

南白老バライト鉱山露天採掘場における地すべりについて

Landslide at the Open-Pit of the Minami-Shiraoi Barite Mine, Hokkaido, Japan

八幡 正弘
Masahiro Yahata

Abstract

The landslide movement had occurred in 1987 to 1988 at the kaolin open-pit mining area of the Minami-Shiraoi Barite Mine in southern part of Hokkaido. The kaolin and barite ore deposits are middle Miocene kuroko-type ore deposit. The above landslide slope is located in the upper part of the old-landslide. As soon as the No.2 kaolin ore deposit open-pit mining began in Feb. 1987, the landslide movement had occurred, and main scarp appeared in the front and north slopes in July 1987. The landslide mass is composed of welded tuff and resedimented facies, and pyroclastics of Late Pleistocene Shikotsu volcanics and Plio-Pleistocene Soukeishu Formation. Based on observation of outcrops of open-pit and drill cores, and measurement in drill holes, the slide surface was recognized between Miocene argillic rock and Plio-Pleistocene volcanics.

The landslide mass consists of six blocks (A to F). Deformation of the landslide was followed by enlargement of open-pit area of the No.2 kaolin ore deposit, and the landslide mass disintegrated into several discrete blocks through the development of transverse cracks and compressional fractures, and rotational sliding.

キーワード: 地すべり, 露天採掘場, 南白老バライト鉱山, カオリン鉱床

Key words: landslide, open-pit, Minami-Shiraoi Barite Mine, kaolin ore deposit

I はじめに

鉱山や採石場における露天採掘は、斜面を不安定な方向に改変することに他ならず、それ故に採掘計画において十分な検討が行われ、法面崩壊や斜面崩壊を未然に防ぎ、より安全な採掘によって資源の安定的な生産と供給という責務を果たしている。本報告では、古い地すべり地内の斜面において、主として粘土質岩の採掘を行ったが故に発生した南白老バライト鉱山露天採掘地での地すべりについて、その発生と進行経過および背景について報告する。

本地すべりは、1987年に発生した。地すべり対策と鉱山開発を同時平行に行っていた最中の1988年11月に死亡事故が発生し、これにより採掘中止となり、現在に至っている。以下に述べるように大規模な露天採掘地における地すべり運動の詳しい記録を残すため、採掘を行っていた近藤鉱業株式会社（以下、鉱山会社と呼称する）の了解を得て、本報告として公表することとした。

謝 辞

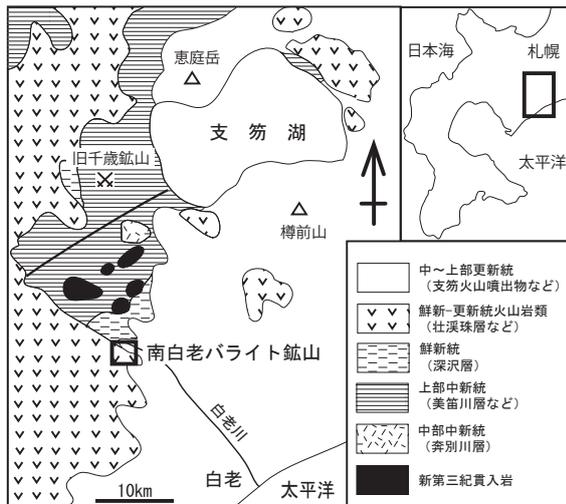
本論を公表するにあたり、南白老バライト鉱山を経営した近藤鉱業株式会社の近藤瑋介代表取締役社長にはデータの公表に関し、ご了解いただいた。旧北海

道立地下資源調査所（現地質研究所）の故松下勝秀部長（当時）には、現地調査において懇切なるご指導をいただくとともに、関係機関との調整にご尽力いただいた。現地調査においては、応用地質株式会社の三島史朗元札幌支社長（当時）および若松幹男元札幌副支社長（当時）（現北海道地質調査業協会技術アドバイザー）はじめ、同社社員の方々にご協力およびご助言いただいた。近藤鉱業株式会社の水嶋勝蔵元鉱山長（当時）はじめ、同社社員の方々には現地調査へのご協力および観測データの取得にご尽力いただいた。株式会社シン技術コンサルには空中写真の使用にご了解いただいた。北海道地質調査業協会の若松幹男技術アドバイザーと地質研究所の田近 淳部長には本稿について貴重なコメントを頂いた。

以上の方々に、ここに記して心より御礼申し上げます。

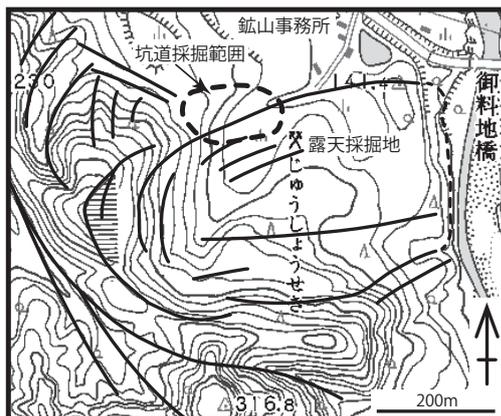
II 鉱山周辺地域の地形・地質の概要

南白老バライト鉱山は、北海道中央部の苫小牧市西方の白老町森野に位置する（第1図）。北東方に樽前山などの活火山と支笏カルデラが分布し、カルデラ南方には支笏火山噴出物の火砕流堆積物からなる斜面および台地が太平洋沿岸まで広がっている。



第1図 白老地域の地質図(通商産業省(1979)をもとに編集)

Fig. 1 Geological map of the Shiraoui area, simplified from MITI (1979)



第2図 南白老バライイト鉱山地区の地すべり地形とリニアメント

1964年撮影の航空写真を使用して判読。地形図は国土地理院発行25,000分の1数値地図「森野」を使用

Fig. 2 Landslide and lineaments in the Minami-Shiraoi Barite Mine area, based on the air-photographic interpretation. The air-photograph was taken in 1964. The geographical map (1/25,000: Morino) for background is published by the Geographic Survey Institute.

鉱山北方には新第三紀中新世～鮮新世の海成の火山噴出物(地層名:美笛川層, 深沢層)が分布し, 支笏湖西方には千歳金銀鉱床が位置する。中新統～鮮新統の上位には鮮新～更新世の陸成の火山噴出物(壮溪珠層など:主として安山岩質火山噴出物や泥流堆積物)が広く分布する(通商産業省, 1979; 吉村ほか, 1987)。

上記の鮮新～更新統火山岩類分布域には, 更新世に形成された硫化鉄鉱床, 硫黄鉱床, 褐鉄鉱床が形成されている他, これに関連した粘土化変質帯が点在し

て分布し, これらの鉱床や変質帯分布域では地すべり地形が多く認められる。また鮮新～更新統火山岩類に由来する土石流堆積物も広く分布する。空中写真判読によれば, 南白老バライイト鉱山地区には古い地すべりに起因すると見られる地すべり地形とリニアメントが認められる(第2図)。

南白老バライイト鉱山の採掘対象鉱種は, 重晶石(バライイト)と粘土(カオリン)である(杉本・庄谷, 1967; 松波・庄谷, 1985)。本鉱床は12Ma頃に形成された黒鉱型鉱床に属する(Yoneda, 1995; 八幡, 2002)。

III 地すべりの発生とその機構

III. 1 概要

南白老バライイト鉱山では, 製紙用のカオリンを露天採掘し, 精製後に地元の製紙会社に納品していた。1987年当時, 第一粘土鉱体の採掘から第二粘土鉱体の採掘へと切り替える作業が進められていた。第一粘土鉱体は斜面からやや離れた白老川に近い地区での採掘であったが, 第二粘土鉱体は斜面に近い地区での採掘を予定していたために, 粘土鉱床分布域の表土の掘削と併せて支笏火山噴出物からなる斜面上部からベンチカット方式での切土が開始された。

1987年2月に斜面に亀裂が発生し, 5月以降, 急速にその範囲が拡大した。鉱山会社から当所に相談があったのは同年10月であり, 鉱山会社と関係機関との協議が進行中, 筆者が現地調査に着手できたのは, 同年11月18日からである。この時点で地すべりはすでに正面斜面上部に大きな滑落崖を形成し, 北部斜面においては地すべり土塊内部が流動化していた。地表踏査による全体像の把握とともに地すべり土塊の移動量観測のための簡易計測器の設置を行い, 地すべり面把握のための調査ボーリングの実施提案を行った。

その後, 上記提案に対応して鉱山会社による調査・観測の開始と, 鉱山会社から委託された応用地質株式会社による調査が実施された。筆者は, 11月以降, 複数回, 現地調査を実施し, 地すべりの進行状況の把握と得られたデータの解析, および鉱床採掘経過の把握と今後の方向性について検討を進めた。当所が担当する期間は1988年3月末までとされたが, 雪解け後の状況把握のため, 1988年5月に追跡調査を実施した。

鉱山会社による採掘は, 関係機関の協議の結果, 監視人による警戒のもと, 地すべりの進行状況を勘案しながら計画を変更しつつ, 継続することとなった。しかし, 1988年11月14日に南部斜面南側の沢状部から流出した土砂によって鉱山作業員1名が重機とともに巻き込まれ死亡した。鉱山の採掘はこの事故によって中止となり, 現在に至っている(第1表)。

筆者は地すべりのその後の挙動を把握するため, 1992年の空中写真による解析と1996年5月と7月に追跡

第1表 地すべりの経緯
Table 1 Progress of mining and landslide movement

年月日	現象	採掘対応	鉱山活動		地すべり調査	
			重晶石鉱床	カオリン(粘土)鉱床		
1950年頃	(S25)		鉱床発見			
1958年頃	(S33)		採掘開始 (坑道採掘)			
1967年	(S42)		露天採掘開始			
1974年	(S49)	・北部斜面切土・張芝工		第一粘土鉱体露天採掘開始		
1978年	(S53)	・北部斜面切土法面拡大				
1981年10月頃	(S56)	・正面斜面～北部斜面末端部の法面整形（張芝工）				
1983年4月頃	(S58)	・上記法面末端部での崩壊	採掘	第一粘土鉱体採掘	露天採掘範囲拡大	
1983年7月頃	(S58)	・上記崩壊部の法面整形				
1986年10月	(S61)	・上記法面での法面変状再発				
1987年1月	(S62)			第一粘土鉱体採掘終了		
1987年2月頃	(S62)	・上記法面変状の拡大 ・北部斜面の中段以下で表層が流動化 ・正面斜面の中段まで亀裂発生		第二粘土鉱体背面斜面（正面斜面及び北部斜面）の末端部の表土排土、及び斜面上部の切土・整形 3月下旬(?)～ 第二粘土鉱体採掘開始		
1987年5月	(S62)	・北部斜面上部で倒木発生 ・正面斜面中段の亀裂拡大				
1987年7月	(S62)	・正面斜面上部に亀裂拡大				
1987年8月	(S62)	・正面斜面の上部亀裂（主滑落崖）が明瞭になる ・豪雨により北部斜面の変状顕著		第二粘土鉱体採掘 第二粘土鉱体背面斜面 （正面斜面及び北部斜面） の上部の切土・整形 排水路設置	【応用地質網】	【地下資源調査所】 現地質研究所
1987年10月	(S62)	・上記の現象が拡大	採掘一次（20日間） 中断し、法面整形			
1987年11月	(S62)	・上記の現象が拡大				現地調査開始
1987年12月	(S62)	・上記の現象が拡大			鉱山会社からの委託調査開始	現地調査
1988年1月	(S63)	・上記の現象が拡大				
1988年2月	(S63)	・上記の現象が拡大				
1988年2月	(S63)	・2月15日頃から斜面変位量が増大 ・9段目亀裂（中段滑落崖）の拡大		第二粘土鉱体採掘 第二粘土鉱体背面斜面 （正面斜面及び北部斜面） の下部の切土・整形 排水路設置		
1988年3月	(S63)	・3月2日からさらに変位量増大				
1988年3月	(S63)	・3月7日夜 小規模崩壊（ダンプ40～50台分の土砂） ・3月8日昼 小規模崩壊 ・3月8～10日 異常な変位	3/10 採掘中止命令（鉱山保安）			
1988年3月	(S63)		3/27～3/31 一時的に採掘許可			
1988年4月	(S63)		4月1日～5月中旬まで採掘中止			
1988年5月	(S63)	・南部斜面末端部に亀裂が多く発生し、外周排水路変形 ・南部斜面上部の古い滑落崖や凹地、鞍部地形の変形が進み、倒木顕著 ・中段滑落崖直下の亀裂は斜面側に傾斜し、亀裂より下位は1m以上の迫り上がり	中旬：正面斜面末端部での採掘を回避し、北東部で採掘再開	中旬：北東部で第二粘土鉱体採掘再開		中旬：追跡調査
1988年6月	(S63)		北東部で断続的に採掘			斜面変状の機構解明と対策工指針を報告
1988年8月	(S63)	・8月11日以降、大雨により採掘地が泥状になり、8月末頃まで採掘中断	製品不足分を輸入品で対応	第二粘土鉱体採掘 北東部のみ		
1988年9月	(S63)					
1988年11月14日	(S63)	・南部斜面西端部の沢状部からの土砂流出により作業員1名死亡	11/14 採掘中止命令（鉱山保安）			
1996年5月～7月	(H8)					追跡調査

調査を実施した。

なお、当時の近藤鉱業(株)の会社規模は、資本金1,000万円、従業員40名、1986年度売上6億2,000万円であった。

III. 2 調査内容

本地すべりに関する調査は、時間的制約、調査費用

第2表 調査項目と観測データ概要
Table 2 Matters for investigation and summary of observations

調査ボーリング

孔井名	調査位置	掘進期間	掘進長 (m)
62-1号孔	7段目ステップ	1987/12/15 ~ 12/29	80.00
62-2-1号孔	9段目ステップ	1988/1/8 ~ 1/13	40.00
62-2-2号孔	9段目ステップ	1988/1/16 ~ 1/27	59.20
62-3号孔	3段目ステップ	1988/1/19 ~ 1/31	94.85

空中写真

撮影年
1948年 (S23)
1964年 (S39)
1977年 (S52)
1984年 (S59)
1991年 (H3)
1992年 (H4)

移動杭(抜板)による計測

計測地点名	計測期間	累計移動量 (mm)	移動量合計 (m)	日平均移動量 (mm/日)	日最大移動量 (mm/日) と計測期間	その他の大きな日変位 (mm/日)
3段	1987/11/11 ~ 1988/1/6 (56日間)	90	0.090	1.61	10.00 (1987/11/12-14)	
4段 (4-1)	1987/10/1 ~ 1987/10/26 (25日間)	225	0.775	9.00	10.25 (1987/10/22-26)	
4段 (4-2)	1987/10/28 ~ 1988/1/17 (81日間)	550		6.79	14.67 (1987/11/20-26)	13.33 (1987/11/11-14)
5段 (5-1)	1987/10/28 ~ 1988/1/20 (84日間)	347	3.278	4.13	9.75 (1987/11/14-26)	7.67 (1987/11/11-14)
5段 (5-2)	1988/1/16 ~ 1988/2/17 (32日間)	141		4.41	12.00 (1988/2/16-17)	
5段 (5-3)	1988/3/1 ~ 1988/4/18 (48日間)	1,424		29.67	61.00 (1988/3/8-10)	30~50mmが多い
5段 (5-4)	1988/4/21 ~ 1988/5/31 (40日間)	1,366		34.15	46.00 (1988/5/11-12)	30~40mmが多い
北側 (北-1)	1987/11/11 ~ 1988/1/17 (67日間)	240	1.645	3.58	5.00 (1987/11/12-14)	
北側 (北-2)	1988/1/16 ~ 1988/2/17 (32日間)	105		3.28	7.00 (1988/2/3-4, 2/16-17)	
北側 (北-3)	1988/3/1 ~ 1988/4/18 (48日間)	558		11.63	28.00 (1988/3/8-10, 4/13-14)	
北側 (北-4)	1988/4/23 ~ 1988/5/31 (38日間)	742		19.53	30.00 (1988/5/11-12)	20~30mmが多い

伸縮計

計測地点名	計測期間	累計移動量 (mm)	平均日移動量 (mm/日)
4段	1988/1/31 ~ 1988/2/7	200	28.6
4段	1988/2/28 ~ 1988/3/3	120	40.0
5段	計測不完全		
北側	データ入手できず		

の制約の中, 空中写真判読, 現地踏査, 調査ボーリング, 移動量調査(移動杭, 伸縮計), 断面解析と安定性評価が実施された. 各調査項目のうち, 当所が関わり本報告で扱う内容について, 第2表に示した.

なお, 南白老バライト鉱山露天採掘地における斜面変状を知る上で, 鉱山会社が撮影した写真は重要である. 本報告では地すべり前の1978年~1986年の写真, 地すべり活動中の1987年~1988年の写真, 地すべり運動終息期の1990年~1995年の写真を使用した.

以下に, 各調査について述べる.

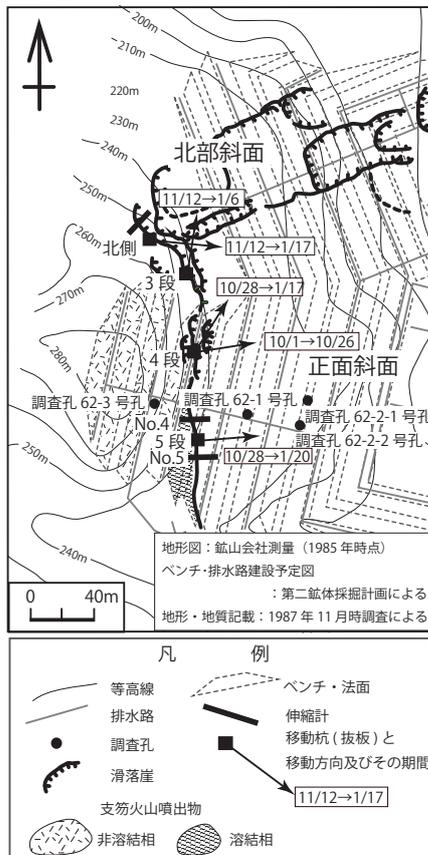
III. 2. 1 現地踏査

筆者は本地すべり発生通報後の1987年10月15日に概況把握を行った. その後, 1987年11月18~20日, 12月3~4日, 12月25日, 1988年1月20~21日, 2月3~4日, 2月17~18日に現地調査を実施した. さらに, 1988年5月16~17日, 1996年5月および7月に追跡調査を行った.

これらの調査では, 地すべり地内およびその周辺域の地質観察, 地形変状観察, 採掘切羽の観察, 既存(探鉱)ボーリングコアの観察, 地すべり調査ボーリングコアの観察, 地すべり調査ボーリング孔での孔曲がり計測と地下水位計測, 移動杭(抜板: 以下, 同様)による移動量計測を行った.

III. 2. 2 調査孔による地すべり面および地下水位の把握

1987年12月15日から1988年1月31日までに鉱山会社



第3図 地すべり観測地点位置図と地すべり移動方位
Fig.3 Locations of landslide observation and direction of landslide.

により計4本の地すべりボーリング調査が実施された。孔井名は、地すべり土塊内の62-1号孔 (掘進長80m)、62-2-1号孔 (掘進長40m)、62-2-2号孔 (掘進長59.2m)、主滑落崖の背後の62-3号孔 (掘進長94.85m) である。調査地点を第3図に、孔井地質と総合柱状図を第4図に示した。なお、孔井地質記載については、末尾の付記に示した。

これらの孔井について掘進中の状況 (地下水位計測を含む) を把握し、掘進後に孔曲がり位置の計測と地下水位の計測を行った。孔曲がり位置の計測は、孔内に挿入された塩ビ管 (内径51mm) 内にワイヤーで吊り下げた鉄棒 (径34mm、長さ500mm) を降ろし、停止した深度を孔曲がり深度とした。ただし、孔曲がりの角度に加え、塩ビ管と鉄棒 (挿入管) 径の差、および鉄棒の長さにより、挿入限界深度が左右されるため、真の地すべり面深度を示している訳ではないが、本地すべりのように急激な変位を示す地すべり面深度を推定するためには有効であると判断した。地下水位については、テスターでの計測を行った。

III. 2. 3 移動杭および伸縮計による移動量調査

急激な地すべりの動きを定量的に把握することが必要となったが、緊急に伸縮計の設置する余裕がなかったため、移動杭による計測を行った。まず、主滑落崖をまたいだ地点に杭を打ち、杭間の距離を計測する

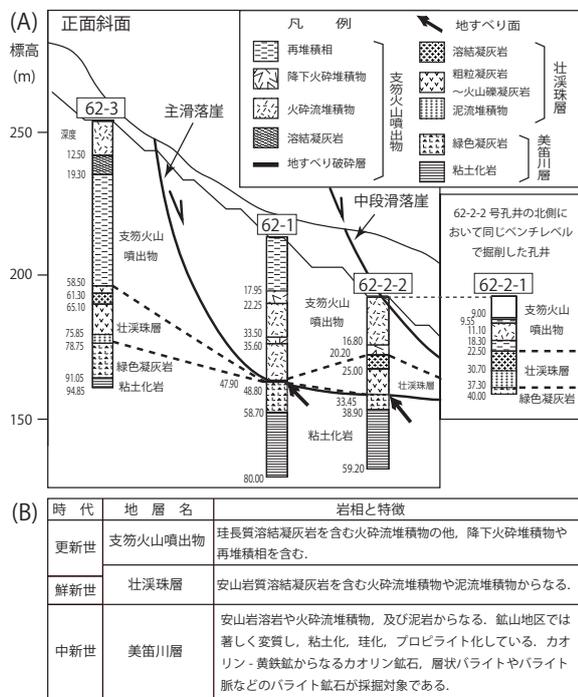
ことにした。当初、鉱山会社が1987年10月1日から独自に開始し、その後、筆者らが改良を加えて継続的に計測した。移動杭は、3段目ベンチ (地点名: 3段)、4段目ベンチ (地点名: 4段)、5段目ベンチ (地点名: 5段)、北部斜面最上部 (地点名: 北側) に設置した (第3図)。各移動杭は移動量が大きくなると破損し、その都度、改良を行ったため、改良後のデータ番号を、たとえば4段目ベンチでは4-1、4-2とした。移動量については第2表および第5図に示した。

移動杭は、当初、2つの杭にそれぞれ板が向かい合う様に、ほぼ水平に板を固定し、2つの板の先端の距離を計測し、その変化量を移動量とした。しかし、移動量が大きくなるにつれ、この方法での計測が困難になり、杭と杭の間をピアノ線を使用して計測することとした。ピアノ線を上手側の杭に固定し、下手側の杭ではピアノ線の先端に錘をつけて垂らし、2つの杭間のピアノ線の長さの変化量を移動量とした。

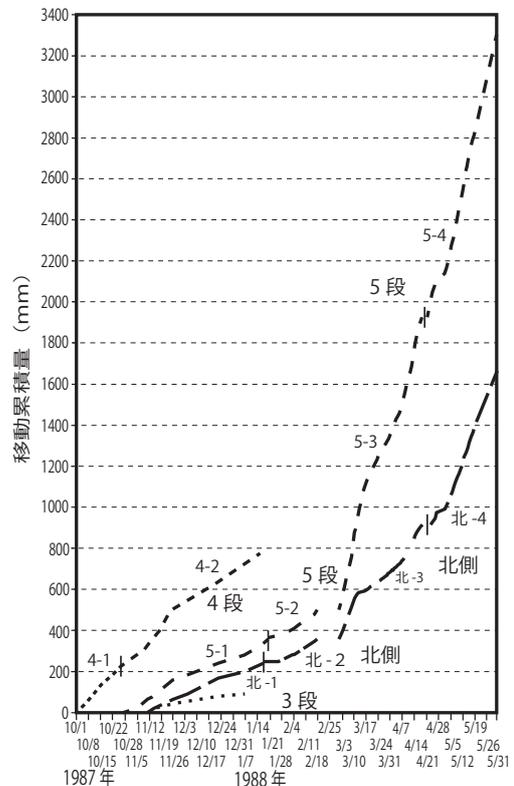
伸縮計については、主滑落崖を挟んで4段目ベンチと5段目ベンチの間の移動量 (地点名: 4段目伸縮計)、5段目ベンチと6段目ベンチの間の移動量 (地点名: 5段目伸縮計)、北部斜面での移動量 (地点名: 北部伸縮計) を計測するために、応用地質(株)により設置された。

III. 3 地すべり地の地質

南白老バライト鉱山地区の地質は、下位より中新統



第4図 地すべり調査ボーリングの孔井柱状対比 (A) と層序図 (B)
 Fig. 4 (A) Drill hole columns on the geological cross section of the Front slope, and (B) summary of stratigraphy of the Minami-Shiraoui Barite Mine area.

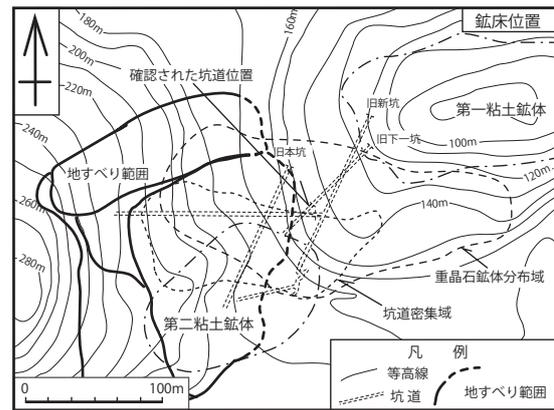


第5図 移動杭 (抜板) による移動累積量
 Fig. 5 Integrated distance of landslide movement using the observation piles.

の美笛川層, 鮮新一更新統の壮溪珠層, 上部更新統の支笏火山噴出物, 斜面堆積物(崖錐)からなる(第4図)。以下に, これらの岩相等の特徴について述べる。なお, 南白老バライト鉱山における第一粘土鉱体分布域, 第二粘土鉱体分布域, 重晶石鉱体分布域, および坑道密集域について第6図に示した。

また, 地すべり地内の各斜面を説明するために, 次のように各斜面に名称を与えて呼称することとした(第7図, 写真1, 2) 第二粘土鉱体採掘のために整形される西側の斜面を北部斜面と正面斜面と呼ぶ。その南方の斜面を南部斜面と, その東方を東部斜面と呼ぶ。[美笛川層]

中期中新世の火山噴出物からなり, 鉱山周辺では変質した安山岩溶岩, 同質の凝灰角礫岩, 緑色凝灰岩および礫岩や砂岩からなる。安山岩溶岩は淡緑灰色で, 斜長石斑晶が目立つ複輝石安山岩であるが, 鉱山地区内では変質が著しく, 原岩組織が不明のことが多い。鉱山事務所北方の白老川右岸では原岩組織が明瞭で, アルバイトや緑泥石に交代された安山岩が分布する。凝灰角礫岩は径3~20cmの安山岩角礫を多く含むが, 熱水変質による珪化や角礫化が進み, 溶岩との識別が難しいことも多い。緑色凝灰岩は粘土化岩や珪化岩(原岩: 主に安山岩質溶岩や凝灰角礫岩)を覆って分布し, 長径1~7cm, 短径0.1~3cmの葉片状の軽石を多く含み, 層理が認められる。軽石は緑泥石やスメクタイトに変質している。鉱山地区では著しく変

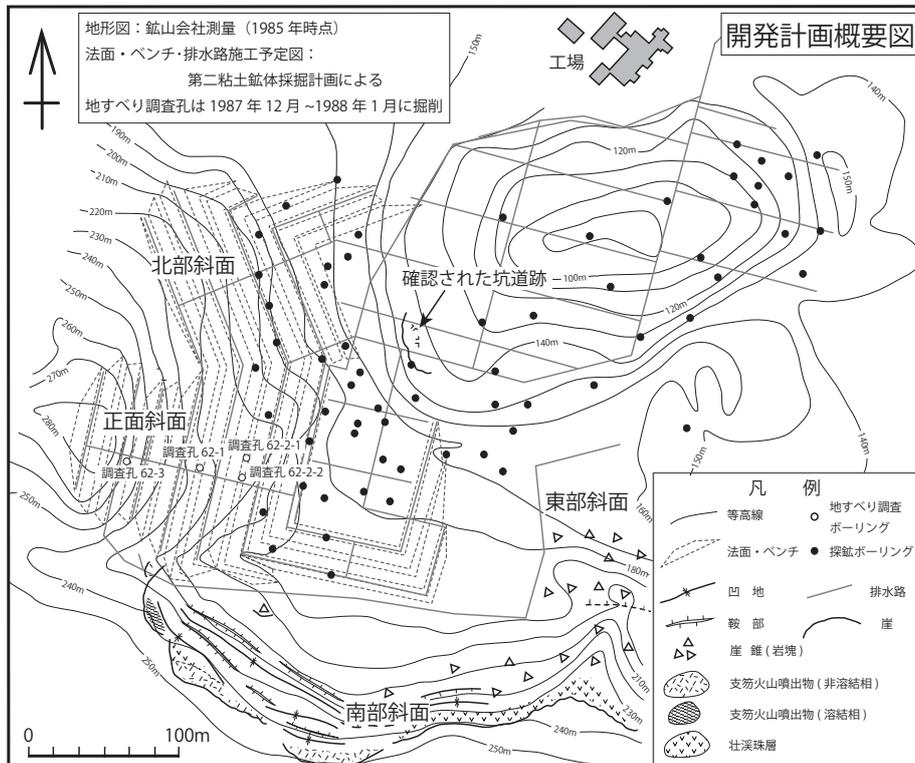


第6図 南白老バライト鉱山における鉱体位置概況図(等高線は1985年時点)

Fig.6 Summarized ore bodies distribution in the Minami-Shiraoi Barite Mine area. Counter lines are in 1985.

質し, 粘土鉱物含有量が多い。これらを礫岩・砂岩あるいは凝灰岩が覆う。

粘土化岩はカオリン帯, カオリン-スメクタイト帯, イライト-混合層帯, スメクタイト帯などに区分され, 硫化鉱物(主に黄鉄鉱や白鉄鉱)を多く含む。粘土化岩中の硫化鉱物の含有量は非常に多く, 約60%に達する場合もあり, 暗灰色を呈することが多い。粘土化岩中には細かな滑り面が多く認められ, その方向は一定でない。粘土化岩は第一粘土鉱体と第二粘土鉱体およ



第7図 南白老バライト鉱山第二粘土鉱体開発計画概要図(等高線は1985年時点)

Fig.7 The Figure shows the summarized development plan by Kondo Kogyo Co. in 1985. Counter lines are in 1985.

びその周辺で広く分布するが、その多くは探鉱ボーリングにより確認されている（第7図）。

珪化岩は著しく硬質で、角礫状を呈することから、原岩の多くは凝灰角礫岩や火山角礫岩と認定されるが、変質による細脈などの発達などもあり、原岩の認定は困難なことが多い。珪化岩中には石英脈、重晶石脈、黄鉄鉱—白鉄鉱脈が多く認められる。地すべり地内では旧坑道付近で観察される。

礫岩および砂岩は旧坑道付近（第6, 7図）の珪化岩の上位、あるいはその東方に分布する。礫は径2～15cmの円礫～亜円礫を主とし、礫種は変質した安山岩や珪化岩が主である。砂岩中には重晶石からなる粒子が多く含まれ、ほとんど全て重晶石粒子が占める場合もある。この重晶石砂岩は重晶石鉱体の一部をなす。[壮溪珠層]

南部斜面の尾根付近に分布する安山岩質溶結凝灰岩、火山角礫岩、火山円礫岩（泥流堆積物）からなる。安山岩質溶結凝灰岩は非常に硬質で、褐色～茶褐色で、本質レンズは灰色～淡褐色を呈し、3～20cm×1～2cmで、一見、流理の発達した溶岩のように見えることもある。南部斜面の他、正面斜面、北部斜面および東部斜面の地下にも分布する。火山角礫岩は径2～10cmの安山岩角礫を主とし、火山円礫岩を伴うことが多い。火山円礫岩卓越部では径2～30cmの安山岩円礫を多く含み、弱い層理が認められる。火山角礫岩や火山円礫岩は南部斜面に分布する他、正面斜面にも分布する。なお、正面斜面の調査孔では粗粒凝灰岩や火山礫凝灰岩も確認された（第4図）。

[支笏火山噴出物]

正面斜面上部や南部斜面に分布する。溶結凝灰岩、非溶結の軽石質火砕流堆積物、降下火砕堆積物および再堆積層からなる。

溶結凝灰岩は南部斜面や正面斜面に分布する他、調査孔においても確認された。淡灰色で、硬質である。強溶結部は3～10cm×1～3cmの白色の本質レンズを多く含み、その基質は淡褐色～灰色の軽石片や粗粒～細粒の火山灰からなる。弱溶結部では溶結構造が認められるものの、非溶結の白色軽石も多く認められる。溶結凝灰岩には安山岩やデイサイトなどの岩片（径1～3cm）が含まれる。

非溶結の軽石質火砕流堆積物は主に径1～10cmの白色～淡灰色軽石と、これを充填する基質からなる。基質は軽石や粗～細粒火山灰からなり、全体として脆い。

降下火砕堆積物と再堆積層は南部斜面や正面斜面の法面および調査孔（第4図）で観察される。南部斜面では支笏火山噴出物基底部で、正面斜面では溶結凝灰岩の下位の火砕流堆積物中に認められる。降下火砕堆積物は径0.2～1cmの淘汰の良い軽石を主とし、基質には粗粒～細粒の火山灰を含むことが多い。再堆積層

は軽石（径0.1～5cm）や岩片（径1～3cm）を含み、弱いラミナを有し、火山灰を主とし、基質は砂質である。また部分的に粘土質（ローム質）である。これらが互層状を呈することがある。また一部に再堆積によるとみられる黒色土層が介在する。

[斜面堆積物（崖錐）]

東部斜面や南部斜面には、数10cm～数mのブロックからなる斜面堆積物が分布する。各ブロックは壮溪珠層の安山岩質溶結凝灰岩や火山角礫岩からなる。ブロック間には充填物が認められることは少ない。

III. 4 経過

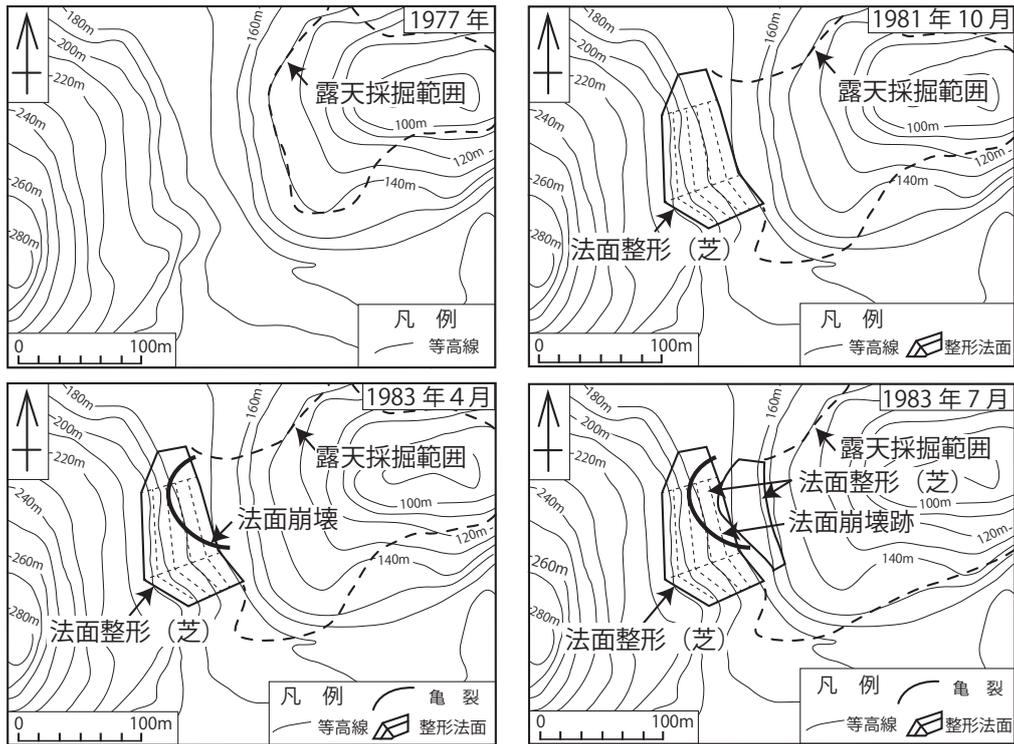
本項で述べる事柄のうち、1987年11月～1988年5月までの多くは筆者が直接現地で観察した事実にもとづくものであり、それ以外については鉱山会社が撮影した写真および同社への聞き取り等にもとづくものである。これらの時期における地すべりの変遷については第8, 9, 10, 14, 15, 16図に示した。

正面斜面および北部斜面の変状は、1974年頃の第一粘土鉱体露天採掘の開始に遡るものと推察される。露天採掘の開始に伴って北部斜面末端部は切土されたとのことである。1978年には切土範囲は拡張され、1981年10月には正面斜面北端の末端部まで拡大され、張芝工が実施された（第8図）。既存写真ではこれらの法面整形前に斜面の変状があったのかどうか不明である。

1983年4月頃、第一粘土鉱体および重晶石鉱床露天採掘範囲の拡大時期に、上記の法面末端部での崩壊が発生した。この崩壊地形については、1983年7月に切土され、法面の整形が行われた（第8図、写真3）が、約3年後の1986年10月に上記の法面での変状が再発した（第9図）。

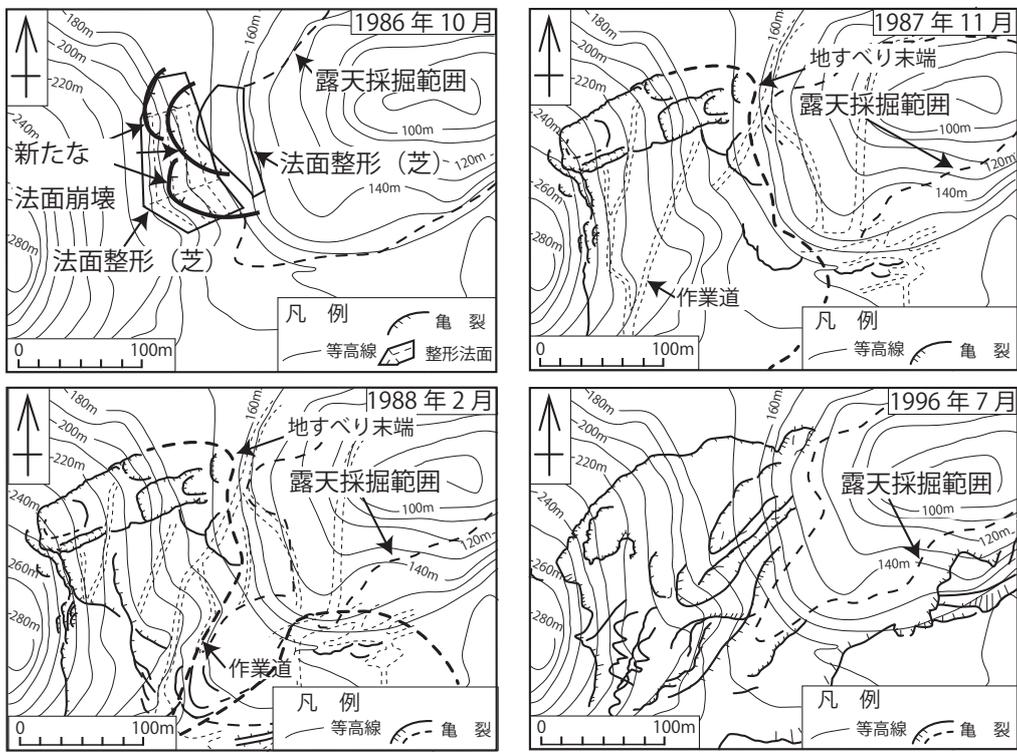
鉱山会社は第一粘土鉱体の資源枯渇に伴い、1987年1月に採掘を終了し、引き続き第二粘土鉱体の採掘に着手した。第二粘土鉱体は第一粘土鉱体よりも山側に位置し、正面斜面での剥土をしない限り採掘できない位置に賦存している（第6図）。1987年2月に開始された第二粘土鉱体の採掘は、正面斜面上部の切土および整形、そして斜面末端部での表土（支笏火山噴出物および緑色凝灰岩）の排土と平行して行われた。これらの斜面形状の改変と同時にすでに変状が現れていた正面斜面および北部斜面末端部の変状域は拡大した。北部斜面では中段レベル以下で表土が流動化し、正面斜面では中段レベルにも亀裂（後の中段滑落崖）が発生した。

粘土の採掘は、その後も計画通り進められ、雪解け後の1987年5月には北部斜面上部で倒木が多く発生するなど、北部斜面全体に変状が及んだ。また、正面斜面中段での亀裂範囲はさらに側部に拡大し、7月には正面斜面上部にも新たな亀裂（後の主滑落崖）が発生した。1987年8月には正面斜面の主滑落崖は明瞭になり、



第8図 地すべり変遷概況図 (その1)(等高線は1985年時点)

Fig. 8 Summarized map of landslide progress (part 1) from 1977 to 1983. Counter lines are in 1985.



等高線は1995年時点を表す

第9図 地すべり変遷概況図 (その2)(等高線は1985年時点)

Fig. 9 Summarized map of landslide progress (part 2) from 1986 to 1996. Counter lines are in 1985.

遠方からでも確認可能となり、北部斜面は豪雨も加わって一層変状が著しく、表層部は流動化した。

1987年10月に鉱山会社は関係機関と協議の上、当所に相談を寄せた。なお、この時期、鉱山会社は斜面最下部に位置する第二粘土鉱体露天採掘切羽を確保するため、約20日間、粘土の採掘を中断し、上記の変状をきたした法面の整形作業を行った。

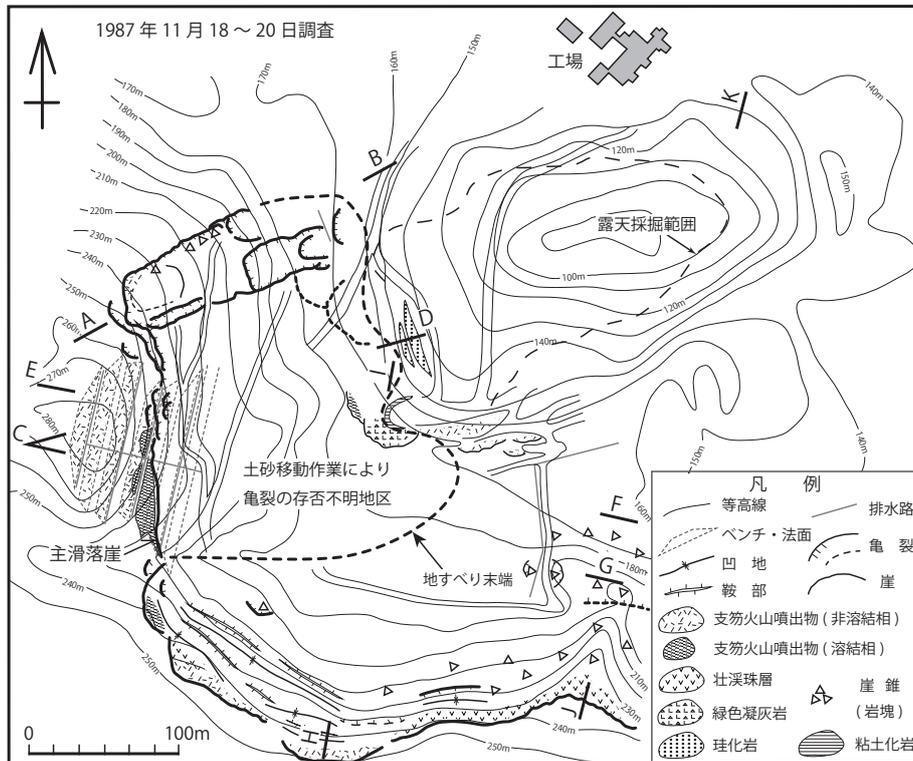
以下、各現地調査時点での観察事実とその前後の観測データについて述べる。

【1987年11月18～20日の観察】

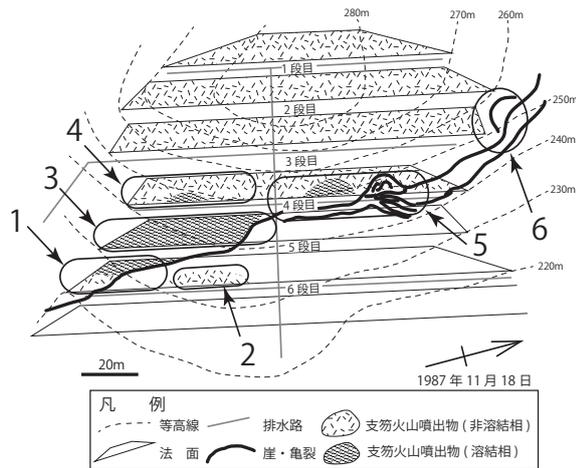
この時点で正面斜面の北部の、上から2段目から6段目のベンチ（以下、同様の表現とする）で、大規模な滑落崖を確認した（第10, 11, 12図, 写真4-A, B）。これを主滑落崖と呼ぶ。前述のとおり、この滑落崖は1987年7月頃には形成されていた。4段目ベンチにおける主滑落崖では、支笏火山噴出物の強溶結相（写真5-A）が分布し、滑落崖にそって破断され、径50～150cm大のブロックとなっていた（第12図-5）。溶結凝灰岩の上位には非溶結の軽石が卓越する火砕流堆積物が覆う（第11図, 第12図-4, 第12図-6）。正面斜面中央付近の法面上の排水路から32m北側の地点で、主滑落崖は4段目ベンチ上に設置されたコンクリート排水溝を破断し、その北側では幅約15m、斜面長約15mにわたり斜面が崩壊していた（第12図-5）。これより南側ではベンチ上を斜面方向に切る落差1.3～1.6mの滑落崖が認められる（第12図）。

主滑落崖は正面斜面南側では5段目ベンチ（第12図-3）で約1mの落差、6段目ベンチ（第12図-1）で15～40cmの落差があり、南側で落差は小さくなる。溶結相を滑り面が切る部分では、溶結相はブロック化しているのが特徴である。なお、5段目ベンチでは主滑落崖に沿って幅約1.5mにわたって古い破碎帯が認められた（第12図-3）。この破碎帯内では主滑落崖方向の小さな亀裂が多く認められ、それらは全て密着していた。古い破碎帯の背後の溶結凝灰岩は法面に沿って広くブロック化し、その径は約15～120cmであった。これらのことは、主滑落崖形成以前にすでに溶結凝灰岩が破碎あるいはブロック化していたことを示している。5段目ベンチ付近の滑落崖の走向傾斜はN7～11E, 73～85E, あるいはN8W, 72Eである。また、6段目ベンチにおける滑落崖付近では溶結相とその下位の非溶結相が分布する。非溶結相の火砕流堆積物中には黒色土層（層厚5～15cm）、スコリアを含む火山灰層、赤褐色火山灰層が介在し、再堆積相、または古い崩壊土と推定される部分が認められる（第12図-2）。なお、この黒色土層は火山灰粒子や粘土質土を伴うことから再堆積層と考えられる。

正面斜面における主滑落崖付近の地すべり土塊移動量は、4段目ベンチでは10月1～26日の日平均移動量が9.00mm（日最大移動量：10.25mm：10月22～26日）、10月28日～11月17日の日平均移動量が6.79mm（日最大移動量：13.33mm：11月11～14日）であった。しかし、



第10図 地すべり変遷図（1987年11月18～20日）（等高線は1985年時点）
 Fig. 10 Landslide map based on the observation in Nov. 18-20, 1987. Counter lines are in 1985.

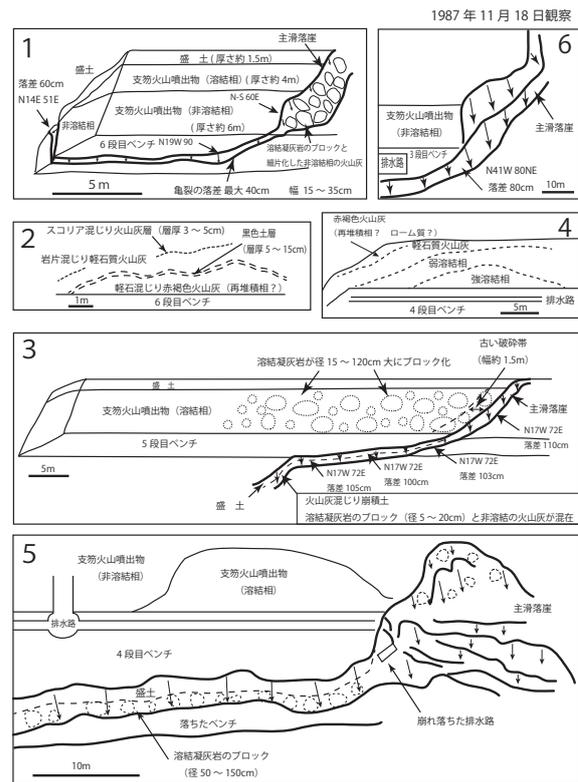


第11図 正面斜面における主滑落崖位置図
 1~6の番号の位置のスケッチを第12図に示した。
 Fig.11 Distribution map of the Shikotsu volcanics and main scarp in the front slope. Numerals show the geological sketches in Fig. 12.

その後11月20日頃から移動量は増大し、11月20～26日には日平均移動量14.67mmに達した。5段目ベンチでは10月28日～1月20日の日平均移動量が4.13mmであるが、11月11～14日の日平均移動量が7.67mm、11月14～26日の日平均移動量が9.75mmと次第に増大している。3段目ベンチでは11月11日～1月6日の日平均移動量が1.61mmで、日最大移動量は11月12～14日の10.00mmであった。このように1987年10月～11月においては10月下旬以降次第に動きが活発になり、とくに11月中旬以降の移動量の急激な増加が目立つ(第2表)。

正面斜面の主滑落崖の下方では、作業道の設置やこれに伴う被覆土によって、1987年2月以降に形成され、拡大した中段滑落崖は確認できなかった。

正面斜面末端部では、カオリン粘土の採掘が行われていた。採掘切羽では最下部にカオリン粘土が高さ4～5m、幅約40～50mにわたり露出し、その上位に緑色凝灰岩が覆っていた。緑色凝灰岩は切羽では層厚約2～3mで、扁平な軽石が卓越し、スメクタイトを主とした粘土化変質作用を受けている。切羽の北側では珪化岩が幅約60mにわたり分布する。珪化岩の崖は高さ3～5mで、2段にわたり分布している。下段の崖には旧坑道跡が2箇所認められた。珪化岩には黄鉄鉱などの硫化鉱物が多く含まれる他、石英脈や重晶石脈が多く含まれる。緑色凝灰岩の上位には支笏火山噴出物が覆っている。支笏火山噴出物は切羽南部では非溶結の火砕流堆積物が、北部では溶結相からなり、層厚はそれぞれ3～6m、4～5mである。この時点で切羽において明瞭な地すべり面は確認されてはいないが、緑色凝灰岩中、および支笏火山噴出物と緑色凝灰岩の境界部付近が脆くなって、水の浸み出しが認められた。なお、支笏火山噴出物の溶結相が緑色凝灰岩の直上で



第12図 正面斜面における主滑落崖付近のスケッチ
 Fig.12 Geological sketches of the main scarp in the front slope. Numerals show the locations in the geological sketches in Fig. 11.

認められるのは、この切羽のみである。他の切羽や調査孔では緑色凝灰岩と溶結凝灰岩の間には厚い非溶結層や再堆積層(写真5-B)が分布することから、上記の切羽での溶結凝灰岩の分布については地すべりによる移動を考慮する必要がある。

正面斜面北側に位置する北部斜面では幅約30～60m、延長約150mに渡る地すべりが形成され、地すべり内は小ブロックに別れて変形、移動し、多くの倒木が確認された。第13図に北部斜面のスケッチを示す。北部斜面の地すべり頂部は正面斜面から続く主滑落崖延長部にあたる。北部斜面における地すべりは正面斜面での変形とは異なることから、ここでは北部斜面地すべり土塊と呼ぶ。

北部斜面地すべり土塊の上部では、冠頂部付近の主滑落崖で約4mの落差、側方滑落崖で1.5～2.5mの落差が認められた。また、冠頂亀裂も複数認められた。土塊内では表層が著しく歪み、倒木が多く、小規模な亀裂が多く発達している(写真4-D)。冠頂部から約60～70m付近に地すべり土塊を胴切りするN50W走向の引張割れ目が形成され、その落差は約50cmであった。以上のように北部斜面地すべり土塊上部の内部は引張りによる亀裂が多く形成されていた。また、滑落崖や亀裂に認められる地質は、支笏火山噴出物起源の崩積土で、全体に不均質、かつ密着性に乏しい。

北部斜面の主滑落崖付近の地すべり土塊の移動量は、11月11日～1月17日の日平均移動量が3.58mmで、日最大移動量は11月12～14日の5.00mmであった（第2表）。

北部斜面地すべり土塊の下部は全般的に沢地状（凹地）となっており、表層の流動化により下方へ移動していた。側方滑落崖での落差は南側で約1.5m、北側で約2.5～6m（写真4-C）と北側で大きい。なお、北側の崖に露出している地質は、壮溪珠層の溶結凝灰岩からなる角礫が主で、その上位に支笏火山噴出物起源の崩積土が覆っている。壮溪珠層の溶結凝灰岩角礫は径10～60cmの角礫からなり、角礫の粒間は空隙が多く、溶結構造の走向傾斜はブロック毎に異なることから、崩積土あるいは崖堆積物と判断される。

北部斜面地すべり土塊の末端には緑色凝灰岩が分布し、その上位には張芝工によって整形された盛土が認められることから、かつての斜面崩壊を補修した跡と判断した。なお、この緑色凝灰岩露出部には旧坑道跡が1箇所確認され、地すべり土塊の末端部は旧坑道に達している。

南部斜面には急峻な地形が発達し、その形状から古い滑落崖および地すべり地内の地形変状と判断された（第10図）。古い滑落崖の下方には滑落崖に平行に凹地あるいは鞍部が複数配列している。旧滑落崖の高さは

数m～約20mに達する。凹地および鞍部の高さは1～数mで両者は幅数m間隔で平行に配列している。上記の崖には壮溪珠層と支笏火山噴出物が分布する。壮溪珠層は安山岩質で、下部の溶結凝灰岩と上部の火山角礫岩～凝灰角礫岩、あるいは泥流堆積物からなる。溶結凝灰岩の層厚は20～30mで、非溶結層の層厚は東部で約20m以上、西部で約1mである。支笏火山噴出物は下部から降下火砕堆積物または再堆積相（層厚約1～2m）、非溶結の火砕流堆積物（層厚約5～6m；一部に再堆積相を含む）、溶結相の火砕流堆積物（層厚約5～10m）である。

【1988年1月20～21日の観察】

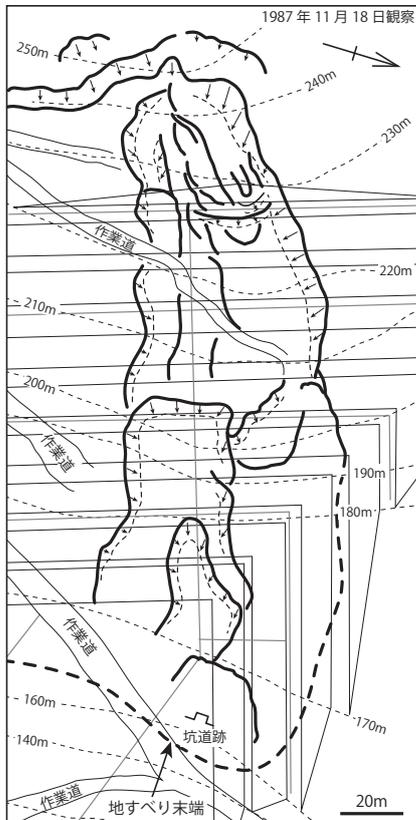
この時点では、正面斜面の法面整形はさらに進み、上から10段目のベンチと11段目の法面整形が完了し、また採掘切羽も正面斜面最下部に達していた（第14図）。なお、この時点で正面斜面の北側約1/3については地すべりの活動が顕著であることから、法面整形は着手されず、また旧坑道がある珪化岩体付近も計画変更により法切りは見合わせた状態であった。また、南部斜面末端部の外周排水路の設置は計画通り進められていた。

正面斜面の主滑落崖はさらに拡大し、その下方の8段目と9段目ベンチには新たな亀裂が2条発生した。このうち上位の亀裂は1987年春に発生していたが、その後、斜面整形作業に伴う盛土に覆われていた。しかし斜面全体の変位量の増加に伴って再び現れたものであり、下位の亀裂は新たに発生したものである。2条のうち上位の亀裂を中段滑落崖と呼ぶ。中段滑落崖は地すべり調査ボーリング62-2-1号孔と62-2-2号孔の中間に位置し、ベンチに斜交して延びている。滑落崖は約10cmの開口亀裂で、落差は大きい場所で60cmである。中段滑落崖は北部斜面地すべりブロックの手前まで続き、また南側では切羽南方（南部斜面末端部）に達していた。中段滑落崖の下方の切羽上では小規模な斜面崩壊が4箇所隣接して発生していた。その崩壊部の地質は支笏火山噴出物の溶結相と非溶結相である。

北部斜面の地すべりの動きは、1987年11月時点と大きな変化はなかったが、表層の流動化は進んでいた。主滑落崖における地すべり土塊の移動量は11月の調査時点以降、11月中～下旬のやや大きな移動量を除いてはそれ依然と比較して大きな変化はなく進行した。

一方、南部斜面については、この調査期間内にその地形変状を観察する余裕はなかったが、正面斜面と南部斜面の中間の沢状部から水が流出し、切羽に流れ込んでいた。

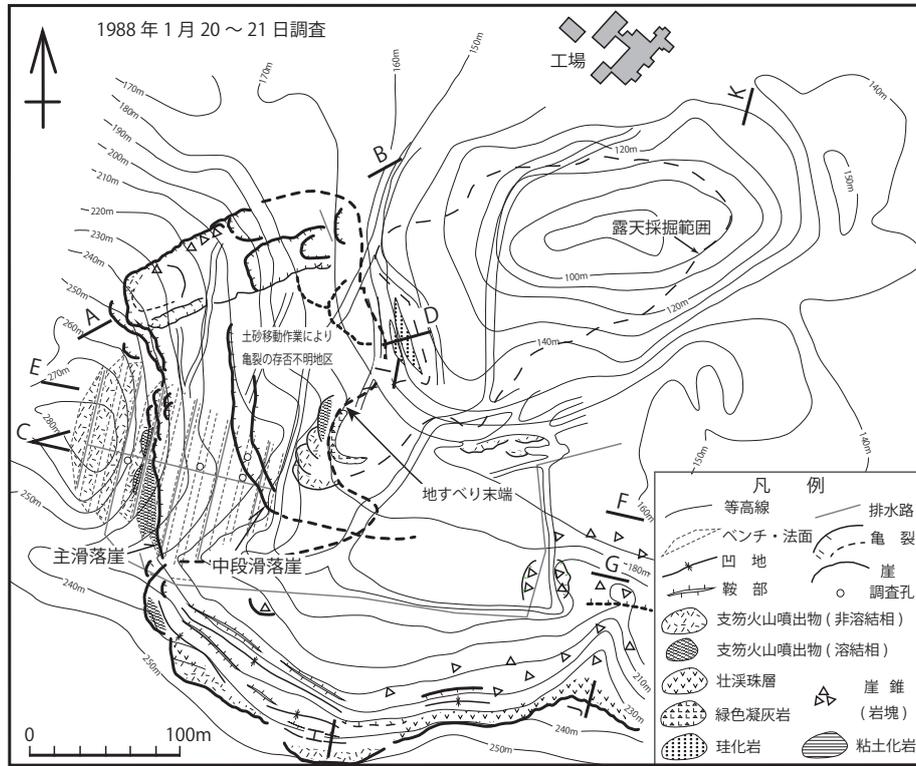
なお、移動杭による移動量の計測とともに、各計測地点での移動方向を計測した。その結果、北側では東方向に（期間：11月12日から1月17日まで）、3段目ベンチでは北方向に（期間：11月12日から1月6日まで）、4段目ベンチでは東方向（期間：10月1日から10月26日



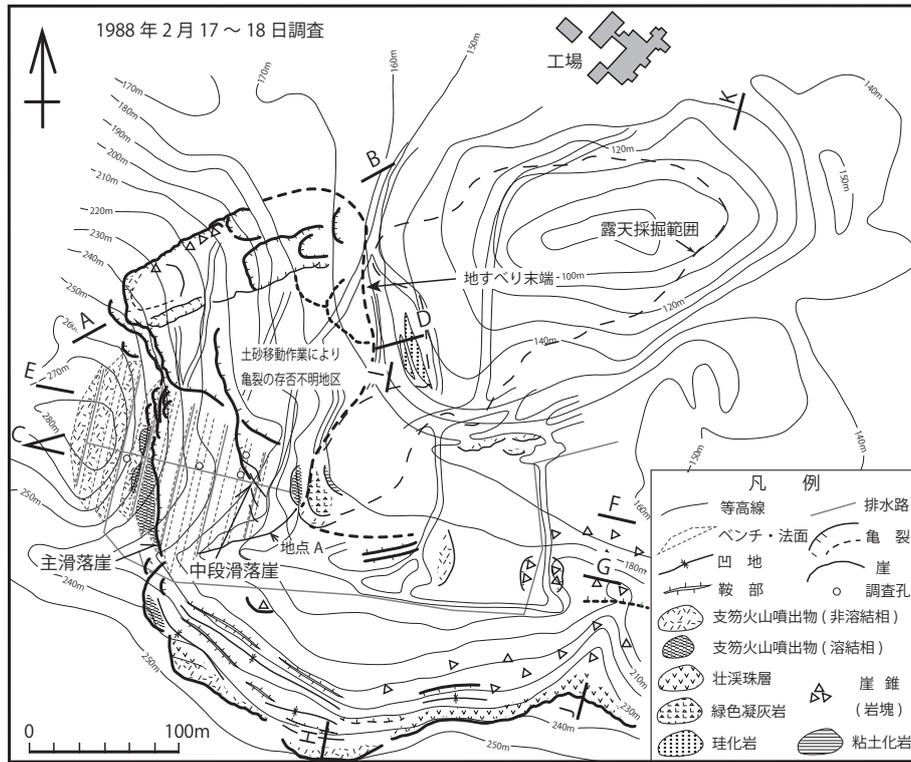
第13図 北部斜面における地すべり形状図（等高線は1985年時点）

Fig.13 Morphological sketch map of the landslide at the north slope. Counter lines are in 1985.

まで) および北東方向に(期間: 10月28日から1月17日まで), 5段目ベンチでは東方向に(期間: 10月28日から1月20日まで)と, 全体としては東方向で, 一時的に北東~北方向への移動を示していた(第3図).



第14図 地すべり変遷図(1988年1月20~21日)(等高線は1985年時点)
 Fig. 14 Landslide map based on the observation in Jan. 20-21, 1988. Counter lines are in 1985.



第15図 地すべり変遷図(1988年2月17~18日)(等高線は1985年時点)
 Fig. 15 Landslide map based on the observation in Feb. 17-18, 1988. Counter lines are in 1985.

【1988年2月17～18日の観察】

この時点で、採掘切羽はさらに正面斜面南側の末端部まで拡大し、粘土の採掘が行われていた（第15図）。粘土の上位に緑色凝灰岩、壮珠内層溶結凝灰岩および支笏火山噴出物が露出していた。法面整形作業は正面斜面から南部斜面へと連続して進められ、作業道やベンチの拡幅工事も進んでいた。

正面斜面の主滑落崖はさらに拡大した。移動量の計測は4段目ベンチでは継続できず、5段目ベンチと北側での実施となった。1月下旬～2月中旬では5段目ベンチでの日平均移動量が4.41mmで、このうち2月16～17日に日最大移動量12.00mmを示した。北側では日平均移動量が3.28mmで、このうち2月3～4日と2月16～17日に日最大移動量7.00mmを示した。なお、2月16日頃からの移動量の増加は3月上～中旬の急激な増加へと進展した。中段滑落崖も拡大し、落差は50cm以上で、開口部は20cm以上に達していた。中断滑落崖の南側では雁行状の亀裂が正面斜面の10段目ベンチ付近に形成された。また正面斜面南端部（第15図地点A、（写真5-C、D））に地すべりの側部と思われるENE-WSW系の亀裂が発生していた。この亀裂は部分的に2条になり、地すべり土塊が南東側の下盤に対し迫り出したものであり、その変位量は約10～20cmであった。

北部斜面では大きな変化は認められなかったが、北部斜面頂部付近から正面斜面の中段滑落崖に向かう新たな亀裂が発生した。これは正面斜面の変位の加速が北部斜面との境界域に影響を与えたものと推定される。

一方、南部斜面の末端から切羽に連続する斜面にE-W系の亀裂があらたに発生した。なお、この調査期間には南部斜面の観察を行っていない。

【1988年3月上～中旬の状況】

この時期には、筆者は現地調査を実施できなかったが、現場では移動量の急激な変化（第5図）や小規模な崩壊の発生など切迫した状況が続いていた。以下に、鉱山企業や関係機関からのデータあるいは聞き取りをもとに、この期間の状況について述べる。

2月16～17日に5段目ベンチと北側でそれぞれ12.00mmと7.00mmの移動量を示した後、一時移動量は測定できず、3月1日から再開した計測では5段目ベンチでは30～50mmの日移動量を示し、3月8～10日には日最大移動量61.00mmを示した（第2表）。この異常な動きに対し大規模な崩壊が危惧された。現地ではすでに3月7日夜に切羽南部で小規模な崩壊が発生した。この土砂量はダンプカー40～50台分とのことであった。小規模崩壊は3月8日の午前にも切羽近くで幅約15mにわたり発生し、前日と同程度の土砂量だったとのことである。2回の崩壊は正面斜面末端部の作業道路の下の斜面とのことであった。3月8日に関係者の協議により採掘中止となり、その範囲についても協議が進められた。その後の現場状況に関する情報による

と、上記の崩壊の前に予定外の9段目ベンチ付近の法切りが実施されたことが、今回の崩壊の誘因だったのではと推論された。

この急激な変位により、5段目伸縮計と北側伸縮計は破損し、計測不能となった。採掘を中止した後、3月16日頃から5段目ベンチ計測地点での移動量はわずかに減少し、3月16～17日では18mmとなった。この状況を受けて3月27～31日の5日間に限って採掘が認められた。ただし、採掘における条件として、監視人5名の配置（正面斜面2人、切羽2人、切羽対岸1名）を必要とした。この期間の鉱石の採掘量は3月27～30日の採掘で約1,000m³であった。なお、31日は火山灰などによる埋め戻し作業に当てられた。この期間の日移動量は5段目ベンチで15～18mmであった。

3月末の採掘の後、雪解けによる斜面変動を考慮して5月中旬頃まで採掘を中止することとなった。

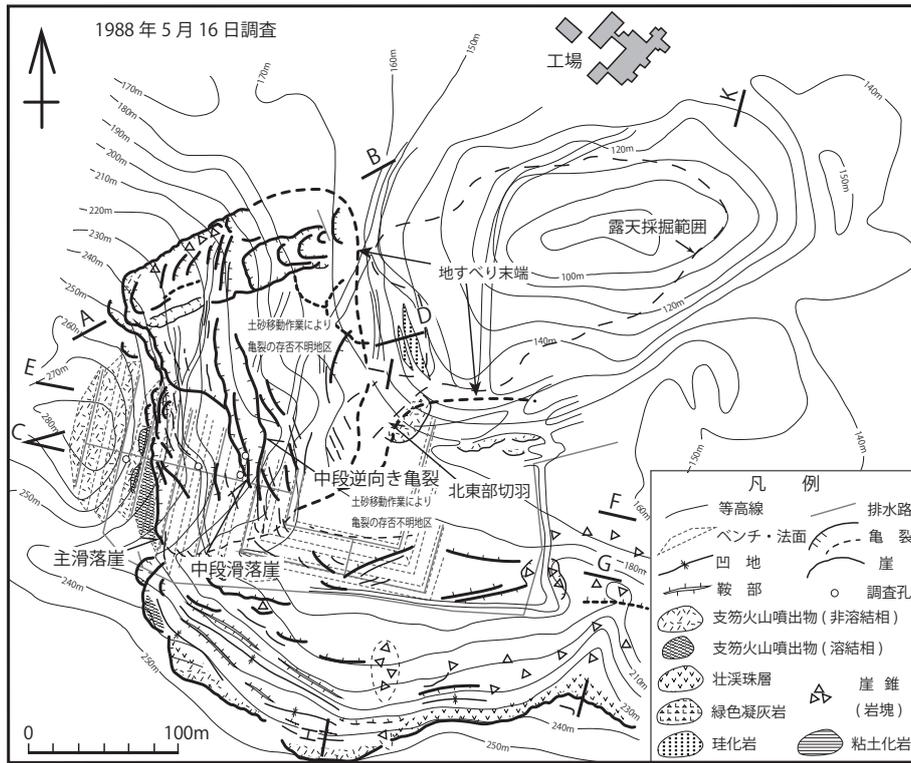
【1988年5月16日の観察】

1988年3月上～中旬の大きな変位の後、融雪期を経て、主滑落崖の落差は大きくなり（写真6-A）斜面全体に多くの亀裂が発生した（第16図）。正面斜面には主滑落崖直下に雁行状の亀裂が多数発生した。中段滑落崖の一部は北西側に延び、北部斜面の主滑落崖に連結した。中段滑落崖直下の10段目ベンチから北側に新たな亀裂が発生した。この亀裂は斜面側に傾斜し、地すべり土塊の下部が迫り上がった状態となった。これをここでは中段逆向き亀裂（写真6-C、D）と呼ぶ。この中段逆向き亀裂と中段滑落崖との間は幅数m～約20mで延長約100mであった。この中段逆向き亀裂の発生は、正面斜面全体が移動する中で、地すべり土塊の下半部が持ちあがった状態を示している。その動きは北部斜面にも影響しているものと推定される。上記の現象は、正面斜面と北部斜面の中間域、さらに北部斜面内部に多くの亀裂が発生したと調和的な動きと判断される。

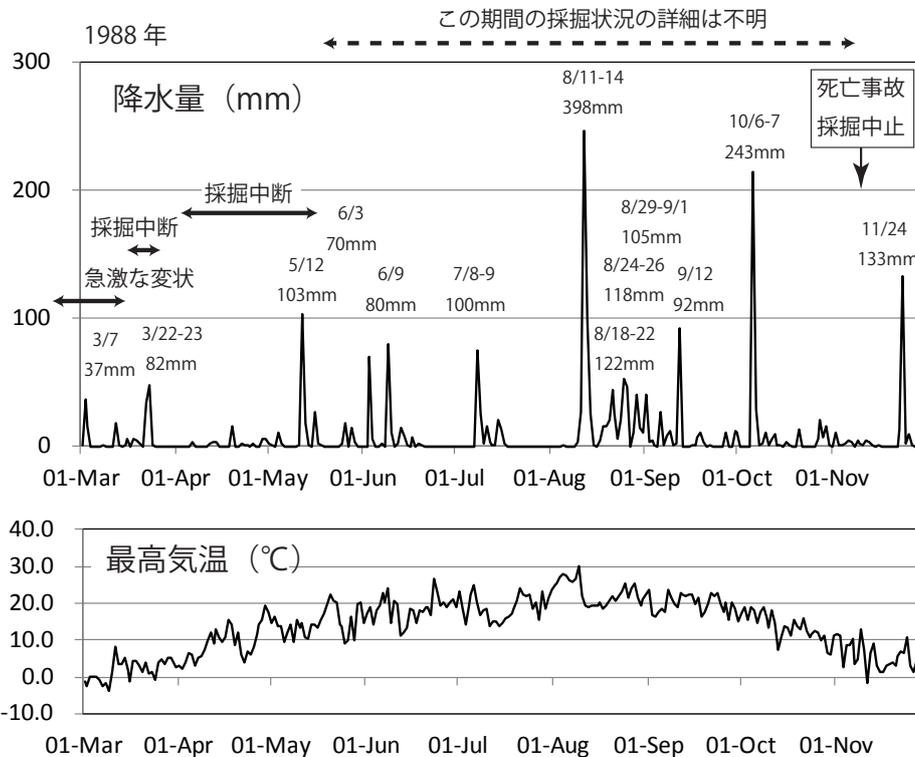
移動量は、5段目ベンチで4月以降再び増加し、とくに4月7日以降の日移動量は30mmを超え、5月末まで26～53mmであった。北側では4月6日から10mmを超え、5月末まで日移動量はほぼ20～30mmで推移した（第2表）。

以上のように、2月中旬からの大きな変位量は、3月上旬以降さらに増大した。3月下旬には一時変位量は減少したものの、4月上旬以降、5月末の観測終了までに急激な変位を示した。なお、本地区近くの気象庁降水量観測地点「森野」のデータによれば、融雪期を経た上、5月12日には103mm/日の降雨が観測されており（第17図）、融雪水や降雨が上記の急激な変位に大きく影響を与えたものと推定される。

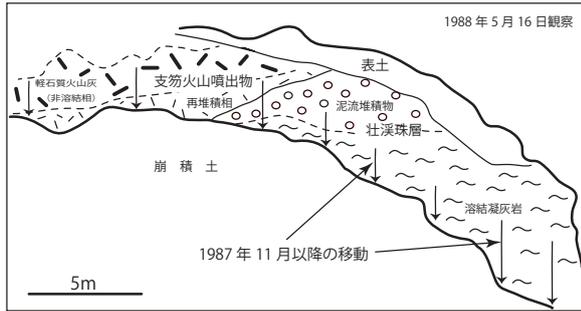
一方、南部斜面末端部に当初の計画通りに整形された法面とベンチには多数の円弧状の亀裂や直線状の亀裂が発生し、その規模は幅20～60mであった



第16図 地すべり変遷図 (1988年5月16~17日) (等高線は1985年時点)
 Fig. 16 Landslide map based on the observation in May. 16-17, 1988. Counter lines are in 1985.



第17図 森野地区の降水量と日最高気温 (気象庁HP公表資料による)
 Fig. 17 Precipitation and temperature during March to November, 1988 in the Morino area, Shiraoi, after the Moteological Agency.



第18図 南部斜面における露頭スケッチ
Fig. 18 Geological sketch of the Shikotsu volcanics and Soukeishu Formations at the scarp of south slope.

(写真7-A, 写真8).

南部斜面は1987年11月や1988年2月時点と比較すると多くの地点で斜面の変状が認められた。とくに南部斜面西部では複数の地点で斜面上の表土が崩れ落ち、過去の崩積土(崖錐堆積物)、壯溪珠層や支笏火山噴出物が露出していた(第18図, 写真7-B, C, D)。また鞍部上の5~6m大の岩石ブロック(壯溪珠層の溶結凝灰岩)は隣接するブロックとの間に隙間ができ、明らかに変位したことを示していた。

また4月1日から5月中旬まで正面斜面末端部の粘土採掘は中断されたが、その後、第一粘土鉱体に近い地点(北東部)での新たな切羽が開発された(第16, 19図, 写真6-B, 写真9)。ここでは珪化岩と粘土が分布し、その上位に礫岩・砂岩、緑色凝灰岩が重なっている。これらを支笏火山噴出物(非溶結相)が覆っていた。粘土化岩はカオリンとスメクタイトからなる部分と、カオリンからなる部分(鉱石)から構成されていた。鉱石部分は幅7~8m、高さ約3mで露出していた。礫岩の礫種は重晶石を多く含む珪化岩を主とし、基質は重晶石結晶を多く含む砂岩である。砂岩は珪化岩や重晶石結晶を含む砂粒子からなるが、重晶石鉱体は伴われていなかった。砂岩は凝灰岩を介しながら緑色凝灰岩へと上方に移化する。なお、緑色凝灰岩の中や緑色凝灰岩と粘土との間には鏡肌を伴う滑り面が認められ、この切羽の背後の東部斜面からの押しが発生していたと推定される。

なお、地下水位はボーリング掘進時~掘進直後を除けば比較的安定している。主滑落崖背後の62-3号孔の地下水位は標高212~215mの範囲で安定していた。地すべり土塊内では、62-1号孔の地下水位が標高169~174mで1988年3月以降、やや不安定な上昇傾向が認められた。62-2-1号孔では掘削後、しばらく上昇傾向になり1988年2月上旬には標高177mに達した。62-2号孔では標高163m付近で安定していた。以上のように、地すべり土塊内の地下水位は63-2-1号孔を除けば、ほぼ地すべり面付近(第4図)に留まっていた。

【1988年5月下旬から11月中旬の状況】

この期間には、筆者は現地調査を実施できなかったが、以下に、鉱山企業や関係機関からの聞き取りをもとに、この期間の状況について述べる。

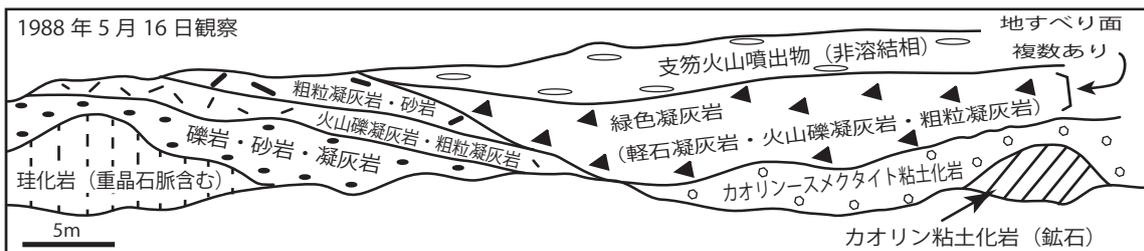
5月以降も正面斜面末端での採掘を取り止め、北東部の切羽のみでの粘土採掘となった。また降雨による採掘現場の状況悪化も進み、とくに8月11日からの大雨(第17図)により採掘切羽は泥状化し、併せて地すべりによる法面およびベンチ形状の変位が大きくなり、8月末まで採掘現場に入れなかったとのことである。なお、北東部の切羽での採掘レベルは8月10日時点で標高約135mだった。4月以降、正面斜面での採掘再開は断念されていたが、8月末時点では、北東部の切羽の拡大という方針で調整されていた模様である。

そのような状況の中、11月14日14時5分頃、正面斜面と南部斜面境界部の沢状部から流出した土砂(関係者によれば泥流状)(北海道新聞記事によれば幅約40m、高さ約10m、厚さ約20mの土砂崩壊)によって、法面整形を行っていた(?)作業員1名が重機とともに土砂の下敷きになり死亡した。この沢状部には大雨により崩壊した火山灰質土砂が堆積していたと推定される。この事故によって鉱山域内全てが立ち入り禁止となり、一切の開発行為ができなくなった。

以上のように、1988年3月以降は限定的な鉱石の採掘に留まり、むしろ斜面の整形や埋め戻しに作業の中心があったように伺える。

【1992年10月2日の空中写真での判読】

採掘中止から4年後の空中写真を拡大して観察すると、正面斜面の主滑落崖は北部斜面の滑落崖と連結



第19図 第二粘土鉱体北東部切羽のスケッチ
Fig. 19 Geological sketch showing kaolin ore, related altered rocks, and volcanic rocks at the northeastern open-pit of No.2 kaolin ore deposit.

し、さらに南部斜面の滑落崖ともほぼ連続した状態となっている(第20図, 写真10)。これらの主要な滑落崖の連結がいつの時点で行われたのは明らかでないが、1992年時点ではすでに地すべりの活動は停止していたと考えられることから、1988年11月の採掘中止後の早い時期での主要な滑落崖の連結と全般的な地すべりの進行、そしてその後の安定化につながったものと思われる。鉱山会社による1991年から1995年の毎月の写真を見ても大きな変化は認められない。

1992年の写真では、地すべり内部の構造として注目されるのは、中段滑落崖が不明瞭となり、代わりにNE-SW系の尾根状部とその周りの谷地形が形成されている。これは地すべり土塊内におけるガリーの発達によるものである。

また、南部斜面末端に設置された外周排水路の位置については測量を行っていないので正確ではないが、外周排水路の西端部は斜面に沿って滑落あるいは移動している。その他、1988年時点での第二粘土鉱体採掘地やその周辺には斜面に沿った滑りが、また切羽東方の台地上には多くの亀裂が認められた。また、第一粘土鉱体南側の斜面を構成する支笏火山噴出物分布域はガリー状に崩壊した地形となっていた。

【1996年5月および7月の観察】

この時点での現地調査では1992年の空中写真のデータと比較しながら変形の状況について確認した。その結果、1992年時点と滑落崖全体としては大きな変化は

ないが、地すべり土塊内ではNE-SW系の小規模な亀裂および滑落崖や溝、または尾根状の構造が新たに多く認められ(写真11)、降雨等による地すべり表面の形状変化が読みとれた。また、南側斜面の外周排水路付近では1992年の写真では認められなかった斜面末端での小規模な崩壊が新たに認められた(第21図)。

以上のことは地すべり全体としては安定しているものの、地すべり土塊表層部の土砂の不安定さが新たな小規模な斜面崩壊やガリーの形成の誘因であることを示している。

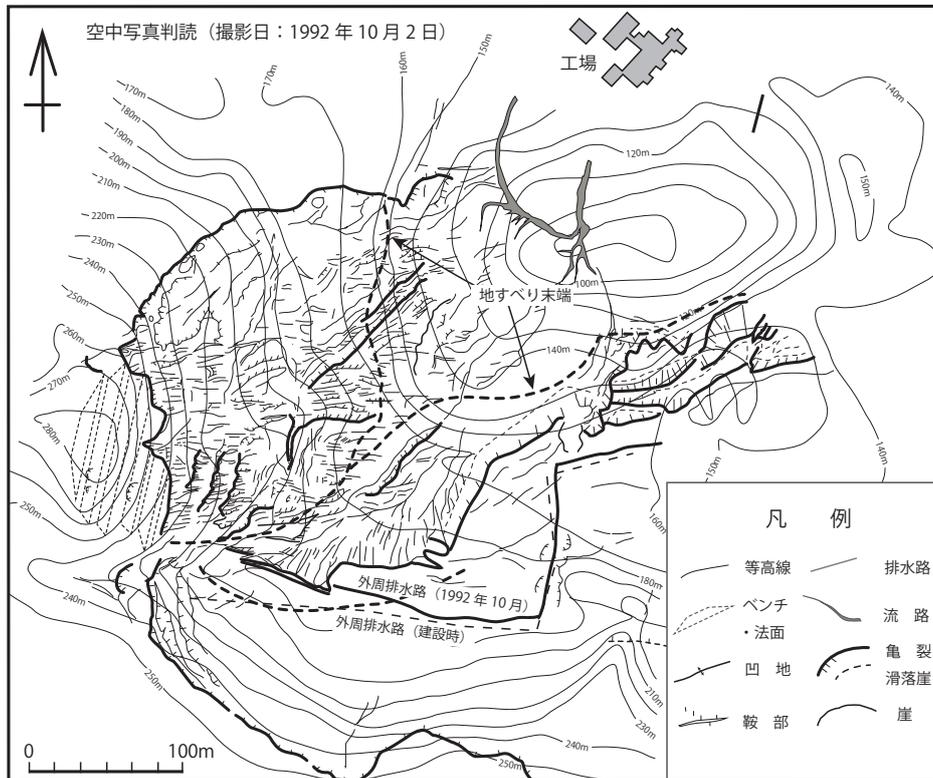
なお、地すべり土塊の安定化は1988年当時から鉱山会社によって進められていた第一粘土鉱体露天採掘場跡地の埋め戻しによる効果が大きかったものと推定される。1996年時点では、露天凹地の約8～9割は埋め戻しが終了していた。

III. 5 地すべり発生機構

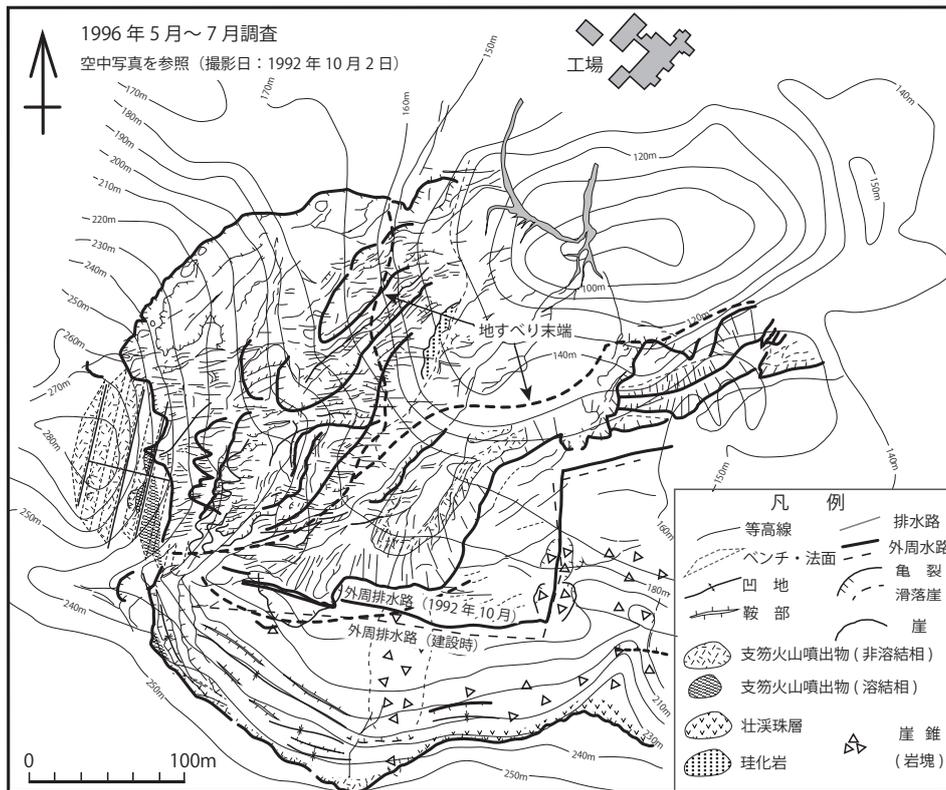
本地すべりは全体としてひとつの地すべりではあるが、斜面毎の地質や誘因の違いによって異なった動きをしていることから、本地すべりの構造と発生機構を検討するにあたり、まず斜面毎に地すべりの特徴について述べ、その後、1988年5月中旬時点での形状をもとに地すべり運動全体について述べる。

【北部斜面】

北部斜面における地すべり(第22図)は、他の斜面と異なり、1987年8月頃までの早い段階から地すべり



第20図 地すべり変遷図(1992年10月2日撮影の空中写真を使用して判読)(等高線は1985年時点)
 Fig. 20 Morphological sketch map through the 1992-taken air-photographic interpretation. Counter lines are in 1985



第21図 地すべり変遷図 (1996年5月~7月)(等高線は1985年時点)
Fig. 21 Landslide map based on the observation in May to July 1996. Counter lines are in 1985.

土塊内部が細かく破断され、流動的な動きを示した。これは1983年4月頃に発生した斜面末端部の法面崩壊が次第に上方に拡大したことにより、すでに表層部の破断が進行していたためと考えられる。北部斜面の地すべり土塊は上部と下部とで動きに違いが見られる。上部は支笏起源の火山噴出物あるいはその崩積土で、亀裂の発生によって比較的小ブロックになりやすい地質であり、表層部には細かい亀裂が多数発生し、かつ流動的な変位が顕著であった。

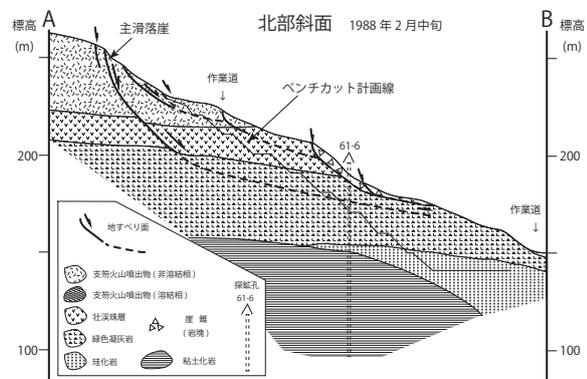
これに対し、下部は1983年以降、繰り返し崩壊していたため、表層部はすでにブロック状の破壊が進行していた。それに加えてやや粘土化した緑色凝灰岩上面付近の崩壊 (1987年2月頃?) とともにその上位の壮溪珠層の溶結凝灰岩やその崩積土 (崖錐堆積物) が崩れやすくなっていたものと推定される。

北部斜面の地すべり土塊における表層部の動きは、地表の観察から明らかであるが、地すべり土塊全体を支配した地すべり面の深さについて明らかになっていない。探鉱ボーリング61-6号孔でも地すべり面の確認はされていないが、末端部の緑色凝灰岩の部分で著しく崩壊していることから、緑色凝灰岩中かあるいは緑色凝灰岩上面に地すべり面があるものと推定される。なお、北部斜面については地すべりの進行が顕著であった上に、粘土の採掘が予定されていなかったために、当初計画の法面とベンチの整形は斜面安定の視点から中止された。

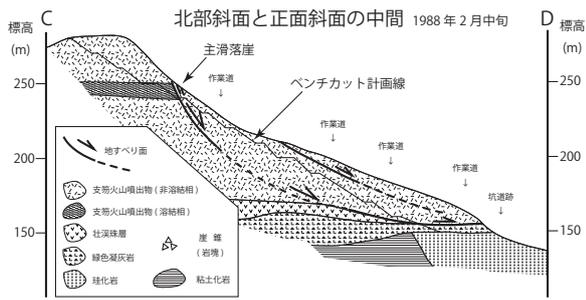
【北部斜面と正面斜面の間】

この斜面では上部は正面斜面と同様の変形が認められるが、当初は下部では亀裂の発生や変形は明瞭でなく、1988年1月時点で正面斜面からの亀裂が拡大して現れた (第23図)。この斜面における亀裂は、その後、1988年2月以降、多数発生し、1988年5月には正面斜面の中段逆向き亀裂の延長部も現れた。

当初、この斜面末端部の珪化岩体を含めた斜面下部



第22図 地質断面図 (北部斜面:A-B) (1988年2月中旬時点)
Fig. 22 Geological cross section of the north slope, along the A-B line shown in Fig.15 in mid-February 1988.



第23図 地質断面図 (北部斜面と正面斜面の間: C-D) (1988年2月中旬時点)

Fig. 23 Geological cross section between north slope and front slope, along the C-D line shown in Fig.15 in mid. February 1988.

の多くを切土する計画であったが、地すべりの発生によって比較的安定な岩石である珪化岩体 (旧坑道跡付近) を切土することのリスクを考慮して、この切土を取り止めることとなった。このことからこの中間斜面の下部での変位は少なかったものと考えられる。

【正面斜面】

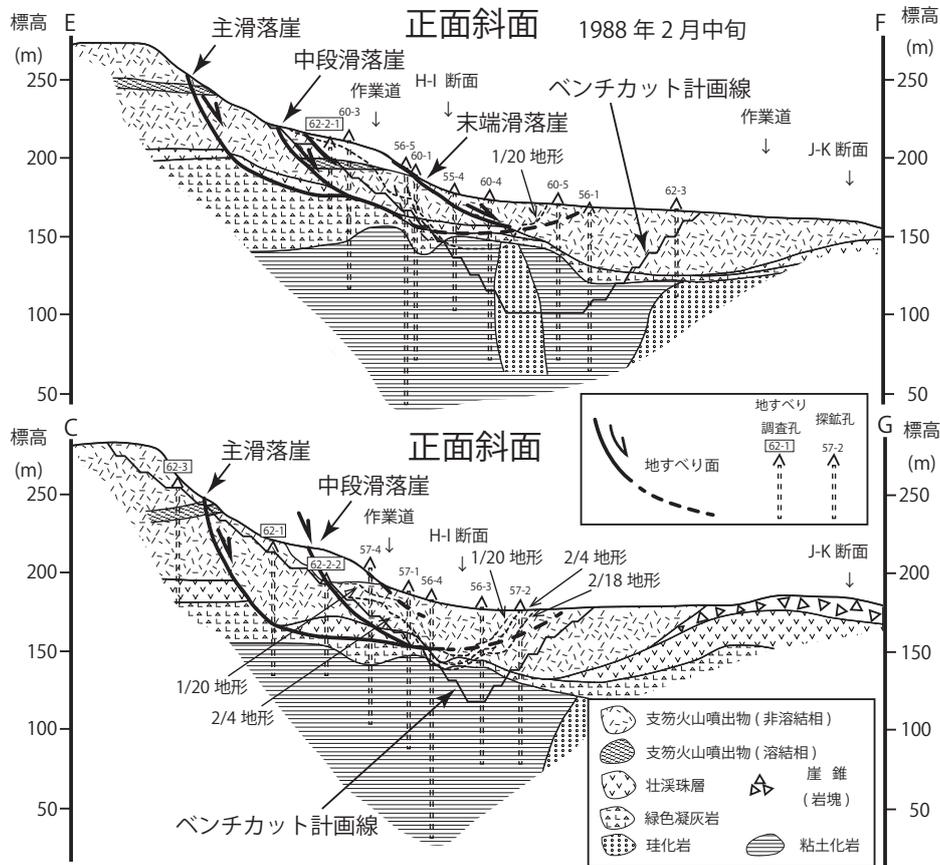
正面斜面では、計4本の地すべり調査ボーリングが実施され、コアの観察、孔曲がり計測、および地下水位の計測が行われた。

地すべり土塊内の62-1号孔では、深度47.90～48.80m間に粘土化した凝灰岩 (緑色凝灰岩) と火山灰 (支笏起源) 混じりの粘土質凝灰岩からなる層が認められた (第4図)。この約90cmの間は、地すべり面付近が長い期間にわたり変形が進んだために、新第三紀の凝灰岩と更新世の支笏火山噴出物が混在した状態になったものと解釈される。孔曲がり深度は47.90mであった。

62-2-1号孔のコア観察では地すべり面は見いだせなかったが、深度40mまで掘進後に、ケーシングパイプを挿入したが、深度34mで挿入困難となり、その後の塩ビ管挿入でも32mまでしか挿入できなかった。このことから32～34m付近に地すべり面が分布すると判断した。この深度には壮溪珠層基底の泥流堆積物が分布する。

62-2-2号孔でも、コア観察では地すべり面は確認できなかったが、孔曲がり計測では33.50m付近で変位が認められ、この深度に地すべり面が分布すると判断した。緑色凝灰岩と壮溪珠層の粗粒凝灰岩～火山礫凝灰岩の境界が33.45mであることから、地すべり面は緑色凝灰岩上面付近と判断した。

また、切羽における地すべり面は緑色凝灰岩の上限付近で、支笏火山噴出物あるいは壮溪珠層との境界であることから、上記のボーリングデータと併せて地すべり面を描くと第24図のようになる。



第24図 地質断面図 (正面斜面: E-F, C-G) (1988年2月中旬時点)

Fig. 24 Geological cross section between front slope, along the E-F and C-G lines shown in Fig.15 in mid. February 1988.

一方、地表では、主滑落崖直下や中段滑落崖直下において小規模な雁行状の亀裂が2月頃から現れてきた。1988年5月時点では引張亀裂の多くはNNW-SSE～NW-SE走向であることから、地すべりは北東～東北東方向、すなわち第一粘土鉱体露天採掘地の方向に変位していると考えられる。なお、1988年2月18日の時点で正面斜面の南端部で東北東の亀裂が発生し、上盤側がのし上がる変位を示した(第15図)が、これは地すべり土塊の側部の一部が迫り出したものと考えられる。

また、正面斜面では5月中旬の観察で、中段滑落崖の下方に逆向きの亀裂(中段逆向き亀裂)が形成された。この圧縮亀裂の迫り上がり量は1m以上に達し、中段滑落崖と平行に約100mの延長が認められた。このことは、地すべり土塊の変位に伴って圧縮応力が高まり地すべり土塊下部が浮き上がるような動きを示したものと判断される。

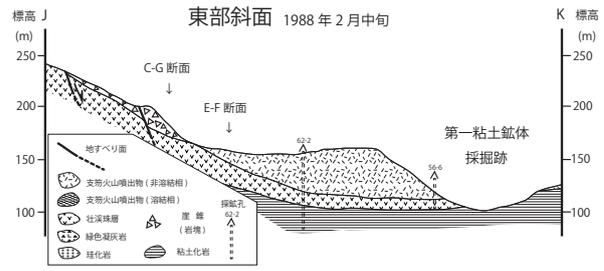
【南部斜面および東部斜面】

南部斜面(第25図)での変位は定量的に測定してないため、いつの時点から変位があったのか明らかでない。しかし、現地調査時の観察から少なくとも1987年11月には南部斜面西端部で主滑落崖の延長部と見られる亀裂を確認した。

5月中旬の調査では、1987年11月または1988年2月時点との比較を行ったが、5月には斜面西部で斜面の変状が明らかであった。斜面上部では古い滑落崖や凹地、または鞍部に見られる斜面において垂直方向の変位によると見られる表層部の剥落や倒木が随所に認められた。また、南部斜面末端部では排水路の変形が進み、その下方に造成された法面やベンチ上にも亀裂が発生していた。その亀裂はさらに東部斜面(第26図)手前まで拡大していた。

【地すべり全体の発生機構】

本地すべりの機構について1988年5月中旬時点での変状をもとに考察する。なお、地すべりブロックを

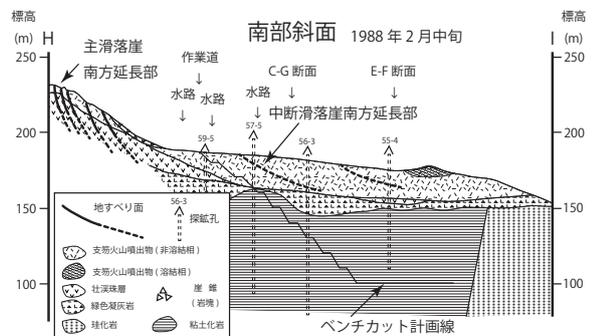


第26図 地質断面図(東部斜面:J-K)(1988年2月中旬時点)

Fig. 26 Geological cross section between east slope, along the J-K line shown in Fig.15 in mid-February 1988.

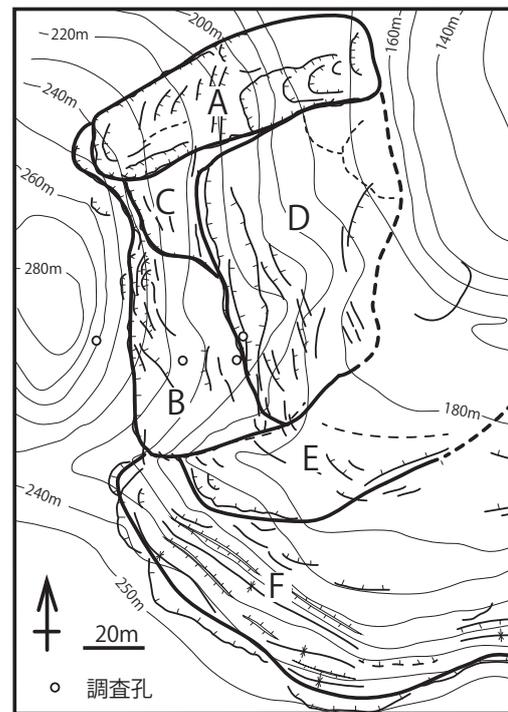
A, B, C, D, E, Fに区分し、説明する(第27図)。

本地すべりは、北部斜面から正面斜面、そして南部斜面が連結した形でひとつの地すべりを形成しているが、もともとは一つの大きな地すべりであり、地すべりの移動方向は東北東である。しかし、各地すべりブロックを活性化させる要因、すなわち採掘切羽地点の移動により、それぞれ異なった動きを示した。1980年代初期の地すべりの発生は、北部斜面末端部ブロックAの下方および正面斜面北部末端部ブロックDの下方での切土に起因する。切土範囲の拡大とともに斜面上部にも変位が拡大した。その後、正面斜面末端部の切土(鉱石の採掘:1987年2月～)に伴って、地すべり運動が正面斜面全体(ブロックB, C, D:この時点ではB, C, およびDの一部は一体のブロック)に及



第25図 地質断面図(南部斜面:H-I)(1988年2月中旬時点)

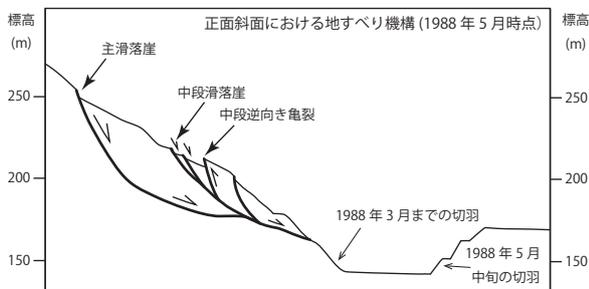
Fig.25 Geological cross section between south slope, along the H-I line shown in Fig.15 in mid-February 1988.



第27図 地すべりブロック区分図(等高線は1985年時点)
Fig. 27 Distribution map of the sub-divided landslide blocks, A to F. Counter lines are in 1985.

び、主滑落崖が形成された。正面斜面の地すべり土塊は、切羽の拡大とともに、より複雑な動きを示し、南部斜面（ブロックE,F：この時点ではE, Fは一体のブロック）との境界域まで明瞭な変位を見せた。かつ中段滑落崖（ブロックBとDの境界）の発生や中段逆向き亀裂の発生など、地すべり運動は活発化するにつれ、正面斜面の地すべり土塊内はブロックB, C, Dに分断され、それぞれに異なった変位を示した（第28図）。

第29図に正面斜面末端における採掘レベルと地すべり面との関係について示した。採掘範囲は1987年2月以降、順次、南側に拡大するとともに、採掘レベルはより深部へと下げられた。これらにより正面斜面の変位量は大きくなり、明瞭な地すべり面が形成された。第29図に示したように1月20日時点で採掘切羽に主滑落崖から続く地すべり面が現れている。



第28図 地すべりモデル断面図
Fig. 28 Modified landslide cross section of the front slope in May 1988.

正面斜面の大きな変形と切土範囲の南側への拡大は、南部斜面全体を引っ張りの場へと転換させ、南部斜面（ブロックF）における古い滑落崖を利用した地すべり運動を再発させることとなり、また、法面とベンチの造成により南部斜面の下部（ブロックE）ではFとは異なった動きが顕著となった。

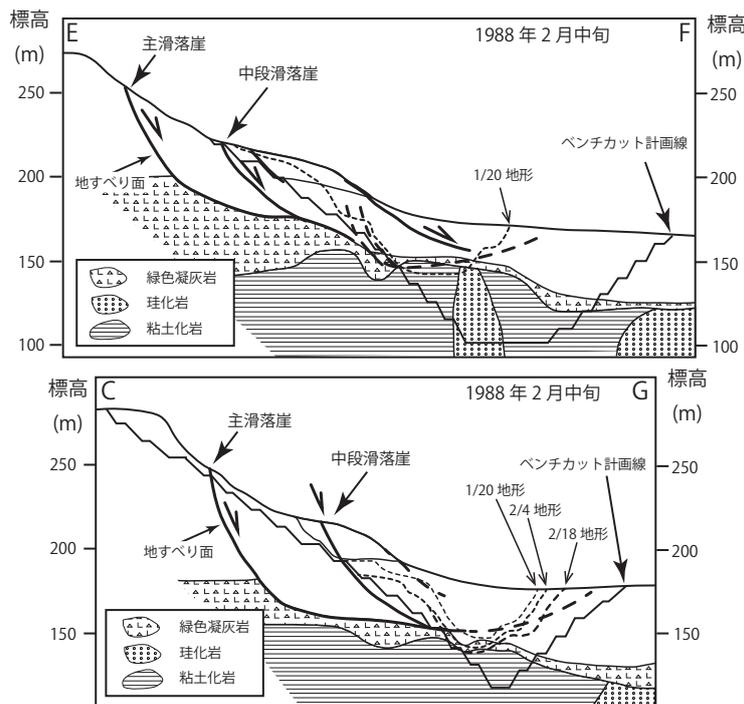
以上のように、本地すべりは亀裂とその運動方向から第一粘土鉱体露天採掘地とその後の第二粘土鉱体の露天採掘に起因すると判断され、地すべり末端部の切土地点や切土量の時間経過とともに地すべり土塊全体のブロック化と移動が促進されたものと判断される。

IV 鉱山開発と地すべり

IV. 1 鉱床とその開発史

南白老バライイト鉱山の開発史については、杉本・庄谷（1967）、地質調査所（1967）、松波・庄谷（1985）に詳しい。これらによると、1950年（昭和25年）頃に近藤松太郎氏により露頭が発見され、その後、企業探鉱（日鉄鉱業株式会社の租鉱権設定による坑道探鉱と試錐探鉱）、1958年（昭和33年）頃からの採鉱（藤信鉱業株式会社および有限会社薄田鉱業の租鉱権設定による）が行われ、1964年（昭和39年）に近藤松太郎氏の設立により同社に操業が引き継がれた。

本鉱山は当初、重晶石を対象鉱種としたが、1974年（昭和49年）には製紙用のカオリン粘土の採掘が開始され、1988年（昭和63年）11月の採掘中止まで継続された（第1表）。



第29図 正面斜面における採掘レベルと地すべり面と関係
Fig. 29 Landslide cross sections showing the relationship between sliding surface and mining pit surface.

重晶石は坑道採掘で開始されたが、1967年（昭和42年）に露天採掘に切り替えられた。重晶石は無選鉱またはテーブル選鉱による精鉱（ $BaSO_4=95\%$ ）で堺化学工業株式会社に出荷された。

カオリン粘土は1974年（昭和49年）の採掘開始時点から露天採掘による生産が行われた。採掘されたカオリン粘土は硫化鉱物などの不純物を除去した後、スラリーの状態で地元の製紙会社に出荷された。カオリン粘土の精製は浮選選鉱の後、湿式サイクロンによる選別および分級が行われ、コート用とフィルター用として出荷された。

南白老バライト鉱山の重晶石鉱床とカオリン鉱床については、Yoneda (1995), 丸茂・沢井 (1986), 沢井・板谷 (1993) により、中新世の海底熱水鉱床（黒鉱型鉱床）であり、その形成年代は11.6～12.5Maであることが示された。南白老バライト鉱山地区は中期中新世の海成層である美笛川層のドーム状の高まりに位置する。鉱床は下位に粘土化帯（主にカオリン帯、カオリン-スメクタイト帯、スメクタイト帯）、珪化帯およびプロピライト帯（変質安山岩）が位置し、その上位に砂岩・礫岩・緑色凝灰岩が重なる。粘土化岩の多くは硫化鉱物を多く含むため、黒色を呈することが多く、「黒色粘土」と呼ばれることもある。珪化岩はその母岩が角礫した安山岩であることが多く、中には石英脈、重晶石脈、黄鉄鉱-白鉄鉱脈を多く含む。

重晶石鉱体は、第一粘土鉱体（北東側）と第二粘土鉱体（南西側）の中間に位置する。Yoneda (1995) の

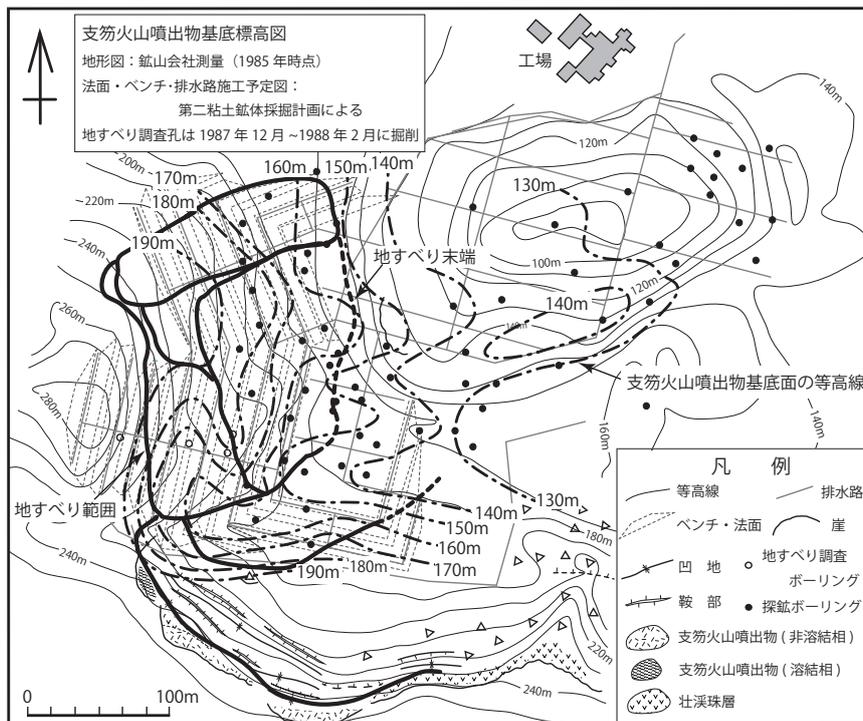
研究および筆者の観察によれば、本鉱床は中新世の海底面付近での熱水活動により形成された黒鉱型鉱床で、安山岩岩体中における珪化作用、粘土化作用の進行とともに石英や重晶石などのストックワーク鉱床が形成された。さらに海底面上では重晶石の沈殿・堆積作用が進行し、層状の砂状重晶石鉱床が形成された。

IV. 2 古地形と地すべり

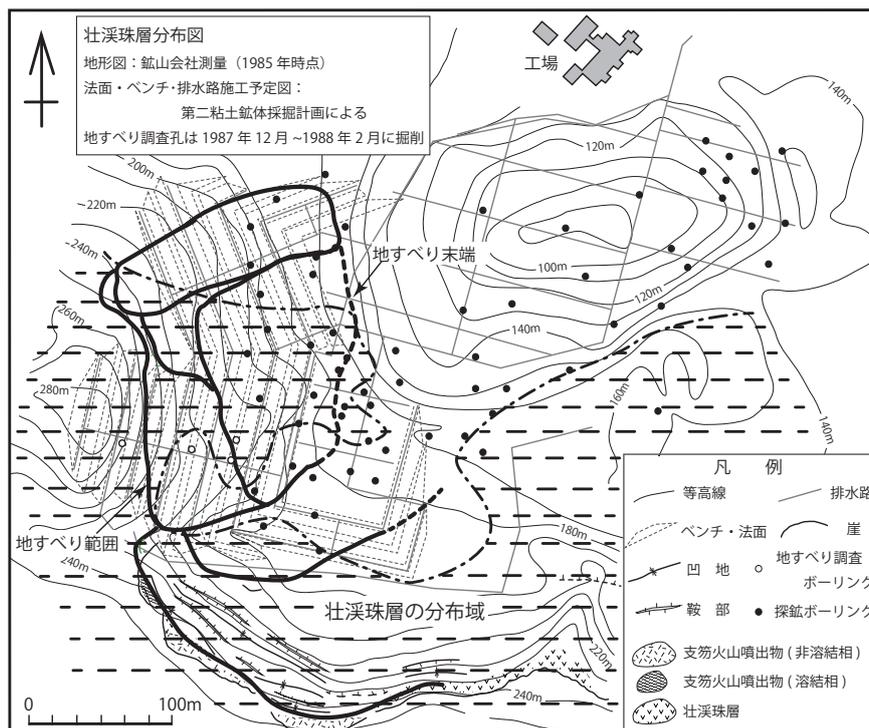
すでに述べたように南白老バライト鉱山のカオリン-バライト鉱床は、東に開く馬蹄形の古い地すべり地形上に位置する（第2図）。従って、地すべり内で採掘を行うことにより、不安定な土塊の変状が始まったと見て良い。地すべり土塊の多くは支笏火山噴出物からなるが、一般に支笏火山噴出物分布域では侵食や崩落などを除けば地すべり地形の発達は極めて少ない。支笏火山噴出物が広く分布する南白老バライト鉱山地区における地すべりの発生の背景には、以下に述べるように支笏火山噴出物の岩相と古地形、および粘土質岩の存在によることろが大きいと考える。

1987年12月～1988年1月に掘削した調査孔と、それ以前に実施された鉱床探査ボーリング資料をもとに古地形との関係について、第30図、第31図をもとに考察する。

第30図に支笏火山噴出物の基底面標高図を示した。支笏火山噴出物は本地区の全域に分布するが、その基底面標高（第30図の破線）は変化に富み、とくに正面斜面と南部斜面では西側で基底面が高く、北東側に向



第30図 支笏火山噴出物基底面標高図（等高線は1985年時点）
 Fig. 30 Basal-surface level of the Shikotsu volcanics. Counter lines are in 1985.



第31図 壮溪珠層分布図 (等高線は1985年時点)
Fig. 31 Distribution map of the Soukeishu Formation. Counter lines are in 1985.

かって低くなっている。また、正面斜面と南部斜面の間では沢状地形が認められる。

第31図に壮溪珠層の分布図を示した。この図で明らかのように壮溪珠層は一様に分布しているのではなく、北部斜面、正面斜面、さらに南部斜面や東部斜面の標高の高い地区に分布し、第一粘土鉱体や第二粘土鉱体分布域にはほとんど分布していない。また支笏火山噴出物基底面標高図における沢状部付近にも分布していない。

以上のことは、支笏火山噴出物堆積直前には、上記の沢状地形や粘土鉱体分布域においては、すでに壮溪珠層は削剥されていたことを示す。また、地すべり内の支笏火山噴出物の観察から、再堆積相とくに正面斜面や南部斜面に多く認められること、またその層内に再堆積相と考えられる黒色土層が認められるなど、支笏火山噴出物堆積時において水域環境が存在したことを示している。1987年に発生した地すべりは、地すべり土塊末端部の切土によるものであるものの、上記の古地形や地質によって、その変位の仕方が規制され、すでに述べたような斜面毎の変位の特徴が現れたものとする。また、正面斜面の主滑落崖において古い破碎帯や溶結凝灰岩のブロック化が広い範囲にわたり認められたことから、今回の地すべりと同じ形状の変位がかつてあったものと推定される。

V おわりに

南白老パライト鉦山露天採掘場における急激な地すべり変位は、採掘行為が引き金となって発生した事例であると言える。本地すべり調査は、開発行為による会社の維持と従業員の雇用、そして開発継続か中止かの判断、認可庁の関わり、さらに我々調査者の関わりにおいて難しい場面が継続した事例でもあった。

しかし、元々地すべり地形が発達していた地区での開発行為であることの認識が、開発者はもとより設計者も持ち得ていなかったことが、不幸な状態を招いた。国内における鉦山開発は非常に少なくなった現在であるが、日本列島のような複雑な地形、土地条件の中での地表改変を伴う開発行為を計画する上での大きな示唆を与える事例でもある。

文 献

- 地質調査所 (1967): 北海道金属非金属鉱床総覧. 地質調査所, 575p.
- 丸茂克美・沢井長雄 (1986): 西南北海道グリーンタフ地域のいくつかの鉦床変質岩のK-Ar年代. 鉦山地質, 36, 21-26.
- 松波武雄・庄谷幸夫 (1985): 白老地域のカオリン資源 (鉦物資源開発調査報告第2報). 地下資源調査所報告, 56, 1-22.
- 沢井長雄・板谷徹丸 (1993): 西南北海道積丹-洞爺黒鉦型鉦床のK-Ar年代. 資源地質, 46, 327-336.

杉本良也・庄谷幸夫（1967）：胆振国南白老地区鉱床調査報告。
北海道地下資源調査資料，110，1-11.

通商産業省（1979）：昭和53年度広域調査報告書「千歳地域」。
通商産業省資源エネルギー庁，49p.

八幡正弘（2002）：北海道における後期新生代の鉱化作用
および熱水活動の時空変遷．北海道立地質研究所報告，
73，151-194.

Yoneda, T. (1995) : Barite ore and alteration minerals of the
Minamishiraioi kuroko-type barite deposit, southwestern
Hokkaido, Japan : Implications for the environment of ore
formation. Resource Geol. Special Issue, 17, 120-131.

吉村尚久・小田一郎・八幡正弘（1987）：北海道白老川上流
域の新第三系の変質．三鉱学会昭和62年度秋期学術講演
会講演要旨集，60.

【付記】調査孔の孔井地質

正面斜面における地すべりのすべり面および地下地質を把握するため，正面斜面の主滑落崖の背後と地すべり土塊内で計4ヶ所の調査ボーリングが鉱山企業によって実施された．以下に各孔井の地質（第4図）について述べる．

【62-1号孔】

掘進期間：1987年12月15日～29日

掘進長：80m

位置：上から7段目ステップ

支笏火山噴出物（0～48.80m）

0～17.95m：再堆積相：全体として褐色を呈し，主に白色～淡褐色火山灰と軽石（ $\phi 2 \sim 20\text{mm}$ ）からなる．深度12m付近では発泡したデイサイト礫（ $\phi 60\text{mm}$ ）を含む．軽石は円礫状のことが多く，デイサイトは円礫である．コアの形状がスライム状になることが多いが，火山灰粒子と丸みのある軽石の構成，およびラミナ構造から再堆積相と判断される．

17.95～22.25m：降下火砕堆積物：全体に暗灰褐色のやや軽石質のローム状火山灰からなる．1～3mmの淘汰の良い火山灰と軽石粒子からなる．基底層（層厚：約1.25m）には $\phi 10 \sim 30\text{mm}$ のよく発泡した軽石が含まれる．

22.25～33.50m：火砕流堆積物：灰色の軟質な火砕流堆積物である．1～2mmの火山ガラス粒子はよく発泡し，繊維状を呈する． $\phi 2 \sim 30\text{mm}$ の発泡した軽石を多く含む．全体に不淘汰である．非溶結相である．

33.50～35.60m：降下火砕堆積物：灰色の軟質な結晶質火山灰である．結晶粒子として輝石がよく目立つという特徴がある．上半部が粗粒で，下半部は淘汰のよい細粒の火山灰である．

35.60～47.90m：火砕流堆積物（2枚の再堆積層あるいは降下火砕堆積物を挟む）：灰色で，やや

軟質な火砕流堆積物である．非溶結相である．安山岩，デイサイト，溶結凝灰岩，軽石などの岩片（ $\phi 10 \sim 30\text{mm}$ ）を多く含む，不淘汰である．基質の火山灰には輝石結晶が多く含まれる．なお，深度40.50～41.10m（層厚：60cm）と深度44.50～45.50m（層厚：1m）には結晶質火山灰が介在する．この火山灰は降下火砕堆積物あるいはその再堆積層である．

47.90～48.80m：基底層：粘土化した凝灰岩と火山灰混じりの粘土質凝灰岩からなる．支笏火山噴出物由来の火山灰を多く含むことから，下位の新第三系の粘土化した凝灰岩の礫の可能性があり，ここでは基底層と呼ぶ．なお，本層は地すべり面付近の変形が進んだゾーンの可能性がある．詳細については記述した．

緑色凝灰岩（48.80～58.70m）：緑色～黄褐色の凝灰岩からなる．葉片状の軽石を多く含む，全体に軟質である．触感判定での粘土鉱物はスメクタイトである．なお，基底層の深度58.70～59.60mはカオリン鉱物を含む．深度54.80～57.95mでは珪化岩礫を含む．

粘土化岩（58.70～80.00m：孔底）：暗灰色の軟質粘土化岩である．深度58.70～68.00mではカオリン混じりスメクタイト質粘土化岩が，深度68.00～76.60mではカオリン質粘土化岩が，深度76.60～80.00m（孔底）ではスメクタイト質粘土化岩からなる．これらの粘土化岩には硫化鉱物が多く含まれ，そのため暗灰色を呈する．また深度78～79m付近では部分的に珪化作用を受け，硬質である．

【62-2-1号孔】

掘進期間：1987年1月8日～13日

掘進長：40m

位置：上から9段目ステップ

盛土（0～9.00m）：暗灰色の軟質火山灰質盛土．深度8.95m付近に最近の材木が混じる．深度7.5mでケーシングパイプが取れなくなる．

土壌（9.00～9.55m）：暗灰色～黒色の，軟質な土壌からなる．植物片を多く含有する．

支笏火山噴出物（9.55～22.50m）

9.55～11.10m：再堆積相：褐色の軟質な火山灰からなる．少量の軽石（ $\phi 20\text{mm}$ 最大）を含む．

11.10～18.30m：火砕流堆積物（弱溶結）：灰色の，やや軟質な火砕流堆積物からなる．軽石が卓越し，弱く溶結している．

18.30～22.50m：再堆積相：淡褐色で，軟質～やや軟質な粘土質ローム火山灰からなる．安山岩，デイサイト，軽石などの岩片（ $\phi 1 \sim 3\text{cm}$ ）を多く含む．

壮溪珠層 (22.50 ~ 37.30m)

22.50 ~ 30.70m: 安山岩質溶結凝灰岩: 灰色で硬質。基質は斜長石結晶が卓越し、緻密である。安山岩や変質岩の岩片を含む。

30.70 ~ 37.30m: 火山円礫岩～泥流堆積物: 上半部(深度30.70 ~ 33.30m)は暗灰色～緑色～褐色で、一見凝灰角礫岩や粗粒凝灰岩の様相を呈するが、円礫が多い不淘汰な火山円礫岩～泥流堆積物である。下半部(深度33.30 ~ 37.30m)は灰色で、φ10 ~ 70mmの円礫が卓越する火山円礫岩～泥流堆積物。礫種は安山岩質溶結凝灰岩が多い。基質は安山岩質粗粒凝灰岩や凝灰角礫岩からなり、やや軟質である。

緑色凝灰岩 (37.30 ~ 40.00m: 孔底): 褐黄灰～淡緑色の軟質な凝灰岩からなる。葉片状の軽石を多く含み、少し粘土化している。

【62-2-2号孔】

掘進期間: 1987年1月16日 ~ 27日

掘進長: 59.20m

位置: 上から9段目ステップ

支笏火山噴出物 (0 ~ 20.20m)0.00 ~ 16.80m: 火砕流堆積物

やや硬質～軟質の淡灰色の火砕流堆積物からなる。異質岩片が少なく、発泡した軽石(φ2 ~ 60mm)と火山灰からなる。全体に不淘汰である。上部には弱く溶結した構造が認められる。

16.80 ~ 20.20m: 降下火砕堆積物

赤褐色の軟質な火山灰からなる。ローム質で、淘汰がよい。

壮溪珠層 (20.20 ~ 33.45m)20.20 ~ 25.00m: 安山岩質溶結凝灰岩

やや硬質な灰色の安山岩質溶結凝灰岩からなる。基質は緻密で、一見安山岩溶岩様を呈する。岩片はφ0.5 ~ 2cmで、安山岩が主で、基質は斜長石結晶が目立つ。深度20.2 ~ 21.08mでは基質が粘土質である。

25.00 ~ 33.45m: 安山岩質凝灰岩

やや軟質な、灰～暗灰～褐灰色の粗粒凝灰岩～火山礫凝灰岩である。やや粘土化している。

緑色凝灰岩 (33.45 ~ 38.90m)

やや軟質で、淡黄緑～褐緑色の凝灰岩からなる。最上部はスメクタイトを含む粘土質凝灰岩である。深度34.80 ~ 38.50mは塊状の粗粒凝灰岩からなり、φ1 ~ 3mmのジャスパーや緑色凝灰岩

粒子を多く含む。基底部(層厚約40cm)は軽石を含む火山礫凝灰岩からなる。

粘土化岩 (38.90 ~ 59.20m: 孔底)

軟質な、暗灰～淡灰色粘土からなる。スメクタイト卓越物とカオリン卓越部が互層状に重なる。硫化鉱物を多く含むため暗灰色が多い。最上部では原岩の凝灰岩の組織が認められる他、φ1 ~ 3mmの石質岩片が含まれる。

【62-3号孔】

掘進期間: 1987年1月19日 ~ 31日

掘進長: 94.85m

位置: 上から3段目ステップ

支笏火山噴出物 (0 ~ 58.50m)

0.00 ~ 12.50m: 火砕流堆積物: 軟質～やや硬質、灰～淡灰色の火砕流堆積物からなる。火山灰を主とし、よく発泡した軽石(φ3 ~ 20mm)を含む。非溶結である。下半部でやや硬質。

12.50 ~ 19.30m: 溶結凝灰岩: 硬質～やや硬質で、淡灰～暗灰色の溶結凝灰岩からなる。本質レンズの溶結構造が顕著。

19.30 ~ 58.50m: 再堆積相: 軟質～やや軟質の灰～暗灰色の火山灰の再堆積相である。火山灰が主で、一部に砂質、または粘土質ロームからなる。軽石や岩片(φ1 ~ 3mm)を含む。基底部の深度55.50 ~ 58.50mではφ1 ~ 5mmの岩片卓越部や砂質部、ローム質部がある。

壮溪珠層 (58.50 ~ 78.75m)

58.50 ~ 61.30m: 粗粒凝灰岩: 軟質な赤褐色の安山岩質粗粒凝灰岩からなり、粘土化している。

61.30 ~ 65.50m: 溶結凝灰岩: 硬質で、褐灰色の安山岩質溶結凝灰岩である。一部に著しく粘土化し、原岩不明である。

65.10 ~ 75.85m: 粗粒凝灰岩～火山礫凝灰岩: 軟質～やや硬質の暗灰～暗褐灰色の安山岩質粗粒凝灰岩～火山礫凝灰岩からなる。石質岩片はφ1 ~ 15mmである。

75.85 ~ 78.75m: 土石流堆積物: 軟質で、暗灰色の土石流堆積物からなる。安山岩の円礫(φ1 ~ 5cm)を主とし、基質は粘土質である。

緑色凝灰岩 (78.75 ~ 91.05m): 軟質で、緑色の軽石凝灰岩～粗粒凝灰岩からなる。やや粘土化し、スメクタイトを主とする。軽石は葉片状を呈する。

粘土化岩 (91.05 ~ 94.85m: 孔底): 軟質で、暗灰色の粘土化岩である。スメクタイトを主とする。



写真1 地すべり斜面全景（1987年10月5日撮影）
主滑落崖が正面斜面から北部斜面に延びる。斜面下半部は未だ未整形。
Photo 1 Main scarp at the front and north slopes, taken in Oct. 5, 1987.



写真2 南部斜面と東部斜面の全景（1987年11月20日撮影）
南部斜面には古い滑落崖が複数認められる。南部斜面末端部の樹木は伐採されていた。
Photo 2 Scarp at the south slope, taken in Nov. 20, 1987.



写真3 1984年9月23日撮影の空中写真（㈱シン技術コンサル撮影・提供）
第一粘土鉱体露天採掘地とその北西方に捨て石堆積場が広がっている。正面斜面と北部斜面末端部は整形され、芝張工が施工されている。
Photo 3 Air-photograph of open-pit of barite ore and No.1 kaolin ore deposits in the Minami-Shiraoi Barite Mine area, taken in Sep. 23, 1984.



写真4 正面斜面と北部斜面における地すべり変状 (1987年11月19日撮影)

- A: 正面斜面での主滑落崖. 落差1m. ベンチ背後の法面には支笏火山噴出物の溶結凝灰岩がブロック化し, 露出. ベンチには約80~90cmの盛土があり, その下に溶結凝灰岩が分布. 滑落崖脇に立っているのは故松下部長.
- B: 正面斜面での主滑落崖の様子. 支笏火山噴出物の溶結凝灰岩がブロック化し, 露出.
- C: 北部斜面での側方滑落崖. 支笏火山噴出物の崩積土からなる.
- D: 北部斜面での地すべり土塊上部に発達したブロック化. 支笏火山噴出物の崩積土からなる.

Photo 4 Photographs taken in Nov. 19, 1987. A and B: main scarp at the front slope, C: side scarp at the north slope, D: minor scarps at the north slope

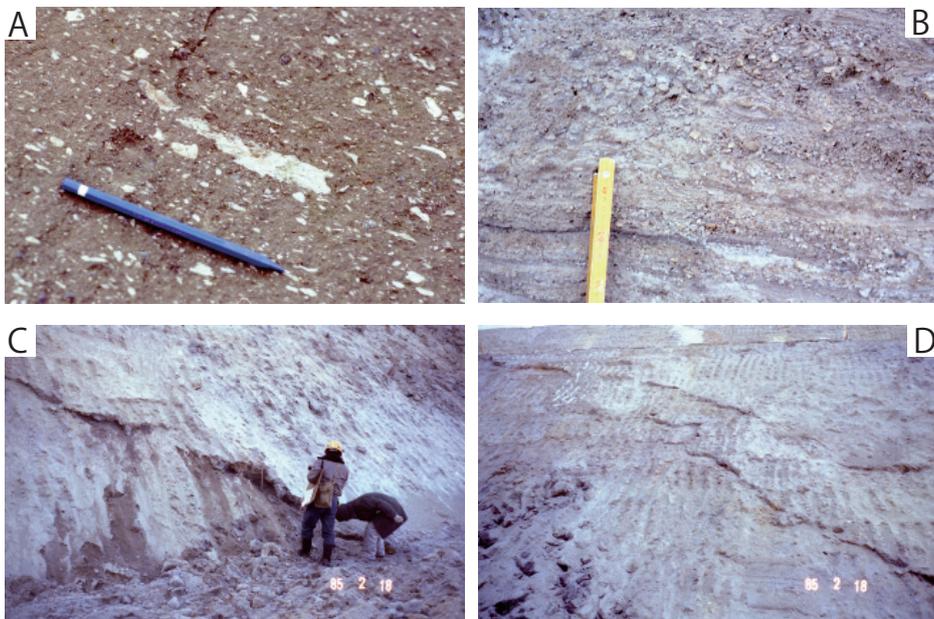


写真5 正面斜面における支笏火山噴出物と亀裂

- A: 支笏火山噴出物の溶結相 (1988年5月16日撮影)
- B: 支笏火山噴出物の再堆積相. 降下火山灰を含む (1988年1月21日撮影)
- CとD: 正面斜面の10段目ベンチに形成された地すべりの南側側部の亀裂. 上盤 (地すべり土塊) 側が迫り出している (1988年2月18日撮影)

Photp 5 A: welded tuff of the Shikotsu volcanics taken in May 16, 1988, B: Resedimentaion facies of the Shikotsu volcanics taken in Jan. 21, 1988, C and D: southern edge of slide block at the front slope, taken in Feb. 18, 1988.

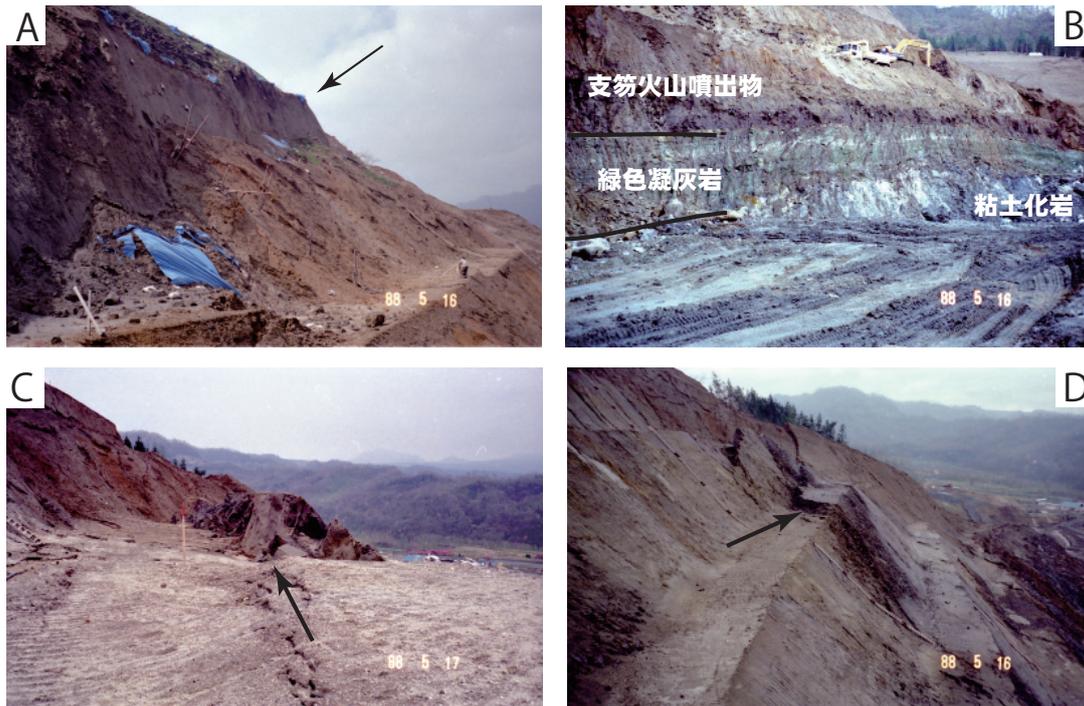


写真6 1988年5月16日における正面斜面および切羽の様子

A：正面斜面の主滑落崖（矢印）

B：第二粘土鉱体北東部の切羽。下位から粘土岩（鉱床）、綠色凝灰岩（砂岩を含む）、支笏火山噴出物

CとD：正面斜面に新たに形成された逆向き亀裂（矢印）

Photo 6 Photos taken in May 16, 1988. A: main scarp at the front slope, B: northeastern open-pit of the No.2 kaolin ore deposit, C and D: middle compressional fracture at the front slope.



写真7 1988年5月16日における南部斜面の様子

A：南部斜面末端部に整形された法面とベンチ及び外側排水口。法面とベンチには多数の亀裂が発生。

B～D：南部斜面上部に見られる古い滑落崖。再活動している

Photo 7 Photos taken in May 16, 1988. A: cutting slope surface, B~E: scarp



写真8 1988年5月17日における南部斜面末端部の様子
整形された法面とベンチには多数の亀裂が発生し、部分的に流動化している。
Photo 8 Cutting slope surface of the south slope taken in May 17, 1988.

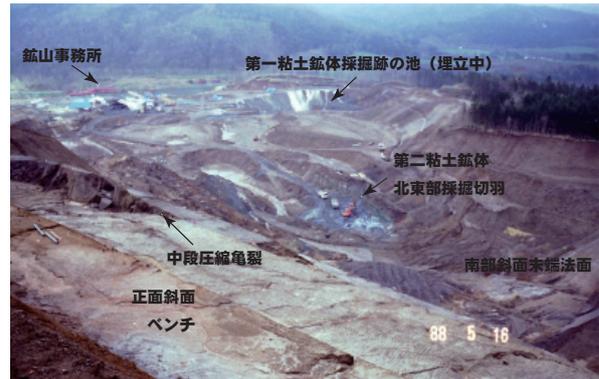


写真9 第一粘土鉱体採掘跡および第二粘土鉱体採掘地の全景
1988年5月16日撮影
Photo 9 The No.1 and No.2 kaolin ore deposits open-pit photograph taken in May 16, 1988.



写真10 1992年10月2日撮影の空中写真 (株)シン技術コンサル撮影・提供)
地すべり土塊は流動化し、ガリーを多く形成。第一粘土鉱体採掘跡はかなり埋め戻され、池の部分は狭くなっている。
Photo 10 Air-photograph of open-pit of the No.1 and No.2 kaolin ore deposits if the Minami-Shiraoi Barite Mine area, taken in Oct. 2 1992.

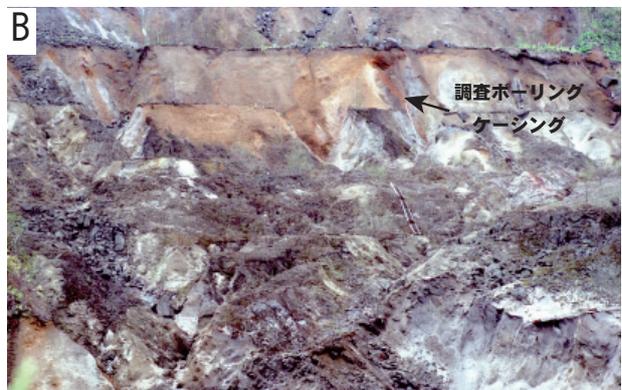


写真11 1996年5月13日における地すべりの様子
A: 正面斜面から北部斜面に伸びる主滑落崖の落差は大きくなり、地すべり土塊は細かいブロックに分かれ、樹木が成長している。
B: 正面斜面中段の法面及びベンチの崩壊。ガリーが多く形成。調査ボーリングのケーシングパイプが約3m地上に露出していた。
Photo 11 Photos taken in May 13, 1996. A: main scarp at the front and north slopes, B: gullies at the front slope.