■ 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バッセダム（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間機を得た。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すはずであった。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 Ghirotti, 2000)

図-2 パ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 を逆にしたような形の割れ目がおおよそ2 km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 m^3 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

年2月～10月にかけて、予想される上流側の湖と下流側の湖を結ぶバイパストンネルが掘削された（図－2，3参照）。

バイパストンネルの完成後に貯水位は再度上げられたが、1962年10月に695mに達したところまでは地すべりの速度は1.0cm/day以下であった。しかし、多量の降雨にともなって移動速度がやや増し、貯水位が700mまで達したところで1.0cm/dayを越えたため再び貯水位が下げられた。そして、1963年4月上旬に650mまで下がった時点ではほとんど停止したので、それ以降貯水位は再度上げられていった。このようにして、貯水位を上げ下げすることで地すべりの挙動は制御できるものと考えられた。実際に7月には前回の高さを越えて705mに達し、やや速度を増したものの、まだ0.5～0.8cm/day程度の速度であった。このような状況から地すべりは制御状態にあるものと判断され、8月後半から貯水位はさらに上げられていった。9月初めには710mに達し、中旬には前回の移動速度に達した部分もあったために9月末からゆっくりと下げられ、災害当日の10月9日には700mまで下げられていた（図－4参照）。しかし、その日までに移動速度は20～30cm/dayに達していた。

3.2 1963年の大地すべり災害

1963年10月9日、トック山の北側斜面からおおよそ $2.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ の岩盤がバイオントダム貯水池に滑り落ちた（移動方向延長約1,500m、幅約1,800m、標高570～1,350m）。

この地すべりの厚さは最大250mにも達するものであり、水平に300～400m移動した。速度は20～30m/sec（約100km/hour）に達し、バイオント峡谷の対岸に乗り上げた。その際に対岸に取り残されていた古い時代の地すべり岩塊を元の位置からおおよそ100～150mも押し上げたが、最終的には30～40m押し戻された。この岩盤地すべりは大きく東西2つのブロックに分けられるが、東半分の上端部はやや遅れて移動し、本体の上に乗り上げる形となった。そして、バイオント貯水池の下流側（西側）半分は数10秒のうちに地すべり岩塊で埋め尽くされてしまった。

このような急激な崩落によって、貯水池の水は段波となって対岸に駆け上がると同時に上下流に広がった。バイオント峡谷の北側斜面では標高935m、地すべり発生直前の貯水位からは最大235mもの高さに達し、樹木や土砂を洗い流してしまった。ダムの位置では右肩上がりに溢れ出し、ダム頂から100m以上もの高さで乗り越えていった。そして、バイオント峡谷からピアベ川にはおおよそ25,000,000 m^3 の水が溢れ出し、合流点付近でもおおよそ70mの高さに達した。このために、ロンガローネの町は大半が破壊され、ピアベ川沿いの他の町も大きな被害を被った（図－2参照）。ロンガローネは、ピアベ川の左岸側に切り込んだバイオント峡谷の真正面にあり、本流の川幅はこの位置で約500m、河床標高約430mであ

るが、町全体がおおよそ標高480m付近まで一掃されてしまった。この災害による死者の総数は約2100名に達し、その他にも多数の負傷者がでた。ダム頂から60mほど上にあった売店や事務所ビル、そして左岸アパートメント上にあった管理棟などにいた技師や工員その他の労働者45人も全て亡くなった。

死者の数は資料によってまちまちであるが、災害発生の2年後に現地を訪れた尾崎雅篤氏の資料（尾崎, 1966）によれば、以下の通りである（原文のまま）。

(1) ダム現場付近	死者（ダム工事関係者）70名
(2) Erto地区	死者157名（人口1,827名）
(3) Codissago地区	死者119名
(4) Vaiont地区	全滅家屋42戸
(5) Longarone地区	全滅家屋361戸（全家屋372戸）
死者1,190名（人口1,269名）
(6) Pirago地区	全滅家屋159戸
死者503名（人口531名）
(7) Provagna地区	全滅家屋32戸（全家屋59戸）
死者86名（人口195名）
	合計死者数 2,125名

地すべりの発生域内にはダム関係者の宿舎以外にもわずかな住居があったが、最も近接していたのは対岸の岩棚の上（標高940～980m付近）にあるカッソの集落であった。カッソの一番下の二つの建物が波と爆風によって被害を受けたが、それ以外は被災をまぬがれた。もう少し大きな集落であるエルトは貯水池の北岸にあって、ダムから約3.5km、地すべり土塊の上流端からは約1.5kmの位置にある。エルト付近では波は標高おおよそ740mすなわち貯水位より40m程の高さまで達した。しかし、エルトは集落が標高760m以上の位置にあって、波による被害はほとんど受けなかった（上記の死者数と矛盾するようだが、理由は不明）。

4. 地すべり発生要因としての地形地質条件

4.1 概要

バイオント地すべりはイタリアアルプス、ドロミテ地方の南東部に位置している。この地域の山々は主にジュラ系やその下位をなす三畳系等の硬質な岩層からなり、極めて急峻な山岳地形をなしている。しかし、部分的にはより新しく軟質な層も分布しており、特に、上・下部白亜系や第三系には泥質の薄層が多く挟在している。

バイオント峡谷は東西方向に延びているが、褶曲軸が上流方向すなわち東方に向かって傾いた非対称向斜構造の軸沿いに刻み込まれている。これはエルト向斜と呼ばれており、バイオント地すべりの北にあるボルガ山（サルタ山）の下まで広がっている（図－5，6参照）。

エルト向斜の南翼では単斜褶曲が顕著であり、これはバイオント地すべりの発生機構にかかわる重要な地質構造である。すなわち、この単斜構造の下部撓曲軸はその400～800m程北にあるバイオント峡谷に概ね平行に延び

図－5 トック山からサルタ山方向の南北方向地質断面 (Semenza and Girotti, 2000)

①1963年10月9日以前；②1963年10月9日以後；1a第四紀層；b成層沖積礫層；2 Scaglia Rossa（上部白亜系～下部晩新統）；3 白亜系～ジュラ系（Soccher層相当層）；b Soccher層；c Ammonitico RossoとFonzaso層；4 Calcare del Vaiont（ドッガー統）；5 Igne層（上部ライアス統）；6 Soverzene層（下部～中部ライアス統）；7 Dolomia Principale（上部三畳系）；8 断層・衝上断層；9 地すべり面；10帯水層への地下水の流れ（Modified from Ghirotti1993）

ており、地層はパイオント川に向かって25～45°で傾斜している。このためその横断形状は椅子型になっており、地すべりの「シート」をなしている。ただ、川床付近の所での地層は向斜軸が東方に傾いているために上流方向に9～22°の角度で傾斜している。

図－7の断面図Aは地すべりの「シート」に当たる層理面の最大傾斜部に引かれたものである。この断面では“座席部分”はほぼ水平なように見えるが、断面図Cに示したように、実際には上流方向に緩く傾斜している。また、文献資料には具体的には触れられていないが、一般にこのような単斜構造（撓曲）の部分には地層の撓みに伴う層面すべり（flexural slip）が形成されている。したがって、地すべり発生前にこのような弱面が「潜在的すべり面」として存在していたのであろうと考えられる。ただ、断面Aのように西側ブロックはほぼ層理面に沿った椅子型のすべり面形状であるが、東側ブロックの下部では断面Bのように上流寄りほど層理面を切って円弧に近いすべり面形状となっている（Broilli, 1967）。このことが東西両ブロックのセン断抵抗の違いとなり、西側ブロックが先行し、東側ブロックが追従する形で崩落した原因と考えられ、このような地質構造が地すべりの挙動に大きな影響を及ぼしたようである。

図－6 パイオント貯水池周辺地質図 (Muller, 1964)

Eo＝始新統（フリッシュ）、OK＝上部白亜系、UK＝下部白亜系、Ma＝マルム統、Do＝ドッガー統、Fr＝古期岩盤地すべり、OP＝移動観測点、Sn＝調査ボーリング孔、Pz＝ピエゾメーター、a＝パイオント川、k＝Massalezza、p＝1960年の崩落箇所、v＝1960年の周縁クラック・割れ目群・移動面

図-7 地すべり地の断面図 (Broili, 1967)

断面A：図-6のA-A'付近，西側ブロック；断面B：図-6のB-B'付近，東側ブロック；断面C：移動ブロックの東西断面（左：下流側）。a=地すべり前の地形；b=地すべり後の地形；c=再調査によるすべり面；d=推定断層；e=Pozza凹地。①～⑭：1963～1966年にボーリング調査を実施。層序；B=Dogger～Malm累層；1～8=部層C1～C8，マalm～上部白亜系。

4.2 基底層と地すべり面

地すべり地域の基盤岩はジュラ系から下部・上部白亜系の石灰岩および泥質石灰岩の厚い層からなっている。石灰岩中にはしばしばチャート片を伴った礫化部（再固結）が挟在しており，少量だがドロマイトも見られる。中部ジュラ系のマalm層にはときおり泥質層の挟在が認められるが，下部白亜系では特に普遍的である。

バイオント地すべりの基底層（すべり面）は下部白亜系内（上流側）とマalm層上部層内（ダムサイト寄りの下流側）にあると考えられている（図-7C断面参照）。地すべり基底層の厚さはおよそ5～10cmであるが，1～20cm程度の範囲で変化している。下流側地すべりブロックのすべり面のわずかに下にはドッガー統の塊状石灰岩があり，その層厚は一般に0.5～1.0m程度である。

1963年の地すべり面は，少なくとも一回以上の破碎を受けた面に沿ったものであるということが分かっている（Ondrášik, 2000；Semenza and Ghirotti, 2000）。このような破碎が生じたのは有史以前のことで，相当に古くテ

図-8 Semenza (1959) のスケッチ
(Semenza and Ghirotti, 2000)

a=古期地すべり以前の状況；b=古期地すべりによる谷の埋積およびその南側に刻み込まれた新しい水路；c=不正確だが，大まかな形はその後確認されている。（本図は原著のまま掲載した。邦文は筆者による追記）

クトニック断層の形成期であった可能性もあるとされている。この面の標高はダム近辺では700m付近にあり，上流側1km付近では540mまで下がっている。この破碎面は下流部（西部）では一般に層理面に沿う形となっているが，上流部（東部）では斜交するか順次上位の泥質層にステップアップしている。また，上流側ブロックの東側部は概ね川に直交する形の断層に沿っているようである（図-6参照）。

4.3 バイオント峡谷の形成と古期岩盤地すべり

現在のバイオント峡谷は異常に深く狭い谷で，幅広い氷蝕谷の中に300m程の深さまで刻み込まれている。Semenza and Ghirotti (2000)によると，氷河の後退に続いて現在のバイオント峡谷よりも一つ古い谷が刻み込まれており，そのことによって一つあるいはそれ以上の古期岩盤地すべりが誘発され，当時の峡谷の河床堆積物を埋積した。このような出来事があった後，再び現在の峡谷がバイオント貯水池の付近に刻み込まれたと解釈されている（図-8参照）。

峡谷の北側斜面には有史以前の地すべり崩土とそれに

図-9 1963バイオント地すべり前の地質断面図
(Ondrášik 2000, based on Rossi and Semenza 1980; 邦文は筆者による追記)

よって埋積された初期の河床堆積物が確認されており(図-8, 9参照), 現在の峡谷は谷の南側斜面に発生した古い地すべり土塊を侵食してできたものであると解釈されている。すなわち, 現在では, ダム建設時の峡谷は1963年以前の古期地すべりの末端を基底層以下にまで侵食しており, かつてバイオント川の南側斜面で発生した古期地すべりが, ほとんどもとの形状のままにさらに北へ移動したものであると考えられている。

5. 発生機構に関する考察

5.1 すべり面と地質および地質構造

層序に関連して最も重要な点は, 岩盤層内に挟在する泥質層の位置とその連続性であり, すべり面の位置を確定するためにはその物理特性あるいは強度特性が問題となる。このような問題(挟在粘土層の有無, すべり面の地層とその起源)が論争の対象となってきた点であり, 大方の研究テーマであった。Ondrášik (2000)やSemenza and Ghirotti (2000)に集大成されている多くの研究や地質調査結果からの結論は以下の通りである。

- ・複数の脆弱層(実際には粘土質な層)がすべり面になったことは明らかである。
- ・これらの脆弱層は地すべりの結果生じたものであるとは考え難い。ここでOndrášik (2000)は堆積起源の可能性を指摘しているが, 一般にはテクトニックな破壊あるいは急激な下刻侵食に起因する応力解放による破壊が加わっていると考えられている(Semenza and Ghirotti, 2000; Kenney, 1967)。すなわち, 上述のように南側斜面に見られる断層および単斜構造の形成期において, 泥質な脆弱層内に層面すべり(flexural slip)が発生し, それが主要な地質的素因になったと考えられる。
- ・1963年の地すべりのすべり面に沿った粘土層は一般に

1~2 cmだが, 0.5~10 cmあるいはそれ以上に及ぶものもある。

- ・優勢な粘土鉱物はカルシウムモンモリロナイトである。
- ・Ondrášik (2000)によれば, 試験室内で測定された粘土の残留せん断抵抗角は排水条件で 5° ~ 16° の範囲にあったが, 粘土優勢層のほとんどの値は 6° ~ 10° であり, Tika and Hutchinson (1999)もほぼ同じ結果を得ている。

以上, 地すべりに関与した基本的な地質構造(地質素因)は以下のようにまとめられる。

- (1) 地すべり推力の原因となった背後の急傾斜層(椅子型の構造)
- (2) 地すべり移動層の顕著な東方傾斜
- (3) 基盤層内の極脆弱粘土層の連続性
- (4) 地すべりの東端に沿った断層

5.2 地下水の流動形態

トック山頂に近いところではカルスト地形あるいは水食を受けたカルスト地形があり, 地すべり箇所の上や西端部にも, 小規模で初期的なカルスト地形が認められる。これらの箇所でも地層は地すべり地の方向に 13° ~ 45° の角度で傾斜している。さらに, すべり面の直下では3箇所において溶解跡(溶食孔)が確認されており, 実際はもっと多く存在するはずである。このような状況から判断して, 上方の山地における降水や融雪水の浸透によって地すべり面沿いに高水圧状態が発達したものと考えられる(図-5参照)。

貯水による高地下水圧はすべり面付近の水位観測孔P2 (Pz.2)で測定されている(図-4, 6参照)。これは地すべり発生前に, つまり水位観測孔が破壊される前に観測されたものである。Semenza and Ghirotti (2000)も, P2孔の初期の異常な高水位は被圧帯水層の影響によるものであるが, 1962年の移動期間中にパイプが切断

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。遠景にカッソ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Ondrášik (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セン断抵抗のほぼ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、以下のセン断強度値とともに終始一貫したものであるとする。

- ・基底面の残留セン断抵抗角 = 12°
- ・地すべりスライス間に作用する内部セン断抵抗角 = 40°
- ・地すべりの東側境界面に沿った摩擦セン断抵抗角 = 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せん断試験を行い、せん断速度が100mm/minを越えると、低速せん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ないのが通例であり、バイオントでも十分な調査検討が行われないまま、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