

# 直轄地すべり防止事業「銅山川地区」

## 技術検討会 (第1回)

	ページ
資料1 議事次第・出席者名簿	1
資料2 出席者座席表	2
資料3 検討会設立趣旨	3
資料4 検討会規約	4
資料5 課題と方針	5
資料6 調査結果説明資料	6

平成23年2月16－17日

東北森林管理局

## 直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会（第1回）

## 直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会

## 第1回検討会出席者名簿

平成23年2月17日

日 時：平成23年2月17日(木) 9:00~11:00

場 所：山形県新庄市ニューグランドホテル

## 議 事 次 第

1. 開 会 【 9:00 】
2. 主催者挨拶
3. 検討会設立趣旨説明
4. 出席者紹介
5. 座長選任
6. 資料説明及び討議 【 9:20 】
  - (1) 調査結果説明 【 9:20 】
  - (2) 討 議 【 10:00 】
7. 今後の予定等 【 10:50 】
8. 閉 会 【 11:00 】

区分	氏 名	所 属	職 名	摘 要
委員	井良沢道也	岩手大学農学部	准教授	
	岡本 隆	森林総合研究所東北支所	主任研究員	
	宮城 豊彦	東北学院大学教養学部	教 授	
	八木 浩司	山形大学地域教育文化学部	教 授	*以上五十音順
	太田 純功	山形県農林水産部森林課	課 長	代理出席 石垣森林保全主査
	加藤 恒雄	山形県大蔵村	地域整備課長	
	石田 祐二	東北森林管理局	森林整備部長	
オブザーバー	中村 三郎	防衛大学校	名誉教授	
	檜垣 大助	社団法人日本地すべり学会 東北支部	支部長	
東北森林 管理局	矢部 三雄	東北森林管理局	局 長	
	葛西 貢治	東北森林管理局 治山課	課 長	
	黒川 栄	〃	設計指導官	
	松橋 勝弘	〃	民有林治山係長	
	今井 雅人	〃	調査係長	
	小嶋 公輝	〃	調整指導係長	
	木村 政則	山形森林管理署 最上支署	治山課長	
	藤田 尚	〃	技術専門官	
	青木 孝一	〃 大蔵直轄治山事業所	主任	
国土防災 技術(株)	田畑 三郎	国土防災技術株式会社	社長室長	
	山崎 勉	〃	技術本部斜面防災部長	
	広瀬 伸二	〃	東北支社長	
	山科 真一	〃	山形支店長	
	橋本 純	〃	山形支店係長	
	鈴木 亘	〃	山形支店係長	

## 第1回技術検討会 座席表

スクリーン

東北学院大学 教養学部教授 宮城 豊彦
山形大学 地域教育文化学部 教授 八木 浩司
岩手大学農学部 准教授 井良沢 道也
森林総合研究所 東北支所主任研究員 岡本 隆

委  
員

山形県農林水産部 森林課長 太田 純功 (代理:石垣克典)
山形県大蔵村 地域整備課長 加藤 恒雄
東北森林管理局 森林整備部長 石田 祐二

委  
員

オブザーバー

東北森林管理局

事務局

地すべり学会 東北支部長 檜垣 大助	防衛大学校 名誉教授 中村 三郎	東北森林管理局長 矢部 三雄	東北森林管理局 治山課長 葛西 貢治	国土防災技術(株) 山形支店長 山科 真一	国土防災技術(株) 斜面防災部長 山崎 勉	国土防災技術(株) 東北支社長 広瀬 伸二
--------------------------	------------------------	-------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

山形森林管理署 最上支署 直轄事業所 主任 青木 孝一	山形森林管理署 最上支署 技術専門官 藤田 尚	山形森林管理署 最上支署 治山課長 木村 政則	東北森林管理局 治山課設計指導官 黒川 栄	東北森林管理局 治山課 民有林治山係長 松橋 勝弘
--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------------

				マスコミ席			
--	--	--	--	-------	--	--	--

				一般席			
--	--	--	--	-----	--	--	--

				一般席			
--	--	--	--	-----	--	--	--

## 直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会設立の趣旨

山形県最上郡大蔵村大字南山地区は、古くから地すべりが繰り返されてきた地域であり、毎年、融雪期には地すべりの移動が生じています。最近では、平成8年5月に130haにも及ぶ地すべりが発生し、地域の幹線道路である国道458号線の一部が陥没したため肘折温泉への交通が寸断されたり、林地や耕地にも多数の亀裂や陥没が発生したりするなどの被害が発生しました。

当該地区においては、地すべりにより不安定となった林地・農地の保全、生活基盤の中心である国道の確保等が課題であり、健康で快適な生活環境の確保、暮らしの安全・安心を確保するため、直轄地すべり防止事業の実施による地すべりの早期安定化が重要となっています。

当該地区においては、昭和27年から山形県が地すべり防止工事に着手し対策を講じてきましたが、地すべりの規模が大きく復旧に高度な技術を要するため、山形県及び大蔵村からの要請を受け、平成4年に直轄地すべり防止事業「銅山川地区」に着手し、地すべり対策事業が進められてきました。

現在、平成12年度末に策定された全体計画に沿って計画的に対策工事が進められているところですが、全体計画策定から10年(平成4年の直轄事業開始から19年)を経過し、これまで実施してきた事業の効果や課題を評価・検証したうえで、地すべりの早期安定化(概成)に向けた具体的な対策やモニタリング計画を盛り込んだ全体計画の検討を行うこととなりました。

検討会では、直轄地すべり防止事業「銅山川地区」の全体計画を検討するにあたり、山形県最上地方に関わりが深く、自然や環境、地形、地すべり対策事業等に造詣が深い学識経験者及び地元行政担当者の方々に、今後の地すべり対策の考え方、地すべりの監視体制、地域の防災体制等について、多彩な視点から意見を伺い計画に反映していくことを目的に、直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会を設立するものです。

### 【主な検討項目】

1. 全体ブロックの概成計画
  - ① 地すべりの立体的構造と安定解析
  - ② 地下水文状況の検討
  - ③ 対策工施工の効果を検証
  - ④ 全体ブロックの対策
2. 小ブロックの概成計画
  - ① 全体ブロック縁辺部ブロックの対策
  - ② 古水川沿い小ブロックの対策
3. 概成後の監視体制の検討
  - ① 対策工効果判定と概成後のモニタリング計画
  - ② 防災体制構築のための基礎データ提供についての検討

### 【全体計画策定の主な経緯】

- |        |  |
|--------|--|
| 平成 4年度 | 全体計画策定(計画期間H4～H23)                         |
| 平成 7年度 | 銅山川地区直轄地すべり防止事業検討会                         |
| 平成 8年度 | 地すべり災害発生                                   |
| 平成11年度 | 銅山川地区直轄地すべり防止事業検討会                         |
| 平成12年度 | 銅山川地すべり防止に伴う費用対効果調査全体計画の変更<br>(計画期間H4～H30) |

## 直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会規約

(名称)

第1条 本検討会は、直轄地すべり防止事業「銅山川地区」技術検討会（以下「検討会」という）と称する。

(目的)

第2条 本検討会は、直轄地すべり防止事業「銅山川地区」における、効率的かつ効果的な事業の実施に資するため、平成13年度に策定された対策工計画及び調査計画に基づく対策工の実施状況、効果について評価・検証し、今後の事業期間における対策工計画等について検討を行うため、学識経験者等から指導、助言を頂くことを目的として設立する。

(検討会)

第3条 検討会は、別紙に掲げる委員によって構成する。

- 2 委員の任期は、検討会の目的が達成されたときまでとする。
- 3 検討会には座長を置くものとし、座長は委員の互選によって定める。
- 4 座長は検討会を代表し、会務を統括する。
- 5 検討会は必要に応じて委員の追加等を行うことができる。

(検討会の運営)

第4条 検討会は、座長が必要と認めるとき、これを招集する。

- 2 検討会は、委員の過半数の出席をもって開催する。
- 3 検討会の公開等の運営方法については、検討会において定める。

(意見聴取等)

第5条 検討会は、必要と認めるとき、関係者から意見聴取等を行う。

(事務局)

第6条 検討会の事務局は、東北森林管理局に置く。

(その他)

第7条 この規約に定めるもののほか、検討会の運営に関して必要な事項は、座長が本検討会に諮って定める。

附則 この規約は、(第1回検討会開催年月日)から施行する。

検討会の委員

井良沢道也	(岩手大学農学部准教授)
岡本 隆	(森林総合研究所東北支所主任研究員)
宮城 豊彦	(東北学院大学教養学部教授)
八木 浩司	(山形大学地域教育文化学部教授) ※以上五十音順
太田 純功	(山形県農林水産部森林課長)
加藤 恒雄	(大蔵村地域整備課長)
石田 祐二	(東北森林管理局森林整備部長)

オブザーバー

中村 三郎 (防衛大学校名誉教授 (環境地球科学))

社団法人 日本地すべり学会東北支部

独立行政法人 森林総合研究所

地区名		銅山川地すべり
荒 廃 状 況	全体 ブロック	① 地すべり規模が長さ約1,300m, 幅約1,100m, 最大すべり面深度180mと大規模な地すべりである。
		② 地すべりブロックの頭部陥没帯には, 地域の基幹道である国道458号がとおり, 左側壁から末端部にかけては一級河川銅山川が位置している。平成8年の滑動時には, 国道の陥没による通行止めを余儀なくされ, 地域住民の生活に多大な影響を与えるとともに, 大蔵村の重要な観光資源である肘折温泉の集客への影響を与えた。また, 銅山川への移動土塊の流出は下流域での農業, 漁業へ濁水による被害をもたらすとともに, 下流集落へは土石流被害の危険をもたらせた。
		③ 周辺域は最大積雪量が4mを越す豪雪地帯であり, 平成8年の活動も融雪期に発生した。
		④ 全体ブロック縁辺域での小規模な変動はこれまでも発生しており, その対策の歴史は, 昭和27年(山形県), 昭和43年(林野庁)にさかのぼることができる。
		⑤ 周辺域の新第三紀層の基盤構造(走向概南北, 傾斜8~10°東)を反映して, すべり面構造もこれに同調的な構造をなしている。また, 銅山川地すべり周辺では, 約一万年前に肘折カルデラから供給された火砕流堆積物(肘折シラス)が厚く堆積している。
		⑥ 地下水位の変動は, 融雪期末期の5月下旬~6月初旬にかけてピークを迎え, 翌融雪期にかけて徐々に水位が低下し, その間での水位上昇はほとんどみられないことから, 地下水の涵養は融雪の影響が大きいと考えられる。一方, シラス堆積前の旧地表面等高線図では地すべりブロック内を南北に沢地形がみられることから埋没谷が想定される。地下水検層結果ではシラス層内に優勢な地下水流動が確認されることから, 埋没谷による地下水の涵養源であり, その集水面積は現地形よりも広い可能性がある。
		⑦ 地すべりの移動方向はGPS観測結果として把握されている。冠頭部から中腹にかけての地すべりブロック主体部分では「北よりやや東より」であるのに対して, 中腹から地すべり末端部にかけては北西に移動方向が転向している。
		⑧ 平成8年の被災以降, 応急対策である強制排水工が施工され, この効果により平成13年度以降, 地すべりは小康化している。
	小 ブロック	① 全体ブロックの西側(左側壁から末端部にかけての銅山川沿い), および全体ブロックとは関連のない古水川沿いに小ブロックがみられる。
		② 全体ブロック内の小ブロックは両ブロック対応のすべり面の関係を明確に把握する必要がある。また, 地質構造から古水川左岸部は流れ盤, 右岸部は受け盤となるため, この構造を対策に反映させる必要がある。
課 題	<p>(条件-1) 全体ブロックは計画時から二次元解析を拡張した近似三次元解析で対策工効果を評価し, これまで効果の追跡を行ってきた。その結果, 目標安全率(FS=1.20)に対して, 平成21年時点の達成安全率はFH21=1.06(この時点の計画安全率FP=1.04)である。銅山川地すべりは, 「すべり面の極端な偏り」や「移動方向の転向」といった特異な地すべり発生機構を有している。これまで最良の解析手法であった, 近似三次元解析でも銅山川地すべりの特異性を十分に表現できないといった解析上の限界があったが, 三次元安定解析の一つであるRBSM(剛体パネモデル)が開発され, これまで蓄積されたすべり面データ(すべり面の三次元構造)やすべり面土質試験データ(すべり面底面, 側壁, シラスのせん断強度)を用いることで, 近似三次元安定解析の不足を補うことが可能となった。</p> <p>(条件-2) 概成判断のためには, 計画する地すべり対策施設の効果が長期にわたり発現される必要がある。つまり, その都度変化する降雨(融雪)によるのではなく, ある確率年に応じた地下水供給条件による地下水変化を予測して, これに対する地すべり対策施設の計画が必要である。</p> <p>「上記条件の組合せによる手法」による解析手法は合理的, かつ妥当か</p> <p>(1) RBSM(すべり面の三次元モデル/地質によって異なるすべり面強度(すべり面底面, 側壁, シラス) → 臨界時点の照合)</p> <p>(2) 超過確率水位の予測+三次元浸透流解析</p>	
現行の 基本計画	② 適切な全体計画(対策工とモニタリング計画)の策定	
	③ 小ブロック対応の全体計画(対策工とモニタリング計画)の策定	
	<p>(1) 事業実施の基本方針</p> <p>1) 保全対象との関係 平成8年融雪期に発生した大規模地すべりの復旧を図るとともに, 本事業を実施することにより荒廃した森林等を復旧し, 直下の一級河川銅山川及び水力発電施設, 配電施設, 指定区域内を走る国道458号及び村道等の公共施設, 下流域の人家農耕地等への被害を未然に防止し, 地域住民の民生安定を図る。</p> <p>2) 直轄施工の理由 寒風田地区及び南山地区は, それぞれ昭和57年, 59年に地すべり防止区域の指定を受け, 山形県で地すべり防止事業を実施してきたが, 平成元年に湯ノ台地区が指定されたことから事業区域が拡大し, 事業規模が大きく, 高度な技術を要することとなり, 県・大蔵村から要請を受け, 平成4年度に国の直轄指定を行い, 以来, 東北森林管理局において地すべり防止事業を進めてきた。</p> <p>3) 施工の方針(荒廃状況に対応した工法, 重点区域等) 大規模地すべりにより旧ブロックが拡大し, 古口層内をすべり面とする南山, 湯ノ台にまたがる約130haが滑動している。本地すべり地を覆うシラスは最大100m超と厚く, 地下水の涵養源となっている可能性が高い。 当地区が豪雪地帯であり, かつ, 融雪期が長期にわたることから, この期間の地下水位が異常に上昇し地すべりの誘因となっているため, 地表水の処理, 地下水の排除及び斜面の固定を基本的対策工として安定を図ることとしている。 また, 当面は寒風田及び南山地区の地下水排除を主体工事とし, あわせて国道周辺の山腹の安定, 古水川沿いの小ブロックの安定を図ることとしている。</p>	
<p>(2) 中長期の対策方針</p> <p>1) 南山地区 平成8年度の大規模な滑動により被害を受けたため, トンネル排水工を主体とした地すべり防止工事を進める。</p> <p>2) 寒風田地区 平成8年度からポンプによる強制排水工を実施してきたが, トンネルの支線ごとの完成にあわせて落とし込みボーリングを実施する。</p> <p>3) 湯ノ台地区 地すべり冠頭部に施工した落とし込みボーリングにより全体ブロックの安定を図り, 古水川沿いの小ブロックの安定を図るため, 山腹工及び集水井工等を計画する。</p>		

## ＜調査結果説明資料＞

### ＜目次＞

1.	調査地概要	資料-1
1.1	調査位置	資料-1
1.2	社会経済的条件	資料-2
1.3	気象	資料-2
1.4	銅山川地すべり周辺の地形	資料-3
1.5	銅山川地すべり周辺の地質	資料-4
1.6	法令制限	資料-5
1.7	過去の災害事例	資料-5
2.	事業の経緯	資料-6
2.1	平成3年以前の対策工	資料-7
2.2	平成4年度全体計画（林野庁直轄事業の開始）	資料-8
2.3	平成7年度委員会による計画	資料-8
2.4	平成12年度検討委員会による計画	資料-8
3.	地すべり概要	資料-9
3.1	平成8年被災時の状況	資料-9
3.2	全体ブロック地すべりの概要	資料-15
3.3	対策工計画と進捗	資料-15
4.	安定解析手法の検討	資料-21
4.1	検討した安定解析式の概要	資料-21
4.2	安定解析式の適用	資料-22
5.	銅山川地すべりの長期安定性評価	資料-23
5.1	評価手法に関する調査結果（平成21年度検討結果）	資料-23
5.2	銅山川地すべり長期安定評価の考え方	資料-23
5.3	平成22年度検討結果（中間段階）	資料-24

# 1. 調査地概要

## 1.1 調査位置

銅山川地区地すべりは山形県最上地方西南部の大蔵村（人口:約 3,800 人（2010 年推計）、総面積 211.65km<sup>2</sup>）の中心より南方約 9 km、大蔵村大字南山地区に位置する。斜面長約 2 km、斜面幅約 1.5 km の主にスギ林地として利用されている北西向き斜面である。平成 4 年度より直轄地すべり防止事業として対策が行われているが、平成 8 年 5 月の融雪期には寒風田ブロックで幅約 1.1km、斜面長約 1.2km、深さ最大約 180m の大規模な地すべりが発生し、その後も小規模ながら地すべり滑動が継続して発生している。

銅山川地区の地すべりは寒風田、南山、湯ノ台の 3 地区に分けられ、調査地の上部は新庄～大蔵村～肘折温泉を結ぶ幹線道路である国道 458 号が通過し、左側壁から末端を銅山川が流れている。当該事業地から銅山川沿いに最上川との合流点にかけて 26 の集落が点在している。

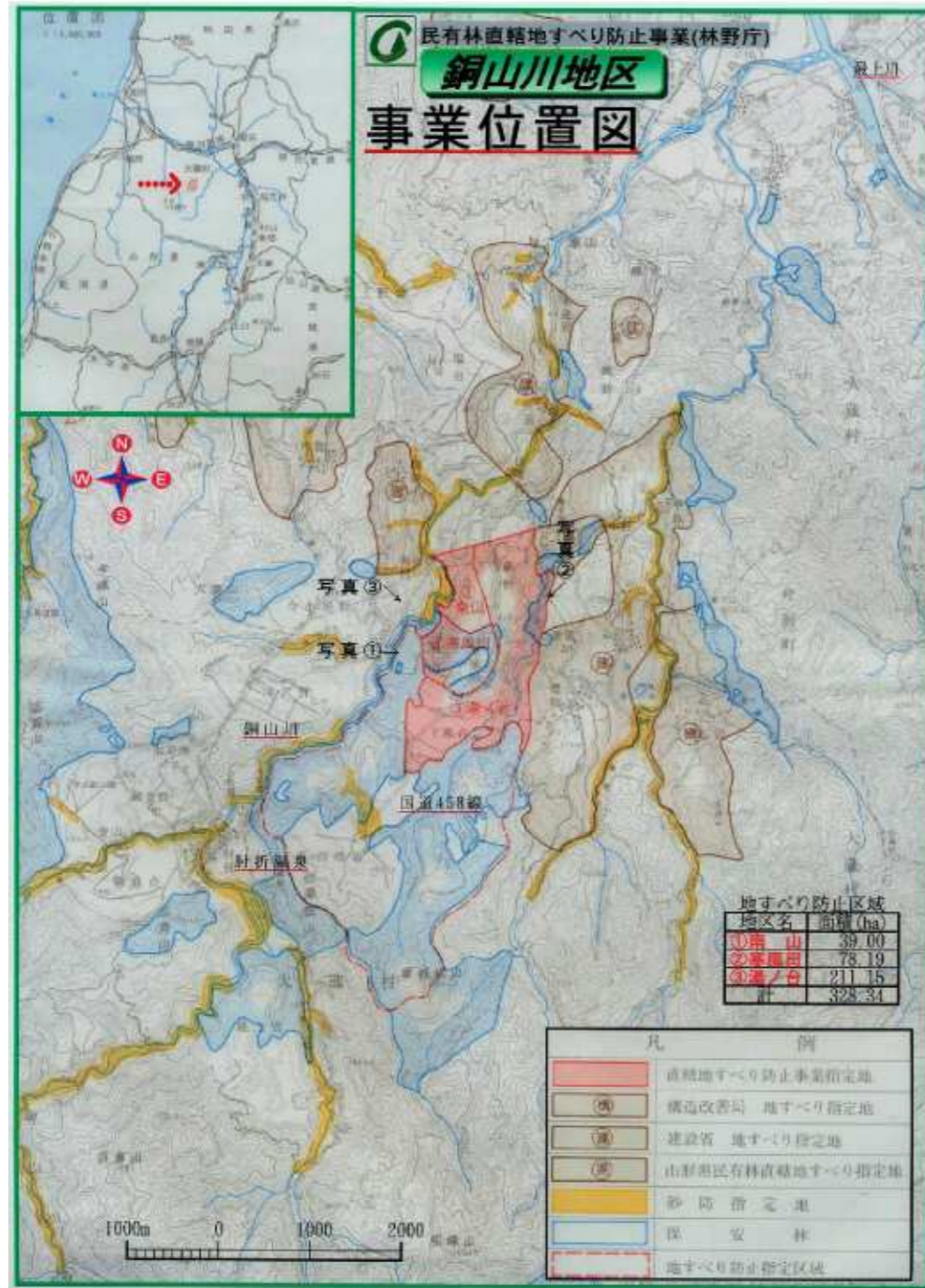


図 1. 1.1 銅山川地区の位置



図 1. 1.2 銅山川地すべり直轄エリアと地区区分



## 1.2 社会的経済的条件

銅山川地区直轄地区すべり防止事業地が所在する大蔵村は、総面積 211.65km<sup>2</sup> で、土地の利用状況は、森林が約 89%、耕地が約 5%、その他宅地等が 6%となっている。

大蔵村の人口は、平成 8 年国勢調査時点では 4,797 人であったが、平成 17 年に実施された国勢調査では 4,226 人と 9 年間に 571 人の減少がみられ過疎化が進行している。

基幹産業は、稲作を中心とする農林業であるが、大蔵村南部に位置する肘折温泉は、開湯から千二百年と古くから多くの人を集める重要な観光資源である。

また、当該事業地内には、最上地方と庄内地方を結ぶ主要国道である 47 号線と肘折温泉を結ぶ幹線道路である国道 458 号線が通過しており、平坦地には耕作地が広がっている。当該事業地から銅山川沿いに最上川との合流点にかけて 26 の集落が点在している。このことから、当該事業地における地すべり防止対策は、地元大蔵村をはじめとする周辺地域の社会経済活動に極めて重要な役割を担っており、関係対策工が計画的かつ円滑に実施されるよう強く要望されているところである。

当該事業に係る保全対象は、表 1. 2.1 のとおりである。

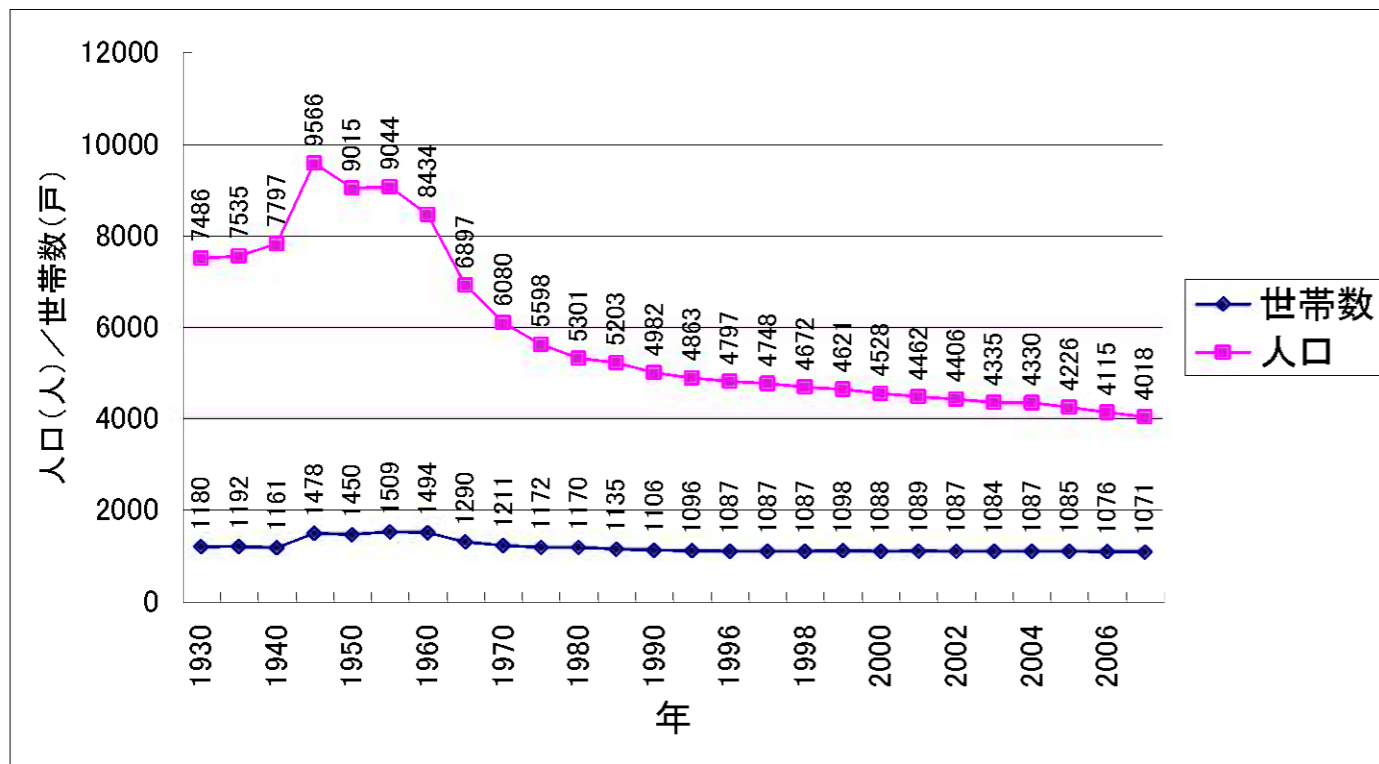


図 1. 2.1 大蔵村の世帯数と人口の推移（大蔵村村政要覧平成 19 年版資料編データにより作図）

表 1. 2.1 銅山川地すべりの保全対象

区分	人家 (戸)	人口 (人)	公共 施設 (箇所)	発電 施設 (箇所)	旅館 (軒)	田 (ha)	畑 (ha)	国道 県道 (km)	市町村 道 (km)	用水路 (km)
大蔵村	上流	150	588	11	1	25	41	24		
	下流	245	1179	9	1	275	86	12.5	31.0	22.0
	計	395	1767	20	2	25	316	110	12.5	31.0

上流：肘折、金山、鍵金野地区をいう。

下流：柳淵、升玉、塩、熊高、上竹野、通、白須賀地区をいう。

（東北森林管理局（2,000）：銅山川地区直轄地すべり防止事業検討委員会報告書，p.3）

## 1.3 気象

当該地域の気象は、日本海型気候に属し、一般に夏期は太平洋気団の影響を受けて温暖多湿で雨量が多く、冬期はシベリヤ気団の影響を受ける寒冷な豪雪地帯となっている。

年平均降水量は 2,800mm である。

月平均降水量をみれば、融雪期である 4～6 月にかけての月平均降水量は 110～140mm/月程度と年間のうち最も少ない時期にあたり、梅雨の 7 月から台風時期である 10 月にかけては約 200mm/月程度で推移する。そして、11 月から 2 月の降雪期に 400mm/月程度まで降水量が増加する。

総雨量の多い時期は降雪期にみられるが、強い強度の降雨は 5～9 月（1988（S63）年 5 月 13 日には最大日雨量 142mm、2010（H22 年 8 月 1 日には最大時雨量 57.5mm を記録）に春～秋季にかけてみられる。

年平均気温は 8.9℃と寒冷であるが、最高気温 35.3℃、最低気温 -22.9℃と寒暖の差が大きい。また、最大積雪は 4 m を越し、無雪季は 5～11 月までと半年以上雪の影響を受ける豪雪地である。

表 1. 3.1 調査地周辺の気象

区分 \ 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年	
降水量	月間平均(mm)	398.8	286.4	189.1	128.8	116.4	138.6	211.0	195.4	178.3	212.0	342.4	403.8	2,800.7
	月間最大(mm)	631.0	528.0	323.0	224.0	260.0	326.0	449.0	432.0	344.0	351.0	545.0	575.0	631.0
	日最大(mm)	69.0	69.0	53.0	51.0	142.0	138.0	121.0	128.0	125.0	98.0	95.0	134.0	142.0
	時間最大(mm)	9.0	15.0	8.0	8.0	12.0	20.0	38.0	57.5	34.0	18.0	17.0	23.0	57.5
平均気温(℃)	-2.1	-2.0	0.7	5.5	11.6	16.8	20.5	21.7	17.3	11.0	5.4	0.7	8.9	
最高気温(℃)	11.8	17.3	18.2	24.6	30.4	30.5	33.4	35.3	32.2	26.0	21.9	17.7	35.3	
最低気温(℃)	-16.1	-15.9	-22.9	-11.1	-2.5	2.0	6.7	8.2	2.3	-2.7	-8.0	-13.2	-22.9	
最深積雪(cm)	345.0	414.0	410.0	350.0	196.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.0	229.0	414.0	

（気象庁-気象統計情報：「肘折」1979-2010 を集計）

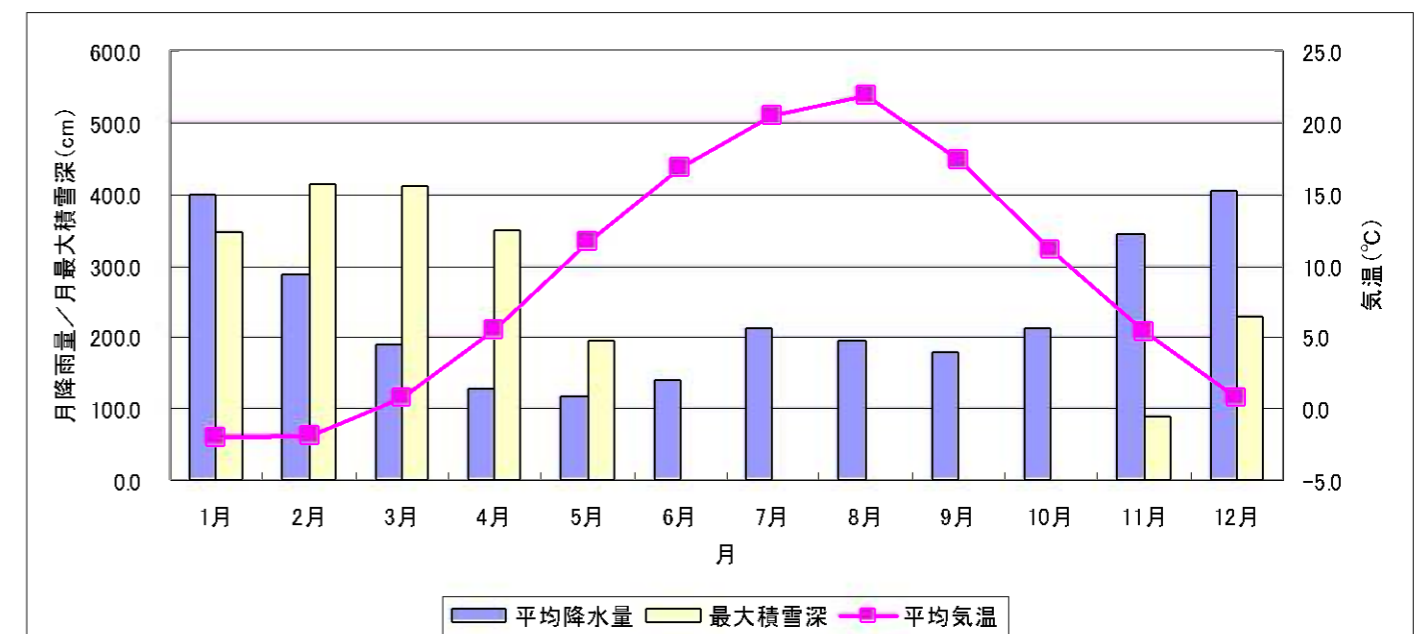


図 1. 3.1 調査地周辺の気象

（気象庁--気象統計情報：「肘折」1979-2010 を基に作図）

#### 1.4 銅山川地すべり周辺の地形

当該地域の地形は、火山噴出物が厚く堆積した典型的な台地状地形（湯ノ台など）を形成している。この台地は、約1万年前の肘折火山活動により形成された台地であり、標高400m前後まで堆積した火山噴出物はその後、一帯の地質構造に沿って南北方向に流れる銅山川、古水川、赤松川、横道沢といった河川による浸食・開析が繰り返され、現在のシラス台地を形成している。

これまでの銅山川地区一帯での調査ボーリングや地表踏査等の結果から、肘折火山活動以前の銅山川地区一帯の地形は標高350m前後の尾根が連なった、南北方向に開析が進む丘陵地であったと想定される。

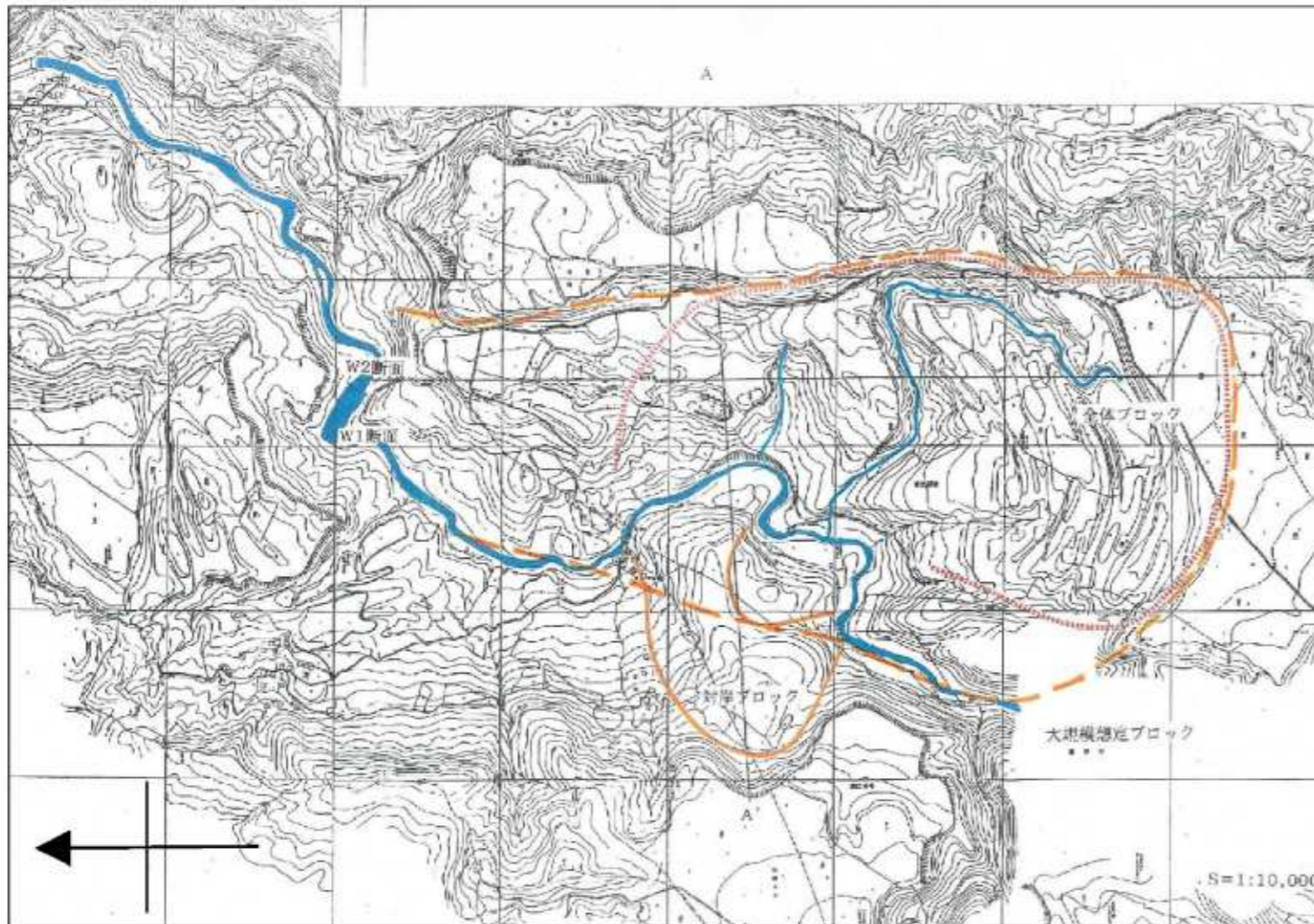


図 1. 4.1 銅山川地区周辺の地形と全体ブロック

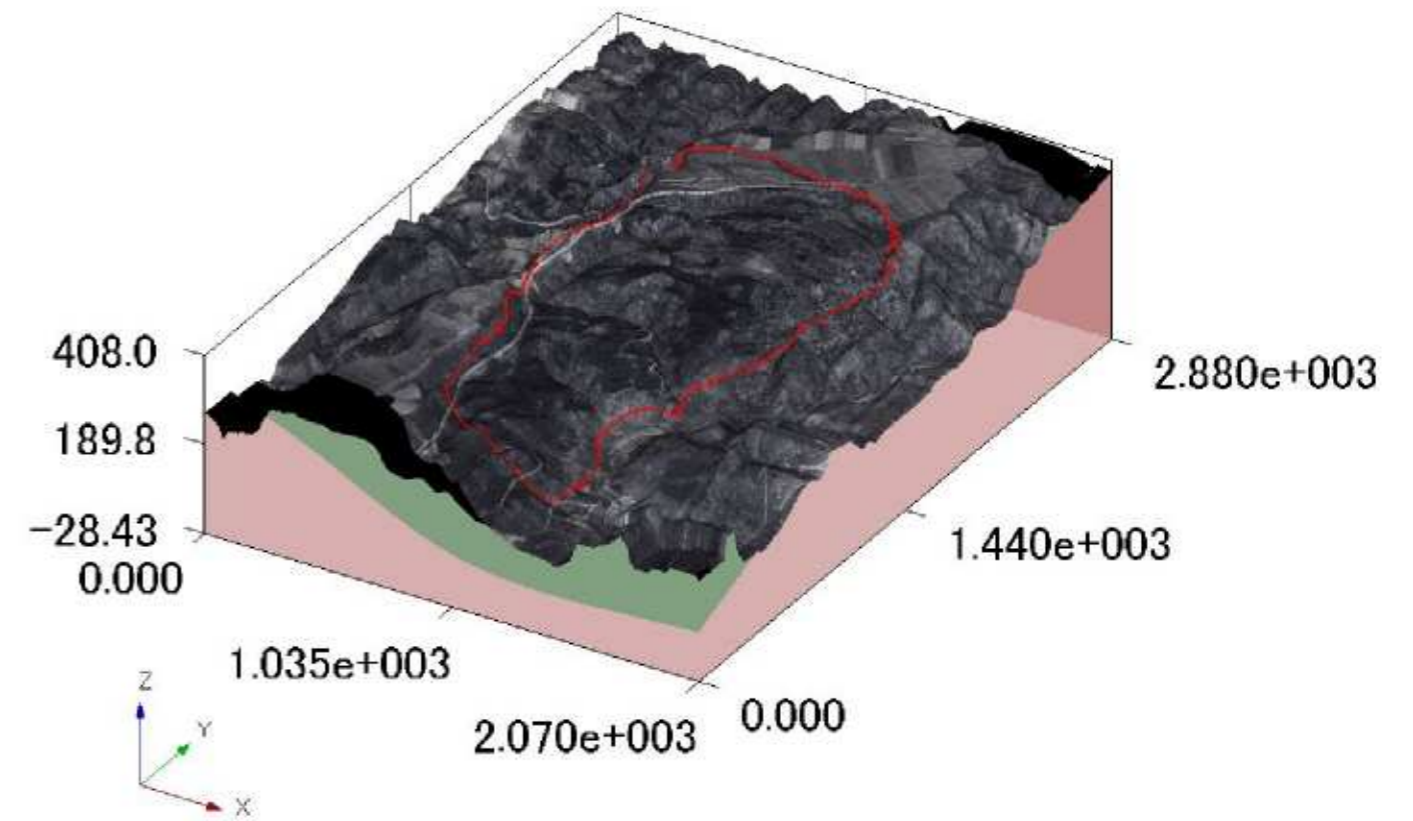


図 1. 4.2 銅山川地区周辺の鳥瞰図

### 1.5 銅山川地すべり周辺の地質

当調査地を含む銅山川一帯の地質は、新第三系堆積岩の上部に、約1万年前の肘折火山活動に由来する肘折火砕流堆積物（シラス）が50～100m前後の層厚で堆積する。

このシラス層は石英や角閃石の結晶が混じる軽石質凝灰岩を主とした半固結堆積物で、肘折カルデラより北東方向に分布する。調査地一帯の露頭やボーリングコアの観察より、このシラス層は固結度が低く、空隙も多いことから透水性が高いと予想される。また、火山灰や軽石及び岩片が混入しているので、全体的に淘汰が悪いといった特徴が見られる。こうした特徴から銅山川地区に堆積するシラスは、酸性マグマの爆発的な火山活動による火山噴出物が北東方向に向かって、空气中をかなり高速で流れ、つまり火砕流として流れ出て一帯に堆積したことを示している。

上記のようにシラス層の固結度は低く、透水性も高い脆弱な地層であるため、銅山川地区一帯の地すべりないしは崩壊発生の大きな要因となっている。

シラス層下位には新第三系中新統から鮮新統の野口層が不整合に分布する。野口層は主として砂質シルト岩・凝灰質砂岩からなり下位に行くほど泥質を帯びる。本層は未風化の状態では硬質で難透水性であるが、風化が進むと固結度も低くなり透水性が上がる（地すべり学会東北支部 1992、皆川 1985、北村 1974、山野井 1987、山形県 1993）という特徴を持ち、調査地で採取される地すべり移動層のボーリングコアでは全体的に褐鉄鉍汚染を著しく被り、顕著に粘土化が進む脆弱な状態で採取される。

野口層の下位には銅山川地区一帯の基岩層となる新第三系中新統の古口層泥岩が整合に分布する。本層は所々で砂質を帯びる、暗灰色で塊状無層理の黒色泥岩層である（薄互層含む）。ボーリングコアでは極めて新鮮かつ硬質な状態で採取され、上位の野口層とは明瞭に区別できる。

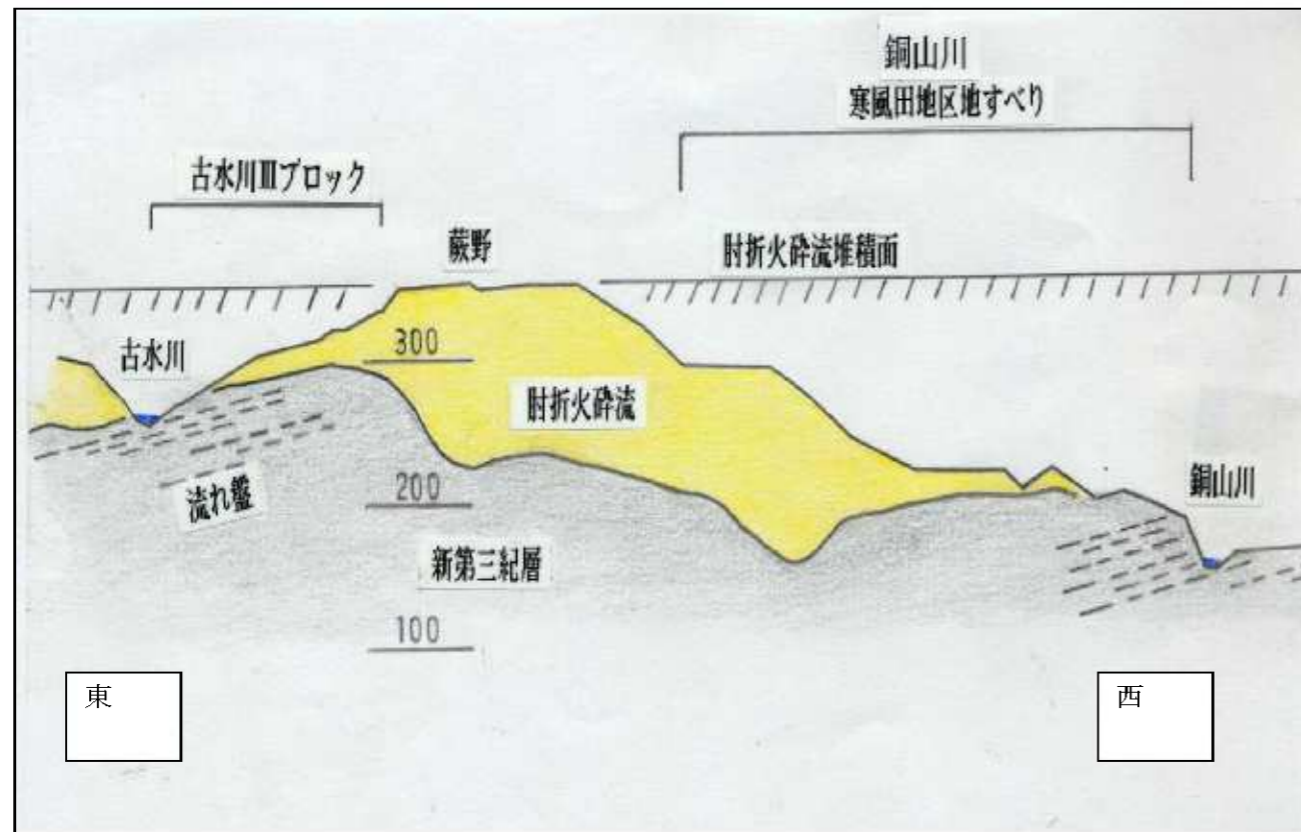


図 1. 5.1 銅山川地すべり周辺の模式地形と模式断面図

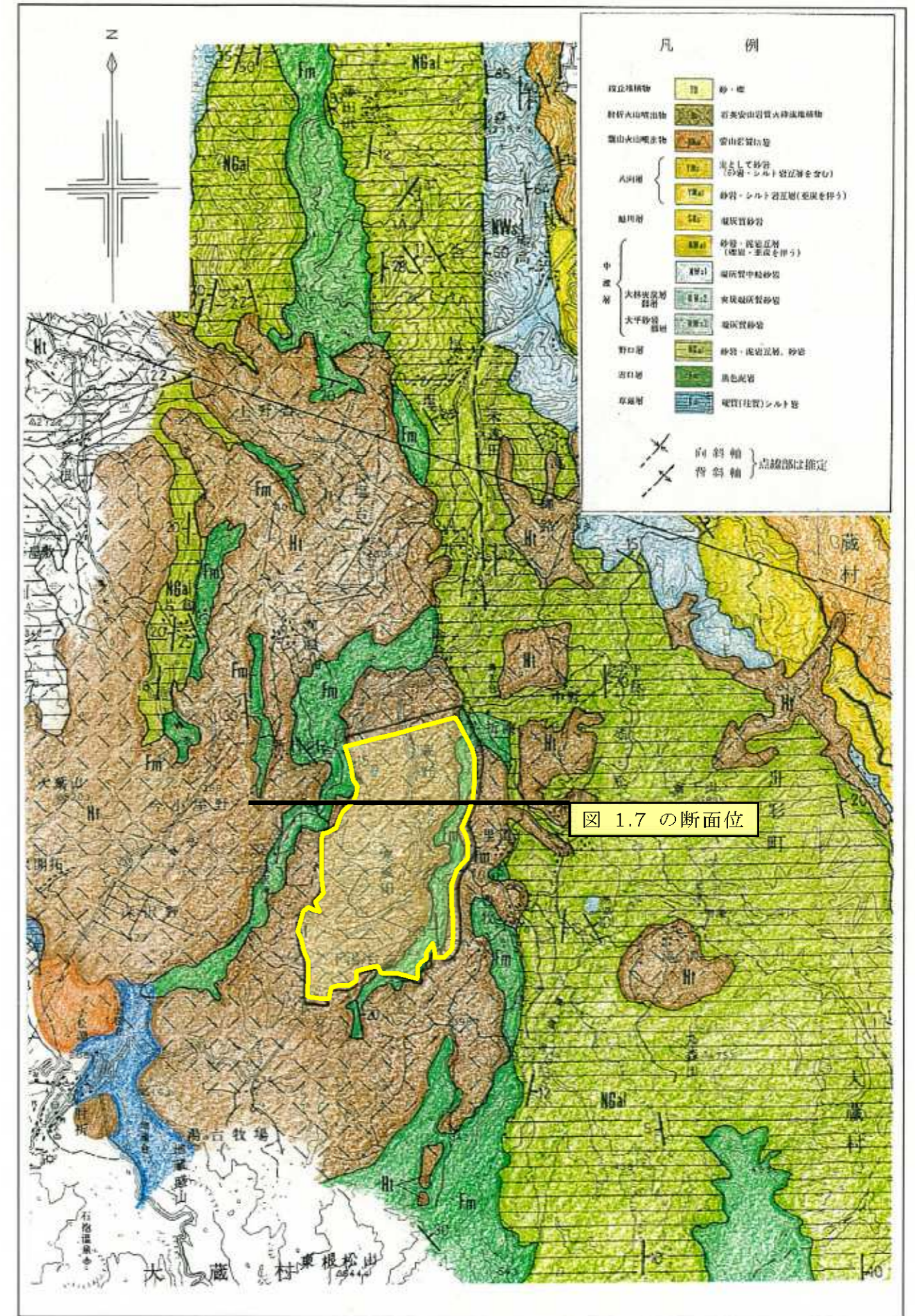


図 1. 5.2 周辺の地質図（網掛けエリアが直轄区域）

## 1.6 法令制限

### (1) 地すべり防止指定地区

名称	地区名	指定面積 (ha)	地すべり指定告示
地すべり防止指定区域	① 南山	39.00	S59.4.5 農告示 774 号
	② 寒風田	78.19	S57.8.9 農告示 1359 号
	③ 湯ノ台	937.97	H 元.9.25 農告示 1244 号
	計	1,055.17	

### (2) 保安林指定

保安林種	指定面積 (ha)	備考
土砂流出防備保安林	55.67	銅山川地区直轄地すべり
土砂崩壊防備保安林	5.12	防止区域内

### (3) 直轄地すべり防止指定区域

地区名	直轄指定区域 (ha)	直轄指定告示
① 南山	39.00	H 元.4.10 農告示 455 号
② 寒風田	78.19	
③ 湯ノ台	211.15	
計	328.24	

### (4) 山地災害危険地区

名称	面積 (ha)	備考
山地災害危険地区	1,055.17	銅山川地すべり防止区域

### (5) 周辺の地すべり指定地

施工主体	面積 (ha)	備考
国土交通省所管	977.43	赤松川流域 : 豊牧 (直轄) 銅山川流域 : 日陰倉, 柳淵, 塩, 升玉 藤田沢流域 : 藤田沢 蟬の沢川流域 : 小滝 桂欠川流域 : 桂欠
構造改善局所管	373.42	赤松川流域 : 滝ノ沢, 滝ノ沢第 2 桂欠沢流域 : 桂欠
林野庁所管	95.58	銅山川流域 : 桜峠 古水川流域 : 折渡 藤田沢流域 : 藤沼
計	1,446.43	

## 1.7 過去の災害発生状況

大蔵村における地すべり災害に関する災害年表を示す。

表 1.7.1 大蔵村における災害年表

発生日	発生場所	原因	被災状況	復旧対策
昭和 41 (1966) 年 6 月 28 日	升玉	長雨	死傷者 9 名 全壊家屋 1 戸	通常地すべり
昭和 49 (1974) 年 4 月 26 日	赤松	融雪	死傷者 30 名 全壊家屋 20 戸	緊急地すべり
昭和 50 (1975) 年 4 月 30 日	金山	融雪	林地	緊急地すべり
昭和 51 (1976) 年 5 月 10 日	南山滝ノ沢	融雪	水路 1,100m	
昭和 52 (1977) 年 6 月 3 日	滝ノ沢	降雨	用水路 300m 水田 0.6ha	
昭和 53 (1978) 年 5 月 2 日 8 月 10 日	柳淵 南山 (塩)	融雪 降雨		通常地すべり
昭和 54 (1979) 年 5 月 15 日 10 月 5 日 12 月 22 日	滝ノ沢 倉下山 水ヶ所	融雪 降雨 降雨	農地 橋梁破損 農地 5ha, 水路 300m, ため池 4	直轄砂防 道路災 農地災 通常地すべり
昭和 55 (1980) 年 4 月 8 日	藤田沢	融雪	道路 100m 耕地 3ha	緊急地すべり
昭和 56 (1981) 年 2 月 16 日 5 月 10 日	桂欠 寒風田	融雪 融雪	道路 150m, 水路 300m 河川 342m 林地 3.0ha	通常地すべり 河川災 緊急治山
昭和 57 (1982) 年 4 月 19 日 4 月 23 日 4 月 24 日 12 月 1 日	小滝 塩 (桜峠) 塩 寒風田	融雪 融雪 融雪 降雨	林地 0.5ha 林地 林地 農地 0.2ha	
昭和 59 (1984) 年 4 月 5 日 4 月 27 日 5 月 2 日 5 月 3 日	塩 小滝 藤田沢 柳淵	融雪 融雪 融雪 融雪	水路 50m 水路	県単地すべり 通常地すべり
昭和 62 (1987) 年 3 月 29 日 4 月 16 日	塩 升玉	融雪 融雪	道路 50m 道路 172m	災関緊急地すべり 道路災

## 2. 事業の経緯

### 2.1 これまでの事業の経過

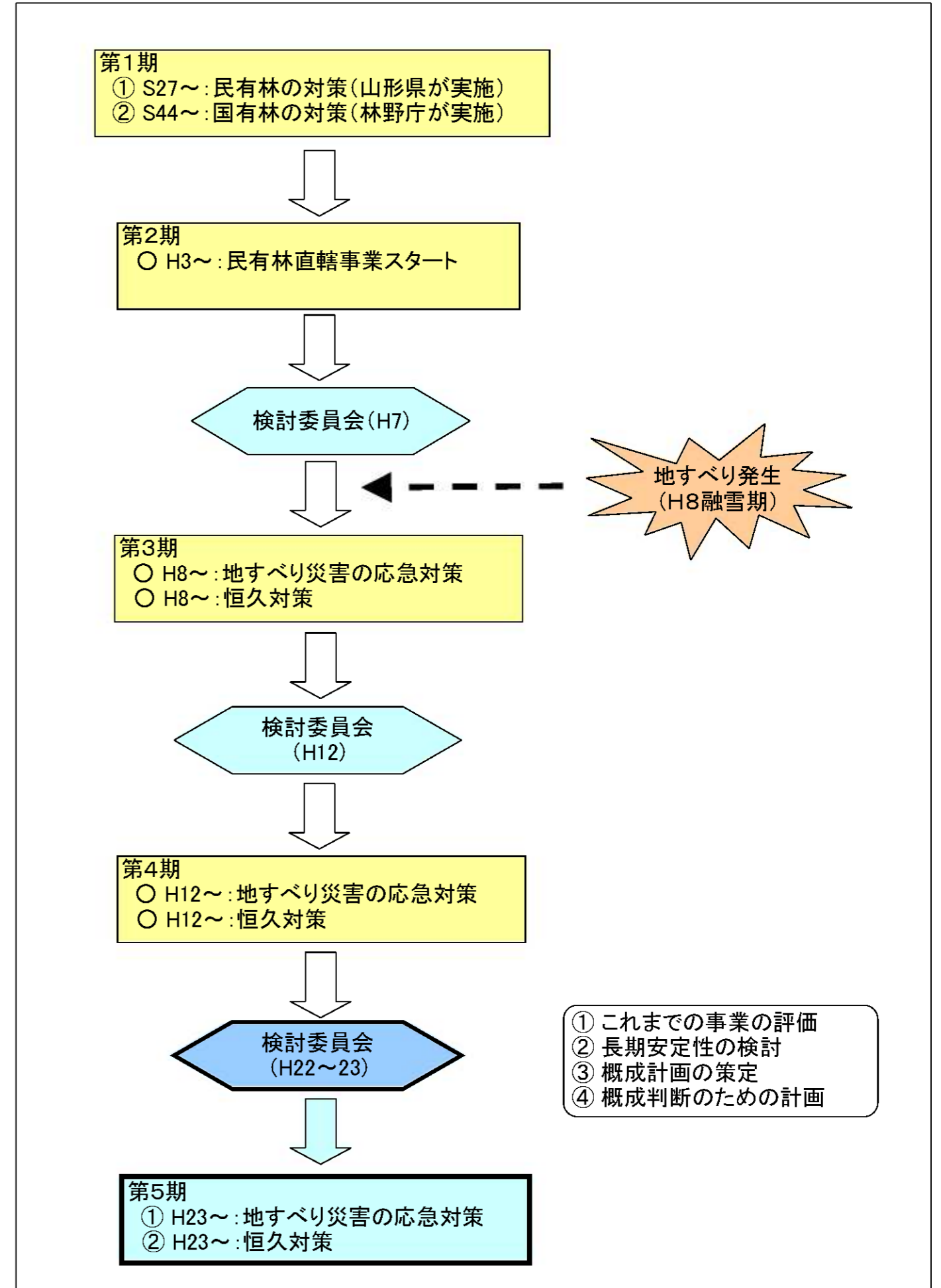
当該事業地は、重要な保全対象に近接しており、地質が極めて脆弱であることに加え地形、気象等の特性によって、融雪期及び梅雨等豪雨期には地すべり災害が頻発する地域であることから、昭和27年から山形県において地すべり防止対策工を実施してきており、隣接する国有林においても地すべり性崩壊現象が頻発しているため、昭和44年から対策工が実施されている。

現行の直轄事業施工区域は、国道をはじめとする公道及び公共施設等の重要な保全対象を抱えることから、地すべり防止対策をより一層積極的に推進する必要がある一方、事業規模、対策工施工の困難性等から山形県、及び大蔵村の強い要請を受け、平成4年度から民有林直轄地すべり事業として実施してきている。

平成7年度には、有識者による検討委員会を開催し、当該事業地最大の地すべり地に対する対策工、およびその進め方について意見をいただき、抜本的な対策工基本計画の策定に着手していたが、平成8年5月に大規模な地すべり災害が発生したため、当該事業地全体に係る再調査を余儀なくされ、平成11-12年度に再度検討委員会を開催して全体計画の見直しを行った。

平成12年度の全体計画の見直し後、計画に沿って対策が進められているが、その後10年が経過したことから、実施された対策工効果の検証に加えて、今後の計画実行についての検討が必要である。

表 2. 1.1 これまでの事業の経過と検討会



2.2 平成3年以前の対策工

表 2.2.1 平成3年以前の国有林内での対策工の実施一覧表

地区名	実施主体	工種	数量	竣工年
141林班	林野庁	コンクリートダム	1 基 264.0 m <sup>3</sup>	S43年
"	"	"	1 基 130.0 m <sup>3</sup>	S45年
"	"	コンクリート谷止工	1 基 143.0 m <sup>3</sup>	S45年
"	"	コンクリート谷止工外	2 基 212.5 m <sup>3</sup>	S47年
143林班	"	山腹工	0.1 ha	S48年
141林班	"	"	2.2 ha	S53年
142林班	"	コンクリート谷止工	1 基 308.6 m <sup>3</sup>	"
"	"	山腹工	0.1 ha	S54年
143林班	"	"	0.1 ha	"
142林班	"	フンカゴ谷止工	6 基 398.0 m <sup>3</sup>	S55年
143林班	"	フンカゴ床固工	1 基 38.4 m <sup>3</sup>	S56年
"	"	コンクリート谷止工	1 基 392.6 m <sup>3</sup>	S57年
142林班	"	"	1 基 399.6 m <sup>3</sup>	S58年
143林班	"	"	1 基 354.4 m <sup>3</sup>	S59年
"	"	"	1 基 263.5 m <sup>3</sup>	S60年
"	"	"	1 基 426.4 m <sup>3</sup>	S62年
"	"	コンクリート堰堤工	2 基 1,256.0 m <sup>3</sup>	H元年
"	"	山腹工	0.11 ha	H2年
"	"	コンクリート堰堤工外	1 基 463.2 m <sup>3</sup>	"

表 2.2.2 平成3年以前の3地区での対策工の実施（実施主体：山形県）

地区名	実施主体	工種	数量	竣工年		
湯ノ台	山形県	練積えん堤工	3 基 369.9 m <sup>3</sup>	S27年		
		"	1 基 107.5 m <sup>3</sup>	S30年		
		練積床固工	2 基 169.4 m <sup>3</sup>	"		
		鉄筋コンクリート枠えん堤工	1 基 153.3 m <sup>3</sup>	S34年		
		"	1 基 219.1 m <sup>3</sup>	S35年		
		"	1 基 331.8 m <sup>3</sup>	S36年		
		鉄筋コンクリート床固工	1 基 127.1 m <sup>3</sup>	S37年		
		コンクリートえん堤工	1 基 395.7 m <sup>3</sup>	S44年		
		"	1 基 277.2 m <sup>3</sup>	S46年		
		"	1 基 699.3 m <sup>3</sup>	S53年		
		"	1 基 1,099.2 m <sup>3</sup>	"		
		コンクリートえん堤工(副堤)	1 基 381.3 m <sup>3</sup>	"		
		コンクリートダム	1 基 129.8 m <sup>3</sup>	S62年		
		寒風田	山形県	方格枠谷止工	1 基 95.0 m <sup>3</sup>	S41年
				"	2 基 233.1 m <sup>3</sup>	S42年
集水井・暗渠工	1 基 28.0 m 1,403.0 m			S36年		
水路工・水路工補修	253.0 m 230.0 m			"		
集水ボーリング	20 m 15.0 本 300.0 m			"		
排水ボーリング	1 本			"		
集水井	1 基 35.5 m			S57年		
鋼製床固工・暗渠工	22.7 t 200.0 m			"		
暗渠工	250.0 m			S58年		
集水井・暗渠工	1 基 25.5 m 355.0 m			S59年		
集水ボーリング	50 m 16.0 本 800.0 m			"		
排水ボーリング	2 本			"		
暗渠工	550.0 m			S60年		
集水井・暗渠工	2 基 46.5 m 1,948.5 m			S61年		
集水ボーリング	60 m 20.0 本 1,200.0 m			"		
排水ボーリング	2 本			"		
集水井・暗渠工	1 基 33.0 m 245.2 m			S62年		
集水ボーリング	50 m 10.0 本 500.0 m			"		
排水ボーリング	1 本	"				
暗渠工	500.0 m	S63年				
南山	山形県	コンクリート谷止工	2 基 233.1 m <sup>3</sup>	S40年		
		方格枠谷止工	2 基 173.8 m <sup>3</sup>	S41年		
		暗渠工	370.0 m	S59年		
		"	200.0 m	H3年		
		集水ボーリング	60 m 20.0 本 1,200.0 m	"		
		排水ボーリング	2 本	"		

2.3 平成4年度全体計画（林野庁直轄事業開始）

表 2. 3.1 平成4年度全体計画数量表

事業種		事業量		
種別	工種	数量	事業量	適用
溪間工	えん堤工	18 基	7,000.0 m <sup>3</sup>	
	谷止工	28 基	5,675.0 m <sup>3</sup>	
	床固工	7 基	1,100.0 m <sup>3</sup>	
	護岸工		200.0 m	
山腹工	土留工	26 基	870.0 m	
	水路工		3,790.0 m	
	暗渠工		500.0 m	
	集水井工	49 基	1,180.0 m	
	横坑ボーリング	64 基	2,700.0 m	
	トンネル暗渠工		3,675.0 m	
	杭打工	80 本	1,820.0 m	
	シャフト工	65 本	1,950.0 m	
	アンカー工		4,891.0 m	
	その他		9.1 ha	
その他	運搬路		4,800.0 m	

2.4 平成7年度委員会による計画

表 2. 4.1 平成7年度計画一覧表（検討委員会，寒風田ブロックのみの数量）

事業種		事業量		
種別	工種	数量	事業量	適用
地すべり対策 (寒風田ブロック)	トンネル	5 路線	2,000.0 m	
	鋼管集水井(φ2500)	12 基	1,080.0 m	
	落とし込みボーリング	12 本	240.0 m <sup>3</sup>	
	集水ボーリング	12 群	31,200.0 m	
	建て上げボーリング	40 本	1,800.0 m	
	鋼管杭打工	67 本	3,115.5 m	
	アンカー工	174 本	6,351.0 m	
山腹工・溪間工 (寒風田ブロック)	谷止工	9 基		
	法枠工		5,700.0 m <sup>2</sup>	
	山腹工	1 式		
	水路工		2,170.0 m	

2.5 平成12年度検討委員会による計画（現行計画）

表 2. 5.1 平成7年度計画一覧表（検討委員会，寒風田ブロックのみの数量）

工種		数量	基数	数量	単位	備考
溪間工	谷止工		24 基	5,973.0	m <sup>3</sup>	
	床固工		25 基	2,265.0	m <sup>3</sup>	
	護岸工			1,116.0	m	
	流路工			1,517.0	m	
山腹工	土留工			1,455.0	m	
	水路工			13,313.0	m	
	集水井工		41 基	865.0	m	
	集水ボーリング工		728 孔	36,473.0	m	
	横坑ボーリング工		746 孔	22,650.0	m	
	トンネル暗渠工			5,815.0	m	
	杭打工		1,042 本	401,112.0	m	
	アンカー工		286 本	7,260.0	m	
	強制排水工		116 本	11,882.0	m	
	落とし込みボーリング		291 本	37,400.0	m	
	建て上げボーリング		1,016 本	88,200.0	m	
	法枠工			29,490.0	m	
緑化工			7.4	m		
その他	運搬路ほか			7,024.0	m	

表 2. 5. 2 現行計画における進捗状況

工種	数量	H12変更計画			H11.3末現在						H22.3末見込み						
					実績			残(対H12全体計画)			実績			残(対H12全体計画)			数量の進捗率
溪間工	谷止工	24 基	5,973	m <sup>3</sup>	12 基	2,792	m <sup>3</sup>	12 基	3,181	m <sup>3</sup>	22 基	6,122	m <sup>3</sup>	2 基	-149	m <sup>3</sup>	102.5%
	床固工	25 基	2,265	m <sup>3</sup>	19 基	1,169	m <sup>3</sup>	6 基	1,096	m <sup>3</sup>	27 基	1,530	m <sup>3</sup>	-2 基	735	m <sup>3</sup>	67.5%
	護岸工		1,116	m		451	m		665	m		1,064	m		52	m	95.3%
	流路工		1,517	m		1,517	m		0	m		905	m		612	m	59.7%
山腹工	土留工		1,455	m		507	m		948	m		1,467	m		-12	m	100.8%
	水路工		13,313	m		3,667	m		9,646	m		11,899	m		1,414	m	89.4%
	集水井工	41 基	865	m	19 基	453	m	22 基	412	m	26 基	554	m	15 基	311	m	64.0%
	集水ボーリング工	728 孔	36,473	m	421 孔	18,503	m	307 孔	17,970	m			m			m	0.0%
	横坑ボーリング工	746 孔	22,650	m	398 孔	12,690	m	348 孔	9,960	m	434 孔	12,774	m	312 孔	9,876	m	56.4%
	トンネル暗渠工		5,815	m		735	m	0	5,080	m		(4,026)	m		(1,789)	m	(69.2%)
	杭打工	1,042 本	40,112	m	175 本	3,691	m	867 本	36,421	m	175 本	3,692	m	867 本	36,420	m	9.2%
	アンカー工	286 本	7,260	m	96 本	2,492	m	190 本	4,768	m	96 本	2,433	m	190 本	4,827	m	33.5%
	強制排水工	116 本	11,882	m	28 本	2,222	m	88 本	9,660	m	76 本	7,182	m	40 本	4,700	m	60.4%
	落込みボーリング	291 本	37,400	m			m		37,400	m	36 本	6,623	m	255 本	30,777	m	17.7%
	建上げボーリング	1,016 本	88,200	m			m		88,200	m	50 本	4,054	m	966 本	84,146	m	4.6%
	法枠工		29,490	m <sup>2</sup>		800	m <sup>2</sup>		28,690	m <sup>2</sup>		6,813	m <sup>2</sup>		22,677	m <sup>2</sup>	23.1%
	緑化工		7.4	ha		1.2	ha		6.2	ha		7.4	ha		0	ha	100.0%
その他	運搬路ほか		7,024.0	m		3,421.0	m		3,603.0	m			m			m	
進捗率	施工数量										施工数量の進捗率( )あり			56.1%			
											施工数量の進捗率( )なし			54.9%			
	事業費	31,069 百万円									14,851 百万円			事業費による進捗率	47.8%		

注) トンネル暗渠工( )あり : 第6期工事(施工中)分を計上した場合  
 トンネル暗渠工( )なし : 第6期工事(施工中)分を未計上の場合



### 3. 地すべり概要

#### 3.1 平成8年被災時の状況

平成8年の5月に銅山川地区において大規模な地すべりが発生した。

その被害面積は約130haに及び、地域の基幹生活道であり、肘折温泉へのアクセス道ともなっている国道458号は一部が陥没し寸断、村道も橋桁（葛郷橋）のずれにより寸断、林地、耕地内にも多数の亀裂、陥没等の被害が発生し、地域住民生活、及び地域経済に大きな影響を与えた。

地すべりの発生により、全体ブロック頭部に位置する国道458号に最大約3m、延長約200mの沈下、及び亀裂が発生し、通行車両の安全を確保するため6月中旬から8月上旬にかけて約2ヶ月間夜間通行止めの措置がとられている。

また、全体ブロック頭部に位置する耕作地にも延長約600mにわたる亀裂が発生した。

銅山川に面した末端部では地すべりにより迫り出した移動土塊が銅山川に崩落しており、地すべりの進行により銅山川に土砂の供給が続いた場合、下流集落に対して土石流の危険が危惧され、地表伸縮計、GPS観測、光波による移動杭観測等の地すべりの動態観測、末端部での流動化に対するワイヤセンサーによる監視、地内の地下水位挙動の観測等が実施された。

また、既設地すべり防止施設についても、Iブロックアンカーの破断、S56災ブロックの集水井の抜け上がり等の被害が発生した。

地すべり機構調査については、当初（地すべり滑動前）の地すべり機構調査で推定していたすべり面は、第三系野口層と古口層の層界付近を推定すべり面としていたが、実際に既設ボーリングの孔曲り、ひずみ計の切断等で確認されたすべり面は、当初の推定すべり面よりさらに深部におよび（古口層内の風化部と未風化部の層界）、また地すべりブロックの範囲も冠頭部は上方（南側）に拡大した。

右側壁側も田尻沢付近をブロック界として推定していたが、右側壁亀裂は概ね国道458号に沿って北上し、F、G測線付近から不明瞭となり、柳淵ダム（砂防ダム）の下流の柳淵橋付近にまで及んだと考えられる。

なお、現地の状況と対応を整理すれば、次のとおりである。

- ① 平成8年5月14日、国道458号路面に陥没を発見
- ② 5月24日、Iブロックにおいて、平成7年度施工のアンカー工にテンドンの破断等の変状を確認
- ③ 6月6日、Iブロック頭部亀裂に伸縮計（R-S-1）を設置、図3.1.1に示すように伸びの変位が着実に累積、6月後半には伸び変位が小康化  
移動量の最大は、6月10日の72.6mm/日
- ④ 一方、全体ブロック頭部亀裂に設置した伸縮計（S-2：6月29日から観測）は、R-S-1が小康化した後も伸びの累積を続け、7月下旬に小康化
- ⑤ 6月7日頃から、全体ブロック末端部にあたる銅山川右岸の迫り出し・崩落が活発化
- ⑥ 6月14日から国道458号の夜間通行止めを実施
- ⑦ 7月に入り、移動量が1cm未満/日と小さくなり、地すべり滑動は小康化へ移行
- ⑧ 8月9日に国道458号の夜間通行止めを解除

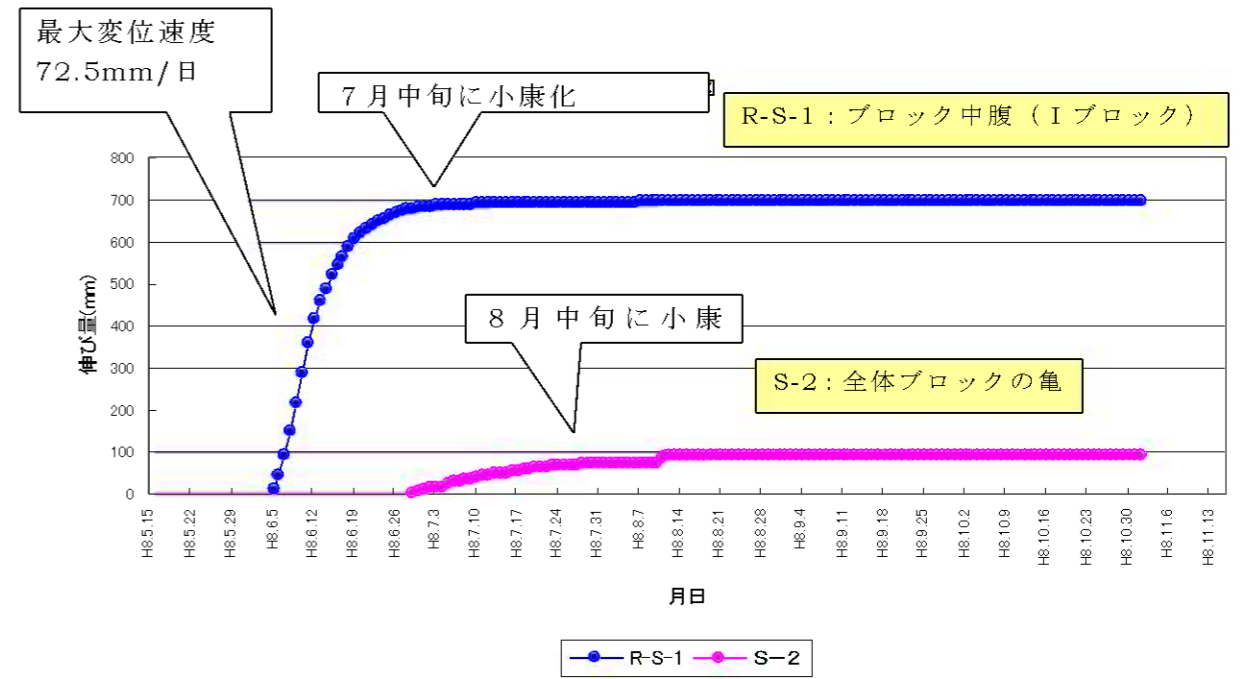


図 3. 1.1 活動開始直後の伸縮計変動図

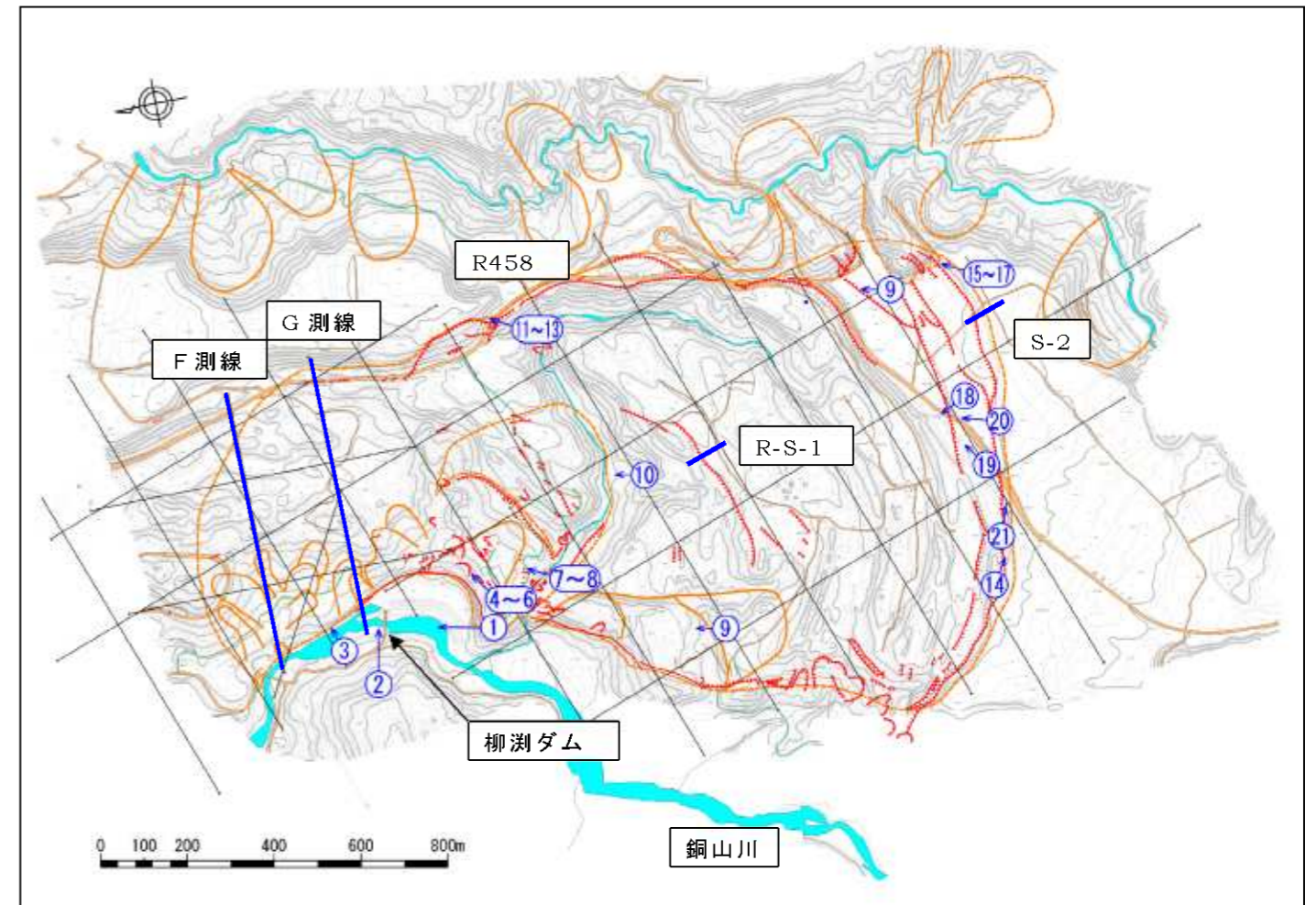


図 3. 1.2 写真位置図



写真① 地すべり末端状況（遷急線付近がすべり面）



写真② 地すべり末端部状況



写真 ③ すべり面上にせり出す移動土塊



写真 ⑥ 地すべり末端部で破壊されたアンカー tendon



写真 ⑧ I 拡大ブロック拡大ブロックに発生した亀裂



写真 ④ 地すべり末端部で破壊されたアンカー受圧版

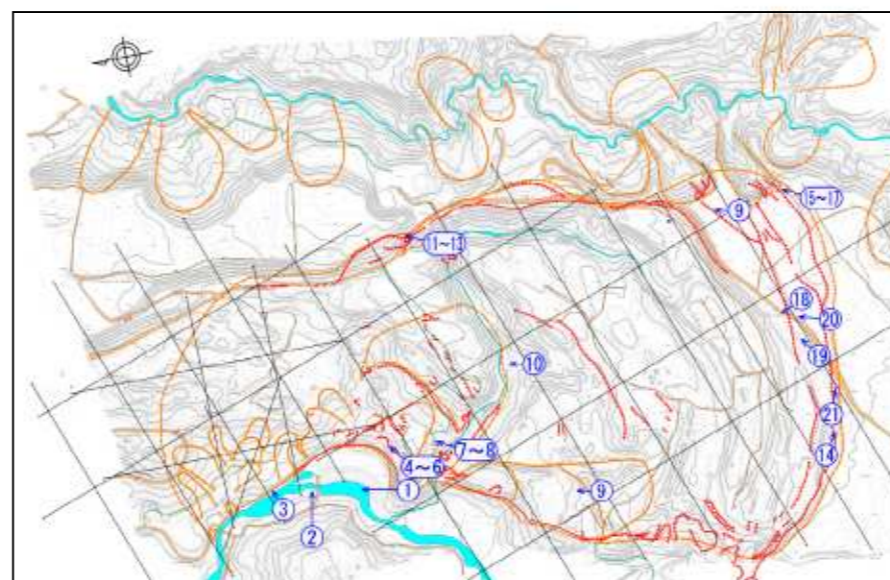


写真 ⑨ 56 災ブロック集水井の抜けだし



写真 ⑤ 地すべり末端部で破壊されたアンカー tendon



写真 ⑦ I 拡大ブロック仮設道に発生した亀裂



写真 ⑩ 既設ボーリング孔の自噴



写真 ⑪ ブロック右側壁中腹部の国道 458 号の法面に発生した亀裂



写真 ⑬ ブロック右側壁中腹部の国道 458 号に発生した亀裂



写真 ⑮ 滑落帯延長上に発生した崩壊（シラス）

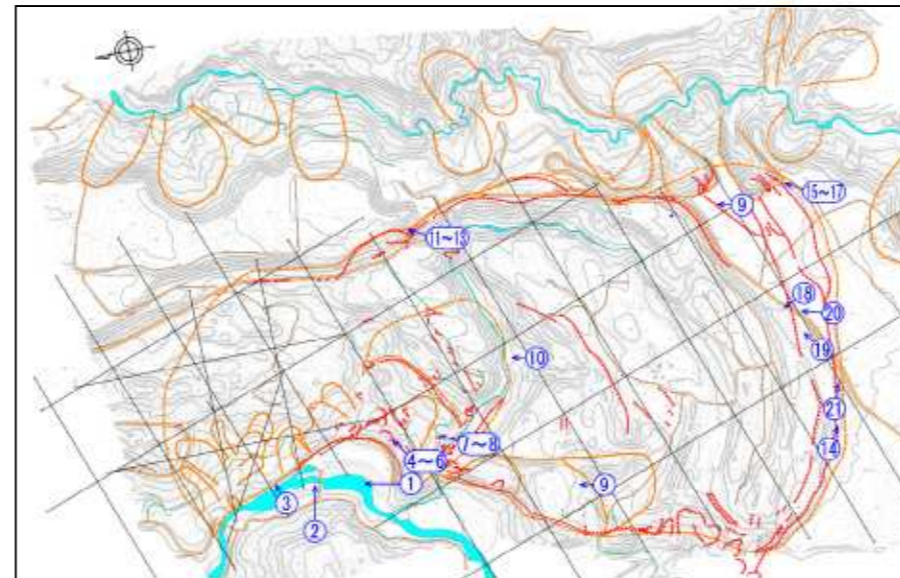


写真 ⑯ 滑落帯延長上に発生した崩壊（シラス）



写真 ⑫ ブロック右側壁中腹部の国道 458 号の法面に発生した亀裂



写真 ⑭ 滑落部帯上流壁



写真 ⑰ 陥没帯に発生した開口亀裂



写真 ⑱ 国道 458 号沿いに発生した陥没帯下流壁（写真奥が斜面下方）



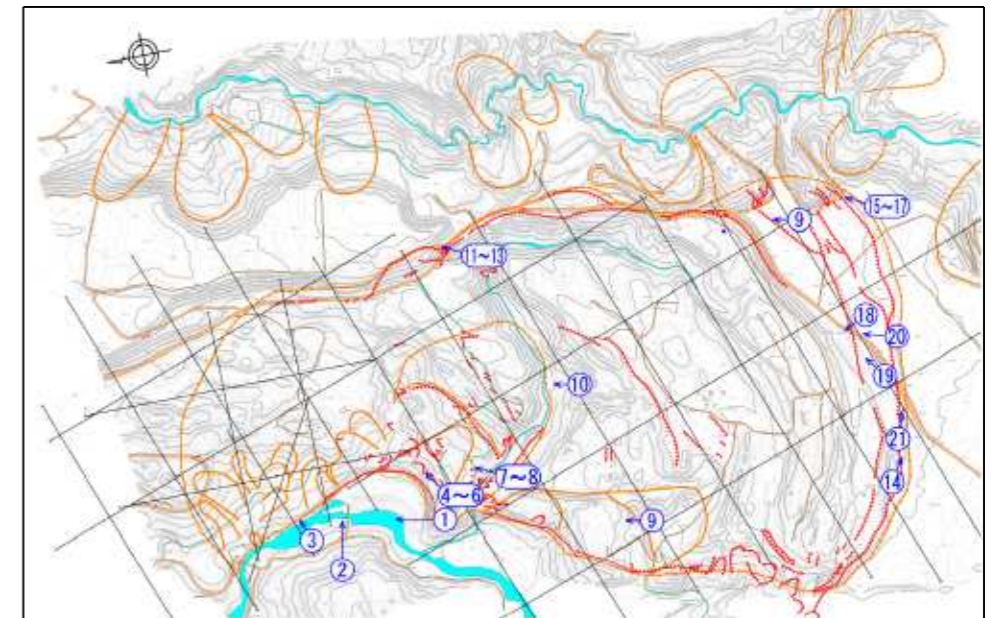
写真 ⑲ 国道 458 号沿いに発生した陥没帯（写真奥が斜面下方）



写真 ⑳ 陥没帯の下流壁（写真左手が斜面下方）



写真 21 陥没帯の上流壁（写真左手が斜面下方）



### 3.2 全体ブロック地すべりの概要

#### 3.2.1 地すべり発生の経緯

これまでの検討から、地すべりの発生について以下のように推測される。

- ① 火砕流堆積以前には、湯ノ台地区は緩傾斜で盆状の地表面構造を有していた。現在のような地すべりはまだ発生しておらず、この盆状地形の外縁に沿って谷が形成されていた。
- ② 約 10,000 年前に肘折火山の噴火により火砕流堆積物が堆積した。その厚さは 70~100m に達した。
- ③ シラス堆積によって形成された埋没谷に沿って、上流域の大量の地下水が火砕流堆積物を通じて地すべり地内に供給され、基盤の風化を促進するとともに、荷重として作用するほか、浸水により岩盤強度を低下させる。
- ④ この地下水の影響により、古口層内で層理面に沿ってせん断され、地すべりが発生したと考えられる。地層の傾斜方向は東方向（右側壁側）であるが、右側壁側は新第三系の堆積岩が形成する丘陵地でこの方向へは滑動し得ない。このため銅山川によって浸食された低地に向かって走向方向に滑動した。右側壁は埋没谷に規制されたと考えられる。
- ⑤ 全体ブロックの主たる活動域は、国道北側の陥没地形より下方であった、地すべり範囲は現在の冠頭部へ拡大しつつあり、平成 8 年の活動はこの冠頭部を含めたブロックの活動である。この点では、退行性の地すべりであるとみることができる。
- ⑥ 今後地すべりがさらに南側へ拡大する可能性は否定できない。

#### 3.2.2 すべり面構造と旧地表面構図

地すべり移動体の形状は、

図 3. 2. 1 に示すようにすべり面が右岸側に向かって深くなるという典型的な左右非対称のすべり面横断形を示し、しかも移動方向が地すべり地の下部で 90° 近く方向転向するという特異な移動形態を示す。

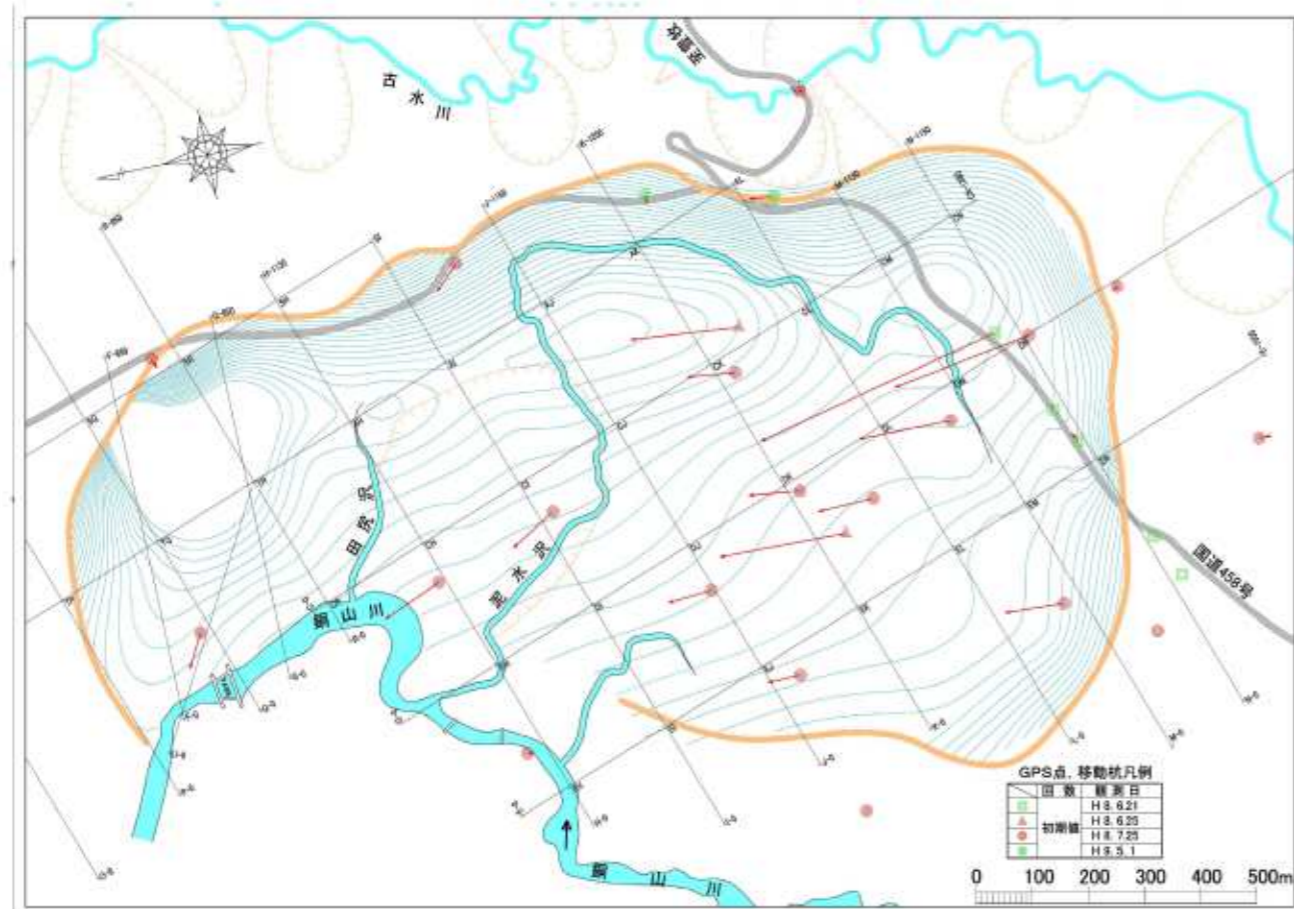


図 3. 2. 1 銅山川地すべりのすべり面等高線と GPS による移動方向と移動量

図 3. 2. 2 に主測線である D 測線の断面図を示すが、典型的な椅子形すべり面となっている。

一方、移動方向が変化する位置にある G 測線の断面図を図 3. 2. 2 に示す。すべり面は中央部から東寄りに深くなり、移動方向である銅山川方向へは逆勾配のすべり面形となっている。

地すべりが直線的に移動すると移動ブロック北端のすべり面が移動方向に対して極端な逆勾配となり、移動を制限する力が発生すると考えられる。北西の銅山川隣接位置が開放されていることから、地すべりは銅山川方向にほぼ 90° 移動方向を変えて変位している。移動方向を 90° 近く変化させる移動ブロック北端の逆勾配すべり面の抵抗をどのように安定解析に組み入れるかが、銅山川地区の安定解析をする上で重要である。

また、ブロック内の地下水位は常に高く、地内に湧水や湿地なども多い。埋没谷を流れる地下水が地すべり変動に大きく関わっていると考えられることから、その水圧をどのように安定解析に取り入れるかも重要である。

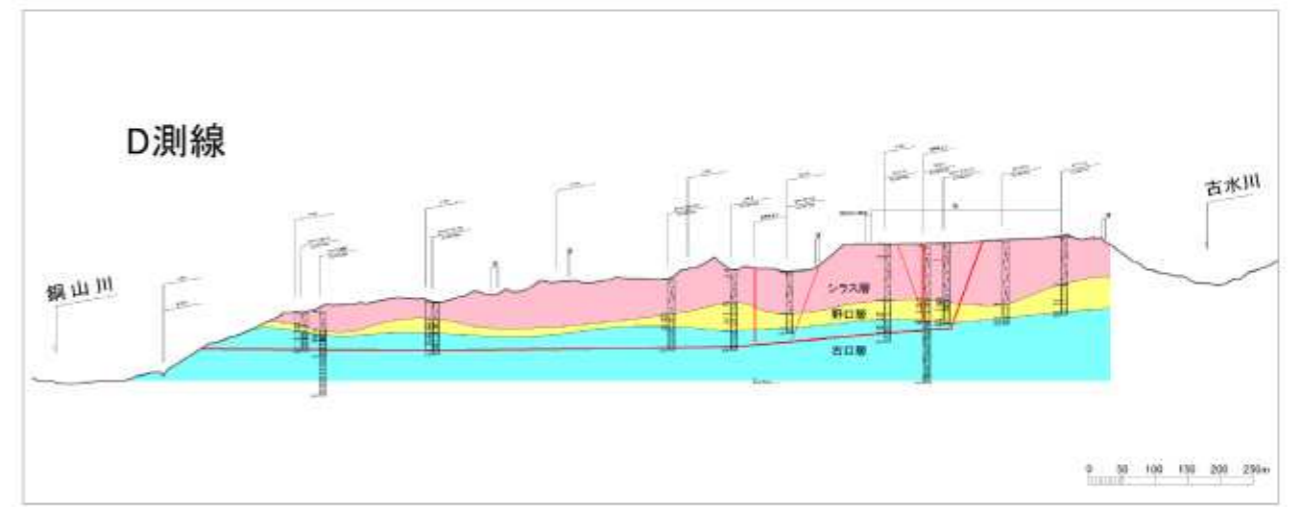


図 3. 2. 2 D 測線縦断面図（主測線）

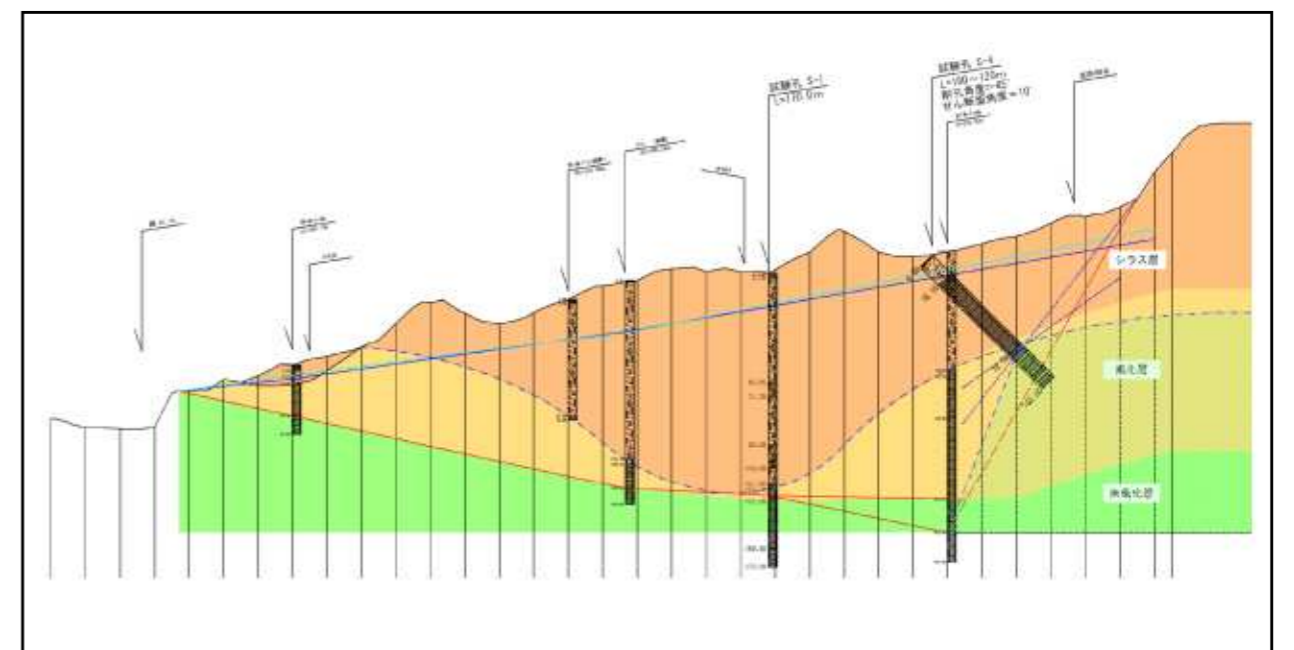


図 3. 2. 3 G 測線縦断面図



図 3. 2.4 すべり面，左は S-5（ボーリングコア），右はトンネル脱出口掘削時の採取された試料

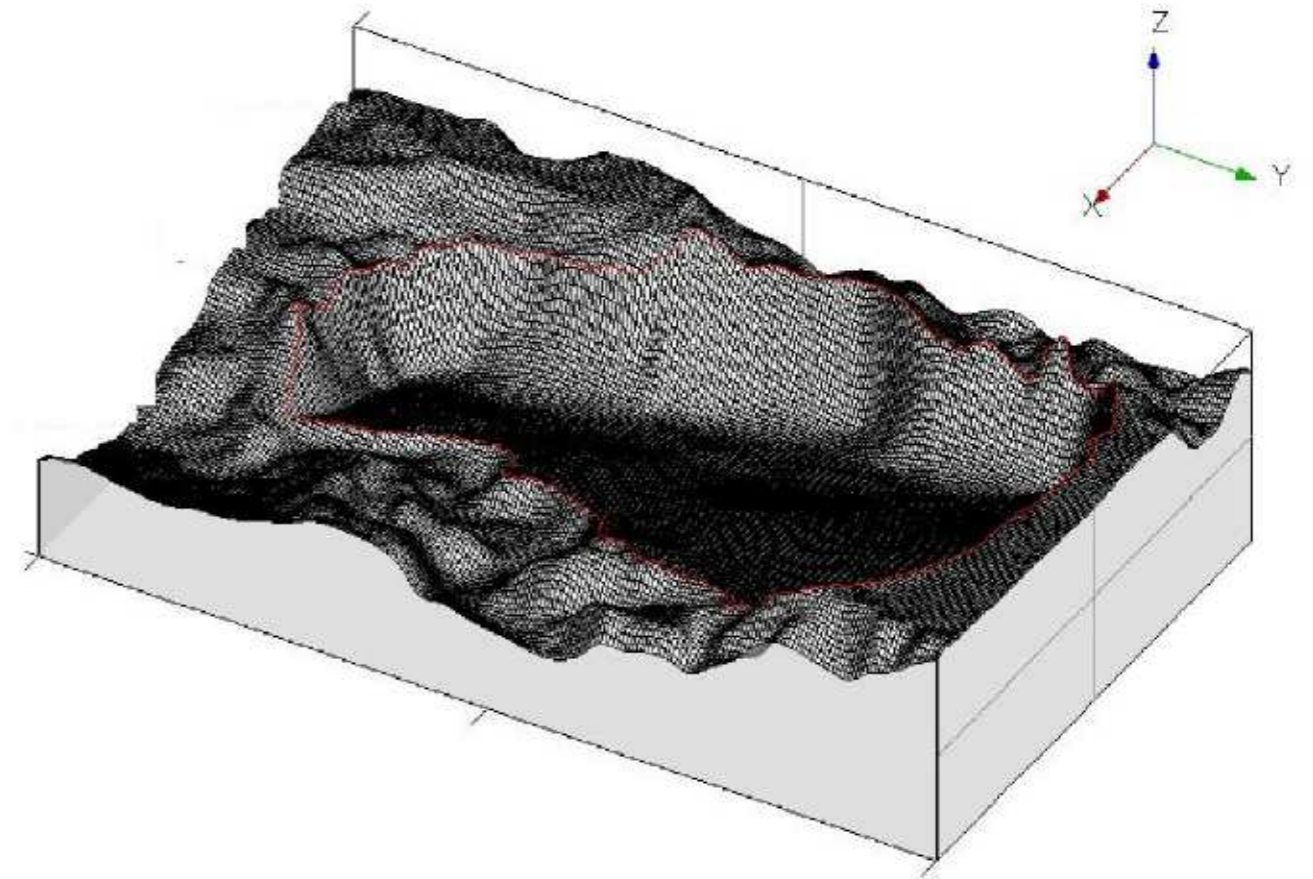


図 3. 2.6 すべり面構造（SWから鳥瞰）

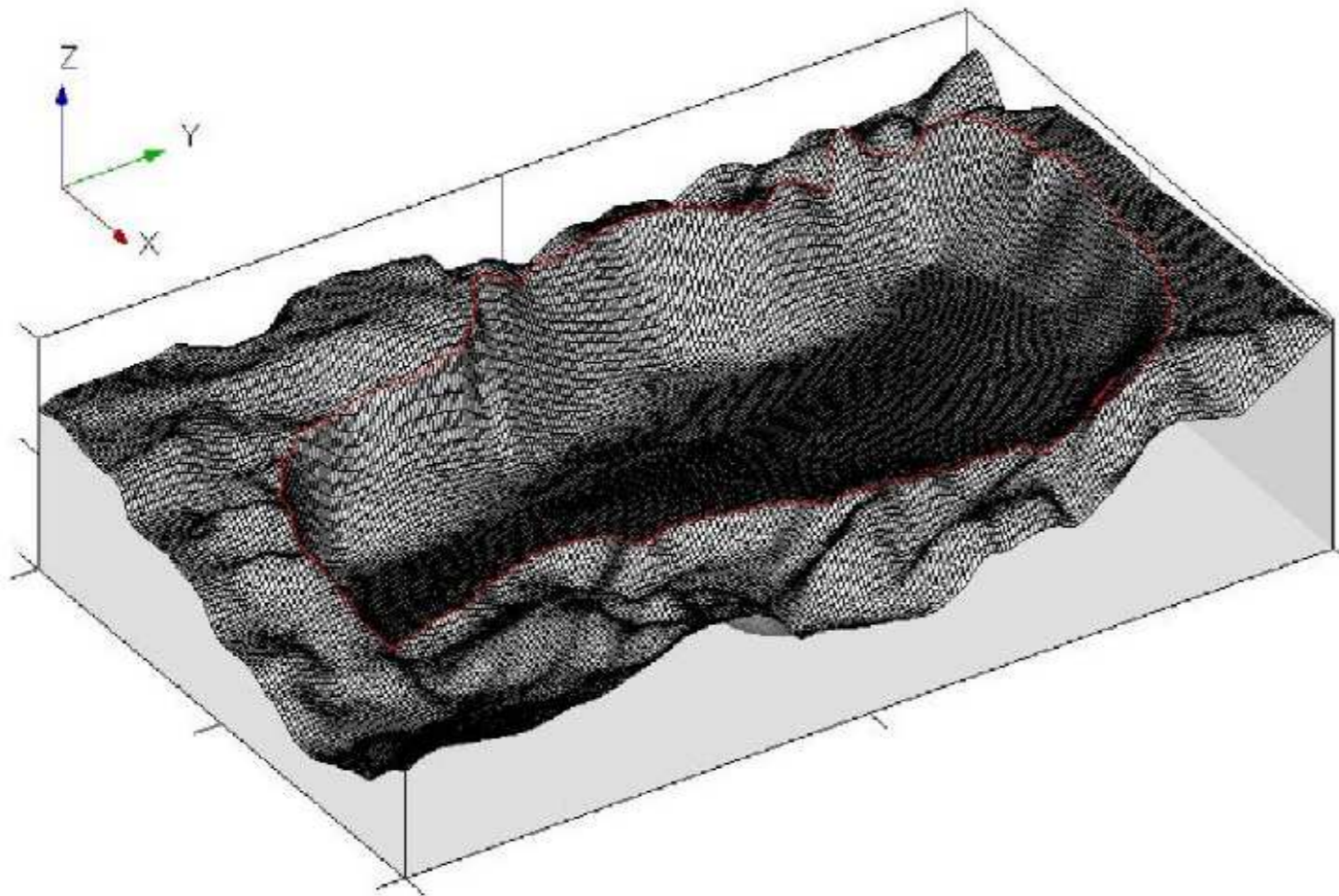


図 3. 2.5 すべり面構造（NWから鳥瞰）

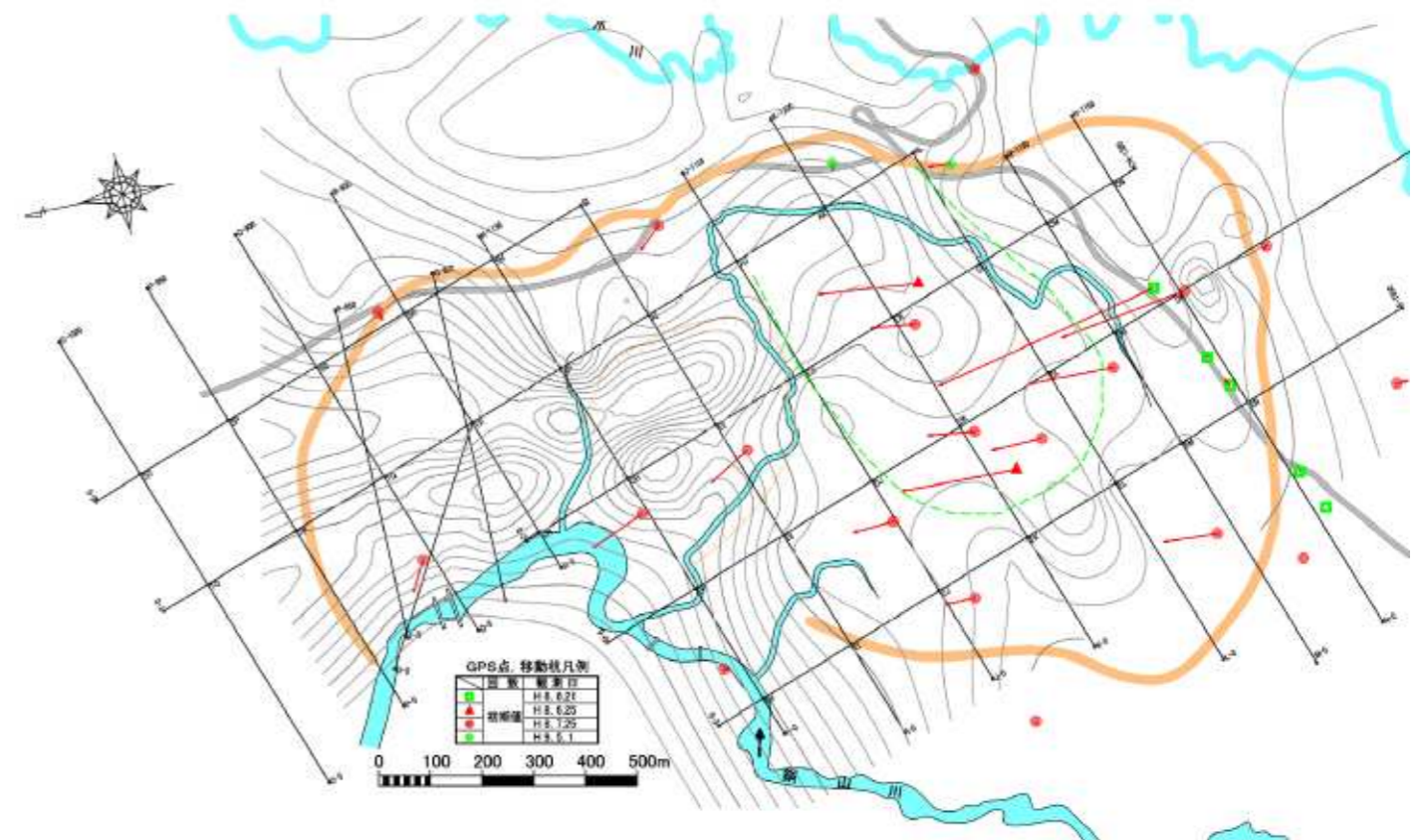


図 3. 2.7 旧地表面等高線図

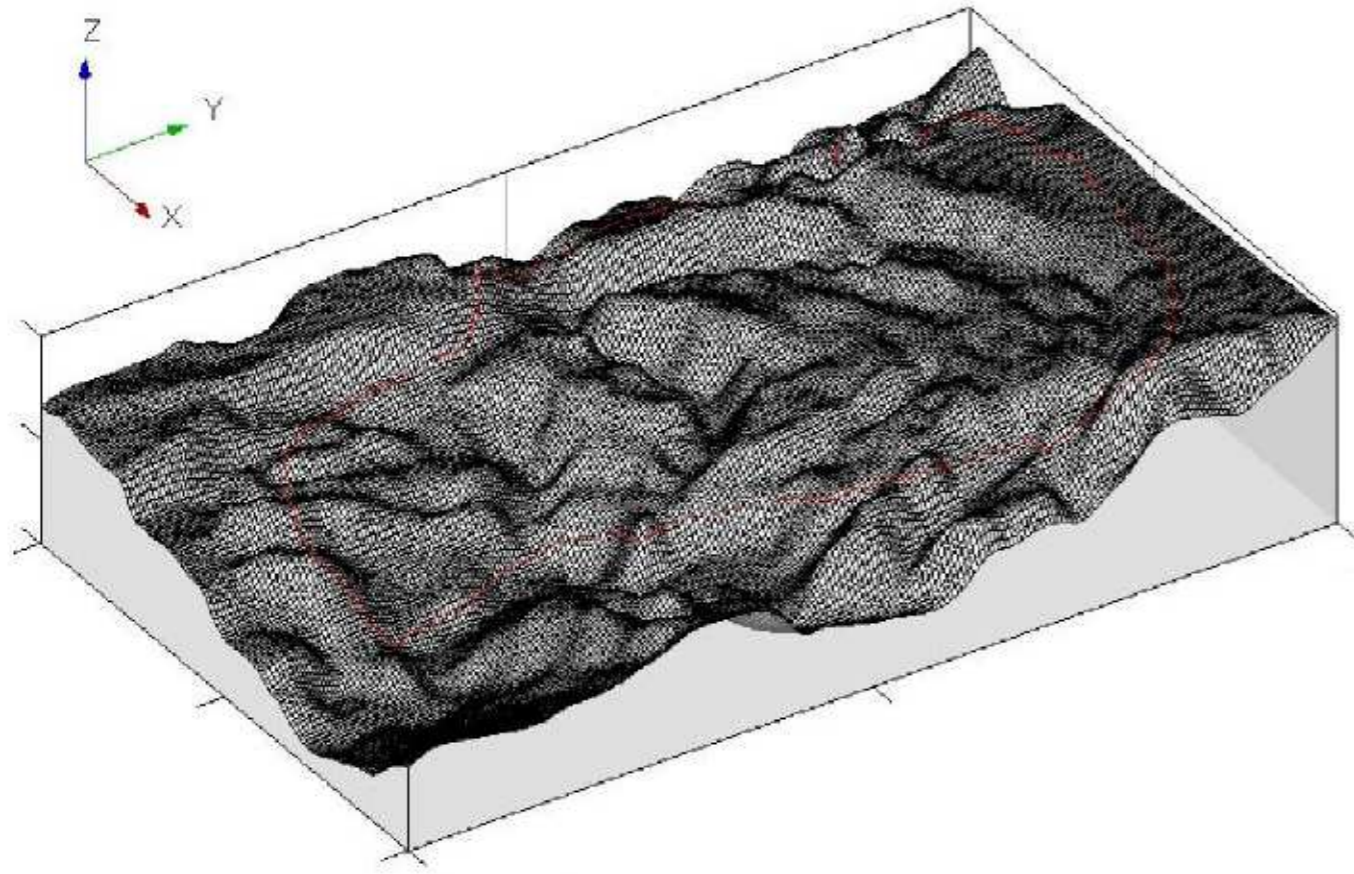


図 3. 2.8 地表面三次元モデル

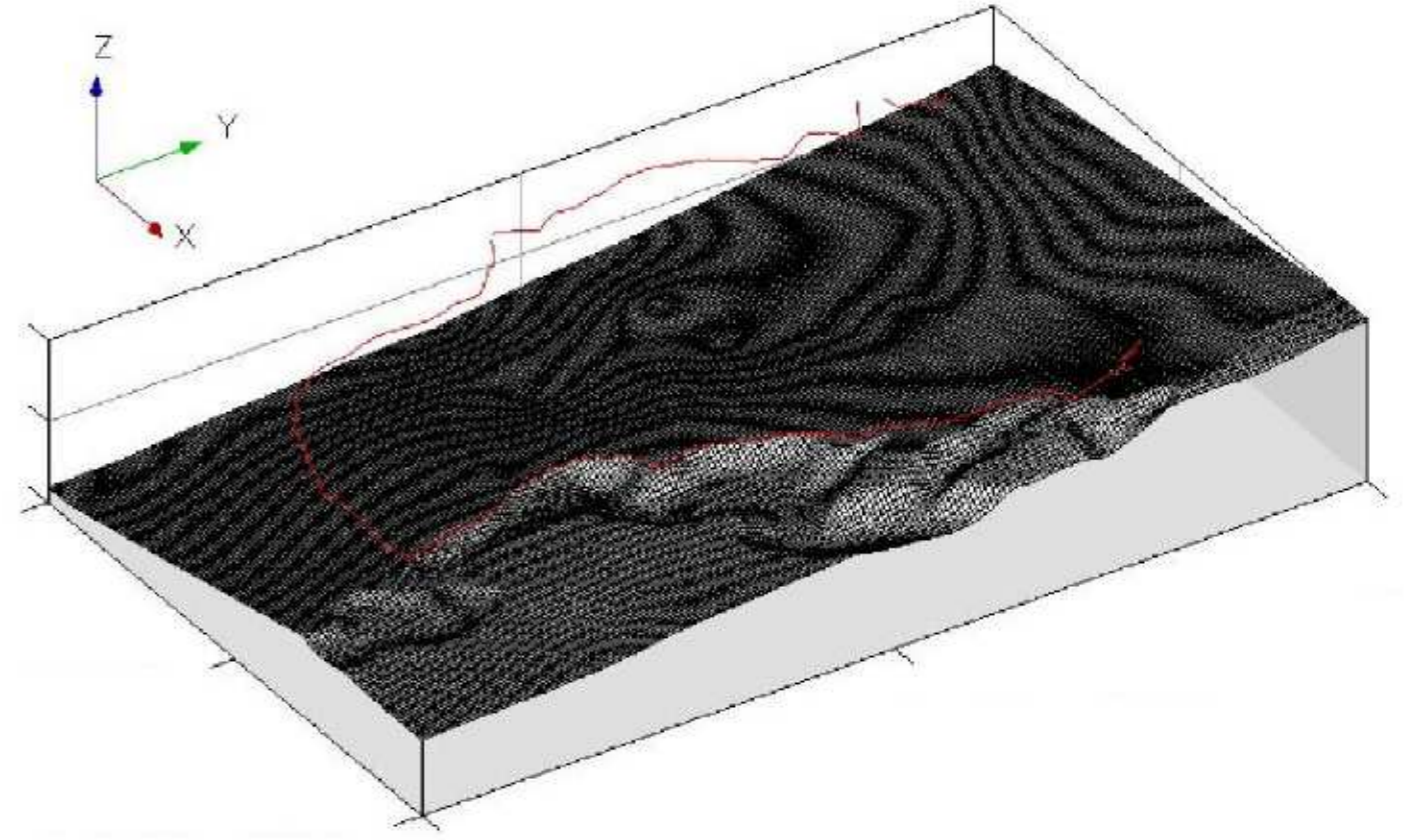


図 3. 2.10 古口層上面の三次元モデル

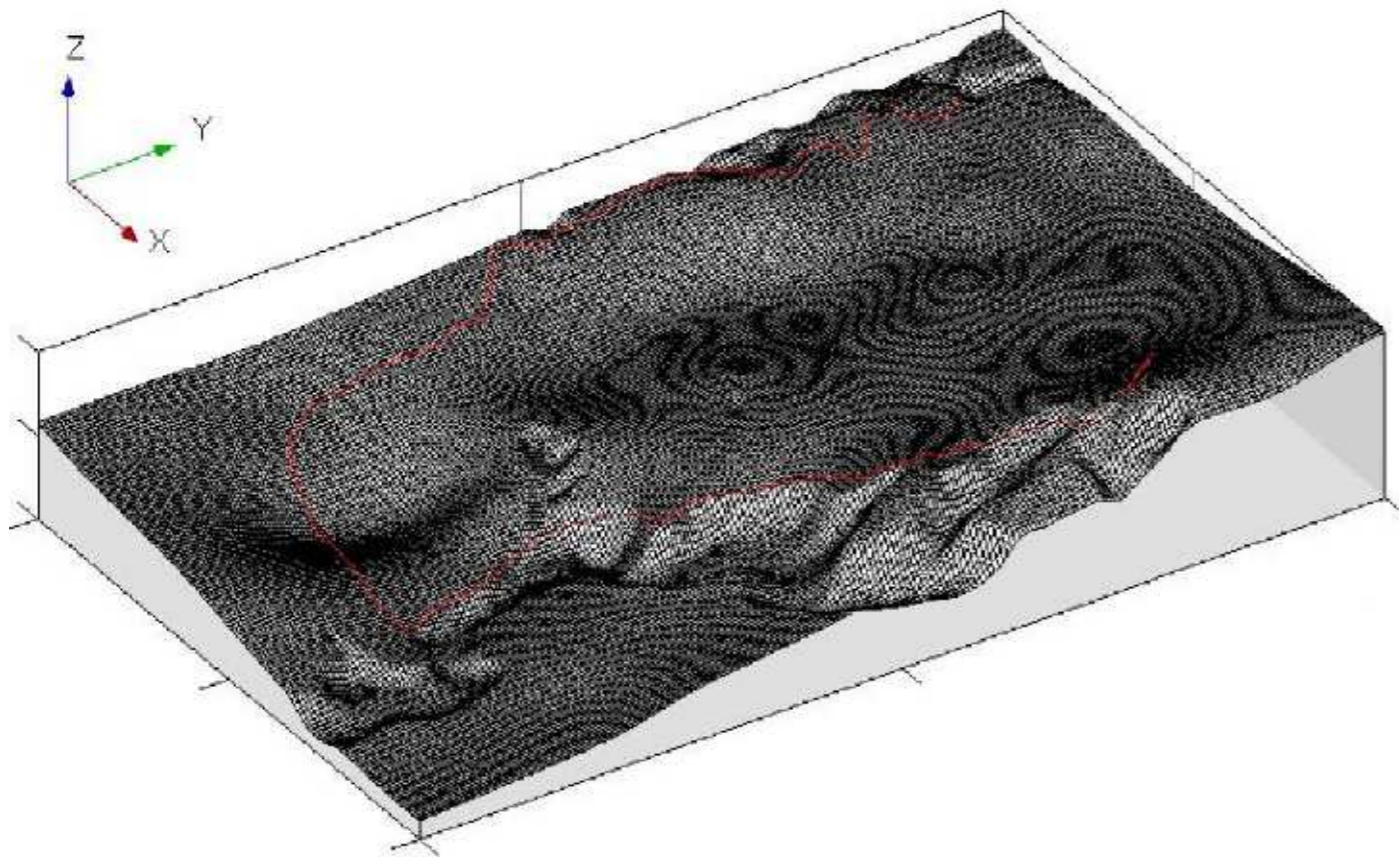


図 3. 2.9 旧地表面（シラス底面）三次元モデル

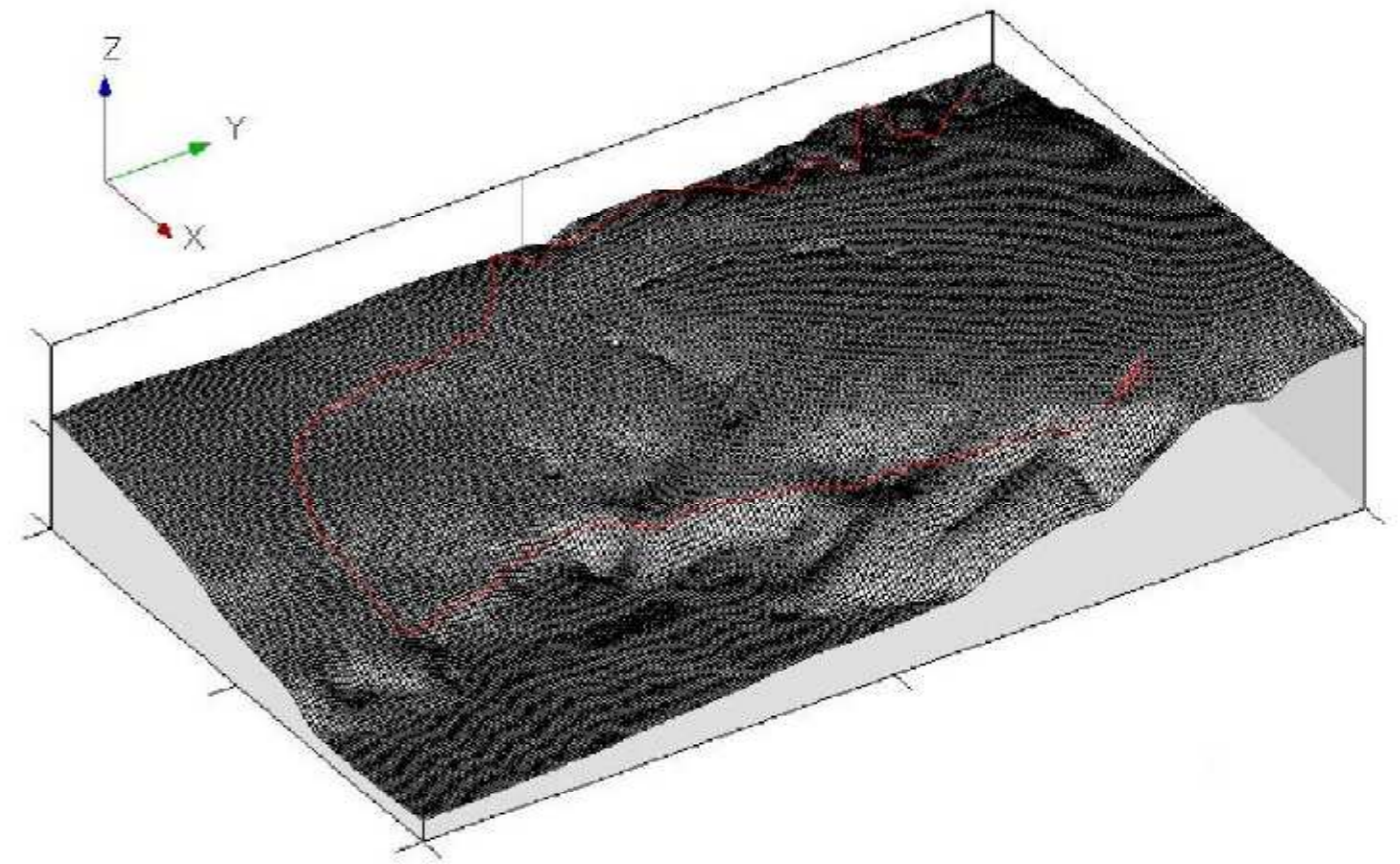


図 3. 2.11 水位面三次元モデル



### 3. 3 対策工計画と進捗

#### 3.3.1 全体ブロックの対策工基本方針（平成12年度検討委員会報告書より）

全体ブロックの面積は約130haに及ぶ大規模地すべりであり、地すべり対策工としては、排土工を計画したいところであるが、頭部には国道458号が位置していることから、これを採用できない。

また、地すべり推力が $337,954\text{kN/m}^2$  ( $34,450\text{tf/m}^2$ : C測線上)と膨大であることから直接に抑止工を導入することは不可能であり、地下水排除工を計画する。

また、すべり面深度も170m (C測線頭部)に及ぶことから、地表からの地下水排除はなし得ず、排水トンネルによることになる。

地すべり頭部付近では、シラス底面(旧地表面)が集水地形をなし、シラス層内には極めて優勢な地下水の賦存が確認されている。

この付近では第三紀層内もシラス層内と同一の水文条件となることから、層内の破砕が進行していると考えられる。

すべり面以深は新鮮な砂質泥岩層であり制限床となりうる。シラス層内に賦存する地下水は、第三紀層内のキレツを介して、すべり面と連続することになり、下方のすべり面に対して、間隙水圧として作用する地すべり機構が考えられている。

よって、対策工は陥没帯付近での集約的な地下水排除が必要となる。

地すべり規模の大きさとすべり面の偏りによるトンネル坑口の規制から、排水トンネル延長は長大となり、地すべり頭部に排水トンネルが到達するまでには、長時間を要するため、排水トンネルの到達を待った建上げボーリング、落とし込みボーリングでは早期の安定を図ることはできない。

したがって、早期に地すべりを安定化させるために揚水ポンプにより地下水を強制的に排除する「強制排水工」を応急の対策とし、排水トンネルの到達を待って、建上げボーリング、落とし込みボーリングを施工する計画である。

しかし、陥没帯下流壁位置の浅層部はシラスで構成されることから、下流壁全体が不透水壁とはならず、一般の岩盤すべりとは機構を異にするため、陥没帯位置のみでの地下水排除効果は制限されることになり、地下水排除工ラインの段数を増やすことで対応することになる。

これまでの調査結果からは、I拡大ブロックの滑動後に全体ブロックが滑動する機構が考えられるが、両ブロック間の境界は明瞭ではなく、滑動のタイムラグがあるがあまり長くはない。

したがって、両者の対策は平行して進めることが必要と考えられる。

対策工を考えると水頭の高い位置での地下水排除工が効果的と考えられるため、地すべり頭部付近、右側壁部での地下水排除計画としたいが、東に傾斜したすべり面形と地形条件から、トンネル坑口位置とトンネルルートとの制限を受け、全体ブロック右側壁側にはトンネルを配することはできない。

したがって、右側壁側では強制排水工しか採用し得ず、自然排水を確保することはできない。

また、トンネルルートはすべり面下の安定した岩盤中に設置することが条件であり、基幹となるルートは十分に安全を確保し得るルートとし、基幹ルートの東側(すべり面の深くなる方向)へは支線ルートで対応する必要がある。

対策工は地下水排除工を主体とする他はないが、「間隙水圧の分布」、「旧河床面の流路の復元」、「地下水の賦存状況」といった調査結果が対策工に反映されるべきである。

既設強制排水工の稼働率の偏りも生じており、トンネル線形、落とし込み・建上げボーリングの配置、優先順位等の詳細検討が必要である。

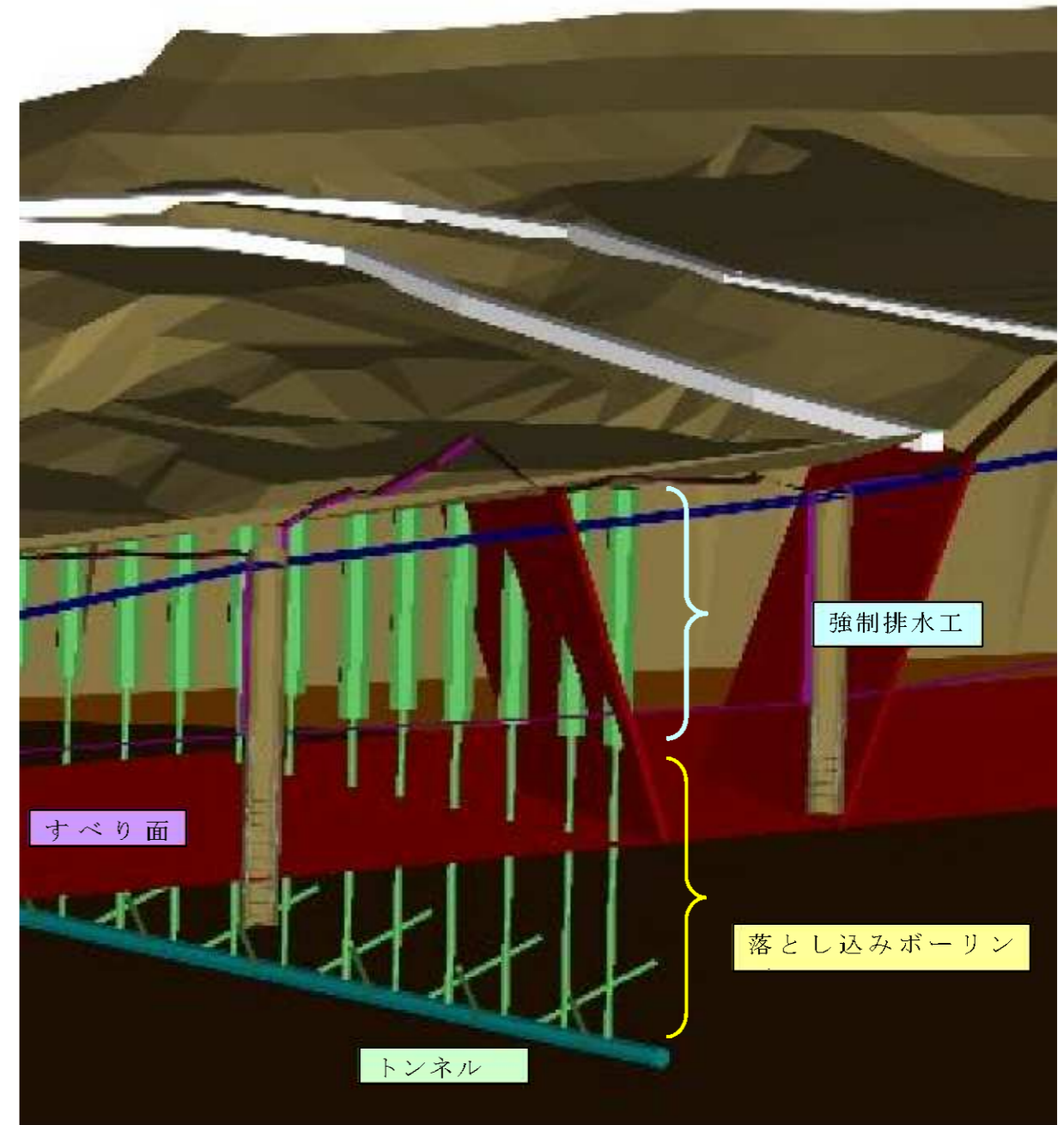


図 3.3.1 強制排水工—トンネル—落とし込みボーリングのイメージ図

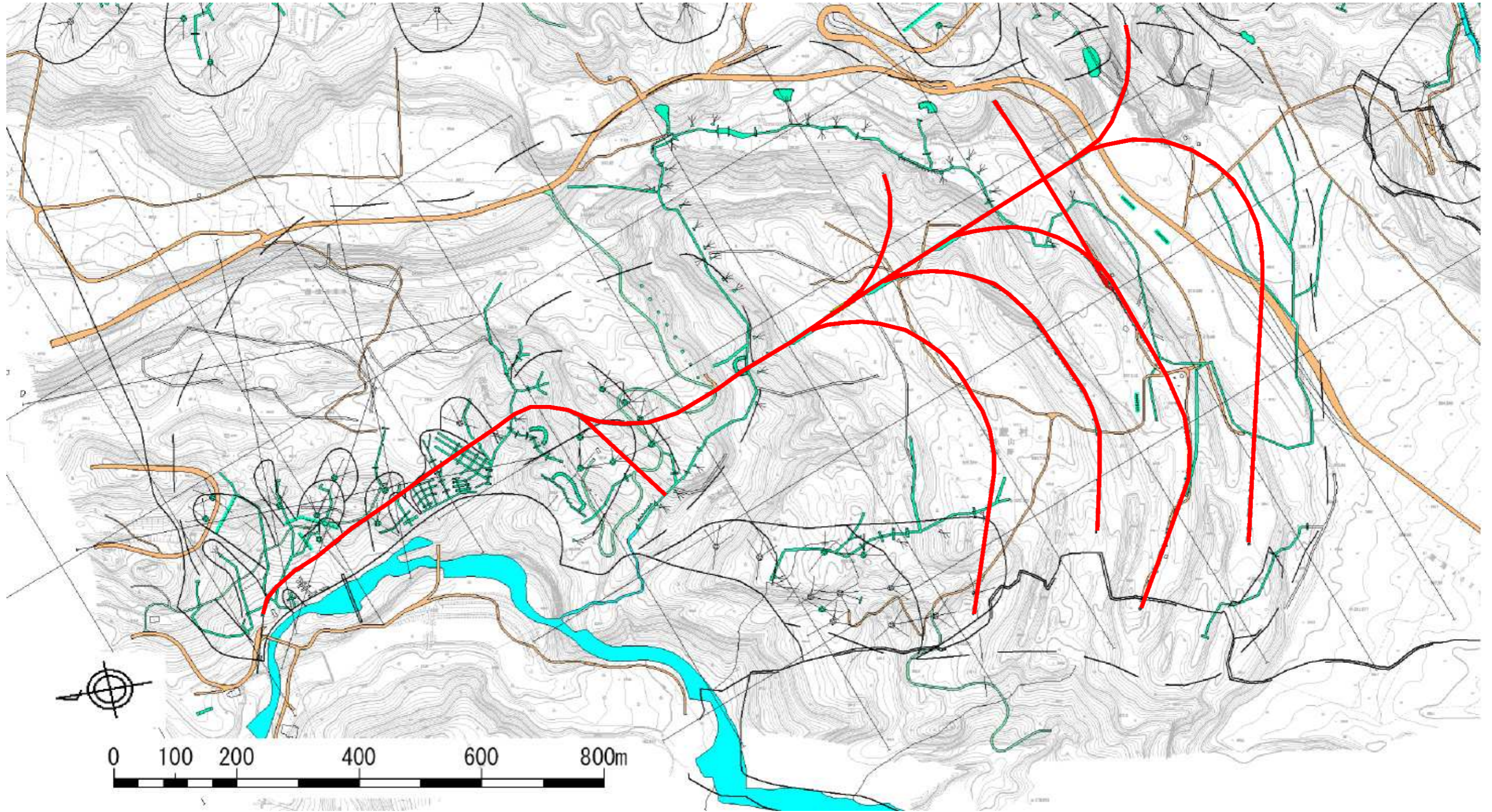


図 3. 3.2 全体ブロック工事計画平面図



図 3. 3.3 安全率のフローと現状の近似三次元解析による安全率

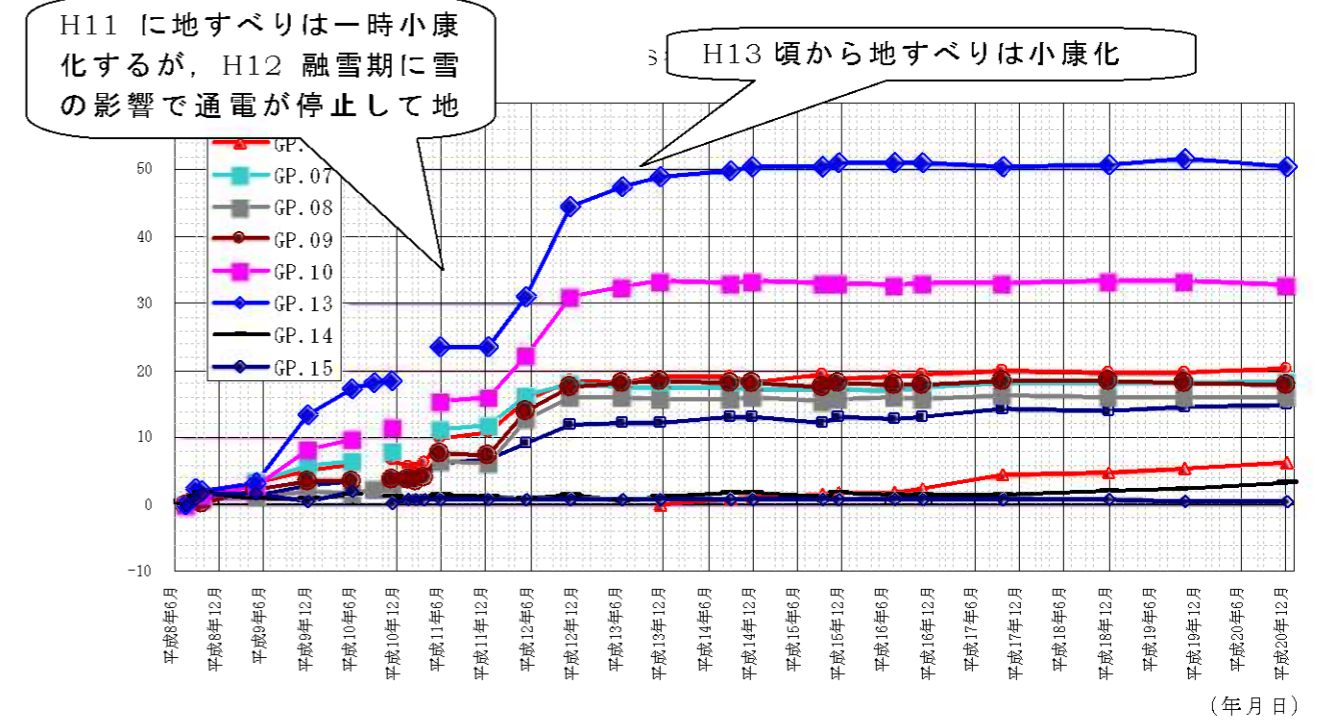


図 3. 3.4 GPS 観測結果の推移

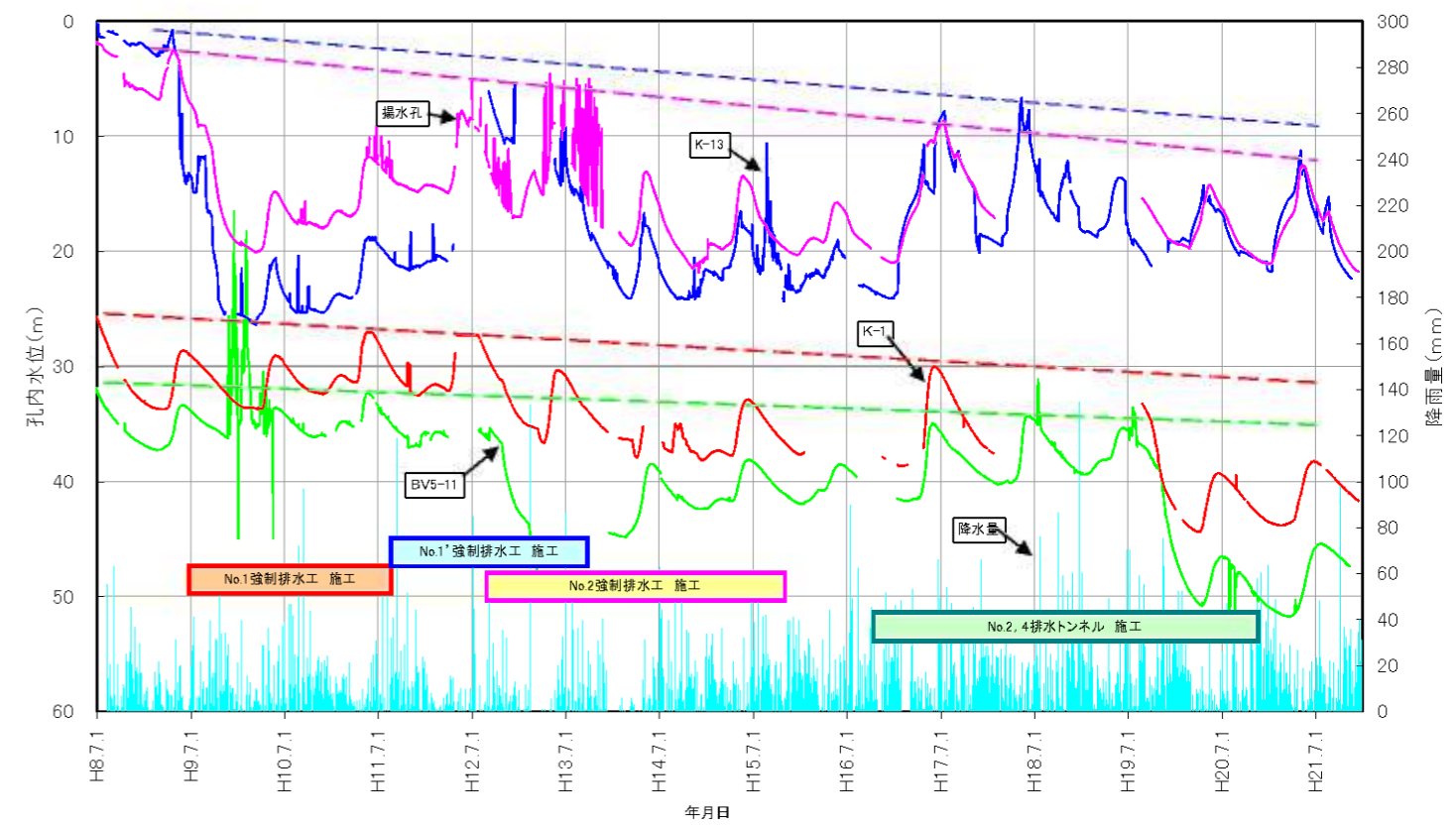


図 3. 3.5 地下水位の経年変動と工事進捗の関係

#### 4. 安定解析手法の検討

(平成 21 年度地すべり対策調査「大規模地すべり地における地下水排除効果と長期安定性の評価調査より)

##### 4.1 検討した安定解析式の概要

用いた 4 つの安定解析式の概要を説明する。

###### 4.1.1 簡易ヤンプ式 (二次元安定解析)

簡易ヤンプ式は非円弧すべりに対応する安定解析の中で、最も実用的で簡易な式であり、使用実績も多い。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum W \tan \alpha + Q} \sum \frac{c'b + (W - ub) \tan \phi'}{n_\alpha} \dots (4.1.1)$$

$$n_\alpha = \cos^2 \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F) \dots (4.1.2)$$

- W : 土塊重量
- Q : 冠頭部亀裂に働く水圧等の水平外力
- α : 水平面からの傾き
- f<sub>0</sub> : 修正係数
- c' : 粘着力
- φ : 内部摩擦力
- b : 細片の幅
- u : 細片に働く平均間隙水圧

ここに、f<sub>0</sub> : 修正係数で、次式で近似

$$f_0 \cong \left( 50 \frac{d}{L} \right)^{1/33.6} \dots (4.1.3)$$

ただし、d/L ≤ 0.02 以下では f<sub>0</sub> = 1.0  
d/L の測り方は図 4. 1.1 参照

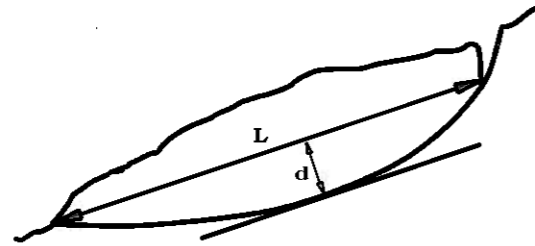


図 4. 1.1 d/L の測り

L : 舌端部と冠頭部亀裂の深さの点を結んだ直線長  
d : L と、L に平行でかつすべり面に接する直線との間の距離

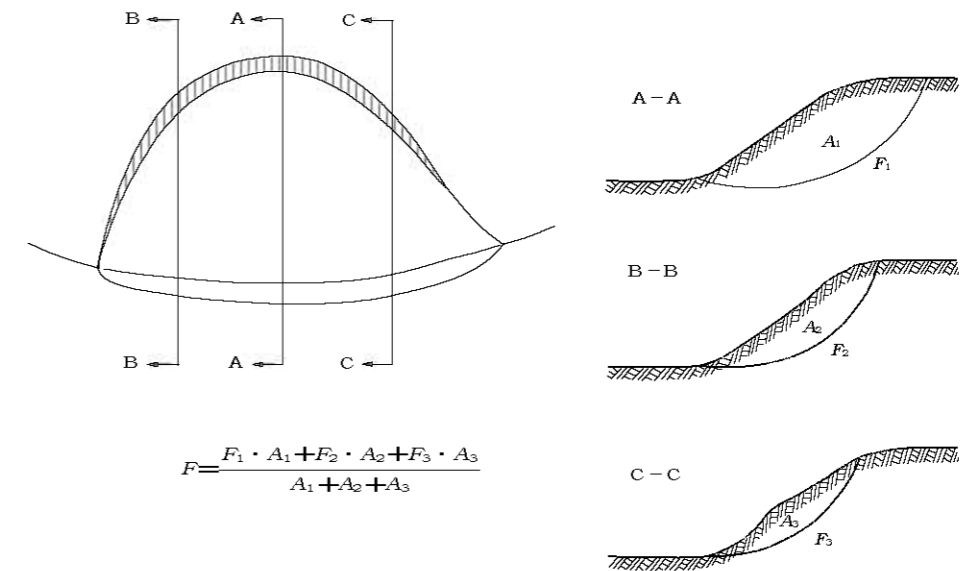
###### <自由地下水対応ヤンプ式>

自由地下水対応の簡易ヤンプ式は次式で表される。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum (W \tan \alpha + \Delta U_e) + Q} \sum \frac{c'b + (W - ub) \tan \phi'}{n_\alpha} \dots (4.1.4)$$

##### 4.1.2 ラム・フィットマン法 (近似三次元安定解析) + 簡易ヤンプ式

Lambe-Whitman (ラム・フィットマン) は、図 4.1.2 に示すように、各二次元安定解析断面での安全率 F と断面積 A を用い、式 (4.1.5) をもって近似三次元安全率とすることを提案している。



(a) 地すべり平面図 (b) 異なる断面上での安全率

図 4.1.2 三次元効果の近似的とり扱い (ラム・フィットマン法)

$$F_{3D} = \frac{A_1 \cdot F_1 + A_2 \cdot F_2 + A_3 \cdot F_3}{A_1 + A_2 + A_3} \dots (4.1.5)$$

- ここに、F<sub>3D</sub> : 三次元安全率の近似値
- F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> : 二次元解析による安全率
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> : 同上における断面積

##### 4.1.3 三次元簡易ヤンプ法 (鵜飼の式)

図 4.1.3 は鵜飼 (1987~1989) で取り扱っているコラム (土柱) に作用する内力である。鵜飼が提案している三次元簡易 Janbu 法では、それらの内力の合力が図 4.1.4 に示す仮想の面 (B 面) に作用すると仮定して、全てのコラムの水平力の釣り合いと鉛直力の釣り合いにより、3次元安全率を求めている。

安定解析式は式 (4.1.6) と式 (4.1.7) に示す。二次元の簡易ヤンプ式とは全く異質の式である。式中に導入されている横断方向の合力の角度に関する係数 η は通常ゼロに近い値となり、それを η = 0 とした場合、水平方向の釣り合い式のみで安全率が算出可能となり、より簡易な解析式となる。

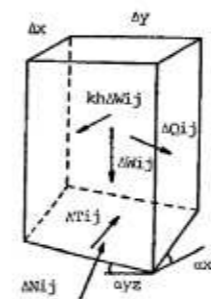


図 4.1.3 コラムに作用する内力

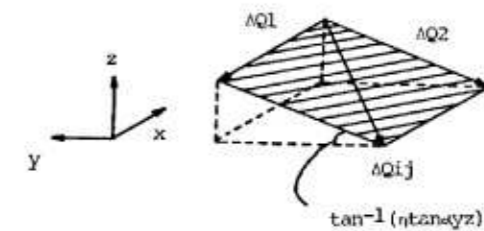


図 4.1.4 内力の合力と作用方向 (簡易ヤンプ法)

(鉛直方向のつり合い式)

$$F = \frac{1}{\sum W} \sum \left[ c \cdot \eta \cdot \sin \alpha_{xz} \tan^2 \alpha_{yz} \Delta x \Delta y + W \left( \frac{F}{J} + \sin \alpha_{xz} \tan \phi \right) \right] / m_a \quad \dots (4.1.6)$$

(水平方向のつり合い式)

$$F = \frac{1}{\sum (\tan \alpha_{xz} + K_h) W} \sum \left[ \frac{c \cdot \frac{1 + \eta \cdot \tan^2 \alpha_{yz} \cos^2 \alpha_{xz} \Delta x \Delta y + \left( \frac{\tan \phi}{\cos \alpha_{xz}} + \eta \cdot F \frac{\tan \alpha_{xz} \tan^2 \alpha_{yz}}{J} \right) W}{m_a}}{J = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha_{xz} + \tan^2 \alpha_{yz}}} \right] \quad \dots (4.1.7)$$

ここに、  
 $m_a = \frac{1 + \eta \cdot \tan^2 \alpha_{yz}}{J} + \sin \alpha_{xz} \frac{\tan \phi}{F}$

W : コラムの自重

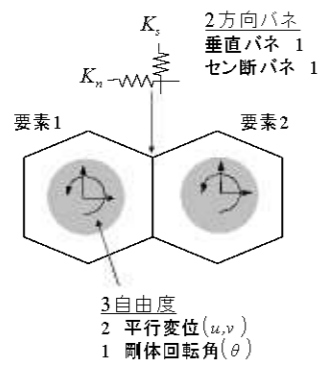
$\alpha_{xz}$  : xz面におけるすべり面勾配

$\alpha_{yz}$  : yz面におけるすべり面勾配

c : 粘着力,  $\phi$  : 内部摩擦力,  $K_h$  : 水平震度係数,  $\eta$  : 各コラムで同一の未知数

#### 4.1.4 剛体バネモデル (三次元 RBSM 解析)

##### 二次元力学モデル



##### 三次元力学モデル

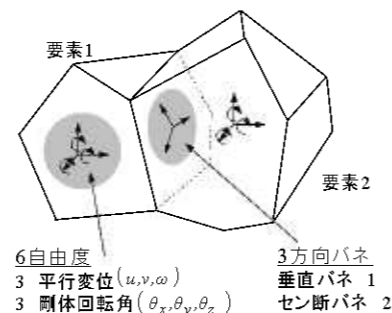


図 4.1.5 剛体・バネモデルの三次元模式図

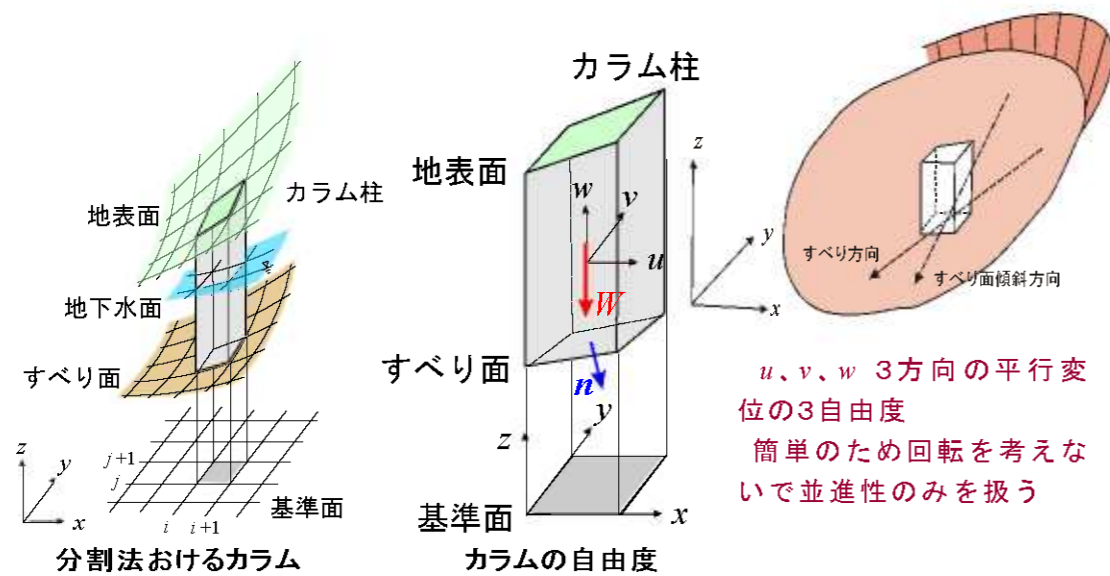
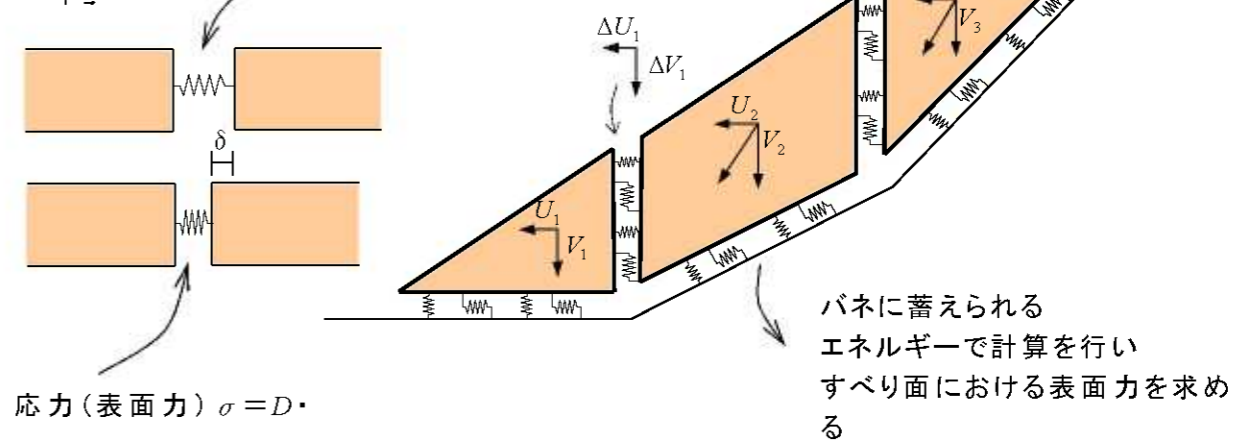


図 4.1.6 三次元モデルのコラム

#### (a) 剛体バネモデル

$D(\lambda)$  というバネ剛性があると仮定



応力(表面力)  $\sigma = D \cdot \delta$

#### (b) ヤンプ法

ヤンプ法はスライスが変位できない。

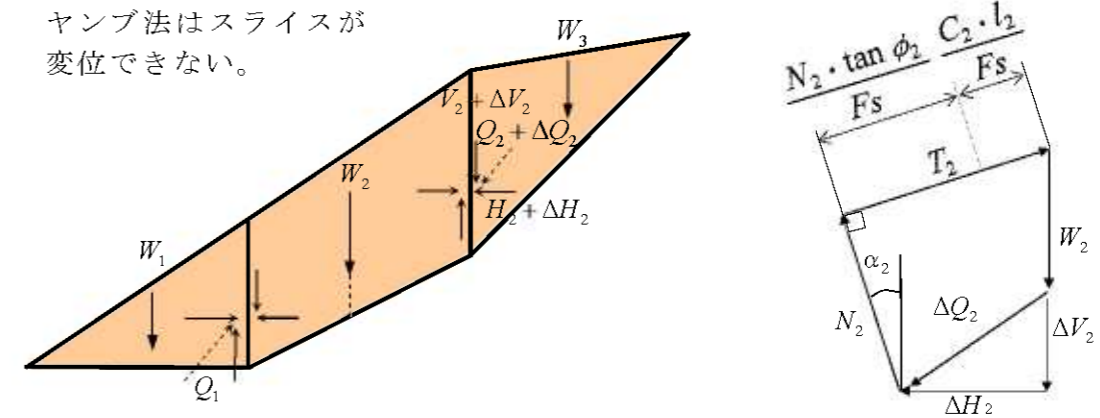


図 4.1.7 剛体バネモデル (RBSM) とヤンプ法の違い (二次元の場合)

#### 4.2 安定解析式の適用

表 4.2.1 地すべりの地形要因と適用可能安定解析式一覧表

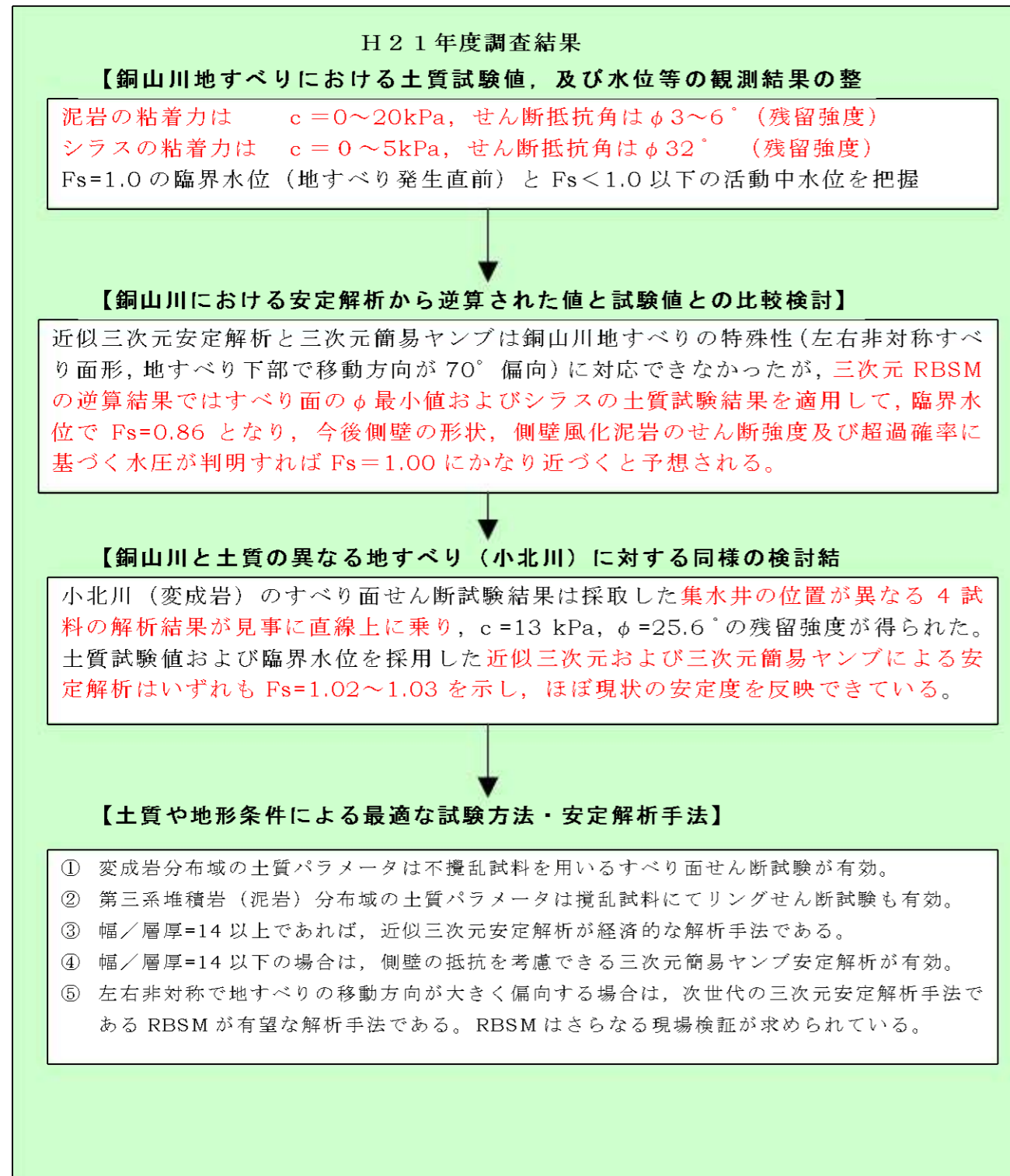
すべり面の横断形	地すべりの移動方向	適用安定解析式			
		二次元簡易ヤンプ	近似三次元簡易ヤンプ (二次元断面面積重み付)	三次元簡易ヤンプ (解析方向は直線)	三次元RBSM (微小変位と歪み表示可能)
左右対称	移動方向直線	○	○	◎	◎
	末端移動方向変化小	△	○	○	◎
	末端移動方向変化大	×	△ 測線配置に工夫必要	×	○
左右非対称	移動方向直線	×	○ 測線配置に工夫必要	◎	◎
	末端移動方向変化小	×	△ 測線配置に工夫必要	○	◎
	末端移動方向変化大	×	△(×の場合もある) 測線配置に工夫必要	×	○ or △ 側壁形状による
解析費		小	中	大	大+

## 5. 銅山川地すべりの長期安定性評価

### 5.1 評価手法に関する調査結果（平成21年度検討結果）

平成21年度までに得られた評価手法に関する結果を一覧として表5.1.1に示す。

表 5.1.1 評価手法に関する検討と結果のフロー



## 5.2 銅山川地すべりの長期安定性評価

### 5.2.1 評価の方針

#### 銅山川側壁部の抵抗力を加味した安定解析と超過確率水位の採用による長期安定性評価

銅山川地すべりでは、すべり面の横断方向での左右非対称性、移動方向がブロック途中で転向するといった特徴があるが、従来の安定解析（二次元解析、近似三次元解析）ではこの現象を評価できない。

移動方向の転向には側壁の三次元形状と地質に応じた抵抗力が関与すると考えられ、この評価を取り入れた安定解析手法の採用が必要である。そこで三次元安定解析（RBSM）、及び銅山川の現行計画の策定で用いられている近似三次元安定解析で検証する。

また、銅山川地すべりの長期安定性を評価するために、三次元浸透流解析により超過確率水位分布の評価を加味した検討を行う。

このためには、すべり面の三次元構造（抵抗域である側壁形状と位置）の正確な把握と地質に応じたすべり面のせん断強度特性（ $c'$ 、 $\phi'$ ）の把握とともに、その妥当性の検討が必要である。

地すべりの長期安定性評価には、そのつど変化する降雨（融雪）量によるのではなく、ある確率年に応じた地下水供給条件による必要があると考え、水収支は「確率年に応じた供給」と「実排水量から得られる地下水排除工+自然湧水のコンダクタンス（排水のしやすさ）」の比較としての評価を試み、この超過確率水位分布を前述の安定解析に反映させる。

上記により、計画地下水排除工効果の定量的評価を行い、妥当性の高い地下水排除工計画の基礎とする。

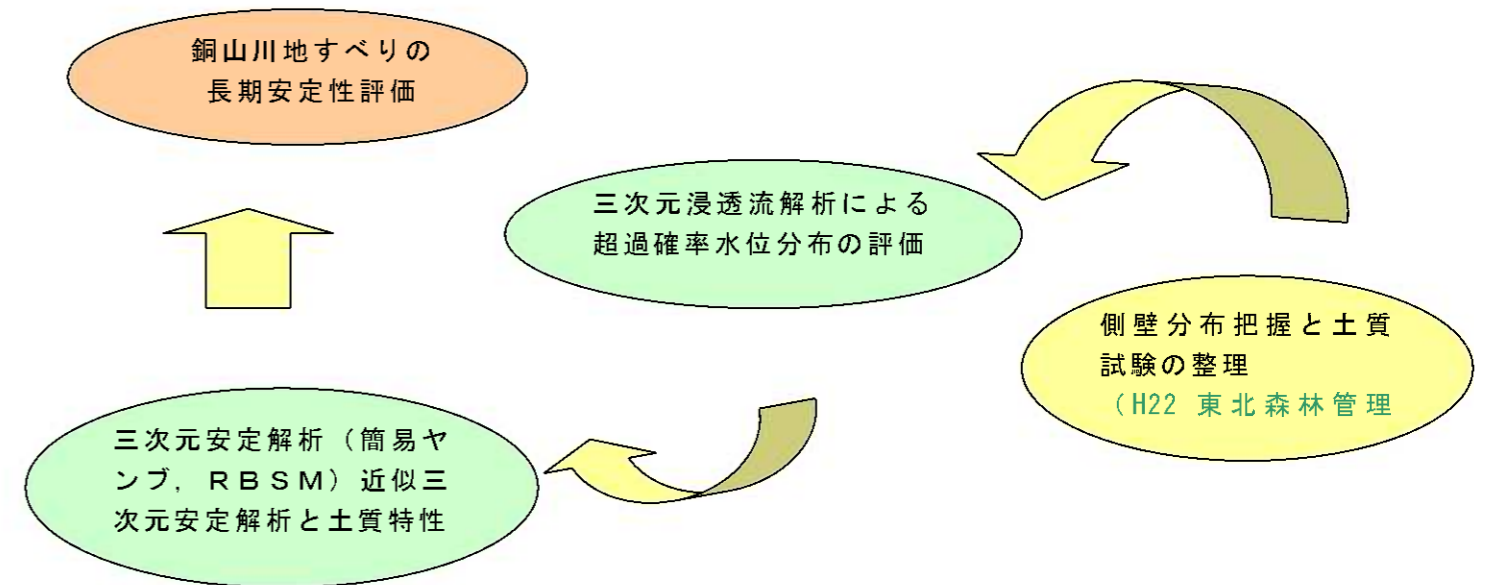


図 5.2.1 検討の模式図

## 5.3 平成 22 年度検討結果（中間段階）

### 5.3.1 銅山川地すべりにおける土質特性（すべり面，側壁）及び水位等の観測結果の整理

#### 【銅山川地すべりの特徴】

銅山川地すべりは，山形県最上郡大蔵村肘折温泉の北東約 3 km，一級河川銅山川の右岸部に位置し，斜面長 1.3km，幅 1.1km，最大すべり面深度 180m，平均すべり面深度が 90m を越えるという活動中（地下水排除工により平成 13 年から鎮静化）の地すべりとしては日本最大級の地すべり地である（図 5. 3. 1，図 5. 3. 2 参照）。

地すべり移動体の形状は，図 5. 3. 3 に示すようにすべり面が右岸側に向かって深くなるという典型的な左右非対称のすべり面横断形を示し，しかも移動方向が地すべり地の下部で大きく転向（N から WNW）するという特異な移動形態を示している（図 5. 3. 1 参照）。

図 5. 3. 4 に示すようにすべり面は，泥岩上面に薄層（1～2 mm）として形成され，すべり面には膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトが多く含まれている。すべり面には地すべりの移動方向を示す地すべり擦痕が形成され，粘土鉱物の定向配列が完了している（残留強度状態）ため，鏡肌を示す。

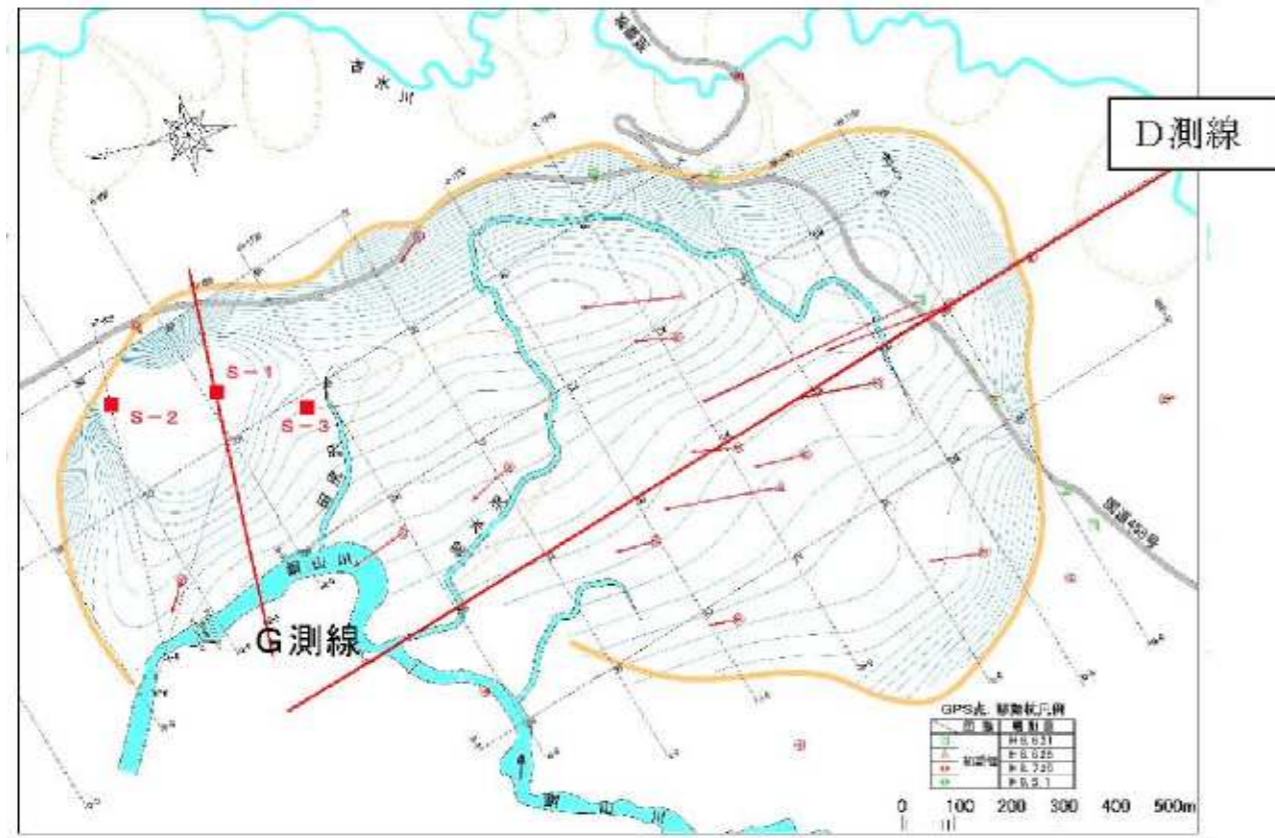


図 5. 3. 1 GPS 累積変動量とすべり面等高線

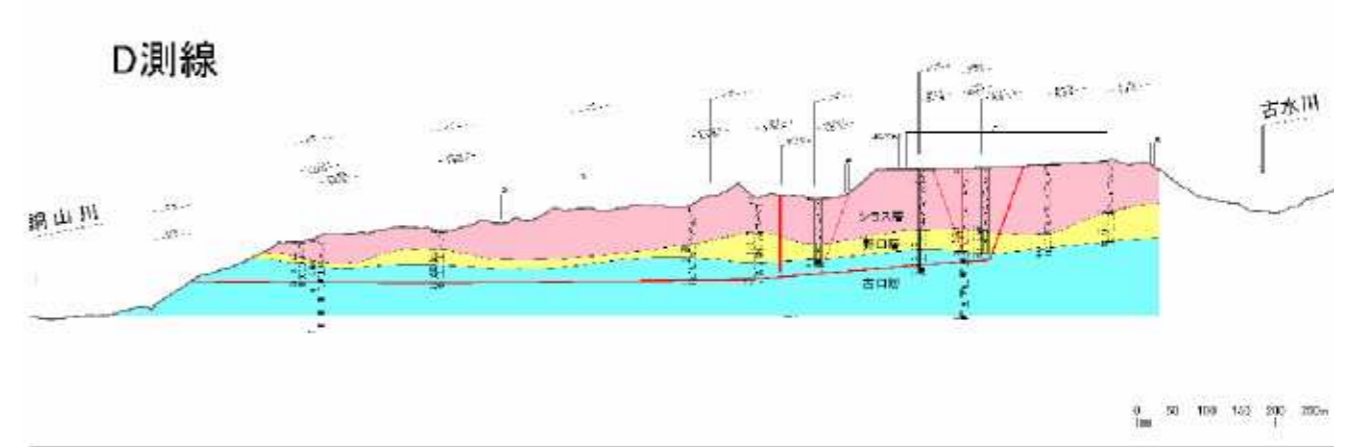


図 5. 3. 2 主断面図（D 測線）

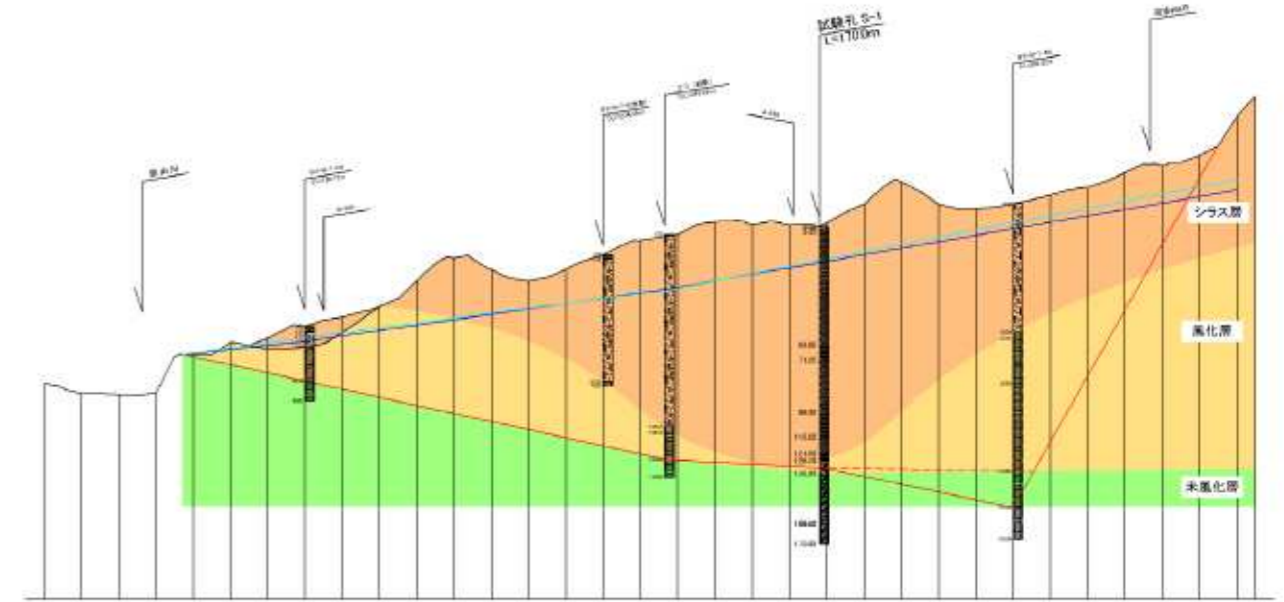


図 5. 3. 3 地すべり下部の横断面図（G 測線）

具体的な調査項目を以下に示す。

#### 1) 地すべり機構の整理

- ① 地すべり末端の屈曲をもたらす原因（側壁の抵抗力，大きな間隙水圧の存在の有無）の解明。
- ② 三次元地質構造の把握（右側壁～末端部にかけて位置と形状（角度））
- ③ すべり面等高線の検討（三次元安定解析に反映させる）

#### 2) 土質試特性（リングせん断試験，すべり面の直接せん断試験）の整理

- ① 側壁（火砕流堆積物と泥岩）のせん断強度整理
- ② 主すべり面のせん断強度把握



図 5. 3.4 ボーリングコアで採取された泥岩上面のすべり面 (S-1 主すべり面)

表 5. 3.1 すべり面せん断試験, リングせん断試験結果

試料名	採取深度 (GL-m)	試料状態	残留強度		試験種
			$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ (°)	
S-1	128.57	粒度未調整(不攪乱)	1.79	3.45	すべり面せん断試験
S-2	151.39	粒度未調整(不攪乱)	0.00	14.63	すべり面せん断試験
S-3	104.97	粒度未調整(不攪乱)	19.39	5.69	すべり面せん断試験
S-1,S-2,S-3	-	75 $\mu$ m以下粒径分			リングせん断試験
側壁(シラス)	地表	2mm以下粒径分	0.00	32.09	リングせん断試験

表 5. 3.2 すべり面せん断試験, リングせん断試験結果

試験実施年度	採取場所	土質	深度 (m)	力学特性							
				すべり面せん断試験			リングせん断試験				
				試験時の試料状態	$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ (°)	試験時の試料状態	完全軟化強度		残留強度	
				$c_p'$ (kPa)	$\phi_p'$ (°)	$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ (°)				
HI6	ボーリングコア	シラス	30~31				シラス(浅)	0	35.15	2.50	32.60
HI6			31~32				シラス(深)	0	36.09	4.38	32.15
H8	T-1	強風化泥岩	0.2				No.T-1				4.10
H9	B	強風化泥岩	42.5	不攪乱	21.48	3.05	No.B				3.24
H9	D-1	強風化泥岩	21				No.D-1			5.69	10.71
H9	D-2	強風化泥岩	21~22	不攪乱	0	5.90	No.D-2B			12.26	11.81
							No.D-2G			7.35	13.74
H9	D-3	強風化泥岩	23	不攪乱	4.41	7.66	No.D-3			5.00	12.80
							No.D-3S			10.00	13.14

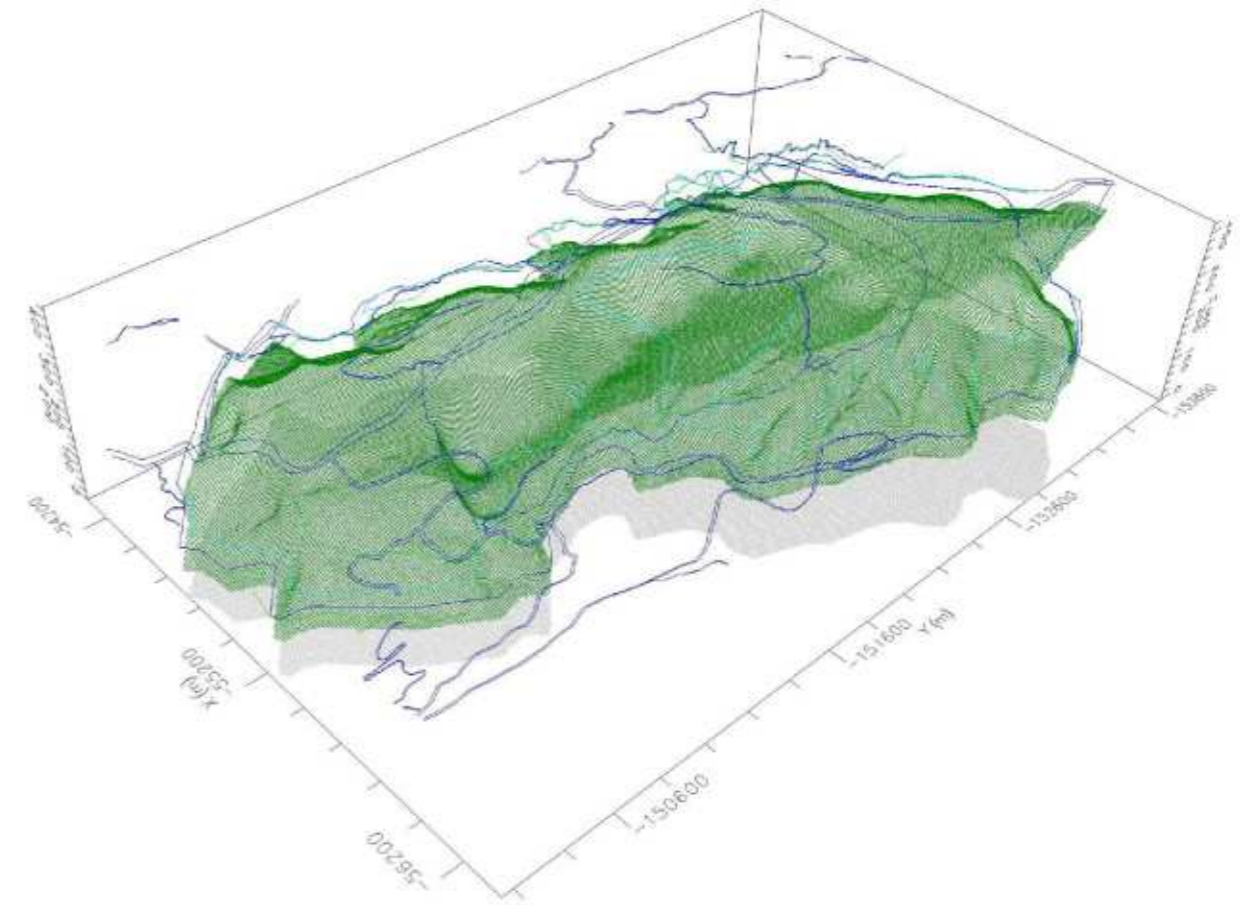


図 5. 3.5 解析領域 (上層下面)

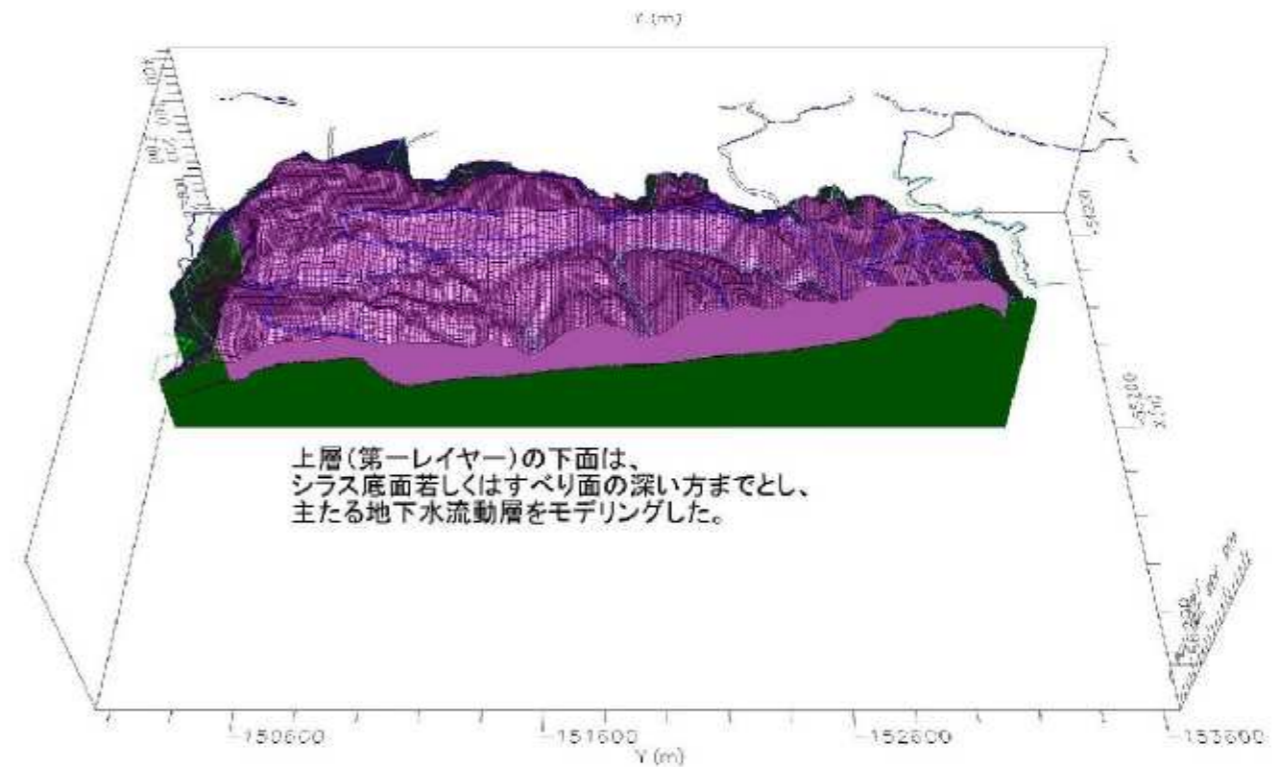


図 5. 3.6 水理定数設定

### 5.3.2 三次元浸透流解析

- ① 三次元水文地質モデルの修正 (実排水量を用いたキャリブレーション, 図 5.3.5, 図 5.3.6, 参照)
- ② 現行・全体計画地下水排除工の設定 (図 5.3.7参照)
- ③ 三次元地下水解析による超過確率水位分布の評価 (図 5.3.9参照)



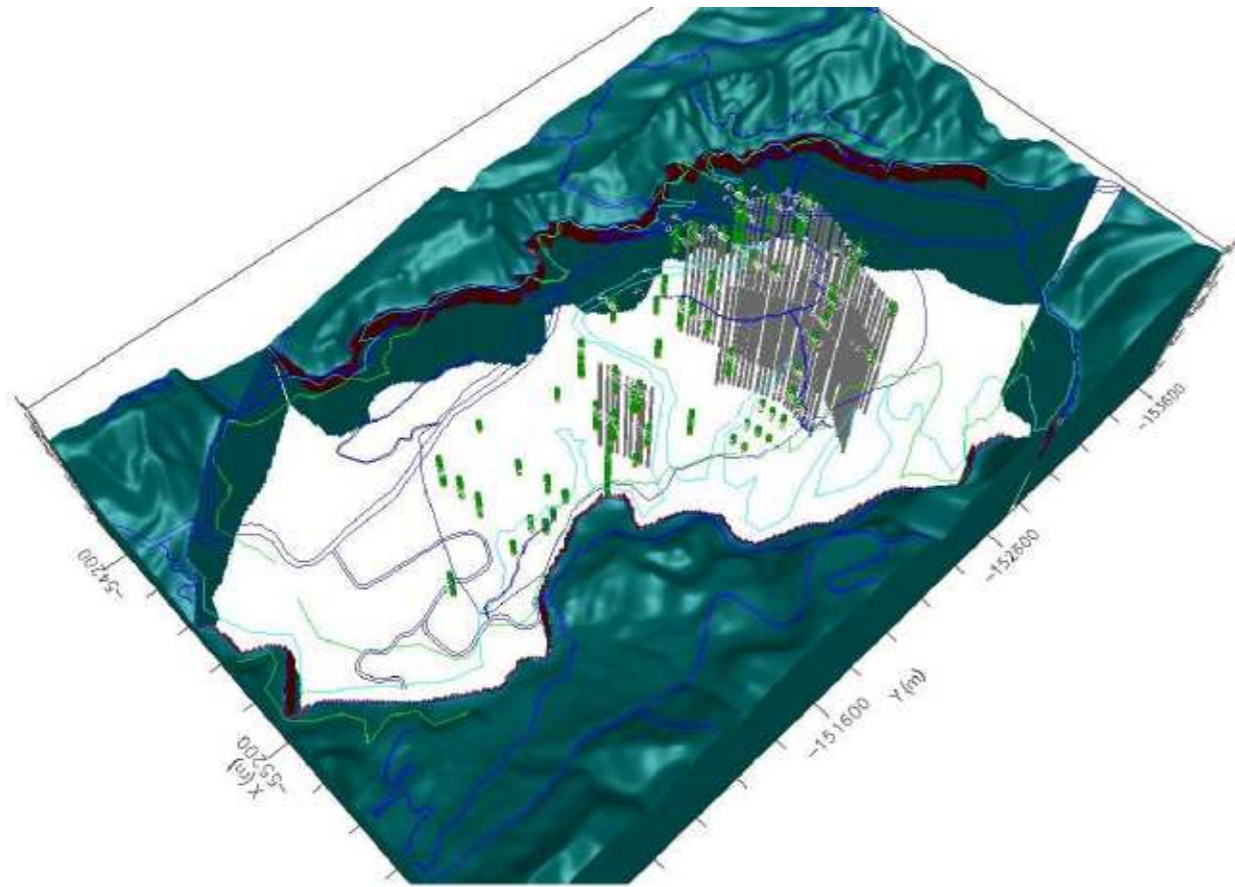


図 5. 3. 7 MODFLOWでの現況排水工設定状況

5. 3. 3 安定解析（臨界水位を  $F_s=1.00$  とした場合の逆算値と土質試験値の評価）

- ① 近似三次元解析（現行計画に超過確率水位を見込んだ場合の長期安全率，側壁抵抗力は未評価，図 5. 3. 9参照）。測線配置および解析の妥当性検討。
- ② R B S M（剛体パネモデル）による解析（超過確率水位を見込むことで長期安定性を評価（側壁の形状把握，側壁およびすべり面の土質パラメータを地質毎に検討し，せん断抵抗の評価，水圧の与え方の考察）

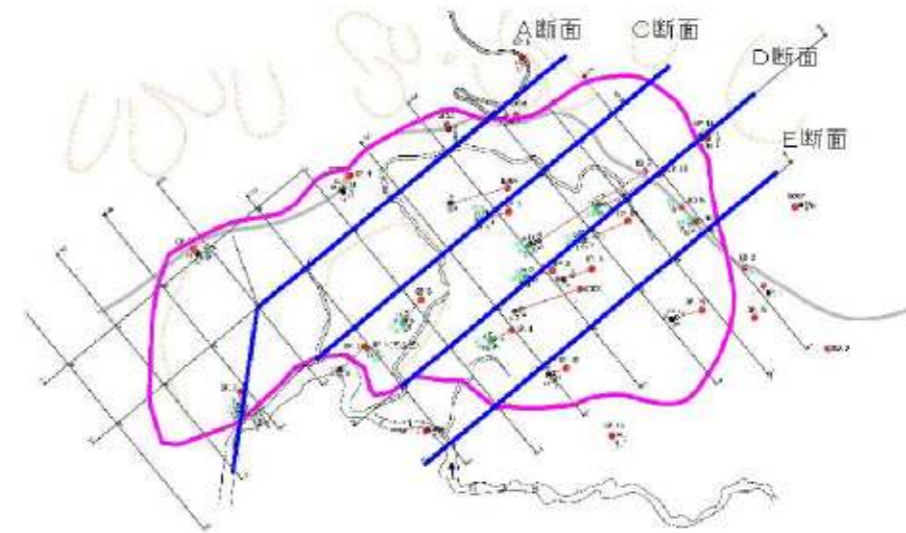


図 5. 3. 9 近似三次元解析の測線配置

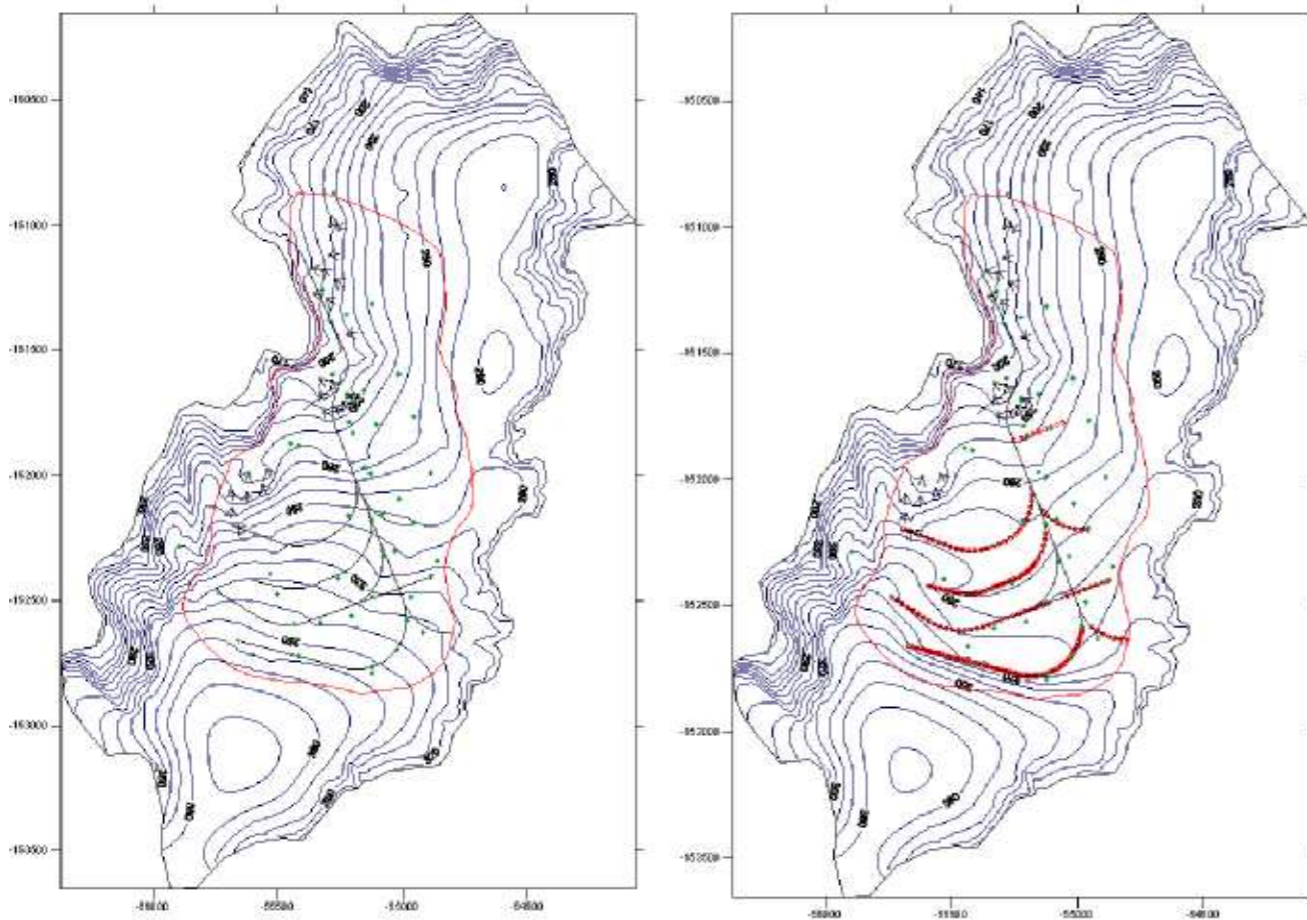


図 5. 3. 8 三次元地下水解析結果

左：対策なし（100年確率涵養条件）

右：現行+将来計画（100年確率涵養条件）資料-26

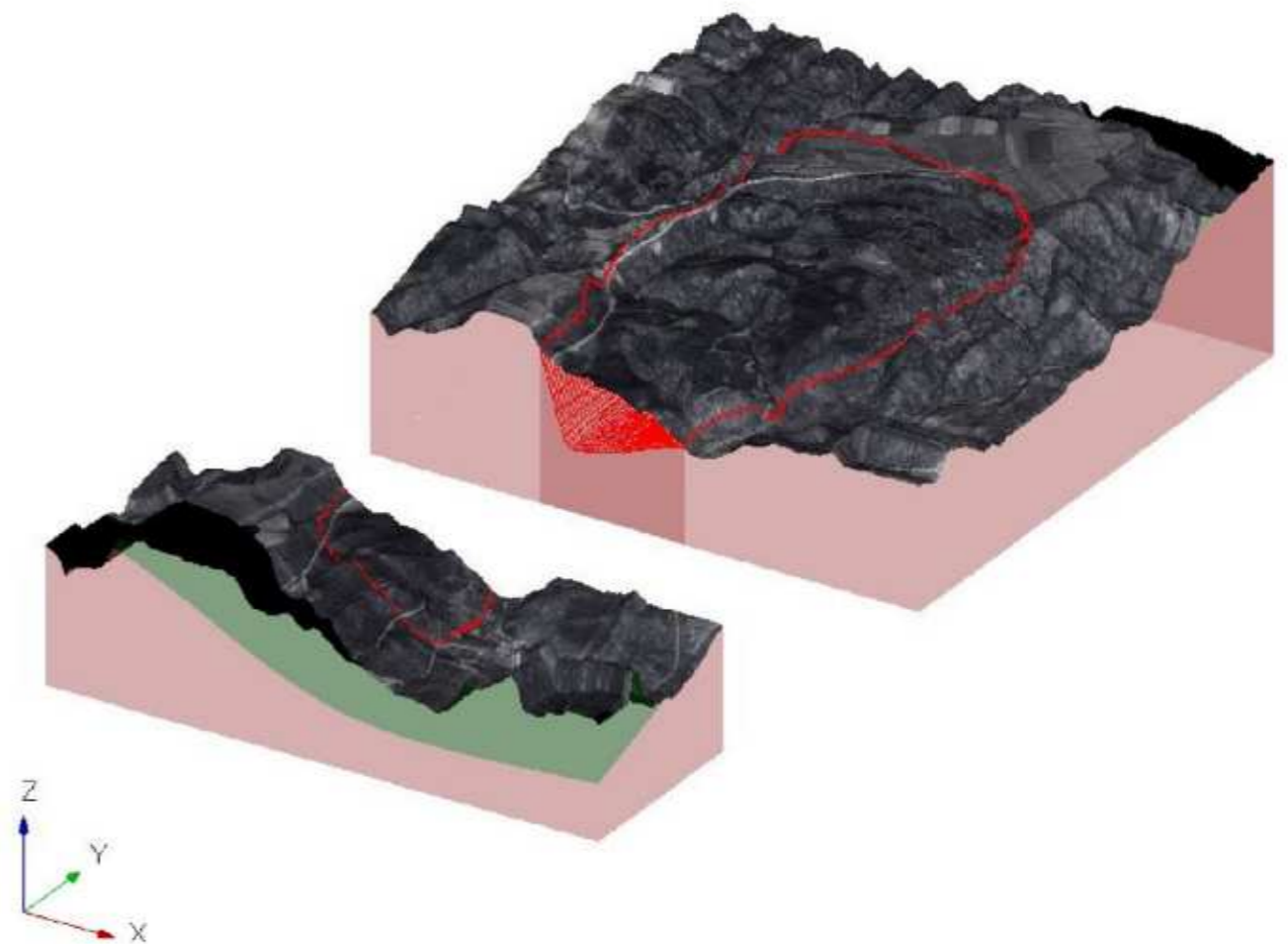


図 5. 3. 10 地形とすべり面の三次元モデル

No.	水位	泥質			シルス			Fs	R	D	α	Lower		Middle		Upper		Lower/Mid		変化																					
		γt	G	φ	γt	G	φ					Fv	α'	Fv	α'	Fv	α'	Fv	α'																						
		kN/m <sup>3</sup>	MPa	°	kN/m <sup>3</sup>	MPa	°			mm	°																														
0	H17臨界水位	19.6	21	3	18.4	900	32	1.000	1,250,936,569.2	1,253,514,604.3	262.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																				
1	現況	H12	19.6	21	3	18.4	900	32	1.113	1,638,411,479.7	1,405,780,962.9	262.0	1.957	71.5	1,456	339.9	0.671	254.0	2,254	25.6	①																				
2																						30年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	1.016	1,298,698,331.6	1,275,726,769.3	263.0	1.346	68.4	1,381	327.8	0.685	255.2	1,938	25.1	②
3																						50年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	1.024	1,267,692,303.4	1,262,247,645.8	263.1	1.228	68.1	1,388	327.7	0.687	255.2	1,930	25.1	
4	100年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	0.990	1,233,276,266.7	1,246,050,451.4	263.3	1.267	67.7	1,350	327.8	0.688	255.2	1,974	24.9																						
5	計画	H12	19.6	21	3	18.4	900	32	1.115	1,632,270,196.4	1,403,500,409.5	261.2	1.960	71.7	1,512	339.8	0.674	254.0	2,272	25.7	③																				
6																						30年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	1.103	1,555,218,866.9	1,409,580,552.7	262.7	1.247	68.5	1,387	327.7	0.680	254.8	1,944	25.2	④
7																						50年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	1.096	1,517,327,278.3	1,391,800,685.5	262.9	1.330	68.1	1,372	327.8	0.671	254.0	1,914	25.1	
8	100年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	1.074	1,474,226,075.8	1,369,586,327.9	263.1	1.308	67.7	1,354	327.9	0.659	255.0	1,977	25.0																						
9	無対策	H12	19.6	21	3	18.4	900	32	0.984	1,212,890,005.1	1,232,326,736.1	262.3	1.548	71.5	1,476	339.9	0.581	255.1	2,231	20.6	④																				
10																						30年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	0.938	1,111,975,430.0	1,183,126,104.8	263.1	1.343	68.3	1,370	327.7	0.540	255.3	1,928	25.1	④
11																						50年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	0.933	1,100,722,058.7	1,179,916,413.8	263.2	1.326	68.0	1,357	327.7	0.537	255.3	1,899	25.0	
12	100年確率	19.6	21	3	18.4	900	32	0.926	1,087,938,509.9	1,173,676,763.8	263.3	1.306	67.6	1,338	327.8	0.534	255.3	1,883	24.9																						

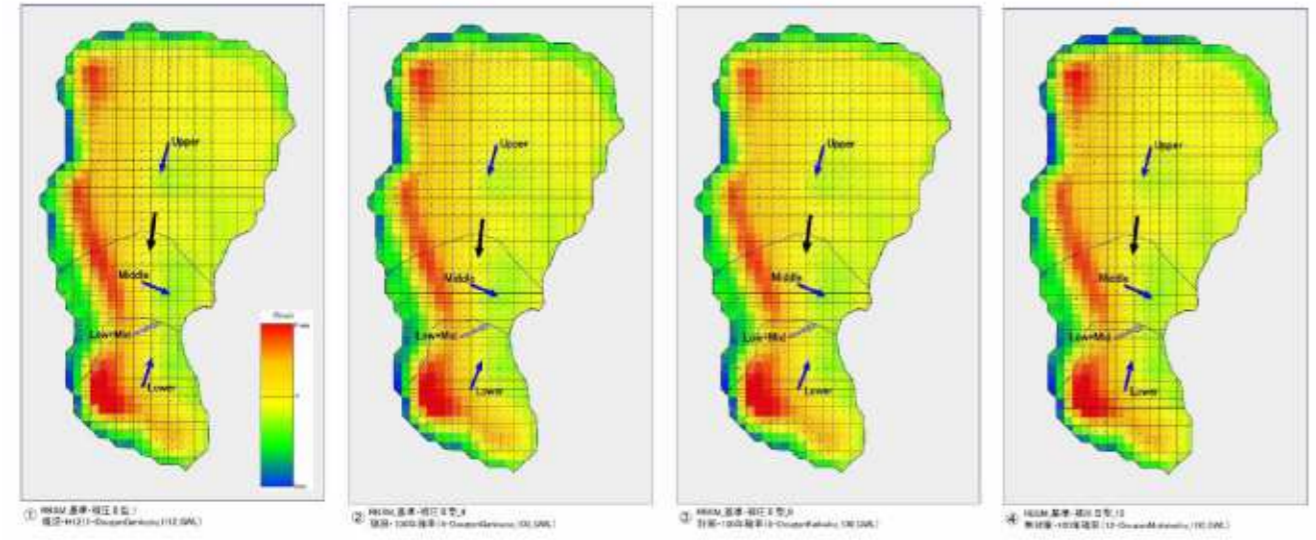
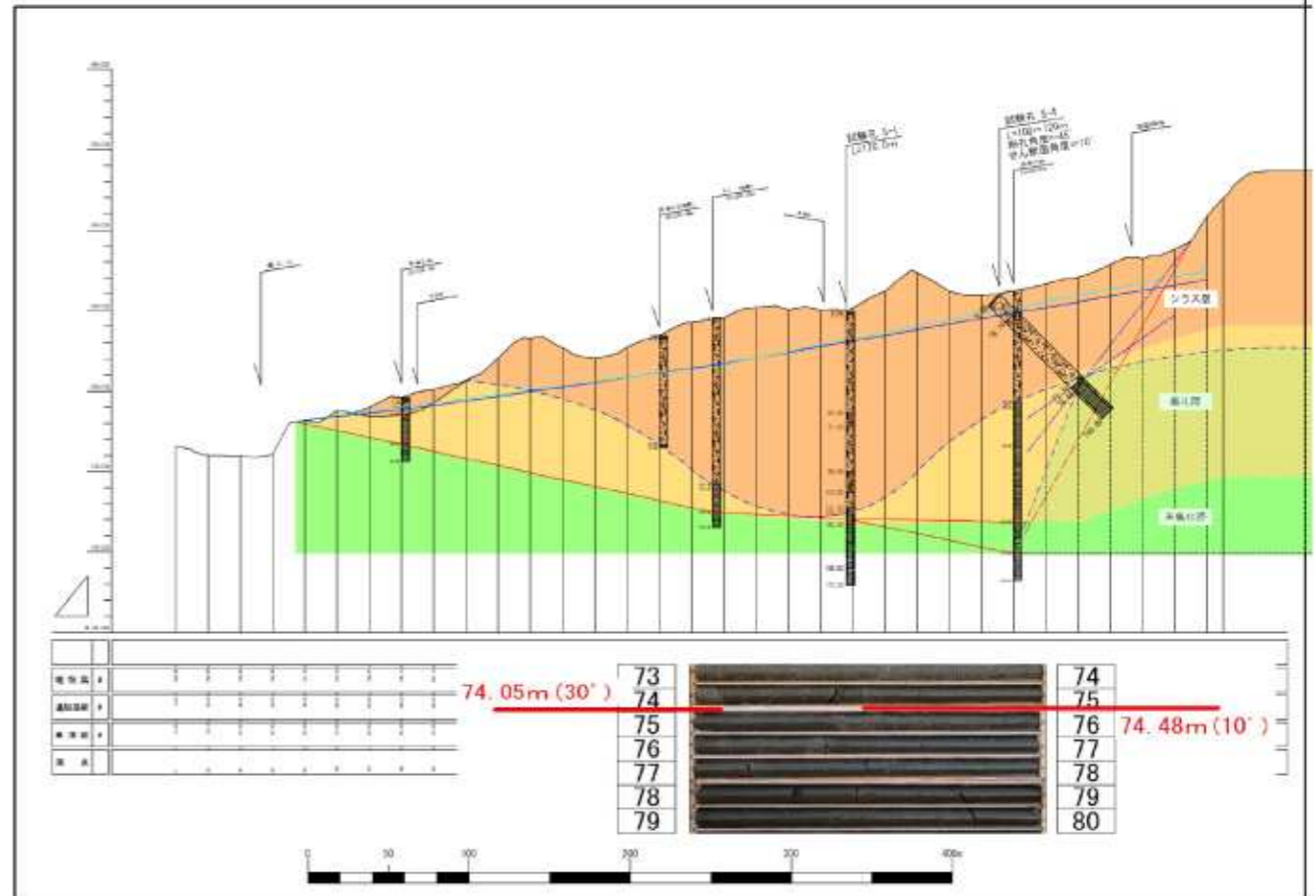


図 5. 3.11 RBSMによる解析結果（無対策／現況／計画：30年／50年／100年超過確率水位対応）

図 5. 3.13 G測線（S-4追加）断面図

5. 3. 4 追加ボーリングと追加解析

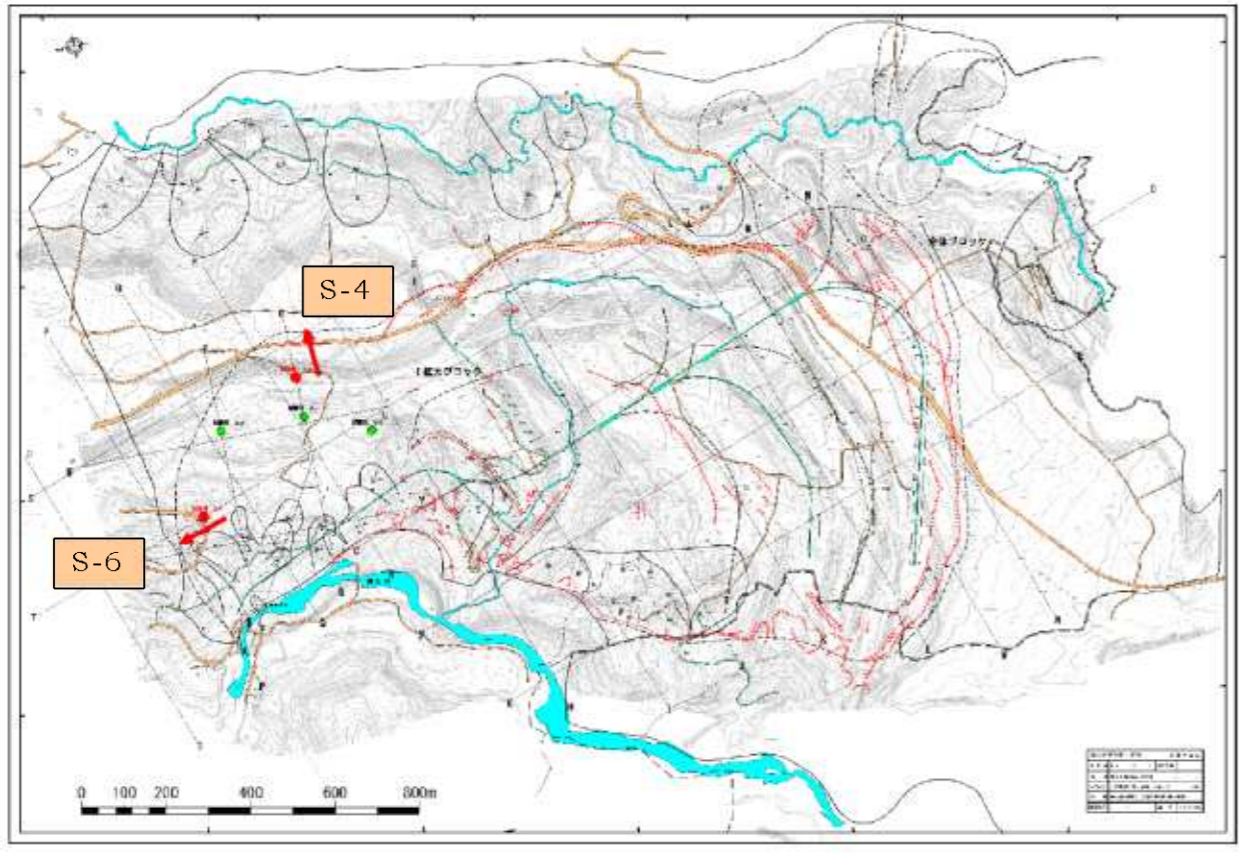


図 5. 3.12 ボーリング位置（S-4, S-6）

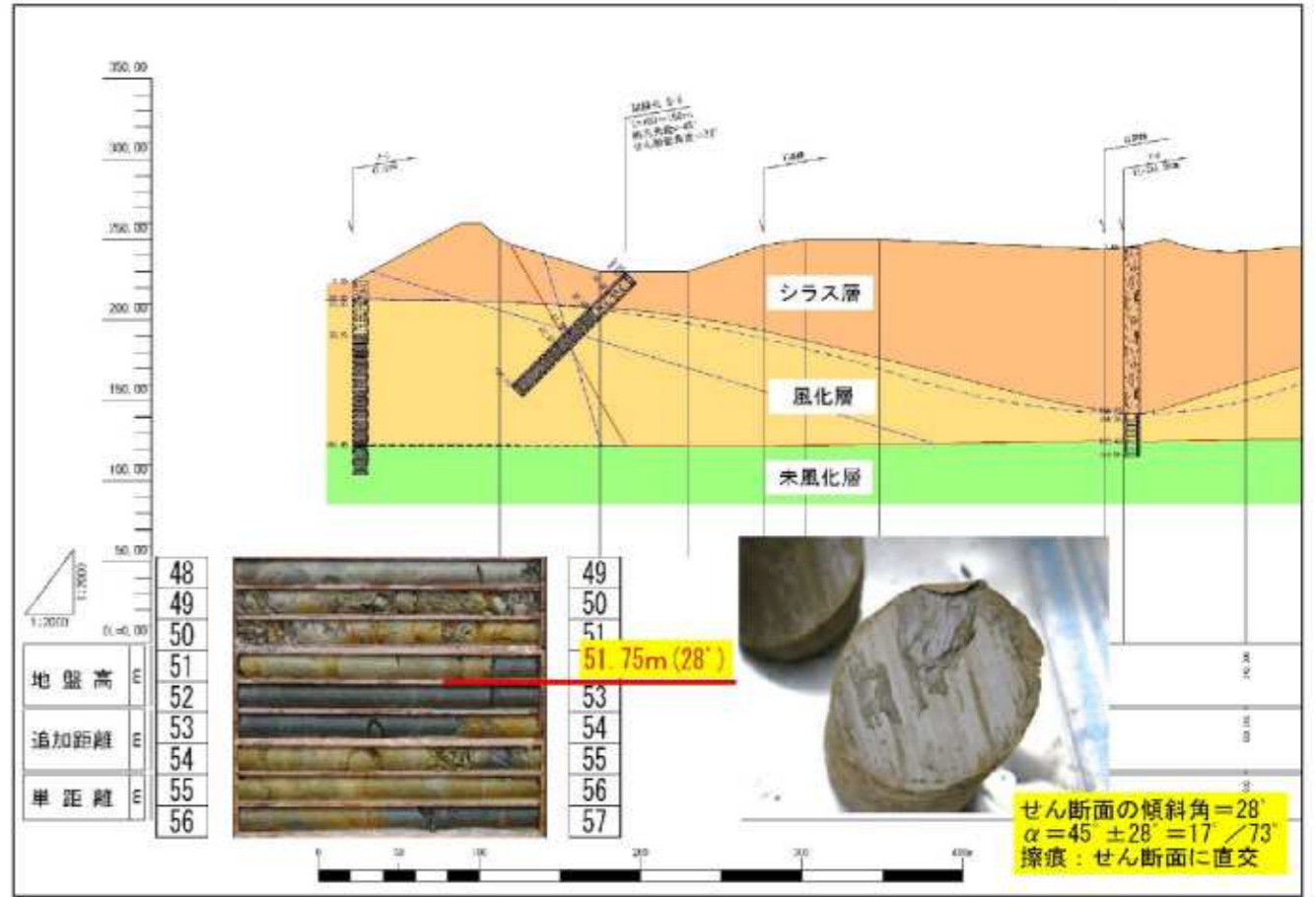


図 5. 3.14 T測線（G-6追加）断面図

(1) 湧水調査  
1) 電気伝導度

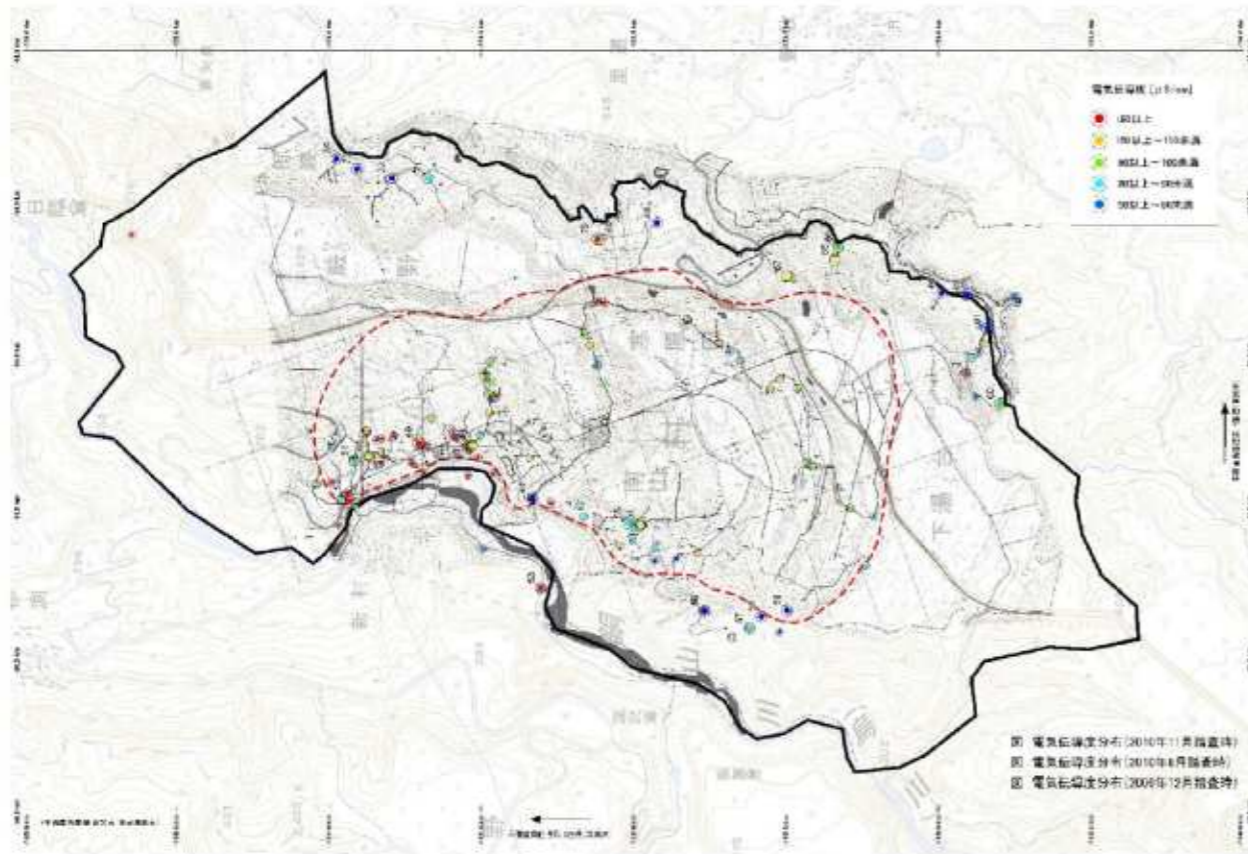


図 5. 3.15 湧水の電気伝導度分布

2) 湧水量

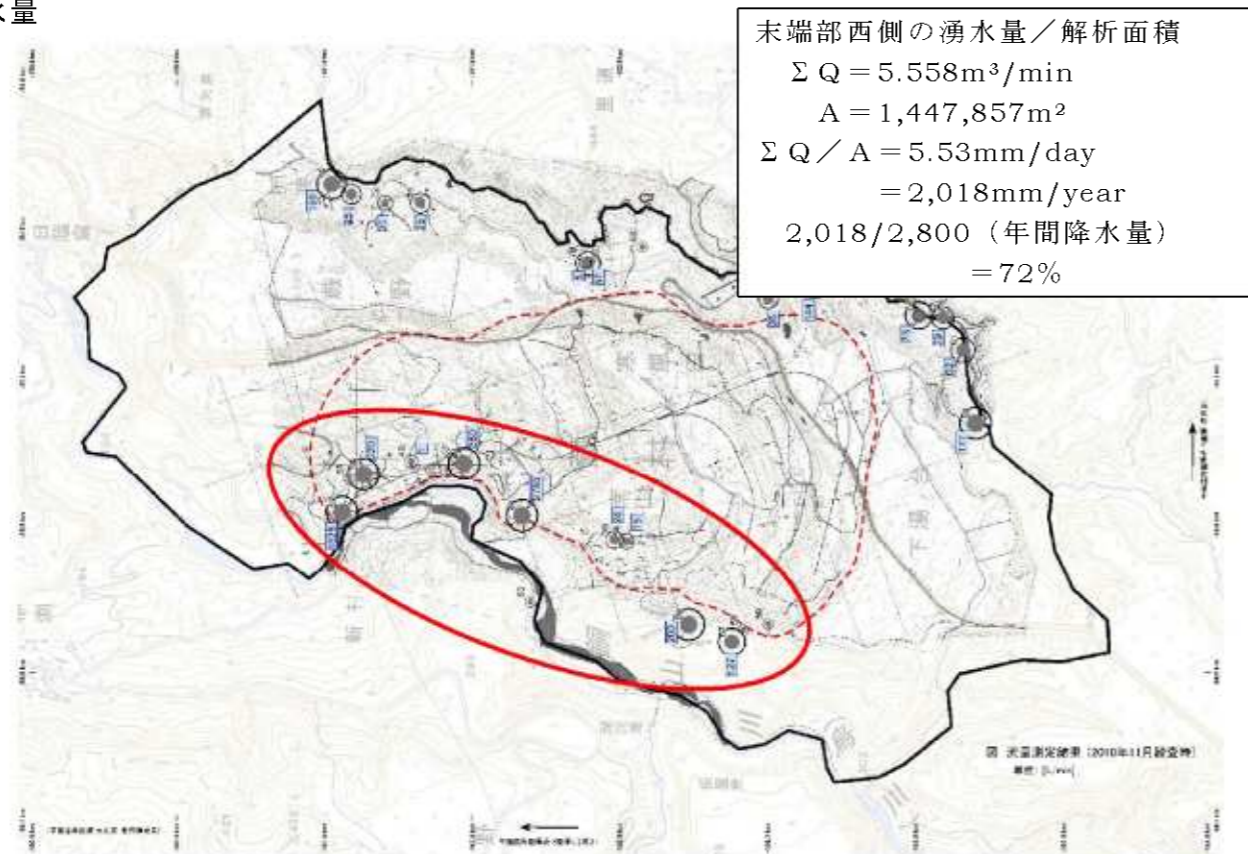


図 5. 3.16 湧水量の分布

(2) RBSM 解析  
1) 地形区分

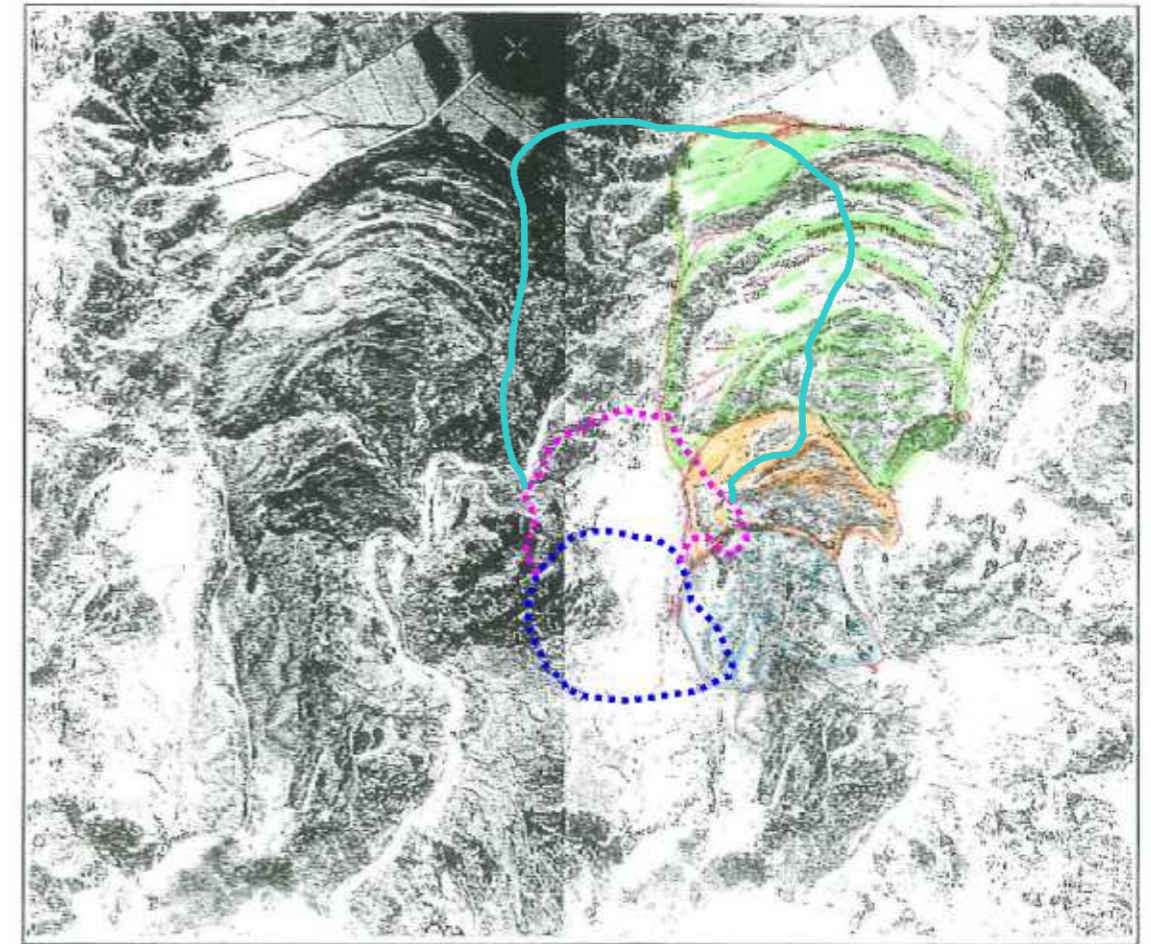


図 5. 3.17 地形の概略区分 1

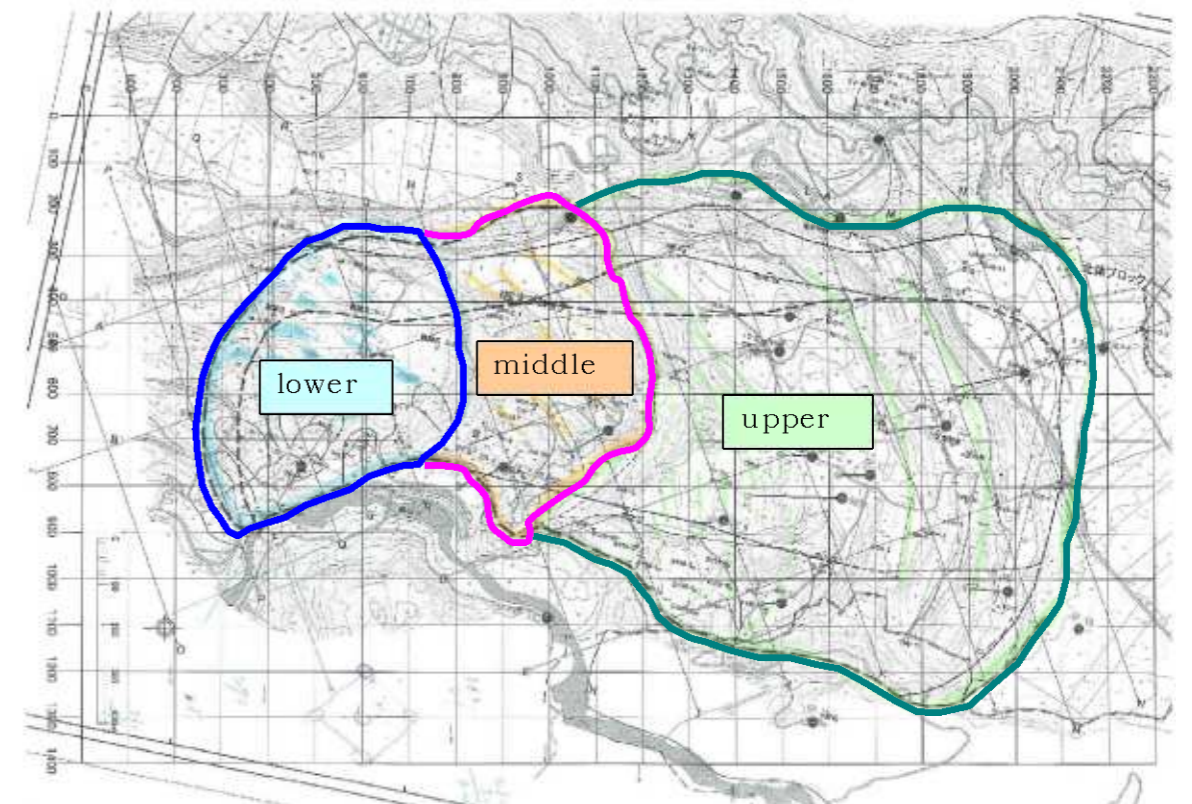


図 5. 3.18 地形の概略区分 2

2) すべり面分布

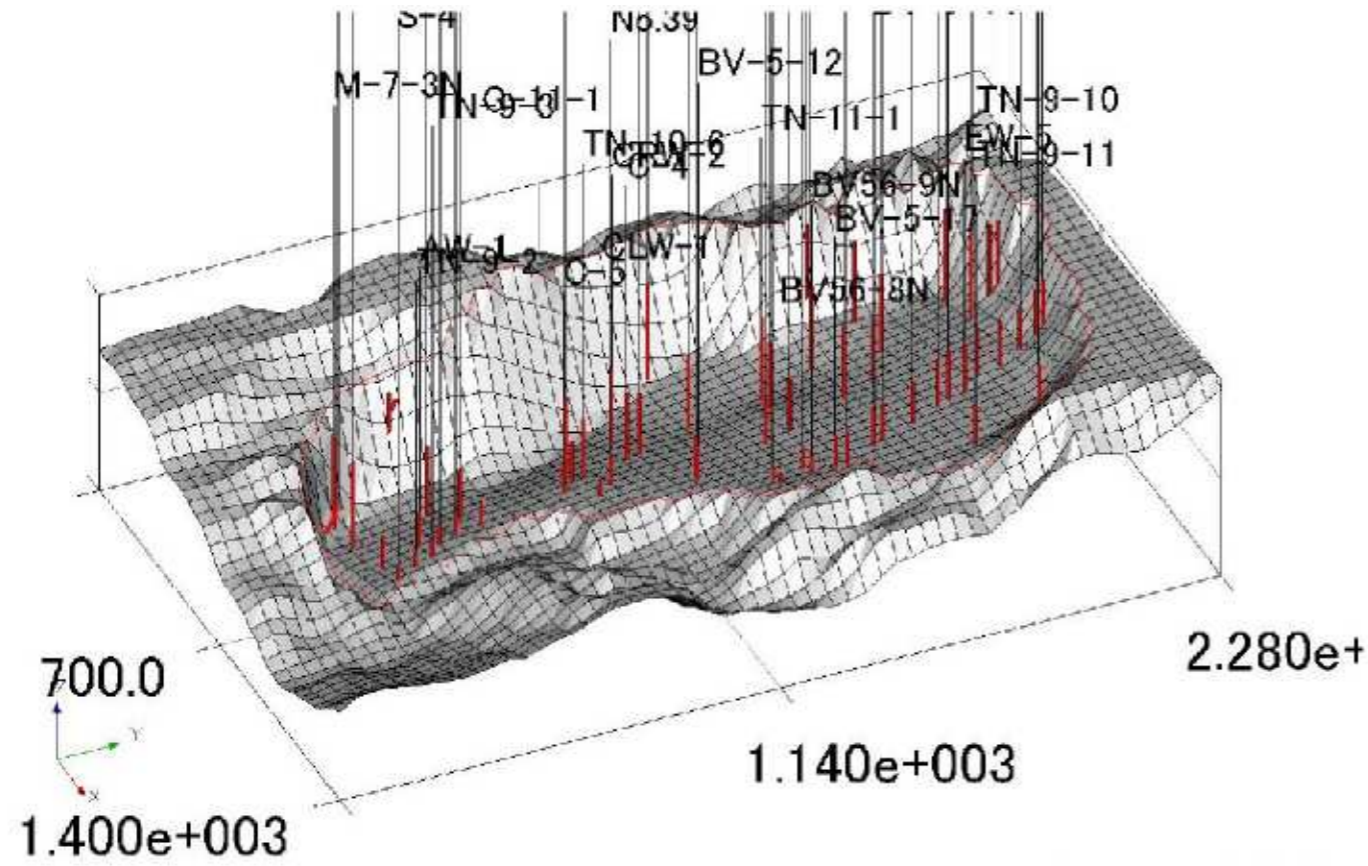


図 5. 3.19 すべり面の分布 1 (W側から)

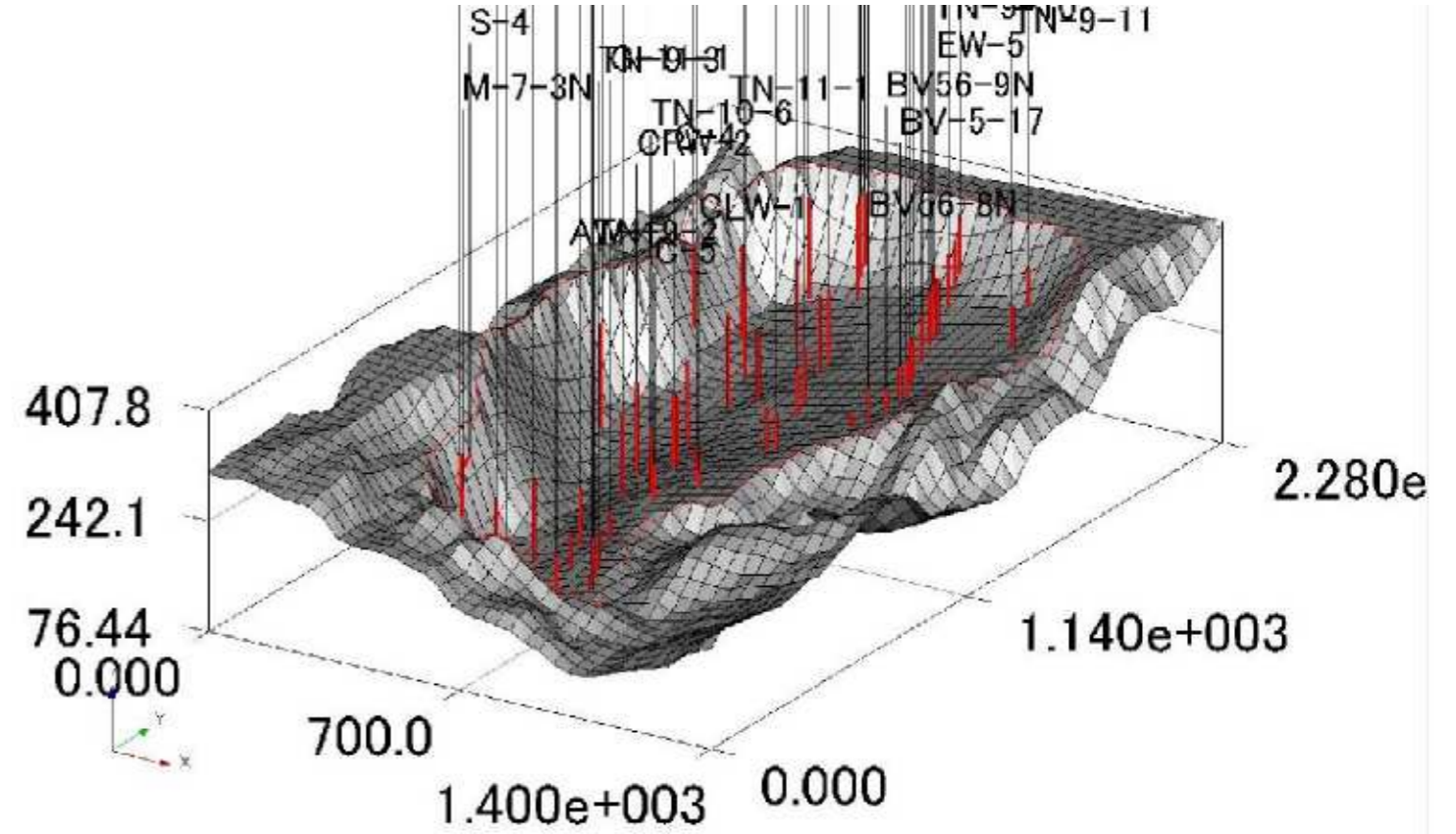


図 5. 3.21 すべり面の分布 3 (NWから)

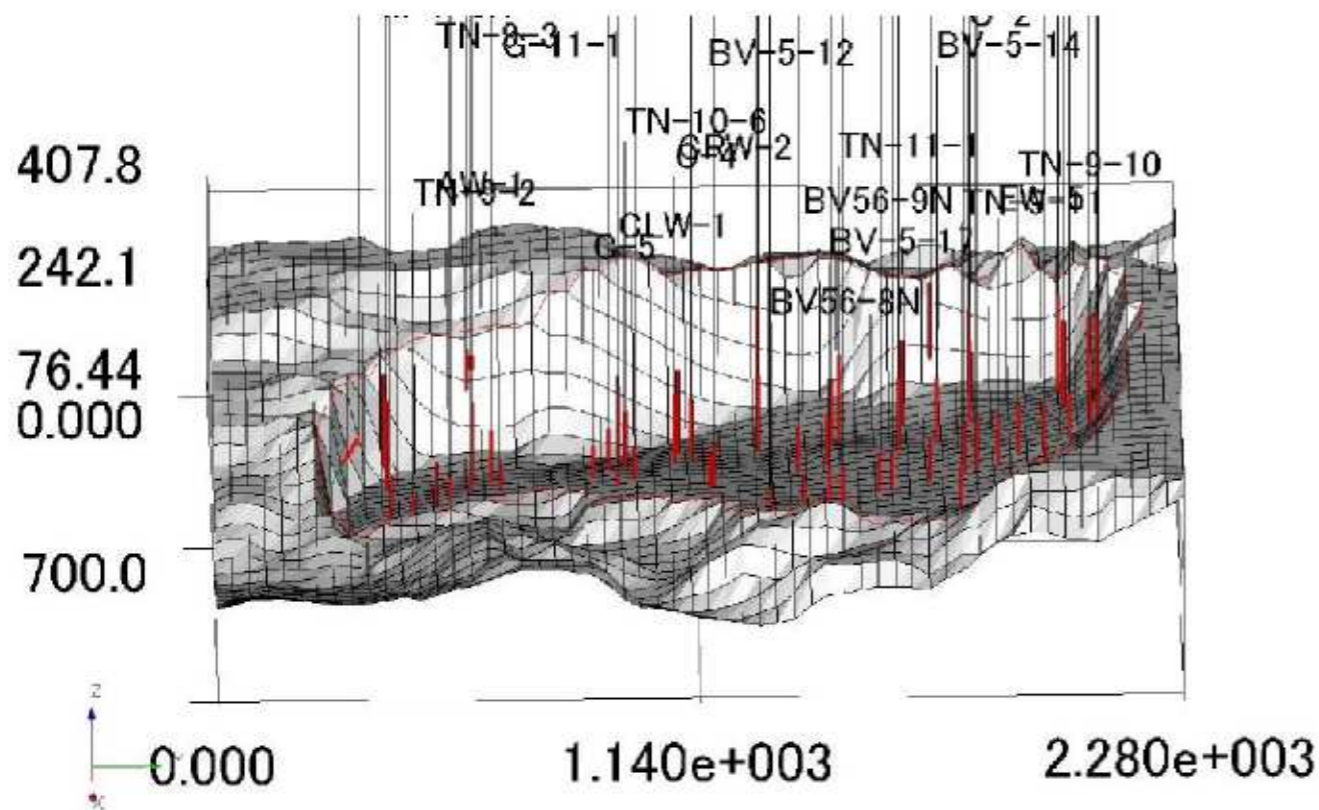


図 5. 3.20 すべり面の分布 2 (Wから)

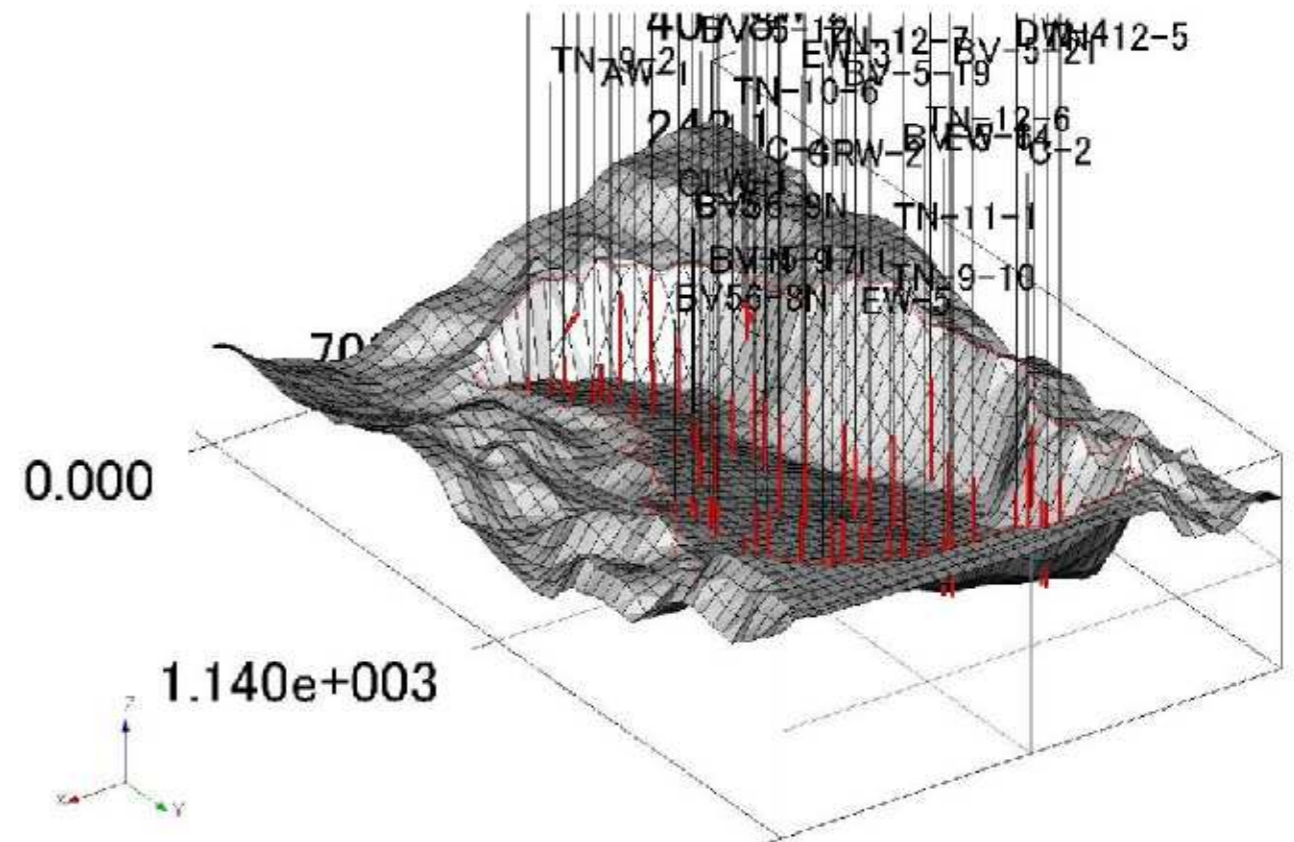


図 5. 3.22 すべり面の分布 4 (SWから)

3) RBSM解析結果

表 5. 3.3 RBSM移動ベクトル解析一覧表

file	no	Area	R	D	FsRBSM	$\alpha$	obs	diff.	判定
Rbsm-douzan-14	0	all	990,690,572	1,182,205,371	0.84	250.2	260	9.8	○
	1	upper	642,724,157	1,134,454,848	0.57	248.8	270	21.2	○
	2	middle	147,508,980	67,607,053	2.18	220.6	295	74.4	○
	3	lower	200,457,436	61,799,065	3.24	350.2	326	24.2	○
Rbsm-douzan-18	0	all	1,206,754,554	1,206,293,505	1.00	260.1	260	0.1	○
	1	upper	823,021,146	1,200,536,146	0.69	255.6	270	14.4	○
	2	middle	183,607,405	18,701,994	9.82	310.3	295	15.3	○
	3	lower	200,126,002	79,594,181	2.51	352.0	326	26.0	○
Rbsm-douzan-28	0	all	1,358,822,876	1,214,002,313	1.12	262.5	260	2.5	○
	1	upper	957,512,675	1,282,609,299	0.75	256.9	270	13.1	○
	2	middle	172,437,677	19,477,505	8.65	296.7	295	1.7	○
	3	lower	228,872,524	138,113,577	1.66	27.2	326	61.2	○
Rbsm-douzan-29	0	all	1,366,559,139	1,217,789,760	1.12	262.8	260	2.8	○
	1	upper	958,927,712	1,284,568,973	0.75	257.0	270	13.0	○
	2	middle	171,784,288	24,224,882	7.09	298.6	295	3.6	○
	3	lower	235,847,139	140,522,179	1.68	27.4	326	61.4	○
Rbsm-douzan-30	0	all	1,366,248,317	1,221,992,441	1.12	263.0	260	3.0	○
	1	upper	960,433,064	1,286,663,700	0.75	257.0	270	13.0	○
	2	middle	168,065,495	29,287,817	5.74	299.4	295	4.4	○
	3	lower	237,749,758	142,950,506	1.66	27.6	326	61.6	○
Rbsm-douzan-31	0	all	1,347,882,424	1,222,995,787	1.10	262.3	260	2.3	○
	1	upper	946,406,457	1,283,604,274	0.74	256.7	270	13.3	○
	2	middle	168,171,288	29,397,120	5.72	298.7	295	3.7	○
	3	lower	233,304,679	133,509,871	1.75	28.2	326	62.2	○
Rbsm-douzan-32	0	all	1,347,777,128	1,224,139,080	1.10	262.5	260	2.5	○
	1	upper	945,413,525	1,284,490,932	0.74	256.9	270	13.1	○
	2	middle	168,543,343	29,459,169	5.72	298.7	295	3.7	○
	3	lower	233,820,261	133,801,753	1.75	28.2	326	62.2	○
Rbsm-douzan-33	0	all	994,694,409	1,184,674,136	0.84	251.4	260	8.6	○
	1	upper	651,040,900	1,137,880,650	0.57	250.1	270	19.9	○
	2	middle	147,244,891	67,710,588	2.17	220.5	295	74.5	△
	3	lower	196,408,618	62,617,581	3.14	351.5	326	25.5	○
Rbsm-douzan-34	0	all	1,032,440,834	1,178,657,145	0.88	250.3	260	9.7	○
	1	upper	673,256,023	1,176,707,221	0.57	250.1	270	19.9	○
	2	middle	152,269,286	70,009,455	2.17	220.5	295	74.5	○
	3	lower	206,915,524	70,780,509	2.92	36.5	326	70.5	○
Rbsm-douzan-35	0	all	1,034,800,734	1,178,892,505	0.88	250.2	260	9.8	○
	1	upper	674,653,031	1,176,943,770	0.57	250.0	270	20.0	○
	2	middle	152,677,486	70,197,090	2.17	220.5	295	74.5	○
	3	lower	207,470,217	70,970,256	2.92	36.5	326	70.5	○
Rbsm-douzan-36	0	all	1,036,752,037	1,181,790,218	0.88	250.2	260	9.8	○
	1	upper	679,582,010	1,174,697,128	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	152,291,248	70,098,191	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	204,878,778	67,564,015	3.03	33.0	326	67.0	○
Rbsm-douzan-37	0	all	1,042,295,683	1,177,155,832	0.89	250.3	260	9.7	○
	1	upper	669,621,260	1,157,479,326	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	150,058,879	69,070,435	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	222,615,544	59,273,116	3.76	23.1	326	57.1	○
Rbsm-douzan-38	0	all	1,038,003,523	1,181,695,133	0.88	250.2	260	9.8	○
	1	upper	680,212,020	1,175,786,124	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	152,432,417	70,162,788	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	205,359,086	68,742,366	2.99	33.4	326	67.4	○
Rbsm-douzan-39	0	all	1,034,040,006	1,181,605,748	0.88	250.2	260	9.8	○
	1	upper	677,893,013	1,176,736,551	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	151,858,172	69,897,836	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	204,288,820	68,771,334	2.97	34.5	326	68.5	○
Rbsm-douzan-40	0	all	1,055,999,153	1,182,109,004	0.89	250.6	260	9.4	○
	1	upper	686,706,183	1,192,036,019	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	153,839,252	70,840,742	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	215,453,718	86,388,814	2.49	36.1	326	70.1	○
Rbsm-douzan-41	0	all	1,056,201,606	1,182,166,372	0.89	250.6	260	9.4	○
	1	upper	686,813,072	1,193,074,040	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	153,862,360	70,842,394	2.17	220.6	295	74.4	○
	3	lower	215,526,174	87,646,219	2.46	36.0	326	70.0	○
Rbsm-douzan-42	0	all	1,064,489,855	1,179,413,157	0.90	251.0	260	9.0	○
	1	upper	690,856,704	1,200,076,985	0.58	249.9	270	20.1	○
	2	middle	154,538,680	70,701,184	2.19	219.8	295	75.2	○
	3	lower	219,094,471	100,314,240	2.18	34.7	326	68.7	○
Rbsm-douzan-43	0	all	1,407,725,558	1,204,475,842	1.17	262.8	260	2.8	○
	1	upper	967,895,120	1,310,706,975	0.74	256.8	270	13.2	○
	2	middle	175,031,114	9,678,310	18.08	264.9	295	30.1	○
	3	lower	264,799,324	174,332,081	1.52	31.4	326	65.4	○

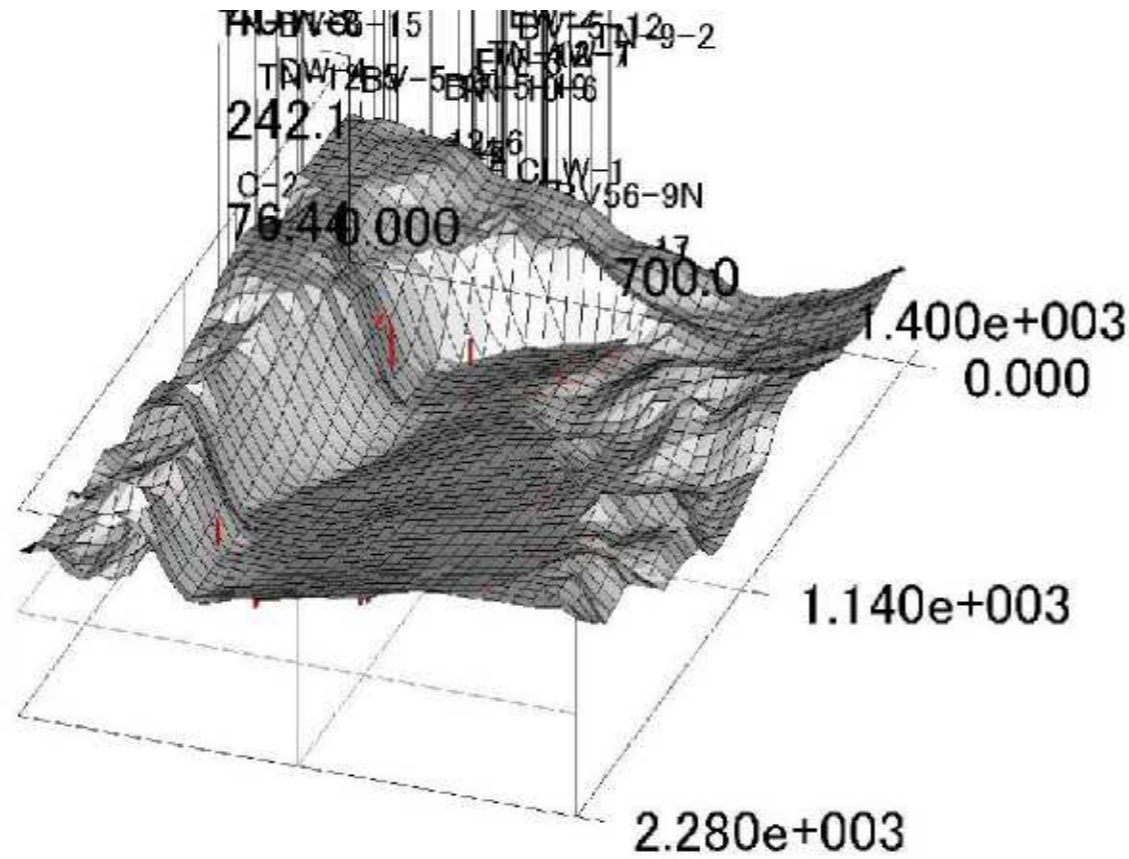


図 5. 3.23 すべり面の分布 5 (N下方から)

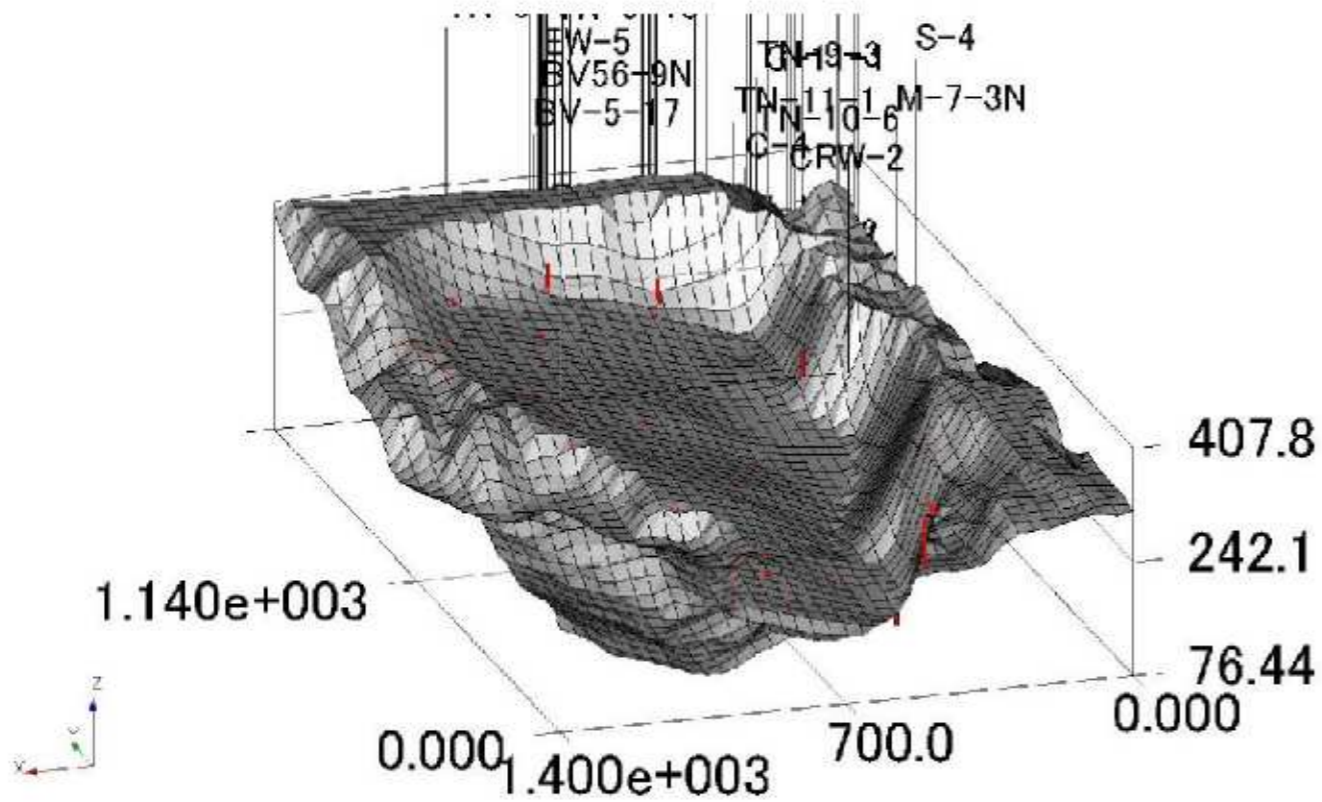
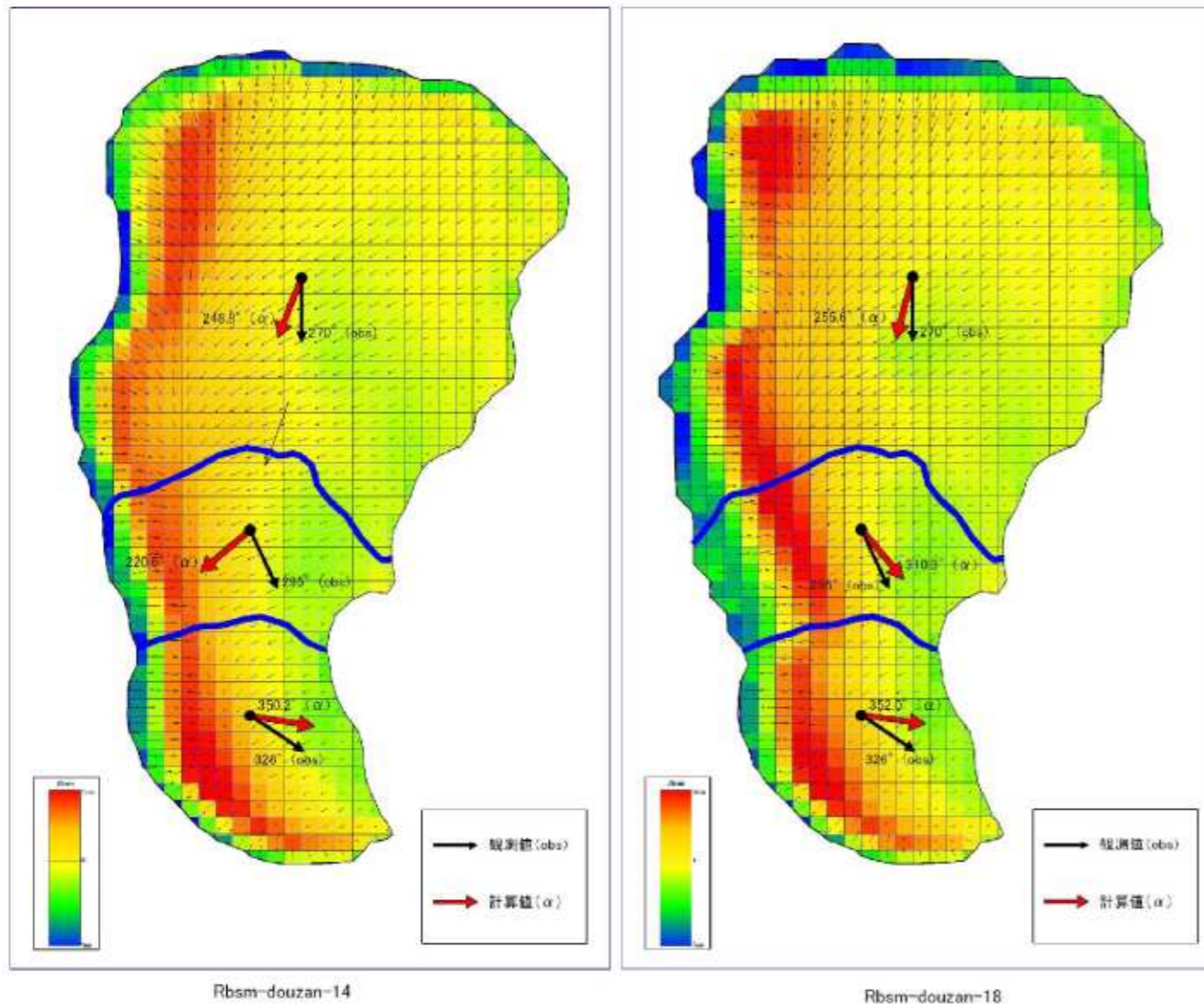


図 5. 3.24 すべり面の分布 6 (S下方から)



H22 ボーリング (S-4, S-4) 実施前の解析結果 (全 18 通り) の解析中, 解析移動方向が観測移動方向に最も近いもの (10/18 報告時点)。

図 5. 3.25 Model-14, Model-18 の移動方向 (S-4, S-6 反映なし)

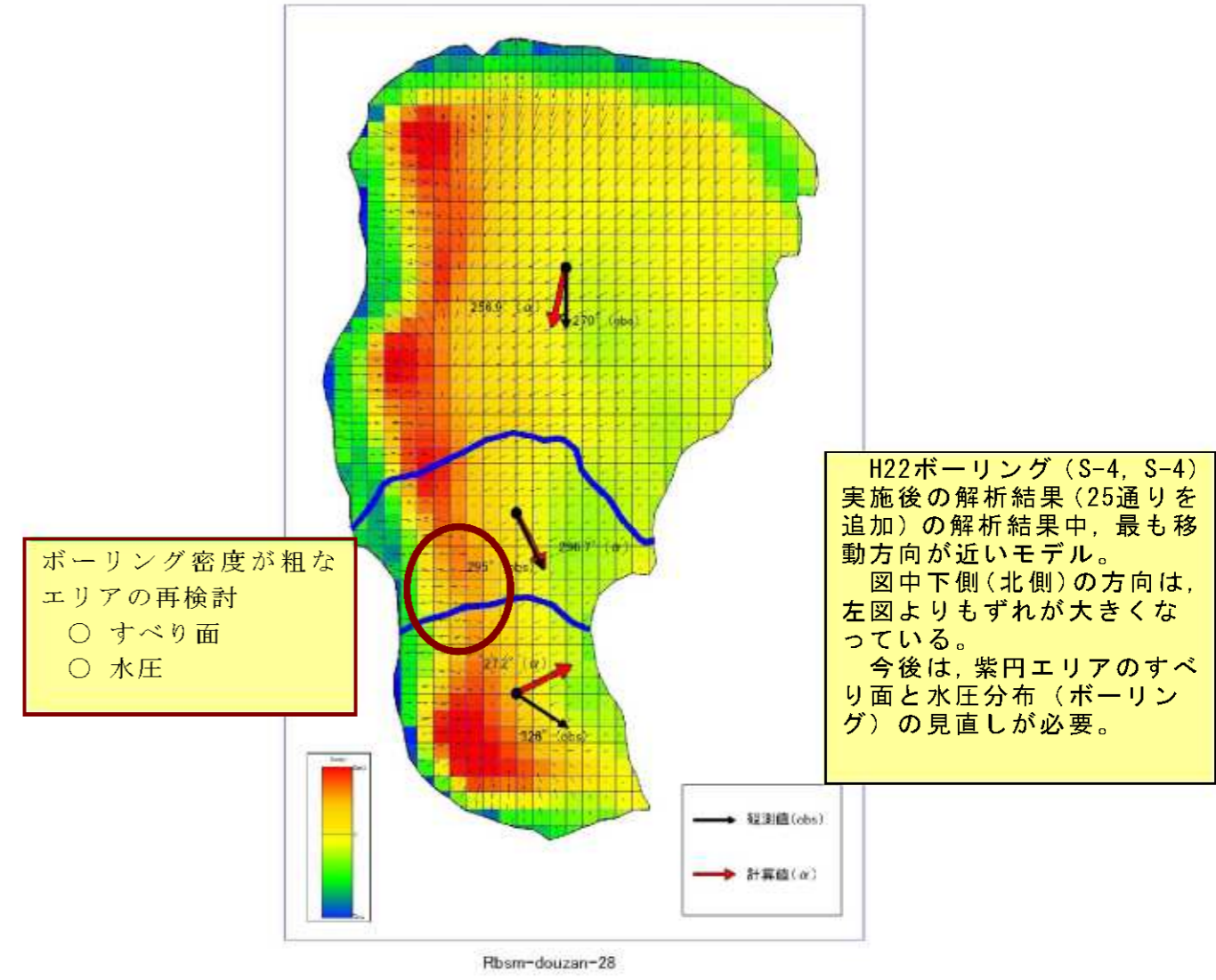


図 5. 3.26 Model-28 の移動方向 (S-4, S-6 反映)

表 5. 3.4 Model-28 の場合の確率水位に対する対策工効果

	Area	Fs	R	D	$\alpha$
	H12臨界	1.000	1,214,254,800	1,214,002,313	262.5
現時点	1-DouzanGenkyou_H12_GWL.XYZ	1.113	1,515,929,935	1,361,874,110	262.3
	2-DouzanGenkyou_030_GWL.XYZ	1.023	1,269,063,247	1,240,698,414	263.2
	3-DouzanGenkyou_050_GWL.XYZ	1.012	1,241,935,138	1,227,538,848	263.2
	4-DouzanGenkyou_100_GWL.XYZ	<b>0.998</b>	1,208,933,339	1,211,727,574	263.3
現行計画	5-DouzanKeikaku_H12_GWL.XYZ	1.115	1,588,566,149	1,425,028,719	261.5
	6-DouzanKeikaku_030_GWL.XYZ	1.111	1,527,224,467	1,375,103,791	262.9
	7-DouzanKeikaku_050_GWL.XYZ	1.099	1,491,109,076	1,357,387,658	263.1
	8-DouzanKeikaku_100_GWL.XYZ	<b>1.083</b>	1,447,138,390	1,335,903,656	263.2
無対	9-DouzanMutaisamu_H12_GWL.XYZ	0.983	1,172,962,183	1,192,642,399	262.6
	10-DouzanMutaisamu_030_GWL.XYZ	0.943	1,084,161,379	1,149,434,509	263.2
	11-DouzanMutaisamu_050_GWL.XYZ	0.939	1,074,243,918	1,144,621,034	263.3
	12-DouzanMutaisamu_100_GWL.XYZ	<b>0.933</b>	1,062,314,062	1,138,869,905	263.4

5.3.5 側壁部のせん断強度の把握

(1) 土質試験項目と試料深度

表 5. 3. 5 土質試験項目

試験種	力学試験		物理試験		
	一面せん断試験 (すべり面せん断試験)	リングせん断試験	粒度試験	液性限界・ 塑性限界試験	X線回折試験
得られる物性値・土質特性	粘着力, せん断抵抗角		粒度分布	コンシステンシー特性	含有鉱物

表 5. 3. 6 試料深度と実施試験種

調査孔 番号	採取深度 (GL-m)	岩種	試料状態	試験種	
				物理試験	力学試験
S-4	71.50~72.00	シラス	2mm以下粒径	粒度試験	リングせん断試験
	71.85	泥岩	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
	74.05	泥岩	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
	74.48	泥岩	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
	83.10~83.40	泥岩	75μm以下粒径	粒度試験 液性塑性限界試験	リングせん断試験
	86.53	泥岩	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
S-6	51.00~51.40	泥岩(褐色)	75μm以下粒径	粒度試験 液性塑性限界試験	リングせん断試験
	51.75	泥岩(褐色)	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
	89.85	泥岩	不攪乱	X線回折試験	すべり面せん断試験
	100.00~100.40	泥岩	75μm以下粒径	粒度試験 液性塑性限界試験	リングせん断試験

表 5. 3. 7 すべり面せん断試験結果一覧

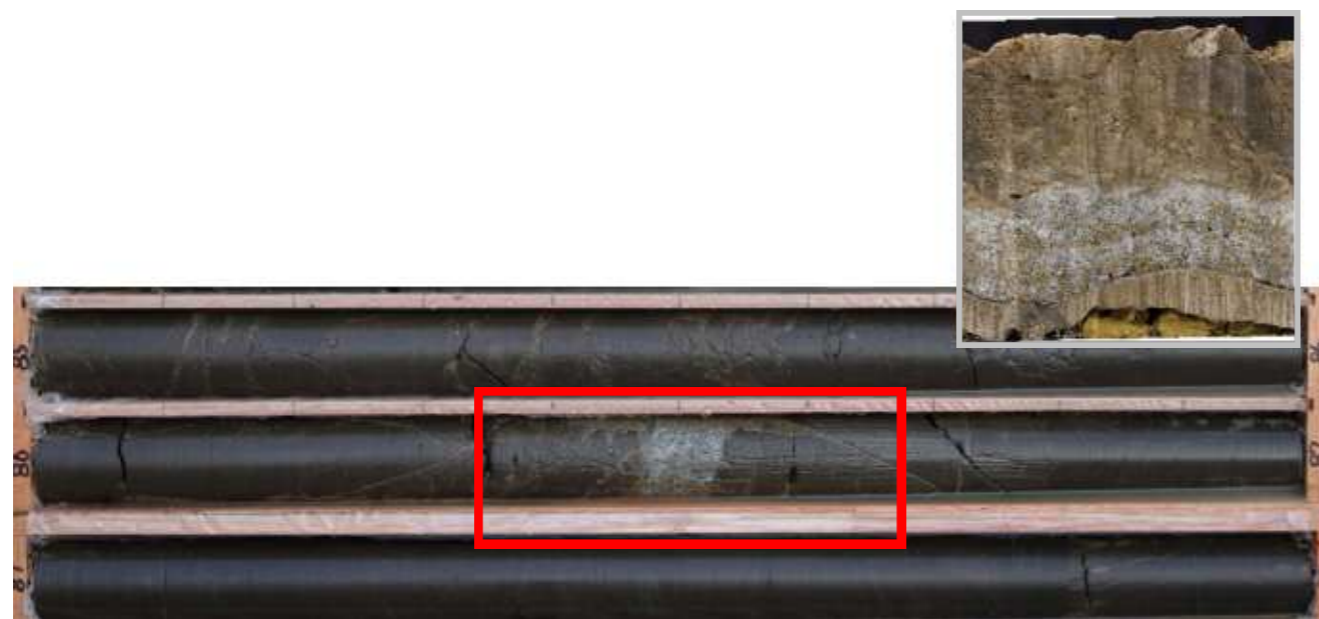


図 5. 3. 27 コア試料 (S-4 : GL-85.0~88.0m) と展開写真 (GL-86.53m)

(風化泥岩中に 5cm 程度の凝灰質砂岩が挟在, 下盤の最大傾斜は約 15°)



図 5. 3. 28 コア試料 (S-6 : GL-50.0~53.0m) とせん断面 (GL-51.75m)

赤字枠に明瞭な擦痕をともなったせん断面を確認。下盤の最大傾斜は 28° で擦痕方向は最大傾斜方向 90° 斜交している。

(2) X線回折結果

すべり面せん断試験に用いた試料の X線回折試験結果を表 5. 3. 8に示す。

全体的には粘土鉱物ではスメクタイトが少量含まれており, イライトおよび緑泥石あるいはカオリン鉱物が微量含まれている。その他の鉱物としては石英が多量に, 長石類が中量, 沸石類が少量含まれており, 一般的な泥岩の鉱物組成を示している。

S-4 号孔の GL-86.53m 試料と S-6 号孔の GL-51.75m 試料は他試料と比較してスメクタイトがやや多く含まれている。これらの試料は後述するすべり面せん断試験結果からも, 本地区地すべりのすべり面である可能性が高いと判断される。

なお, スメクタイトを高純度を含む試料の残留せん断抵抗角  $\phi_r$  は 5° 以下と低い値になっている。

表 5. 3. 8 すべり面せん断試験試料の X線回折試験結果

調査孔 番号	採取深度 (GL-m)	粘土鉱物				その他の鉱物		
		スメクタイト (Sm)	イライト (Ill)	緑泥石 (Chl)	カオリン鉱物 (Kln)	石英 (Qtz)	長石類 (Fsp)	沸石類 (Ze)
S-4	71.85	+	(+)	(+)	(+)	+++	++	+
	74.05	+	(+)	(+)	-	+++	++	+
	74.48	+	(+)	(+)	(+)	+++	++	+
	86.53	++	-	(+)	(+)	+++	+++	+
S-6	51.75	++	(+)	-	-	+++	++	+
	89.85	+	(+)	(+)	-	+++	++	+

含有量の目安 +++多量, ++中量, +少量, (+)微量

(3) 一面（すべり面）せん断試験結果

すべり面せん断試験結果より、各調査孔で一番低いせん断抵抗角  $\phi'$  が得られたのは S-4 号孔 GL-86.53m 試料 ( $\phi'=8.12^\circ$ ) と S-6 号孔 GL-51.75m 試料 ( $\phi'=7.21^\circ$ ) である。

X線回折試験結果より、この両試料にはスメクタイトが中量含まれており、他試料には少量だけ含まれている。スメクタイトを高純度を含む試料の残留せん断抵抗角  $\phi_r$  は  $5^\circ$  以下と低い値になるため、他試料よりもスメクタイトの含有量が多い両試料の  $\phi'$  が他試料より低い値となったと判断される。

本地区が該当する新第三紀堆積岩地すべり（泥岩）のすべり面せん断試験事例は  $\phi'=3.00\sim 9.66$  となっており、両試験結果と調和的である。

よって安定解析に用いる土質強度定数のうち、本地すべりの側壁におけるせん断抵抗角  $\phi'$  についてはすべり面せん断試験結果 ( $\phi'=7.2\sim 8.1^\circ$ ) を採用することを提案する。

銅山川地区 側壁のすべり面のせん断抵抗角  
 $\phi'=7.2\sim 8.1^\circ$

平成 8 年度、9 年度、21 年度に地すべり底面の試料を用いて土質試験を行ったが、そのすべり面のせん断抵抗角  $\phi'$  は  $3^\circ$  台を提案している。このすべり面は泥岩の層理面に沿ったすべり面であるために低い  $\phi'$  となっている。今回行った土質試験は側壁のすべり面の試料であり、こちらは層理面に斜交したすべり面であるため、 $\phi'=7.2\sim 8.1^\circ$  というやや大きめの値となったと判断される。

表 5.3.9 すべり面せん断試験結果

調査孔番号	採取深度 (GL-m)	岩種	試料状態	せん断試験								備考
				試験荷重(kPa) 実施○, 未実施-				ピーク強度		残留強度		
				200	300	400	600	$c_p'$ (kPa)	$\phi_p'$ ( $^\circ$ )	$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ ( $^\circ$ )	
S-4	71.50~72.00	シラス	2mm以下粒径	-	○	-	-	-	-	-	-	リングせん断試験
	71.85	泥岩	不攪乱	○	-	○	○	-	-	28.21	17.60	すべり面せん断試験
	74.05	泥岩	不攪乱	○	-	○	○	-	-	25.64	12.35	すべり面せん断試験
	74.48	泥岩	不攪乱	○	-	○	○	-	-	45.25	12.11	すべり面せん断試験
	83.10~83.40	泥岩	75 $\mu$ m以下粒径	-	○	-	-	-	-	-	-	リングせん断試験
S-6	86.53	泥岩	不攪乱	○	-	○	○	-	-	12.37	8.12	すべり面せん断試験
	51.00~51.40	泥岩(褐色)	75 $\mu$ m以下粒径	-	○	-	-	-	-	-	-	リングせん断試験
	51.75	泥岩(褐色)	不攪乱	○	-	○	○	-	-	7.25	7.21	すべり面せん断試験
	89.85	泥岩	不攪乱	○	-	○	○	-	-	3.60	22.52	すべり面せん断試験
S-6	100.00~100.40	泥岩	75 $\mu$ m以下粒径	-	○	-	-	-	-	-	-	リングせん断試験

(4) S-6 ボーリングのすべり面構造

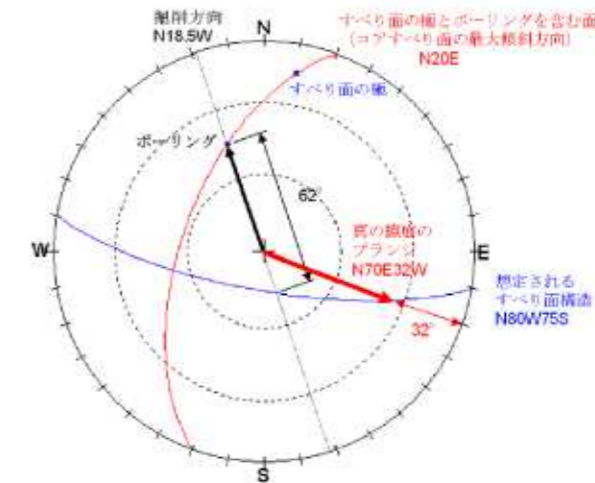
S-6 コアの鏡肌と擦痕から、すべり面構造と真の擦痕の構造を求める。検討にあたって以下の条件を仮定した。

- ①すべり面は  $N80^\circ W$  の走向をもつ（平面図から想定）
- ②コアのすべり面の最大傾斜方向と擦痕は直交する（コア判定より）

コアにおけるすべり面角度が  $28^\circ$  であることから、次に示す高角と低角の2枚の面が条件を満たす。

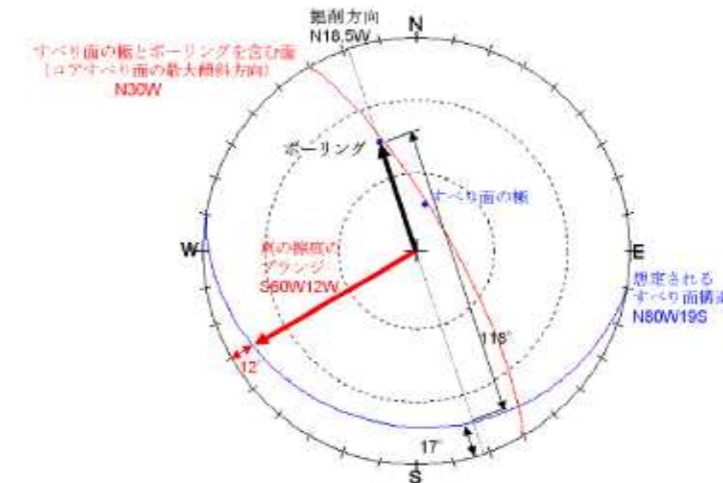
a) すべり面が高角の場合

想定されるすべり面構造： $N80^\circ W75^\circ S$ （測線方向の見掛け傾斜  $73^\circ$ ）  
擦痕の方向と傾斜： $S70^\circ E32^\circ E$



b) すべり面が低角の場合

想定されるすべり面構造： $N80^\circ W19^\circ S$ （測線方向の見掛け傾斜  $17^\circ$ ）  
擦痕の方向と傾斜： $S60^\circ W12^\circ W$



c) 移動方向と擦痕方向

移動杭観測による移動方向と擦痕方向を比較すると、すべり面が高角な場合は移動方向と整合的であるのに対し、すべり面が低角な場合は擦痕方向が大きく斜交する。

このことから、得られたコアのすべり面が現在の側壁（末端）であるとするれば、(1)に示す構造を有しているものと考えられる。その場合、現在の移動土塊は、不動土塊に乗り上げるように滑動している。



## 5.4 側壁抵抗を加味したRBSM結果

### (1) すべり面の土質定数

- ① すべり面底面，野口層相当（側壁）の  $c'$ ， $\phi'$ ，およびシラスの  $\phi'$  は試験値を採用
- ② H12 の融雪期の水位を臨界水位， $F=1.00$  として，このときのシラスの  $c'$  を逆算で算出

表 5. 4.1 土質定数の設定

	$\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
シラス	18.4	96.0	32.0
野口層	19.6	10.0	7.5
底面古口層上面	19.6	21.0	3.0

表 5. 4.2 地質三層区分による安全率の試算結果一覧

地下水モデル	全体			
	$F_s$	R (kN)	D (kN)	$\alpha$ (°)
H12臨界	1.000	1,213,898,824	1,214,002,312	262.5
1-DouzanGenkyou_H12_GWL.XYZ	1.120	1,525,024,668	1,361,874,109	262.3
2-DouzanGenkyou_030_GWL.XYZ	1.021	1,267,245,206	1,240,698,413	263.2
現時点 3-DouzanGenkyou_050_GWL.XYZ	1.009	1,239,188,964	1,227,538,848	263.2
4-DouzanGenkyou_100_GWL.XYZ	0.995	1,205,081,904	1,211,727,573	263.3
5-DouzanKeikaku_H12_GWL.XYZ	1.128	1,607,752,747	1,425,028,718	261.5
現行計画 6-DouzanKeikaku_030_GWL.XYZ	1.116	1,534,399,763	1,375,103,790	262.9
7-DouzanKeikaku_050_GWL.XYZ	1.102	1,496,431,379	1,357,387,657	263.1
8-DouzanKeikaku_100_GWL.XYZ	1.086	1,450,329,827	1,335,903,655	263.2
9-DouzanMutaisamu_H12_GWL.XYZ	0.982	1,171,384,909	1,192,642,398	262.6
無対策 10-DouzanMutaisamu_030_GWL.XYZ	0.938	1,077,809,935	1,149,434,509	263.2
11-DouzanMutaisamu_050_GWL.XYZ	0.933	1,067,383,292	1,144,621,033	263.3
12-DouzanMutaisamu_100_GWL.XYZ	0.926	1,054,829,022	1,138,869,904	263.4

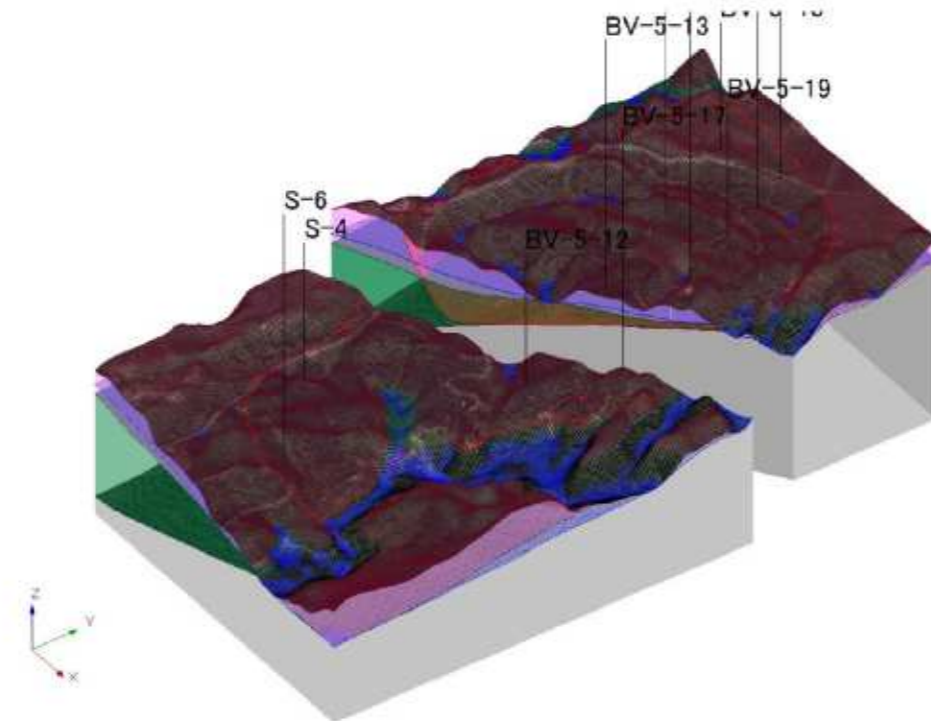


図 5. 4.1 三次元地質モデル

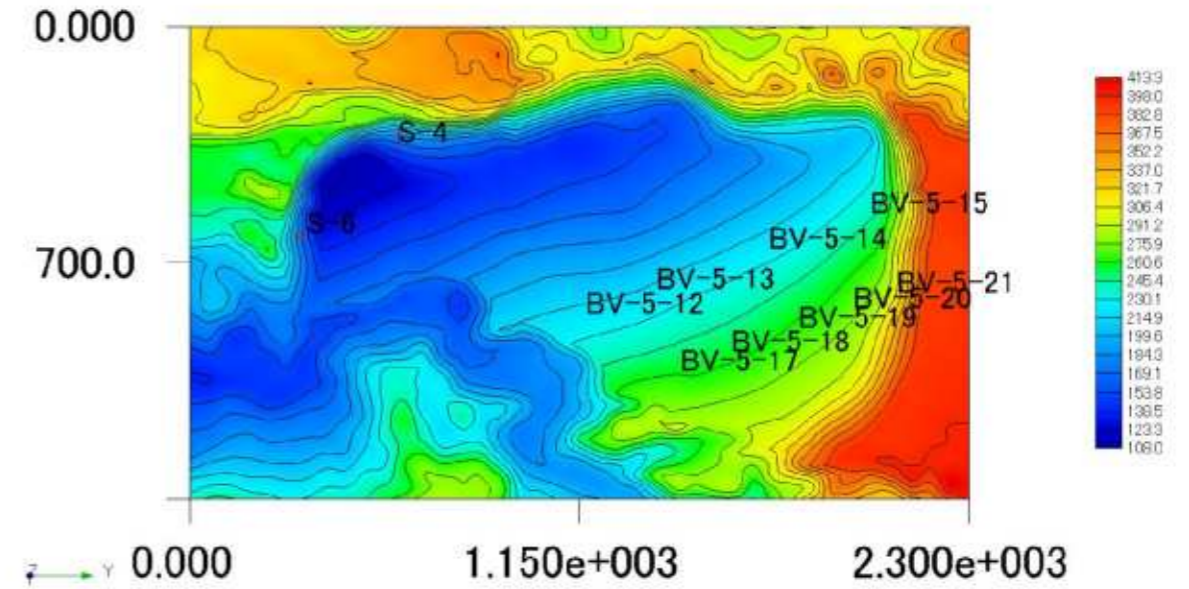


図 5. 4.2 すべり面等高線図

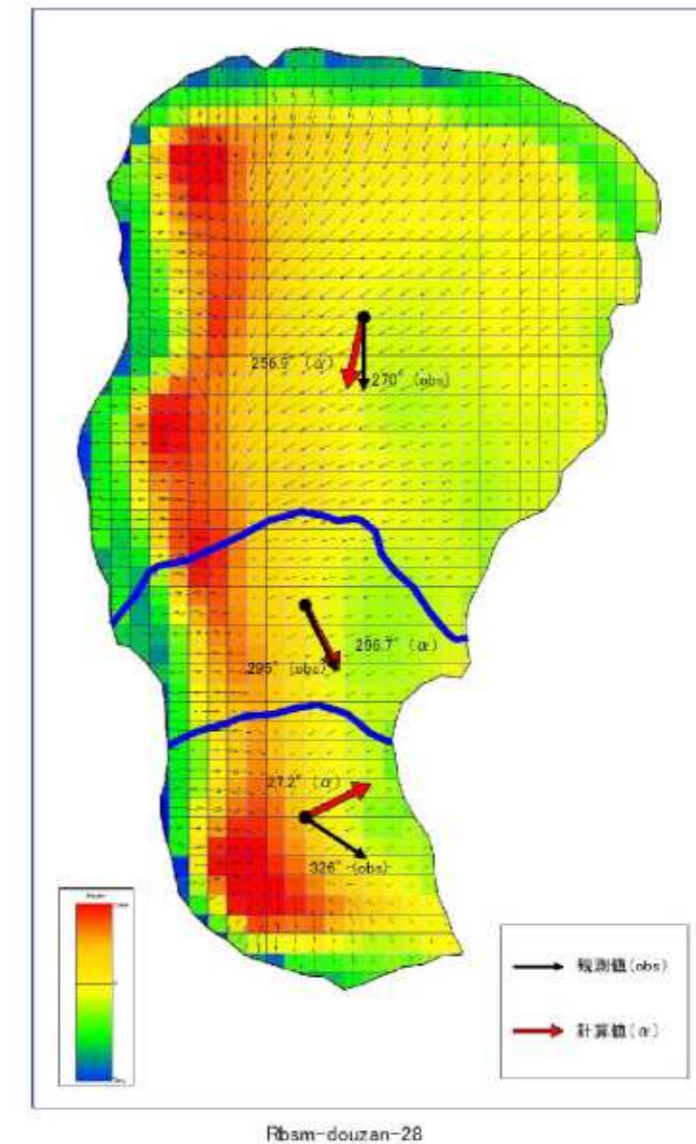


図 5. 4.3 Model-28 ( $c - \phi$  三層区分) 移動方向