

ダム貯水池における大規模斜面对策への挑戦 ～押場地区貯水池斜面对策工～

影山 奈央¹・川合 康之²・小林 達¹

¹利賀ダム工事事務所 調査設計課 (〒939-1363 富山県砺波市太郎丸1丁目5番10号)

²利賀ダム工事事務所 (〒939-1363 富山県砺波市太郎丸1丁目5番10号)

利賀ダム貯水池周辺は複雑な地形・地質構造を有しており、ダム本体の安全性確保のためにも湛水前の適切な調査・対策は必要不可欠である。本稿では、利賀ダム貯水池周辺の地形・地質上の課題を踏まえて検討した貯水池斜面对策の中でも、特に大規模な対策を要する押場地区貯水池斜面对策工の概要とDXへの取り組みについて報告する。

キーワード 貯水池周辺地すべり、斜面对策工、DX、

1. はじめに

利賀ダムは、庄川の右支川である利賀川において、河口より約40km、庄川合流点より8kmの位置に計画された多目的ダムで「洪水調節」「流水の正常な機能の維持」「工業用水の供給」を目的としている。総事業費は約1,640億円で令和13年度の完成を目指し、令和6年3月にダム本体工事に着手したところである。

一方、利賀ダムの建設に伴い湛水、運用することとなる貯水池の周辺及びその上方の山腹斜面（以下「貯水池斜面」という。）は、過去の地すべり活動等に起因した可能性のある平坦面、緩斜面並びに急斜面が混在した地形を呈するとともに、複雑な地質構造を有している。ダム貯水池周辺で湛水に伴うダム貯水位の上昇・下降などによって地すべりが発生すると、ダム本体の安全性や貯水池の機能等に影響を及ぼす可能性があることから、湛水前に適切な調査を行うとともに、所要の対策を講じることが重要である。このことから、ダム建設工事と並行して貯水池斜面对策工事を順次施工しているところである。その中でも大規模な斜面对策工事として、令和6年3月より押場地区貯水池斜面对策工事に着手したところである。

本稿では、利賀ダム貯水池周辺の地形・地質上の課題を踏まえて検討した貯水池斜面对策の中でも、特に大規模な対策を要する押場地区貯水池斜面对策工の概要とDXへの取り組みについて報告する。



図-1 利賀ダム位置図

2. 利賀ダム貯水池対策斜面について

利賀ダムの貯水池斜面の地すべりに関する検討は、「貯水池周辺の地すべり等に係る調査と対策に関する技術指針・同解説（平成31年3月）」（以下、「指針」という。）に基づき、指針に示されている貯水池地すべり検討フローをもとに実施した。

指針に基づく精査・解析の結果、対策工が必要となる貯水池斜面は図-2に示す5箇所である。

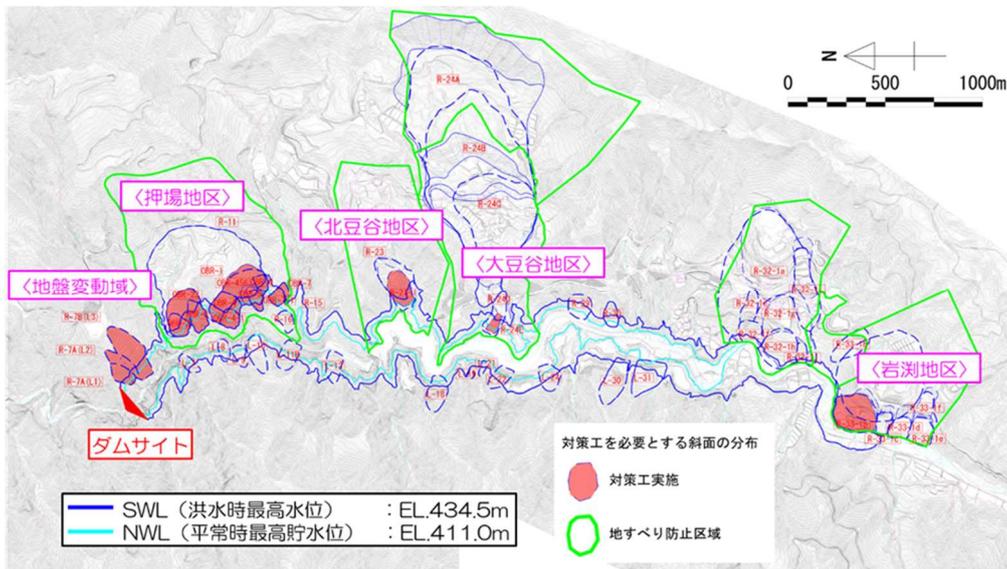


図-2 貯水池斜面对策の精査・解析結果

3. 押場地区貯水池斜面の概要

(1) 地形・地質の概要

押場地区の地形・地質平面図及び地質断面図を図-3、図-4に示す。

押場地区の地形は、利賀川に面した傾斜35度～40度の急斜面、標高500m～550mに位置する平坦面、その背後の傾斜30度～40度の急斜面よりなる。

押場地区の主要構成地質は、船津花崗岩類（船津花崗岩及びカタクレサイト化相）である。基礎岩盤は、花崗岩、カタクレサイト、飛騨片麻岩からなり、被覆層として崖堆積物が分布する。利賀川沿い、下流側沢、上流側沢下部には堅硬緻密な不動岩盤が分布するが、この上位の露岩は緩みや移動ブロックの可能性の高いものになっている。また、岩盤中に変質粘土を主体とした粘土層が比較的厚く分布し、これがすべり面となっている。

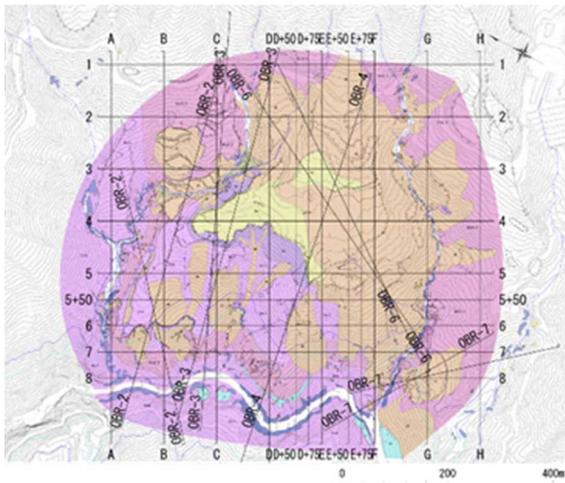


図-3 押場地区の地形・地質平面図

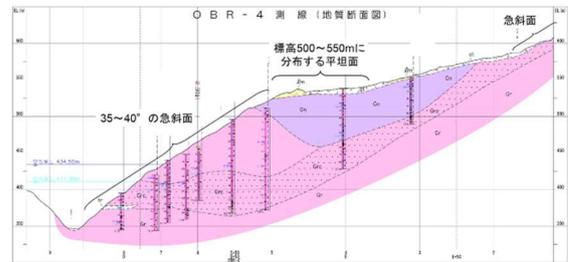


図-4 押場地区（OBR-4測線）地質断面図

(2) 地すべりブロックの概要

押場地区は粘土層をすべり面とする全体地すべりブロックの中に、平坦面川側に位置する中間ブロック、及びその末端部を主体とする末端ブロックが存在し、末端部で全体・中間・末端ブロックのすべり面を共有する複合地すべりである。地すべりブロックの規模は、最大長約600m、最大幅約500m、最大層厚約180m、体積約3,150万 m^3 の大規模ブロックである。（図-5.6）

なお、これまでの変動モニタリングでは、全体ブロックでは顕著な変動は見られないものの、中間ブロック及び末端ブロックでは、積雪融雪期に年平均2mm程度以下の微小な変動が確認されている。

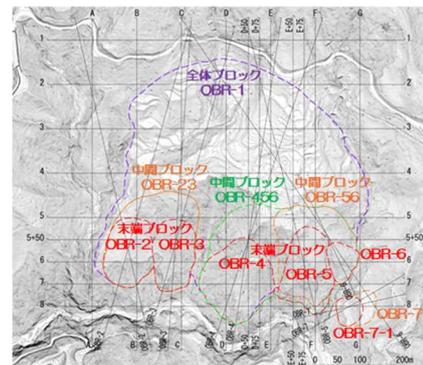


図-5 押場地区のブロック配置（平面図）

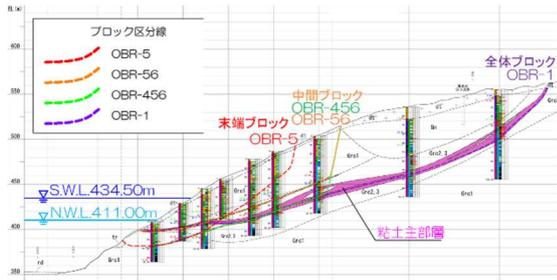


図-6 押場地区のブロック配置 (断面図)

(3) 地下水位分布の推定

押場地区の地下水位分布は、すべり面をなす難透水性の粘土層がお椀上に分布していることを考慮して、「概ね地形に則した自由水面をなす移動土塊内の地下水位」、 「難透水性の粘土層により被圧している粘土層内の地下水頭」 および「粘土層により下位（不動土塊内）の地下水頭」の3層に分けられると考えた。（図-7）

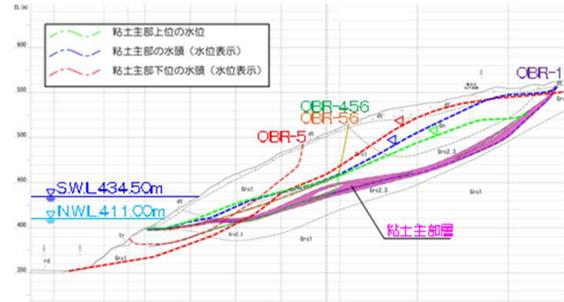


図-7 地下水位分布の推定

(4) 安定解析

押場地区貯水池斜面对策工の計画にあたり、斜面安定解析を実施し、対策工の必要性の評価、必要抑止力の算定を行った。

一般に地すべりとは、山地や丘陵の斜面において移動領域と不動領域との間にすべり面となる物質があり、重力によって比較的大規模にゆっくりと変動する現象をいうが、本計画においては、ダムの貯水位の上昇・下降などの誘因によって変動する現象を対象とする。

安定解析の結果、中間ブロックや末端ブロックでは湛水時最小安全率 F_{smin} が1.00を下回るため、指針に基づき、対策工が必要と評価した。なお、全体ブロック（OBR-1）については、湛水時最小安全率 F_{smin} が1.00を上回っているため、指針に基づき、「巡視及び必要に応じて計測による監視」と評価した。

必要抑止力の算定においては、現況の変動状況を踏まえ、全体ブロックの初期安全率を $F_0=1.05$ （＝現況の地すべり抵抗力/地すべり滑動力）、中間ブロック及び末端ブロックの初期安全率は $F_0=1.00$ とし、ダム完成後における湛水時計画安全率は $F_d=1.05$ とした。その結果、押場地区においては湛水時に中間・末端ブロックにおいて最大約10,500kN/mの必要抑止力が必要となることを確

認した。（表-1）

表-1 各測線における安定解析結果

ブロック	湛水時最小安全率 F_{smin}	最大必要抑止力 Pr (kN/m)
中間 OBR-23	0.945 (II III-M-100)	4,494 (II III-M-100)
末端 OBR-2	0.895 (II-M-30)	3,850 (II-M-30)
末端 OBR-3	1.000 (III-M)	2,529 (III-M)
中間 OBR-456	0.950 (IV V VI-M-140)	7,965 (IV V VI-M-140)
末端 OBR-4	0.972 (IV-M-50)	4,868 (IV-M-50)
中間 OBR-56	0.955 (V VI-M)	6,392 (V VI-M)
末端 OBR-5	0.873 (V-M-20)	10,532 (V-M-20)
末端 OBR-6	0.925 (VI-M+20)	1,623 (VI-M+20)
末端 OBR-7	0.981 (VII-1-M)	413 (VII-1-M)

(最小安全率、最大必要抑止力、発生測線)

4. 押場地区貯水池斜面对策工

(1) 対策工の基本方針

押場地区対策工の概略イメージを図-8に示す。

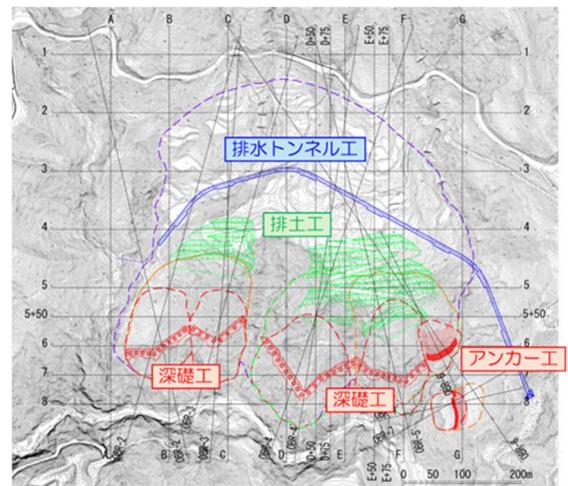


図-8 押場地区対策工全体平面図

地すべり対策工は、「抑制工」が基本とされているが、末端ブロックは、「ブロック末端の標高が高いこと」、「地すべりブロックは急斜面部に位置すること」、「中間ブロックや全体ブロックから見て末端部（抵抗域）に位置すること」等を考慮して、大きな地形改変を伴わず貯水容量を侵さない「抑止工（深礎工）」により対策を行うこととした。

中間ブロックに対しては、「必要抑止力が大きいこと」、「ブロック末端は末端ブロックとすべり面を共有すること」、「中間ブロックの頭部付近は比較的緩傾斜面であること」等の特徴から、「末端ブロック用の抑止工（深礎工）と協働して、抑制工である排土工」により対策を行うこととした。また、押場地区の粘土主部の下層には被圧地下水の存在が確認されており、ダムによる湛水時には現況の被圧地下水の開放面が閉塞されることから、現況より被圧の程度が大きくなる可能性が想定される。そのため、粘土主部下層の被圧地下水位の低減及び粘土主部上層の地下水位の低下による「末端・中間ブロックの安定性の向上（対策工規模の縮減）」を目的とした抑制工として「地下水排除工（排水トンネル工+集水ボーリング）」による対策を行うこととした。これにより全体ブロックの安定性向上にも寄与するものと考え

られる。したがって、抑制工（排土工+地下水排除）によって、移動土塊の頭部排除及び地下水位低下により滑動力の低下を図りつつ、不足分を末端部の抑止工（深礎工）で受けもつといった対策工計画を基本とした。

(図-9)

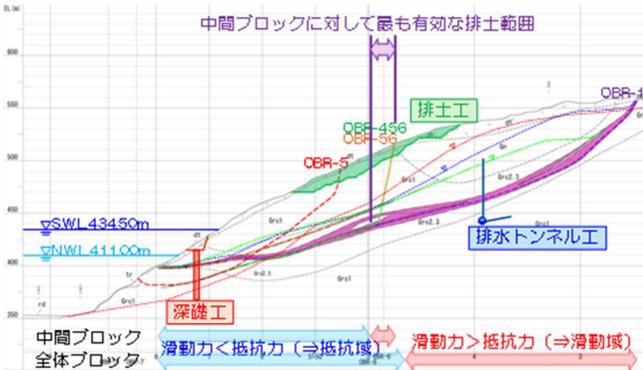


図-9 押場地区対策工概念図

(2) 排土工

排土工は主に中間ブロックに対する安定化対策として、中間ブロックの頭部（地すべりの主たる滑動域）約450千 m^3 を排土する計画である。排土後の湛水時必要抑止力は、最大約5,000kN/mまで低減可能であることを確認した。なお、排土工範囲は全体ブロックの抵抗域となるため、全体ブロックへの影響に配慮し、規模・形状を決定した。（図-10）

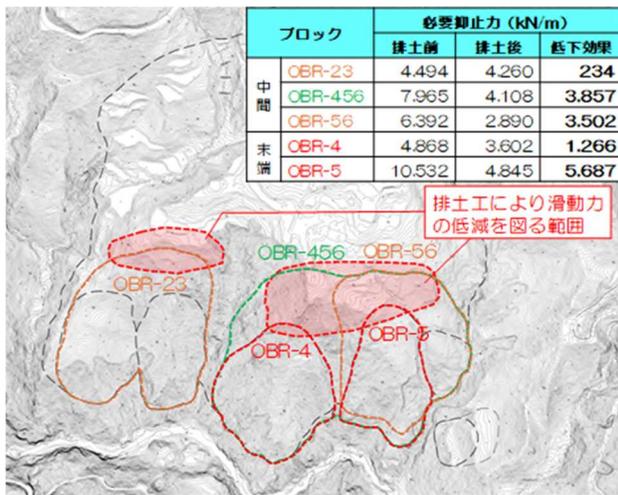


図-10 排土工により滑動力の低減を図るエリア

(3) 排水トンネル工

排水トンネル工は、粘土層下の被圧地下水頭の低減及び移動土塊内の地下水位の低減による押場地区地すべりブロックの安全性の向上を目的とした対策工である。配置計画においては、長期的な安全性の他、トンネル（掘削解放面）からの排水機能の活用の観点から「不動層（岩盤）内」で、設置標高は洪水時最高水位（サーチャージ水位：SWL）EL.434.5m以上とし、トンネルを通して、貯水を地山内に短絡的に導かないことを基本と考え

た。

押場地区においては、地すべりブロックが大規模であること、地下水位低下効果の向上を目的とした集水ボーリング等の追加施工のしやすさや維持管理等の観点から、一般的に排水トンネルに設置されるボーリング室は設置せず、トンネル全区間から並行に集水ボーリングを配置する計画とした。（図-11）また、集水効果の発現は、基本的に集水ボーリングによるものと計画している。

（図-12）前述した排土工とあわせて、最大約4,600kN/mまで低減可能であることを確認した。（表-2）

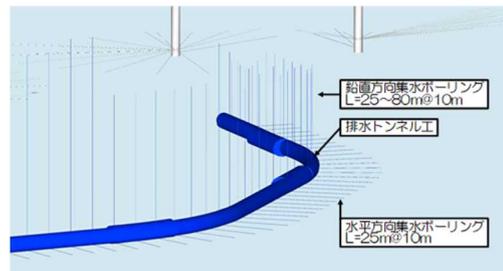


図-11 集水ボーリングの配置イメージ

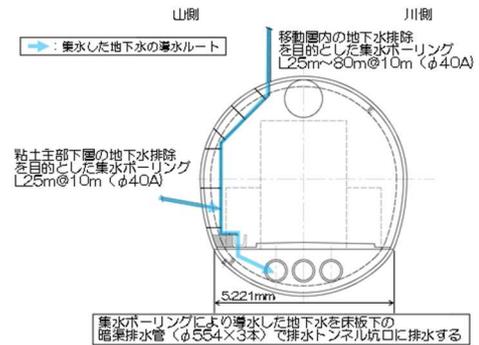


図-12 排水トンネル断面図

表-2 排土+地下水排除後の安定解析結果

ブロック	ブロック	湛水時最小安全率	最大必要抑止力(kN/m)
中間	OBR-23	0.965~1.084	3,500
	OBR-2	0.892~0.947	3,900
末端	OBR-3	1.012~1.024	1,800
	OBR-456	0.988~1.129	3,800
末端	OBR-4	0.973~0.989	3,800
中間	OBR-56	1.009~1.039	2,300
末端	OBR-5	0.946~0.993	4,600
	OBR-6	0.925~0.929	1,700

(4) 深礎工

末端ブロック及び中間ブロックの安定化対策として深礎杭を配置する。（図-13、14）

排土工および排水トンネル工と協働し安定性の向上を図るため、抑制工を考慮した必要抑止力に基づいて深礎工を計画している。

押場地区においては、地すべり規模が大きく移動土塊の層厚が約45mとかなり厚い他、抑制工を考慮しても必要抑止力が最大約4,600kN/mと一般的な地すべり対策工

の中でも大きいため、最大杭径 $\phi=5.5\text{m}$ 、最大杭長約 67.5m 、総杭本数49本と、ダム事業としては国内最大級の深礎工規模となる。

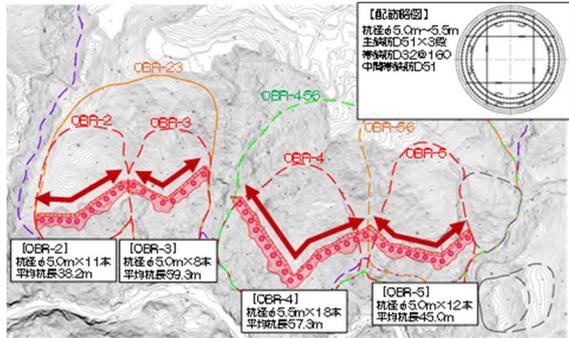


図-13 深礎工配置平面図

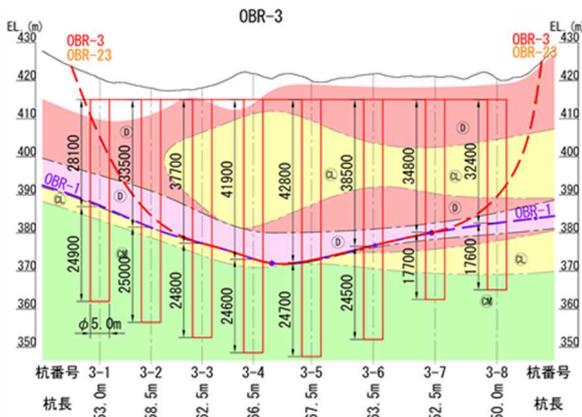


図-14 深礎工断面図

(5) 施工計画 (案)

押場地区貯水池斜面对策の主な対策工事は「排土工」、
「排水トンネル工」、「深礎工」であり、利賀ダム試験
湛水開始（令和12年12月）に施工完了を目標とした施工
計画（案）を検討した。

押場地区貯水池斜面对策工は工種が多く、限られた期
間内で施工する必要があるため、各工種の同時施工が
求められる。また、豪雪地帯であることから、冬期休工
となる他、積雪融雪期に地すべり変動が確認されている
現状を踏まえると、冬期休工を迎えるにあたり、施工箇
所の安定を確保した状態とする必要がある。

そこで、施工時の安全性と地すべりの安定性を、施工
中及び越冬時に確保できる施工計画とする必要があるた
め、各年度の施工ステップ図を作成し、同時施工となる
工種や施工内容及び施工箇所を把握した。そのうえで、
施工ヤードの確保、落石対策等の安全対策、他地区も含
めた工事動線の確認・確保を行うとともに、施工ステッ
プに応じた地すべり安定性の確認も行った。（図-15）

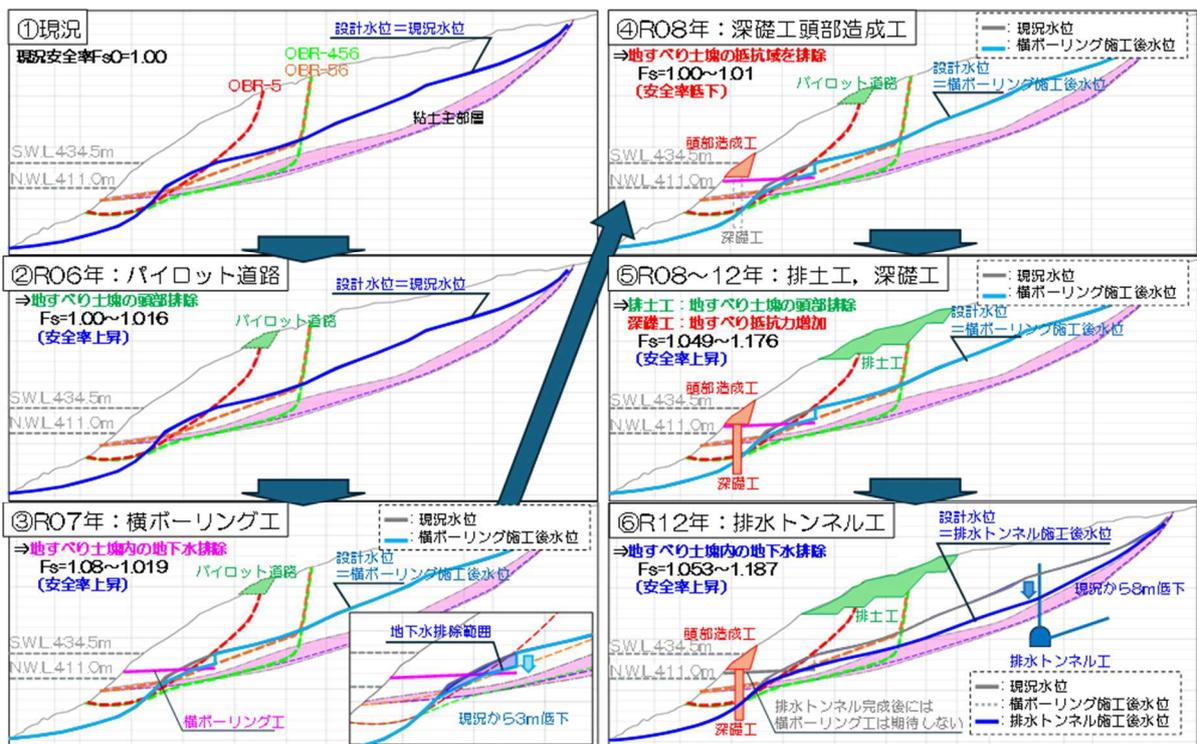


図-15 施工段階毎の安定性確保のイメージ

5. DXの推進

(1) BIM/CIMモデルの構築

利賀ダム建設事業では、押場地区貯水池斜面对策工を含め各設計業務で個別に作成しているBIM/CIMモデルを統合管理した統合BIM/CIMモデルを構築している。

BIM/CIMモデルを用いることで、設計の改良・修正に伴う数量等の算出を迅速化し、施工計画への反映を効率的に行っている。また、既設集水井等との干渉確認により設計手戻りを防いでいる。(図-16)

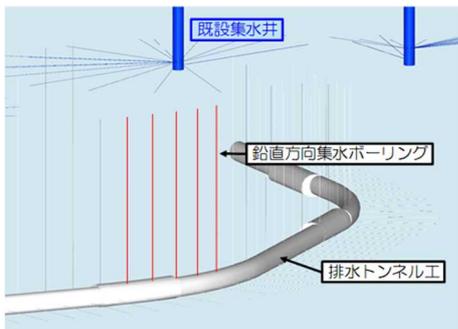


図-16 BIM/CIMモデルによる干渉確認

また、利賀ダム工事事務所では、工事発注の公告時において、入札参加希望者に、前述したCIMモデルデータを提供する取り組みを試行している。計画地の地形条件や施工内容を工事前から把握し、技術提案等の検討に活用することを目的としている。受注後にも同データを活用することで、確実な施工計画の策定・効率的な出来高確認等の施工管理へと繋げていきたいと考えている。

(2) 4D-CIMモデルの構築

押場地区貯水池斜面对策工は施工工種が多い他、各工種が近接施工及び同時施工となるため、一連の工事の流れを把握することが重要である。視覚的に分かりやすく設計・施工計画の妥当性を把握するため、施工ステップごとにBIM/CIMモデルを作成し、BIM/CIMモデルに時間軸を付与した4D-CIMモデルを構築している。これにより施工工程の見える化を図り、施工計画の検討に活用している。(図-17)

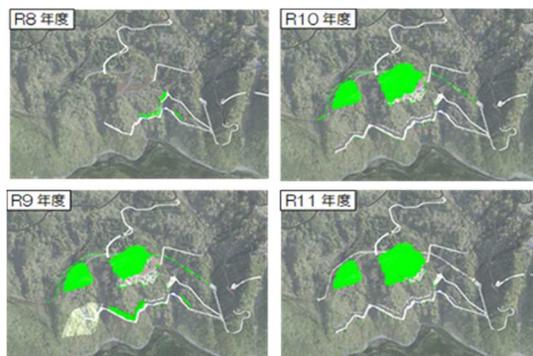


図-17 押場地区の4D-CIMモデル

(3) 所内でのCIMモデル活用状況

統合BIM/CIMモデルについては、地元説明会や関係機関との調整会議、現場見学会等、事業説明においても積極的に活用を図っている。

説明箇所を素早く示すことができるほか、地中内の構造等を細かく確認できることから、これまで行ってきた紙資料による説明よりも参加者の理解度が高く、効果的な説明が可能になっていると考えている。(写真-1)



写真-1 会議でのBIM/CIMモデルの活用

また、押場地区貯水池斜面对策工は多種多様で膨大な検討や工種を遅れることなく進めていくことが重要であり、受発注者間も含めた情報共有・記録などによる確実な事業監理が必要不可欠と考える。利賀ダム工事事務所の事業監理としてDXを推進していくためにも、前述した対外的な事業説明資料としての活用のほか、日常業務の中で職員が積極的にBIM/CIMモデルを活用するよう促している。具体的には、毎月開催している所内事業調整会議においてBIM/CIMモデルを用いた説明を義務化することで、職員の意識の醸成を図ったり、事務所内でワーキングチームを結成し、効果的な説明を行えるようCIMモデルの改良やスキルアップを図っている。

6. おわりに

令和6年8月11日には、工事の安全と成就を祈念して、「利賀ダム本体並びに押場貯水池法面对策着工式」を執り行う予定であり、これを皮切りに利賀ダム建設事業は本格的な工事の段階に突入する。

今後も「ダムづくりは地域づくり すべては地域のために」の理念のもと、令和13年度の工事完成を達成するため着実に整備を進めていく所存である。

また、貯水池斜面对策工では、複雑な地形や多工種の施工にあたって高度な施工管理が求められる。そのため、DXを推進することで「施工の見える化」や地質情報等を適宜フィードバックする「情報化施工」を積極的に導入し、これらを有効活用することを意識しながら施工を進めていく予定である。

謝辞：利賀ダム建設事業の推進にあたり、ご理解、ご協力をいただいている地元の皆様や関係機関の方々に深く感謝申し上げます。