

シリーズ「国内外の天然ダム対策の文献紹介とその考え方」

国内外で採用された天然ダム緊急対策工法

Urgent countermeasures on landslide dams wrestled inside and outside the country

森 俊 勇*

Toshio MORI

1. はじめに

平成 26 年 9 月水蒸気爆発を起こした御嶽山では、昭和 59 年 9 月の長野県西部地震により中腹で大崩壊が発生し、岩屑流となって濁沢川を流下した土砂は王滝川を堰き止めて天然ダムを形成した。この災害を契機として、天然ダムに関する多くの調査・研究が実施され、約 20 年後の平成 16 年に改訂された「河川砂防技術基準」計画編¹⁾に“天然ダム等異常土砂災害対策”について記述され、行政上の施策として取り組むことになった。

偶々同年、新潟県中越地震が発生して、多くの天然ダムが形成され、引き続き、平成 17 年の台風 14 号、平成 20 年岩手・宮城内陸地震、平成 23 年の台風 12 号、また、海外でも平成 20 年の中国四川省の汶川大地震などにより頻繁に大規模な崩壊・地すべりが発生し、天然ダムが形成された。

これらの状況を踏まえ、平成 20 年、国土交通省では、深層崩壊の起こる危険性の高い渓流流域を調査すること

とし、平成 24 年に調査結果を公表²⁾した。これらの渓流内や近傍では、大規模な崩壊等が過去に発生しており、今後も発生し、場合によっては天然ダムを形成する可能性がある。

一方、中越地震以降、我が国で実施された天然ダムの緊急対策工法は、ほとんどが“ポンプによる排水”と“天然ダム堤体上の放水路の建設”という組み合わせとなっている。

そこで、改めて、過去にはどのような取り組みがなされたのかについて、海外の事例も含めて文献・資料を整理した。表-1 は、我が国における対応事例を簡単に整理してみたものである。

全体的には、現在でも主流となっている「放水路」を設け、早期に越流させる工法が多い。明治 22 年 (1889) の十津川災害について記述されている「吉野郡水災誌」³⁾の中には、「工夫 (人力) による掘削と、爆薬を使う場合の費用を比較すると 3 倍の差があるので、工夫による作業によって (人為的に) 決壊をさせる方が良 (ベター)

表-1 我が国における天然ダムに対してとられた緊急対策工事

年 (西暦)	天然ダム及びとられた対応策	出典
天和 3 年 (1683)	日光・南会津地震 (1683) により鬼怒川上流男鹿川 (栃木県) に形成された天然ダムは、会津西街道のルートにあったため、会津藩では、左岸側を開削する計画を立て取り組んだが、多少水位を下げるのができたものの失敗し、担当した会津藩士は責任を取って自害した。 この天然ダムは、40 年後の豪雨の際、決壊し、下流に多くの被害を与えた。	田畑ほか、「天然ダムと災害」、古今書院 ³⁾ , 2002
宝永 4 年 (1707)	宝永地震 (1707) により安倍川 (静岡県) の支流三河内川を堰き止めた大谷崩れの土砂 (大池) は、1867 年以降開削して排水を促す作業を行い、約 10 年後には完全に排水できた。	同上
弘化 4 年 (1847)	弘化 4 年 3 月 24 日 (1847.5.8) の善光寺地震により犀川流域 (長野県) には 43,000 カ所の崩壊・地すべりが発生した。そして少なくとも 8 つの天然ダムが形成された。最大のものは、岩倉山天然ダムである。上流側の湛水による被害を抑えるため 1 週間後に放水路の開削に取りかかったが、危険なためあきらめた。19 日後の 4 月 13 日 (1847.5.27) に決壊し下流域の人家・田畑等に大きな被害を与えたが、警戒避難体制をとっていたため、人的被害は死者 26 名に抑えられた。この天然ダムは、この後も数回にわたり決壊した。	Landslide Dams in Japan, Swanson F. J. et al. ⁴⁾
明治 22 年 (1889)	1889.8 の豪雨により十津川流域 (奈良県) で形成された多数の天然ダムの大部分は自然に決壊したが、残留した天然ダムの決壊による被害を防ぐため、災害発生から 5 日後に郡役所は工兵隊の派遣を要請し、大阪と名古屋から工兵隊が出動して天然ダムの爆破を行った。しかし、十津川を堰き止めた巨大な川原樋新湖 (天然ダム) については、対策を検討しているうちに、9 月 7 日に自然に決壊した。	川村たかし、「十津川出国記」、北海道新聞社 ³⁾ , 1987

* 正会員 (一財)砂防フロンティア整備推進機構 Member, Sabo frontier foundation. (rijicyou@sff.or.jp)

明治 33 年 (1900)	富士川右支川大柳川（山梨県）で形成された天然ダムに対する対策に関して、知事から内務大臣に技師の派遣要請を行い、県議会において砂防ダムの予算化を図った。緊急対策としては、排水仮樋工事（箱樋、写真-1）工事に着手し、約 10 日間で完成した。しかしながら、翌年 7 月の出水時に箱樋が流出して決壊、下流の石堰堤を破損・流失した。	水山ほか、「日本の天然ダムと対応策」、古今書院 ⁹⁾ 、2011
昭和 8 年 (1933)	1931.11～1932.11 にかけて滑動した亀の瀬地すべり（大阪府）の峠地区は、大和川を 30.7～53 m 隆起（移動杭の観測値累計）した。そのため、上流奈良盆地側に湛水被害が発生した。翌年、対策として水路を開削（190 万 m ³ ）した。下流域には被害は発生しなかった。	Landslide Dams in Japan, Swanson F. J. et al. ⁴⁾
昭和 18 年 (1943)	新潟県松之山町の湯本地すべりは、明治 20 年（1887）頃から活発化し、瀬替工や丸太による砂留堰堤工、地下水排除工等が施工されたが、しだいに末端部に位置する越道川の河道閉塞が進行したため、昭和 18 年（1943）から 3 年をかけて、対岸の地山内に排水トンネル L=320 m を施工した。	井上、建設技術者のための土砂災害の地形判読実例問題中・上級編、古今書院 ⁷⁾ 、2006
昭和 36 年 (1961)	大西山は、1961.6.29、豪雨の後崩壊して小渋川（長野県）を堰き止めた。2～3 日後に崩壊堆積物及び段丘堆積物の上に放水路を開削したが、上流側の田畑や住家等は被災した。	Landslide Dams in Japan, Swanson F. J. et al. ⁴⁾
昭和 40 年 (1965)	岐阜県揖斐川左支川白谷の徳山白谷の崩壊（岐阜県）により形成された天然ダムに対して、一部決壊したあとに応急工事として放水路を開削した。	田畑ほか、「天然ダムと災害」、古今書院 ³⁾ 、2002
昭和 57 年 (1982)	1982.8 の台風による豪雨で滑動した奈良県西吉野村の和田地すべりは、丹生川を堰き止め、上流側の集落に湛水被害が発生した。そのため、放水路を開削した。水路は次第に侵食されて拡大した。その後、護岸工や床固め工が施工された。	Landslide Dams in Japan, Swanson F. J. et al. ⁴⁾
昭和 59 年 (1984)	長野県西部地震により王滝川を堰き止めた天然ダムに対し、長さ 850 m の開削を行い安定化を図った。厚さ 20 cm、幅 1 m、長さ 4 m の木製覆工板を 150 枚敷設し、空輸した重機により開削した。また、ブロックによる床固工、連結ブロックによる護岸工、護床ブロックを施工した。施工にあたっては排水ポンプを併用した。	田畑ほか、「天然ダムと災害」、古今書院 ³⁾ 、2002
昭和 60 年 (1985)	兵庫県神戸市の清水に形成された天然ダムに対する応急対策として、地すべり土塊対岸の平坦地（地山）を開削してフトン籠による仮止め護岸を施工した。	同 上



写真-1 大柳川の天然ダムで施工された木製の排水仮樋（箱樋、山梨県砂防課資料）

である」という記述があり、当時においても、対策経費のことを念頭に置いた議論がなされていたことが窺える。

2. 日本の天然ダム対策事例

長野県小谷村地先浦川の上流、稗田山の崩壊により姫川に形成された天然ダムに対して取り組まれた対策について、3つの資料から紹介する。

細野⁹⁾より天然ダム対策に関する記述を以下に抜粋する。

「(M.44.8.8の稗田山の崩壊により姫川合流点に形成された)天然ダムによる(上流)下り瀬集落の湛水被害を軽減するため、災害から3日たった11日に、北城、南小谷両村の人夫が土木技術者や警察官の監督のもとで、堰止め箇所水路を開削した。翌12日早朝にはほぼ9mの減水となった。

この際、流下した大水は、左に方向を変え、一直線に来馬の中心を突くことが明白に予知されたため、県道筋に建てられた村役場、学校、郵便局、巡査駐在所をはじめ民家17戸は、開削に先立ち山腹に避難した。

開削の結果、天然ダムは30m決壊し、予想通り来馬河原に向かい、美田30haを含む大きな被害を与えた。』⁹⁾

松本¹⁰⁾より天然ダム対策に関する記述を以下に抜粋する。

「M.45.4.16(2回目)、M.45.5.4(3回目)の崩壊、泥流の流出の後、7月11～22日の降雨により一気に決壊し、下流系魚川の方まで被害が出た。』¹⁰⁾

太田・細野¹¹⁾より、昭和39年災(1964)時の天然ダム対策に関する記述を以下に抜粋する。

「浦川から出た土石流が姫川を堰き止め上流にあるJR

のトンネルが危険となる。そのため、当初は発破をかけたが堆積した土砂の幅が広く目に見える効果がなかった。そのため、建設業大北支部へ依頼して、ブルドーザ等の重機で徐々に開削した。(約1か月かかった)」¹⁰⁾

3. 海外の天然ダム対策事例

本章は、昭和61年(1986)に、アメリカの土木学会から出版された「LANDSLIDE DAMS」の中から4つの文献を翻訳し、その内容をベースに天然ダムへの具体的な対策について記述されている部分を再構成したものである。

3.1 一般的な対策の考え方¹²⁾

3.1.1 構成物質の特性

決壊に対して最も関わりの深い物性は、ダム天端の耐侵食性及び浸透水に対する堤体内部の耐侵食性である。粒径が適切に分布している方が、均一の粒径あるいは不規則な粒度分布のものより安定性が高い。

越流水による天然ダム表面の下刻作用に対する抵抗力を強化するためには、人工的に造られるダムの放水路のように、ダム下流法面をあらかじめ掘削することが行われる(米国開拓局1974, p.791~793¹³⁾など)。天然ダムの堆積物の中に粗い粒径のものが十分にあれば、細かい物質が流下するとともにアーマリング層が形成され、下刻がとまり侵食作用を抑制する。

3.1.2 地山における放水路

相対的な地形から、天然ダム天端より地山の方が低い場合、隣接した袖部の地山の方に自然の放水路が形成される場合もあるが、比較的安定した地山部に人工的に放水路を開削する場合もある。

3.1.3 人工的な対策工

隣接した袖部の地山か堤体の上に放水路を造る工法。セントヘレンズ山のColdwater Lakeの事例は地山に造られた事例である。

一方、堤体を掘削して造る放水路の場合、いつも成功しているわけではない。流出する流水により放水路が急

激に拡大して下流に洪水を引き起こした事例もある。

3.1.4 大規模な発破

天然ダムの堤体を掘削して新たな河川を造るため、大規模な発破を使用したものもある。

地すべりにより、ソビエトのタジキスタン地方のゼラフシャン川を堰き止めて形成された高さ200m、幅400m、長さ1,800mの天然ダムに対して、250tの爆破を2回行い、230千m³の土砂を吹き飛ばし、40~50mの水路を造った。

3.1.5 パイプやトンネルによる放水路

セントヘレンズ山のスピリット湖の対策としては、まず、ポンプ16台(5m³/s)を使い、長さ1,112m、直径1.5mのパイプを経由して排水して水位を安定化させた。しかしながら、維持費がかかること、また、パイプの出口の侵食に伴う問題があったことから、凝灰質砂岩と火成岩の地山部に長さ約3,000m、直径3.4mの自然流下式のトンネル放水路が造られた。

3.1.6 まとめ

近年形成されたほとんど全ての天然ダムで、形成後速やかに対策工事(一般的には放水路)が計画されている。しかしながら、対策工が十分機能を発揮する前に越流して決壊した天然ダムもある。これらの共通する特色としては、厳しい地形の辺鄙な場所にできたことであり、重い建設機械を現場まで運びこむことが難しかったということが言える。

3.2 中国の揚子江流域のZhouqu天然ダムの対策事例¹⁴⁾

揚子江流域のZhouqu地すべりは、いくつかの地すべりが発達して大きな地すべりとなったものである。1981年4月の再滑動によりBairong川を堰き止め25mの天然ダムを形成した。

その段階で湛水位は約22mとなっており、決壊した場合、下流に住む10万人が被災する可能性があることから、中国軍は、まず、ダムの低いところを広く浅く発破して放水路を掘ることとし、約1.5mの浅い発破坑を約3,000カ所設け、各坑に100kgのダイナマイトを装着して順次発破した。これにより、幅25m、深さ4mの放水路を形成することができた。

第2ステージとして、20年確率の洪水を流せるようブルドーザによる拡幅工事を実施し、深さ11mの水路に拡大した。さらに、恒久対策としては、地山の基岩部を掘り抜くトンネルが計画された。

3.3 アメリカUtah州のThistle地すべりによる天然ダム対策¹⁵⁾(詳細は、参考文献「天然ダムと災害」³⁾に掲載されている)

1983年4月10日に活動を開始したThistle地すべりに対する対策としては、L=684mのトンネル工、62mの垂直シャフト工と、導水工が実施された。

当初、バックホウなどの掘削機械により水路を開削して越流による新川の形成を期待したが、地すべりによる



写真-2 爆破の事例(2008.5の汶川大地震で形成された四川省青川県の石坂溝天然ダム。2008.6.4)
(<http://www.chinaview.cn> 2008-06-05 13:15:22(新華社新華網))

隆起と堆積物の性状から失敗した。その後、サイホンによる排水を検討したが、地すべりによる隆起によりパイプシステムが破断して失敗した。

天然ダムの高さは、最終的に63mになった。隣接している国道の50号、6号線と、デンバー〜リオグランデを結んでいる鉄道については4月15日から通行止めとなった。

具体的な対策として

- 1) 緊急放水路の建設
 - 2) 侵食防止のための下流面の被覆
 - 3) 隆起により高さを増す天然ダムに対して、放水路で処理する
 - 4) 排水ポンプによる排水で、湛水を抑制する
- などの手法が検討されたが、最終案としては、i) 排水トンネルの建設、ii) 立坑の建設、iii) 坑口の掘削という手段がとられた。

3.3.1 緊急排水路

基岩部に掘るL=145m (EL: 1,579~1,576m) のトンネル工、トンネルの吐き出し口から下には、 $\phi=3.7$ mの鋼製カルバートを敷設し、さらに減勢工を設け、堆積物の表面はリップラップ材で保護した。4月19日に決定、トンネルは4月26日~5月4日で完成、5月16日に全て終了した。

緊急排水路の工事と並行して、工兵隊が $\phi 0.6$ mのPVCパイプ6本を地すべり土塊の上に設置し、5/17からポンプで5 m³/sの排水を開始した。

3.3.2 下部排水路

緊急排水路と並行して湛水を排除するための手段について下記条件で検討を行った。

- 1) 緊急事態に対して柔軟に対応できること
- 2) 工事中の事故を最小化するため、できるだけ単純な工法であること
- 3) 施工期間が短く(かつ、適切な経費)、制約条件の少ないこと(現場条件が地すべりにより急に変動する可能性があるから)

検討した結果、砂岩の東側アバット部にトンネルを掘削することに決定。また、トンネルのサイズは、緊急排水路と合わせて可能最大洪水を流し得る大きさとし、4×3.7 mに決定した。

5月13日には下流側の坑口の工事に着手し、24日には坑口を完了した。その後、引き続きトンネルの掘削に着手、8時間交代の24時間体制で実施し、7月21日(59日、最大掘進長=18.6 m/日)にL=684 mの掘進を完了した。

3.3.3 立坑 (Shaft)

貯水池の水をトンネルに導水するための手法がいくつか議論されたが、ごく普通の立坑に決定した。直径は4.9 m、位置は天然ダムの上流約365 mに決定し、ポートとハシケを使い、L=30 m、B=12 mの作業用足場を掘削(7月10日~16日)してから立坑に着手、8月2

日に47 mの立坑の掘削を完了した。平均7.8 m/日の掘進である。

その後、トンネルのインバートコンクリート、トンネル部の巻き立て、グラウト等を行い、9月21日に完成した。

3.3.4 調節弁

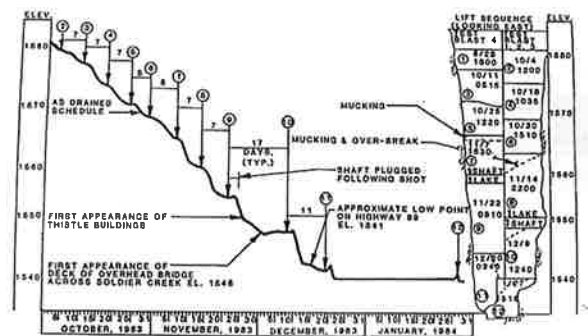
上流側の排水路建設の間、貯留水が流れ込まないように、また、トンネルの点検が可能となるようにするため、30 m³/sの能力のバルブ(Knife gate valve)を設置した。

3.3.5 まとめ

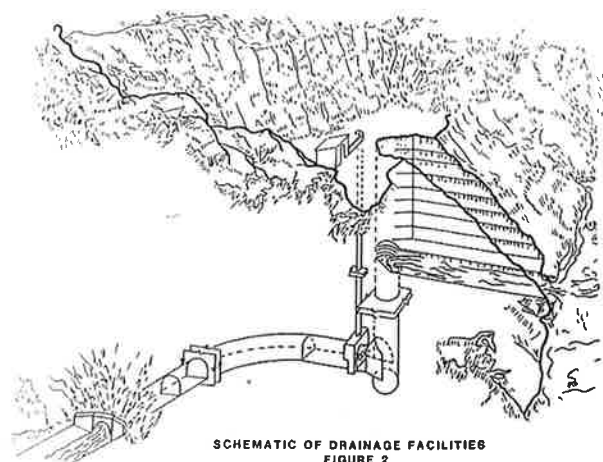
排水トンネルの完成後、発破により徐々に(左・右交互)に岩盤を除却(標高差: 40 m)していき、1983年9月27日~1984年1月27日の約4カ月をかけて上流側の湛水をすべて排除した。この後、貯水池として利用する案や撤去することも含めて、将来的な恒久対策として7つの案が検討されているが、(1986年現在)いまだ実施されていない。鉄道と国道は迂回して建設されている。

3.4 1980年のSt.Helens火山の噴火・崩落により形成された河道閉塞に対する対策¹⁶⁾

St. Helens火山では、1980年5月18日に北側斜面が爆発的崩落を起こし、山麓にあったSpirit Lakeを閉塞するとともに、ColdwaterとSouth Fork Castle溪谷も閉塞した。



図一 EL 1,580~1,540 mまで貯水池の水の排水工程(図の右側は左・右の発破経緯)¹⁵⁾



図二 アメリカ Utah 州 Thistle 地すべりのトンネル排水工¹⁵⁾

堰き止めている堆積物は安定性が低いと判断されたことから、Coldwater Lake は右岸側の地山（小尾根部）を開削して、また、Castle Lake は右岸の地山との境界部にそれぞれ放水路を建設し、堆積物上に形成されている North Fork Toutle 川に放流できるようにして決壊防止対策とした。

最上流の Spirit Lake を堰き止めている土塊が決壊した場合、下流域に洪水被害を及ぼすとともに、流下した土砂により河床が上昇し、コロンビア川の舟航に重大な影響が出る恐れがあることから、決壊対策が取り組まれた。

Spirit Lake に対しては、湛水位の上昇を抑えるため、1982.11 から 20 基の排水ポンプをハシケ上で稼働させ、 $\phi = 1.5 \text{ m}$ の鉄製のパイプで堆積物上の河川に放流する対策をとった。

堰き止めている堆積物の安定性をチェックしたところ、上層部は不安定であることから、水位を EL. 1,032+6 m 以下に抑えることを目標とすることが決定された。その対策として、

- 1) 導水路の建設
- 2) 開水路の建設
- 3) 排水トンネルの建設
- 4) 恒久的なポンプ排水施設の建設

という 4 案が検討され、将来の火山活動や、地震に対しても安全な工法として、3) の排水トンネル案を実施することが決定され、北側の地山部に設け、South Coldwater Creek に放流する長さ約 2,500 m の排水トンネル案が計画された。

トンネルの掘削工法としては、「Drill and Blast」工法と「TBM (Tunnel Boring Machine)」工法を比較して、TBM 工法に決定。対象流量は、既往最大の $15 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。

TBM の掘削機は、新規に制作すると時間がかかることから、アラスカのプロジェクトで使用された $\phi 3.3 \text{ m}$ の「Robbins Model 119-222」が利用された。

トンネル工事は、1984 年 9 月 28 日～1985 年 5 月 5 日

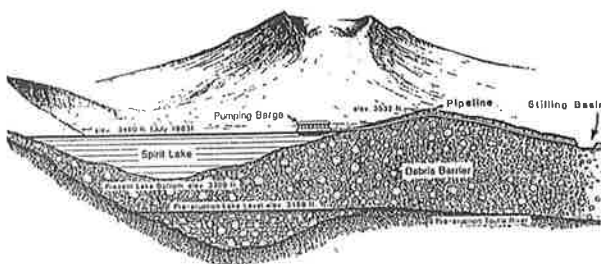


図-3 セントヘレンズ火山のスピリット湖とポンプ排水¹⁶⁾

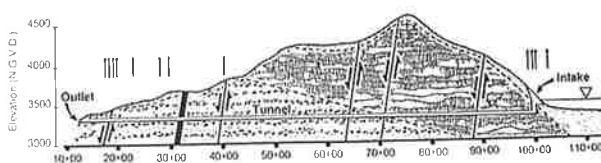


図-4 スピリット湖で施工された排水トンネル工¹⁶⁾

の間、6 日/週、3 交代制で 24 時間休みなく取り組まれ 7 カ月で完了した。掘進速度は約 22 m/日である。

Shaft 工を含む上流側導水口の掘削方法は、1983 年に取り組まれた Utah 州の Thistle Lake の手法を参考に決定された。トンネル工の対策経費は約 30 億円である。

3.5 台湾集集大地震による九分二山の天然ダム対策事例^{17), 18), 19)}

集集大地震は、平成 11 年 (1999) 9 月 21 日に発生した。市街地に大きな被害を与えたが、山地部においても多くの崩壊が生じた。その中で特に大規模な崩壊は九分二山と草嶺の 2 地区である。台湾ではその後たびたび台風の襲来を受けているが、特に大きな影響を与えたのは 2001 年 7 月の台風 Toraji (桃芝) である。

2 つの大崩壊のうち九分二山の天然ダムに対する対策とその後の経緯について (社) 全国治水砂防協会の資料¹⁷⁾等から抜粋して紹介する。

「九分二山の崩壊は、2 つの川を堰き止め、湖を形成した。天然ダムには越流水を導水する目的で、長さ：約 1.5 km、幅：20 m の空石張り（自然工法として採用）の排水路と、下流端に鋼製ブロック式床固め工が作られていたが、2001 年 7 月 29 日から 31 日にかけて襲来した Toraji 台風に伴う出水で下流末端から侵食を受け、天然ダム湖に近い約 0.1 km を残して流失した（深さ：約 20

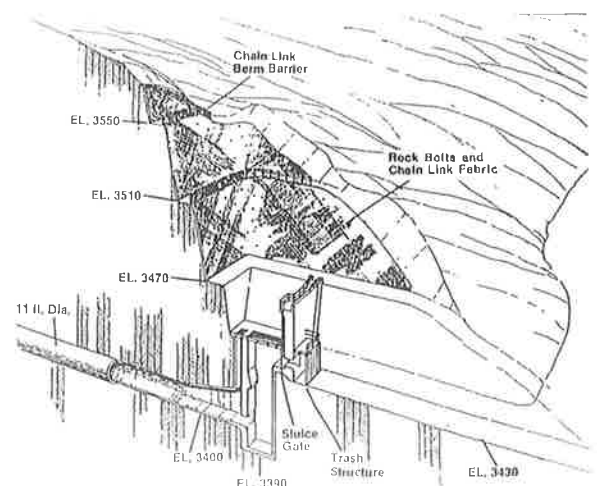


図-5 排水トンネルの飲み口部の構造（スルースゲートと立坑）¹⁶⁾

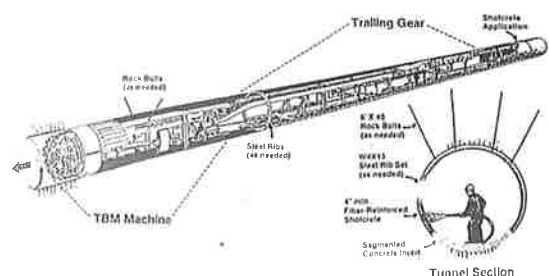


図-6 TBM (Tunnel Boring Machine) とトンネル部の補強対策¹⁶⁾



写真-3 被災前の空石積の状況 (2001.7 撮影)¹⁷⁾



写真-4 排水路の侵食状況 (2001.11 撮影)¹⁷⁾



写真-5 鉄筋コンクリート杭による溪床固定 (2002.12 撮影)¹⁷⁾

m, 延長: 約 0.9 km)。しかし, 下流端に設置した床固め工により, それ以上の被災には至らなかった。

その後の復旧対策としては, 鉄筋コンクリートの杭を河床に打ち込んだスリット堰堤に近い構造物を複数構築した。上流の天然ダム湖は, Toraji 台風時の流出土砂により埋塞している。¹⁷⁾

千木良 (2009)¹⁸⁾の報告によると, その後は落ち着いているようである。

「九分二山の崩壊については, 崩壊地とその周辺, 堰止め湖の満水位の範囲を買収し, 震災公園等として整備している。」¹⁹⁾



写真-6 その後の状況 (2007.11.29 千木良撮影)¹⁸⁾

4. まとめ

平成 23 年台風 12 号による紀伊半島の天然ダムなど, 近年取り組まれた天然ダム対策は, 情報が公開されていることから資料等が入手しやすいと判断し, 手元にある文献・資料等から, 海外の事例も含め比較的古い時代の天然ダム緊急対策工法について整理してみた。

天然ダム対策の要諦は, 上流側に可能な限り湛水させないことである。それは, 湛水による被害を防ぐとともに, 万が一, 決壊した場合の洪水被害を最少に抑えるためである。

改めて整理してみると, 最も多く取り組まれているのは, 天然ダムの堤体を掘削して放水路を建設する手法であった。その際, 爆破を併用しているものもあり, 小規模な天然ダムは, 発破で決壊させたものもあった。

アメリカのセントヘレンズ火山等で行われた地山部の排水トンネルという手法は, 近年でも, 平成 26 年 8 月の地震で中国の雲南省で形成された紅石岩天然ダムでも取り組まれている ($L=280\text{ m}$, $\phi=7.5\text{ m}$)²⁰⁾。我が国では, 表-1 の湯本地すべりの事例だけである。

地山部に掘られたトンネル掘進速度を見てみると, 現場条件にもよるが, 約 10~20 m/日となっており, 700 m あるいは 2,500 m という長さのトンネルを 8 時間交代の 24 時間体制で短期間に掘り上げている。堤体上の放水路を中心とした対応に苦しんでいる現場に, 1 つのヒントになるものと思った次第である。

もちろん, 安全性の問題, 現場へのアクセスの問題や, 地形・地質条件等から適応できない現場も多いかと思う

が、紀伊半島の栗平天然ダムでは、天然ダムの堤体内に推進工法による排水管の設置に成功した²¹⁾。このような工法も含め、今後の天然ダムに対する緊急対策の検討にあたり、対策工法の1つとして参考にしていただければ幸甚である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：河川砂防技術基準，p.66，2008
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部砂防計画課・（独）土木研究所土砂管理研究グループ：深層崩壊に関する溪流（小流域）レベルの調査について，http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo_03_hh_000552.html，参照 2012-09-10，2012，
- 3) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害，p.18，20，43，67，81，古今書院，2002
- 4) Swanson, F. J., Oyagi, N. and Tominaga, M. : Landslide Dams in Japan, LANDSLIDE DAMS, Geotechnical Special Publication No. 3, p. 131-145, ASCE, April 7, 1986
- 5) 川村たかし：十津川出国記，北海道新聞社，p.113-127，1987
- 6) 水山高久・森俊勇・坂口哲夫・井上公夫：日本の天然ダムと対応策，古今書院，p.97-98，2011
- 7) 井上公夫：事例1 新潟県松之山町・湯本の地すべり地形，建設技術者のための土砂災害の地形判読実例問題中・上級編，古今書院，p.11-12，2006
- 8) 宇智吉野郡役所：吉野郡水災誌，巻之八，p.16，1891(1977-81，奈良県十津川村復刻)
- 9) 細野繁勝：招魂碑の前に立ちて（抜粋）T.12.4.15，p.15，復刻版建設省松本砂防工事事務所，1995
- 10) 松本宗順：来馬災害38年史，S.24.2.8，p.41-42，復刻版 建設省松本砂防工事事務所，1995
- 11) 太田喜八郎・細野一男：鉄道が危ない（昭和40年の災害），p.75，復刻版 建設省松本砂防工事事務所，1995
- 12) Schuster, R. L., ASCE, F. and Costa, J. E. : A Perspective on Landslide Dams, LANDSLIDE DAMS, Geotechnical Special Publication No. 3, p. 1-20, ASCE, April 7, 1986
- 13) Bureau of Reclamation : Design of Small Dams, United States Department of the Interior, United States Government Printing Office, Washington, D. C., Second Edition, p. 791-793, 1974
- 14) Tianchi, L., Schuster, R. L., ASCE, F. and Jishan, W. : Landslide Dams in South-Central China, LANDSLIDE DAMS, Geotechnical Special Publication No. 3, p. 146-162, ASCE, April 7, 1986
- 15) Hansen, D. C. and Morgan, R. L. : Cotrol of Thistle Lake, Utha, LANDSLIDE DAMS, Geotechnical Special Publication No. 3, p. 84-96, ASCE, April 7, 1986
- 16) Sager, J. W., Chambers, D. R., A.M.ASCE : Design and Construction of the Spirit Lake Outlet Tunnel, Mount St. Helens, Washington, LANDSLIDE DAMS, Geotechnical Special Publication No. 3, p. 42-58, ASCE, April 7, 1986
- 17) (社)全国治水砂防協会：日本・台湾砂防技術交流誌(1989-2004)，p.158，2004
- 18) 千木良雅弘：1999年集集地震による山地災害とその後，自然災害科学J. JSNDS 28-2，p.164，2009
- 19) 須賀幸一・山下祐一：1999年台湾集集地震の地盤被害地における復旧・復興，土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度），p.829-830，2011
- 20) デイリー昭通：开凿泄洪洞为排险再上一道保险，http://economy.gmw.cn/newspaper/2014-08/23/content_100150492.htm，参照 2014-08-23，2014
- 21) 桜井亘・酒井良・後藤彦幸・梶原修・下野公仁・江口健治・森田真幸・荒川淳二・大塚康之：河道閉塞の緊急対策として最適な仮排水路の計画について，砂防学会誌，Vol.67，No.4，p.23-30，2014

(Received 11 December 2014)