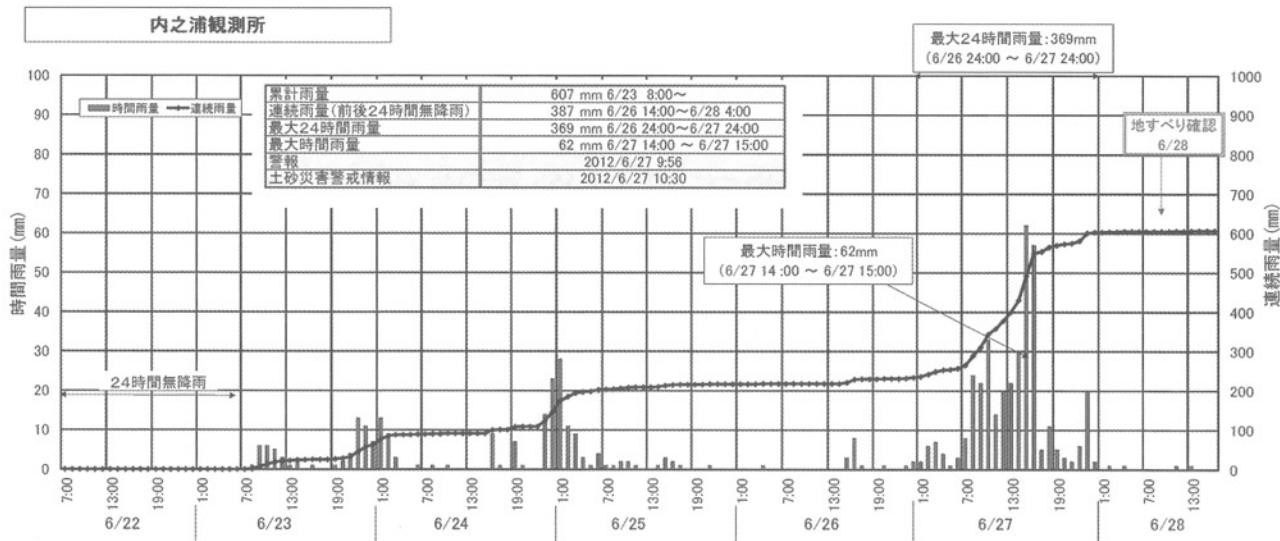


図-2 降雨観測結果

調査地は、図-3 に示すとおり、大隅花崗岩と呼ばれる花崗岩類の分布域であり、花崗閃緑岩の分布地域として知られている。

被災現場は、地表付近の風化作用が進行し、砂質土～粘性土状を呈するまさ土(風化花崗岩)が地表を覆う。

さらに、まさ土層内のところどころに塊状で比較的硬質な花崗閃緑岩未風化核が転石状に分布している。よって、まさ土は転石～玉石混じり土状を呈している。下位層は、風化花崗閃緑岩体が確認された。

地すべり末端部では、写真-1 のような擁壁の転倒および側溝の変状が確認された。地すべり頭部では、写真-2 のような滑落崖が連続的に形成されていた。中腹部では、副次崖が確認された。右翼部では、開口亀裂が認められる。左翼部では、連続性の良い側方崖が確認できた。また、湧水が地すべり末端部で確認された。

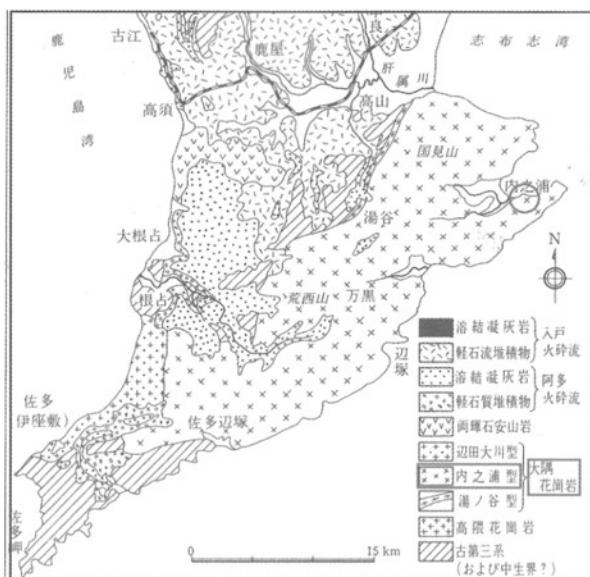


図-3 調査地周辺の地質図²⁾

(3) 被災概要

a) 町道川原瀬線

町道川原瀬線で発生した地すべりの規模は、幅 40m、長さ 65m であった。平面図を図-4 に示す。

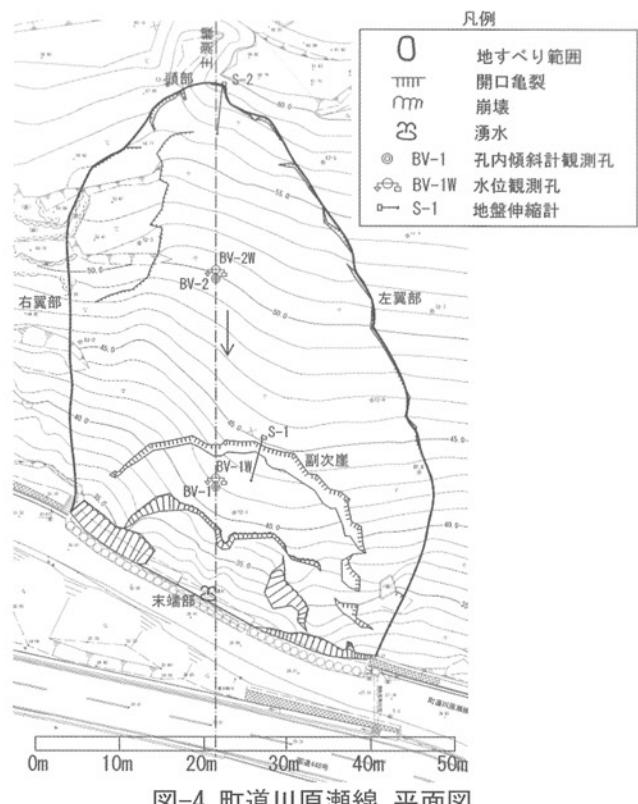


図-4 町道川原瀬線 平面図

b) 町道津代線

町道津代線で発生した地すべりの規模は、幅 45m、長さ 20m であった。平面図を図-5 に示す。

地すべり末端部では、写真-3 のような擁壁の転倒および側溝の変状、斜面崩壊が確認された。地すべり頭部では、写真-4 のような明瞭な滑落崖が連続的に形成されていた。中腹部では、副次崖が確認された。右翼部・左翼部では、側方崖が確認できた。



写真-1 町道川原瀬線 地すべり末端部
擁壁の転倒状況



写真-2 町道川原瀬線 地すべり頭部
連続的に形成された滑落崖



写真-3 町道津代線 地すべり末端部
擁壁の転倒状況

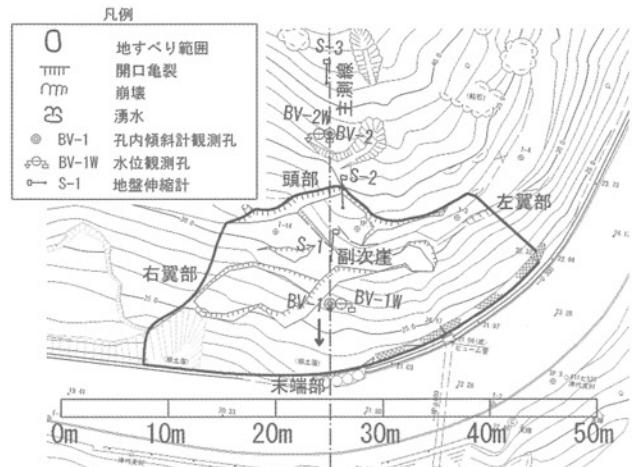


図-5 町道津代線 平面図



写真-4 町道津代線 地すべり頭部
連続的に形成された滑落崖

3. 調査結果

(1) 町道川原瀬線

町道川原瀬線では、図-4 に示す位置でボーリング調査を 2 箇所 4 孔実施した。

また、地盤伸縮計 2 基、孔内傾斜計 2 孔、水位観測孔 2 孔の動態観測を実施した。

降雨に連動して地盤伸縮計、孔内傾斜計、水位計で変動が確認された。観測結果を図-6 に示す。調査の結果を反映した地質断面図を図-7 に示す。すべり面の決定根拠については、図-7 に示す。

また、まさ土の物理的性質を把握するために物理試験を実施した。試験結果を表-1 に示す。町道川原瀬線のまさ土は、砂質粘性土～粘性土質砂に分類された。細粒分は、37.2～53.1%を占めている。

(2) 町道津代線

町道津代線では、図-5 に示す位置でボーリング調査を 2 箇所 4 孔実施した。また、地盤伸縮計 3 基、孔内傾斜計 2 孔、水位観測孔 2 孔の動態観測を実施した。

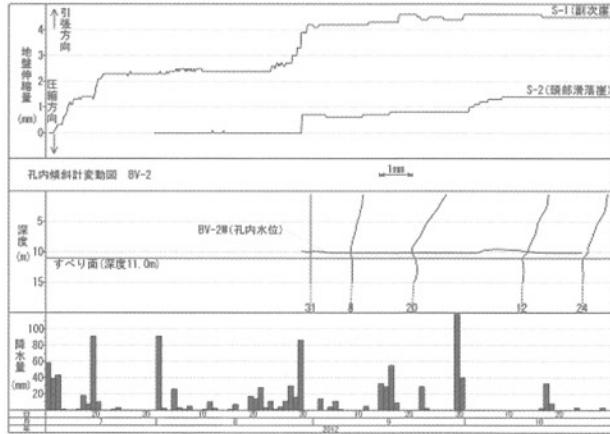


図-6 観測結果相関図

地層凡例		凡例
地層名	記号	
表土	Tl	地層境界
降下軽石堆積物	Op	地下水位
火山灰質粘性土	Lm	すべり面
種風化花崗閃緑岩	W1Gd	
強風化花崗閃緑岩	W2Gd	
弱風化花崗閃緑岩	Gd	

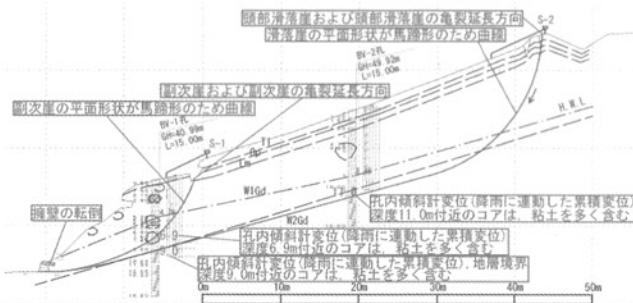


図-7 町道川原瀬線 主測線地質断面図

表-1 土質試験結果

地 区	町道川原瀬線		町道津代線		
	孔番	BV-1	BV-2	BV-1	BV-2
深 度	Z: 15~2.45m	7.15~7.45m	10.15~10.45m	4.15~4.45m	2.15~2.45m
一 般	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.675	2.623	2.672	2.654
	自然含水比 ω_n %	34.30	30.80	33.00	31.00
粒 度	砂 分 %	0.0	0.0	0.0	0.3
	砂 分 %	46.9	62.8	60.4	63.9
	シルト分 %	27.8	22.8	25.7	19.0
	粘 土 分 %	25.3	14.4	13.9	16.8
分 類	地盤材料の分類名	砂質粘性土	粘性土質砂	粘性土質砂	粘性土質砂
	分類記号	CeS	SCs	SCs	SCs

降雨に連動して地盤伸縮計、孔内傾斜計、水位計で変動が確認された。観測結果を図-8に示す。調査の結果を反映した地質断面図を図-9に示す。すべり面の決定根拠については、図-9に示す。町道津代線でも物理試験を実施した。試験結果を表-1に示す。表-1に示すように町道津代線のまさ土は、粘性土質砂に分類された。細粒分は、25.6~35.8%を占めている。

4. X線回折分析結果

被災状況および動態観測で確認された降雨に連動した変動により、町道川原瀬線・町道津代線は、地すべりの挙動を示していると考えられた。また、分布するまさ土は、ボーリングコア試料および土質試験結果より細粒分が、多く含まれていることがわかった。

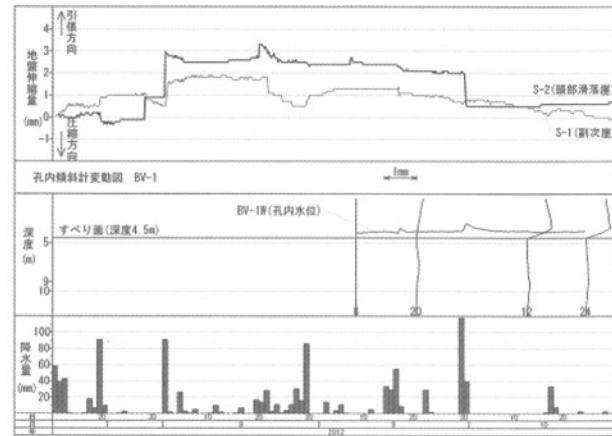


図-8 観測結果相関図

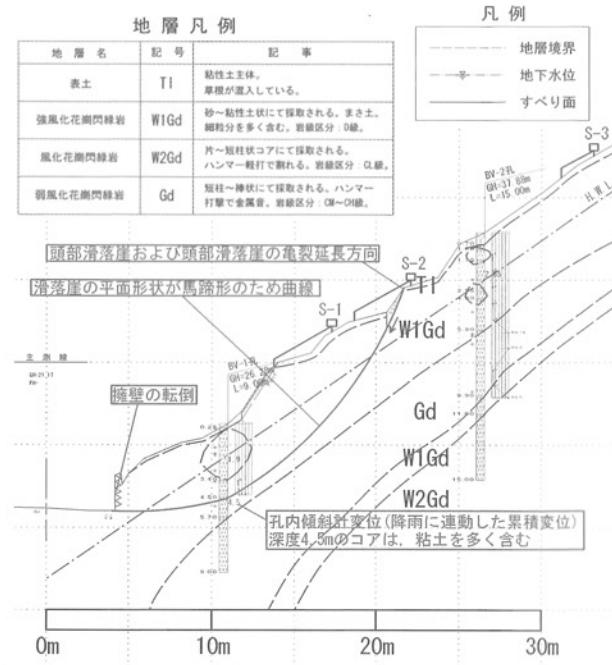


図-9 町道津代線 主測線地質断面図

そこで、細粒分の中に地すべりの素因となる膨潤性粘土鉱物が存在している可能性も考えられたため、X線回折分析を実施した。X線回折分析は、全岩分析(不定方位分析)と定方位分析(無処理、エチレングリコール処理)の2種類を実施した。分析結果の一覧表を表-2に、分析結果の一例を図-10~図-11に示す。

(1) 町道川原瀬線

構成粘土鉱物は、ハロイサイトが全試料で検出され、緑泥石、バーミキュライト、混合層鉱物が検出される試

表-2 X線分析結果一覧表

採取地区	孔番	試料採取深度	全岩分析(石英指数)						定方位分析			
			石英	長石	雲母	綠泥石	バーミキュライト	ハロイサイト	綠泥石	イライト	混合層鉱物	ハロイサイト
川原瀬線	BV-1孔	深度3.0m付近	19.6	1.7	2.6		4.2	1.1	○			○
	BV-1孔	すべり面(深度6.9m)付近	21.5	1.4				5.1				○
	BV-2孔	深度10.0m付近	17.2	0.6				8.4			○	○
津代線	BV-1孔	深度3.0m付近	16.1	1.9	2.1		3.1	1.1	○			○
	BV-1孔	すべり面(深度4.5m)付近	30.5	2.6	3.4	0.7			○	○		
	BV-2孔	深度5.0m付近	15.3	2.1	1.3			1.3	○			○

料もあった。膨潤性の粘土鉱物としては、バーミキュライトが検出されたが、スメクタイトは検出されなかった。また、ハロイサイトは、深くなるにつれ指数が大きくなっていることが確認された。

(2) 町道津代線

構成粘土鉱物は、緑泥石が全試料で検出され、バーミキュライト、ハロイサイト、イライトが検出される試料もあった。膨潤性の粘土鉱物としては、バーミキュライトが検出されたが、スメクタイトは検出されなかった。

町道川原瀬線、町道津代線のすべり面付近のまさ土には、X線回折分析よりスメクタイトなどの膨潤性鉱物は検出されなかった。検出されなかった原因としては、以下の可能性がある。

- ①せん断帶の発達過程の雁行状のせん断面の試料を採取した。
- ②ボーリング箇所の熱水変質の影響が小さく、膨潤性の粘土鉱物を含有していなかった。
- ③ボーリングの削孔水により粘土鉱物が流出した。

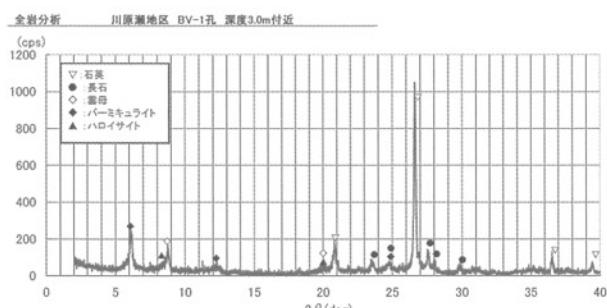


図-10 町道川原瀬線 BV-1 深度 3m 全岩分析結果

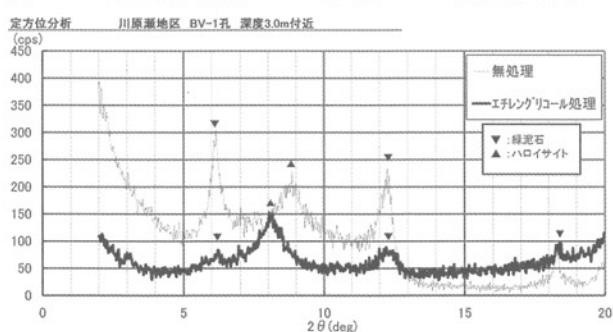


図-11 町道川原瀬線 BV-1 深度 3m 定方位分析結果

5. まさ土の地すべり発生機構

まさ土が地すべり的な挙動を示すことは珍しいので、X線回折分析を実施したが、すべり面付近のまさ土には、膨潤性の粘土鉱物は確認されなかった。

よって、まさ土の地すべり発生過程は、膨潤性の粘土鉱物が水の影響で膨潤し、強度低下、変形する過程ではないことが想定された。以下に、まさ土の地すべり発生機構について考察する。

まさ土は、本来砂質土であって、せん断強度の大部分は摩擦力であるにもかかわらず、崩壊を左右するのは、わずかに存在する粘着力成分である。降雨の浸透により粘着力が、急激に減少するのが崩壊の直接的な原因とされている³⁾。

本稿の2つの事例のまさ土は、細粒分を多く含む砂質土であり、降雨の影響による粘着力の減少が地すべり発生の可能性のひとつであると考えられる。

そこで、上述のことを考慮し、すべりの形成過程がわかり、臨界すべり面もわかるという特徴のあるせん断強度低減有限要素法(SSRFEM)⁴⁾により、地すべり発生機構の検討を行う。

今回は、解析領域を小さくするために、地すべり規模の小さい町道津代線を対象に解析をおこなった。図-12に町道津代線の解析モデルおよび解析パラメータを示す。

地層	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (MN/m ²)	ポアソン比 ν	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)
まさ土	16.9 5)	50 5)	0.36 5)	30 3)	0~10 3)

構成則	降伏基準	応力解析	メッシュ
弾完全塑性体	Mohr-Coulomb	有効応力	8節点 1500要素

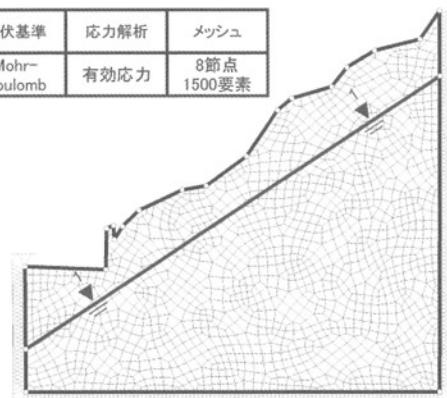


図-12 町道津代線 解析モデル

解析の手法としては、せん断抵抗角を一定とし、粘着力のみを減少させ、全体安全率が 1.0 以下になる臨界状態を検討した。そして、臨界状態の最大せん断ひずみの分布を確認した。

全体安全率が、0.99 となった際の最大せん断ひずみの分布図を図-13、変位図を図-14 に示す。最大せん断ひずみの分布は、頭部は若干深度が深くなるものの、観測によって推定されたすべり面とおおむね一致する結果となった。また、安全率 0.99 の状態のせん断強度は、逆算法によるせん断強度とおおむね一致した。

安全率 0.99 の状態の変位は、最大せん断ひずみが集中しているすべり面以浅で発生している。

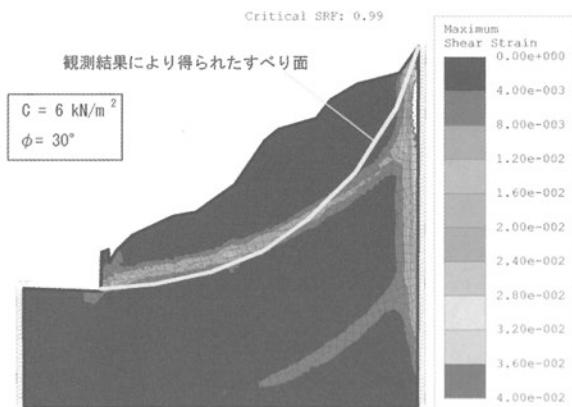


図-13 安全率 0.99 の最大せん断ひずみ分布図

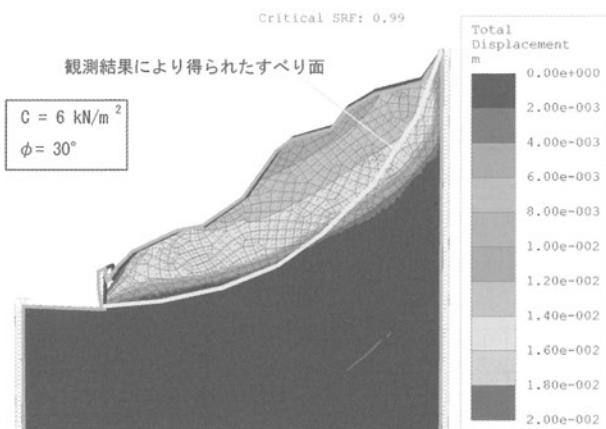


図-14 安全率 0.99 の変位分布図

また、臨界状態よりさらに粘着力を減少させていったところ、全体安全率は 0.96 程度までは徐々に減少したがそれ以降は、0.8 以下に急激に減少した。

このことは、粘着力がある一定より減少すると地すべり的な挙動から崩壊へ移行することを示唆していると考えられる。

以上より、まさ土の変動機構は、降雨による影響で粘着力が減少し、地すべり的な挙動を示し、ある一定の粘着力を下回ると崩壊に移行する機構が想定された。

例として、町道津代立石線倉地区が挙げられる。被災の前に擁壁が傾倒し、町道が隆起し、現在の町道津代線と同様の状態であった。補修を計画していたところ被災降雨により崩壊に至ったと考えられる。本現象は、前述のまさ土の変動機構の過程をたどったと推察される。また、町道津代線の被災現場周辺では、幅 10m、長さ 20m、すべり面深度 10m、すべり面勾配 25° 程度の斜面崩壊が発生している。通常の崩壊と比べるとすべり面深度が大きく、すべり面勾配が緩やかであり、地すべりの横断形状をしている。ただし、地すべりから崩壊にいたる変動機構を考慮すれば、崩壊形状が地すべりに近いことの説明が可能であると考えられる。

6. まとめ

本稿の 2 つの事例より、まさ土の斜面変動機構としては、降雨の影響による粘着力の減少により

- ①地すべり的挙動
 - ②崩壊的挙動
- の順に移行することの可能性が示唆された。

また、本事例により細粒分を多く含む砂質土は、上記の斜面変動機構を示す可能性がある、実際に土砂系の地盤で地すべり挙動を示す現場も確認されている。

今後は、このような斜面変動の事例を蓄積し、検証をしていく必要があると考えられる。

今回の X 線回折分析では、すべり面付近では膨潤性の粘土鉱物は検出されなかったが、膨潤性の粘土鉱物の存在は完全には捨てきれない。今後は、不検出の原因を念頭に入れ、試料採取および土質試験を行う必要があると考えられる。

謝辞：本調査において、肝付町建設課に多大な協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村浩之：技術者の疑問に答える地すべり・崩壊、株式会社総合土木研究所、13、2011.
- 2) 鹿児島県地学会編：鹿児島県地学のガイド(下)、株式会社コロナ社、48、1991.
- 3) 公益社団法人地盤工学会編：土質基礎工学ライブラリー 16 風化花崗岩とまさ土の工学的性質とその応用、公益社団法人地盤工学会、280-281、1979.
- 4) 公益社団法人日本地すべり学会編：有限要素法による地すべり解析、公益社団法人日本地すべり学会、7-8、2006.
- 5) 公益社団法人日本地すべり学会編：有限要素法による地すべり解析、公益社団法人日本地すべり学会、46-55、2006.

(2014. 5. 9 受付)