

バイオント地すべり災害の再検証

Review of the Vaiont-Slide Disaster

野 崎 保

Tamotsu NOZAKI



地すべり 第38巻 第4号 別刷

■バイオント地すべり災害の再検証

Review of the Vaiont-Slide Disaster

株式会社中部日本鉱業研究所 野崎 保
CNK Geotechnical Institute Inc. Tamotsu NOZAKI

キーワード：バイオントダム，岩盤地すべり，移動速度，ダム湛水，段波

Key words : Vajont Dam (Vaiont Dam), rockslide, rate of movement, filling of reservoir, flood wave

1. まえがき

近世から現代までにおいて，鉱潭ダムのようなものは別として，我が国では大ダムの重大事故は発生していない。しかしながら，海外においてはアメリカ合衆国カリフォルニア州のセントフランシスダム（1928年3月），フランスカンヌ地方のマルパッセダム（1959年12月），イタリア北部のバイオントダム（1963年10月），アメリカ合衆国アイダホ州のティートンダム（1976年6月）等では多数の犠牲者を伴った重大事故が発生している。

このうちセントフランシスダムとバイオントダムの場合は，地すべりに関連した災害である。前者は高さ62.5mのアーチ型重力式ダムであったが，それとは気付かずに古い移動岩盤の上に構築されてしまった。このために，初期湛水のほぼ満水状態において，堤体は岩盤もろとも崩壊してしまった。この事故によって約450人が犠牲となった（Rogers, 1995）。

後者の場合，ダム自体は今でもコンクリートダムとして世界第2位の高さ（264.6m）を誇るアーチダムであり，それ自体はほとんど損傷を受けることなく，事故以来40年近く経た現在も当時のままの状態にある。しかし，初期湛水の際に左岸側の斜面に大岩盤地すべりが発生し，貯水池から溢れ出した水は大洪水を引き起こした。このために2,000人以上の犠牲者を出すという世界のダム建設史上最悪の事故となってしまった。

筆者は，2000年5月にスロバキア共和国コメニウス大

学のOndrášik R.教授のご案内によりバイオントダム見学の機会を得た。本レポートは教授によって作成された案内書を中心に災害の経緯やその後の研究成果をコンパイルしたものである。ただし，原著論文が入手困難で出典が不明なものもあることをお断りしておく。

以下の記述のうち第2～3章は主としてMüller (1964) によるが，現地における案内板や巻末に掲載したその他の参考文献から追加・修正したところもある。4～5章はバイオントダムの地形地質状況および地すべり発生機構についての記述であり，骨子はOndrášik (2000) によった。

2. バイオントダムの建設経緯と諸元

1930年代から1960年代にかけて，ピアベ川とその近隣河川には，一連のダムや発電所が建設されつつあり，最終的には全体として大規模な水力ネットワークができあがる予定であった。そして，ピアベ川を中心とした水路を効率的に活用するためには，バイオントダムは特に重要な役割を果たさずであった。このダムはベニスのおよそ100kmほど北にあるピアベ川沿いの町ロンガローネの東方にある（図-1，2参照）。ダムサイトはピアベ川との合流点より1kmほど上流のバイオント峡谷にあって，300m以上の深さを有する極めて狭い谷をなしている。当初は現在の位置よりさらに1.5km程上流地点に計画されていたが（図-3参照），岩盤条件や貯水容量の問題から現在の位置に移された。さらに，当初計画ではダム頂は標高707.0mを見込んでいたが，ピアベ水系と東側隣接河川を結ぶために，地形地質条件が許す限り高くされ，最終的なダムの諸元は以下ようになった。

ダム名：Vajont Dam (Carlo Semenza Dam)

型式：コンクリート式アーチダム

堤高：264.6m（標高；725.5m）

満水位：261.6m（標高；722.5m）

堤頂長：191.0m

堤体積：353,000m³

総貯水容量：168,715,000m³

有効貯水容量：150,000,000m³

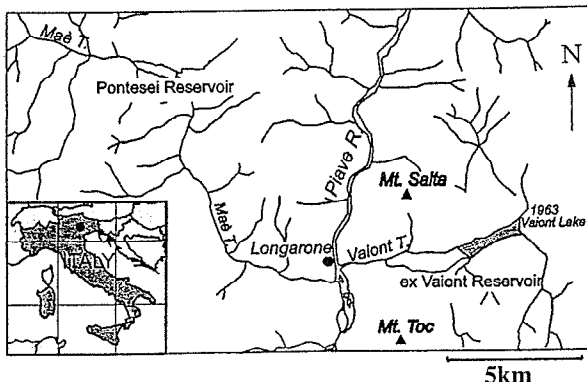


図-1 バイオントダム位置図
(Semenza and Ghirrotti, 2000)

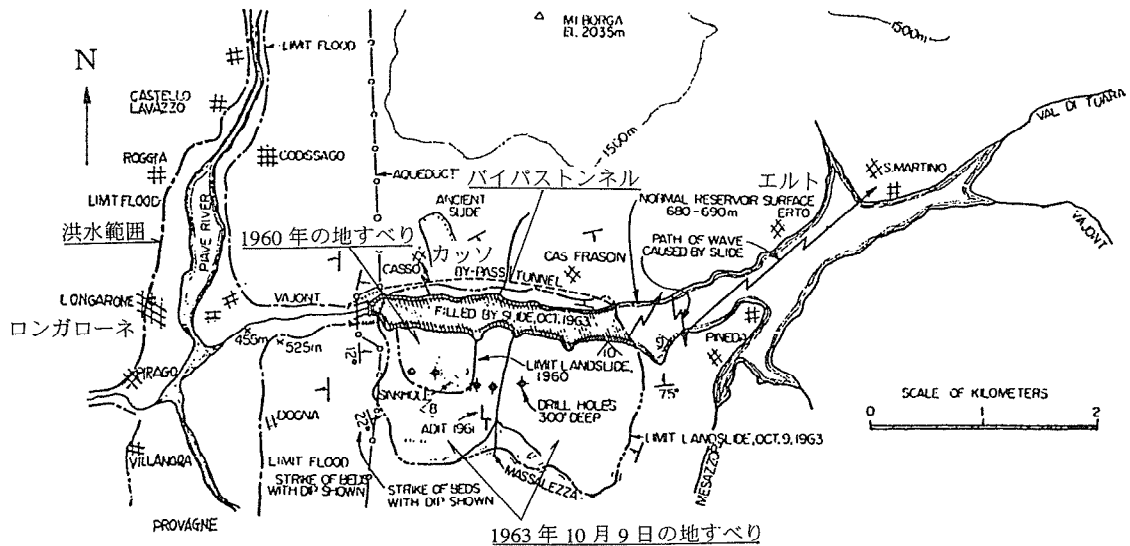


図-2 バイオント貯水池付近平面図 (奥田, 1972; 邦文は筆者による追記)

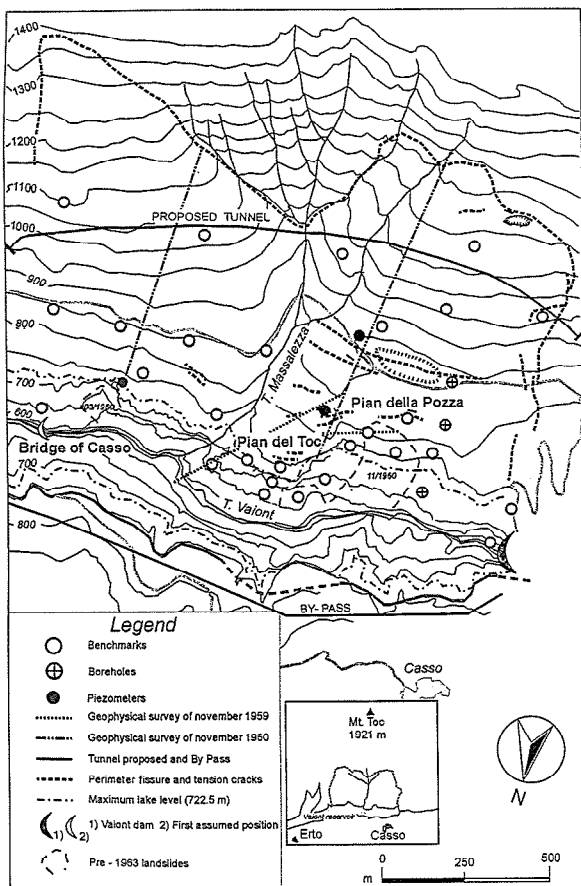


図-3 1963年10月9日以前の調査と地すべり状況図 (Semenza and Ghirotti, 2000)

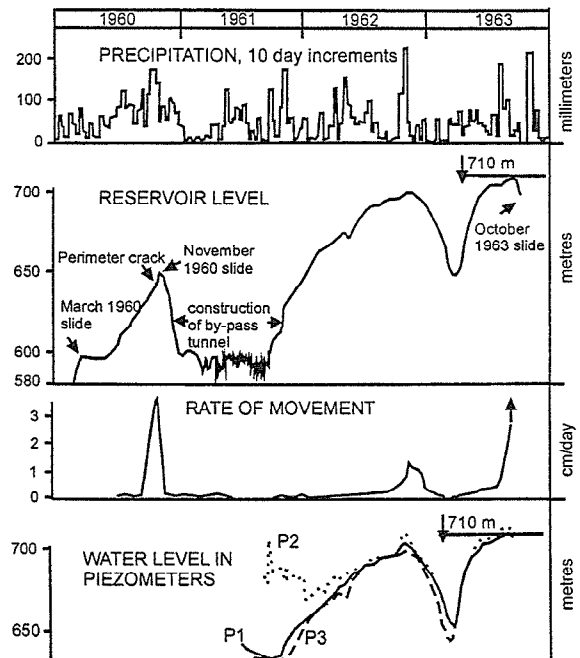


図-4 降雨, 貯水位, 移動速度, ピエゾメーター水位の対比 (Muller, 1964)

3. バイオント (トック山) 地すべりの発生経緯

3.1 大災害直前までの経緯

バイオントダムが完成したのは1960年9月であるが、湛水は1960年2月から開始された。最初に地すべりの兆候があったのは1960年3月で、貯水位は595m (河床から130mの高さ) に達していた (図-4 参照)。この時は

Massalezzaの上流側岩壁で小崩落があった。その後5月までは貯水位は595mに保たれていたが、6月から10月までに645mまで上げられると、左岸側のトック山斜面にギリシャ文字のωを逆さにしたような形の割れ目がおおよそ2kmにもわたって発生した。そして、11月4日にはPian della Pozzaの下方斜面でおおよそ70万m³ほどの岩塊が貯水池内に崩落した。

上記のような割れ目の発生状況から岩盤地すべりの範囲が明瞭となり、貯水池に向かって落ち込むことが予測された。このため、地すべりの挙動を制御する目的で、貯水位は一旦585m~600m間に下げられた。そして、貯水池が二つに分割された場合の災害を回避するため1961



写真-1 地すべり崩土によって埋め尽くされたバイオントダム。右下にダムがあり、左上部に露出したすべり面が見える。



写真-2 左側の岩盤露頭は上流側移動岩塊の先端部。遠景にカツの集落が見えている。

されて、下部と上部の帯水層の間の連結が絶たれ、上部帯水層だけの水頭を示すようになったせいであろう、と述べている。また、この水圧は貯水位の変化と降水量に連動しており、初めのうちは、P2孔の孔内水位は貯水

位より90m程高い位置にあった。これは少～中降水量期間中に観測された水圧差を示しているが、多降水量期間にはさらに高くなったはずである。

粘土層は難透水性であり、そのあいだに介在する石灰岩やチャート層は高透水性である。このことは層理面を横断する方向よりも平行する方向の透水係数が大きいことを表している。このような効果によって、すべり面あるいはその直下で傾斜層内に複数の被圧地下水帯が形成されたと考えられている。

5.3 安定解析

Pariseau and Voight (1979) によれば、安定解析は多くの研究者によって行われているが、ここではOndrášek (2000) による最近の解析結果を示した。

三次元解析の結果では、移動土塊に作用する全せん断抵抗のほぼ40%が、地すべりの東側境界をなすほぼ垂直な面で生じていたという結果となる。この地すべりは基底にある粘土層は極めて低い強度だが、東側境界面は高強度であるために、このような三次元効果が地すべりの発生形態に大きな影響を与えている。

移動の経緯、貯水位の記録、すべり面の形状そして本解析において使用された間隙水圧や水位の推定分布は、以下のせん断強度値とともに終始一貫したものであるとする。

- ・基底面の残留せん断抵抗角 = 12°
- ・地すべりスライス間に作用する内部せん断抵抗角 = 40°
- ・地すべりの東側境界面に沿った摩擦せん断抵抗角 = 36°

1963年の地すべりは貯水位の上昇と降雨による地下水位上昇との相乗効果によって発生した。湛水だけによって生じた安全率の低下はほぼ12%であると算出された。降雨や融雪による間隙水圧増加のみによる安全率の低下は少なくとも10%であると算出された。

なお、Kenney (1967) は最終段階における移動速度



写真-3 すべり面の露出したバイオント地すべり斜面(遠景)と峡谷を埋め尽くした地すべり崩土の上流側先端部(前景)。

の急増は、すべり抵抗の急激な減少によるものに違いないと指摘した。その原因は東側ブロックのすべり面が地層の層理面に斜交しているために、この部分が抵抗帯となっていたものの、最終段階で急激に破壊されたことによるものと結論づけている。また、この問題に関連して、Tika and Hutchinson (1999) は、バイオント地すべりのすべり面から採取した粘土のリングセン断試験を行い、セン断速度が100mm/minを越えると、低速セン断による残留強度の60%程度にまで減少することを明らかにしている。そして、地すべりの最大移動速度が20~25m/sec (100km/hour) にも達したのは、このような特性あるいはその他の力学的特性との相乗効果によるものであろうと述べている。

6. あとがき

ロンガローネの下流で右岸側からピアベ川に合流するマエ (Mae) 川流域ポンテセイ (Pontesei) に建設されたダムでは(図-1参照)、バイオントダム建設中の1959年3月22日に、左岸側アバットメントに近い位置で地すべりが発生し、貯水池に段波が生じた。段波はダム頂を数mの高さで乗り越えたが、下流域には特別な被害は生じなかった。しかし、右岸の道路を自転車で走っていた労働者が犠牲となった (Semenza and Ghirotti, 2000)。これはまさにバイオントダムの大災害を予告するような出来事であった。この直後にバイオントダムの貯水池を視察したL. Müllerは、バイオント地すべりの危険性を指摘した。この指摘を受けて、E. Semenza等による調査が開始され、有史以前の大規模な地すべりの存在を示すいくつかの地質的証拠が確認された。実際に、その後の湛水に伴って、この古期地すべりブロックの外縁に沿って連続した割れ目が現れた。しかし、Müller (1987) はこの問題に関する著述の中で、「1961年3月にバイオント地すべりに関するレポートを出したのを最後に、協力要請を受けることはなかった」と述べており、暗に当局に対する怒りと事故を未然に防げなかった悔しさを表している。Semenza and Ghirotti (2000) も、「当時はダム湛水域における斜面安定に関する調査はほとんど行われぬのが通例であり、バイオントでも十分な調査検討が行われぬまま、その時を迎えてしまった」と回顧している。

我が国においては何らかの斜面問題を抱えていないダムはほとんどないといってよい状況であり、建設中あるいは初期湛水時に滑動し始めた地すべりも少なくないが、いずれも確実に抑止され、わずかとはいえども移動が継続した状態を放置するようなことはない。最近我が国においてもすべり面深度が100mを越えるような大規模岩盤地すべりの事例が報告されるようになった。しかし、その発生メカニズムについては未解明な部分が多く、必ず

しもあらゆるケースについて万全な対策を施し得ない可能性もある。したがって、このバイオントダム災害のような事例についてはさらに詳しく解明し、今後の同様な問題に活かされる必要がある。これまでバイオントダムの災害については災害直後の視察報告はあるが、発生機構に関する邦文は少ない。本紙は、林 (1992) による研究報告 (抄録) と重複する部分もあるが、その後の知見や資料を加えたものであり、少しでもお役に立てば幸いである。

バイオントダムを含む東欧への研修旅行は地すべり学会九州支部によって主催されたものであるが、筆者は佐賀大学の岩尾雄四郎教授の計らいで特別に参加させていただいた。スロバキア国コメニウス大学のOndrášik教授にはバイオントダムの現地をご案内いただくとともに、準備していただいた案内書を本レポートのために参考にさせていただくことを快く承諾していただいた。国立秋田工業高等専門学校伊藤駿教授には文献の収集にご協力いただいた。三重大大学の林拙郎教授には関連の御著書をご恵送いただいた。また、新潟市国際課の石塚里栄子氏にはイタリア語の翻訳にご協力いただいた。これらの方々に対し、深く感謝申し上げるしだいである。

参考文献

- Broili L. (1967) : New knowledge on the geomorphology of the Vaiont slide slip surfaces. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol. 5, pp. 38-88
- Kenney T.C. (1967) : Stability of the Vajont valley slope. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol. 5, pp. 10-16
- 林拙郎 (1992) : バイオント (Mt. Toc) 斜面の崩壊 (イタリア、ベネート地方)。地すべり・斜面崩壊の事例収集と災害解析。文部省科研費研究成果報告書 (研究代表者：伯野元彦，ワーキンググループ代表者：林拙郎)，pp. 84-96
- Müller L. (1964) : The rock slide in the Vajont valley. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol. 2, No. 3, pp. 148-212
- Müller L. (1987) : The Vajont slide. *Engineering Geology*, Vol. 24, No. 1, pp. 513-523
- 奥田英夫 (1972) : バイオントダム地すべりのその後の経過。地すべり Vol. 8, No. 3, pp. 26-29
- Ondrášik R. (2000) : The Vaiont slide. *Landslide excursion guide to the central Europe*; pp. 78-92
- 尾崎雅篤 (1966) : バイオントダムの地すべりについて。地すべり Vol. 2, No. 2, pp. 26-29
- Pariseau W. G. and Voight B. (1979) : Rockslides and avalanches: Basic principles, and perspectives in the realm of civil and mining operations. *Rockslides and Avalanches*, 2, pp. 34-41, Elsevier
- Rogers J. D. (1995) : A Man, A Dam and A Disaster: Mulholland and the St. Francis Dam. The St. Francis dam disaster-Revisited. *Historical Society of Southern California, Ventura County Museum of History & Art*, pp. 1-110
- Semenza E., Ghirotti M. (2000) : History of the 1963 Vaiont slide: the importance of geological factors. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*; Vol. 59, No. 2, pp. 87-97
- Tika T.H. E., Hutchinson J. N. (1999) : Ring shear tests on soil from the Vaiont landslide slip surface. *Geotechnique*, Vol. 49, No. 1, pp. 59-74