

鶴田ダム再開発事業における治水効果発現及びそれに係わる地すべり対策について

川内川河川事務所 工事課 ◎高山 善光
 ○福永 健志
 ●藤野 隆

1, はじめに

鶴田ダム再開発事業では、あまり例を見ない地すべり対策の検討を実施している。本事業では、限られた事業費の中で、事業を完了させる必要があり、その限られた事業費の中で、地すべり対策に係る費用が当初想定していたもの以上にかかる状況で、どうにかしてコスト削減をはかることが求められた。今回、コスト削減に係わる地すべり対策調査及び検証を実施したので、その内容について報告する。

2, 鶴田ダム再開発事業の概要

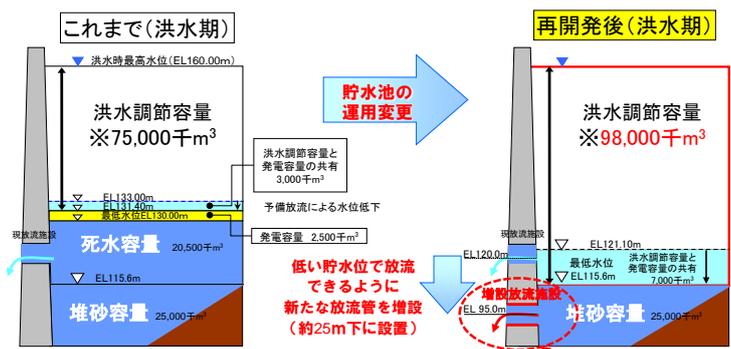
鶴田ダムは、川内川のほぼ中央に位置しており、洪水調節と発電を目的として、昭和 41 年に完成した多目的ダムである。

川内川流域では、平成 18 年 7 月の記録的な豪雨により流域全体で甚大な被害が発生したため、河川激甚災害対策特別事業（激特事業）が採択され、また鶴田ダムの治水機能強化に対する要望もあり、激特事業と相まって川内流域の洪水被害を軽減するため、平成 19 年度より鶴田ダム再開発事業に着手している。

本事業では、洪水による被害を軽減するため、鶴田ダムの洪水調節容量を最大 75,000 千 m³ から最大 98,000 千 m³(約 1.3 倍)に増やす事業で、平成 28 年 4 月から再開発後の新たな運用を開始している。容量を増やすのに伴い、既設の放流管より低い位置にある水を流せるようにする必要がある。よって、既設放流管より低い位置に新設放流管を設置する工事を実施した。併せて新設減勢工や既設減勢工の改造工事等を実施している。また、水位を今までより約 15m 下げて運用することで、管理開始して 50 年間経験したことのない水位(未経験水位)で運用することになる。よって、貯水池地すべりや堤体の安全性評価を実施する必要が生じた。



図 2-1 鶴田ダム位置図



※洪水期における最大の洪水調節容量

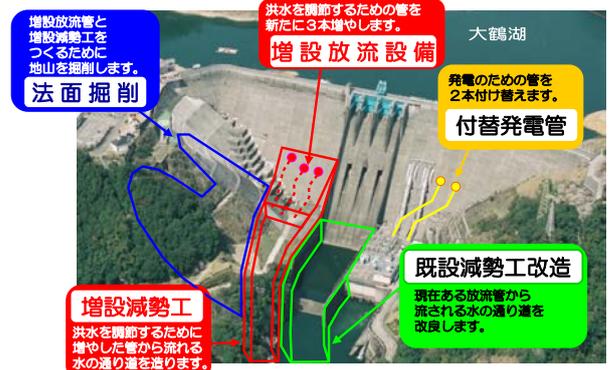


図 2-2 鶴田ダム再開発説明図

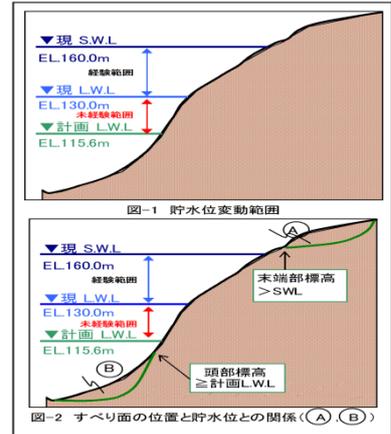
3, 鶴田ダム貯水池における地すべりの検討手法

今回再開発事業によって、貯水位運用が変わるため、再開発後の運用における貯水池地すべりの安定性について検討した。ダム貯水池における地すべりの基本的な検討は、概査、精査、解析、対策工の検討及び湛水時の斜面管理により構成される。一般的に技術指針（貯水池周辺地すべり調査と対策）が用いられる。しかし、鶴田ダムは運用中の貯水池であることから、地形条件や貯水池運用条件・実績、事業工程などにより準拠できない部分が多い。そこで、鶴田ダム貯水池斜面の安定性評価において、関係機関協議等を経て「鶴田ダム独自の貯水池地すべり検討フロー（精査ブロック抽出フロー）」を立案し、検討を行った。

3. 1. 1, 地すべり対策の検証を行わない例

本事業の検討フローの結果、対策不要としたものを以下に示す。

- 地すべり面の末端部標高が SWL より高い場合 (右図 A)
- 地すべり面の頭部標高が LWL 以下である場合 (右図 B)
- 地すべり面の末端部標高が EL.133m より高く、EL.160m 以下の場合 (鶴田ダムが管理開始して地すべりの経験がないことから) (右図 C)



3. 1. 2, 地すべり対策の検証を行った例

本事業の検討フローの結果、対策の有無の検証を実施したものを以下に示す。

- 地すべり面の末端部標高が EL.133m より低い場合 (右図 D)

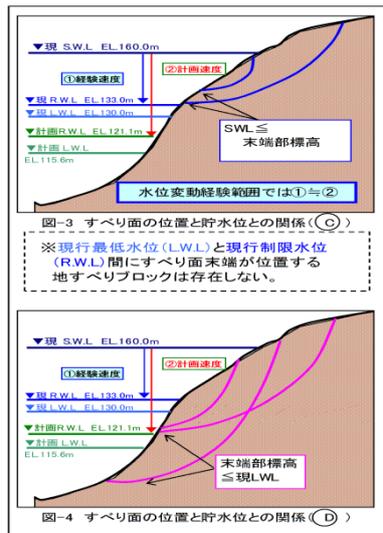


図 3-1 地すべり対策の検証条件図

3. 2, 安全率の考え方について

新規建設ダムと再開発ダムでは、安全率に関する考え方も異なる。建設前ダムでは、初期安全率 $Fs_0=1.05$ とし初期条件 (C、 ϕ) を設定し、安定計算を行って対策の有無を確認する。ここで安全率最低値 $Fs_{min}<1.00$ となる場合鶴田ダムでは、既に過去約 50 年間経験した水位変動実績が存在し、その間斜面状態の実績に基づき、最低限 Fs_0 (Fs_{min}) =1.00 が保証されていると考え、逆算により初期条件 (C'、 ϕ') を再設定し、安定計算を行った。なお、解析モデル (ダム建設前を除く) は、鶴田ダムが建設されてから 50 年経過しているため、堆砂を考慮 (カウンターウエイトのみ) したモデルとする。また、対策工の必要性判断については、再開発後の貯水池変動条件での安定性照査を行うが、再開発前と比べて、貯水池変動条件が厳しくなることから対策工が必要となる。

	① 初期値設定 (初期設定: STEP1) 【通常新規ダムと同等の初期設定手法】	② 現行水位条件での安定性照査 【経験値の検証】	③ 初期値再設定 (初期設定: STEP2) 【再開発ダム特有の経験値を反映した手法】	④ 再開発後の水位条件での安定性照査 【対策工の必要性判断】
計算断面模式図				
貯水位条件	貯水位なし (ダム建設前)	【現行の貯水位変動: 水位変動経験範囲】 ① 予備放流水位 (EL.131.4m) → ② サーチャージ水位 (EL.160.0m) → ③ 制限水位 (EL.133.0m)	同 左	【再開発後の貯水位変動: 水位変動未経験範囲含む】 ④ 予備放流水位 (EL.115.6m: L.W.L.) → ⑤ サーチャージ水位 (EL.160.0m) → ⑥ 制限水位 (EL.121.1m)
地下水位条件 (残留地下水位)	地下水位なし (安全側に設定)	・ 水位上昇時: 貯水位と同水位 ・ 水位低下時: 残留間隙水圧相当水位 (残留率: 最大50%)	同 左	同 左
堆泥条件	堆泥なし (ダム建設前)	堆泥考慮 (H21.2堆砂測量成果を反映) (カウンターウェイトのみ)	同 左	同 左
初期安全率	$F_{s0} = 1.05$	$F_{s0} (= F_{s1}) = 1.05$	同 左	同 左
初期条件	C' (kN/m ²) ϕ (°)	地すべりブロックの最大鉛直厚から設定	同 左	同 左
安定照査 (安全率低下 ΔF_s)	—	$F_{smin} \geq 1.0$ ※ $F_{smin} < 1.0$ の場合: $\Delta F_s = 1.0 - F_{smin}$	同 左	同 左
安定計算結果 (例: L-17 (B))				

図 3-2 新規建設ダムと鶴田ダムの水位変動範囲に対する安定解析と初期条件の設定フロー

4, L-15 ブロックにおける安全性評価の検討

鶴田ダムの地すべり箇所として精査された L-15 ブロック (図 4-1-1) については、逆算による安全性評価ではなく、直接物性値を決定するために調査縦坑、横坑によりサンプリングを実施し、一面せん断試験から物性値を求め、安全性評価を行った。縦坑・横坑については、掘進長がそれぞれ約 20m と約 106m であり、深度約 40m・約 90m 地点に試料採取箇所として、枝坑を 2 箇所掘削している。

4. 1, サンプリングについて

調査横坑の枝坑約 40m と約 90m の上流側と下流側で採取を実施した。枝坑からの試料採取は、確認されたすべり面のうち、安全側を考慮して粘土層を伴う範囲から採取を行った。また、現時点までで実施されているボーリングコアと横坑の岩盤スケッチ面を比較した結果、ブロック中央部付近には横坑で確認された粘土層が確認されたが、その他のボーリングコアから確認はできなかったため、すべり面全面には連続して粘土が存在していないことが推定さ

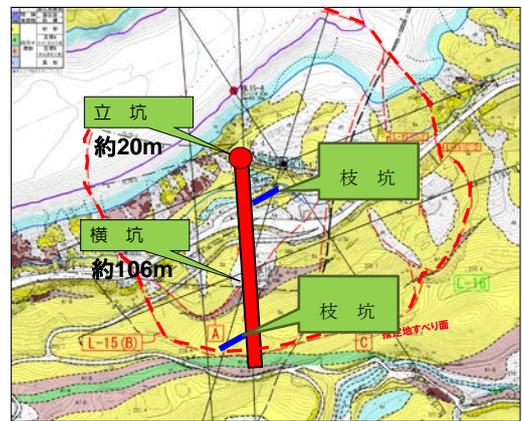


図 4-1-1 縦坑・横坑位置図

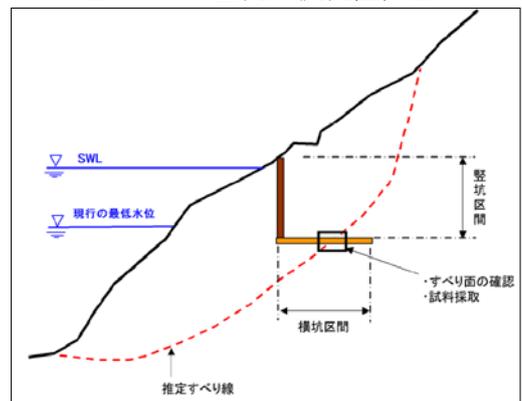


図 4-1-2 縦坑・横坑イメージ図

れた。採取にあたっては、粘土層を伴う範囲から枝坑サンプルの切出し・運搬による試料の乱れ、試験時にサンプルが崩壊する懸念があったが、すべり面でより多くのサンプルを採取し、発砲ウレタンで固めた後に切り出す工夫を行って対応した。

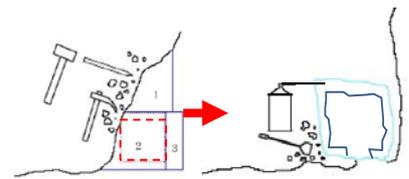


図 4-1-3 サンプルング方法

4. 2, 一面せん断試験～すべり面強度評価、妥当性確認
 一軸せん断試験については、①原位置におけるすべり面を対象にブロックサンプリング試料に対して、すべり面の条線方向（すべり面方向）へせん断荷重を作用させて試験を実施。②一面せん断試験の実施に先立ち、試験供試体の作成過程ですべり面付近の試料を採取して物理試験、ふるい分け試験を実施し、試験試料の特異性を確認した。また、物性値に基づき一面せん断試験の拘束荷重に偏りが生じないように選定するという考慮しながら試験を行った。物性値評価の過程については、図 4-2-1 のフローにあるとおり、一面せん断試験で応力-変形特性の分析で、せん断変位（ δ ）とせん断応力（ τ ）及び垂直変位（ ΔH ）の関係図を基にグラフの形状ごとに評価の区分分けをし、棄却作業を行いながら適正なデータを使用するようにした。また、試験面観察による分析も同様に、データの信頼性を高めるよう努めた。具体的にいうと、キャッピングモルタルの「上盤のクラック」が上面・下面・側面のうち 1 箇所なら評価【1】、「上盤クラック」が上面・下面・側面のうち 2 箇所以上あったら評価【2】というように設定している。（評価の数字は低いほど評価が高い）なお、適正な試験値の評価が不可能になる「削痕」が見られた場合は棄却対象と設定している。

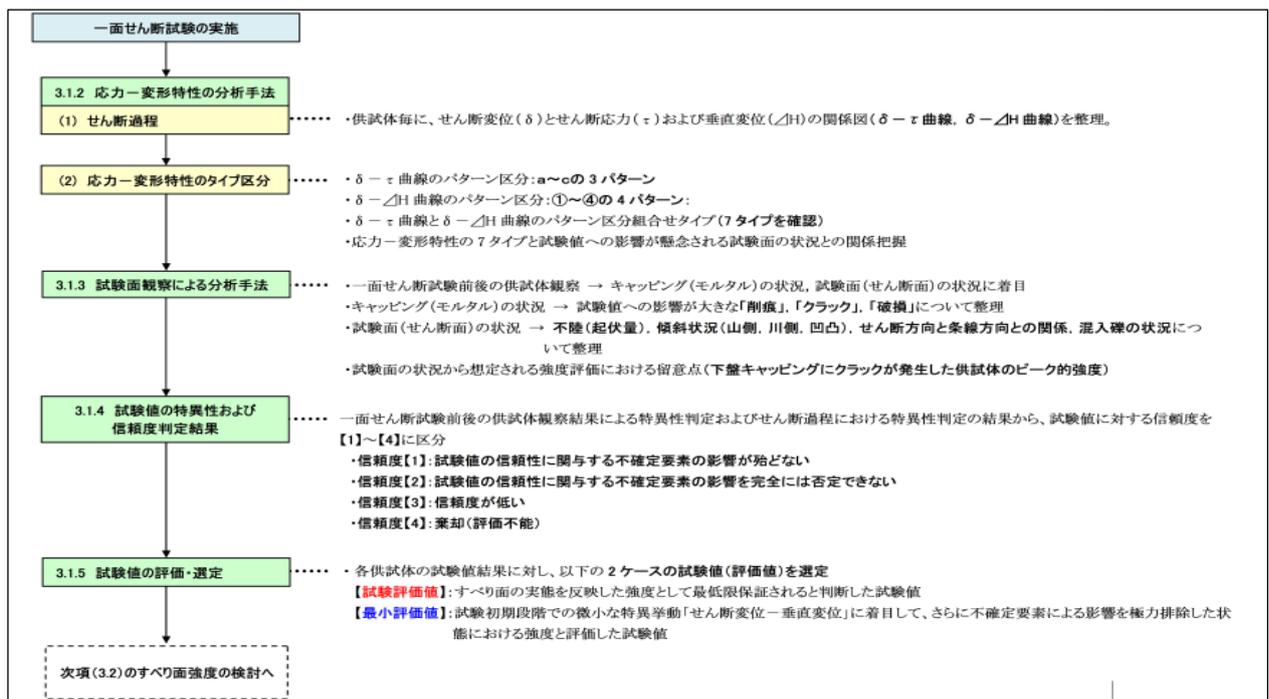


図 4-2-1 試験値の整理・分析フロー

応力-変形特性の分析と試験面観察による分析を行い、各評価を信頼度の指標(判定表)を作成し、各採取ブロックのデータの総合評価を実施した。これらを考慮して、せん断試験により得られたピーク強度(試験評価値)と試験初期の垂直変位に土質的でない特異挙動が確認されるまでの範囲で最大となる強度(最小試験値)を選定し、この試験値を基にすべり面強度の検討を行う。

すべり面強度の検討としては、まず採取地点別の検討を行い、データの評価を実施した。結果としては、ブロック内のデータにばらつきがあったことやデータの棄却により評価できるものがないことから難しいと判断し、ブロック内で実施した試験値のうち評価可能となった全試験値を基に、地すべりブロック単位で設定することとした。地すべりブロックごとのデータとりまとめにあたり、信頼性のある評価にするため、以下のようなデータをもってすべり面強度の評価を行う。

- ① 信頼性の高いと判断した回帰式(信頼度評価の【3】を除外したもの)
 - ② ①の回帰式で使ったデータを相関性が高まるような3点に抽出した回帰式
- 一面せん断試験値(評価値)に基づく地すべりブロック別のすべり面強度(強度評価値)は、①、②による手法から算定した強度とする。この強度結果を踏まえ、過去の貯水池変動実績から残留間隙水圧の残留率の推定を行い、すべり面強度の妥当性検証をした。検証の結果、安全率 $F_s=1.00$ 以上を満足することを確認し、物性値の妥当性確認できた。以上の結果を基に、横坑調査でサンプリングした物性値(C、 ϕ)を用いて再開発後の安全率の検証を実施した。

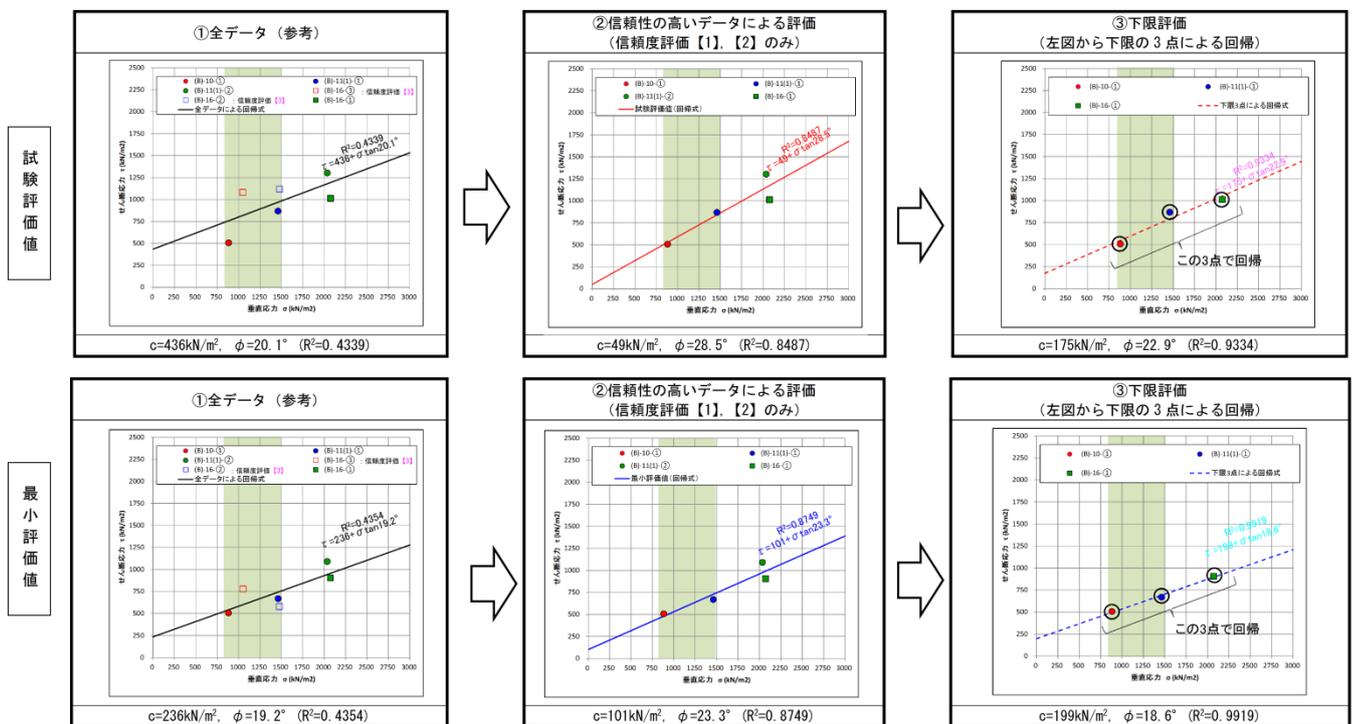


図 4-2-2 地すべりブロック別のすべり面強度試験値の評価

4. 3, 検証結果

今回 4.1、2 のような横坑調査から直接試験、試験値の評価により物性値を算定した結果、

安全率も一番小さいもので、 $F_s=1.042>1.00$ となり、対策工も必要がないという判定結果となった。今回、もしこの調査を行わず対策工が必要と判断した場合、頭部排土のみで約 60 万 m^3 の掘削を行う必要が生じる。なお、概算事業費を試算すると約 30 億円になる。今回の堅坑・横坑掘削及び試験等の調査にかかった費用が約 2 億円になるため、約 28 億円のコスト削減になった。これがあつたことで現在、鶴田ダム総事業費 711 億円で事業を完了させることが可能になっている。また、工期の面からも掘削工事に約 3 年かかり、60 万 m^3 という土砂の量から受け入れ先の手配やダンプ等の運搬による騒音・振動問題も無くすることができた。

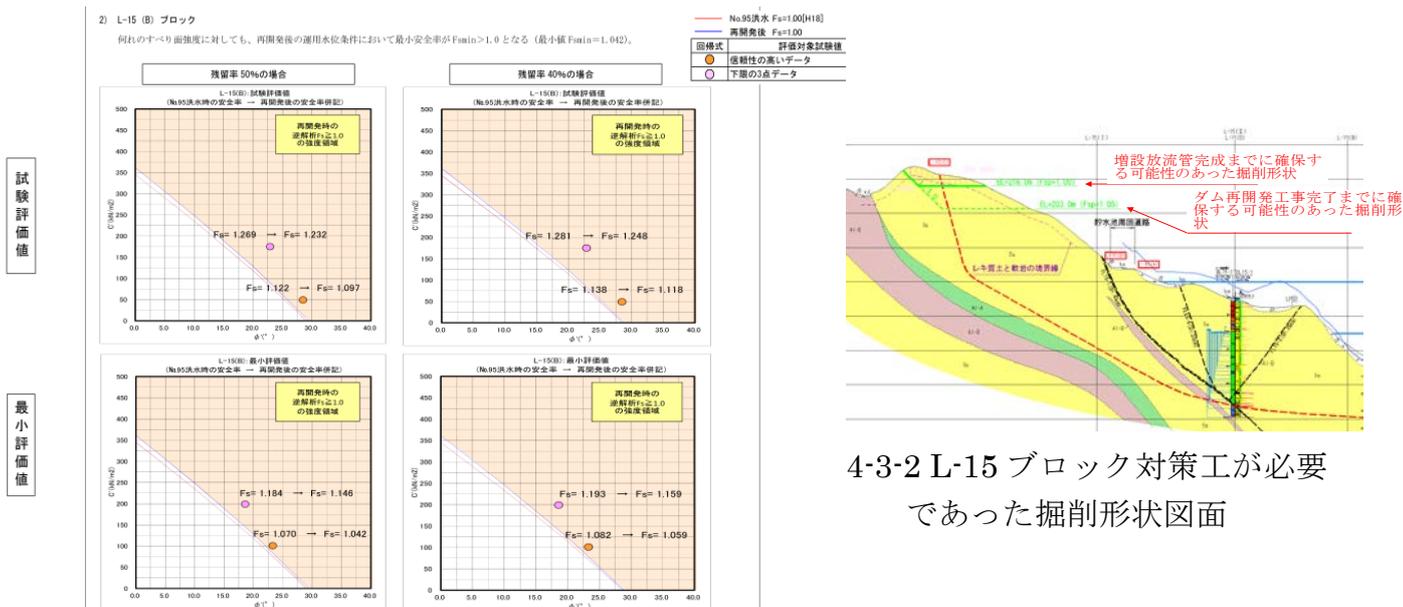


図 4-3-1 再開発後安定計算結果

5. まとめ

今回、鶴田ダム再開発事業の大規模な地すべり面に対する対策は、これまでのダム事業でありあまり経験の無い検討であり、今後のダム再開発事業における地すべり対策の方向性が確立できたことは大変有意義なことと思う。また、今回の検討の中で、地すべり面の物性値の評価を行うための原位置採取試験を実施したことは、事業を進めていく上で、必要なことであり、手戻りの無いよう事業を進めていくことが、結果的に事業費のコストを抑えることにつながった。

今後も鶴田ダム再開発事業は継続していくが、事業満了である平成 29 年度末の完成に向け、事務所一丸となって取り組んでいきたい。



図 5 鶴田ダム再開発完成イメージ図