

紀伊山地における大規模河道閉塞 (天然ダム)対策の考え方 (案)

平成 29 年 9 月

近畿地方整備局

大規模土砂災害対策技術センター

紀伊山系砂防事務所

～ 目 次 ～

はじめに

紀伊山地における大規模河道閉塞（天然ダム）対策の考え方（案）について	1
I. 天然ダム形成直後の対策計画の検討	4
1. 天然ダム対策の基本	5
1.1 天然ダム上流域の浸水被害の防止・解消	5
1.2 天然ダムの決壊防止	5
1.3 天然ダムの侵食防止	6
1.4 崩壊地からの天然ダムへの土砂流出抑制	6
2. 天然ダム形成直後の対応	7
2.1 天然ダム形成直後の対応	7
2.2 天然ダムの場所、アクセスルートの把握	7
2.3 天然ダムの形状・規模・湛水量の計測	12
2.4 湛水池周辺雨量、上流流入量・湛水池水位・天然ダム下流の流量観測	14
2.5 天然ダム対策に必要な人員・資機材の準備	18
2.6 整備目標期間に応じた対策の基本	23
3. 天然ダム形成直後の対策計画の検討	24
3.1 天然ダム形成直後の対策計画	24
3.2 対策の実施可能性の評価	25
II. 対策工法の検討	28
1. 天然ダム形成直後における対策工法	28
1.1 天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻し	28
1.2 暗渠排水管の設置	29
1.3 仮排水路工の設置	30
1.4 天然ダムの脚部・下流部における基幹堰堤の構築	31
2. 施工期間中の水位低下工法	32
2.1 天然ダムにおける推進工法による暗渠排水管の設置	32
2.2 地山における排水トンネルの整備	32
2.3 ポンプ排水	35
3. 天然ダム対策工法	36
3.1 閉塞高に応じた対策工法	36
3.2 崩壊地からの土砂流出が頻発する場合の対策工法	40
3.3 深層崩壊に起因する土砂移動現象に対する対策工の考え方	41

Ⅲ. 現地の状況に応じた対策工法の立案事例	43
1. 資機材の輸送方法	43
(1) 集落近傍の小溪流に工事用道路を設置する場合（北股地区）	45
(2) 崩壊地内の既設道路の復旧が優先される場合（坪内地区）	49
(3) 既設道路から対策工事箇所までの距離が離れている場合（栗平地区）	53
(4) 対策工事箇所にアクセスするために渡河が必要となる場合（長殿地区）	58
(5) 河道閉塞部への土砂流入頻度が高い場合（赤谷地区）	62
(6) 河道閉塞高が高い場合（栗平地区）	66
(7) 参考：湛水池上流側からアプローチが必要な場合（東竹沢地区／中越地震）	67
2. 湛水池の排水方法	68
2.1 ポンプ排水	68
(1) 河道閉塞部（湛水池）が大きい場合（栗平地区）	69
(2) 河道閉塞部（湛水池）が小さい場合（北股地区）	75
(3) 湛水池への流入量が多い場合（赤谷地区）	78
(4) 湛水池が複数ある場合（熊野地区）	81
2.2 開水路	83
(1) 越流頻度が高い場合（赤谷地区）	85
(2) 土砂流入頻度が高い場合（赤谷地区・北股地区）	89
(3) 河道閉塞部が大きい場合（栗平地区）	96
(4) 浸透流が多い場合（長殿地区）	104
2.3 暗渠排水管	108
(1) 開削により設置する場合（赤谷地区）	109
(2) 非開削型工法（推進工法）により設置する場合（栗平地区）	112
3. 天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻し	118
(1) 湛水池の規模が大きい場合（赤谷地区）	119
(2) 湛水池の規模が小さい場合（北股地区）	121
4. 崩壊地から天然ダムへの土砂流出抑制	125
(1) 拡大崩壊が懸念される場合（北股地区）	126
(2) 崩壊地からの湧水がある場合（北股地区）	130
5. 天然ダムの脚部・下流における基幹堰堤の構築	132
(1) 閉塞高が数十 m 程度（30m 未満）で下流面勾配が比較的急な場合（北股地区）	133
(2) 閉塞高が数十 m 程度（30m 未満）で下流面勾配が比較的緩い場合（熊野地区）	136
(3) 閉塞高が相対的に高い場合（30m 以上）（長殿地区）	140
(4) 崩壊地からの土砂流出が頻発する場合（赤谷地区）	144

おわりに

はじめに

急峻な地形と複雑で脆弱な地質が卓越する我が国では、大雨や地震等に伴い土砂災害が頻発し、人命や財産等に大きな被害がたびたび生じています。

その中で、発生頻度は高くはないものの、深層崩壊等に伴い大規模な河道閉塞（天然ダム）が形成され、短期的には天然ダムの侵食・決壊に起因する甚大な土砂（土石流）災害、中長期的には天然ダムの侵食に伴う流出土砂による下流河川の河床上昇に起因する土砂・洪水氾濫災害の発生による激甚な被害や、災害発生の危険性の高まりに長く晒されるというケースも古くから生じています。近年では、平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震や、平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震に伴い多数の天然ダムが形成されたことが記憶に新しいところです。

紀伊山地では、明治 22 年（1889 年）の豪雨に伴い、現在の奈良県十津川村を中心に大規模な天然ダムが多数形成され、その後の天然ダムの侵食・決壊によって甚大な土砂・洪水氾濫災害が発生し、当時の村民の大部分が流域外への集団移転を余儀なくされる事態となりました。一方、平成 23 年（2011 年）の紀伊半島大水害でも同様に天然ダムが多数形成されましたが、国土交通省ならびに関係者による緊急的な対策を実施した箇所においては、現在までに天然ダムの侵食・決壊に起因する人命被害は幸いにも生じていません。

こうした背景には、新潟県中越地震を契機に、天然ダムに関する対策の考え方、対策工法、施工方法などを示した各種資料が作成され、岩手・宮城内陸地震などを経て、対策技術が向上してきたことがあります。しかしながら、天然ダムは、その形状や周辺の地形（流域面積、河床勾配、河幅）、地質、降雨、流量等の条件によって特性が異なるため、画一的な対策技術が確立されているというものではありません。

本書は、これまでの紀伊山地における大規模河道閉塞対策を通じて得られた知見や対策実施上の課題、今後の対策のあり方等についてとりまとめたものです。本書が、今後の我が国における天然ダム対策の一助になれば幸いです。

平成 29 年 9 月

国土交通省 近畿地方整備局

大規模土砂災害対策技術センター

センター長（河川部長） 中込 淳

紀伊山地における大規模河道閉塞（天然ダム）対策の考え方（案）について

本資料は、平成 23 年台風 12 号紀伊半島大水害において生じた深層崩壊・天然ダムの対策工事を通じて得た知見を基本とし、過去に発生した平成 16 年新潟県中越地震災害の芋川流域、平成 20 年岩手・宮城内陸地震災害の磐井川・迫川流域における天然ダム対策工事をレビューしながら、天然ダムが形成された直後に実施する緊急対策工事の基本方針、ならびにそれに基づく対策計画、対策工法、対策工事のあり方について示したものである。

このため、以下に示した既往の提言やマニュアルに記載されている大規模土砂災害対応、土砂災害防止法に基づく緊急調査、天然ダム形成時の対応、天然ダムの監視、危機管理体制、天然ダム対策工事などの天然ダム対応のあり方などについては別途文献に準拠する（引用する）ものとし、記載しない。

「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」

（平成 17 年 3 月）

「大規模土砂災害に対する危機管理のあり方について（提言）」（平成 19 年 3 月）

「天然ダム監視技術マニュアル（案）」（平成 20 年 2 月）

「大規模土砂災害危機管理計画」（平成 20 年 3 月）

「大規模土砂災害危機管理計画策定のための指針」（平成 20 年 3 月）

「大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方について（提言）」（平成 21 年 3 月）

「天然ダム形成時対応の基本的考え方（案）」（平成 22 年 7 月）

「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）（案）」（平成 22 年 11 月）

「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」（平成 26 年 9 月）

等

◆適用範囲：

・「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

→ P. 2 図-1 本稿の構成

内の「崩壊発生後の緊急対策」の部分

・「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 5 図 1.1 天然ダム対応フロー

内の「応急復旧、緊急復旧、本復旧、恒久対策」の部分

・「天然ダム形成時対応の基本的考え方（案）」

→ P. 1 図 1.1 天然ダムに関わるマニュアル等の関係図

内の「応急復旧、緊急復旧、本復旧、恒久対策」の部分

→ P. 4 図 2.1 災害時における対応の流れのフロー

内のステージⅠ～ステージⅢの全てに対応

既往の提言及びマニュアルの概要(1)

タイトル	発行年	発行者	目的	概要
大規模な天然ダム形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル(案)	平成17年3月	(財)砂防フロンティア 整備推進機構	天然ダムによる災害は、通常の砂防計画で計画対象を越える大規模な土砂移動現象の発生も想定されるため、災害対応のよくなるような背景も天然ダム形成時の対応についてとりまとめたものである。	構成は以下の通りである。 1. 天然ダムの形成・決壊による災害 1.1 形成・決壊事例とその災害状況 1.2 形成の特徴 1.3 決壊の特徴 2. 対策の考え方 2.1 対策の基本 2.2 災害時における役割分担の基本 2.3 災害時の対応 2.4 平常時の対応 3. 災害時における天然ダム等異常土砂災害対策 3.1 天然ダム等異常土砂災害対策の考え方 3.2 災害時における対策の流れ 3.3 初期・形成確認調査段階 3.4 概略調査段階 3.5 危険度概略評価段階 3.6 恒久対策 3.7 応急対策・詳細調査段階 3.8 危険度詳細評価段階 3.9 恒久対策段階 3.10 情報発表 4. 平常時における天然ダム等異常土砂災害対策 4.1 平常時における危機管理の考え方 4.2 流域情報に関する情報ネットワークの整備 4.3 超過規模の災害に対応した砂防設備等の整備 4.4 流域の危険斜面の把握 4.5 防災体制の確立 4.6 防災訓練の実施 4.7 周知/広報活動の実施 5. 天然ダム等異常土砂災害対策計画の立案 5.1 天然ダム等異常土砂災害対策計画の改訂
大規模土砂災害に対する危機管理のあり方について(提言)	平成19年3月	大規模土砂災害危機管理 検討委員会	国と地方の役割分担を整理しつつ、国土を幅広く管理する国土交通省としての基本姿勢の明確化することを目的として、国土上記目的のための設置された「大規模土砂災害危機管理検討委員会」大規模土砂災害時の危機管理の基本的事業の考え方について取りまとめたものである。	提言のポイントは以下の通りである。 1. 大規模(同時多発型を含む)土砂災害に対しては、都道府県等からの要請無しに、国(国土交通省)が主体的・自立的な支援や緊急措置ができる体制が必要。 2. 市町村は、複雑の指示等を実施しなけれならぬが、特に、大規模土砂災害に対しては、砂防工事の実施機関でなく十分な知識が不足しているため、国(国土交通省)等の主体的・自立的な支援が必要。 3. 最適な者が(危機管理を)実施するという「組織適性」と、機能し得る者が現場において適時適切に機能を発揮することができるとするスキームを整えるという「並行権限」と、機能し得る者が現場において適時適切に機能する(国(国土交通省)の)役割分担が必要。 4. 国(国土交通省)の都道府県知事又は市町村長に対する技術的助言や勧告の実施のための体制整備と責任と権限の強化検討。 5. 土砂災害防止法に基づく基礎調査による知見を危機管理に活用する必要。 6. 関係地方公共団体、警察、消防、自衛隊等関係機関との日常的な連携体制の構築・訓練の実施。 7. 情報収集・共有体制の整備が必要
天然ダム監視技術マニュアル(案)	平成20年2月	(独)土木研究所 土砂管理研究グループ 火山・土石流チーム	天然ダムが形成された箇所において、監視を実施する際の留意点等をまとめ、天然ダム監視システムを迅速、かつ効率的に構築し、円滑な実施に資することを目的としている。	天然ダムが形成された箇所において、下記の項目について具体的に解説している。 ・監視の項目と方法 ・監視に必要な機器の選定 ・監視のための情報通信システムの構築 ・監視の文書化等をもとに、平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震による栗駒山周辺の天然ダムにおける対応事例や平成20年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震による栗駒山周辺の天然ダムにおける対応事例を踏まえて作成されたものである。
大規模土砂災害危機管理計画策定のための指針	平成20年3月	国土交通省河川局砂防部	本計画は、地震、豪雨、火山噴火などに伴う大規模な土砂災害の発生時に、天然ダム監視システムを迅速、かつ効率的に構築し、円滑な実施に資することを目的としている。	対象とする現象は、地震・豪雨・火山噴火等による土砂災害であって、大規模な土石流、地すべり等、天然ダム(河道閉塞)のように現象が進行性のもの、同時多発的に発生する土砂災害、火山噴火による火砕流、溶岩流、火山泥流等の大規模土砂流出やそれに伴い発生する大規模な天然ダムなど、対応に高度な技術を要し、通常の土砂災害等に対する体制では限界があり、国の役割が重要なものを対象としている。 ○危機管理のフェーズは、時間軸による分類として以下の3つの段階を設定しており、各フェーズで以下の下の項目について整理している。 (1)事前対策(災害予防) ・危機管理訓練に関する事項 ・危機管理体制の整備 ・緊急時の情報管理体制の事前整備 ・災害、防災に関する研究、観測等の推進に関する事項 ・その他の事前対策 (2)緊急事態対応(災害応急対策) ・災害状況把握及び災害の情報管理 ・初期対応及び緊急措置 ・災害発生時における応急工事、二次災害の防止対策に関する事項 (3)復旧・復興(災害復旧・復興) ・災害現場の平常への復帰・復興支援に関する事項
大規模土砂災害危機管理計画	平成20年3月	国土交通省河川局砂防部	同上	「大規模土砂災害危機管理計画策定のための指針」を基に、具体的内容について記載したものである。

既往の提言及びマニュアルの概要（2）

タイトル	発行年	発行者	目的	概要
大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方について（提言）	平成21年3月	大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理に関する検討委員会	平成20年岩手・宮城内陸地震などで得られた多くの教訓を踏まえ、今後、国内において大規模な天然ダムが複数形成される事態に備え、危機管理を行うために必要な事項を検討し、提言を行ったものである。	天然ダムの危機管理のあり方について検討を要する事項・改善すべき点として以下の項目を列挙している。 1. 体制・人的資源（国土交通省の積極的な支援） 2. 天然ダムの調査 (1) 天然ダム形成の有無の把握（ヘリの確保、観測機器整備、事前の航空測量） (2) 天然ダムの形状の把握（小型ヘリ、ヘリ高性能化、UAV活用、レーザー測量） (3) 天然ダムの危険度評価（ 3. 天然ダムの脆弱性、情報通信（1） 4. 警戒・避難体制 (1) 平常時から流域の基礎情報の共有化 (2) 危険箇所調査 (3) 連携・訓練 (4) 広報 5. 対策工事 (1) 既設砂防設備の活用 (2) 排水対策 (3) 交通途絶絶地における対策 (4) 無人化施工安全管理 (5) 工事中の安全管理 (6) その他 6. 平時からの準備 (1) マニュアルの策定・改訂 (2) 砂防指定地・工砂災害警戒区域等の指定の促進及び施設整備の推進 (3) 専門家の更なる技術の向上等 (4) 災害対応時における適切な迅速な意思決定のための準備
天然ダム形成時対応の基本的考え方（案）	平成22年7月	国土交通省 国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 砂防研究室	迅速かつ効果的な天然ダム対応に資することを目的に、天然ダム対応事例について示したものである。	天然ダム形成時対応における「災害対応の流れ」、「初動対応」、「調査」、「危険度判定」、「平常時の対応」等について、平成16年10月新潟県中越地震、平成20年6月岩手・宮城内陸地震対応までに蓄積された基本的な考え方を整理したものである。 なお、本資料は改正土砂災害防止法に対応していないので注意すること。
天然ダム対策工事マニュアル（施工編）（案）	平成22年11月	天然ダム対策工事研究会	本マニュアルは、天然ダムが形成された箇所において、調査、評価項目の検討を行うための諸条件の調査、評価項目の検討を行う対策工事の実施に際して必要となる判断項目、対策工事の概略検討及び応急・緊急・本復旧・恒久対策を迅速かつ効果的に実施するための必要な事項を示すことを目的としている。	本マニュアルでは、天然ダムが形成された箇所について対策工の必要性の判断及び必要と判断された場合の検討すべき項目について、各段階別に具体的に解説している。 ○対策工の必要性の判断（天然ダムの除去、存置、干対策工、放置） ○対策工検討に必要な判断項目（既設施設利用、排水対策、資機材輸送、無人化施工、侵食防止等） ○対策工の概略検討（検討手法、施工の可否判断、対策工決定手法等） ○応急、緊急、本復旧、恒久対策の対策工（排水ポンプ、緊急排水路、流路工、堰堤工、除石工等）
深層崩壊対策技術に関する基本的事項	平成26年9月	国土交通省 国土技術政策総合研究所	今後の深層崩壊対策の参考となるよう ・施設整備によるハード対策 ・切迫性に関する情報提供に基づく対策 ・土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）提供に基づく対策 に関する技術的事項について整理したものである。	構成は以下の通りである。 1章 基本的事項 2章 対策の基本方針 3章 ハード対策 ・事前対策 ・天然ダム ・土石流 ・崩壊発生後の緊急対策 4章 長時間継続型天然ダム ・切迫性に関する情報提供 ・常時監視 ・掘削 ・地下水位上昇 ・掘削発生後の緊急対策 5章 土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）提供 ・事前対策 ・天然ダム ・土石流 ・崩壊発生後の緊急対策 ・長時間継続型天然ダム

I. 天然ダム形成直後の対策計画の検討

一般的に天然ダムは、深層崩壊や地すべりなどの大規模な斜面崩壊現象によって形成されることが多い。これらの深層崩壊や地すべりの発生原因は、

■豪雨に起因する場合

■地震に起因する場合

に大別できる。

これらの発生原因の相違による特徴は以下の通りであり、天然ダム対策を実施する上では非常に重要な留意事項となる。

■豪雨に起因する場合：

- ・ 降雨によって形成場所周辺の流量が多いために湛水しやすい。
- ・ 崩壊地・地すべり地が多量の水を含むために不安定であり、再崩壊／拡大崩壊や地すべりの二次移動が発生する可能性がある。
- ・ 天然ダムも同様に多量の水を多く含む（飽和状態に近い状態）ために、湛水・越流までの時間が相対的に短く、また、越流した場合には侵食されやすく、浸透破壊が発生する可能性がある。
- ・ 決壊した場合には土砂が流動しやすいため、土石流・土砂流の到達距離が長くなる可能性がある。

■地震に起因する場合：

- ・ 無降雨の平常時の流量にもよるが、豪雨に起因する場合に比べて湛水までに時間がかかる可能性がある。
- ・ 降雨がない場合では、豪雨に起因する場合に比べて再崩壊／拡大崩壊や地すべりの二次移動が発生する可能性は相対的に低いが、余震による再崩壊／拡大崩壊や地すべりの二次移動が発生する可能性がある。

◆「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

→ P. 4 2.2 深層崩壊の発生要因による分類

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 2-3 2.2 地震に起因する天然ダムと降雨に起因する天然ダムの留意点

◆「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」

→ P. 3 1.2 形成の特徴

1. 天然ダム対策の基本

天然ダム対策の基本は以下の通りである。

なお、対策は天然ダムの決壊等による影響範囲を評価し、実施の必要性があると判断された場合に実行するものとする。

■天然ダムの上流域での浸水被害の防止

■天然ダムの決壊に伴う土石流・土砂流・洪水流による被害の防止

<短期的な土砂移動現象>

■天然ダムの侵食に伴う土砂流出・河床上昇・洪水氾濫による被害の防止

<短期・中長期的な土砂移動現象>

■崩壊地の再崩壊・拡大崩壊による天然ダムへの土砂流出の抑制

1.1 天然ダム上流域の浸水被害の防止・解消

天然ダムが形成されると河川・溪流の流水が湛水して、上流域に保全対象がある場合に浸水被害が発生する。

■天然ダム上流域の浸水被害対策の基本

→ 水位上昇の抑制，湛水の解消（排水）

1.2 天然ダムの決壊防止

天然ダムの決壊は短期的な土砂移動現象であり、天然ダムの決壊によって大規模な土石流や土砂流が発生し、下流域に直接的な土砂災害をもたらすとともに、間接的に流出した土砂による河床上昇や洪水氾濫被害が発生する。

■天然ダムの決壊対策の基本

ー 越流決壊：

→ 水位上昇の抑制，越流水の安全流下

ー 浸透破壊：

→ 水位上昇の抑制，排水

ー 河道閉塞部の崩壊： 越流決壊，浸透破壊を除く崩壊現象

(ex. 降雨による表層崩壊，表面浸食などに起因する現象)

→ 天然ダムの安定化，表面浸食の防止，越流水の安全流下

◆「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

→ P. 15 3.2 (2)天然ダムタイプに対するハード対策の種類と機能

◆「天然ダム形成時対応の基本的考え方（案）」

→ P. 54 表 3.4 天然ダムの構成材料の違いなどによる決壊の分類

◆「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」

→ P. 6 1.3 決壊の特徴

1.3 天然ダムの侵食防止

天然ダムの侵食は短期的でもあり中長期的な土砂移動現象である。急激な侵食が発生した場合は決壊には土石流や土砂流が発生する可能性があり、中長期的には天然ダムが徐々に侵食されて下流域に土砂が流出して河床上昇やそれに起因する洪水氾濫被害が発生する。

■天然ダムの侵食対策の基本

→ 天然ダムの安定化，表面浸食侵食の防止，越流水の安全流下

1.4 崩壊地からの天然ダムへの土砂流出抑制

崩壊地における再崩壊・拡大崩壊による土砂が天然ダムに流入すると、天然ダム下流域に土砂が流出して河床上昇やそれに起因する洪水氾濫被害が発生する。また、崩壊土砂が天然ダム湛水池に流入すると越波（水）によって天然ダムが侵食・決壊する可能性がある。さらに、天然ダム対策工事における安全確保が困難となる。

■崩壊地からの天然ダムへの土砂流出抑制の基本

→ 崩壊地における再崩壊・拡大崩壊抑制，土砂流出抑制

2. 天然ダム形成直後の対応

1. で示した対策を実施するために、以下に示す対応を迅速に実施する。

なお、これらの対応は、天然ダムにおける湛水対策を可能な限り早く実施するために、原則として数日程度で対応する。ただし、天候不良の場合は可能な限り対応する。

2.1 天然ダム対策の意思決定者および指揮命令系統の確立

■意思決定者の決定

- ・ 天然ダム対策を実施するに際して、現地対策本部（現場に近接）を設置するとともに、意思決定者（最高責任者）を明確にする。

■指揮命令系統の確立

- ・ 意思決定者とともに、現地対策責任者（施工業者）を決定し、その通信連絡体制を整備する。初動時においては、衛星携帯電話を使用するものとする。
- ・ 意思決定者と現地対策責任者の間には、情報の錯綜や混乱を防止するために中継者を設置しない。

■地元との情報共有化

- ・ 地元の協力を得ながら円滑に対策を進めるため、現地対策本部に市町村長や地区長を含めることにより、対策に関する情報を地元と共有する。

2.2 天然ダムの場所、アクセスルートの把握

■天然ダムの場所の特定

- ・ 天然ダムの形成場所を特定するとともに、天然ダムの上下流に保全対象（集落、公共施設、道路等）の有無を確認する。

■天然ダムへのアクセスルートの確認

- ・ 天然ダムへのアクセスルートについては、
 - 1) 被災地域外から天然ダム周辺までの広域ルート
 - 2) 天然ダム周辺からのアクセスルートに着目して確認する。
- ・ 2)については、天然ダムにアクセス可能な道路、登山道、里道、鉄道（廃線を含む）の有無を確認する。
 - 重機・資機材の搬入の可否および搬入能力の限界、対策工事の効率性検討
- ・ 新規の重機ルート（湛水池における台船を含む）や工事用道路の整備等を考慮し、周辺地形条件（起伏、谷形状、斜面勾配等）を把握する。
 - 重機による新規整備ルートの選定
 - ヘリコプター： 吊り下げ飛行が可能なルートとヘリポートの検討

上記において有効なデータ取得方法には以下のようなものがある。

- ・ 携帯型斜め写真撮影システム： ヘリコプター
飛行中に撮影画像を三次元画像へ処理，地形データの取得
→ 2013年10月伊豆大島土砂災害での撮影実績あり
- ・ 携帯型斜め写真撮影システム： UAV
ラジコンヘリによる撮影画像を三次元画像へ処理，地形データの取得
→ 2011年9月紀伊半島大水害（那智川）での撮影実績あり
- ・ 合成開口レーダー： 人工衛星
天候を問わずに地形変状を抽出可能
→ 2011年9月紀伊半島大水害（長殿）での撮影実績あり

◆ 「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

→ P. 15 3.2 (2)天然ダムタイプに対するハード対策の種類と機能

◆ 「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 3-10 3.3 資機材の輸送の検討

→ P. 参7 4. ヘリコプターによる空輸

■天然ダムの場所の特定例

＜ヘリコプターによる調査例＞

- ・ 紀伊半島大水害では，天然ダムの形成状況を把握するため，台風12号災害直後にヘリコプターによる調査を実施した。また，レーザー距離計とGPSを用いて，天然ダムの形状と位置を計測した。



ヘリコプターからの河道閉塞箇所の撮影（赤谷地区）

■天然ダムの場合の特定例

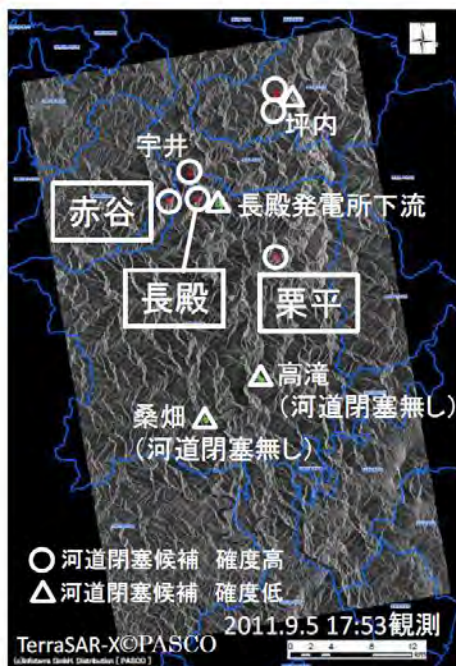
<合成開口レーダーによる抽出例>

【背景・経緯】

- ・天然ダム対策は、できるだけ湛水が少ない段階において、迅速に天然ダムを発見する必要がある。しかしヘリコプターによる調査は、夜間や悪天候時には実施できない。紀伊半島大水害でも、1日目のヘリコプター調査では雲が多かったことから、撮影できたのは長殿地区のみであった。そこで、夜間や悪天候時にも地表の状態を観測可能な高分解能合成開口レーダー画像による判読を実施した。

【実施結果】

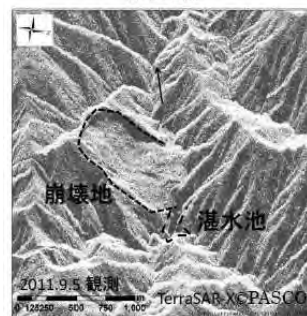
- ・紀伊半島大水害では、高分解能 SAR（合成開口レーダー）画像の判読により、河道閉塞の候補として、確度が高い箇所が 6 箇所抽出され、その中には赤谷地区、長殿地区、栗平地区を抽出していた。
- ・画像判読は、災害前の ALOS 画像、国土地理院 10m メッシュ DEM 等を参考に、長殿地区の深層崩壊箇所と同様の画像パターンを探した。



長殿地区（判読用リファレンス）



赤谷地区



栗平地区

合成開口レーダーによる抽出結果

※平成 23 年（2011 年）紀伊半島台風 12 号土砂災害調査報告，土木研究所資料

■天然ダムの地形データの取得例

<携帯型斜め写真撮影システムの例>

【背景・経緯】

- ・ヘリコプターによる調査では、写真撮影位置と崩壊地等の被写体が遠く離れているケースが多いため、撮影した崩壊地の位置の特定に時間を要する。携帯型斜め写真撮影システムでは、ヘリコプター調査でも被写体の位置情報を取得しながら撮影できる。



携帯型斜め写真撮影システム（赤谷地区）

■天然ダムへの資機材の輸送例

- ・天然ダムへの資機材の輸送例として、紀伊山地では、対策箇所までアクセスが困難な場合、「ヘリコプターによる輸送」や「河道内への進入路の整備」「仮設橋による渡河」等により資機材を搬入した事例があった。
- ・また、平成16年新潟県中越地震時には、芋川東竹沢地区において「組み立て台船による重機等の水上輸送」を実施した事例もある。

⇒ **本資料 P43～67**

2.3 天然ダムの形状・規模・湛水量の計測

■天然ダムの形状・規模の計測

- ・ 航空レーザー測量（LiDAR）により，天然ダムの形状・規模や周辺地形について計測する。
- ・ 取得できた地形データに基づき，以下の情報を取得する。
 - － 平面特性： 周辺地形の概況把握
 - 深層崩壊の崩壊土砂量，崩壊幅・長さ・深さ
 - 天然ダムの閉塞土砂量，幅・長さ・高さ・勾配，湛水量
 - 掘削可能土砂量の推定に関する基礎データ
 - 対策工の整備可能範囲検討に関する基礎データ（導流堤，堰堤工，水路工，トンネル工 等）
 - － 横断特性： 河道方向に直交する断面 3 測線程度
 - 天然ダムと崩壊地の位置関係：
バッファゾーン，作業ヤード規模の検討
 - 斜面の縦断形状，斜面安定解析：
再崩壊等の危険度評価
掘削可能範囲・標高の検討
 - － 縦断特性： 河道方向に平行する断面 3 測線程度
 - 天然ダムの縦断形状：
越流決壊，浸透破壊等の危険度評価
高さ・勾配に基づく掘削可能範囲・標高の検討

■湛水量の計測

- ・ 同様に，天然ダム上流の地形について計測し，取得できたデータを用いて天然ダムが満水した場合の最大の湛水量および H-V 曲線を検討する。

複数の天然ダムが形成された場合，上記の情報は対策優先順位の基礎資料とする。

上記において有効なデータ取得方法には以下のようなものがある。

- ・ **携帯型斜め写真撮影システム： ヘリコプター**
 - 飛行中に撮影画像を三次元画像へ処理，地形データの取得
 - 2013 年 10 月伊豆大島土砂災害での撮影実績あり
- ・ **深淺測量： 測量船**
 - 音響測深器の反射波から湛水池水面下の地形データを取得
 - 2011 年 9 月紀伊半島大水害（長殿）での測量実績あり

◆「天然ダム監視技術マニュアル（案）」

- P. 10 3.2 天然ダム全般の状況把握（概況調査）

◆「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」

- P. 31 3.4.5 概略調査の実施

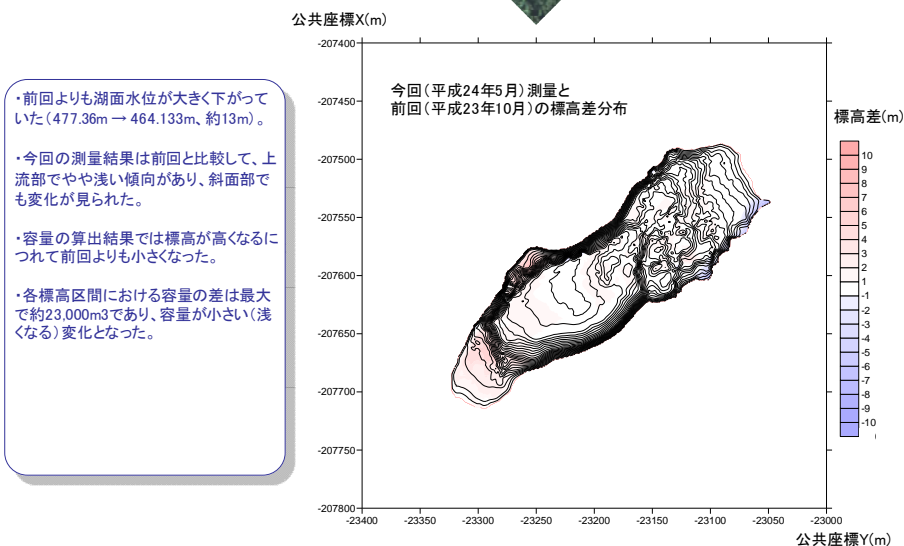
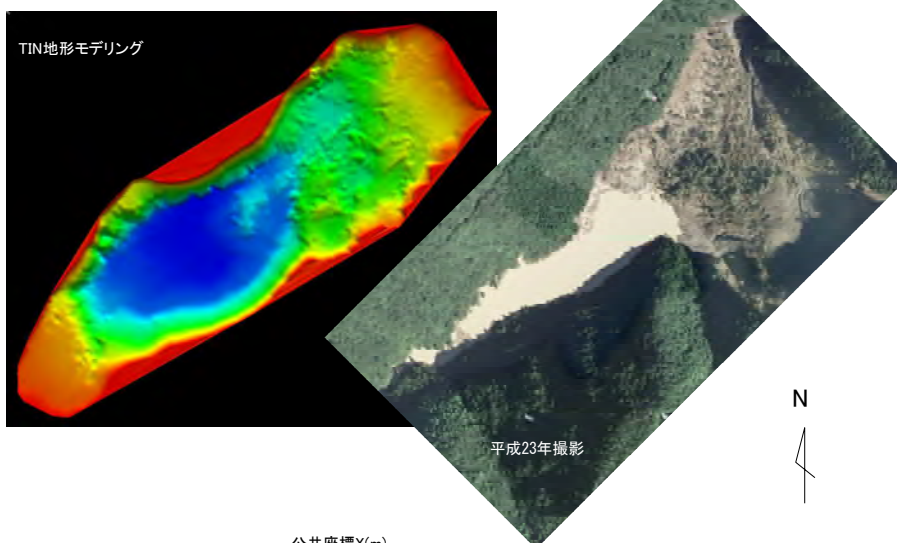
■湛水量の計測例

<測量船による深淺測量の例>

【背景・経緯】

- ・天然ダムの警戒避難体制整備にあたっては、より正確な越流予測を実施する必要がある。そこで、天然ダム上流側に湛水池について定期的に深淺測量を実施し、湛水量を算出するとともに、H-V 曲線を作成し、警戒避難体制の整備に活用した。また、深淺測量から得られた H-V 曲線は、天然ダムの切り下げと湛水池の埋め戻しに必要な土量の検討にも活用されている。

【長殿地区】



- ・前回よりも湖面水位が大きく下がっていた(477.36m → 464.133m、約13m)。
- ・今回の測量結果は前回と比較して、上流部でやや浅い傾向があり、斜面部でも変化が見られた。
- ・容量の算出結果では標高が高くなるにつれて前回よりも小さくなった。
- ・各標高区間における容量の差は最大で約23,000m³であり、容量が小さい(浅くなる)変化となった。

深淺測量日: 2012/05/10
水面標高: +464.133 12:30

深淺測量による計測結果 (長殿地区)

※平成 24 年 3 月深淺測量調査結果 (長殿地区)

2.4 湛水池周辺雨量，上流流入流量・湛水池水位・天然ダム下流の流量観測

湛水池が満水・越流するまでに要する時間，越流した場合の流量を予測するために以下の観測を実施する。

■湛水池周辺の雨量の観測

- ・ 湛水池周辺および上流域の雨量を観測する。
 - － 簡易雨量計（バッテリーで稼働）
 - － 通信設備（リアルタイムのデータ送信）

■湛水池上流からの流入流量の観測

- ・ 湛水池に流入する支川（可能であれば流水がある全支川）の流入流量を観測する。
 - － 水圧式水位計（バッテリー・ソーラーパネルで稼働）
 - － 通信設備（リアルタイムのデータ送信）

■湛水池水位の観測

- ・ 湛水池の水位を観測し，2.3で作成したH-V曲線を用いて湛水量を検討する。
 - － 投下型水位観測用ブイ装置（バッテリーで稼働）
 - － 水圧式水位計（バッテリー・ソーラーパネルで稼働）
 - － 通信設備（リアルタイムのデータ送信）

■天然ダム下流の流量の観測

- ・ 天然ダムの下流に流水がある場合は，その流量を観測する。
 - － 水圧式水位計（バッテリー・ソーラーパネルで稼働）
 - － 通信設備（リアルタイムのデータ送信）

上記において有効なデータ取得方法には以下のようなものがある。

・土研式水位観測ブイ（投下型）：ヘリコプター

ヘリコプターから水位観測装置を投下，衛星通信で水位データを伝送

→ 2011年9月紀伊半島大水害（赤谷，長殿，栗平，熊野）での観測実績あり

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 2-8 2.4.2 天然ダム越流及び上流域の浸水被害までの時間

◆「天然ダム監視技術マニュアル（案）」

→ P. 16 4.2 湛水位の監視

→ P. 16 4.3 湛水部への流入流量の把握

→ P. 16 4.5 閉塞部からの流出流量の把握

◆「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」

→ P. 31 3.4.5 概略調査の実施

■湛水池周辺の雨量の観測例

<雨量計の例>

【背景・経緯】

- ・天然ダム形成箇所は、商用電源が確保しにくく、ケーブル等の配線が難しい状況であった。そこで、商用電源なしで動作可能なバッテリー＋ソーラーパネルで動作可能な観測機器を基本とし、無線でのデータ送信が可能な機器配置を検討した。

【実施結果】

- ・赤谷地区、長殿地区、栗平地区、北股地区、熊野地区の各天然ダム箇所には雨量計が設置されており、観測データは紀伊山地砂防事務所ホームページにて公開されている。



雨量計による観測状況（長殿地区）



紀伊山地砂防事務所ホームページでの公開状況（雨量・水位）

■湛水池上流からの流入流量観測例

<水圧式水位計の例>

【背景・経緯】

- ・天然ダム形成箇所は、商用電源が確保しにくく、ケーブル等の配線が難しい状況であった。そこで、商用電源なしで動作可能なバッテリー＋ソーラーパネルで動作可能な観測機器を基本とし、無線でのデータ送信が可能な機器配置を検討した。

【実施結果】

- ・湛水池上流からの流入流量を把握するため、赤谷川河道において水位計による観測を実施した。天然ダムの上流河道は、比較的浅いことから、一般的な圧力式の水圧計を採用した。



水圧式水位計による観測状況（赤谷地区）

■湛水池水位の計測例

＜土研敷水位観測ブイ（投下型）の例＞

【背景・経緯】

- ・土研式水位観測ブイ（投下型）は、ヘリコプターで吊り下げ輸送し、投下するだけで設置が完了する水位計で、アクセス困難な天然ダムに対して早期に設置可能であることが大きな特徴である。

【実施結果】

- ・紀伊半島大水害では、赤谷地区、長殿地区、栗平地区、熊野地区に土研式観測ブイ（投下型）が設置され、水位をリアルタイムで監視することが可能となった。
- ・熊野地区では、河床のケーシング部にすべりまたは転倒が生じて水位センサの深度が下がったため、見かけ上、水位が上昇したと観測された。
- ・栗平地区では、湛水池に土砂が流入した際に機器を巻き込み破損した事例があった。
- ・衛星を利用したデータ転送の遅延は、9割以上が5分以内であったが、周辺地形や衛星の配置によって大きな遅延が生じる場合もあった。



土研式水位観測ブイ（投下型）



土研式水位観測ブイ（投下型）の設置状況（熊野地区）

平成 23 年（2011 年）紀伊半島台風 12 号土砂災害調査報告，土木研究所資料

2.5 天然ダム対策に必要な人員・資機材の準備

■ 応急対策の実施に必要な仮設工（排水ポンプ）

- ・ 天然ダム対策工事の実施，ならびに緊急的な湛水位の水位上昇抑制・低下に必要な以下に示す仮設工を準備する。
 - － 排水ポンプ（発動発電機および燃料を含む）
 - － 排水管（高密度ポリエチレン管など）
 - *) 排水ポンプは高揚程タイプ（2段つなぎで全揚程 20m，実質 15m 程度）

■ 対策工事に必要な重機・資機材

- ・ 天然ダム対策工事を実施するために必要な以下に示す重機・資機材を準備する。
- ・ これらの重機は空輸可能な重量に分解できる構造を有するものとし，可能であれば無人化機械を準備する。
 - － バックホウ（1.0m³級）
 - *) 各地方整備局：1.0m³級分解対応，無人化重機を所管
 - － 揚重機（2.9t カニクレーン）
 - － 不整地運搬車（クローラードンプ：2.5t 級～7t 級，キャタピラ）
 - － ブルドーザー
 - － 排水管（高密度ポリエチレン管，U字フリュームなど）
 - － セメントおよびプラント設備（砂防ソイルセメント用） 等
- ・ 国土交通省で重機の運搬が困難な場合は，自衛隊との連携を図る。

■ 搬入の準備体制の確立

- ・ 作業人員と重機の搬入については，原則として別の輸送手段体制を確立する。
- ・ 天然ダム対策工事に必要となる人員，重機の搬入手段は以下のものが想定できる。
 - － ヘリコプター（重機用：大型，作業人員用：小型）
 - － 不整地運搬車（クローラードンプ：重機ルート確保後）
 - － 四輪駆動車
 - － 水陸両用車 等

■ 作業人員の安全な労働環境の確保

- ・ 作業人員は現場通勤となることから，安全かつ良好な労働環境を準備する。

上記において有効なデータ取得方法には以下のようなものがある。

・ 斜面計測機器

GPS 計測機器により崩壊地頭部の変位のリアルタイム観測

→ 2011 年 9 月紀伊半島大水害（赤谷，長殿）での観測実績あり

◆ 「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

- P. 4-25 4.7 調達資機材及び材料の選定
- P. 3-10 3.3 資機材の輸送の検討
- P. 参 7 4. ヘリコプターによる空輸

■資機材の例

<排水ポンプの設置例>

- ・ポンプ排水は、現場条件による制約が少ないことから、資機材を搬入することで、早期に湛水池の水位上昇抑制効果を発揮することができる。紀伊半島大水害においても各天然ダム箇所においてポンプ排水を実施した。
- ・紀伊山地で実施されたポンプ排水の設置事例については、「Ⅲ. 2. 湛水池の排水方法」にて後述する。



排水ポンプ設置例（寺野地区／中越地震）



排水ポンプ設置例（東竹沢地区／中越地震）

<対策工事に使用する建設重機の例>

- ・紀伊山地では、栗平地区と長殿地区において、対策箇所へのアクセスルートがないため、ヘリコプターで輸送可能な分解型重機を準備した。
- ・1.0m³級の分解型油圧ショベルは13のパーツに分解し、運搬先で組立用のクローラクレーン（カニクレーン）2台を使って組立てた。

⇒ 本資料 P43～67

ヘリコプターにより空輸した建設重機

地区名	重機の種別	台数	分解の有無
栗平	油圧ショベル (0.1m ³)	4	なし
	油圧ショベル (0.45m ³)	12	分解
	カニクレーン (2.9t吊り)	8	分解
	キャリーダンプ (2.5t)	1	なし
	キャリーダンプ (7t)	6	分解
長殿	油圧ショベル (0.1m ³)	2	なし
	油圧ショベル (0.45m ³)	6	分解
	油圧ショベル (1.0m ³)	2	分解
	カニクレーン (2.9t吊り)	4	分解
	キャリーダンプ (2.5t)	3	なし
	合計	51	

2011年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局 災害対応の記録

<対策工事に使用する排水管の例>

- ・紀伊山地では、高密度ポリエチレン管は主に暗渠排水管として利用されていた。

⇒ 本資料 P68～118



高密度ポリエチレン管（栗平地区）

- ・ U字フリュームについては、紀伊山地では、熊野地区において、排水路工へ利用されていた。



U字フリュームの利用事例（熊野地区）

<セメントおよびプラント設備（砂防ソイルセメント用）の例>

- ・ 紀伊山地の長殿地区において砂防ソイルセメント製造機械を設置し、作業スペースが限られた中で施工の効率化を図った事例がある。

⇒ 本資料 P142

■人員の輸送手段の例

- ・ 紀伊山地の栗平地区においては、当初アクセスルートがなく、既設道路から対策箇所までの距離があったため、ヘリコプターによる人員輸送を実施した。
- ・ また、河床道路整備後は、水陸両用車や履帯式の雪上車を用いた人員輸送も実施したが、いずれも効果的な手段とはならなかった。

⇒ 本資料 P43～67

■重機・資機材の輸送手段例

- ・ 重機・資機材の輸送手段の例として、紀伊山地では、栗平地区の不整地運搬車の利用事例がある。

⇒ 本資料 P43～67

2.6 整備目標期間に応じた対策の基本

■整備目標期間の考え方

- ・ 天然ダム対策は、基本的には次期出水期までを当面の整備目標期間とする。

■実施可能性に基づく対策工の計画規模

- ・ 天然ダムの形状・規模、次期出水までの残期間、施工能力等を総合的に勘案し、当面の計画規模を設定する。

■緊急対策における仕様基準の検討

- ・ 緊急対策として施工する天然ダム対策の構造物は、河道閉塞部での不等沈下等の発生状況を考慮して、出来形管理の基準の緩和を検討する。

- 紀伊山地においては、天然ダムの規模(高さ)が大きいため掘削土量が多いことと、劣悪なアクセス性から施工能力が低かったため、2年超過確率規模流量を当面の計画規模とした。
- しかし、現実的に対象流量が大きくなることも想定されるため、年超過確率規模等による規模の検討のみならず、整備目標期間内で施工可能な規模とすることも想定する。
- 赤谷地区の仮排水路では、出水による破損と補修の繰り返しや、河道閉塞部の不等沈下によって施工中の構造物に±10cm程度の変形が生じていたが、通水機能に影響はなかった。しかし、平常時と同じ出来形検査の基準に適合させるため補修が必要となった。
- 緊急対策では、早期の効果発現が重要であることから、緊急対策として求められる施設効果を考慮して、出来形管理基準の緩和を検討する。

3. 天然ダム形成直後の対策計画の検討

1. で示した対策の基本に基づき、天然ダムの規模や今後想定される土砂移動現象（天然ダムの決壊、侵食など）に応じて対策計画を検討する。

3.1 天然ダム形成直後の対策計画

■天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻し

- ・ 抜本的な対策としては、天然ダムの除去が望ましいが、現実的に対応することは困難であるので、可能な限り天然ダムを切り下げる（掘削）ことを基本とする。
- ・ 天然ダムの切り下げ範囲は、天然ダム天端と下流面とする。下流面においては掘削とともに掘削土砂の巻きだしを行う。これにより、天然ダム下流面の勾配を緩くし、仮に越流した場合に侵食力を低下させる。
- ・ 天然ダムの形成に起因する大規模な土砂移動現象の主たる要因は流水であるので、その原因となる湛水池の埋め戻し、規模縮小を基本とする。
- ・ 湛水池の埋め戻し・規模縮小により、天然ダムの浸透流路長が長くするとともに、平均動水勾配も緩くして浸透破壊を抑制する。
- ・ ただし、天然ダムの下流域に保全対象が近接する場合には、切り下げ（掘削）による影響が生じないように配慮する。
- ・ また、天然ダムの切り下げ（掘削）や埋め戻しは、湛水池からの越流に対してはマイナス効果（越流開始までの時間の短縮、越流回数の増加）となることから、天然ダム下流面の排水機能が確保された状態で実施する。

■天然ダムにおける排水路（開水路・暗渠）の確保

- ・ 天然ダムの越流決壊や浸透破壊を防止するために必要となる湛水位の上昇抑制・低下、ならびに安全かつ効率的な天然ダムの切り下げ（掘削）を実施するために、排水路を確保する。
- ・ 排水路の構造（開水路・暗渠）は、天然ダムの地形・土質特性や施工性を考慮して決定する。また、排水路の勾配は流水の減勢を図るために可能な限り緩くする。
- ・ 天然ダム脚部に位置する排水路の末端においては、流水による局所的な洗掘や河床低下を抑制する。

■天然ダム下流基幹堰堤の構築

- ・ 天然ダム上流域や崩壊地からの土砂流出、天然ダム本体の急激な侵食に伴う土砂流出を抑制するために、天然ダム脚部・下流に基幹堰堤を設置する。
- ・ この堰堤により天然ダムの上流域や排水路からの流水による局所的な洗掘や河床低下を抑制する。

■崩壊地からの土砂流出抑制

- ・ 天然ダム対策工事の安全確保、ならびに天然ダム下流への土砂流出を抑制するために、防護堤や導流堤によって崩壊地からの土砂流出を抑制する。

■天然ダム下流河道における土砂・洪水氾濫対策

- ・ 天然ダムの下流河道における土砂・洪水氾濫対策を防止するために、既設堰堤の除石等の土砂流出抑制とともに、堤防嵩上げ等の土砂流下能力を確保する。

上記の目標については、原則としては同時並行で実施するものとするが、天然ダムの形状や規模、越流までに予想される時間等を総合的に考慮し、その実施優先順位を検討する。

天然ダムの切り下げ形状や堰堤設置箇所、対策の実施判断については、天然ダムの越流侵食後の形状や影響範囲を予測計算し、その結果を参考に検討することが望ましい。

◆「深層崩壊対策技術に関する基本的事項」

→ P. 27 3.3 長時間継続型の天然ダムに対するハード対策

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 3-3 3.2 対策工検討に必要な判断項目の検討

3.2 対策の実施可能性の評価

現地状況に応じて、現実的に対策が実施可能かどうかを事前に評価する。

■安定解析による天然ダムの切り下げ可能範囲・標高の評価

- ・ 崩壊地（地すべり）斜面における安定解析により、天然ダムの切り下げ（掘削）可能な範囲と標高を評価する。
- ・ 安定解析に用いる土質定数（特に c 、 ϕ ）や地下水位は、各種マニュアルや文献に示されている一般値、現地状況に応じて暫定的に設定する。ただし、周辺地域の調査によってデータが取得された場合には適宜更新する。

■掘削土量の算出

- ・ 取得できた地形データに基づき、想定される掘削範囲における土砂量を算出し、搬入可能な重機の施工能力に基づき、掘削に要する時間等について検討する。

<安定解析に基づく排水掘削時の敷き高標高の検討例>

(1) 計算方法について

排水路掘削の敷き高設定に関する考え方を示すために、逆算により設定した物性値を用いて、排水路掘削時の敷き高標高に関する計算を実施した。

(入力する計算条件)

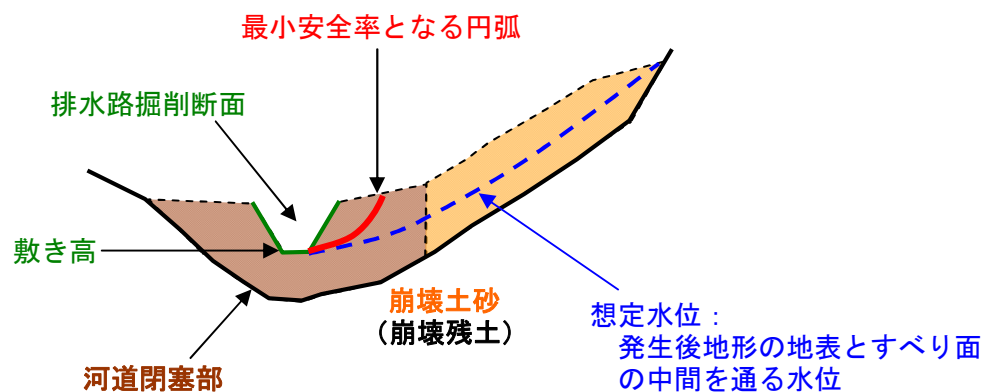
本計算では、既往の安定解析結果に基づき以下の設定手法に基づく物性値を採用した（イメージ図を下図に示す）。

C : 崩壊斜面の土層厚に基づき設定。

ϕ : 逆算により、崩壊後の地形・想定水位において FS=1.00 となる物性値を設定。

水位 : 現時点で調査に基づく設定が困難であったため、「発生後地形の地表とすべり面の中央を通ると推定した水位」を想定した。

単位体積重量 : 土質試験結果を基に設定。

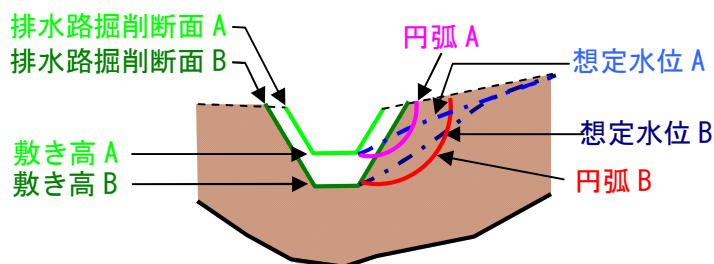


安定計算を実施した断面のイメージ（片岸のみを記載）

(敷き高の設定手法)

河道掘削を実施した際に安定性を確保する敷き高の設定にあたり、計画安全率を以下の通り設定した。また、河道掘削における敷き高は 5m 単位で計算し、計画安全率を満たす敷き高の最低標高値を計算した。

計画安全率 : 排水路掘削後に十分な安定性を確保していることを確認することを目的とし、計画安全率 $pFS=1.20$ とした。



左の図の場合、敷き高 A における安全率 $FS(A) > 1.20$ 、敷き高 B における $FS(B) < 1.20$ であれば、**河道掘削が可能な敷き高は敷き高 A となる。**

異なる敷き高における安定計算のイメージ（片岸のみを記載）

<赤谷地区における安定解析例>

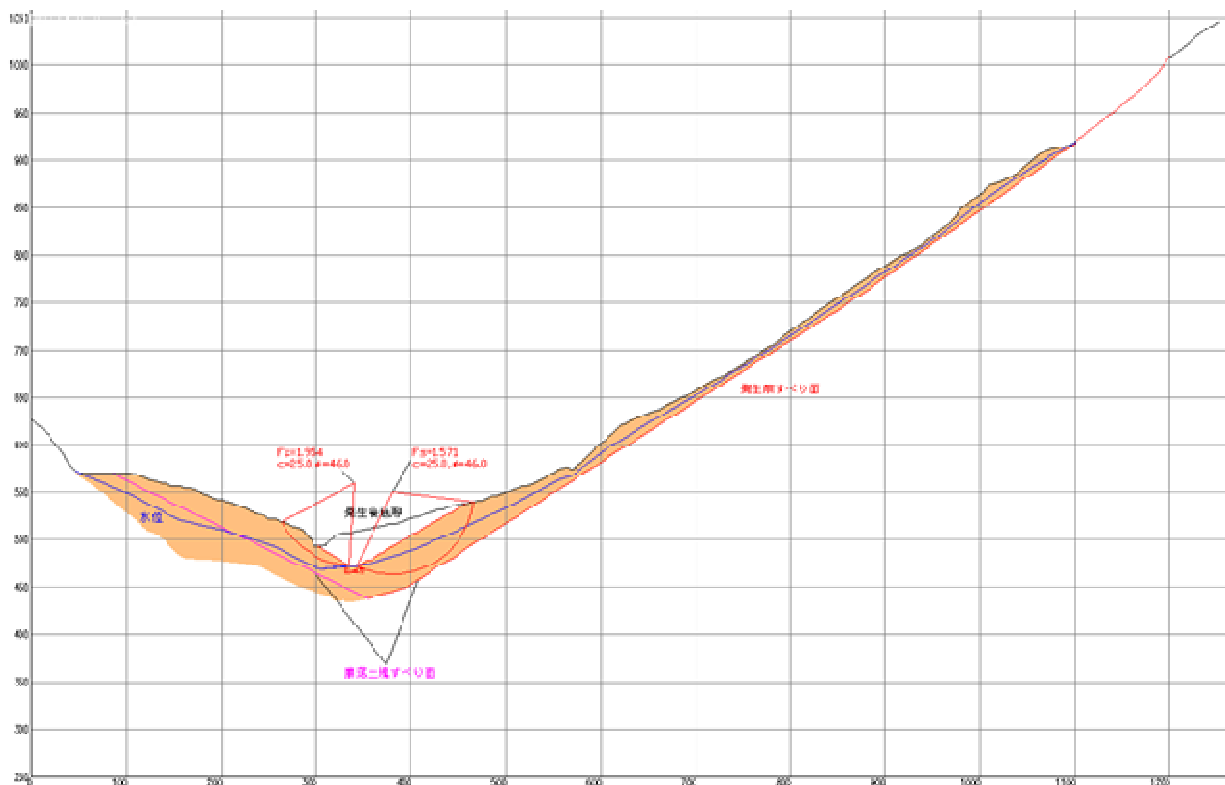
赤谷地区における安定解析結果及び断面図を以下に示す。本ケースでは、排水路の敷き高を472mとしても全断面において $F_s > 1.20$ となり、安定性が確保される計算結果となった。

安定計算結果（赤谷地区）

【対象地区：赤谷】現況安全率 F_s						
c- ϕ 設定条件	土質条件			計算条件	現況安全率 F_s	仮排水路を設定した際の安全率
	γ (kN/m^3)	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)			掘削時安全率 PFs=1.20となる排水路底高
発生後地形 $F_s=1.0$ 、 $C=25^\circ$ で ϕ 逆解析 (水位は湧水点を結ぶ直線形として推定)	17	25.0	46.0	崩落土塊	$F_s=3.54$	崩落土塊
						排水路両岸のり面 上:左岸 下:右岸
						EL=472mで $F_s=3.02$
						EL=472mで $F_s=1.95$ EL=472mで $F_s=1.57$

【対象地区：赤谷】掘削時安全率PFs			
排水路敷高	崩落土塊	排水路両岸のり面	
		左岸	右岸
492	3.49	1.85	3.16
487	3.31	1.86	2.66
482	3.14	1.86	2.44
477	3.03	1.92	2.10
472	3.02	1.95	1.57
467	3.14	1.98	1.17
462	3.48	1.90	0.76

最大掘削可能深（暫定）
20m (EL. 492m→472m)



赤谷地区断面図

Ⅱ. 対策工法の検討

1. 天然ダム形成直後における対策工法

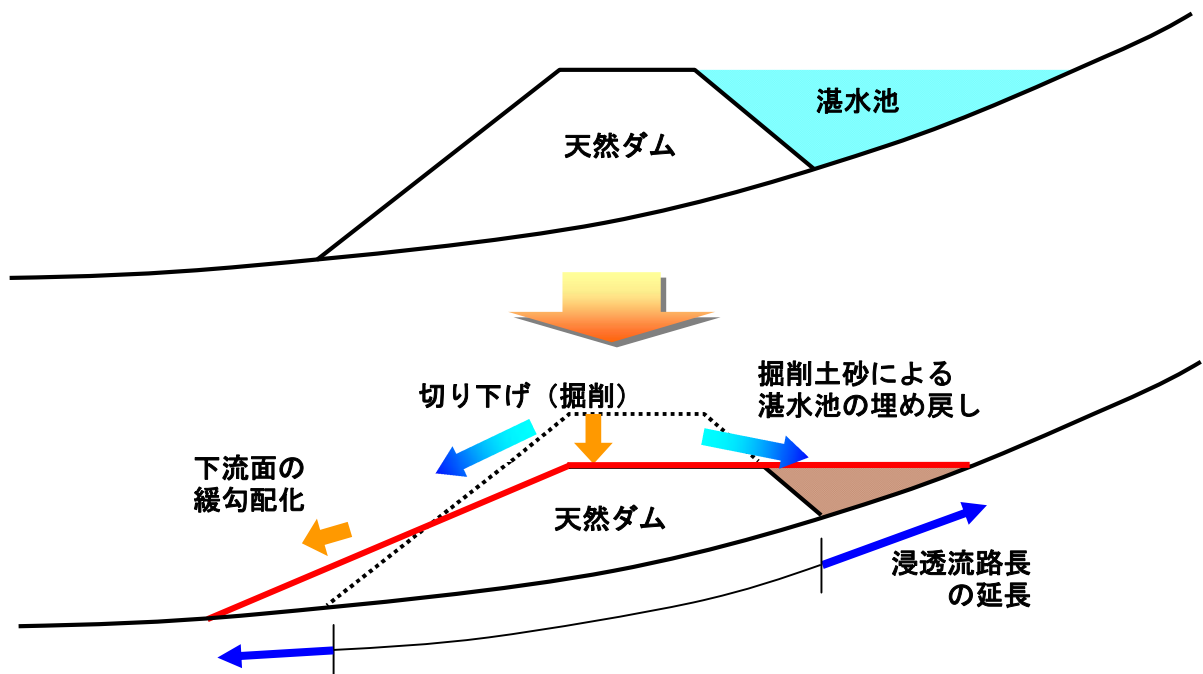
1.1 天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻し

■特 徴

- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）と湛水池の埋め戻しや規模縮小により、越流決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 天然ダム下流面を緩勾配化することにより、浸透流路長を長くし、浸透破壊の危険性の低減させる。また、越流水の流速を低減させ、天然ダム脚部における減勢を図る。
- ・ 切り下げ（掘削）範囲は、早期施工のために掘削土砂量が最小となる最深河床沿い（天然ダムの鞍部・凹部）を想定する。

【留意点】

- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）や埋め戻しは、湛水池からの越流に対してはマイナス効果（越流開始までの時間の短縮，越流回数の増加）となることから、天然ダム下流面の排水機能が確保された状態で実施する。



天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻しのイメージ図

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 3-2 3.2.1 天然ダム開掘削・除去の検討

1.2 暗渠排水管の設置

■特 徴

- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）底面に暗渠排水管を設置することにより、湛水位の上昇を抑制し、越流決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 崩壊地から天然ダムへの土砂流出や流木の影響を受けずに排水することが可能となる。ただし、呑み口の閉塞対策が必要となる。
- ・ 本来、暗渠排水管の管径は、計画流量に基づき設定されるべきだが、本対策では搬入・施工性を考慮して設定する。
- ・ 暗渠排水管の設置に際しては、万が一詰まった場合を想定して、仮排水路工との併用設置（二重設置）を想定する。
- ・ 人力による操作の必要がない。

【留意点】

- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 掘削によって暗渠排水管を設置する場合は、掘削による斜面の安定性に影響がないようにする。また、掘削は縦断方向に連続的に施工せず、ブロックを区切り、掘削して暗渠排水管を埋設した後に次のブロックを施工する。
- ・ 上流湛水池からのパイピング現象が発生する可能性に留意する。

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

- P. 3-6 3.2.2.1 排水対策の検討
- P. 3-6 3.2.2.2 各種排水手法の整理
- P. 4-8 4.2.3 管渠排水

⇒ 本資料 P68～117

1.3 仮排水路工の設置

■特 徴

- ・ 仮排水路工を設置することにより、安全に越流水を流下させ、越流決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）に時間を要する場合は、整地が可能であれば、分解・組立型水路工（U字フリューム）や布製型枠等を用いて、天然ダムの表面に仮排水路工を設置する。

<計画流量>

- ・ 仮排水路工の計画流量は、当該位置の都道府県砂防技術指針等を参考に設定する。ただし、現地において取得できた降雨・流量データに基づき設定できる場合はこの限りではない。

<法 線>

- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）を実施できた場合は、切り下げ（掘削）範囲の底面に設置する。なお、仮排水路工の法線は、切り下げ範囲と同様に早期施工のために掘削土砂量が最小となる最深河床沿い（天然ダムの鞍部・凹部）を想定する。
- ・ ただし、恒久対策の施工を考慮し、また、天然ダムの掘削による崩壊地への影響を少なくするために、可能な限り崩壊地の対岸山脚沿いに設置する。

<仮排水路工の形状>

- ・ 仮排水路工の深さは重機による施工性を考慮して設定する。また、仮排水路工の幅は天然ダム下流面における流速（水深）を小さくするために、恒久対策の施工を考慮しながら可能な限り広くする。
- ・ また、流速を減じるために水路工の表面に粗度を設置する。

【留意点】

- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 水漏れ対策のために、仮排水路工と地山の間にシートを敷設する。

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 4-6 4.2.2 緊急排水路の開削

→ P. 4-11 4.3.1 本体開削（排水路設置）

⇒ 本資料 P68～117

1.4 天然ダムの脚部・下流における基幹堰堤の構築

■特 徴

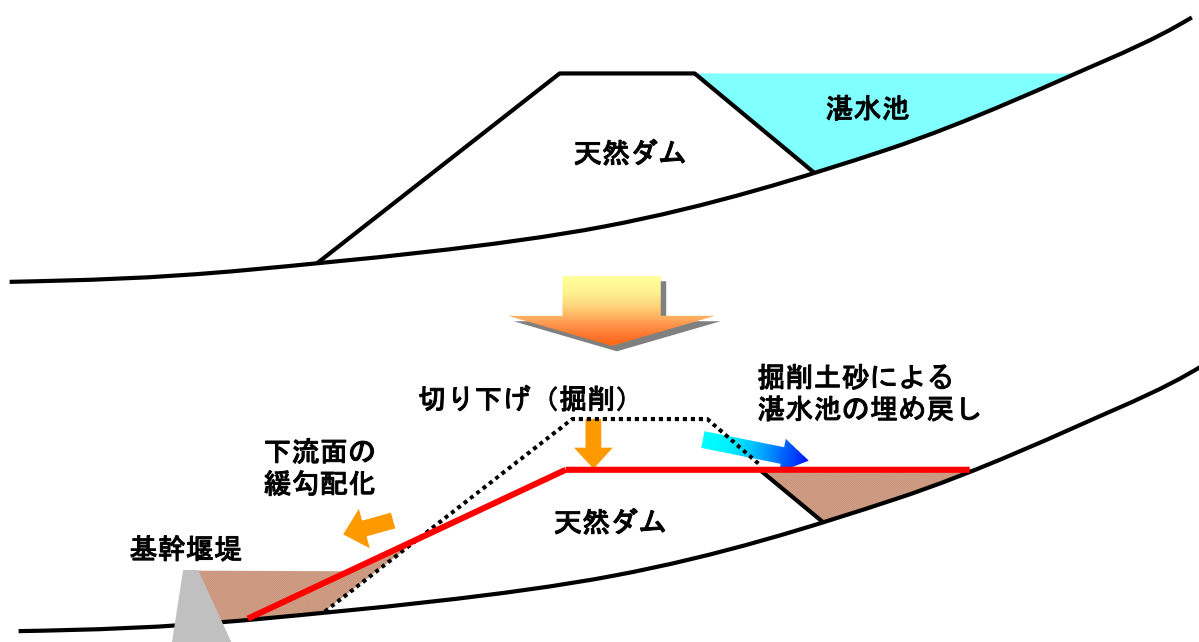
- ・ 越流に伴う天然ダムの侵食が生じた場合、天然ダムの脚部固定によって決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 減勢効果によって排水路工の下流端における局所的な洗掘・河床低下を抑制し、天然ダムの侵食を防止する。

【留意点】

- ・ 施工期間等を考慮し、ブロックや砂防ソイルセメントを活用した堰堤工が望ましい。ただし、表面の摩耗対策が必要である。
- ・ ブロックを活用した堰堤工とする場合、堰堤下流で洗掘が発生すると堰堤の下流側のブロックの沈下や移動により、堰堤全体が倒壊する恐れがあるため、基礎部の改良やコンクリートの打設等による、基礎処理が必要である。

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 4-20 4.4.1 砂防堰堤の堆砂による天然ダムの下流への移動の抑制



天然ダムの脚部・下流における基幹堰堤の構築のイメージ図

⇒ 本資料 P132～148

2. 施工期間中の水位低下工法

2.1 天然ダムにおける推進工法による暗渠排水管の設置

■特 徴

- ・ 推進機によって天然ダムを掘削（開削）せずに暗渠排水管を設置するため、崩壊地から天然ダムへの土砂流出の影響を受けずに効率的に施工が可能となる。
- ・ 開削水路と併用することによって、施工期間を短縮することが可能となる。

【留意点】

- ・ 天然ダム内の倒木や巨礫があると掘進が困難となるため、ボーリングやパイロット掘進等によって事前に可能な限り天然ダム内部の障害物の分布状況を把握する必要がある。
- ・ 推進機が沈下しないように、天然ダム内部の支持力を事前に把握する必要がある。

上記における事例には以下のような工法がある。

- ・ **推進工法による暗渠排水管の設置（平成 23 年台風 12 号紀伊半島大水害）**

栗平地区における実績

⇒ 本資料 P68～117

2.2 地山における排水トンネルの整備

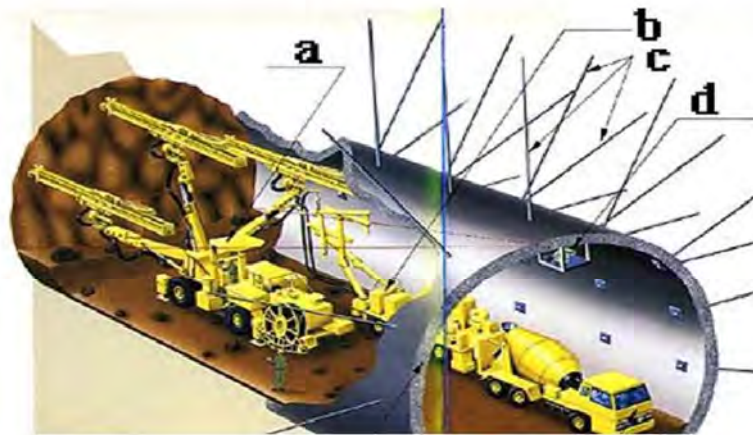
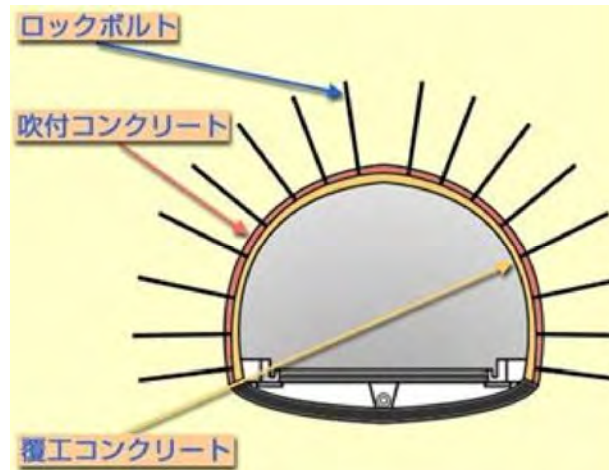
■特 徴

- ・ TBM やシールドマシン等の推進工法もしくは NATM 工法によって天然ダムの上下流間の地山を掘削して排水トンネルを設置する。地山を掘削するために、崩壊地から天然ダムへの土砂流出の影響を受けずに施工が可能となる。

【留意点】

- ・ 天然ダムに比べて地山掘削は比較的容易であるが、TBM 工法やシールド工法は、TBM やシールドマシン、NATM 工法は、吹き付けコンクリートやロックボルト打設のための専用機器を搬入するためのアクセスルートが必要となる。
- ・ TBM 工法やシールド工法は、トンネル掘削速度が速いが、TBM やシールドマシンは現場ごとにオーダーメイドされる一点物であり、掘削着手まで時間がかかる。このため、緊急時の対応には、対策に要する時間を考慮して検討する必要がある。
- ・ NATM 工法は、直接岩盤を機械や人力で掘削するため、地質の変化や障害物などに対応しやすい工法であり、汎用性が高い。

- ・ NATM 工法は、山岳部におけるトンネル工法のひとつであり、掘削した部分を素早く吹き付けコンクリートで固め、ロックボルトを岩盤奥深くに打ち込むことにより、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持する工法である。



NATM工法のイメージ図

(a…ブームホイールジャブ、b…ブーム吹付けジャブ、c…ロックボルト、d…自動測量システム)

NATM 工法のイメージ

2.3 ポンプ排水

■特 徴

- ・ 天然ダム対策工事の実施，ならびに緊急的な湛水位の水位上昇抑制・低下のために排水ポンプにより，湛水池から天然ダムの下流河道に水を排水する。
- ・ 比較的容易に設置することができ，確実に排水することが可能。

【留意点】

- ・ 基本的には人力による操作が必要である。
- ・ 揚程によって排水能力に限界が生じることに留意する必要があり，さらに発動発電機によって排水するために，燃料コストが膨大となる。
- ・ ポンプ排水は原則として一時的に水位を低下させるための仮設工である。

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 2-12 4.3.2 ポンプによる湛水池水位低下排水

⇒ 本資料 P68～117

3. 天然ダム対策工法

天然ダム対策工法について、天然ダムの形状・規模（特に閉塞高）や崩壊地からの土砂流出頻度等を考慮して検討する。

3.1 閉塞高に応じた対策工法

■閉塞高が低い場合（数 m～10m 程度）： 全面開削・溪流保全工（床固工群）

- ・ 崩壊地（地すべり）への影響がない場合は、全面開削によって河道閉塞を撤去する。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）を実施するとともに、天然ダムの侵食を防止するために溪流保全工（床固工群）等を整備する。
- ・ 天然ダムが低いために越流決壊の危険性が小さいため、浸透性の高い鋼製続枠や自在枠を使用してもよい。

◆「天然ダム対策工事マニュアル（施工編）」

→ P. 4-14 4.3.3 下流法先へのフトン籠，ブロックによる床固工や帯工の設置

→ P. 4-15 4.3.4 本体除去（掘削）

■閉塞高が数 10m 程度（最大 30m）で下流面勾配が比較的急な場合： 堰堤工群

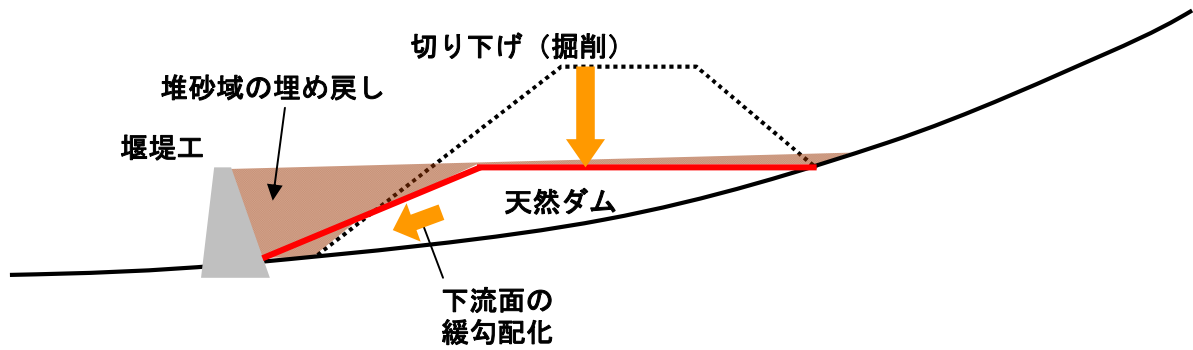
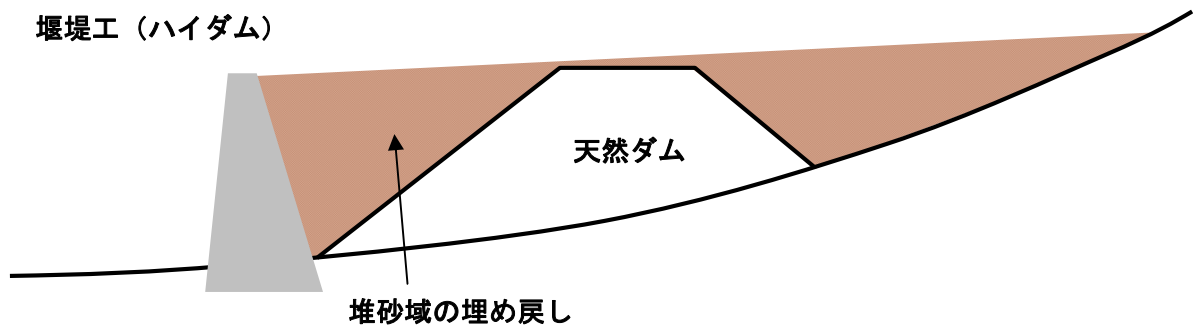
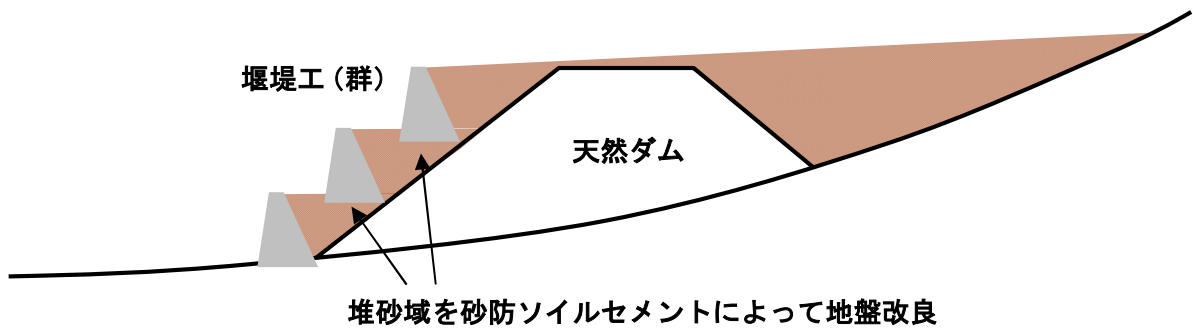
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）た後、天然ダムの安定性を確保するために、天然ダムを包含する形で堰堤工（群）を構築する。堰堤工の袖部は地山まで嵌入させる。
- ・ 堰堤工群とする場合は、それぞれの堤体の堆砂域を砂防ソイルセメント等で地盤改良し、その上に堰堤工を設置する。
- ・ 堰堤工の構築により、天然ダム上流側を堆砂させることで深層崩壊や地すべりの脚部固定が可能となる上、崩壊地の再崩壊・拡大崩壊や、地すべりの再滑動が生じた場合でも、堰堤堆砂域で土砂流出抑制を図ることが可能となることから、可能な限り堰堤工を構築する。
- ・ 通常の堰堤工同じ構造となるので、基本的に維持管理が不要となる。
- ・ なお、堰堤工の構造には、天然ダムの浸透破壊のリスクを低減させるため、透水性の高い鋼製続枠・自在枠工、かごマットは使用しない。

→ 鋼製続枠・自在枠工，かごマットを使用してはならない理由は以下の通りである。

- ・ 中詰め材の粒径選別や設置など施工に時間を要する
- ・ 構造物から天然ダム内部へ水が浸透し、浸透破壊を助長する可能性がある
- ・ 流水によって中詰め材が構造物から流出する可能性がある
- ・ 構造物上に土砂が堆積した場合，重機で除去することが非常に難しい

（構造物を破損してしまう）

→ 砂防ソイルセメントについては、『砂防ソイルセメント設計・施工便覧 平成 23 年版 財団法人砂防・地すべり技術センター』を参考とする。



閉塞高が数10m程度(最大30m)で下流面勾配が比較的急な場合の対策イメージ図

■閉塞高が数 10m 程度（最大 30m）で下流面勾配が比較的緩い場合：

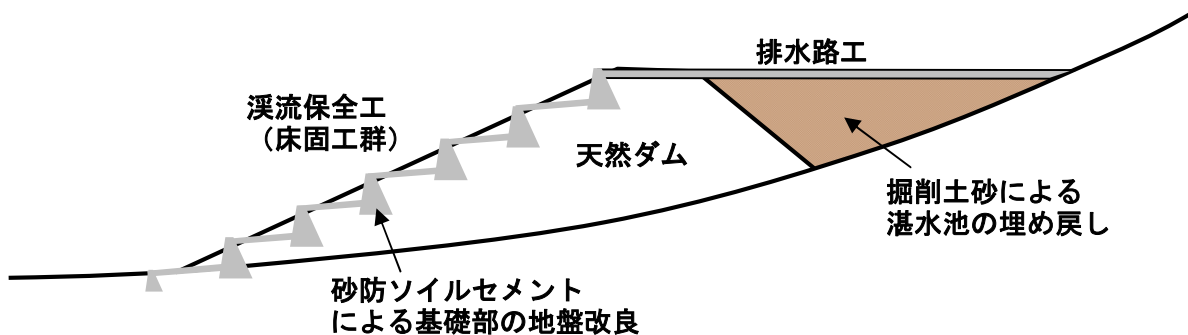
溪流保全工（床固工群）

- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）た後、越流水を安全に流下させるとともに、天然ダムの侵食を防止するために、天然ダムの下流面に溪流保全工（床固工群）構築する。
- ・ 床固工の袖部は、仮に越流水が天然ダムを流下した場合であっても侵食・決壊を防止するために、基幹になる施設については兩岸の地山まで配置する。
- ・ 床固工の前庭部は、流水による洗掘を防止するためにコンクリート等による前庭保護工を設置する。
- ・ 必要に応じて、床固工の基礎部を砂防ソイルセメント等で地盤改良し、その上に床固工を設置する。
- ・ 堰堤工（群）と異なり、溪流保全工（床固工群）は排水路と同様の機能であるために、天然ダムの堤体の安定性を確保できないことに留意する必要がある。
- ・ 通常の堰堤工同じ構造となるので、基本的に維持管理が不要となるが、天然ダムの兩岸からの土砂流入を抑制する必要がある。
- ・ なお、床固工の構造には、天然ダムの浸透破壊のリスクを低減させるため、透水性の高い鋼製続枠・自在枠工、かごマットは使用しない。

→ 鋼製続枠・自在枠工、かごマットを使用してはならない理由は以下の通りである。

- ・ 中詰め材の粒径選別や設置など施工に時間を要する
- ・ 構造物から天然ダム内部へ水が浸透し、浸透破壊を助長する可能性がある
- ・ 流水によって中詰め材が構造物から流出する可能性がある
- ・ 構造物上に土砂が堆積した場合、重機で除去することが非常に難しい
(構造物を破損してしまう)

→ 砂防ソイルセメントについては、『砂防ソイルセメント設計・施工便覧 平成 23 年版 財団法人砂防・地すべり技術センター』を参考とする。

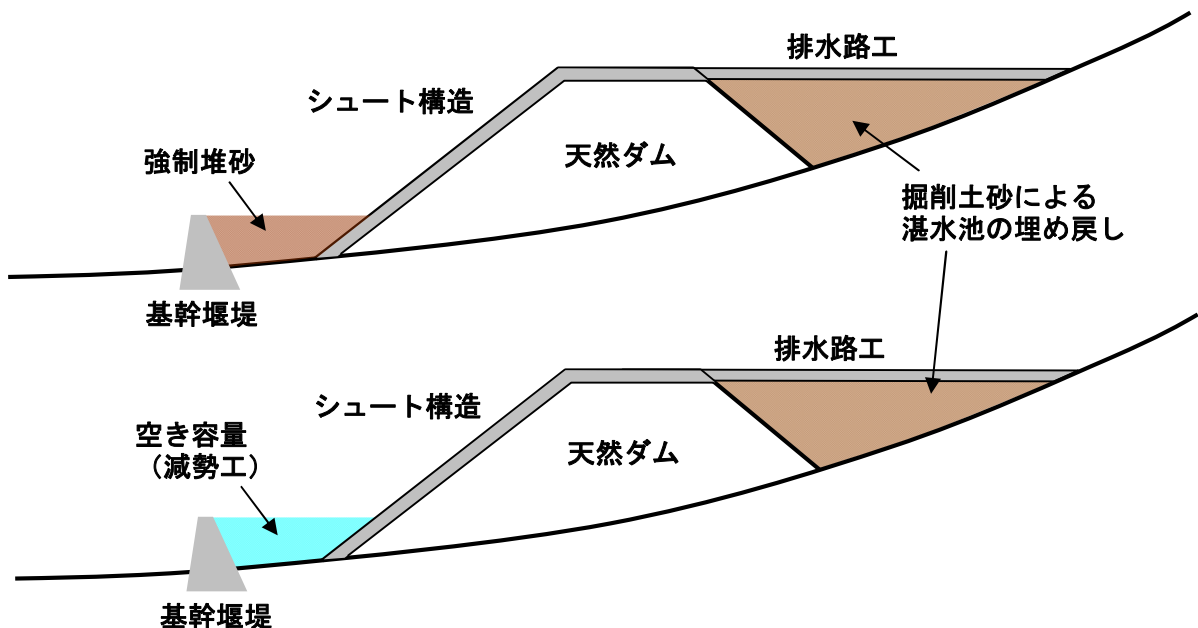


閉塞高が数 10m 程度（最大 30m）で下流面勾配が比較的緩い場合の対策イメージ図

■閉塞高が相対的に高い場合（30m 以上）

- ・ 越流水を安全に流下させて天然ダムの侵食を防止するために排水路工（シュート構造）を設置する。
- ・ シュート底面は粗度を目的としたブロック等により粗度を大きくして流水の流速を減勢させる。また、石礫や流木等の流下によるシュートの破壊を防ぐために可能であれば鉄筋構造（メッシュ筋）等も検討する。
- ・ 越流に伴う天然ダムの侵食が生じた場合、天然ダムの脚部固定によって決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させるために、天然ダム脚部に基幹堰堤を構築する。
- ・ 基幹堰堤の設置による減勢効果によって排水路工の下流端における局所的な洗掘・河床低下を抑制し、天然ダムの侵食を防止する。
- ・ 高い減勢効果を得るために、基幹堰堤を堆砂させるか、空き容量を確保するかどうかは水理模型実験等で確認するものとする。
- ・ 天然ダムの両岸からの土砂流入を抑制する必要がある。
- ・ なお、堰堤工の構造には、天然ダムの浸透破壊のリスクを低減させるため、透水性の高い鋼製続枠・自在枠工、かごマットは使用しない。

*) 「1.3 仮排水路工の設置」に準拠する



閉塞高が相対的に高い場合（30m 以上）の対策イメージ図

3.2 崩壊地からの土砂流出が頻発する場合の対策工法

■崩壊地からの土砂流出が頻発する場合

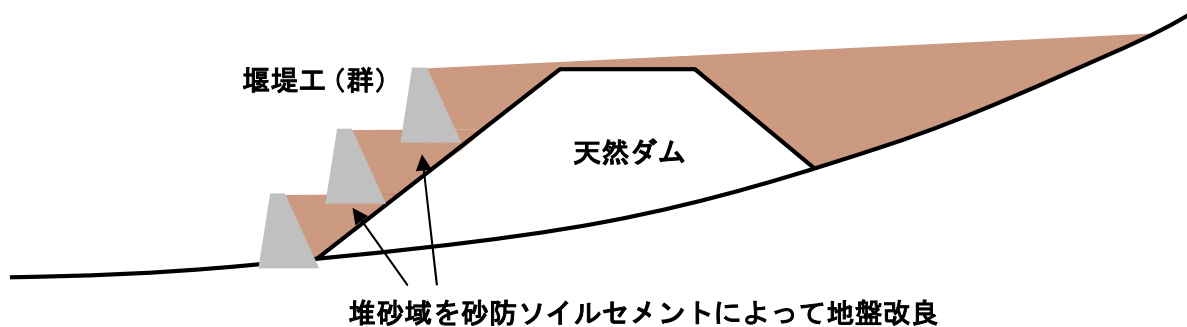
- ・ 崩壊地からの土砂流出が頻発する場合には、排水路工は設置しない。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）た後、天然ダムの安定性を確保するとともに、深層崩壊や地すべりの脚部固定を図り、崩壊地の再崩壊・拡大崩壊や地すべりの再滑動による土砂流出を抑制するために、堰堤工を構築する。
- ・ 堰堤工は天然ダムを包含する形で構築する。また、袖部は地山まで嵌入させる。
- ・ 堰堤工群とする場合は、それぞれの堤体の堆砂域を砂防ソイルセメント等で地盤改良し、その上に堰堤工を設置する。
- ・ 通常の堰堤工同じ構造となるので、基本的に維持管理が不要となる。
- ・ なお、堰堤工の構造には、天然ダムの浸透破壊のリスクを低減させるため、透水性の高い鋼製続枠・自在枠工、かごマットは使用しない。
- ・ 堰堤工等の施工中は、崩壊地からの土砂流出に備えて、施工現場及び堤体本体の保全対策が必要となる。

→ 鋼製続枠・自在枠工、かごマットを使用してはならない理由は以下の通りである。

- ・ 中詰め材の粒径選別や設置など施工に時間を要する
- ・ 構造物から天然ダム内部へ水が浸透し、浸透破壊を助長する可能性がある
- ・ 流水によって中詰め材が構造物から流出する可能性がある
- ・ 構造物上に土砂が堆積した場合、重機で除去することが非常に難しい

（構造物を破損してしまう）

→ 砂防ソイルセメントについては、『砂防ソイルセメント設計・施工便覧 平成 23 年版 財団法人砂防・地すべり技術センター』を参考とする。



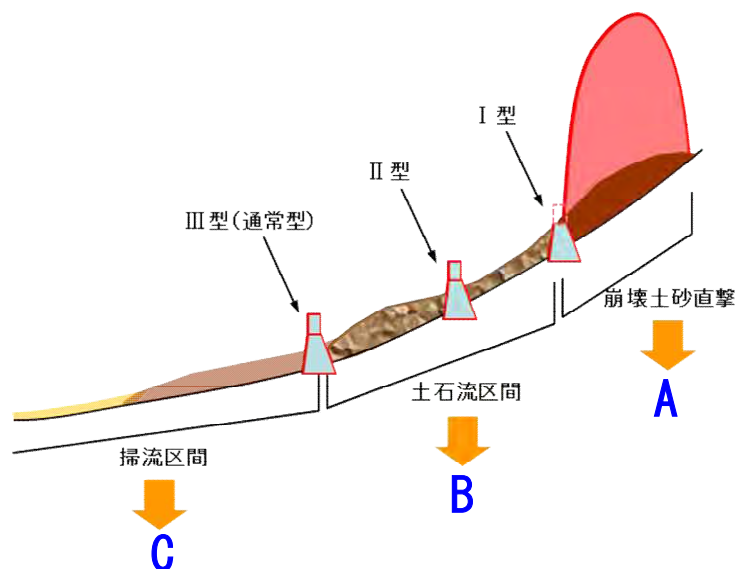
崩壊地からの土砂流出が頻発する場合の対策イメージ図

■崩壊地からの土砂流出が頻発し、閉塞高が相対的に高い場合（30m 以上）

- ・ 可能な限り、天然ダムの切り下げ（掘削）た後、天然ダムの安定性を確保するとともに、深層崩壊や地すべりの脚部固定を図り、崩壊地の再崩壊・拡大崩壊や地すべりの再滑動による土砂流出を抑制するために、堰堤工を構築する。

3.3 深層崩壊に起因する土砂移動現象に対する対策工の考え方（案）

深層崩壊に起因する土砂移動現象は、深層崩壊発生箇所から下流へ流下する過程で土砂移動形態が異なる。このため、対策工については、対象とする土砂移動形態を考慮した上で検討する。



崩壊に起因する土砂移動現象と対策工のイメージ図

■崩壊土砂の直撃区間（A）→ I型砂防堰堤

- ・ 崩壊土砂により砂防施設が埋没・破壊する可能性が高いため、対象現象を設計外力として計上することは困難である。
- ・ 崩壊の発生範囲・誘因が明確な場合は、崩壊の発生防止・抑制を図る。
- ・ 対策工は、崩壊土砂の直撃によって埋没するが、非越流部が土塊を抑える機能を発揮することを目的とする。
- ・ 施設形状は袖無し堰堤とする。
- ・ 安定条件は、極限設計を取り入れ、安定条件を極限まで緩和し、堤体の破壊限界（外力の合力作用線を堤体下流端まで許容、滑動安全率=1.0、堤体の許容応力まで許容）まで許容する。

紀伊山地では、深層崩壊箇所直下に建設されていた砂防堰堤が、崩壊斜面からの再崩壊土砂の直撃により、袖部が破損したが、非越流部は河道閉塞部の土塊を抑える機能を発揮し続け、河道閉塞部の脚部固定効果を発揮した事例がある。



崩壊土砂の直撃により袖部は破損したものの、非越流部が機能を発揮した事例
(平成 26 年台風 11 号時の赤谷地区の 2 号砂防堰堤)

■土石流の流下区間 (B)

B-1: 崩壊土砂が土石流に移行し、大きな流動深・流速で流下する区間

→ II 型砂防堰堤

- ・ 従来の砂防事業で想定する規模を上回る区間である。
- ・ 土石流の流動深が相対的に砂防堰堤の規模に比べて大きく、土石流の流体力・衝撃力が大きいため破壊させる可能性が高いため、対象現象を設計外力として計上することは困難である。
- ・ 対策工は、施設の一部が破壊されても機能を発揮することを目的とする。
- ・ 砂防堰堤の構造は、透過型砂防堰堤を基本とする。
- ・ 安定条件は、極限設計を取り入れ、安定条件を極限まで緩和し、堤体の破壊限界（外力の合力作用線を堤体下流端まで許容、滑動安全率=1.0、堤体の許容応力まで許容）まで許容する。
- ・ 当該区間に既往施設がある場合は、想定される土砂移動現象に対する安定性を評価する。この場合、安定条件は上記の安定条件と同様とし、極限まで緩和する。

■土石流の流下区間 (B) および掃流区間 (C)

B-2, C: 従来の砂防事業で想定する規模の土石流・土砂流が流下する区間

→ III 型砂防堰堤

- ・ 対象現象を設計外力として計上する。
- ・ 砂防堰堤の構造は、現行指針の砂防堰堤の考え方に準じた構造とし、透過型砂防堰堤を基本とする。
- ・ 安定条件は、現行指針の砂防堰堤の考え方に準じた安定性評価とする。

Ⅲ. 現地の状況に応じた対策工法の立案事例

天然ダム対策工法は現地の状況により有効な工法が異なるため、紀伊山地及び他地域の事例における天然ダム対策の実績に基づき、現地の状況に応じた対策工法の考え方を示す。

1. 資機材の輸送方法

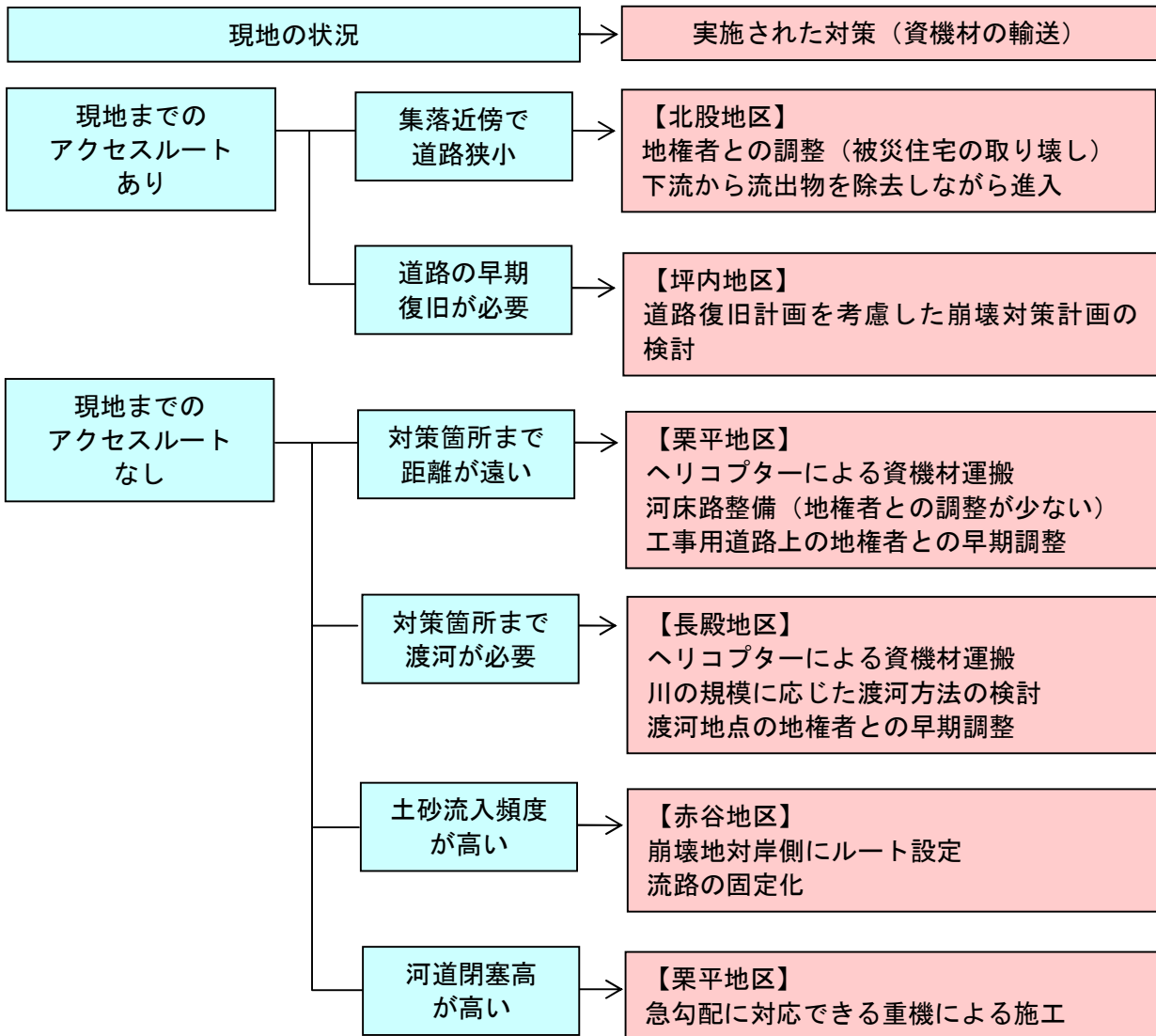
■天然ダムへのアクセスルートの確認

- ・ 天然ダムへのアクセスルートについては、
 - 1) 被災地域外から天然ダム周辺までの広域ルート
 - 2) 天然ダム周辺からのアクセスルートに着目して確認する。
- ・ 2)については、天然ダムにアクセス可能な道路、登山道、里道、鉄道（廃線を含む）の有無を確認する。
 - 重機・資機材の搬入の可否および搬入能力の限界、対策工事の効率性検討
- ・ 新規の重機ルート（湛水池における台船を含む）や工事用道路の整備等を考慮し、周辺地形条件（起伏、谷形状、斜面勾配等）を把握する。
 - 重機による新規整備ルートの選定
 - ヘリコプター： 吊り下げ飛行が可能なルートとヘリポートの検討

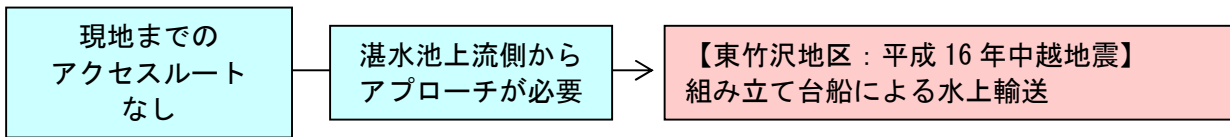
天然ダムの対策工事は、排水路工や侵食対策工といった大規模な土工となることから、重機や資機材を大量に輸送する運搬手段を確保するため、天然ダムへのアクセスルートを確認する必要がある。

天然ダム対策工事の資機材輸送は、大量輸送となることから、既設道路から天然ダム対策工事区域までの工事用道路を設置する。ただし、陸路の完成まで資機材の運搬を待つことはできないため、陸路が確保されるまでの間、空路等の代替手段を確保する必要がある。

【対策事例の分類】



<参考>



(1) 集落近傍の小溪流に工事用道路を設置する場合（北股地区）

■対策の概要

北股地区の崩壊は、北股集落近傍の土石流危険渓流で発生しており、渓流からの大量の流木流出によって谷出口付近の集落が被災し、渓流に進入するための道路も被災していた。このため、一部の被災住宅を取り壊した上で、北股川を渡河する仮設橋を設置し、流木を撤去しながら土石流危険渓流に進入するための工事用道路を設置した。

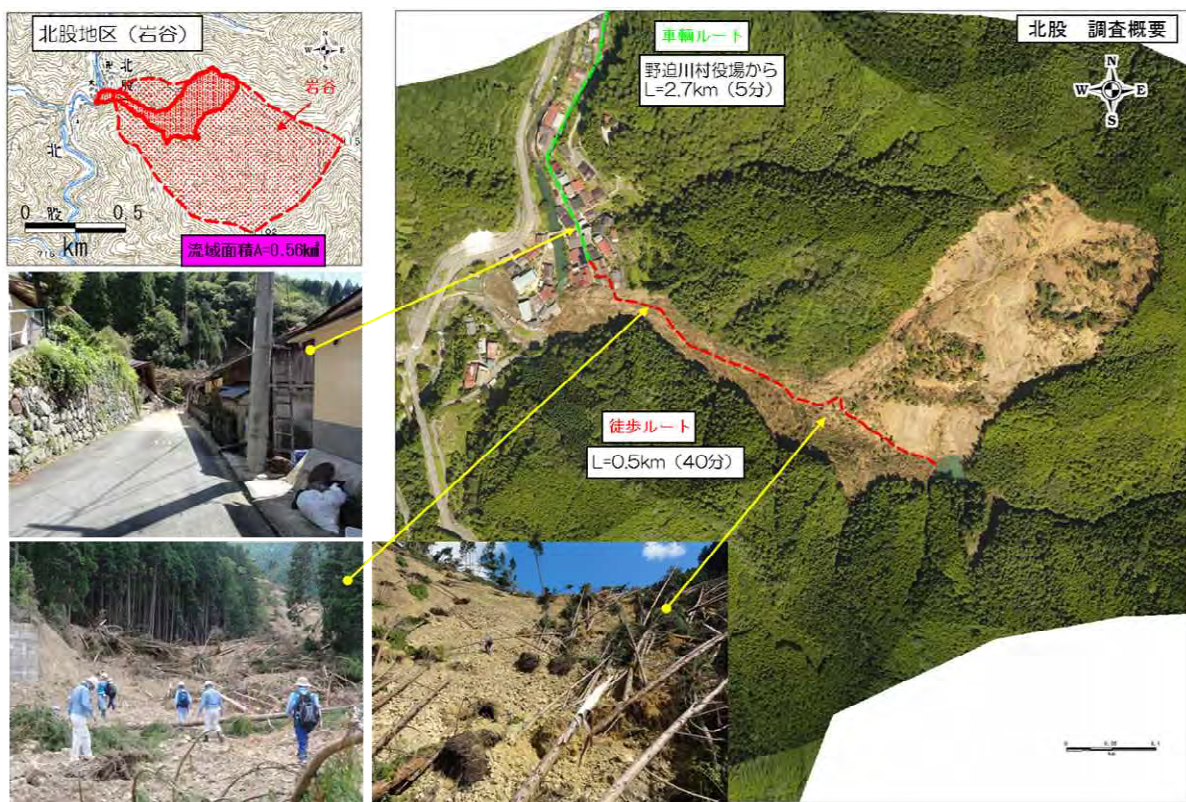
また、北股地区の周辺道路が狭小な道路が多いため、北股地区への資機材の搬入に使用できるアクセス路が限定されていた。

■対策工事中の課題

- ・ ①：進入路整備にあたって地権者との調整が必要となる
- ・ ②：谷幅が狭く工事用道路と施工スペースが干渉する
- ・ ③：天然ダムまでのルート上に流木が大量に堆積している

■課題への対策

- ・ ①：地権者との調整を早期に実施する
地元の人材活用
- ・ ②：狭いスペースでも使用可能な重機の選定
- ・ ③：下流から重機とチェーンソーによる流木撤去作業の実施



北股地区の道路状況

■対策事例①：リエゾン，地元の人材の活用

- ・北股地区では，崩壊が北股集落近傍で発生しており，溪流からの大量の流木流出によって谷出口付近の集落が被災し，溪流に侵入するための道路も被災していた。
- ・北股地区の周辺道路は狭小な道路が多いため，北股地区への資機材の搬入に仕様できるアクセス路が限定されていた。
- ・そこで，北股地区では，工事用道路の設置にあたって，集落内道路の通行を最小限とすることを目的に，旧北股小学校から北股川を仮設橋にて渡河するルートを選定した。
- ・これにあたり，土石流危険溪流工事用道路沿いに位置する一部の被災住宅を取り壊す必要があった。地元関係者との調整は，役場に派遣されていたリエゾンが仲介した。



仮設橋の設置（北股地区）

<有効だった点>

- ・北股地区では，工事用道路の設置にあたって，集落内道路の通行を最小限とすることを目的に，旧北股小学校から北股川を仮設橋にて渡河するルートを選定した。
- ・この場合，土石流危険溪流工事用道路沿いに位置する一部の被災住宅を取り壊す必要があったが，地元関係者との調整について，役場に派遣されていたリエゾンが仲介によりスムーズに対応可能となった。
- ・施工を進める際には，民有地内での作業となる。外部から来た人間にとっては大したことないことでも住民にとっては重要な場合が多々あるため配慮が必要である。
- ・北股地区では倒木処理を野迫川村の森林組合および地元業者 3 社に委託する等、地元の人材を有効活用することで地元の人材の協力を得，作業を効率的に進めることができた。
- ・野迫川村森林組合は，建設業の許可を取得していなかったが，奈良県の入札参加資格を取得していたため，緊急対策であることを考慮して，対応可能とした。

<課題となった点>

- ・北股地区では，警戒区域が設定されていたため，地元住民から「住民が警戒区域内に入れない中で，なぜ工事関係者だけが警戒区域に入れるのか？」という意見があった。したがって施工を進める際は，地元住民に対して緊急対策工事を行っていることがわかってもらえるようコミュニケーションに配慮する必要がある。

■対策事例②：狭いスペースでも使用可能な重機の選定

- ・可能な限り工事用道路と作業スペースはわけるべきであるが、北股地区は、谷幅が狭いことから、砂防堰堤工等一部の工事において、作業スペース内を工事用道路が通過することとなった。そのため、狭い場所でも作業可能な重機を導入した。

<有効だった点>

- ・北股地区では、狭いスペースでも作業可能となるよう全旋回のキャリーダンプやリーダーレス型のバックホウ等を導入し、作業進捗の効率化を図った。



崩壊地内に設置された工事用道路（北股地区）



全旋回型の不整地運搬車（北股地区）

<今後に向けた提案>

- ・北股地区のように、谷幅が狭く工事用道路と施工スペースが干渉する場合には、できるだけ早期に工事用道路を山裾に設置し、アクセス道と作業範囲を分けるべきである。

■対策事例③：下流から重機とチェーンソーによる流木撤去作業の実施

- ・北股地区では、河道閉塞部下流面に大量の流木が堆積していた。
- ・大量の流木は、絡み合って堆積していたことから、重機だけでは倒木除去が難しかった。
- ・そこで、バックホウに倒木をつかむためのアタッチメントをつけて倒木を引っ張り出し、チェーンソーで玉切り処理を実施してから搬出した。

<課題となった点>

- ・玉切りにあたって、チェーンソーの作業時間が労働基準法で定められているので、作業能力に限界があった。（伐採作業で1連続操作は10分以内で1日の操作時間は2時間以内）
- ・流木処理に時間を要したため、北股地区では、河道閉塞対策箇所の現場に入るまでに1週間程度要した。

① 進入路設置状況



進入路整備状況（北股地区）

(2) 崩壊地内の既設道路の復旧が優先される場合（坪内地区）

■対策の概要

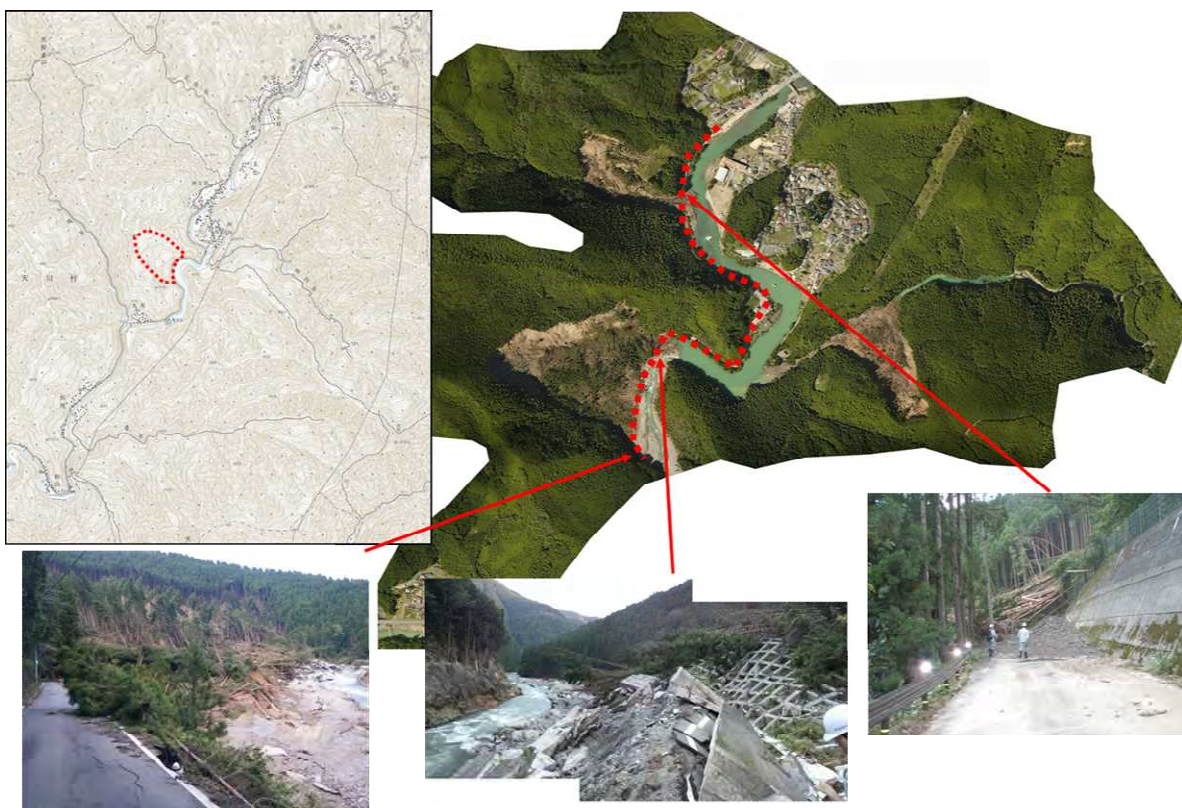
坪内地区では、熊野川本川沿いに道路部局が先行して復旧させた県道をコントロールポイントとして、河道法線、河道断面を設定し対策を進めた。

■対策工事中の課題

- ・ 復旧道路を対策全体のコントロールポイントとすることとなった

■課題への対策

- ・ 対策計画と一体化した道路の復旧計画の検討



坪内地区の道路状況

■対策事例①：復旧された道路法線を条件とした対策の実施

- ・坪内地区では、道路部局が先行して復旧させた県道をコントロールポイントとして、河道法線、河道断面を設定し対策を進めた。

<課題となった点>

- ・坪内地区では、深層崩壊による流出土砂が熊野川本川に流出したため、河道断面が大幅に縮小しており、対策として河道拡幅等による流下能力の向上が必要であった。
- ・しかし、復旧道路が先行して計画、整備されていたため、復旧道路法線を規定条件として対策することとなり、結果的に、熊野川本川の計画流量に対応した河道断面を確保するために、崩壊地对岸の地山を掘削する大規模な対策を実施することとなった。
- ・天然ダム対策を実施するエリア内で道路の復旧計画等がある場合、関係機関間で協議し、道路復旧計画と天然ダム対策計画を一本化した計画を立案検討する必要があった。



道路復旧と対岸掘削箇所の状況（坪内地区）



深層崩壊により寸断された県道の状況（坪内地区）



深層崩壊地の崩積土上に復旧された県道（坪内地区）



河道断面を確保するための対岸掘削状況（坪内地区）



対岸掘削前の状況（坪内地区）



対岸掘削後の状況（坪内地区）

(3) 既設道路から対策工事箇所までの距離が離れている場合（栗平地区）

■対策の概要

栗平地区の崩壊は、既設林道の終点から3kmほど上流の栗平川沿いで発生しており、現地にアクセスするための道路が存在しなかった。人員の移動にあたっては、栗平川沿いにある里道を徒歩で移動するか、ヘリコプターによる上空からの進入のどちらかの手段しかなかった。そこで栗平地区では、早期に陸路を確保するため、栗平川の河床に工事用道路を設置することとした。

■対策工事中の課題

- ・ ①：車両による資機材の搬入ができない
- ・ ②：新規道路整備にあたって地権者との調整に時間を要する
- ・ ③：早期に新たな工事用道路を整備する必要がある

■課題への対策

- ・ ①：緊急対応はヘリコプターにより資機材、人員を搬入する
- ・ ②：地権者との調整を早期に実施する
地権者との調整が少ないルートを選定
- ・ ③：河床道路の整備



栗平地区の道路状況

■対策事例①：ヘリコプターによる資機材，人員の搬入

- ・栗平地区では、天然ダムまでの陸路がなく、資機材の搬入方法がヘリコプター輸送のみであった。民間ヘリの最大輸送能力は3t程度であることから、大型の建設重機を空輸することは難しかった。そこで、緊急対応にあたっては、3t未滿までパーツを分解できる分解型重機を活用した。
- ・最初にヘリコプターで輸送が可能な0.08m³級バックホウやカニクレーンを搬入し、ヘリポートの設置や重機組み立てヤードの造成といった準備工を行った。その後、分解した重機をヘリコプターで現地に搬入し、カニクレーンを仕様して組み立てた。
- ・対策箇所までのアクセスルートがなく、既設道路から対策箇所までの距離も離れていたため、作業人員についてもヘリコプターで輸送した。



ヘリコプターによる分解型重機の輸送



分解型重機（バックホウ）の組立状況（栗平地区）

2011年紀伊半島大水害 災害対応の記録，国土交通省近畿地方整備局

<課題となった点>

- ・ヘリコプターで運搬できるバックホウを使用した工事を進めることができたが、不整地運搬車やブルドーザといった分解型ではない重機を使った作業についてはバックホウで代替したため施工効率が大幅に落ちた。

- ・ヘリコプターは、明るい時間帯に出発、帰着する必要があるため、時間的制約があることに加え、気象条件によって飛行できない場合があることから、陸路と比較して空路は輸送の安定性が劣った。

<課題となった点>

- ・ヘリコプターによる人員輸送は、パイロットを除く5人乗りヘリコプターで30人の作業員を送り出すだけで1時間程度必要であり、現地での作業時間が制約されてしまった。
- ・作業効率の向上のため、天然ダム下流側で従事する作業員については、河床道路整備後は、ヘリコプターより廉価で、天候や昼夜を問わず使用可能な水陸両用車による輸送としたが、礫が多い河床道路で酷使したため、故障が頻発してしまった。
- ・履帯式の雪上車についても試験したが、雪ではない河床道路ではカーブの抵抗が大きすぎて使用できなかった。
- ・作業効率を向上させるために、車両系のトラック等が通行可能となる工事中道路の整備が必要であった。



水陸両用車（栗平地区）



雪上車（栗平地区）

工事が困難な状況下での天然ダム対策工事～栗平地区河道閉塞緊急対策工事～，大成建設株式会社

■対策事例②：地権者との調整が少ないルートを選定

- ・河道閉塞箇所への陸路整備にあたり、山間部に道路を設置する場合、計画ルート上の地権者の確認及び調整に時間を要することから、陸路を整備するまでに時間を要してしまう。
- ・そこで、早期に進入路を確保するため、地権者との調整が極力少なくなる栗平川の河床に工事用道路を設置する計画とした。
- ・河床道路の整備にあたっては、十津川村漁業協同組合に工事の承諾を得るとともに、河床幅が狭い箇所や落差が大きな箇所は借地を行う必要があったことから、地権者に同意をお願いした。

<課題となった点>

- ・地権者の中には、離村している人や亡くなっている人がおり、地権者の確認に時間を要した。
- ・最終的に全ての地権者の同意は得られず、一部ルートを変更することで着手に至った。

■対策事例③：河床道路の整備

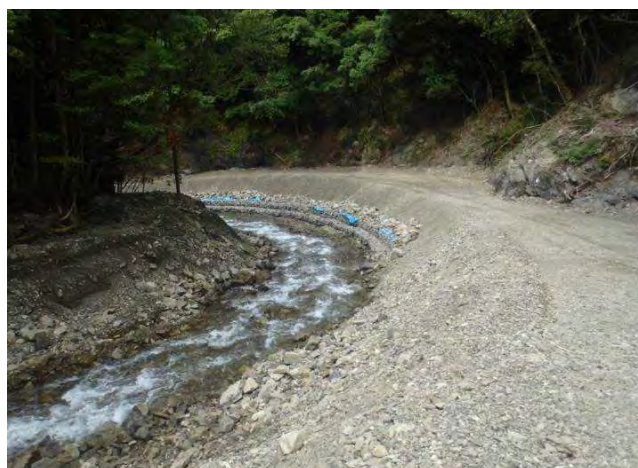
- ・栗平地区では、地権者との調整が比較的少なく、早期に整備可能な工事用道路として河床道路の整備を採用した。

<有効だった点>

- ・河床道路の整備により、大型重機の搬出入が可能となるとともに、天候に左右されることなく、陸路で作業員が現地に入ることが可能となり、作業工程が計画しやすくなった。
- ・急な荒天時に、陸路での待避が可能となった。

<課題となった点>

- ・河床に設置した道路は、出水のたびに路面が流水に浸かって被災してしまうため、その都度道路の復旧活動を実施していた。
- ・さらに頻繁に流水に浸かるため、路面状況が悪く、通過できる車両が限定されるという課題を有していた。
- ・また、工事用道路を車両が通行している時間は、ポンプ排水の運転を一時停止させて、下流河道の水位を低下させる必要があった。



河床道路の設置状況（栗平地区）

<有効だった点>

- ・栗平地区では、当初、河床道路としたことから、車両系のトラック等が通行不可能であったため、資機材の運搬を不整地運搬車により実施した。
- ・栗平地区の河床道路は、林道の終点とつながっており、トラックから不整地運搬車への資機材の積み替えを林道の幅のある箇所で行う必要があった。
- ・しかし不整地運搬車は、林道を走行することが道路交通法で禁止されていることから、警察署と相談のうえ、十津川村役場から道路占有許可をとることで、不整地運搬車の林道走行を可能とした。



不整地運搬車（栗平地区）

工事が困難な状況下での天然ダム対策工事～栗平地区河道閉塞緊急対策工事～，大成建設株式会社

(4) 対策工事箇所にアクセスするために渡河が必要となる場合（長殿地区）

■対策の概要

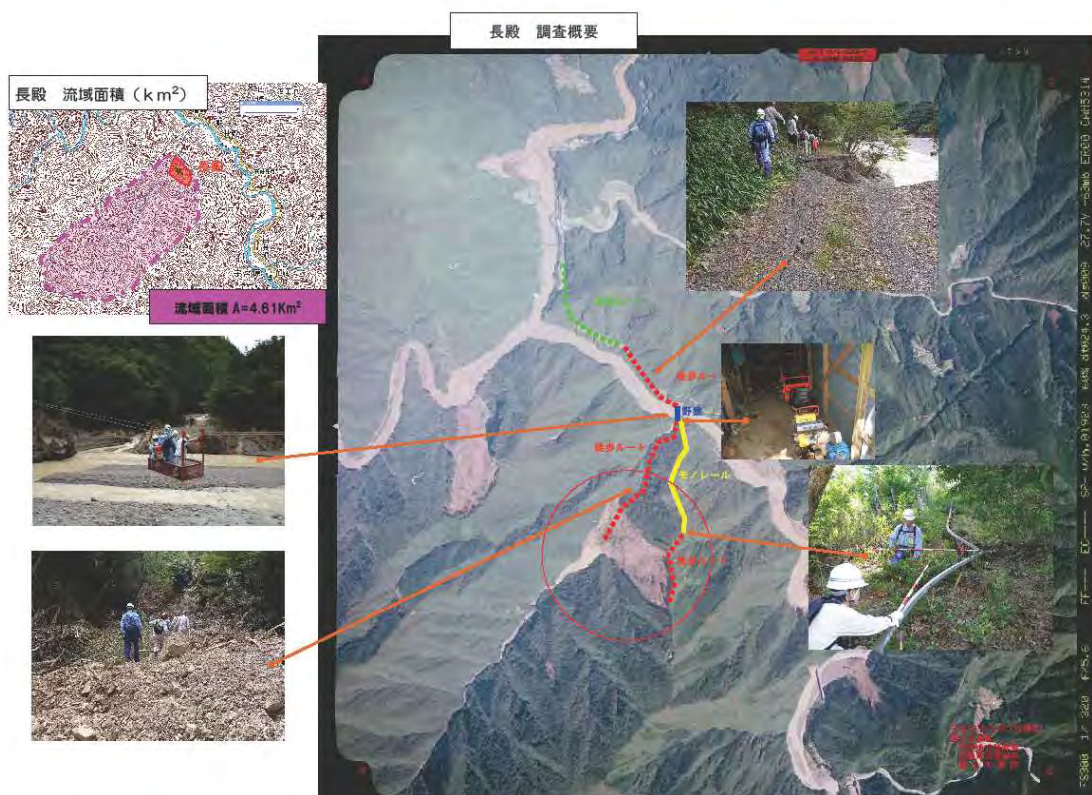
深層崩壊が発生した長殿谷は、国道 168 号が通過する熊野川左岸の対岸にある溪流であり、溪流にアクセスするための既設道路は存在しなかった。このため、人員の移動にあたっては、人員のみ熊野川を渡河できる野猿を使用するか、ヘリコプターによる上空からの進入のどちらかの手段しかなかった。そこで、長殿地区では、早期に陸路を確保するため、熊野川本川を渡河するかたちで工事用道路を設置することとした。

■対策工事中の課題

- ・ ①：車両による資機材の搬入ができない
- ・ ②：渡河地点の地権者との調整が必要
- ・ ③：簡易な渡河道路は頻繁に流失する

■課題への対策

- ・ ①：緊急対応はヘリコプターにより資機材を搬入する
- ・ ②：地権者との調整を早期に実施する
地権者との調整が少ないルートを選定
- ・ ③：適切な渡河位置の選定
河川の規模に応じた渡河手段の選定



長殿地区の道路状況

■対策事例①：ヘリコプターによる資機材搬入

- ・長殿地区では、一部の人員について野猿による移動を実施していたが、多量の人員輸送は野猿への負荷が大きかったことから、人員の移動、資機材の搬入ともヘリコプターによる輸送を基本とした。このため、分解型重機であるバックホウを使用して、河道閉塞天端の開水路の施工を先行して進めた。



ヘリコプターによる分解型重機の輸送（長殿地区）



カニクレーンによる分解型重機の組み立て（長殿地区）

■対策事例②：地権者との調整

- ・長殿地区では、渡河部において私有地を通過する必要があるため、地権者と調整しながら工事用道路の整備を進めた。しかし仮設橋の設置にあたって、私有地側に大規模な改変が必要となったことから、地権者との調整が難航し、最終的に当初のルートが使用できない事態となった。このため、資機材の搬入ルートは常に複数案を検討する必要があった。

■対策事例③：河川の規模に応じた渡河手法の検討

- ・渡河道路は、台風等の出水時には流失する危険性がある。したがって渡河道路は、横断する河川の規模に応じて、流失を防止できる構造を検討する必要がある。

<課題となった点>

- ・長殿地区では、熊野川本川の渡河方法として、当初コルゲート管+盛土で熊野川本川に渡河道路を設置し、長殿谷に進入する工事用道路を整備した。
- ・このとき、熊野川本川に設置するコルゲート管は大口径のものを用意したが、熊野川本川が増水するたびに流失し、長期間通行止めになってしまうという課題を有していた。
- ・そこで、熊野川支川となる川原樋川に仮設橋を設置し、川原樋川沿い及び熊野川沿いに長殿谷合流点まで工事用道路を設置した。
- ・ただし、熊野川本川沿いに道路を設置したため、増水のたびに被災し、その都度復旧活動が必要となる課題は残っていた。

※発災時：当該民有地に熊野川を横断する野猿が設置されていたため、一部の人員は野猿を使用していたが、多量な人員の輸送は野猿への負荷が大きかったことから、資機材や作業員は基本的にヘリを使用していた。



野猿による渡河（長殿地区）

※緊急対策工施工段階：熊野川本川にコルゲート管+盛土で渡河道路を設置し，対岸民有地から長殿谷に進入する工事用道路を設置したが，熊野川本川が増水するたびに流失した。



コルゲート管による渡河道路（長殿地区）

※民有地使用停止後：川原樋川沿いに仮設橋を設置し，川原樋川及び熊野川沿いに長殿谷合流点まで工事用道路を設置した。



仮設橋による渡河（長殿地区）

(5) 河道閉塞部への土砂流入頻度が高い場合（赤谷地区）

■対策の概要

赤谷地区では、赤谷川沿いに工事用道路を設置していたが、崩壊地からの土砂流入が頻繁に発生し、その都度赤谷川沿いの工事用道路が流失していた。そこで赤谷地区では、バックホウで流路を形成し、流路の固定化を図った。また、赤谷川下流部で渡河し、崩壊地对岸側に工事用道路のルートを設定した。

■対策工事中の課題

- ・ ①：土砂流入による道路の被災リスクが高い
- ・ ②：土砂流出による河床変動が激しい
- ・ ③：土砂流出によって道路が被災した場合、早期の状況把握が難しい

■課題への対策

- ・ ①：崩壊地对岸側にルートを設定する
- ・ ②：流路をできるだけ固定する
- ・ ③：UAVによる被災状況確認



崩壊地对岸側への工事用道路設置（赤谷地区）

■対策事例①：崩壊地对岸側へのルート設定

- ・河道閉塞部への土砂流入頻度が高い場合、できるだけ工事用道路ルートを崩壊地から離すことで、工事用道路の被災リスクを低減させる。

<有効だった点>

- ・赤谷地区では、赤谷川下流部に赤谷オートキャンプ場及び奈良教育大学施設が存在したため、赤谷大橋から赤谷川右岸側に進入可能であった。
- ・しかし、赤谷地区の深層崩壊は、赤谷川右岸側で発生していたことから、工事用道路は赤谷川左岸側に設置するものとし、赤谷川下流部に渡河地点を設置した。
- ・当初はコルゲート管+盛土での渡河としていたが、土砂流出が頻繁であり、その都度渡河道路が流失していたことから、仮設橋による渡河に変更した。



赤谷川渡河部の状況（赤谷地区） 上：コルゲート管、下：仮設橋

■対策事例②：流路をできるだけ固定する

- ・赤谷地区では，崩壊地からの土砂流入が頻繁に発生していたため，下流への土砂流出による河床変動が著しいという特徴があった。
- ・このため，上流からの土砂流出に伴う河床上昇によって，赤谷川沿いに設置した工事用道路も頻繁流失していたため，流路の固定化を図った。



赤谷川沿いの工事用道路の河床変動（赤谷地区） 上：平常時、下：出水時

<有効だった点>

- ・ 河床上昇による道路流失を防ぐため、流路部分の土砂をできるだけ掘削し、流路の固定化を図った。
- ・ その結果、出水時に河道幅いっぱいに流水が流れるといった状況が減少し、工事中道路の流失回数も減少した。



赤谷川流路の河道掘削（赤谷地区）

■対策事例③：UAVによる被災状況確認

- ・ 赤谷地区では、崩壊地からの土砂流入が頻繁に発生しており、河道閉塞部までのアクセス路が寸断され、現場の状況がすぐに把握できない状況が発生していた。
- ・ 赤谷地区を含む複数地区において、台風による出水後に河道閉塞箇所の状況を早期に把握するため、UAVによる河道閉塞箇所の撮影を実施した。



UAVによる出水後の河道閉塞部の撮影（赤谷地区） 平成26年8月 台風11号

(6) 河道閉塞高が高い場合（栗平地区）

■対策の概要

栗平地区では、工事用道路として河床路を整備しており、天然ダム下流から工事用道路の整備が進められた。しかし、河道閉塞高が約 100m と非常に高く、迂回路もないため、河道閉塞部下流面の急勾配を登坂する必要があった。

■対策工事中の課題

- ・ 急勾配区間を登坂する必要がある

■課題への対策

- ・ 急勾配に対応可能な重機で運搬できる資機材での施工内容を検討する

■対策事例：急勾配に対応な重機による施工

- ・ 栗平井地区では、河床に道路を設置したため、河道閉塞部天端までアクセスするためには、河道閉塞部下流面を登坂する必要があった。
- ・ 登坂区間を通過できる車両がクローラ系の重機等に限定されるため、登坂路を通過できる重機の種類によって、施工箇所で使用できる資機材が左右された。



河道閉塞部下流法面に設置された工事用道路（栗平地区）

(7)参考：湛水池上流側からアプローチが必要な場合（東竹沢地区／中越地震）

■対策工事中の課題

- ・ 湛水池上流側からアプローチするため、水上を輸送する必要がある

■課題への対策

- ・ 組み立て台船により資機材を水上輸送する

■対策の概要

- ・ 平成 16 年新潟県中越地震時の東竹沢地区では、当初対策箇所までのアクセスルートがなかったため、資機材の搬入方法として、小さな重機を分解して自衛隊のヘリで空輸し、現地で組み立てていたが、輸送路確保の急務から大型重機の搬入が必要となった。

■対策事例：組み立て台船による資機材の水上輸送

- ・ 平成 16 年新潟県中越地震時の東竹沢地区では、湛水池上流側からアプローチするために、組み立て台船を用いて、水上輸送により大型重機を現地に搬入していた。



組み立て台船による大型重機の水上輸送
(東竹沢地区／平成 16 年新潟県中越地震)

2. 湛水池の排水方法

2.1 ポンプ排水

■特徴

- ・ 天然ダム対策工事の実施，ならびに緊急的な湛水位の水位上昇抑制・低下のために排水ポンプにより，湛水池から天然ダムの下流河道に水を排水する。
- ・ 比較的容易に設置することができ，確実に排水することが可能。

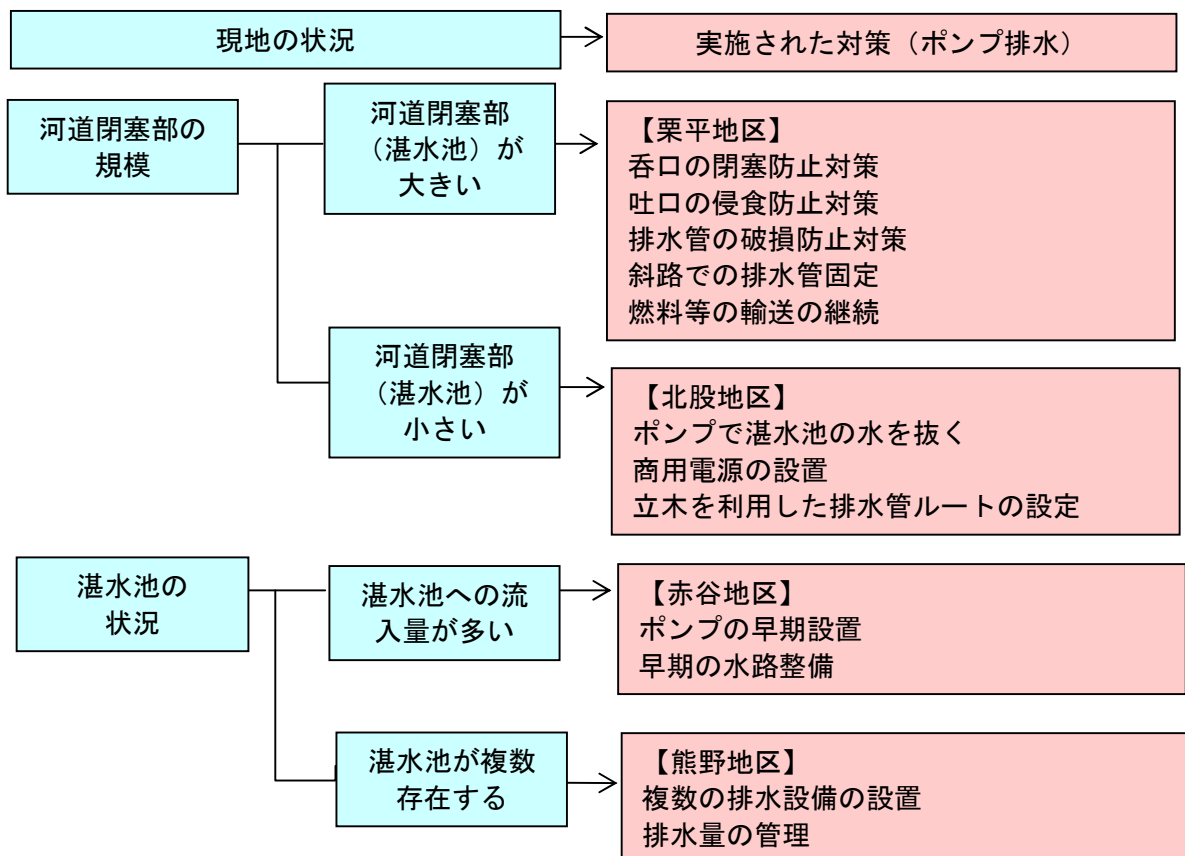
【留意点】

- ・ 基本的には人力による操作が必要である。
- ・ 揚程によって排水能力に限界が生じることに留意する必要がある，さらに発動発電機によって排水するために，燃料コストが膨大となる。
- ・ ポンプ排水は原則として一時的に水位を低下させるための仮設工である。

可搬式の排水ポンプは，水路と比較して排水能力が小さいことから，湛水池の水位上昇を抑制することが設置目的となる。したがって，ポンプ排水により水位上昇が抑制されている間に開水路等の別の排水方法の検討・施工を実施する必要がある。

ポンプ排水の設置は，以下の状況に応じて進める。

【対策事例の分類】



(1)河道閉塞部（湛水池）が大きい場合（栗平地区）

■対策の概要

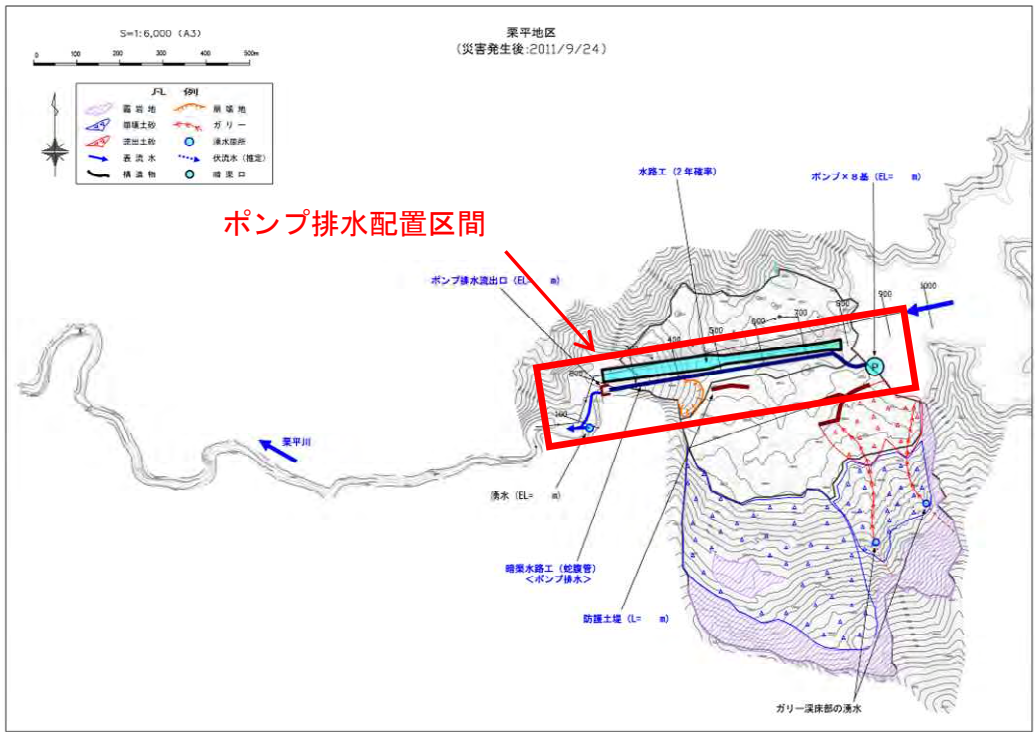
- ・栗平地区の河道閉塞部は、河床縦断方向の延長が750m程度、河道閉塞高が約100mと延長、比高差とも他の箇所と比較して、大きいことが特徴。
- ・栗平地区は湛水池が非常に大きく、すぐに越流する状況ではなかったが、水位が徐々に上昇しており、今後の施工にあたって、湛水池の水位上昇抑制が必要になると判断されたことから、仮排水路の整備と合わせて、ポンプ排水設備を設置するとともに排水ホース（高密度ポリエチレン管）を河道閉塞部に設置した。
- ・栗平地区では、資機材の搬入方法がヘリコプター輸送のみであったことから、ポンプ排水の資機材をヘリコプターにて輸送するとともに、バックホウを利用して排水ポンプを設置した。
- ・河道閉塞部が大きく、河道閉塞部下流面への排水管の固定に時間を要したことから、ポンプ排水の開始まで2ヶ月程度要した。

■対策工事中の課題

- ・ ①：排水管が長くなるため閉塞した場合に除去が困難である
- ・ ②：水位低下時にポンプが斜面に乗り上げた場合に移動が困難である
- ・ ③：吐口での侵食が懸念される
- ・ ④：流水により排水管が暴れて破損する
- ・ ⑤：斜路では排水管の固定が難しい
- ・ ⑥：ポンプ排水は燃料消費が著しい

■課題への対策

- ・ ①：呑口部の閉塞防止対策の実施
- ・ ②：設置時にポンプを沖合に配置
- ・ ③：吐口部の侵食防止対策の実施
- ・ ④：排水管の破損防止対策の実施
- ・ ⑤：排水管のはずれ防止対策の実施
- ・ ⑥：燃料輸送の継続実施



栗平地区のポンプ排水状況



ヘリコプターによるポンプ資機材の輸送（栗平地区）

栗平地区河道閉塞仮排水路工施工状況資料，平成 26 年 3 月，大成建設株式会社

■対策事例①：呑口部の閉塞防止対策の実施

- ・栗平地区は、河道閉塞規模が大きいことから、ポンプ排水の排水管の延長が非常に長くなった。
- ・排水ホースの延長が長くなると、排水ホース内に流木等が混入した場合に閉塞箇所の特定や閉塞物の除去が困難である。
- ・そこで、ポンプ排水の実施にあたっては、流木等の吸い込みを防止するため、ポンプ呑口周りの閉塞防止措置（スクリーン設置等）を実施した。

■対策事例②：設置時にポンプを沖合に配置

- ・栗平地区は、水位低下時にポンプが湛水池斜面に乗り上げてしまうことが懸念された。
- ・湛水池斜面は足場が非常に悪いため、湛水池斜面にポンプが乗り上げてしまった場合、重機での移動が困難である。
- ・そこでポンプを筏に浮かべて、排水ポンプをできるだけ沖合に配置した。
- ・栗平地区では排水ホースの管径を大きくしたことにより、サクションホースの重量が重くなったため、資機材の設置移動にはバックホウ等の重機を使用した。



バックホウによる排水ポンプ設置状況（栗平地区）

栗平地区河道閉塞仮排水路工施工状況資料，平成26年3月，大成建設株式会社

■対策事例③：吐口部の侵食防止対策の実施

- ・排水ホース吐口には大量の流水が流下することになることから、ポンプ排水の吐口部は、できるだけ河道閉塞部下流河道まで延伸させるとともに、侵食防止対策を実施する必要がある。
- ・栗平地区では、大型土のう及びビニールシートにより、侵食防止対策を実施した。



排水ホース設置吐口部の状況（栗平地区）

■対策事例④：排水管の破損防止対策の実施

- ・ポンプ排水は、排水管の設置位置をある程度柔軟に設定することが可能であるが、流水が通過する際に排水管が暴れることから、流末部や勾配変化点等、排水管が暴れることによって管路の破損が想定される箇所については、排水管の破損防止対策（例えば、塩ビ管等を用いて排水管を固定する、養生シート等によって排水ホースの擦れを防止する、等）が必要となる。

<有効だった点>

- ・栗平地区では、単管パイプにより排水管を固定した。



排水ホースの固定状況（栗平地区）

■対策事例⑤：排水管のはずれ防止対策の実施

- ・排水による越流侵食を防止するため、排水ホースの吐口は、河道閉塞部下流まで延伸する。
- ・斜路に排水ホースを設置する際には、排水ホースが移動しないよう、必ず排水ホースを斜路に固定する必要がある。
- ・河道閉塞部が大きい場合、下流斜面延長が長くなるため、排水ホースの固定に時間を要することがある。

<有効だった点>

- ・栗平地区では、安定して排水管を配置するため、排水管ルート上を複数のバックホウで床付けた。特に斜面部では接続部が外れることを防止するため、高密度ポリエチレン管の接続部のジョイントが強固なものを選定した。
- ・北股地区では、斜路に排水管を固定するため、設置箇所地盤を改良して杭を打設し、上流側杭より管路を固定した。



斜路への排水ホース設置状況（栗平地区）

■対策事例⑥：燃料輸送の継続実施

- ・ ポンプ排水の電源に発動発電機を使用する場合，毎日大量の燃料が必要となり，燃料代が非常に高額になってしまう。
- ・ 栗平地区は，天然ダム形成地点が，集落から離れており，集落からの通電設備の設置も困難であったことから，燃料が入ったドラム管を継続的に輸送した。
- ・ 燃料輸送は，河床道路完成前はヘリコプター，河床道路完成後は不整地運搬車を使用した。



ヘリコプターによるドラム管の運搬（栗平地区）

- ・ 発電機には燃料タンクが必要となるとともにそれぞれにオイルフェンスが必要となるが，発電機・タンク・オイルフェンスが一体となったタイプとすることで，緊急時に移動や撤去がしやすい。
- ・ 燃料タンクを接続しない場合は「電気設備技術基準」の常時監視をしない発電所施設に該当するため，監視員の常時配置も不要となる。



発電機・燃料タンク・オイルフェンスを設置した状態（左）と一体型発電機（右）

(2) 河道閉塞部（湛水池）が小さい場合（北股地区）

■ 対策の概要

- ・ 北股地区は、集落近傍の土石流危険渓流内に形成された河道閉塞箇所であり、河道閉塞部上流の流域面積が0.3km²と他の箇所と比較して流域面積が小さい特徴を有していた。
- ・ 他箇所と比較して湛水池が小規模であり、平常時は目立った表流水は確認されないが、降雨時には急激に出水するため湛水池の水位上昇が著しいという特徴を有していた。

■ 対策工事中の課題

- ・ ①：湛水池が小さい場合、湛水位が上昇しやすい
- ・ ②：河道閉塞部が狭い場合、排水管の設置スペースが限られる
- ・ ③：ポンプ排水は燃料消費が著しい

■ 課題への対策

- ・ ①：湛水池の規模が小さい場合は湛水池の水をできるだけ抜く
- ・ ②：作業スペースを避けて排水管を設置する
- ・ ③：河道閉塞部まで通電設備の設置

■対策事例①：湛水池の水をできるだけ抜く

- ・湛水池への流入量を超えるポンプの排水量を確保できる場合、ポンプ排水は有効な対策である。

＜有効だった点＞

- ・北股地区では、上流の流域面積が小さく、平常時の上流からの流入量は $0.3\text{m}^3/\text{min}$ と小さい状況であった。
- ・これに対して、排水能力は $0.8\text{m}^3/\text{min}$ のポンプを設置することにより、湛水池の水を抜くことができた。
- ・ポンプ排水は、揚程によって排水能力が大きく変わることに留意する必要がある。

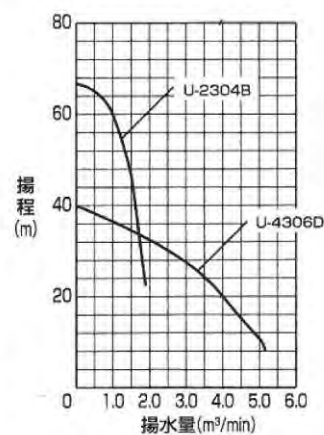
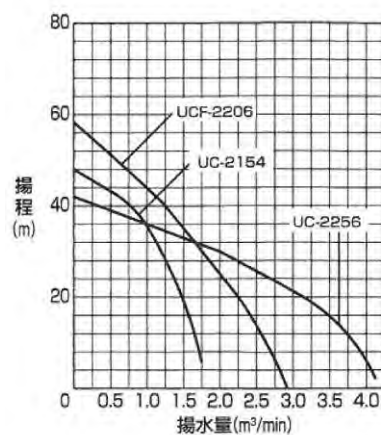


平成 23 年 9 月 25 日撮影（湛水あり）



平成 23 年 11 月 7 日撮影（湛水殆ど無し）

ポンプ排水による排水状況（北股地区）



排水ポンプ性能曲線の事例

※AKTIO 水中ポンプ（高揚程）カタログ，株式会社アクティオ

■対策事例②：作業スペースを避けて排水管を設置する

- ・北股地区は、谷幅が狭く作業スペースが限られていることから、排水ホースは作業スペースに干渉しない位置に設置する。

<有効だった点>

- ・北股地区では、下流から順次倒木の除去を進めていたことから、排水ホースの設置位置も倒木除去の作業スペースに干渉させないように、排水ホースを立木に這わせて設置した。



排水ホース設置状況（北股地区）

■対策事例③：河道閉塞部まで通電設備の設置

- ・発動発電機によりポンプ排水を実施する場合、毎日大量の燃料を消費することから、大量のドラム缶輸送を継続する必要があるため、燃料代も非常に高額となる。

<有効だった点>

- ・北股地区は、集落近傍であることから野迫川村役場、関西電力との調整により、河道閉塞部まで通電設備を整備することできた。
- ・このため、湛水池の埋め戻し等にあたって、ポンプ排水を継続的に実施していたが、燃料の運搬や高額な燃料費から開放されていた。

(3) 湛水池への流入量が多い場合（赤谷地区）

■対策の概要

- ・ 赤谷地区は、湛水池上流からの流入量が多く、湛水池の水位上昇が顕著であることから、ポンプ排水による水位上昇抑制を図った。
- ・ しかし、ポンプの排水能力が流入量より小さかった（非出水期降雨流入量 $3.4\text{m}^3/\text{min}$ 、ポンプ排水量 $1.0\text{m}^3/\text{min}$ ）ため、出水時にはポンプ排水を実施していても湛水位が上昇してしまう状況であった。

■対策工事中の課題

- ・ ①：湛水池の水位が上昇しやすい
- ・ ②：ポンプは排水可能な流量が少なく、水位低下に時間を要する

■課題への対策

- ・ ①：早期にポンプを設置する
- ・ ②：ポンプの代替となる水路を早期に整備する



湛水池上流からの流入状況（赤谷地区）

■対策事例①：早期のポンプの設置

- ・ポンプ排水は、資機材を準備することで、水位上昇抑制効果を得られることから、天然ダム形成後、緊急対策として早期にポンプを設置することは湛水池の水位上昇抑制に有効である。

<有効だった点>

- ・赤谷地区では、水位上昇抑制効果を早期に得るため、工事用道路の整備を待たず、ポンプ排水の資機材の準備が整い次第、ヘリコプターにより資機材を搬入した。
- ・設置当初は、排水ホースの長さが不足したことから、天然ダム天端に流水を流した。その後、排水ホースを延伸し、吐口を下流側に移動した。



ポンプ排水の実施状況（赤谷地区）

■対策事例②：ポンプ排水の代替となる水路を早期に整備する

- ・ ポンプ排水は、資機材を用意するだけで排水作業を開始できることから、発災当初の水位上昇抑制には有効であるが、水路と比較して排水可能な流量が非常に少ないことから、緊急的な水位上昇抑制策として考えるべきである。

<課題となった点>

- ・ 赤谷地区では、ポンプ排水により湛水池の水位を低下させてから仮排水路を施工したが、平常時でも流入量が多いことから、ポンプ排水による水位低下に時間を要してしまい、仮排水路の施工が遅れてしまった。

<今後に向けた提案>

- ・ 今後同様の条件で天然ダム対策を実施する場合は、仮排水路完成までの期間の水位上昇抑制策として、ポンプ排水と仮排水路の中間的な対策として、簡易な構造による仮々排水路の設置を検討すべきである。
- ・ 北股地区では、砂防ソイルセメントを中詰材とした大型土のう水路が設置されており、仮々排水路の案として考えられる。



砂防ソイルセメントを中詰材とした大型土のう水路（北股地区）

(4) 湛水池が複数ある場合（熊野地区）

■対策の概要

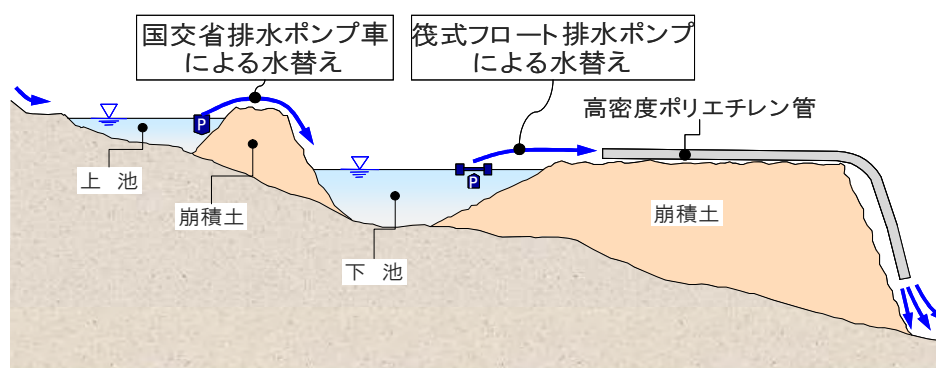
- ・ 熊野地区は、湛水池上流からの流入量は比較的少ないが、深層崩壊によって上池と下池の2段の湛水池が形成されていた。
- ・ このため、上池から下池へのポンプ排水と下池から下流へのポンプ排水の2段階での排水を実施した。

■対策工事中の課題

- ・ 各湛水池の湛水位をそれぞれ管理する必要がある

■課題への対策

- ・ 複数の排水設備を設置し、それぞれの排水量を管理する



上池及び下池のポンプ排水（熊野地区）

■対策事例①：複数の排水設備を設置し、それぞれの排水量を管理する

- ・熊野地区のポンプ排水にあたっては、上池と下池の2段階での排水作業実施となることから、上池から下池と下池から下流の2つの排水設備を設置する必要があった。
- ・熊野地区では、工事用道路の整備が比較的早期に完了し、上池には車両の進入が可能であったことから、上池から下池の排水に、国土交通省が保有する排水ポンプ車を活用した。
- ・一方、下池については、車両での通行が困難であったことから、不整地運搬車で搬入可能な筏式フロート排水ポンプを使用した。
- ・ポンプ排水は、上池と下池の2段階での排水となることから、上池下池それぞれの湛水位を確認しながら、上池側のポンプと下池側のポンプの排水量を調整した。



排水ポンプ車によるポンプ排水（熊野地区）



筏式フロート排水ポンプによるポンプ排水（熊野地区）

2.2 開水路

■特徴

- ・ 仮排水路工を設置することにより、安全に越流水を流下させ、越流決壊の危険性ととも
に決壊流量規模を低減させる。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）に時間を要する場合は、整地が可能であれば、分解・組
立型水路工（U字フリューム）や布製型枠等を用いて、天然ダムの表面に仮排水路工
を設置する。

【留意点】

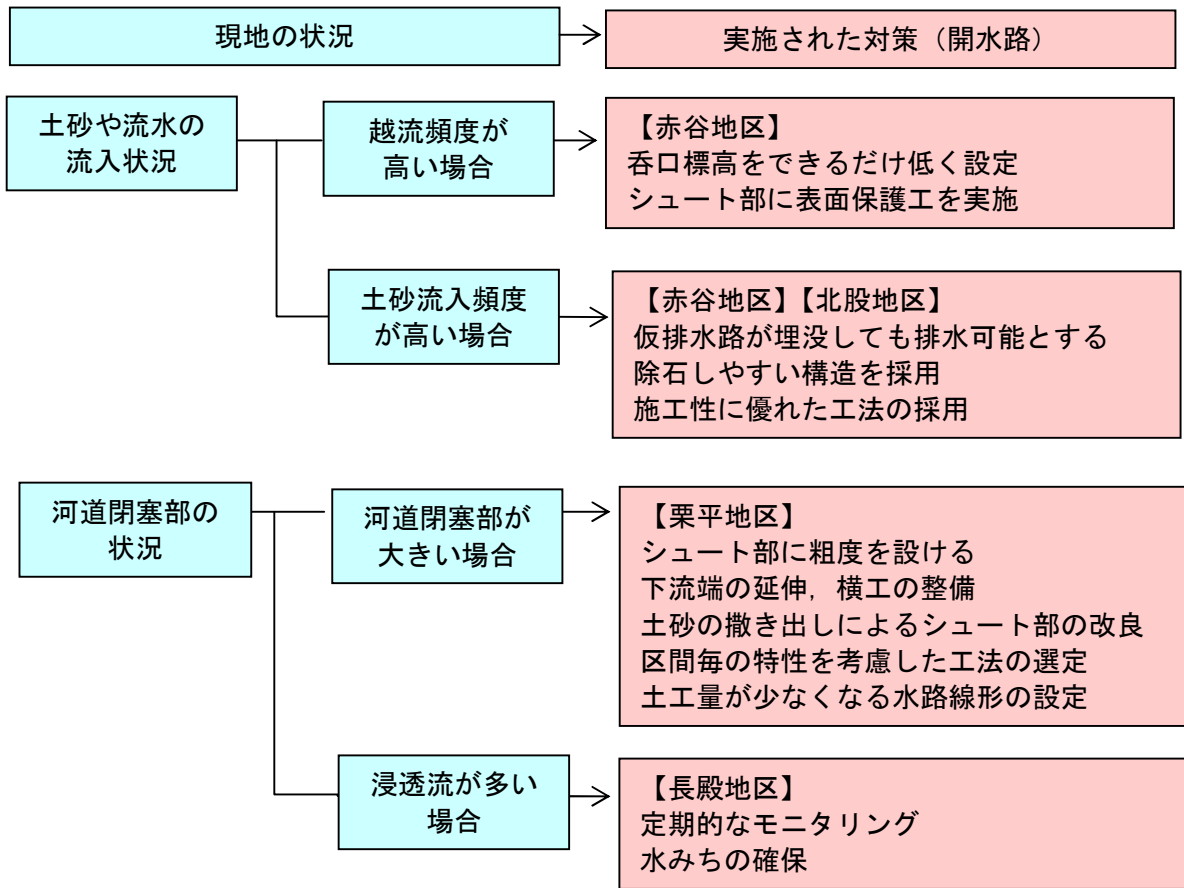
- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 水漏れ対策のために、仮排水路工と地山の間にシートを敷設する。

開水路は、水路幅を広く確保することにより、大流量を流下させることが可能となる。しかし、土工量が大きくなる分だけ、施工に時間を要するデメリットもあることから、恒久対策にむけた時間的制約と投入される重機から実施可能な施工量を十分に検討して、断面を決定する。

また開水路は、流水による洗掘を防止するため、セメント系材料による固化や、コンクリート吹付、ブロックの設置等を検討する必要がある。このとき、作業の安全性を確保するためには、できるだけ崩壊地直下での作業時間を短縮できる工法を選定する必要がある。

開水路の設置は、以下の状況に応じて進める。

【対策事例の分類】



(1) 越流頻度が高い場合（赤谷地区）

■対策の概要

- ・赤谷地区では、河道閉塞部の侵食破壊や浸透破壊を防止することを目的に仮排水路工を整備した。仮排水路工は、運用開始をできるだけ早くするために、2年超過確率規模を目標に整備した。
- ・仮排水路の構造は、現場への搬入材料が少なく、現地発生材を有効に活用するため、かごマットを採用した。
- ・下流端から下流河道はシュート構造として当初モルタル吹付で施工するとともにシュート下部には護床工を設置した。
- ・仮排水路工下部には暗渠排水管を設置する二重構造とし、崩壊土砂により仮排水路が閉塞しても湛水池からの流水を安定的に流下させ、湛水池の水位上昇抑制効果を確保できる構造とした。
- ・赤谷地区では、崩壊地からの土砂流出が活発であり、平成24年台風4号、5号時の土砂流出や、平成25年台風18号の6日後の無降雨時に発生した崩壊斜面内の崩壊残土の再移動により、仮排水路工が埋没した。
- ・また、湛水池の水位上昇が比較的顕著であることから、頻繁に越流が発生していた。
- ・平成26年台風11号時には、崩壊地における大規模な再崩壊に伴い、河道閉塞部が再閉塞し決壊するとともに、河道閉塞部の侵食が発生しているが、埋没していた仮排水路工が機能を発揮し、それ以上の侵食を防止していた。この時、シュート部では、局所洗掘が発生し大きく破損した。



対策位置図（赤谷地区）

■対策工事中の課題

- ・ ①：越流決壊の危険性が高い
- ・ ②：土石等の流下によって、特にシュート部の水路が破壊される

■課題への対策

- ・ ①：呑口標高をできるだけ低く設定する
- ・ ②：シュート部に表面保護工を実施する

■対策事例①：呑口標高をできるだけ低く設定する。

- ・赤谷地区では、越流侵食の規模を小さくするため、呑口標高はできるだけ低くした。
- ・仮排水路の呑口標高は、深層崩壊地の斜面安定解析を実施し、切り下げ可能高及び掘削可能な範囲を確認するとともに、ポンプ排水の能力から流下できる水位を考慮した上で設定した。

<有効だった点>

- ・赤谷地区は、天然ダム天端部分が狭く、恒久対策とは別の水路線形を確保することが困難であったことから、平面線形は天然ダム天端中央部とし、水路敷高は、2ヶ月までの掘削可能量と過去の最低貯水位から設定し、呑口標高ができるだけ低くなるように設定した。
- ・赤谷地区では、平成26年台風11号時等に河道閉塞部の越流水による侵食を受けているが、侵食は仮排水路よりも上部のみとなっており、仮排水路工は埋没しているものの、越流時の河道閉塞部の侵食防止効果を発揮していた。



仮排水路施工状況（赤谷地区）



平成26年台風11号時の仮排水路工の状況（赤谷地区）

<課題となった点>

- ・赤谷地区では、現場への搬入材料が少なく、現地発生材料を有効に活用できることから、かごマットが採用されたが、かごマットは、かご内の礫投入が人海戦術となるため、結果的に対策期間が長くなり、崩壊地直下で多くの作業員が危険を伴う施工方法となってしまった。
- ・仮排水路は、出来型検査に対応するため、一度完成した仮排水路についてかごマットの中詰めを一部手直しする必要があった。



かごマット（平張り）施工状況（赤谷地区）

■対策事例②：シュート部への表面保護工実施

- ・赤谷地区を含む各地区では、次期出水期までに仮排水路を完成させる目標であったことから、縦断勾配は河道閉塞部の形状とほぼ同一とした水路勾配を採用し、施工量を増やさない形状を採用した。これにより、シュート部が急勾配となり、流速も 20~25m/s と早い流速が予測された。
- ・このため、赤谷地区シュート水路部分には、河道閉塞部に堆積した礫等が流下し、シュート部への衝突が想定されるため、コンクリートによる被覆が必要であった。

<有効だった点>

- ・赤谷地区では、当初、シュート部の補強として砂防ソイルセメントによる改良とモルタル吹付を実施していたが、平成 24 年台風 4 号, 5 号時の越流により巨礫等がシュート部に衝突し、モルタル吹付が大きく破損した。
- ・その後、シュート部表面に新たにコンクリートを打設したところ、越流による破損が解消された。
- ・水平部については破損や損傷がほとんどみられなかったことから、より簡易な構造でも対応可能であったと考えられる。

<課題となった点>

- ・赤谷地区では、シュート部下部は護床工が設置されていたが、平成 24 年台風 4 号, 5 号時の越流に越流水によって大きく洗掘された。シュート部下部には護床工と合わせて堰堤工による侵食防止対策が必要であった。



越流によるシュート部の破損（赤谷地区）



コンクリートによるシュート部被覆（赤谷地区）

(2) 土砂流入頻度が高い場合（赤谷地区・北股地区）

■対策の概要

<赤谷地区>

- ・赤谷地区は、崩壊地からの土砂流出が活発であり、平成 24 年台風 4 号、5 号時の土砂流出や、平成 25 年台風 18 号の 6 日後の無降雨時に発生した崩壊斜面内の崩壊残土の再移動により、仮排水路工が埋没した。
- ・その後も、平成 26 年台風 11 号時に、崩壊地における大規模な再崩壊に伴い、河道閉塞部が再閉塞した。
- ・赤谷地区では、崩壊土砂により仮排水路が閉塞しても湛水池からの流水を安定的に流下させ、湛水池の水位上昇抑制効果を確保するため、仮排水路下部に暗渠排水管を設置している二重構造となっている。

<北股地区>

- ・北股地区では、河道閉塞部の侵食破壊や浸透破壊を防止することを目的に仮排水路工を整備した。仮排水路工は、運用開始をできるだけ早くするために、2 年超過確率規模を目標に整備した。
- ・仮排水路工は、崩壊土砂による仮排水路工の閉塞を防止するために、開水路と暗渠排水管の二重構造とした。暗渠排水管は、掘削幅を狭くするため、当初設計のφ1000mm のコルゲート管 4 条からφ1100mm の高密度ポリエチレン管 3 条に変更した。
- ・河道閉塞部天端は、暗渠排水管を設置した後に、砂防ソイルセメントを用いて開水路を設置した。
- ・河道閉塞部下流法面も同様に暗渠排水管を設置していたが、平成 24 年台風 4 号、5 号時には、崩壊地から流出した土砂によって暗渠排水管呑口が閉塞し、流水が開水路を流かして河道閉塞部下流面を侵食し、下流側の暗渠排水管が破損した。



対策位置図（北股地区）

■対策工事中の課題

- ・ ①：土砂流入によって被災しやすい
- ・ ②：開水路の除石頻度が高くなる
- ・ ③：土砂流入の危険がある箇所です水路工を施工する必要がある

■課題への対策

- ・ ①：開水路が埋没しても排水機能を確保する（暗渠排水管等）
- ・ ②：除石しやすい構造の採用
- ・ ③：施工性に優れた工法の採用

■対策事例①：仮排水路が埋没しても排水機能を確保する。

- ・開水路への土砂流入頻度が高い箇所については、開水路が埋没して水路の機能を喪失することが想定される。
- ・そのため、万が一開水路が機能を喪失しても、水位上昇抑制効果を確保するため、暗渠排水管を設置することが有効である。

<有効だった点（赤谷地区）>

- ・赤谷地区では、台風による出水によって仮排水路への土砂流入が頻発していた。
- ・しかし、仮排水路下部に暗渠排水管を設置していたことから、仮排水路が埋没した場合でも排水機能を確保し、急激な水位上昇を抑制することができた。



仮排水路の埋没状況（赤谷地区）



暗渠排水管吐口部の状況（赤谷地区）

<課題となった点（北股地区）>

- ・北股地区では、河道閉塞部天端では、暗渠排水管の上に砂防ソイルセメントを用いた開水路が設置されていたが、下流法面については排水管のみの構造となっていた。
- ・このため、平成 24 年台風 4 号、5 号時には、崩壊地からの土砂により暗渠排水管が閉塞し、開水路から下流法面へ流下した流水によって暗渠排水管周縁部が大きく侵食され、暗渠排水管が破損した。
- ・下流法面についても、表面保護工が必要であった。



河道閉塞部下流法面への排水管の敷設状況（北股地区）



平成 24 年台風 4 号、5 号時の排水管の破損状況（北股地区）

<今後に向けた提案（北股地区）>

- ・崩土上に配置した排水管は侵食を受けやすいので、排水管を設置する場合は、できるだけ地山に固定すべきである。

<課題となった点（北股地区）>

- ・北股地区では、埋め戻し部分について開水路としていたが、崩壊地からの土砂流出により埋没し、越流侵食につながってしまった。
- ・そのため、湛水池埋め戻し部についても、崩壊土砂の流入が想定される場合には、排水機能を確保するため暗渠排水管を整備する必要がある。



開水路区間への土砂流入（北股地区）



暗渠排水管呑口部の補強（北股地区）

■対策事例②：除石しやすい構造の採用

- ・開水路への土砂流入が発生した場合、水路の機能を回復するため、流入した土砂の撤去が必要となる。
- ・土砂流入頻度が高い箇所に設置する開水路は、除石しやすい構造を採用する必要がある。

<課題となった点（赤谷地区）>

- ・赤谷地区では、現場への搬入材料が少なく、現地発生材を有効に活用するため、仮排水路工にかごマットを採用しているが、崩壊地から仮排水路に流入した土砂を撤去する際、バックホウのバケットが鉄線に引っかかり、かごマットが破損してしまうことが相次いだ。



仮排水路工への土砂堆積状況（赤谷地区）

- ・赤谷地区では、崩壊地内のガリーから泥流状の土砂が大量に流出していたため、バックホウによる除去を試みたが、非常に効率が悪かった。



バックホウによる泥土の除去（赤谷地区）

■対策事例③：施工性に優れた工法の採用（崩壊地下での作業時間短縮）

- ・開水路施工箇所への土砂流入頻度が高い箇所では、作業員の安全性に配慮して、開水路施工箇所での作業時間ができるだけ短くなる施工性に優れた工法を採用する必要がある。

<課題となった点（赤谷地区）>

- ・赤谷地区では、現場への搬入材料が少なく、現地発生材を有効に活用するため、かごマットの平張り構造による開水路を採用したが、かごマットは、かご内の礫投入が人海戦術となるため、結果的に対策期間が長くなり、崩壊地直下で多くの作業員が危険を伴う施工方法となってしまった。



かごマット工への礫設置状況（長殿地区）

<有効だった点（長殿地区・栗平地区）>

- ・長殿地区のシュート部ではポンプ打設による布製型枠水路、栗平地区では砂防ソイルセメントによる改良+モルタル吹付による水路，といった工法が採用されており，比較的施工性も良好であった。
- ・コンクリートのポンプ打設は，急速施工が求められる緊急対策では，工期短縮に有効である。しかし，低スランプのコンクリートではポンプがつまるトラブルが発生しやすいため，スランプ値の変更等検討が必要である。
- ・崩壊地直下に設置する開水路の構造は，現地の状況を踏まえ，施工性と安全性に優れた工法を採用する必要がある。



ポンプ打設による布製型枠水路工（長殿地区）



砂防ソイルセメント改良+モルタル吹付による水路工（栗平地区）

(3) 河道閉塞部が大きい場合（栗平地区）

■対策の概要

- ・栗平地区では、河道閉塞部の侵食破壊や浸透破壊を防止することを目的に2年超過確率規模を目標に仮排水路工を整備した。
- ・仮排水路工は、土工量を最小限にすることと、崩壊地と天然ダム地点の距離が離れていたことから、水路掘削による崩壊地脚部への影響は小さいものと判断し、最も天端標高が低い河道閉塞部中央部に仮排水路工を設置し、線形は直線とした。
- ・水路幅は、仮排水路シュート部の水深をできるだけ浅くするため、できるだけ広くした。
- ・下流シュート部の勾配は、施工土量の最小化を図るため、土塊の下流面勾配とほぼ同程度とした。
- ・仮排水路工の構造として、かごマットは、使用できる中詰材を現地で必要量確保できないことから、一部の区間を除いて採用しなかった。また、布製型枠についても、道路終点から天然ダムまでの距離が長く、比高が大きく、ポンプ圧送が困難であったことから採用しなかった。
- ・仮排水路の構造としては、摩耗が懸念される流入部、水平部からシュート部の変化点、減勢工にはかごマットを採用した。また、水平部およびシュート部については、地盤改良+モルタル吹付工を採用した。
- ・シュート部については、高低差100m、1/2勾配の長大な斜面部となるため、流水の流速が上がり、吹付工の損傷やシュート部下端での衝撃圧が懸念されたため、TA0工法により粗度を確保し、流速を低減させることを図った。
- ・平成24年台風4号時にシュート部下流端部で洗掘・侵食が生じたため、仮排水路工の下流端において袋詰玉石、2tブロック、大型土のうとモルタル吹付によって侵食対策を実施した。
- ・しかし、同年の台風16号、17号時には洗掘・侵食が拡大して仮排水路工の下流部で大規模な侵食が生じて全体の2/3が流失し、ガリー地形が形成された。平成26年台風11号時には大規模な侵食が生じて越流天端が15m低下するとともに仮排水路工の大部分が流失し、約160万m³という大量な土砂が下流域に流出した。



対策位置図（栗平地区）

■対策工事中の課題

- ・ ①：水路工の施工規模が大きい
- ・ ②：土工量が多くなり、施工に時間を要する
- ・ ③：河道閉塞部下流面が急な場合、急勾配区間に水路を設置する必要がある
- ・ ④：閉塞高が高い場合、シュート部の流速が非常に速くなる
- ・ ⑤：万が一越流した場合、下流端が侵食されやすい

■課題への対策

- ・ ①：区間毎の条件に合った構造の検討
- ・ ②：土工量が少なくなるルート及び形状の検討
- ・ ③：斜路への改良土を撒き出し
- ・ ④：シュート部に粗度を設けて、流速の低減を図る
- ・ ⑤：下流端における侵食対策の実施

■対策事例①：区間毎の条件に合った構造の検討

- ・河道閉塞部が大きい場合、水路延長が長くなることから、呑口部、水平部、勾配変化点、斜路、下流端といった区間毎に、機能、土工量、施工性といった条件を検討して、最適な構造を適用する。

<有効だった点>

- ・栗平地区は、土砂の礫径が小さく、かごマットの中詰材に適した材料の確保が難しかった。
- ・そこで、仮排水路の構造は施工性を考慮して開水路とし、河道閉塞部天端及びシュート部は改良土＋モルタル吹付とし、勾配変化点および仮排水路上下流端はかごマット多段積み構造とした。
- ・河道閉塞部天端及びシュート部の地盤改良の目標強度はレベルⅠとした。
- ・水路の勾配変化点では、洗掘防止改良工として、一般部より改良厚を厚く設定した。
- ・シュート部は、地盤改良＋モルタル吹付に加え、流速を低減させるため、斜面への固定に使用するアンカーバーを活用して、お椀型の形状を形成して粗度の向上を図った。（TA0工法）
- ・越流時の流下状況から、平坦部については、地盤改良＋モルタル吹付で十分有効であることが確認された。また、施工性がよく、破損した場合にも容易に修復可能であった。



改良土+モルタル吹付による仮排水路（栗平地区／河道閉塞部天端）



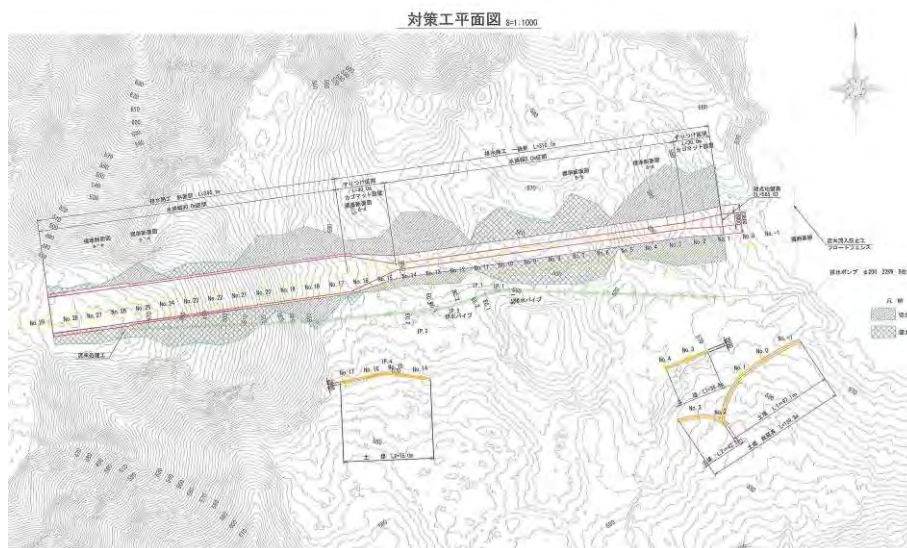
かごマット工による仮排水路（栗平地区／勾配変化点）

■対策事例②：土工量が少なくなるルート及び形状の検討

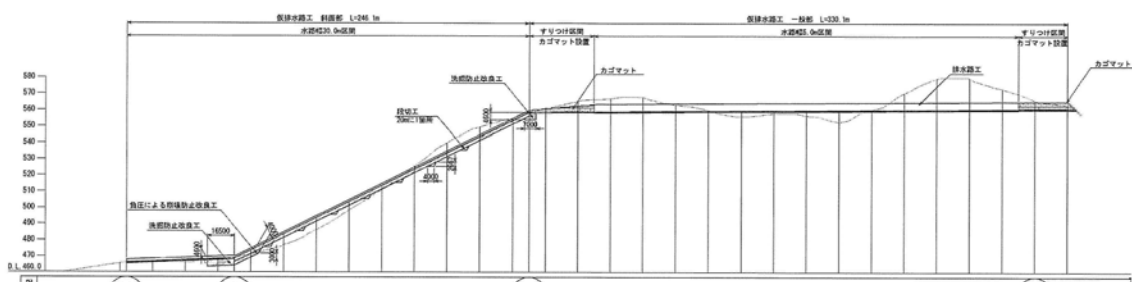
- ・開水路は、できるだけ土工量が少なく、施工性に優れたルートを選定する。
- ・崩壊地からの土砂流入の頻度が低い場合には、河道閉塞部天端の最深部を直進するルートが最も有効である。

<有効だった点>

- ・栗平地区は、崩壊地と天然ダム地点の距離が離れていたことから、水路掘削による崩壊地脚部への影響は小さいものと判断し、天然ダム天端中央部を直進する線形を採用した。
- ・河道閉塞部天端の縦断形は、形成された河道閉塞部の縦断形状及び流速を考慮し、水路勾配を1/150とした。
- ・シュート部は、土工量を最小限にするため、形成された河道閉塞部の縦断形状を基本として縦断形を設定し、不等流計算により排水路の断面形状を設定した。



仮排水路平面図（栗平地区）



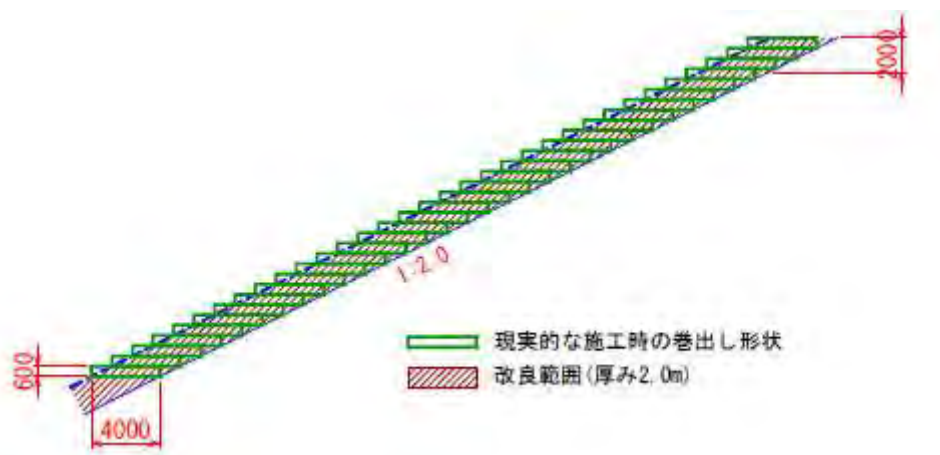
仮排水路縦断図（栗平地区）

■対策事例③：斜路への改良土撒き出し

- ・開水路のシュート部は流速が増大しやすくなることから、表面保護が必要である。
- ・しかし、シュート部は勾配が急であることから、施工しにくい場所である。

<有効だった点>

- ・栗平地区は、シュート部を改良土＋モルタル吹付による構造を選定した。
- ・シュート部の施工にあたって、急勾配区間に改良土を配置する必要があったことから、栗平地区では、重機を使用して階段状に撒き出す手法を採用した。



シュート部の改良土撒き出し形状（栗平地区）



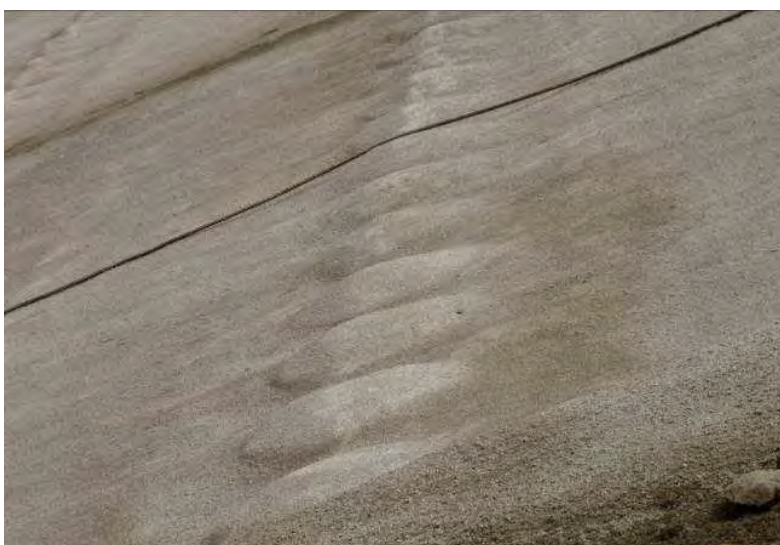
バックホウによるシュート部の改良土撒き出し状況（栗平地区）

■対策事例④：シュート部に粗度を設けて、流速の低減を図る

- ・下流法面が急勾配である場合，水路を流水が流下した際に非常に流速が早くなるため，モルタル吹付だけでは水路が流速に耐えられない。また，河道閉塞部脚部における減勢が非常に困難となってしまう。

<有効だった点>

- ・栗平地区では，階段水路とすることも検討したが，必要となるコンクリート量が多く，出水期までの施工が困難であり，落差部分での洗掘も懸念されたことから，不適と判断した。
- ・そこでアンカ一定着部の保護を兼ねてイボ型水路（TA0 工法と呼称）を採用した。台風 4 号 5 号時の斜路の流下状況を見ると，流水が空気を含んでいることが確認されており，十分な減勢効果が出ていたと推定される。



イボ型水路の施工状況（栗平地区）



イボ型水路の流下状況（栗平地区）

■対策事例⑤：下流端における侵食対策の実施

- ・ 仮排水路は、越流した際の流水によって下流端から洗掘が発生する。
- ・ そのため、仮排水路下流端には洗掘防止対策が必要となる。

<課題となった点>

- ・ 栗平地区では、仮排水路下流端においてカゴ工による護床工が実施されていたが、仮排水路完成直後の台風4号5号による越流によって、護床工下部が大きく侵食を受け、護床工全体が沈下した。
- ・ その後河床低下区間に対して護床ブロック等による侵食対策を実施したが、再度仮排水路下流端が侵食を受け、河道閉塞土塊が一部流出した。
- ・ したがって、河道閉塞部が大きい場合は、仮排水路を元河床が確認できる地点まで延伸するか、排水路下流端に砂防堰堤等の横工を配置し、河床低下による構造物の沈下を防止する。



下流端の護床工沈下状況（栗平地区）



仮排水路下流端の洗掘状況（栗平地区）

<課題となった点>

- ・水路工下流端洗掘後、コンクリートブロック（2t）及び袋詰玉石（2t）による護床工が設置された。
- ・しかし、平成 24 年台風 16 号 17 号の越流時に護床工が流失し、下流端が大きく洗掘され、河道閉塞部の一部流出に至った。
- ・河道閉塞部が大きく、落差が大きい箇所では、水路下流端に護床工を配置する場合、重量のあるテトラポット等でなければ、越流水に耐えることは困難である。



ブロックによる護床工が設置された仮排水路下流端（栗平地区） 平成 24 年 9 月

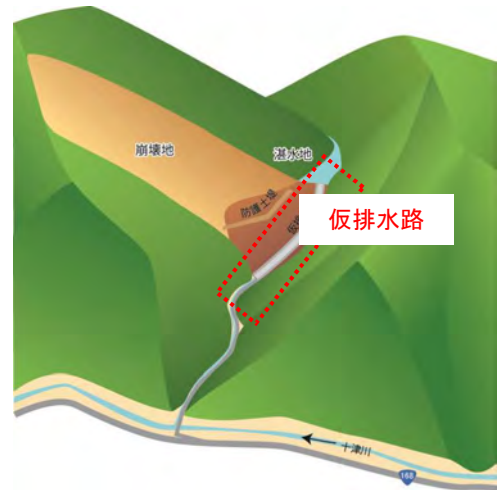


仮排水路水路下流端の侵食状況 平成 24 年 10 月

(4) 浸透流が多い場合（長殿地区）

■対策の概要

- ・長殿地区では、河道閉塞部の侵食破壊や浸透破壊を防止することを目的に2年超過確率規模を目標に仮排水路工を整備した。
- ・長殿地区の仮排水路は、現場への搬入材料が少なく、現地発生材を有効に活用するため、天端区間と減勢部はかごマットを採用した。
- ・シュート部については、砂防ソイルセメントによる改良土による水路は、河道閉塞部下流法面の勾配が急であるため、施工は困難であると判断した。また、モルタル吹付は割れることを懸念して不採用とした。上記の理由に加えて、熊野川合流点から河道沿いにコンクリートポンプによる圧送が可能となったことから、シュート部は、工期短縮を目的に布製型枠＋鉄筋挿入工を採用した。
- ・長殿地区では、河道閉塞部からの浸透流の湧出が多く、パイピングによる土砂流出が懸念されていたため、仮排水路工の整備にあわせて、減勢部下に暗渠排水管を設置した。
- ・しかし、平成27年台風11号時に、過去の伏流水の湧水地点よりもさらに高い位置から浸透流が大量に湧出し、仮排水路工背面の土砂が一部流出し、仮排水路工が破損した。



対策位置図（長殿地区）

■対策工事中の課題

- ・ ①：浸透流による構造物の不安定化
- ・ ②：湧水池点が変わる可能性がある

■課題への対策

- ・ ①：湧水の水みち確保
- ・ ②：定期的なモニタリングの実施

■対策事例①：湧水の水みち確保

- ・河道閉塞部脚部からの湧水は、下流端の侵食やパイピングによる河道閉塞部の決壊につながることが懸念される。
- ・このため、湧水が確認される場合は、湧水箇所から湧水を安全に流下させる必要がある。

<有効だった点>

- ・長殿地区では、河道閉塞形成直後から河道閉塞部脚部で浸透流が湧出していたため、湧水の水みちを確保するため、河道閉塞部脚部の湧水地点に排水管を設置し、その上に仮排水路を設置した。
- ・仮排水路施工位置においても、構造物背面から浸透流が湧出することも想定されたことから、仮排水路底面に穴を空けた。



仮排水路下流端の湧水地点に設置した排水管（長殿地区）



仮排水路底面に設けた穴（長殿地区）

■対策事例②：定期的なモニタリングの実施.

- ・湧水地点は出水イベントによって、変わる可能性があることから、浸透流が湧出する河道閉塞箇所については、定期的なモニタリング調査が必要である。（湧水量、湧水位置、濁度、天然ダム形状の変位、河道閉塞土塊内の水位、上流からの流入量、等）

<課題となった点>

- ・長殿地区では、河道閉塞形成直後から河道閉塞部脚部で浸透流が湧出していた。しかし、台風によって湛水位が上昇した際、湧出に濁りが生じており、内部で浸透流による侵食が発生している恐れがあった。



浸透流の湧水状況 左：平成24年台風4号時、右：平成26年台風11号時（長殿地区）

- ・平成27年の台風11号では、過去の出水イベントによる湧水地点よりさらに高い位置から浸透流が湧出した。この大量の浸透流の湧出によって、仮排水路シュート部背面の土砂が一部流出し、仮排水路が破損した。



浸透流の湧水状況 平成27年台風11号時（長殿地区）

<課題となった点（赤谷地区）>

- ・赤谷地区では、砂防堰堤の左岸側堤体基礎部を掘削した際に大量の浸透流が湧出するようになった。このように浸透流による湧水地点は予測が難しいことから、河道閉塞部を大規模に掘削する場合、予期せぬところから湧水が湧出する可能性があることに留意する必要がある。
- ・赤谷地区では、湧水による掘削範囲の浸食を防止するため、土堤による導水を実施したが、有効な手段とならなかったため、内部まで止水して湧水の導流ができるよう矢板を打設して水路を設置した。
- ・その後、崩壊地からの土砂流出が発生し、堤体掘削部が埋没し、湧水状況の把握ができない状態となったため、湧水の水みちの確保や湧水量、濁度等のモニタリングはできていない。



浸透流の湧水状況（赤谷地区）



湧水箇所の対策状況（赤谷地区）

2.3 暗渠排水管

■特 徴

- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）底面に暗渠排水管を設置することにより、湛水位の上昇を抑制し、越流決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 崩壊地から天然ダムへの土砂流出や流木の影響を受けずに排水することが可能となる。ただし、呑み口の閉塞対策が必要となる。
- ・ 本来、暗渠排水管の管径は、計画流量に基づき設定されるべきだが、本対策では搬入・施工性を考慮して設定する。
- ・ 暗渠排水管の設置に際しては、万が一詰まった場合を想定して、仮排水路工との併用設置（二重設置）を想定する。
- ・ 人力による操作の必要がない。

【留意点】

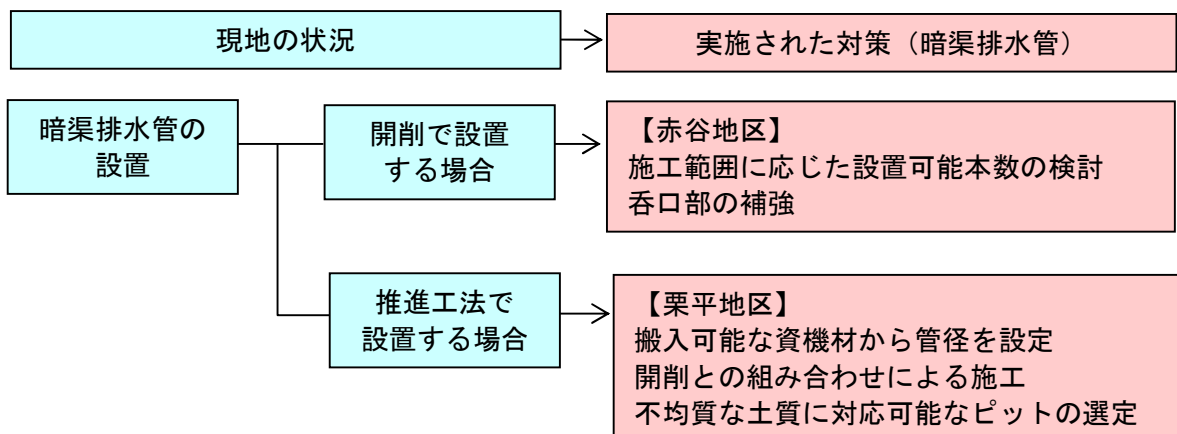
- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 掘削によって暗渠排水管を設置する場合は、掘削による斜面の安定性に影響がないようにする。また、掘削は縦断方向に連続的に施工せず、ブロックを区切り、掘削して暗渠排水管を埋設した後に次のブロックを施工する。
- ・ 上流湛水池からのパイピング現象が発生する可能性に留意する。

暗渠排水管は、崩壊地からの土砂流出による影響を受けない排水方法として有効である。しかし、万が一詰まった場合には、排水機能がなくなってしまうことから、開水路と併用設置する。

また、呑口部の閉塞、吐口部の洗掘対策に加えて、管路脇が水みちになることによる洗掘への対策も必要である。

暗渠排水管の設置は、以下の状況に応じて進める。

【対策事例の分類】



(1)開削により設置する場合（赤谷地区）

■対策の概要

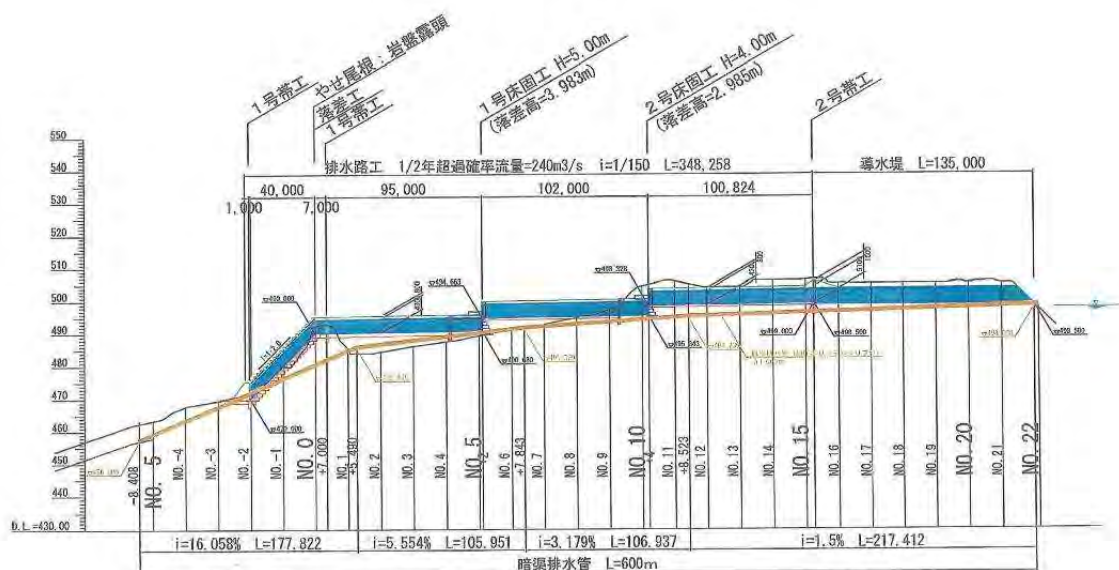
- ・赤谷地区では、湛水池の水位上昇頻度が高く、仮排水路への頻繁な流入が想定された。また施工期間中においても、ポンプ排水だけでは十分な水位上昇抑制効果が確保できないと想定された。そこで、暗渠排水管を設置するものとした。
- ・しかし、赤谷地区の河道閉塞部天端はスペースが狭いため、暗渠排水管と仮排水路を別ルートにすることは困難であった。
- ・また、河道閉塞部の土質状況が不明確であった。
- ・そこで、確実な施工が期待できる開削により暗渠排水管を設置するとともに、仮排水路と同ルートとして仮排水路下部に暗渠排水管を設置した。
- ・暗渠排水管は、最低貯水位-1mを呑口高とし、非出水期の過去5年間の最大流量 3.4m³/sを流下させるため、φ1,000mmを採用した。
- ・平成24年台風4号、5号時には、崩壊斜面からの土砂流出により、仮排水路工が埋没したが、暗渠排水管は排水機能を維持していた。

■対策工事中の課題

- ・ ①：掘削の範囲が大きくなる
- ・ ②：水深が深くなった場合、水圧で呑口が潰れる

■課題への対策

- ・ ①：施工範囲に応じた設置可能本数の検討
- ・ ②：呑口部の補強



暗渠排水管の設置状況（赤谷地区）

■対策事例①：施工範囲に応じた設置可能本数を検討

- ・暗渠排水管を設置する場合，暗渠排水管設置部分まで河道閉塞部を掘削する必要があることから，掘削による斜面の安定性に影響がないようにする。

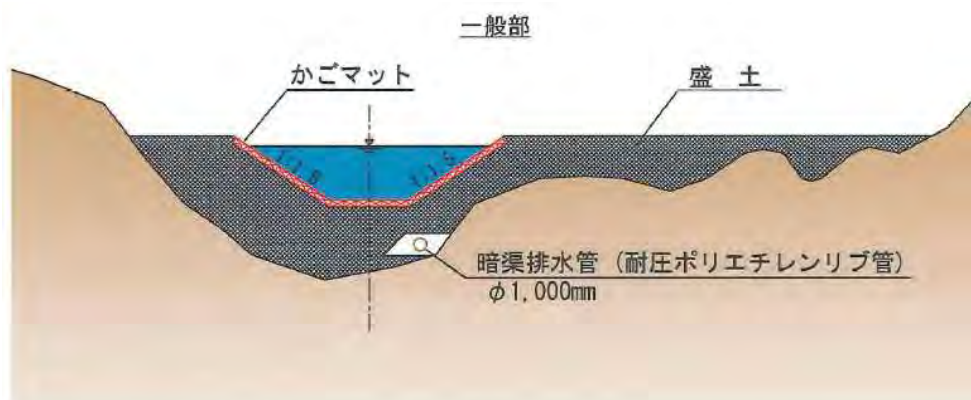
<有効だった点>

- ・赤谷地区は，天然ダム天端のスペースが限られており，2 ルート分の掘削範囲を確保することが困難であったことから，仮排水路と同じ平面線形を採用し，仮排水路下部に暗渠排水管を設置する計画とした。
- ・このため，仮排水路計画区間を全て掘削した上で，暗渠水路を設置した。
- ・暗渠排水管設置後に仮排水路設置となることから，早期に仮排水路を完成させることを優先して，暗渠排水管は1条とした。

②仮排水管設置状況



暗渠排水管の設置（赤谷地区）



暗渠排水管の設置箇所（赤谷地区）

■対策事例②：呑口部の補強

- ・暗渠排水管は、流木等による閉塞が想定されるが、閉塞物の除去は困難であることから、呑口部には流木除け（鉄格子等）を設置する。

<有効だった点>

- ・暗渠排水管は呑口標高が変わらないため、湛水位が上昇した場合、呑口部にかかる水圧が非常に大きくなり、管路の呑口部が潰れてしまうことがある。このため呑口部分は、流木除け（鉄格子等）を設置に加え水圧対策としてブロック等による補強を実施した。



補強前の暗渠排水管の呑口部（赤谷地区）



ブロックによる補強後の暗渠排水管の呑口部（赤谷地区）

(2)非開削型工法（推進工法）により設置する場合（栗平地区）

■対策の概要

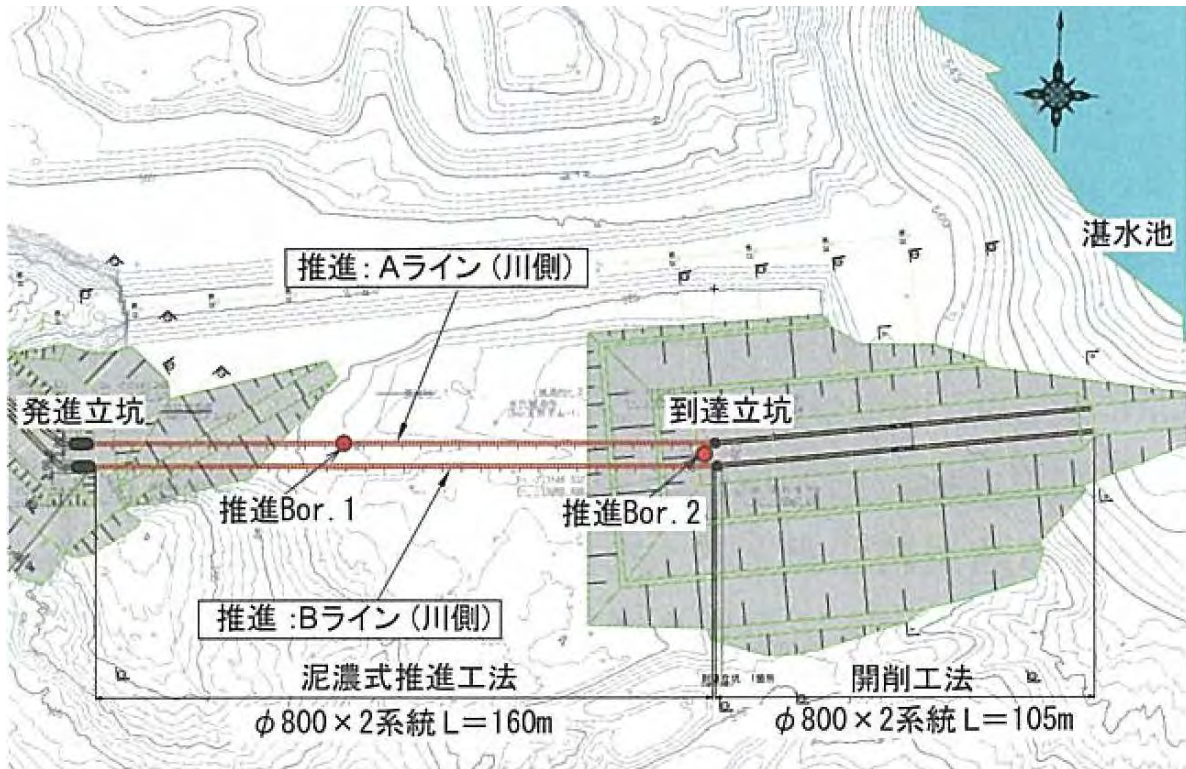
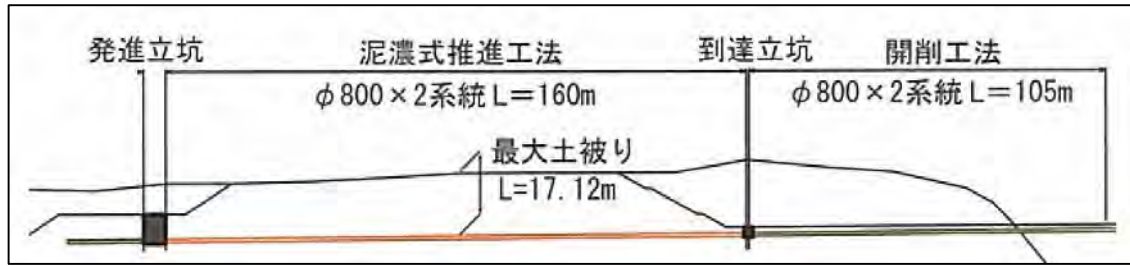
- ・栗平地区では、平成24年台風17号時に、湛水池から仮排水路工への流水による掘削で、仮排水路工の2/3が流失し、河道閉塞部が大規模に侵食された。
- ・仮排水路工は、次期出水までに復旧させるのは困難な状況であり、残存した仮排水路工に水が流れた場合、下流側における再侵食が懸念されたため、破損した仮排水路工に替わる排水手段の確保が急務となった。
- ・排水手段として、大容量ポンプによる常時排水は、発電機の給油や機械メンテナンス等の維持費用の面から難があるため、仮排水路工の呑口よりも標高の低い場所から排水し、湛水池から流水を洗掘の危険がない下流まで導流する暗渠排水管を設置することとした。
- ・栗平地区では、これまでの土工やボーリング調査によって、河道閉塞部の土質状況が概ね把握できていたことから、暗渠排水管の敷設方法として、河道閉塞部の大規模な開削が不要となる推進工法を採用した。
- ・推進工法の方式は、①硬質岩塊・流木等の不明土質でもある程度対応できる推進機関であること、②崩落土砂片による推力上昇の低減が可能なこと、③浸透係数の高い無水層による逸泥・逸水対策が可能なことの3点の留意点から、最も対応の確率が高いと思われた泥濃式推進工法を採用した。

■対策工事中の課題

- ・①：資機材の搬入が必要
- ・②：推進工法は準備に時間を要する
- ・③：河道閉塞部の土質条件が不明である
- ・④：流末部での侵食が懸念される

■課題への対策

- ・①：現場への搬入可能な資機材から管径を設定
- ・②：開削との組み合わせによる施工
- ・③：不均質な土質に対応可能な掘進機の選定
- ・④：吐口となる箇所での流末処理の実施



推進工法計画平面図と計画縦断図（栗平地区）

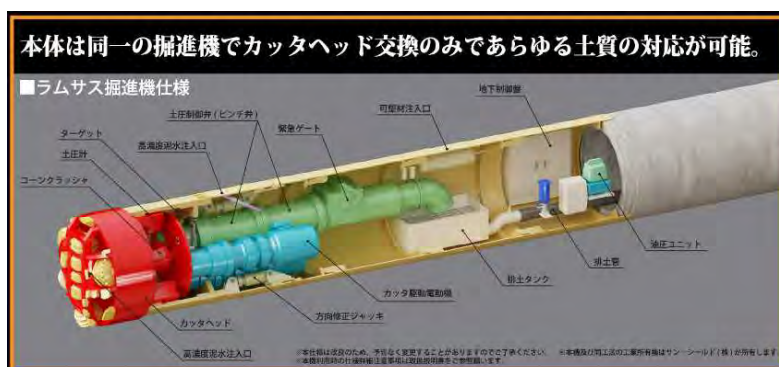
青木浩章，大塚康之；河道閉塞天然ダム湖の水位低下のための推進工法の活用—十津川村栗平地区の土砂災害—，
土木施工，2014，jun，Vol155，No. 6. p41-44.

■対策事例①：現場への搬入可能な資機材から管径を設定

- ・ 推進工法を採用する場合、縦坑を設置するとともに、推進工法に使用する多くの資機材を施工地点まで搬入する必要がある。

<有効だった点>

- ・ 栗平地区は、発進立坑まで資材を運ぶにあたって、30%勾配の登坂路を10tクローラダンプで運搬する必要があったことから、運搬能力と、現地に搬入できる汎用型揚重機の能力を考慮すると管径はφ800~900mmが限界であると判断した。
- ・ また、掘進時に出てくる大礫や流木等を推進管の中で作業員が取り除くことを考慮した場合においても管径はφ800~900mmが限界であると判断した。
- ・ 栗平地区では、泥濃式推進工法のうち、φ800mmの中で掘削力・対応礫径が最大であり、カッターチャンバー内に二次破碎機構を有する唯一の工法であることから、ラムサス工法（GX型：礫・岩対応）を選択した。
- ・ 万が一暗渠排水管が目詰まりした際に機能を完全に喪失しないよう、管路を2本設置した。



※ラムサス工法パンフレット、ラムサス工法協会



推進工法により設置した暗渠管（栗平地区φ800mm）

■対策事例②：開削との組み合わせによる施工

- ・推進工法は、掘削を開始するまでに掘進機やビット、管路の準備等が必要であることから、掘削開始までに一定期間が必要である。

<有効だった点>

- ・栗平地区では、翌出水期までに確実に施工を完成させることと、推進工法による掘進が不可能になった場合も考慮して、暗渠排水管の敷設を推進工法と開削工法を同時に施工することとした。
- ・推進工法の準備期間を利用して開水路を施工した。 推進工法と開削工法の組み合わせにより、全て開削工法で暗渠排水管を敷設する場合と比較して、大きく工期を短縮することができた。



開削による施工状況（栗平地区）

左側：仮排水路、右側：開削工法による暗渠排水管設置箇所



暗渠排水管呑口部の状況（栗平地区）

■対策事例③：不均質な土質に対応可能な掘進機の選定

- ・河道閉塞部は、崩壊土砂の堆積物によって形成されているため、土質条件が不明である。
また、流木が混入しているかどうかを確認する。

<有効だった点>

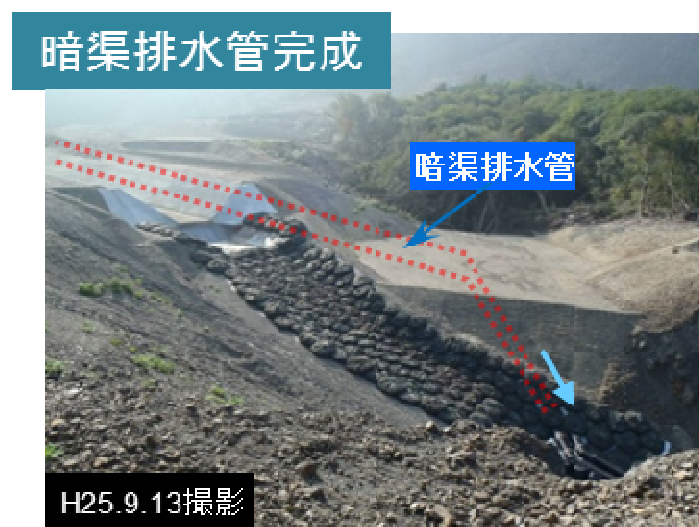
- ・推進工法は、開削工法と比較して、より深い位置でも暗渠排水管を設置することが可能であるが、河道閉塞土塊は、土質条件が不均一であり、事前調査では把握できない岩盤の存在に留意する必要がある。そこで、礫、岩盤対応型の掘進機を採用するなど、適切な掘進機の選択が重要である。
- ・透水係数が高い無水層での施工のため、高濃度泥水の逸泥による推進不能等の発生が懸念される。そこで、逸泥防止材と粘土を使用して土粒子間隔の目詰まり効果を得るよう、送泥量の増加により対応した。

■対策事例④：吐口となる箇所での流末処理の実施

- ・ 推進工法で設置した暗渠排水管は流下能力が大きいことがメリットであるが、一方で流末部では大流量の流下による洗掘が懸念されるため、流末処理を実施する必要がある。

<課題となった点>

- ・ 栗平地区では、河道閉塞部上部の暗渠排水管を先行して設置したが、平成26年8月の台風11号による出水時には、暗渠排水管吐口部での洗掘が発生し、それにもない暗渠排水管が破損することで、暗渠排水管に沿って侵食が上流へ進行していったことが考えられた。
- ・ よって、大流量が流下する暗渠排水管を設置する場合は、減勢工等の流末処理を同時に実施する必要がある。



暗渠排水管下流端での洗掘状況（栗平地区）

3. 天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻し

■特 徴

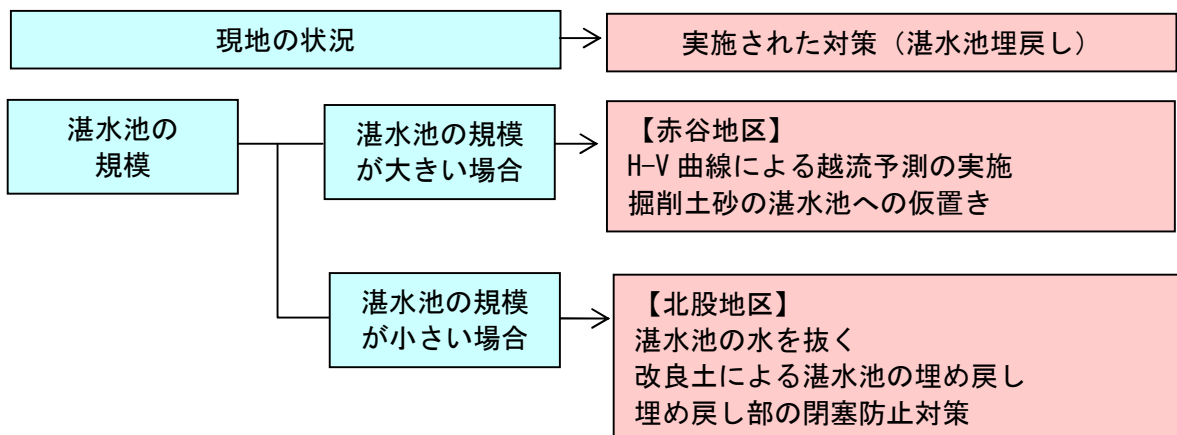
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）と湛水池の埋め戻しや規模縮小により、越流決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 浸透流路長を長くすることによって、浸透破壊の危険性の低減させる。
- ・ 切り下げ（掘削）範囲は、早期施工のために掘削土砂量が最小となる最深河床沿い（天然ダムの鞍部・凹部）を想定する。

【留意点】

- ・ 湛水している場合は、ポンプ排水によって水位を一時的に低下させてから施工する。
- ・ 天然ダムの切り下げ（掘削）や埋め戻しは、湛水池からの越流に対してはマイナス効果（越流開始までの時間の短縮，越流回数の増加）となることから、天然ダム下流面の排水機能が確保された状態で実施する。

天然ダムの切り下げ（掘削）および湛水池の埋め戻しは、以下の状況に応じて進める。

【対策事例の分類】



(1) 湛水池の規模が大きい場合（赤谷地区）

■対策の概要

- ・ 赤谷地区は、湛水池の規模が大きく、完全な埋め戻しは困難であったことから、施工時に発生した掘削土砂を湛水池に仮置きした。

■対策工事中の課題

- ・ ①：湛水池への埋め戻しにより、越流までの時間が短くなる
- ・ ②：大量の掘削土砂の搬出先確保が難しい

■課題への対策

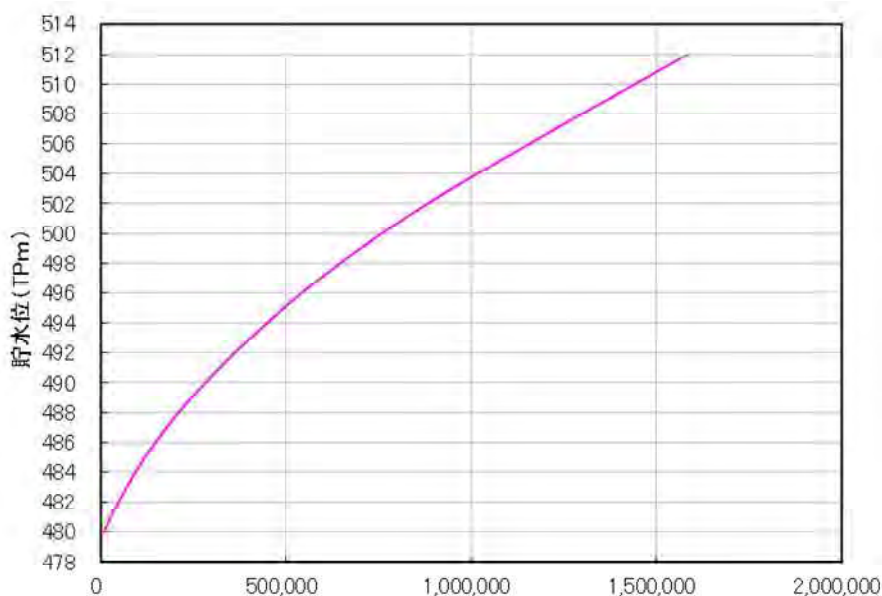
- ・ ①：正確な H-V 曲線を作成し、越流予測を実施する
- ・ ②：湛水池を掘削土砂の仮置きスペースとして利用

■対策事例①：正確な H-V 曲線を作成し、越流予測を実施する

- ・ 正確な湛水容量を把握するためには、できるだけ早期に湛水池の測量を実施する必要がある。埋め戻しによって、湛水容量が小さくなる場合には、越流までの時間を把握するため、埋め戻し後の H-V 曲線を作成する必要がある。

<有効だった点>

- ・ 赤谷地区では、深淺測量を実施し、湛水池の H-V 曲線を作成した。



H-V 曲線の一例（赤谷地区）

■対策事例②：掘削土砂の湛水池への仮置き

- ・山間部で天然ダムが形成された場合、掘削土砂の搬出先確保が非常に難しいことから、湛水池の埋め戻し（もしくは掘削土砂の仮置き）が可能かどうか検討すべきである。
- ・なお湛水池の埋め戻しは、越流開始までの時間が短縮される、越流回数が増加する、といったマイナス効果もあるので、天然ダム下流側の排水機能が確保された状態で実施する必要がある。

<有効だった点>

- ・赤谷地区は、湛水池の規模が大きいことから、決壊流量を低減させ、浸透路長を延伸するため、河道閉塞部天端を切り下げと湛水池の埋め戻しを一緒に検討した。



湛水池への埋め戻し（赤谷地区）

<課題となった点>

- ・発災当初は、湛水池の埋め戻しが不安定土砂の増加につながることを懸念され、埋め戻しの対応が遅れていたが、湛水池の埋め戻しは、「不安定土砂の増加」ではなく、「越流決壊の危険性を除去する対策工」と考える必要がある。

(2) 湛水池の規模が小さい場合（北股地区）

■対策の概要

- ・北股地区は、湛水池の規模が小さく、ポンプ排水による湛水池から水を抜くことが可能であったことから、河道閉塞部の切り下げによって発生した掘削土砂を湛水池に投入して、湛水池を埋め戻した。
- ・湛水池の埋め戻しに要した期間は1ヶ月程度であり、投入した土砂量は7,000m³程度であった。

■対策工事中の課題

- ・①：湛水池の埋め戻し可能かどうか判断する必要がある
- ・②：埋め戻し箇所が沼地のようになる

■課題への対策

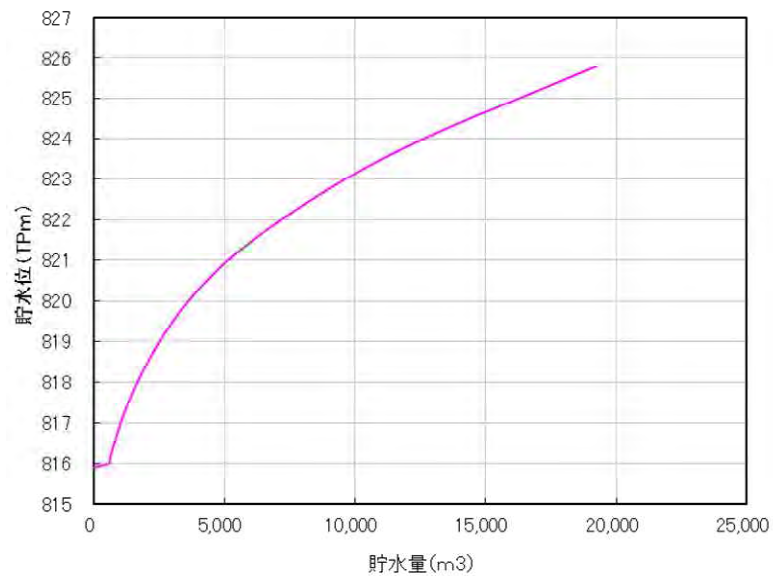
- ・①：ポンプの排水能力と平常時の流入量から湛水池の水を抜くことが可能か判断
- ・②：埋め戻し部のセメントによる改良



河道閉塞部の切り下げと湛水池の埋め戻し（北股地区）

■対策事例①：湛水池への流入量を正確に把握する必要がある

- ・ 正確な湛水容量を把握するためには、できるだけ早期に湛水池の測量を実施する必要がある。
- ・ 埋め戻しによって、湛水容量が小さくなる場合には、越流までの時間を把握するため、埋め戻し後のH-V曲線を作成する必要がある。



H-V 曲線の一例（北股地区）

■対策事例②：埋め戻し部のセメントによる改良

- ・北股地区では、ポンプ排水で湛水池から水を抜き、上流からの流水が湛水池に流入しないように転流した上で、湛水池の埋め戻しを実施した。
- ・埋め戻しに要した期間は1ヶ月程度であり、投入した土砂は7,000m³程度であった。

<有効だった点>

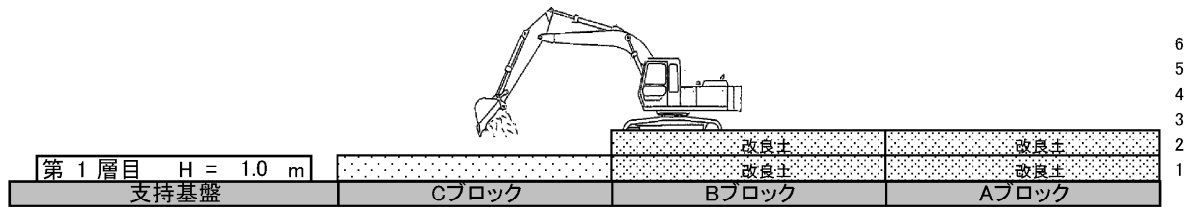
- ・北股地区では、埋め戻し実施箇所が沼地のような状態になったことから、埋め戻し箇所をセメントで改良しながら工事を進めた。
- ・セメント混合土の攪拌はスケルトンバケットを使用した。
- ・セメント添加量は、翌日以降工事車両が作業可能とするため、トラフィカビリティを目安として設定した。



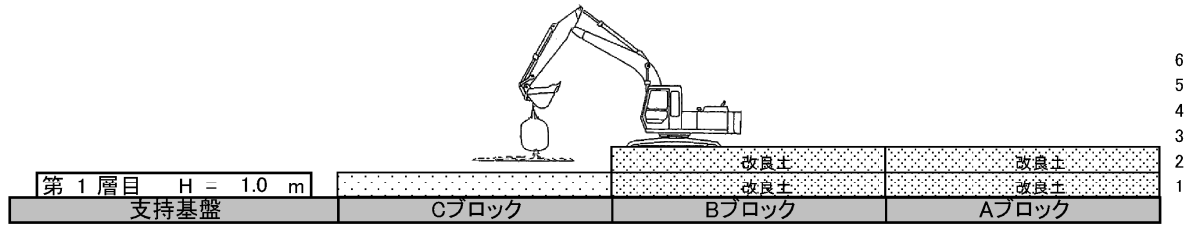
湛水池の埋め戻し（北股地区） 熊谷組提供

Cブロック

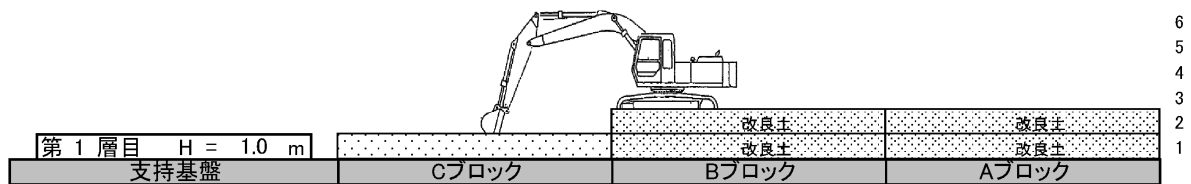
第1層 改良対象土の巻き出し
バックホウ作業可能範囲の改良対象土の巻き出し。



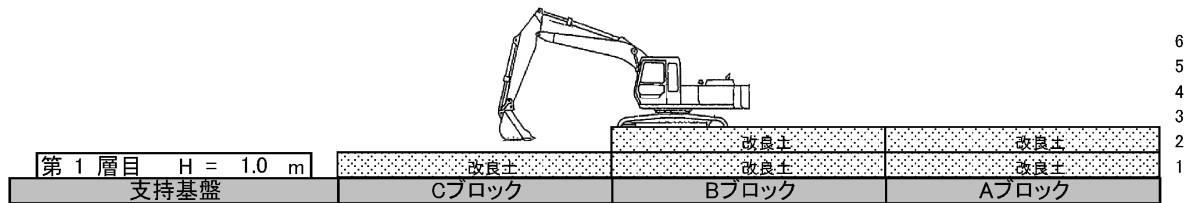
第1層 固化材の散布
バックホウ作業可能範囲の固化材の散布。



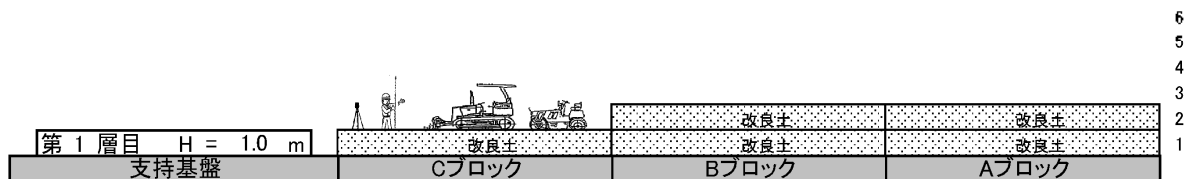
第1層 混合・攪拌
バックホウ作業可能範囲の混合・攪拌作業。



第1層 混合・攪拌完了後、粗整地。
混合・攪拌完了後、バックホウによる粗整地作業。



第1層 所定高さによる、整地・転圧。
所定計画高さによる、ブルドーザー及びローラーによる整地・転圧作業。



4. 崩壊地から天然ダムへの土砂流出抑制

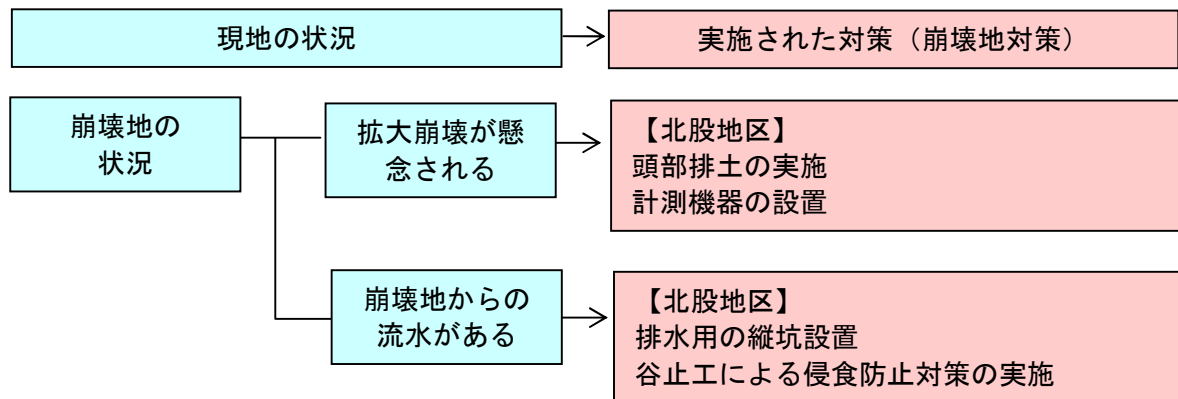
■崩壊地からの天然ダムへの土砂流出抑制の基本

→ 崩壊地における再崩壊・拡大崩壊抑制，土砂流出抑制

崩壊地における再崩壊・拡大崩壊による土砂が天然ダムに流入すると，天然ダム下流域に土砂が流出して河床上昇やそれに起因する洪水氾濫被害が発生する。また，崩壊土砂が天然ダム湛水池に流入すると越波（水）によって天然ダムが侵食・決壊する可能性がある。さらに，天然ダム対策工事における安全確保が困難となる。

崩壊地から天然ダムへの土砂流出抑制の事例ケースを以下に示す。

【対策事例の分類】



(1) 拡大崩壊が懸念される場合（北股地区）

■対策の概要

- ・北股地区は、崩壊地及び河道閉塞部と集落が近接しており、拡大崩壊が発生した場合には集落まで土砂が流出することが懸念されたことから、頭部排土を優先的に実施した。

■対策工事中の課題

- ・①：集落近傍の崩壊地では拡大崩壊により新たな被害発生が懸念される
- ・②：崩壊地と天然ダムがやや離れている場合でも拡大崩壊のリスクは有する

■課題への対策

- ・①：拡大崩壊を防止するため頭部排土を実施
- ・②：崩壊を監視するための計測機器を設置し、仮排水路等の施工を優先する

■対策事例①：無人化施工による頭部排土の実施

- ・拡大崩壊による土砂の再生産及び流出を防止するため、崩壊地頭部まで重機を進入させて頭部排土を実施するが、北股地区の崩壊地頭部はクラックが多数確認されており、頭部排土実施中の拡大崩壊発生が懸念された。そこで北股地区では、無人化施工を活用して頭部排土を先行して実施した。
- ・崩壊地と天然ダムが近接する場合、掘削可能な範囲を把握するため、斜面安定評価を必ず実施する。

<有効だった点>

- ・無人化施工では、「人による直接遠隔操作型」と「カメラ画像による遠隔操作型」の2種類があるが、斜面頭部での作業は見通しが困難であることから、北股地区では「カメラ画像による遠隔操作型」を採用した。
- ・操作室（北股小学校）から施工箇所までは約 1km と離れていることから、操作室から無線基地局まで光ファイバケーブルを敷設した。
- ・無線基地局から施工機械までは無線 LAN システムにより、データの送受信を行った。
- ・無人化施工は、設備設置に多額の費用がかかることから、より広範囲で実施するほどコストを安くすることができる。
- ・無人化施工による頭部排土作業中の固定カメラについては、バックホウ 1 台をカメラ車としてアームにカメラを固定することにより対応した。



無人化施工による頭部排土（北股地区）



頭部排土の無人化施工実施フロー（北股地区）

■対策事例②：計測機器の設置（赤谷地区，長殿地区，熊野地区等）

- ・仮排水路等の水位上昇抑制対策の施工を優先的に実施する場合，崩壊地斜面側の対策を最小限とし，崩壊地頭部のクラック地点に計測機器を設置する。

<有効だった点>

- ・崩壊地頭部のクラック箇所に伸縮計（熊野地区等）や GPS 計測装置（赤谷地区，長殿地区等）を設置し，万が一異常な変位を確認した際には，作業員に対して避難連絡ができるようにした。



伸縮計による計測（熊野地区）

<課題となった点>

- ・施工現場は騒音が大きく，谷部であることから視認性も劣ることから，仮にクラック等の変位を確認した場合でも，サイレンやランプ等では作業員に伝達することが難しいことがわかった。
- ・赤谷地区では，作業員全員に無線を携帯させるとともに，定期的な避難訓練を実施することで対応した。

(2) 崩壊地からの湧水がある場合（北股地区）

■対策の概要

- ・ 北股地区は、崩壊地からの流水が非常に多いことから、崩壊地からの流水を処理する対策を実施した。

■対策工事中の課題

- ・ ①：崩壊地から大量の湧水が発生している
- ・ ②：崩壊斜面内の流水が多い

■課題への対策

- ・ ①：堆積工内に排水用の縦坑を設置する
- ・ ②：崩壊斜面側の流水処理として谷止工を設置

■対策事例①：堆積工内に排水用の縦坑を設置する

- ・ 北股地区では、防護土堤の整備と合わせて、堆積工内に排水用の縦樋（集水井）を設置した。

<有効だった点>

- ・ 堆積工内に設置した排水用の縦樋とともに、土堤の下流側越流部から流水を河道へ導流することで、安全な水みちを確保した。



堆積工内の縦樋（北股地区）

■対策事例②：谷止工による侵食防止対策

- ・北股地区では、崩壊地からの出水が多いことから、崩壊地内に水路を設置しており、下流端となる地点に谷止工を設置した。

<有効だった点>

- ・北股地区では、崩壊斜面からの流量が多かったことから、崩壊斜面側の流水処理が重要であった。
- ・そこで、砂防ソイルセメントを中詰材とした土のうを用いた谷止工を崩壊斜面に設置した。
- ・大型土のうによる谷止工であることから、施工性に優れることから、崩壊斜面においても適用可能な工法であった。
- ・斜面内にも改良土による水路を設置した。改良土の目標強度は $3\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とし、セメント添加量は室内試験結果より $170\text{kg}/\text{m}^3$ とした。



大型土のうを用いた谷止工による侵食防止対策（北股地区）

5. 天然ダムの脚部・下流における基幹堰堤の構築

■特 徴

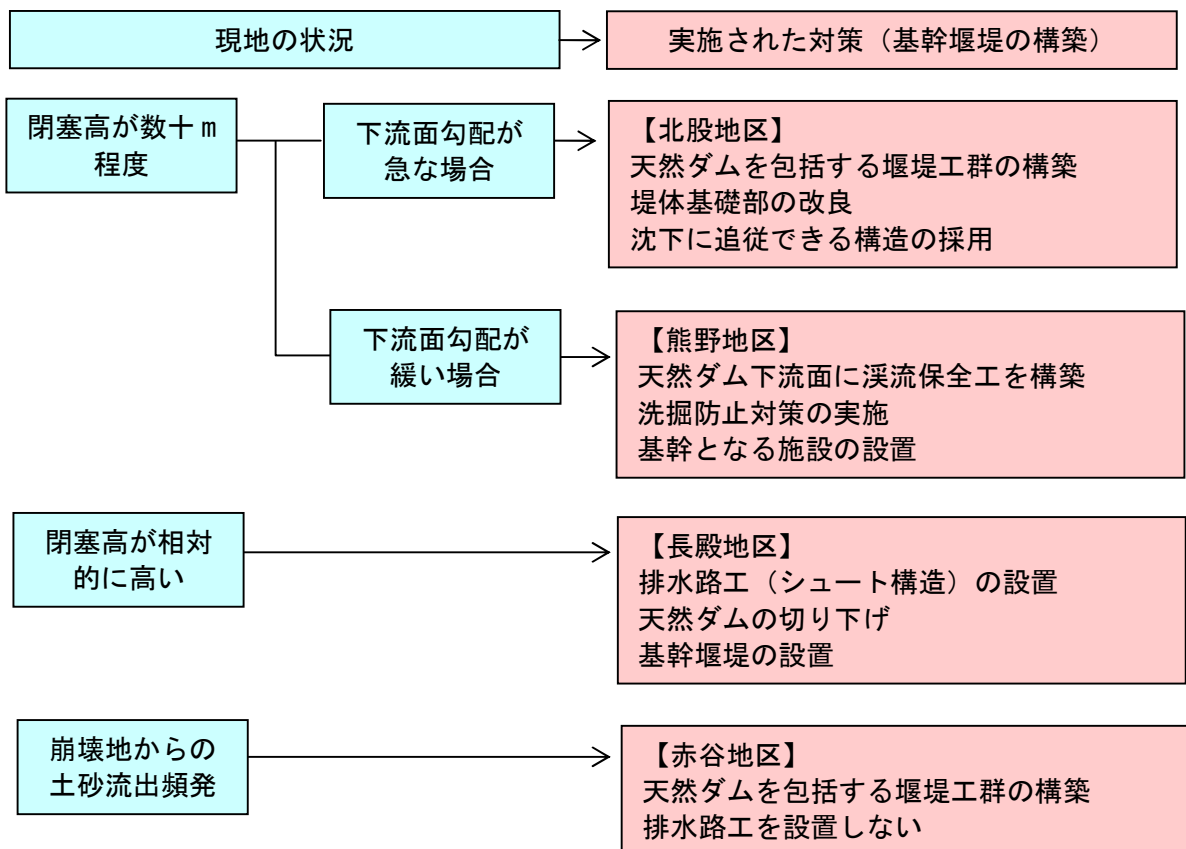
- ・ 越流に伴う天然ダムの侵食が生じた場合、天然ダムの脚部固定によって決壊の危険性とともに決壊流量規模を低減させる。
- ・ 減勢効果によって排水路工の下流端における局所的な洗掘・河床低下を抑制し、天然ダムの侵食を防止する。

【留意点】

- ・ 施工期間等を考慮し、ブロックや砂防ソイルセメントを活用した堰堤工を基本とする。ただし、表面の摩耗対策が必要である。
- ・ ブロックを活用した堰堤工とする場合、堰堤下流で洗掘が発生すると堰堤の下流側のブロックの沈下や移動により、堰堤全体が倒壊する恐れがあるため、基礎部の改良やコンクリートの打設等による、基礎処理が必要である。

天然ダムの脚部・下流における基幹堰堤の構築は、以下の状況に応じて進める。

【対策事例の分類】



■対策事例①：天然ダムを包括する形で堰堤工・床固工群を構築

・北股地区は、崩壊地からの土砂流出により排水路工が埋没した実績を有していることから、今後も排水路工への土砂流入による機能阻害が想定される。 したがって、河道閉塞部上に堰堤工・床固工群を整備する。



堰堤群による河道閉塞対策（北股地区）

■対策事例②：堤体基礎部の地盤改良と沈下に追従できる構造の採用

- ・ 不安定土砂上に砂防堰堤を設置する場合、砂防ソイルセメント等で地盤改良し、その上に堰堤工を設置する。
- ・ 堰堤工により、天然ダム上流側を堆砂させることで深層崩壊の脚部固定が可能となる上、崩壊地の再崩壊や拡大崩壊が発生した場合でも、堰堤堆砂域で土砂流出抑制を図ることができる。



砂防ソイルセメント養生中の状況（北股地区）

- ・ 北股地区では、表層から岩盤基礎まで土石流堆積物の堆積厚が 14.5m 程度あり、土石流堆積物の N 値が 5～20 程度であったことから、堤体の安定を確保するため、基礎処理を実施した。
- ・ 地盤支持力が小さいため、沈下を想定して、堤体の構造はダブルウォール＋二重矢板構造とした。二重矢板構造は、沈下に追従できるスライド構造になっており、旧土石流堆積物まで矢板を打ち込んで、堤体基礎部を改良した。



ダブルウォール＋二重矢板構造（北股地区）

(2) 閉塞高が数十 m 程度（30m 未満）で下流面勾配が比較的小さい場合（熊野地区）

■ 対策の概要

- ・ 熊野地区等の閉塞高が数十 m 規模で、下流面勾配が比較的小さい河道閉塞箇所では、越流水を安全に流下させるとともに天然ダムの侵食を防止するため、天然ダム下流面に溪流保全工を構築する。



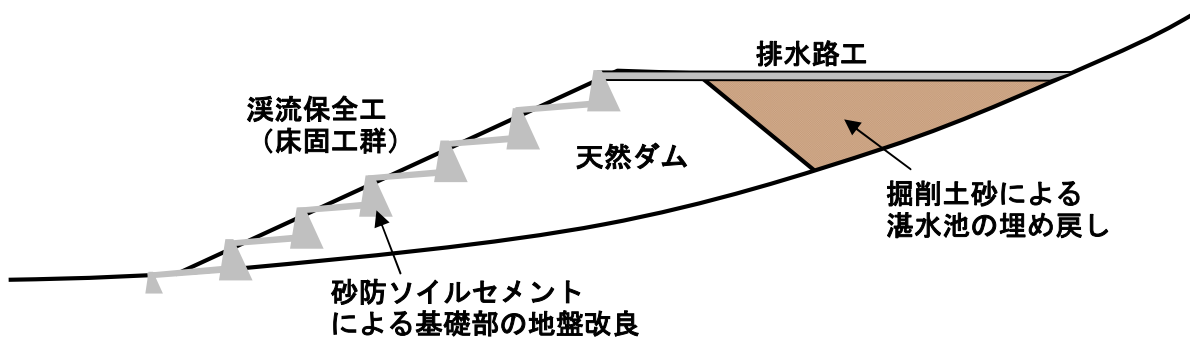
対策位置図（熊野地区）

■ 対策工事中の課題

- ・ ①：下流面が緩い場合、計画規模の流量を排水路工で流下可能
- ・ ②：計画規模の流量を安全に流下させる
- ・ ③：計画規模を上回る流量となった場合は排水路工から溢水する

■ 課題への対策

- ・ ①：天然ダム下流面に溪流保全工を構築
- ・ ②：洗掘防止対策の実施
- ・ ③：基幹となる施設の設置



対策イメージ図

■対策事例①：天然ダム下流面に渓流保全工を設置

- ・熊野地区では、対策箇所の点から、緊急対策水路と恒久対策を別々に整備することは困難と判断し、緊急対策工で整備された仮排水路工を活用して、100年超過確率規模の流下断面を有する渓流保全工を整備した。
- ・熊野地区では、崩壊土砂上における施工であったため、構造体の沈下に追従できるようにすることや、現地に多量の土砂が存在することから、河道閉塞部天端はかごマットによる水路工、下流法面は鋼製枠堰堤と流路工（続枠）構造とした。
- ・鋼製枠に使用する中詰材は、現地で発生した材料を破砕して利用した。
- ・河道閉塞部右岸の崩壊地山脚部が脆弱であり、直径10m～20mの岩塊が存在することから、排水路法線は極力左岸よりとした。
- ・下流の法勾配については、極力掘削しないように河道閉塞部の現下流勾配程度とした。



渓流保全工による河道閉塞対策（熊野地区）

■対策事例②：洗掘防止対策の実施

- ・ 床固工の前庭部は、流水による洗掘を防止するため、コンクリート等による前庭保護工を設置する。

<課題となった点>

- ・ 熊野地区の仮排水路工は、現地発生材を活用した砕工で構築されていたため、越流水によって中詰め材の流出が発生した。また、透水性が高く、浸透破壊のリスクを有していた。
- ・ そこで、床固工直下を含む溪流保全工の流路部分について、コンクリート及び鉄板にて洗掘防止対策を実施した。



床固工直下での洗掘（熊野地区）



床固工直下の洗掘対策（熊野地区）

■対策事例③：基幹となる施設の設置.

- ・床固工の袖部は，仮に越流水が天然ダムを流下した場合であっても，侵食・決壊を防止するために，基幹となる施設については，兩岸の地山まで袖部を配置する。

<課題となった点>

- ・熊野地区では，仮排水路工の床固工袖部が地山まで配置されていなかったため，平成 26 年 7 月の台風 11 号による出水において，左岸側の仮々排水路からの溢水侵食が発生し，左岸側袖部の一部が破損した。
- ・熊野地区では，洪水流が排水路工から溢流して河道閉塞部を侵食した場合でも，河道閉塞部全体の破壊に至らないよう，排水路工の末端部に基幹となる砂防堰堤を配置した。



袖を貫入しなかった場合の侵食による破損（熊野地区）

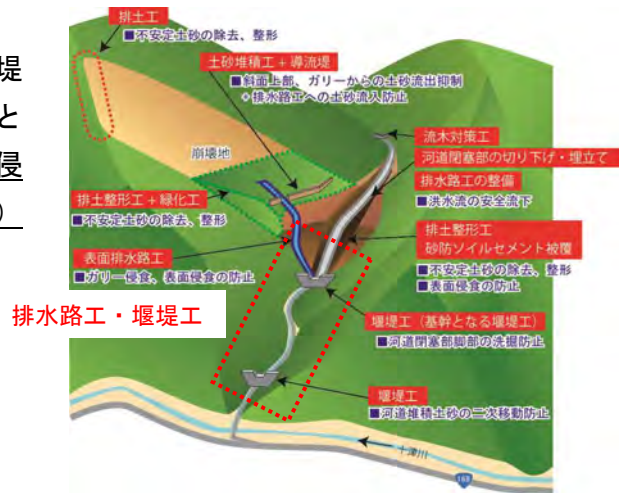


基幹となる砂防堰堤（熊野地区）

(3) 閉塞高が相対的に高い場合 (30m 以上) (長殿地区)

■ 対策の概要

- ・ 長殿地区等の閉塞高が相対的に高い場合、堰堤工による河道閉塞部の安定化は困難であることから、越流水を安全に流下させて天然ダムの侵食を防止するため、排水路工（シュート構造）を設置する。



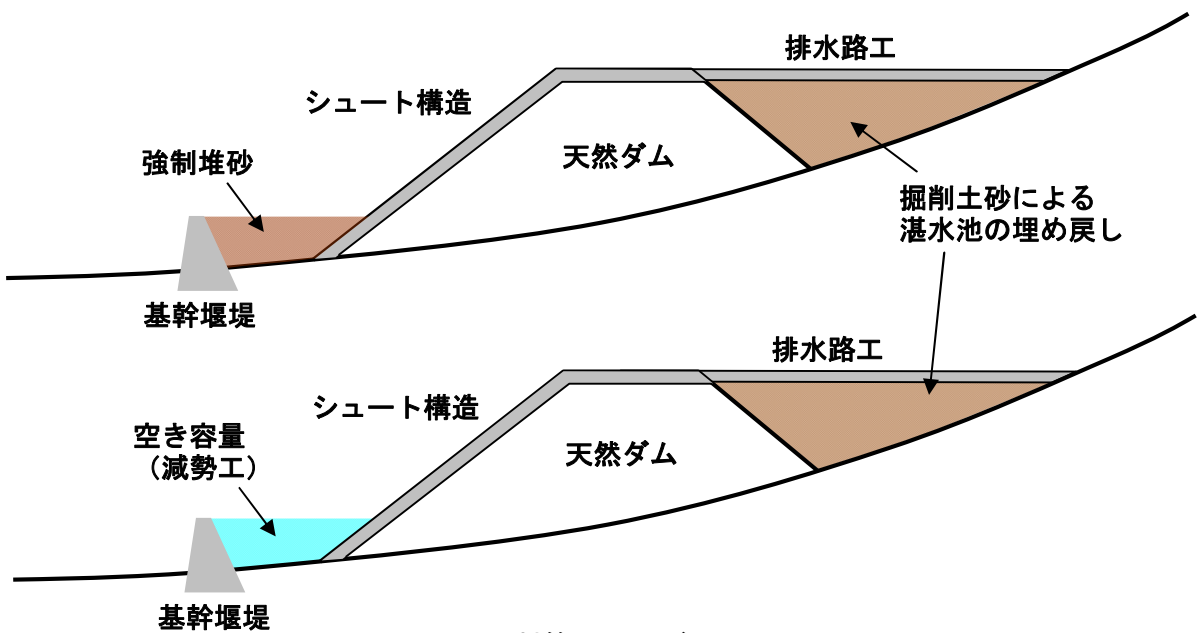
対策位置図 (長殿地区)

■ 対策工事中の課題

- ・ ①：堰堤工群による天然ダムの安定化は困難
- ・ ②：越流標高が高い
- ・ ③：河道閉塞部脚部の洗掘対策が必要

■ 課題への対策

- ・ ①：排水路工（シュート構造）の設置
- ・ ②：天然ダムの切り下げ
- ・ ③：基幹堰堤の設置



対策イメージ図

■対策事例①：排水路工（シュート構造）の設置

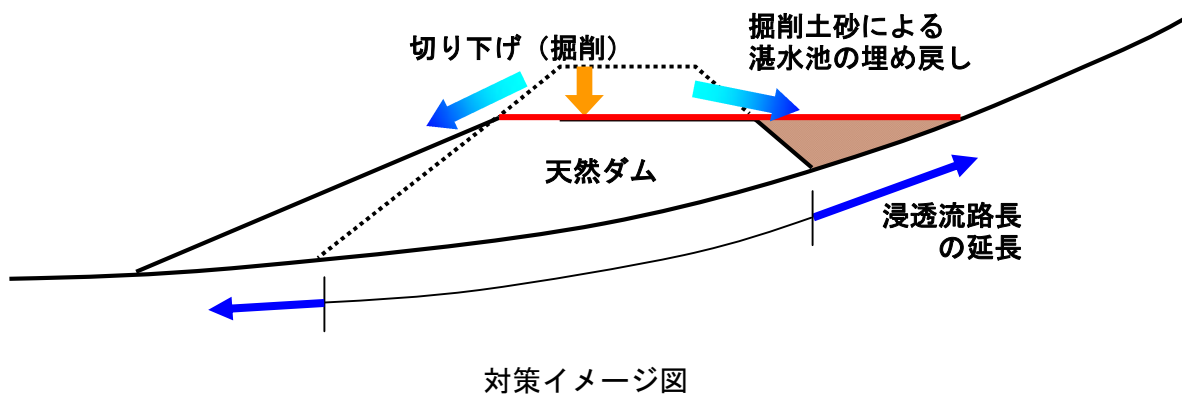
- ・長殿地区では、計画規模の洪水流を安全に流下させるため、仮排水路工を拡幅（場所によっては新たに掘削）し、必要な流下断面を有した排水路工を整備する。
- ・計画規模を上回る流量により排水路工を溢水した場合でも、急激な河道閉塞部の侵食を防止するため、砂防ソイルセメント等により、排水路工周辺を中心に河道閉塞部の強化を行う。



排水路工による河道閉塞対策（長殿地区）

■対策事例②：天然ダムの切り下げ

- ・長殿地区は閉塞高が高いことから、崩壊地・崩壊土砂の安定性を損なわない範囲で、また施工の困難性を判断した上で可能な限り越流標高（排水路工呑口標高）を切り下げる。
- ・また切り下げと合わせて、湛水池の埋め戻しと天然ダム下流面の緩勾配化により越流決壊と浸透破壊の危険性を低減させる。



■対策事例③：基幹堰堤の設置

- ・長殿地区では、天然ダム脚部に基幹堰堤を構築し、シュート部を流下してくる越流水の減勢を図ることとした。
- ・天然ダム脚部固定により、局所的な洗掘や河床低下を抑制し、越流に伴う天然ダムの侵食を防止した。
- ・浸透流を安全に流下させるため、基幹堰堤にドレーン工を設置した。
- ・長殿地区では、作業スペースが限られていたことから、砂防ソイルセメントの製造を自動化できるSR-メサイアを導入し、施工の効率化を図った。



天然ダム脚部への基幹堰堤設置（長殿地区）



砂防ソイルセメント製造機械（長殿地区）

※自走式土質改良機 SR-G2000 カタログ，日立建機日本株式会社

- ・ 基幹堰堤を強制堆砂とするか空き容量を確保するかは、水理模型実験により減勢効果を確認した。その結果、長殿地区の基幹堰堤では、空き容量を確保したほうが減勢効果が大きいという結果が得られた。

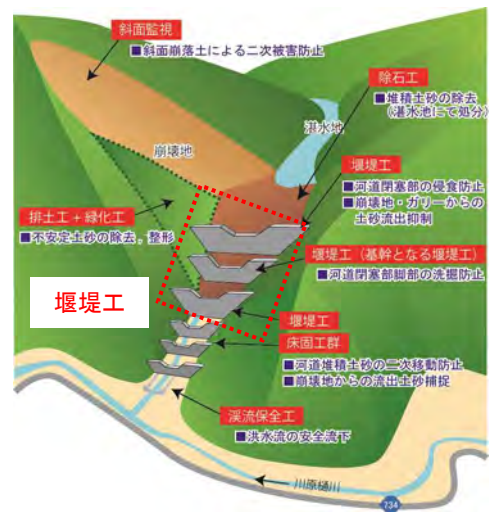


水理模型実験による減勢効果の検証（長殿地区）

(4) 崩壊地からの土砂流出が頻発する場合（赤谷地区）

■対策の概要

- ・ 赤谷地区等の閉塞高数十 m 規模で下流面勾配が比較的急な河道閉塞箇所では、天然ダムを包括する形で堰堤工（群）を構築する。なお、堰堤工の袖部は地山までかん入させる。
- ・ また、崩壊地からの土砂流出が頻発することから、排水路工は設置しない。



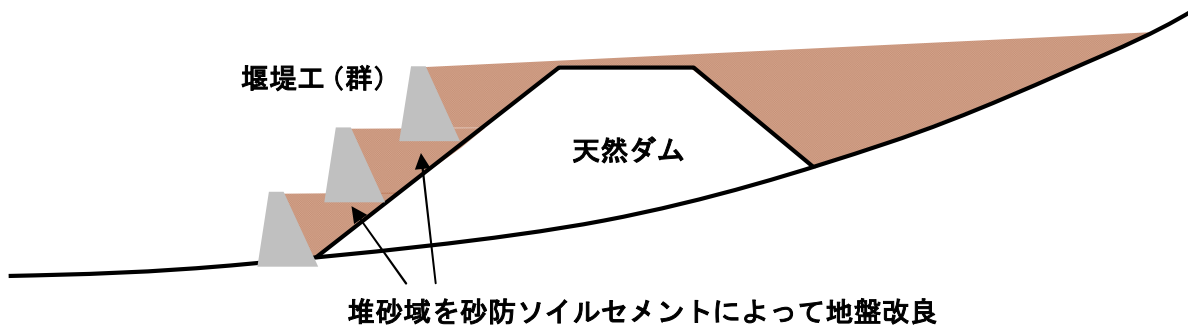
対策イメージ図（赤谷地区）

■対策工事中の課題

- ・ ①：土砂流出により排水路の機能確保が難しい
- ・ ②：不安定土砂上に砂防堰堤を設置する
- ・ ③：土砂流出により堰堤が被災するリスクがある
- ・ ④：越流により下流河道の河床が低下するリスクがある

■課題への対策

- ・ ①：天然ダムを包括する形で堰堤工群を構築し、排水路工は設置しない
- ・ ②：堤体基礎部の地盤改良
- ・ ③：砂防ソイルセメントによる上流側の被覆
- ・ ④：砂防ソイルセメントによる下流河道の縦侵食抑制



対策イメージ図

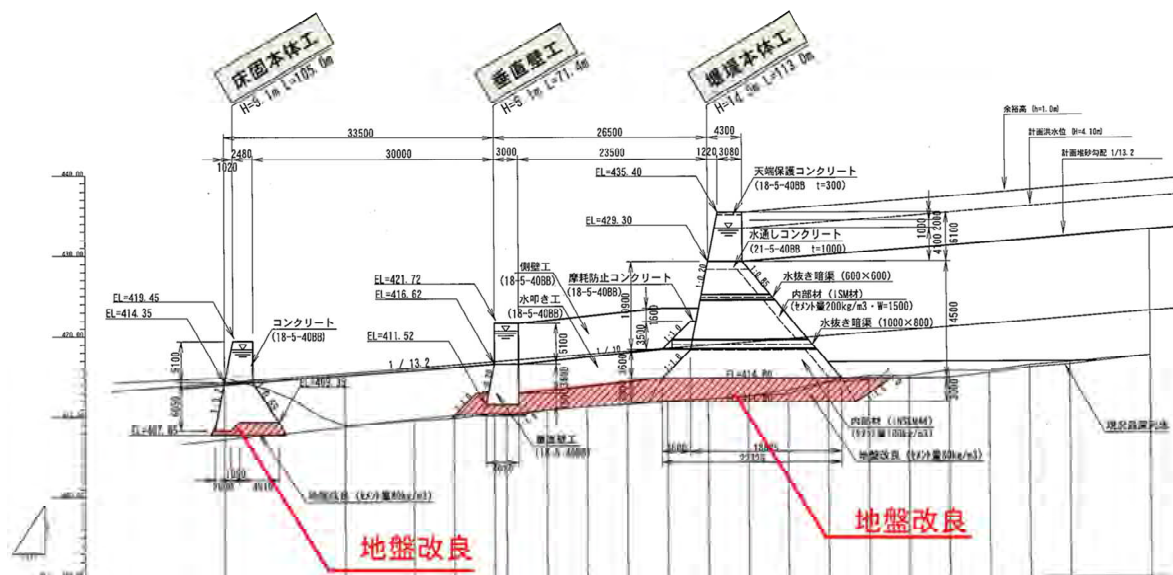
- 対策事例①：天然ダムを包括する形で堰堤工・床固工群を構築し、排水路工は設置しない
 ・赤谷地区は、崩壊地からの土砂流出頻度が高く、排水路工の機能阻害が想定されることから、河道閉塞部上に堰堤工群を整備し、排水路工は設置しない。



堰堤工群による河道閉塞対策（赤谷地区）

■対策事例②：堤体基礎部の地盤改良

- ・不安定土砂上に砂防堰堤を設置する場合、砂防ソイルセメント等で地盤改良し、その上に堰堤工を設置する。
- ・堰堤工により、天然ダム上流側を堆砂させることで深層崩壊の脚部固定が可能となる上、崩壊地の再崩壊や拡大崩壊が発生した場合でも、堰堤堆砂域で土砂流出抑制を図ることができる。



堤体基礎部の地盤改良（赤谷地区）



堰堤工群による河道閉塞対策（赤谷地区）

■対策事例③：砂防ソイルセメントによる上流側の被覆

- ・赤谷地区では、平成 26 年 8 月の台風 11 号による土砂流出によって、施工中の 2 号砂防堰堤（INSEM-SB）が破損した。特に袖部の上下流外部保護材及び内部材が損傷を受け、下流に流出していた。
- ・一方、水通し部は越流による摩耗がみられたが、下流側保護材に剥離等はなく、内部材の露出も認められなかったことから、2 号砂防堰堤が河道閉塞部脚部を固定する効果が確認された。
- ・そこで、土砂流出が頻発する箇所を設置する砂防堰堤については、袖部の外力に対する抵抗性を高めるため、袖部上流側を砂防ソイルセメントにより被覆した。



崩壊地からの土砂流出による砂防堰堤の破損状況（赤谷地区）



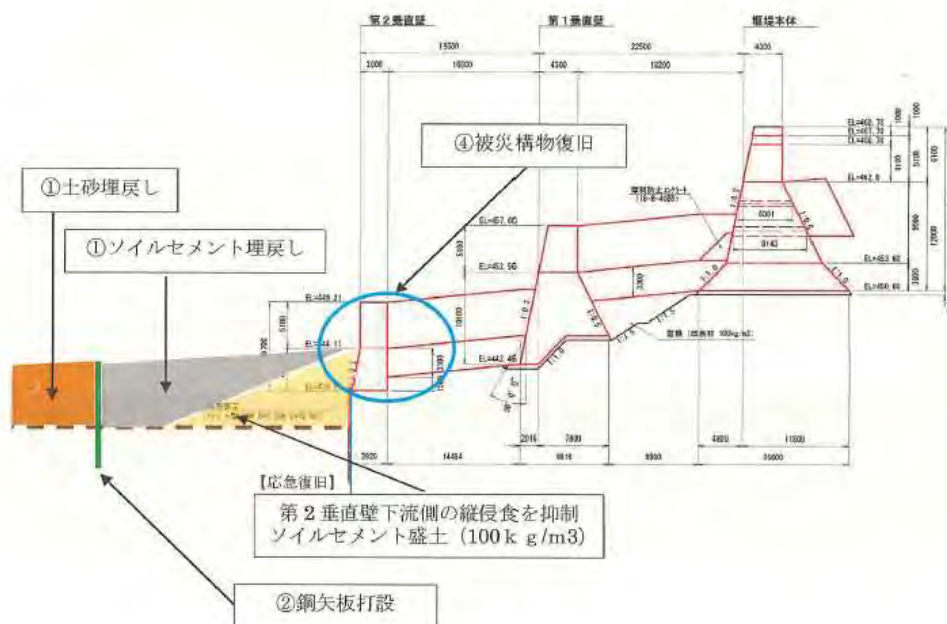
砂防ソイルセメントによる袖部上流側の被覆（赤谷地区）

■対策事例④：砂防ソイルセメントによる下流河道の縦侵食抑制

- ・赤谷地区では、平成 27 年 7 月の台風 11 号による越流によって、2 号砂防堰堤の下流河道が侵食し、左岸側の垂直壁袖部及び側壁が転倒した。侵食前の垂直壁下流河道は土砂による埋め戻しが実施されていた。
- ・垂直壁直下の河道を砂防ソイルセメントで改良するとともに、下流側に鋼矢板を打設して、侵食の抑制を図った。
- ・河床の二次移動が激しい箇所においては、施設下流側の侵食防止対策が重要であった。
- ・なお、平成 27 年台風 11 号時に 2 号砂防堰堤本堤は完成していたため、河道閉塞部の脚部固定効果は発揮されていた。



下流河道の侵食による垂直壁の転倒状況（赤谷地区）



砂防ソイルセメントによる下流河道の縦侵食抑制（赤谷地区）

おわりに

本書は、紀伊山地における大規模河道閉塞対策の実施に当たっての考え方とともに、対策の実施内容や実施状況等を実例としてとりまとめたものです。具体的には、平成24年度「河道閉塞等対策検討委員会」（委員長：水山 高久 京都大学大学院 教授（当時、現 政策研究大学院大学 特任教授））において提言された、紀伊山地における深層崩壊・河道閉塞の対策の目標、対策の基本的な考え方、計画の規模、施設配置の基本方針などの対策の基本方針とともに、その方針を踏まえて実施してきた8箇所（赤谷地区・長殿地区・栗平地区・北股地区・熊野地区・清水〔宇井〕地区・坪内地区・三越地区）の対策を通じて得られた知見に基づいています。

平成26年3月には、前述の委員会の委員長であった水山教授を座長とした「河道閉塞対策における今後の技術開発の動向について（意見交換会）」を開催し、対策工事に従事された方々から実際の対策工事を通じて得られた知見、現状における対策実施上の課題、今後の対策工事のあり方等について意見交換を行ったほか、施工業者に対し本書の内容に関する意見照会を行い、対策工事の施工現場でより使いやすいものとなるように編集しました。

本書のとりまとめに当たり、委員会等を通じて格別のご指導を賜りました水山教授ならびに国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部各位、貴重なご意見を頂戴しました対策工事・関連業務の担当者に深謝いたしますとともに、発災当初より厳しい条件の下での対策実施に当たりご支援・ご尽力いただきました多くの関係者の皆様に御礼申し上げます。

平成29年9月

国土交通省 近畿地方整備局

大規模土砂災害対策技術センター

副センター長（紀伊山系砂防事務所長） 吉村 元吾