

バイオンと南チロル地方の地すべり巡検

本会 副会長 内田 勉



(はじめに)

2019年9月2日～9日、(公社)日本地すべり学会「バイオンと南チロル地方の地すべり巡検」に参加したので、その概要を報告します。参加者は21名(団長：丸井英明 新潟大学名誉教授)で、大学関係者5名、研究機関2名、コンサル関係者11名ほか。森林部門技術士会からの参加は3名でした。

オーストリアのウィーンからインスブルックに飛び、専用バスで北イタリアの地すべり地を巡りました。帰路はベニスからウィーンを経て、台風15号上陸直後の早朝7時20分、羽田空港に3度目のトライで着陸し、帰朝しました。巡検のメインは、1963年10月に大災害を起こしたバイオンダム(地すべり)で、かなり強行日程でしたが得難い現地研修になりました。

1. 地すべり巡検の行程

図1「バイオンと南チロル地方の地すべり巡検全行程」¹⁾は、地形データから作成した地形図に、巡検中に記録したGPSデータを読み込んだものである。

InnsbruckからHahnebaum Landslide, Meran, SottruLandslide, Cortina d'Ampezzo, PonteseiLandslide, Vajont Dam, Tessina Landslideなどの位置を示す。

第1日目：2019年9月2日(月)			
都市名	交通機関	現地時間	備考
羽田空港		23:30	特別室にて結団式

第2日目：2019年9月3日(火) 晴	
都市名	スケジュール等
羽田発	01:20 全日空 205 便にてオーストリアのウィーン シュヴェヒャート国際空港へ(約11時間40分)
ウィーン着	06:00 ウィーン シュヴェヒャート空港到着
インスブルック	09:45 オーストリア航空 903 便でインスブルックへ(約55分)
Innsbruck 着	10:40 専用バスにてイタリアのヴァル・テノーへ 12:20 昼食 Lilie Hotel
モーツ・イン・バッシェリア	14:00 南チロル砂防事務所長 Dr.Gius、地質官 Dr.Mair と合流・Hahnebaum 地すべり巡検
メラーノ	19:00 Merano ホテル着
MERANO	20:00 夕食[Samurai]
	23:00 就寝 ※長い一日。

第3日目：2019年9月4日(水) 晴	
都市名	スケジュール等
朝食	06:30 ホテルレストラン
メラーノ	08:00 地すべり巡検開始
↓	10:00 トロピカ景勝地 地質説明
	10:50 ガルダナ峠越え。バディエアのSottru 地すべり巡検へ
	11:30 アプタ村役場会議室 プレゼン
バドラーチェス	13:20 ランチ Utia Paraciora
↓	15:00 Sottru 地すべり地踏査
	17:00 御礼セレモニー お別れ会
コルティナ・ダ'アムペッツォ	19:00 Cortina d'Ampezzo 着
ソバツォ	19:20 夕食 Restorante Pizarea
	22:30 就寝

第4日目：2019年9月5日（木） 晴	
都市名	スケジュール等
朝食	07:30 ホテルレストラン
コルティナ・ダ ンベッツォ	8:30 ホテル発 地すべり巡検へ
↓	10:00 FIRENZE 大学 Casagli 教授 ほかと合流
ロンガローネ	・バイオントダム視察
↓	・対岸 Casso からの遠望
↓	・地すべり末端土塊, ダム湖
↓	13:30 ランチ ロンガローネ村
↓	15:30 バイオント博物館 見学
	17:00 モニュメント墓地 黙祷 墓参
	18:40 Belluno Hotel 着
ベッルーノ	19:20 夕食 Restorante
	22:00 就寝

第5日目：2019年9月6日（金） 雨	
都市名	スケジュール等
朝食	07:30 ホテルレストラン
サンタクロチェ	09:00 ホテル発 地すべり巡検へ
↓	10:00 ポンテベイ地すべり視察
アルパゴ	12:00 Alpago 着 テッシーナ地すべり
↓	13:10 ランチ 三ツ星 Restorante
↓	感謝交換会：丸井団長挨拶, FIRENZE 大学 Casagli 教授挨拶
↓	15:00 地すべり発生源 視察
↓	16:20 Casagli 教授と交歓※
↓	17:10 Hotel 着
	19:00 夕食 Restorante
ベッルーノ	22:00 就寝

※二日間お世話になった FIRENZE 大学 Casagli 教授挨拶ほかとお別れ。

第6日目：2019年9月7日（土） 晴	
都市名	スケジュール等
朝食	07:30 ホテルレストラン
ベッルーノ	9:00 ホテル発
↓	11:00 レオナルド・ロイヤルホテル着
ベニス着	11:30 ベニス 水上バス
	12:30 ランチ
↓	13:00 サンマルコ寺院見学 コントラ
	18:30 ホテル着
レオナルド・ ロイヤルホテル	19:00 夕食
	22:00 就寝

第6日目：2019年9月8日（日） 晴	
都市名	スケジュール等
Hotel 発	04:45 ホテル出発 専用バス
↓	05:10 ベニス空港着
	05:20 朝食 ホックスブレックファスト
ベニス空港	07:25 オーストリア航空にてウィーンへ
	08:30 ウィーン シュヘンフェルト国際空港
ウィーン空港	12:40 全日空 206 便にて、羽田へ

第7日目：2019年9月9日（月） 強風	
都市名	スケジュール等
羽田空港	7:20 羽田空港着 308 駐機場へ
	8:00 入国手続き・通関・解散式
	8:30 浜松町
	浜松町から都内へ（交通混乱）
	12:00 帰宅

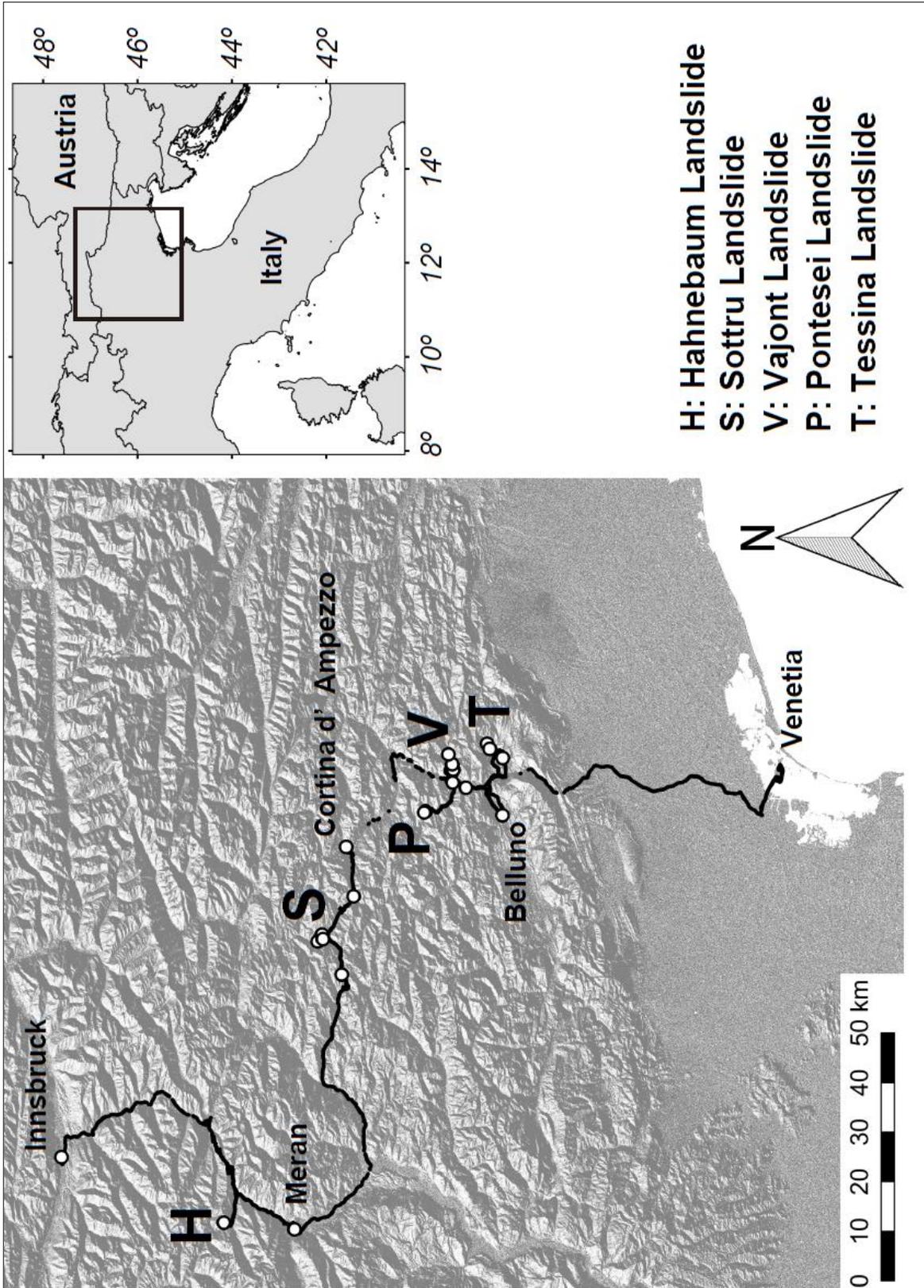


図1 バイオントと南チロル地方の地すべり巡検（行程全体図）¹⁾

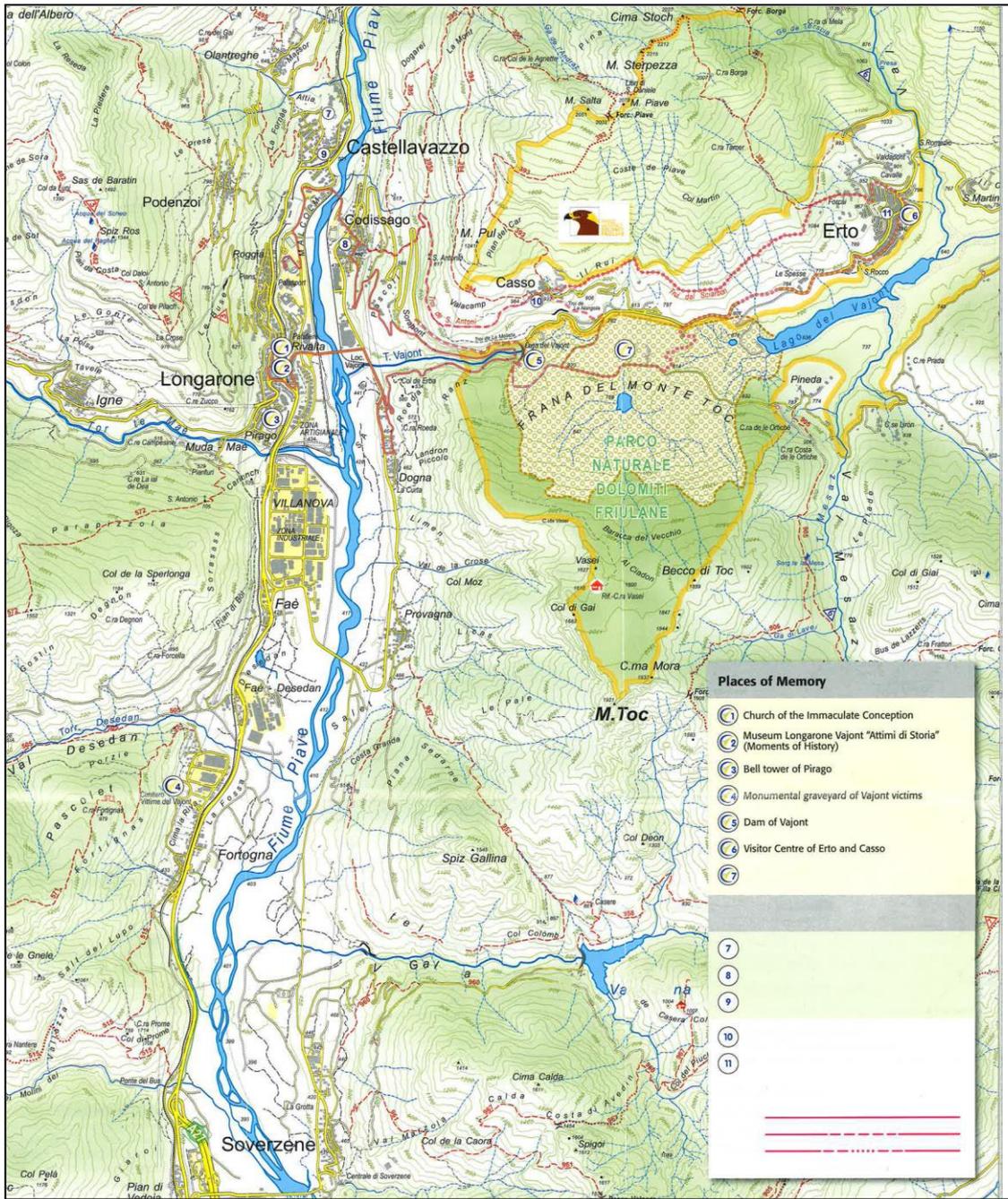


図2 バイオントダム（地すべり地）と周辺部 Longarone 村などの位置図²⁾

※図中、縦方向に Piave 川が流れている。図の上部 Longarone 村の右側に Vajont Dam C5。
 ※M. Toc 中腹から Vajont 川へ向かって巨大貯水池地すべり発生。Vajont 地すべりは、幅約 2 km、すべり面深さは西側 250m、東側 200m。体積 2 億 7,000 万 m³。
 ※図の左下部 C4 は、Monumental graveyard of Vajont victims 犠牲者の記念墓地。

2. 南チロル地方の砂防・地すべり巡検

2019年9月3日(火) 14:00。Hahnebaum地すべり地において、南チロル砂防事務所長 Dr. Sandro Gius, および地質官 Dr. Mair による説明。



(写真1 Hahnebaum地すべり説明)

溪流に91基の砂防ダム群が施工されており、下流の保全対象を護っている。右岸側に地すべりが多発している。左岸側は石灰岩が貫入しており崩壊地が見られる。

砂防ダム群は地すべり等による変形に対処するため、袖部が稼働式で中央の床固め部が溪床の安定に対応している。

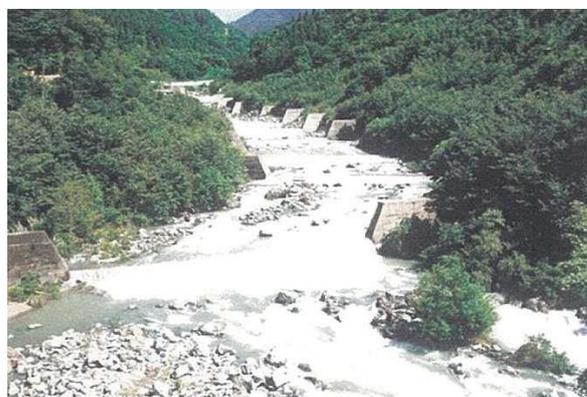


(写真2 Hahnebaum地すべりの砂防ダム群)

日本では1973年徳島県平谷地すべり地において、床固め工に斜め縁切りを入れて地すべり末端部の土圧に対処した事例がある。いずれも治山・砂防技術として特筆される。

(平谷地すべり地の斜め縁切り床固工)³⁾

徳島県平谷地すべりは、四国を代表する斜面長1,100m、幅200m~600m、面積60haにおよぶ巨大地すべりである。対策工事として、1962年から祖谷川の床固工群に着手したが、地すべりの側圧を受けて床固工に亀裂や割れ目が生じた。このため、1964年から地すべりによる側圧を逃がすような斜めの縁切りを入れ、1973年には袖部の稼働量をより大きくするため袖部を平行に設けたり、地盤との接触部をくさび形にして対応した。



(写真3 平谷地すべり末端部の床固工群)



(写真4 平谷床固工袖部の斜め縁切り)

3. ドロミテ景勝地ガルデーナ峠越え

2019年9月4日(水) 10:00~11:30。イタリア北部ドロミテ(Dolomiti)山地の地質巡検。地質官 Dr. Mair による説明。



(写真5 ドロミテ 地質説明 Dr. Mair)

ドロミテは地質構造上南アルプスに属し、苦灰岩（白雲岩）を主とするアルプス相三畳系が発達。三畳系の褶曲は弱く、マスブーブメントやトップリングなど、特有の風化侵食のため塔形の奇峰がそびえ、観光と岩登り、冬はスキーで有名である。



(写真6 冬はスキーの看板)

快晴の気持ちの良い日の巡検で、開放感があつた。スイスやオーストリア山岳部の展望が北イタリアでも体感できた。

4. Sottru 地すべり

2019年9月4日（水）11：30～17：00。

アプタ村役場 3F 会議室において、Sottru 地すべりのプレゼンを受けた。

(アプタ村 村長)

人口 3,900 人の村で、観光が重要な産業となっている。冬のスキーは総延長 1,000 km に及ぶ。農業も盛んである。言語はドイツ語、

イタリア語、地元の言語である。2012年に地すべりが発生し、南チロル砂防事務所からの指導をいただいた。

(南チロル砂防事務所長 Dr. Sandro Gius, および地質官 Dr. Mair による説明)

2012年12月地すべり発生。南チロル地方独特の融雪期の地すべりで活動的であり、民家に迫った。

13：20～15：00 ランチタイム。

15：00～17：00 現地踏査。



(写真7 Sottru 地すべり地 踏査)

地質技術者を中心に、丁寧な現地踏査を実施。現場に入るとなかなか帰還しない人々。



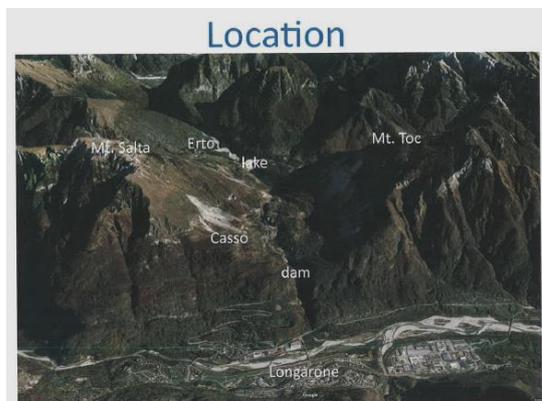
(写真8 Sottru 地すべり 対岸からの遠望)

17：00 から 2 日間にわたる巡検の御礼式。

南チロル砂防事務所から、職員が使用するザック、タンブラー、貴重な事業写真集をいただいた。現地の湧水箇所でお別れ。

5. バイオントダム（地すべり）の概要

2019年9月5日（木）10:00～17:00 巡検。



(Vajont Dam 地すべり地周辺) ⁵⁾

10:00 FIRENZE 大学 Casagli 教授ほかと合流。まず、ダム入口で Casagli 教授によるプレゼンがあり、地すべり概況について、丁寧な説明を受けた。その後ダム天端、対岸、地すべり末端部を歩いたが、ダム高さと同規模の大きさ、ダム内に堆積する地すべり土塊の巨大さに圧倒された。

(Vajont ダム貯水池地すべりの概要) ⁴⁾

ダム高 265m の Vajont ダムは、1960 年にイタリアアルプスのドロミテ地方南東部、Toc 山北麓の Vajont 峡谷に建設されたが、貯水池斜面についての十分な地質情報が得られないまま建設され、わずか 3 年後に地すべり災害を起こした。



(写真 9 Vajont ダム 天端への入口)



(Vajont Dam 完成時 1960 年) ⁵⁾

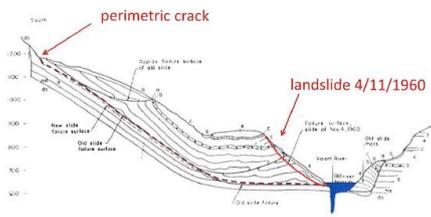
Vajont 峡谷の基盤岩は強度が弱く、強く破碎され、多くの溶解洞をもつ石灰岩で、これは貯水池左岸では貯水池に傾斜した流れ盤層理で粘土層を挟在する。



(Vajont Dam 地すべり発生後 1963 年) ⁵⁾

ダム完成後の貯水で、基盤岩は飽和し、粘土層は膨潤し、より塑性化した。湛水後すぐに、山側の斜面は 1960 年には 1 cm/週 (0.1～0.2 mm/日) の速度でゆっくりと下方へ変動していた。1960 年 11 月 (EL. 650m) では、Toc 山北側斜面の貯水池湖岸 (Vajont 川左岸) で 1960 年 3 月に小規模の地すべりが、1960 年 11 月に約 70 万 m³ の二回目の地すべりが発生した。三回目の貯水の 1963 年 9 月には 1 cm/日に速度が上がり、次いで 10～20 cm/日に上昇、結果的に 1963 年 10 月 9 日の災害時にはこれ以上となった。

The landslide shows up



(Rossi & Semenza, 1980)

(巨大貯水池地すべり 発生前 1960. 11) ⁵⁾

The “perimetric” crack

4 November 1960



(周辺部の地すべり性亀裂 1960. 11) ⁵⁾

この間、最終的に斜面は緩み、瞬時に 25～30m/秒の速度で 2 億 7 千万 m³ の岩盤と岩砕が滑り落ち、ほぼ 2 km 区間の峡谷を貯水池より上 150m の高さまで埋めた。これにより、ダム湖水は完全にあふれ、ダムより 170m 以上の高さで越波した。

このようなダム地点で高さ 438m におよぶ水塊による段波は、1.4 km 以上下流の Piave 川の合流点 (ロンガローネ村) までの流域を、すべて破壊した。また、これより下流の Piave 川流域でも数 10 km の間で洪水津波が発生し、84 km 下流でも 2.3m の高さの波が到達した。

すべての出来事は 7 分以内で終了したが、2,000 人以上が犠牲となった。これは史上最大のダム災害として知られている。しかし、発電所は破壊したもののダム構造そのものは損傷がなかった。



Before

(Longarone 村 The megatsunami 前) ⁵⁾



After

(Longarone 村 The megatsunami 発生後) ⁵⁾

(バイオントダム (地すべり) について) ⁴⁾

Vajont ダム貯水池地すべりは、ダム湛水という人為的な原因で引き起こされた 2,000 名以上の犠牲者を伴う大惨事であること、最終の運動が急激であること、崩落土砂で貯水池に津波起こし広い範囲で洪水被害を生じたことなどから、ダム関係者だけでなく世界中の注目を集めた。発生素因・誘因や運動メカニズムはもちろん、ダム建設の妥当性や避難にかかる対応などについても、事故前および直後だけでなく発生から 50 年以上経過した現在でも、多くの調査、研究が行われている。

関連する研究論文数としても世界一の地すべりである。



(写真 10 末端部からの地すべり全景)



(写真 11 対岸の Casso 地区 土塊到達)



(写真 12 Longarone から VajontDam を望む)

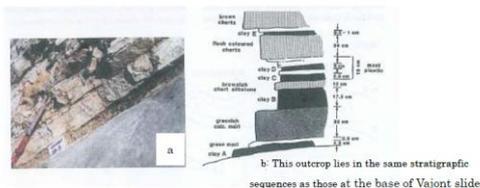


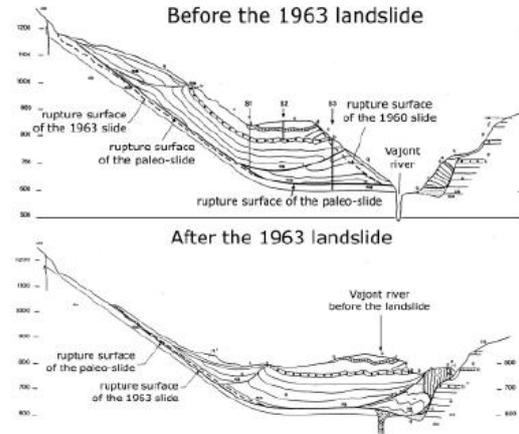
図 24: すべり面の状況 (Hendren & Patton, 1985)

a) Clay interbeds outcropping on the sliding surface; b) sketch of the Fonzaso Fm. Outcropping southwest of Casso

(すべり面の状況 Hendren & Patton, 1985)

すべり面は 5~15 cm 厚さの薄い粘土層。地すべり移動体は幅約 2 km, 結晶質の石灰岩, 固結した礫状の石灰岩, 泥灰岩からなる。地

すべり深さは西側が 250m, 東側が 200m である。



Sections of the Vajont valley before and after 9 October 1963, landslide. The presence of paleo-slide at the Toc mountain is visible in both the panels, presenting a rupture surface very close to the rupture surface of the 1963 slide. A section of the landslide occurred in 1960 is also visible in the left panel (picture taken from Semenza, 2002).

図 25: 地すべり前後の地すべり断面図 (Semenza, 2002)

(地すべり発生前後の断面図 Semenza, 2002)⁴⁾

(VajontDam 博物館&Monumental 墓地)

VajontDam 博物館はかつての街の生活写真等が展示されている。とくに災害状況についてアニメーションをまじえた映画があり, 人的被害の大きさにショックを受けた。



(写真 13 モニュメンタル墓地)

最後に, VajontDam 地すべりによる The megatsunami で犠牲になった 2,000 人以上の人々が眠る Monumental 墓地を訪問し, 巡検参加者全員で黙祷を奉げた。

5. Pontesei Dam と地すべり

2019年9月6日（金）10：00～12：00。

雨の中の巡検。Pontesei ダムは Vajont ダムの前年に施工され、当時から貯水による地すべりが発生していたようである。



(写真 14 Pontesei Dam と地すべり)

6. Tessina 地すべり⁶⁾

2019年9月6日（金）12：00～16：00。

Tessina landslide は、Piave 川左岸部 Mt. Teverone の南 Funes 地区にあり、氷河期および Piave 川による堆積物が緩慢に移動している。1948 年からの記録があるが 1992 年に再活動したようである。監視カメラ、標柱、ワイヤーセンサー等の Monitoring system など監視が続けられている。Funes の民家を護るためにコンクリート製のブロックが設置されていた。



(写真 15 Tessina 地すべりの防護工)

(おわりに)

(公社) 日本地すべり学会「バイオントと南チロル地方の地すべり巡検」を無事に終え、新たな知見を得ることが出来ました。関係者の皆様、とくに団長を務めていただいた丸井英明新潟大学名誉教授、コーディネータとしてご配慮いただいた永井修氏、綱木亮介氏、および Vajont Dam 関連の多くの論文から今回の巡検資料（要約版）をまとめていただいた小俣新重郎氏に感謝致します。

また、現地巡検において丁寧に説明・案内をいただいた南チロル砂防事務所 Dr. Gius 所長、Dr. Mair 地質官、FIRENZE 大学 Casagli 教授に心から御礼申し上げます。

(参考・引用文献)

- 1) 柴崎達也：Alos world30m DSM(AW3D30) 地形データから作成した地形図に、巡検中の GPS 記録を読み込んだ訪問先の位置図，2019.9
- 2) バイオントダム(地すべり)ガイド：fact and places of the VAJONT GUIDE, 2019.9
- 3) 内田勉：「治山技術史研究への期待」，フォレストコンサル 2013 No.132 pp29～pp36, 森林部門技術士会
- 4) 小俣新重郎：(公社) 日本地すべり学会「Vajont Dam 巡検資料」，2019.5.18
- 5) Nocola Casagli：The Vajont landslide and dam disaster 2019.9.5
- 6) Nocola Casagli：The Tessina landslide 2019.9.6

(著者)

内田 勉（うちだ つとむ）／森林部門技術士会副会長／(公社) 日本技術士会審議員 CPD 認定会員／(公社) 日本地すべり学会会員／(公社) 地盤工学会会員／技術士（森林部門・森林土木，建設部門）