

平成30年度

平取ダムにおける箱型連続壁の施工について— ～堤体と地中連続壁の接続工～

室蘭開発建設部 沙流川ダム建設事業所 えん堤班 ○田嶋 知暉
矢萩 愛彦
長原 寛

平取ダム建設地点の左岸段丘部は、透水性の高い「基質流出部」が存在するため、最大深度25mの地中連続壁による止水対策を行う。ダム堤体と地中連続壁の接続部は確実な水密性が必要であるため、開削を必要としない箱型連続壁を採用し施工を行った。本論文では箱型連続壁の採用経緯と施工状況および留意点について報告するものである。

キーワード：設計・施工、基礎技術

1. 平取ダムの概要

平取ダムは沙流川総合開発事業の一環として、沙流郡平取町芽生地先に建設中の重力式コンクリートダムである。堤高 55m、堤頂長 350m、総貯水容量 45,800,000^m³、有効貯水容量 44,500,000^m³で、目的は洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給を目的とする多目的ダムである（図-1、表-1）。

堤体建設工事については平成 26 年度に着手、現在は堤体コンクリート打設、放流設備の設置等を進めているところである。



図-1 平取ダム位置図

表-1 平取ダム諸元

目的	洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水
型式	重力式コンクリートダム
堤高	55.0 m
堤頂長	350.0 m
総貯水容量	45,800,000 m ³
有効貯水容量	44,500,000 m ³

2. 平取ダムの地形・地質概要

平取ダムは、額平川と宿主別川の合流点直下流に位置する。右岸側には急崖地形が発達し、左岸側の段丘面（以下、左岸段丘部）と非対称の地形を形成する（図-2）。

段丘堆積物は、ローム質粘土が主体で、層厚は最大25mである。下層 Tr①は最大層厚約 15m 程度でφ5～20cmの円礫～亜円礫を顕著に含む。上層 Tr②は層厚約5～10mで主にφ0.5～5cmの円礫を含み、下層 Tr①を覆うように分布する。上下流方向には約 400m 程度の厚みを有している（図-3）。

段丘堆積物には、空隙部が密集する基質流出部が認められ、深度 15～20m に分布、面的な連続性があると想定される。この層相は2～3mの層厚でほぼ水平に連続して分布し、透水性が高く、局所的には地下水の早い流れが生じている可能性がある。



図-2 左岸段丘部地質分布図

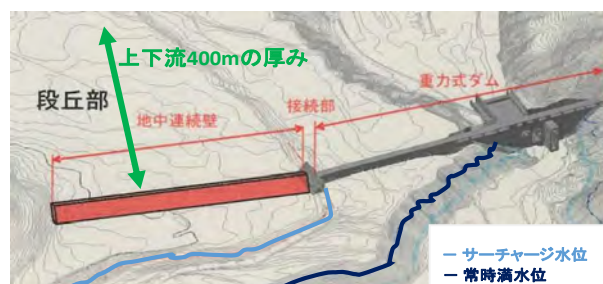


図-3 左岸段丘部の地形

3. 地中連続壁の必要性および施工経緯

3.1 左岸段丘部における止水対策

左岸段丘部は、常時満水位（EL167.4m）より、概ね高位に位置しており、常時の貯水位が段丘面に到達することは無いものの、基質流出部は EL180m 付近に位置し、常時満水位 EL167.4m とサーチャージ水位 EL184.3m の間にあたるため、洪水時に一時的な水位上昇によって、浸透経路となる可能性がある。

浸透流解析を実施した結果、左岸段丘部は全体として浸透破壊を生じることは考えにくい、浸透経路となり得るパイプ状空隙の存在や、繰り返し揚水試験時のパイピング状況から $10^{-1} \sim 10^{-2}$ m/s オーダーの透水性を示す部分が存在することから、浸透経路に対する止水対策が必要と判断した。止水対策の構成を図-4、5に示す。

止水対策工法は止水性・耐久性に優れ、未固結層における透水性の改良の実績が多数あり、確実な止水が期待できる地中連続壁を採用した。

地中連続壁は、浸透経路の止水性を目的とした遮水壁と、ダムとの接続部として設置する箱型の基礎型式である箱型連続壁から成る。諸元を表-2に示す。

地中連続壁の止水ラインは、左岸段丘部の基盤岩の等高線と地下水位等高線に基づき、止水ライン延長が最短となるように尾根に向けて堤体左岸端部で屈折させて設定した。

表-2 左岸段丘処理工の諸元

処理工		遮水工	接続工
型式		地中連続壁	箱型連続壁
最大深度		26.3 m	19.8 m
延長		258.7 m	16.5 m
幅		1.0 m	17.0 m
掘削工法	礫質土	ケーシング回転掘削(先行ボーリング) + バケット掘削	
	岩盤	水平多軸回転カッター掘削機	
構造	壁部	鉄筋コンクリート	
	内部(箱型のみ)	— 無筋コンクリート	

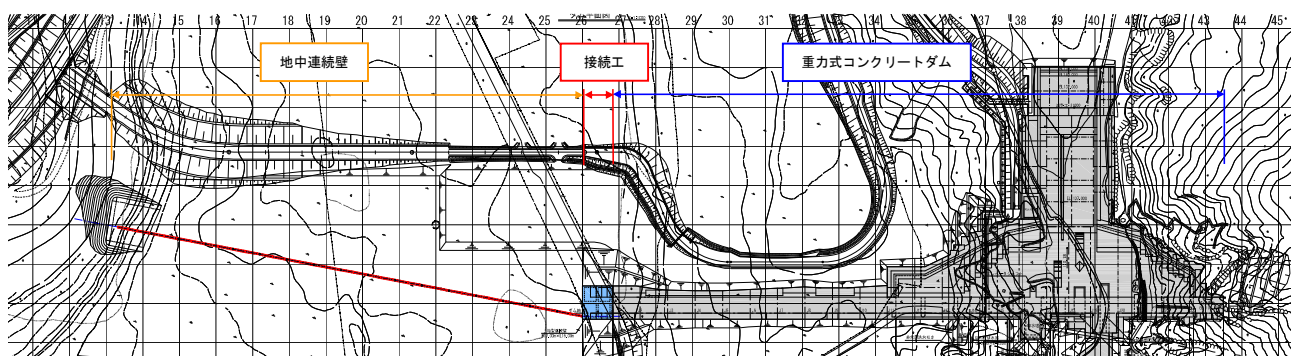


図-4 平取ダム止水対策平面図

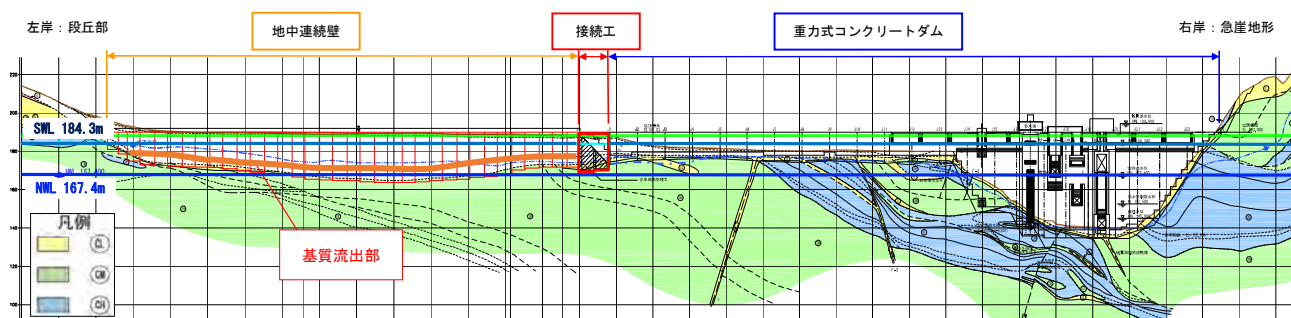


図-5 平取ダムにおける止水対策（上流面図）

3.2 地中連続壁（遮水壁）の施工

地中連続壁の施工手順として、まず、掘削に先立ちガイドウォールを設置する。ガイドウォールは掘削用の定規、鉄筋籠の設置精度確保、作業荷重等の分散、表層付近の崩壊防止等の目的で掘削位置の両側に築造するものである。その後、ガイドウォール内をバケット式掘削機により砂礫掘削を行う。掘削は、溝壁崩壊を防ぐため、安定液を溝内に供給しながら行う。砂礫掘削を完了した後、岩盤掘削機により岩盤の掘削を行う。岩盤掘削を完了した後に、鉄筋籠を建て込み、コンクリートを打設、地中連続壁の施工完了となる（写真-1）。壁の施工は平成 28 年 7 月より開始し、平成 29 年 9 月に完成した。



写真-1 地中連続壁の施工状況全景

4. 本体と地中連続壁との接続工

4.1 接続型式の検討

ダム本体と地中連続壁の接続部について検討した。接続部はダムの端部となるものであり、また、地中連続壁との間を確実に止水する必要がある。一般にダムの両端部は、堅岩に岩着させるが、本ダム堤体の左岸部は、堆積物からなる段丘であることから、コンクリート躯体による人工的なアバットを造成し、堤体基礎とするとともに、地中連続壁及び底部岩盤と接続させる形式とした。

4.2 座取りの検討

地中連続壁と堤体の接続部（端部処理工）は、堤体の端部となるため、堤体と同等の安定性を確保することが必要である。

地中連続壁は地山を最大限利用して配置するものであり、地形条件として、接続部の座取りは設計洪水水位より高位であること、周辺には地山を有することが必要である。設計洪水水位以上の地表高は「中位Ⅰ面」に広く分布しているが、ダム軸方向測線の内、26 測線左岸側に位置し、26 測線の B～C 測線においては地山の張り出しがあり、堤頂長を短くできる（図-6）。



図-6 地形条件による座取り検討

また、地質条件として、接続部は堅岩上に配置することが望ましいが、28～29 測線付近より左岸方向に低下する傾向にある。接続部は、堤体と同等の安定性を必要とすることから、躯体高を低くすることが構造的に有利であり、基盤岩の分布形状を考慮すると 26 測線付近が有利である（図-7）。

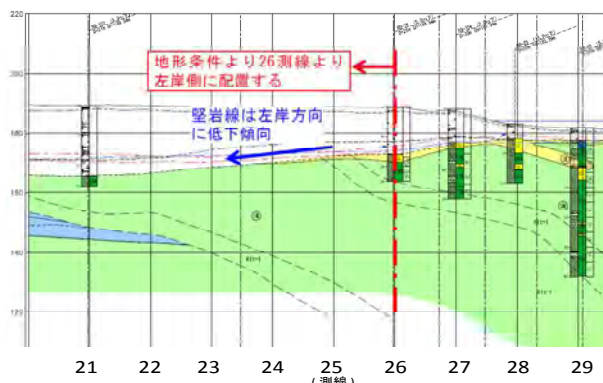


図-7 地質条件による座取り検討

以上のことから、地形条件、地質条件の検討結果を踏まえると 26 測線付近が有利となることから、26 測線を堤体と左岸遮水工との境界とした。

4.3 接続部型式の選定

接続部の型式は、自立することにより、背面地山の性状は躯体規模に影響せず、隔壁などにより地中連続壁との接続が行うことが可能で、既往ダムにおいて複数の事例がある「従来型端部処理工」を採用した。

「従来型端部処理工」によって堤体端部と地中連続壁を接続する構造としては、「箱型連続壁」と「重力式翼壁」が採用されている。したがって、この2案を比較検討するものとする。

「箱型連続壁」は段丘堆積物を開削することなく、地中に人工基礎を施工し、その上部に堤体左岸端ブロックの堤体基礎とするものである。また、地中連続壁を箱型連続壁に接続する構造である（図-8）。

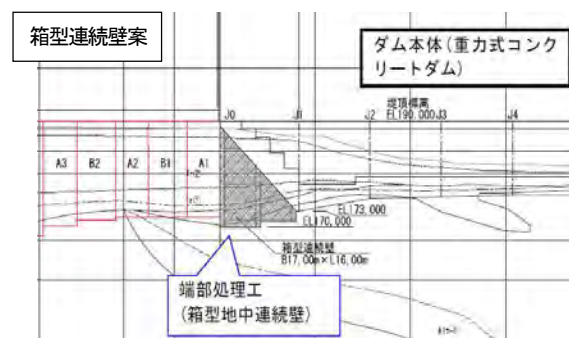


図-8 接続型式の検討(箱型連続壁)

「重力式翼壁」は段丘堆積物を掘削除去し、堤体左岸端ブロックの左岸側に、堅岩を基礎とする重力式翼壁を施工し接続するものであり、翼壁周辺部を埋め戻した後、地中連続壁と接続させる構造である（図-9）。

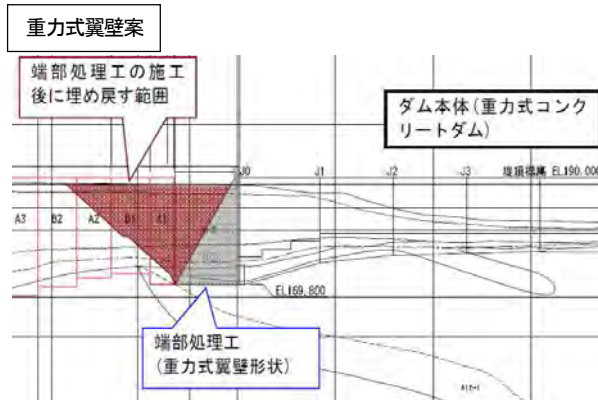


図-9 接続型式の検討(重力式翼壁)

両案ともに、構造上の安定性、止水効果の確実性・維持管理面については概ね同等の性能を持つと評価できるが、「重力式翼壁」は施工に伴う段丘堆積層の掘削作業における法面の安全管理に留意する必要がある、コスト増の要因になり得ることから、「箱型連続壁」を採用した。

4.4 箱型連続壁の設計

箱型連続壁の敷幅は、上下流については堤体基本三角形と上下流フーチングを完全に乗せることが出来る

17.0m、ダム軸方向については上下流方向の敷幅と同程度となり、ジョイントと連壁の側面が一致しないように16.0mに設定した（図-10）。

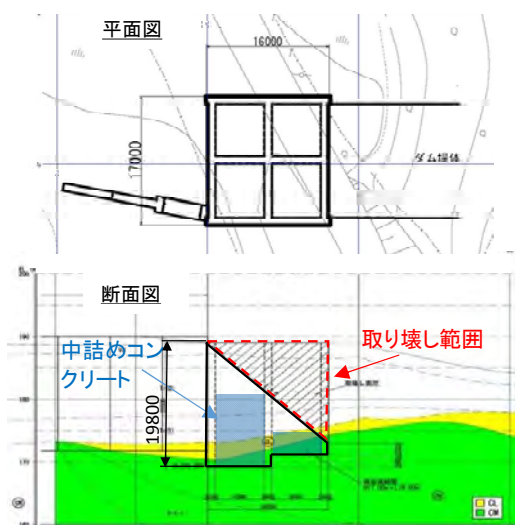


図-10 箱型連続壁の形状

箱型連続壁は、ダム本体の基礎となることから、本体施工時には堤体との接合を考慮して一部取り壊しを行う必要がある。箱型連続壁と堤体の接合面の勾配は、当該構造物の規模を必要最低限にするため既往事例から1:1.0と設定した。箱型連続壁を構築した後、図-10に示す範囲を取り壊すものである。

箱型連続壁および、中詰めコンクリートは、堤体の基礎であることから、堅岩に岩着させることを基本とする。基礎は、CM級岩盤とし、CL級岩盤は掘削対象とする。

また、箱型連続壁の下端は、施工時に基礎岩盤を緩めてしまうことが懸念されるため、水みちとしない配慮として、中詰めコンクリートや堤体部の基盤面より下位となるよう1.0m根入れさせ、岩盤の分布形状に沿って基盤面高を設定した。

基本形状は「ダム完成時」、「施工時」の安定計算を実施して決定した。

「ダム完成時」の安全性照査は、ダム本体と同様「河川管理施設等構造令」に準じ、上流面に引っ張り応力を生じない構造とし、ミドルサードの条件に対する安定計算式により検討を行った。また、上流面で基礎岩盤面に座標原点を取り、合力の作用点がダム底面の中央1/3に入るように断面の検討を行った。基礎地盤との接合部及びその付近におけるせん断力による滑動に対し必要なせん断摩擦抵抗力を有するものとする。せん断摩擦安全率の条件は、ヘニーの式を用いて算出し、安全率4以上を満足するものとする。安定計算の結果、滑動・転倒いずれも条件を満足した。

「施工時」の安全性照査は、ダム本体の基礎掘削完了時（堤体打設前）が最も危険な状態となるため、ダム本体が未接合で箱型連続壁が露出した状態でのダム軸方向の安定性について安定計算を実施した（図-11）。本体基礎掘削により右岸側の地山が無くなった状態で、箱型連続壁の安定性を保つためには中詰めコンクリートの打設が必要不可欠であり、中詰めコンクリートを打設した状態での転倒および滑動に対する安定計算の結果、条件を満足した結果となった。

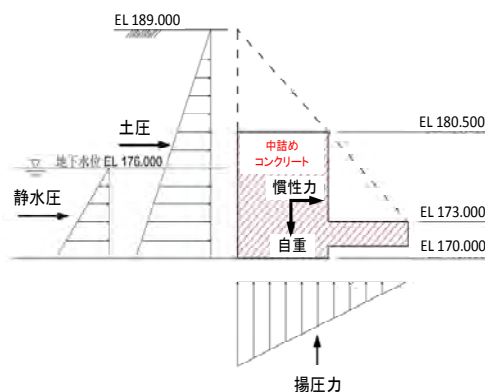


図-11 安定計算外力図

4.5 継手構造

箱型連続壁と地中連続壁の継手に求められる機能は、止水性が得られる構造であること、永久構造物として必要な耐久性を有すること、耐水圧性があること、地震時等に発生する箱型連続壁と地中連続壁の異なる変位に対して損傷しにくい、または補修による機能回復が可能であることである。

先行事例に倣い、以上の条件を満足する、剛結しない型式のフリー継手を採用した。本接続工は、目的が止水であるため、エレメント間を剛結する必要が無く、応力計算上鉛直方向の梁として扱っており、横方向に応力伝達を図る必要が無い。

フリー継手は、構造的に接続していないことになるので、外周壁と隔壁の接合部などに使用されるもので、型枠用の埋設鋼板を介して接触し、上下流に塩ビ止水板を設置する構造とする。また、地中連続壁と箱型連続壁の異なる挙動に対して、極力、変位差や応力集中を生じさせないことを目的として、壁厚を遮水壁1.0mに対し、接合部は2.0mとした（図-12）。

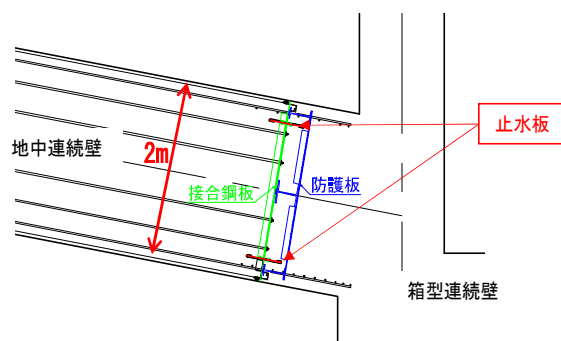


図-12 接続部周辺の継手

5. 箱型連続壁の施工

5.1 箱型連続壁の構築

箱型連続壁の施工は、隔壁の構築、箱型の内部処理、部分取り壊しの順に行う（図-13）。隔壁は、3.2に記載した地中連続壁の手順で構築する。箱型の内部には、中詰めコンクリートを打設し、その後、堤体コンクリート接続箇所を一部取り壊し、施工完了となる。

隔壁の構築は、岩掘削後に超音波溝壁測定器を用いて出来型計測を行い、掘削不足のないことを確認した後、コンクリートを打設する。

隔壁内部の掘削は、隔壁コンクリートの打設後、強度

(24N/m²)の発現を確認してから行うものとし、クローラレーンとクラムシェルバケットで掘削する。

隔壁内部の掘削完了後、仕上げ掘削及び岩盤清掃を行う。仕上げ掘削は堤体基礎掘削の仕上げ掘削及び岩盤清掃に倣い、電動ピック等を用いて人力により行った。

なお、掘削の結果、内部底面は、設計時の想定通りCM級岩盤砂岩泥岩互層を確認したほか、断層や亀裂はみられなかった。

岩盤清掃後、中詰めコンクリートの打設を行う。箱型連続壁はコンクリート壁 1.0m×長さ 19.8m、内空 6.5m×7.0mの4室から構成されており、その4室を設計高さ（左岸側2室EL=173.0m、右岸側2室EL=180.5m）までコンクリートで充填し、ダム本体の基礎とする。

コンクリート配合は C1-P（膨張コンクリート）配合相当の規格とし、安定計算で見込んである単位重量 22.56kN/m³以上を満足するものとする。打設はポンプ車にて4回に分けて行う。コンクリート打設及びグリーンカットは堤体コンクリートに倣うものとする。

養生期間を経て、箱型連続壁の一部取り壊しを行った。箱型連続壁の取り壊しは周辺の地盤を掘り下げながら順次行い、バックホウにコンクリート大割機を装着して取り壊すものである。補助機械として鉄骨カッターブレイカーを配置し、鉄筋や鉄筋架台の鋼材を切断及び小割を行い、完成となる。

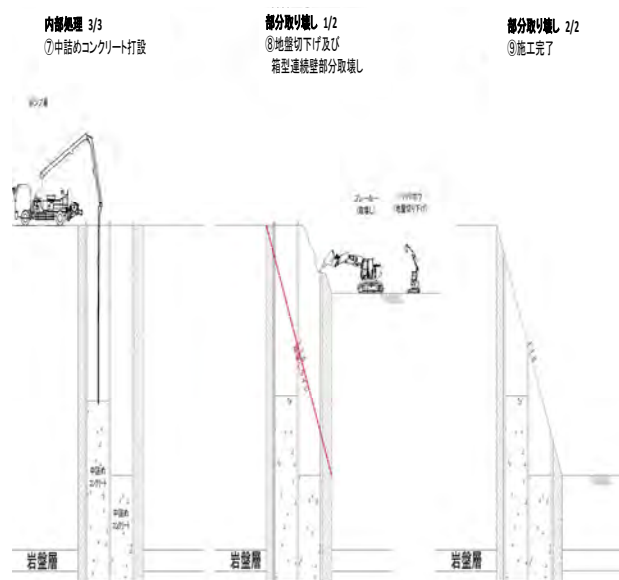
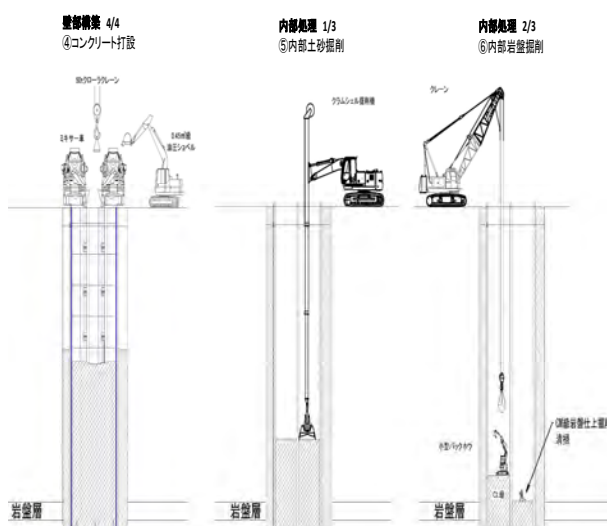
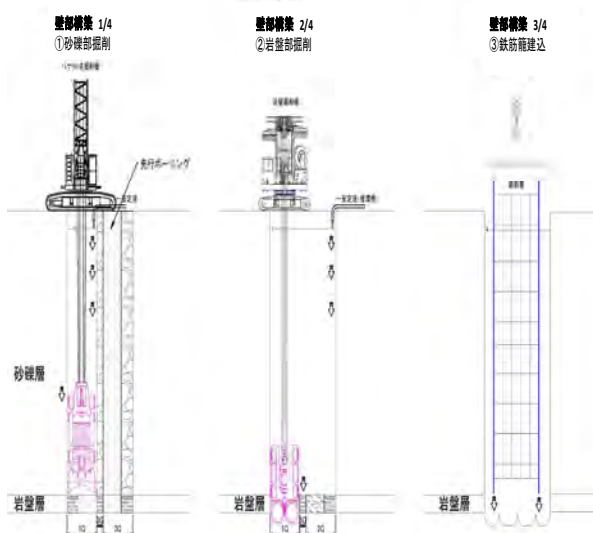


図-13 箱型連続壁の施工手順



写真-2 箱型連続壁部分取り壊し後の状況



5.2 施工課題

本施工を通して生じた課題や今後の施工において特に注意する点について記載する。

隔壁掘削のため岩盤掘削機を箱型構造の内側に据えた際、箱型隅角部周辺に溝壁崩壊が生じた(図-14)。

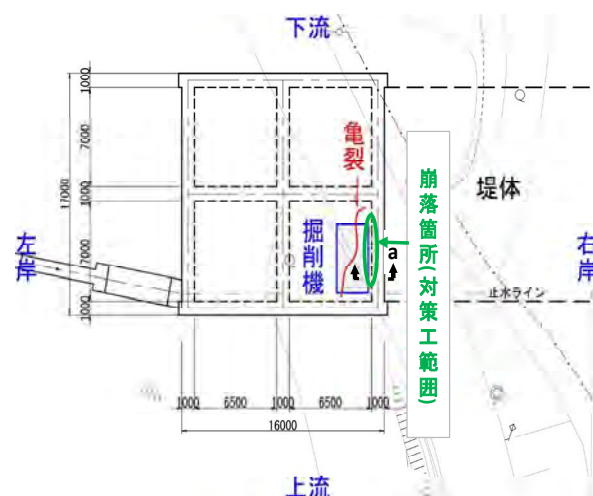


図-14 崩落位置図

溝壁崩壊発生直後、掘削機を退避させたのち、掘削溝の状態を確認するため超音波検査を行ったところ、内側ガイドウォール直下部に最大 80 cm、外側ガイドウォール直下部に最大 20 cmの崩壊を確認した（図-15）。

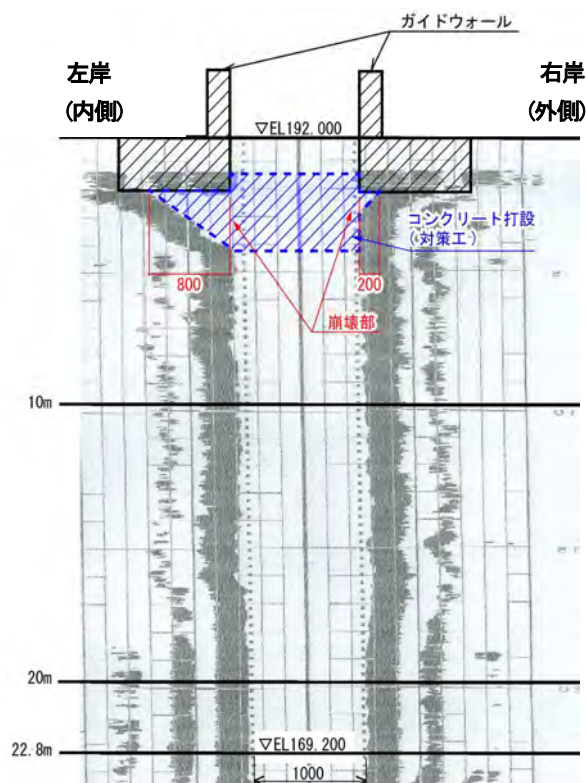


図-15 掘削溝断面図（図-14 a 断面）

崩壊発生の直接的な原因は、以下が考えられる。

崩壊が掘削時に用いる安定液が機能しにくい浅部であったこと、また、内側と外側で崩壊規模に違いが見られており、局所的な土質の違いやガイドウォール施工時の部分的な緩みなどの要因が考えられる。溝の部分的な崩壊に伴い、その上の土層が緩み、さらに掘削機を据えたことにより、上載荷重が作用したものと考えられる。

この対応として、崩壊が掘削溝の浅部のみの局所的なものであったことから、崩壊の進行を防ぐ対策として、当該箇所コンクリートを打設した。なお、対策後、再掘削した際、崩壊の拡大等は生じず連壁を構築した。

地中連続壁の施工に関する文献によると、溝壁の安定性に関する要因として土質等のほか、エレメントの形状（隅角形状等）、上載荷重（施工機械の近接）など今回の崩壊発生に重なる指摘がなされている。

本施工では、左岸斜面部に近接したエレメントの施工であり、掘削機を据えることができる箇所が限られ、内側に据えたことや堤体基礎となる箱型形状であり隅角部が形成されるものであった。これらを踏まえ、設計においては、ガイドウォール直下部の溝壁の肌落ちの影響を抑える目的でガイドウォール下端部を大きくし、また、掘削機を据える作業床をコンクリート製とすることで、掘削精度確保とともに機械の荷重を局所的に作用させないよう図ったものであったが、隅角部の掘削に際しては、施工途中であっても超音波検査機を用いて溝壁の肌落ちの発生の状況やその進行状況の把握など細やかな観察が必要であったと考えられる。

5.3 安全管理

箱型連続壁の内部掘削時には、右岸側の地山範囲が狭いため、左岸側から偏土圧を受ける可能性がある。内部掘削時の安全対策として変形挙動監視用の埋設計器を隔壁に設置した。

設置した計器は鉄筋計・ひずみ計・傾斜計であり、常時計測を行い変形挙動を監視する（表-3）。

計測は自動計測とし、作業場周辺に計測小屋を設け観測システムを構築したパソコンを設置しリアルタイムで計測内容を発信可能とした。

警告・警報は、3段階の警告表示とブザー音により知らせるものである（1次管理値：緑、2次管理値：オレンジ、限界値：赤）（写真-3）。また、目視による日常点検も同時に行うものとした。変形挙動が認められた場合は直ちに待避するものとした。結果として施工中に変形挙動は見られなかった。表-4 に計測管理基準を示す。



写真-3 警報ランプ

表-3 挙動監視計器一覧

計 器	台 数
鉄 筋 計	48 台
ひ ず み 計	48 台
傾 斜 計	24 台
データロガー	2 台

表-4 測定管理基準

管理区分	管理基準値	現場対応
1次管理値	設計計算値の80%	注意警戒しながら作業継続
2次管理値	設計計算値の100%	坑内より退避
限界値	部材の許容応力度	作業中止

6. おわりに

箱型連続壁は、平成 30 年 11 月に施工を完了した。引き続き、早期のダム完成に向けて本体の施工、付属設備や管理設備の進捗を図る予定である。

参考文献

- 1) 三上紘輝、土門文之、宮下綾太 平取ダム左岸段丘部における止水対策について-地中連続壁工法の採用-、第 57 回技術研究発表会 2014.2
- 2) 地中連続壁基礎協会：“地中連続壁基礎工法 施工指針（案）”
- 3) 総合土木研究所：“地中連続壁基礎工法ハンドブック-設計編-”
- 4) 総合土木研究所：“地中連続壁基礎工法ハンドブック-施工編-”
- 5) 総合土木研究所：“わかりやすい地中連壁工法”