

長安ロダム改造事業における 堤体切削とダム本体の挙動について

竹内 大輝¹・南本 秀行¹・滝本 隆也¹

¹四国地方整備局 那賀川河川事務所 開発工務課 (〒774-0011 徳島県阿南市領家町室ノ内390)

那賀川中流部の長安ロダムでは近年の大規模な出水に対応すべく、洪水吐の2門新設を含む改造事業を行っている。洪水吐の新設にはダム堤体の切削が必要となるが、今まで、日本国内において運用中のダムを大規模に切削した事例はない。そこで、本稿ではダム堤体の切削手法と切削時の堤体の挙動モニタリング結果について報告した。ダム堤体の切削には無振動工法であるワイヤーソー工法を用いたが、ダム堤体の挙動に大きな影響は見られなかった。挙動モニタリング項目として採用した漏水量や揚圧力、堤体継目の変位は気温の変化による影響が大きく、堤体切削は施工時期を考慮して実施する必要があることがわかった。

キーワード ダム改造事業、ダム堤体切削、新規洪水吐敷設、挙動モニタリング

1. はじめに

長安ロダムは那賀川水系那賀川の中流部において、洪水調節による治水機能及び流水の正常な機能を確保すると共に電力開発を目的に昭和31年に建設された集水面積538.9km²、総貯水容量54,278,000m³の重力式コンクリートダムである。

那賀川の上流域は台風常襲地帯である四国山地の南東斜面を有するため、洪水の発生頻度が高く、流域住民は河川の氾濫被害に悩まされてきた。近年においても、平成26年8月に台風11号によって戦後最大流量を記録し、平成27年7月の台風11号では戦後第3位の流量の洪水が発生するなど、大きな洪水が頻発している。

上流域は破碎帯を形成しやすい地質的特徴を有する秩父帯を含むため、洪水時に時折大規模な地滑りが発生している。この大量の土砂が長安ロダムに流入しており、平成27年には貯水池内の堆砂量がダム建設当初計画の約3倍に当たる1,608万m³となった。さらに、貯水池内への土砂流入はダム下流における濁水の長期化を引き起こしている。



図-1 長安ロダム改造事業完成イメージパース

こうした背景から平成19年に洪水調節能力の増強及び流水の正常な機能維持を目的とした那賀川長安ロダム改造事業が発足した。図-1に長安ロダム改造事業完成イメージパースを示す。改造事業の内容は①洪水調節能力の増強を図るために洪水吐を2門新設、②環境保全対策として選択取水設備の設置、③貯水池機能の長期的な保全を目指し、貯水池やその上流における計画的な堆砂除去をそれぞれ行うことである。

中でも①の堤体に洪水吐新設をするためにはダム堤体を切削しなければならないが、今まで日本国内において運用中のダム堤体を上部から大規模に切削した事例はない。

そこで、本稿ではダム堤体を切削した手法、並びにダム堤体が切削時にどのような挙動を示すか把握するために行ったモニタリング結果を報告する。2章で堤体切削及び堤体の挙動モニタリング手法を説明し、モニタリング結果を3章で述べ、4章にまとめを記す。

2. 堤体切削と堤体の挙動モニタリング手法

(1) 堤体切削手法

平成27年12月24日から平成28年6月4日において長安ロダム堤体10ブロック(以下、BL10とする)を幅11.2m、高さ37.0m、体積4,684m³切削した。切削手法には堤体に与える影響を最小限にするため、無振動工法であるワイヤーソー工法を採用した。

堤体切削の施工フローを図-2に示す。まず、堤体にワイヤーソーを通すためのパイロット孔(φ75mm)を削孔し

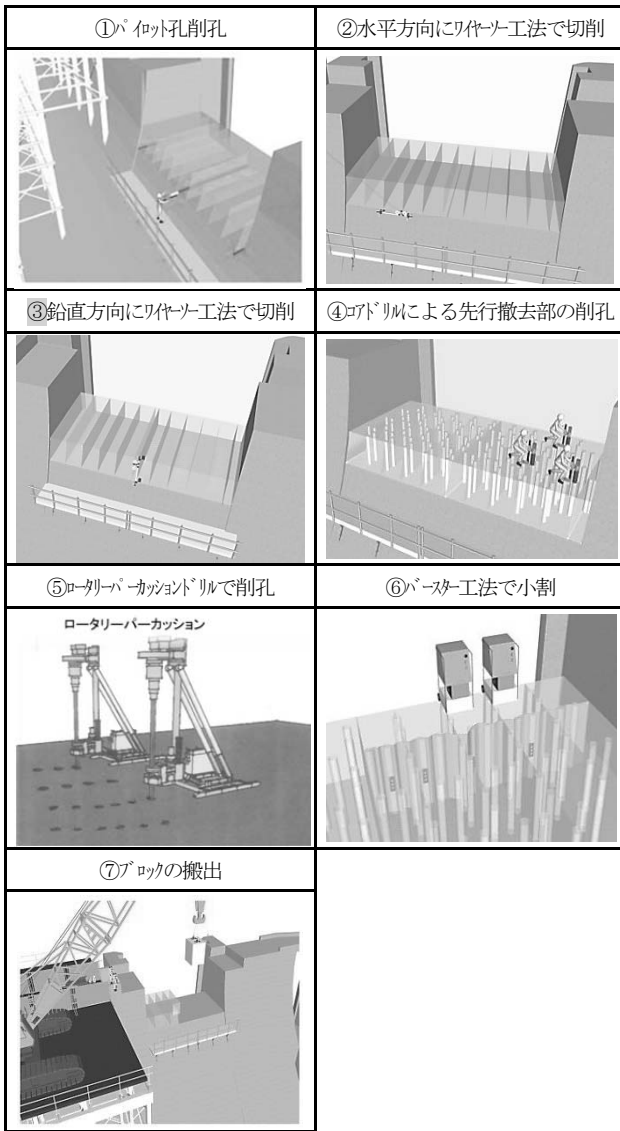


図2 堤体切削の施工フロー

た。ただし、可動ゲートの戸当り部や押し切りを行う部分のパイロット孔に関しては $\phi 200\text{mm}$ とした。続いて、ワイヤーソー工法で切削範囲のブロックを高さ1.5mで切り分け、既設堤体と縁切りを行った。1回当たりの切削面積は切削部とワイヤーとの接触長や専門業者の聞き取り調査結果を考慮し、約 50m^2 とした。その後、ロータリーパーカッションドリルを用い、1m程度のピッチで縦孔($\phi 200\text{mm}$)を空け、バスター工法によってブロックに小割し、クレーンで搬出した。

重力ダムは貯水池の水圧荷重に堤体自重と基礎岩盤のせん断抵抗によって抵抗する構造物である。そのため、堤体を切削することにより、自重が減少し、転倒・滑动する恐れがある。これを防ぐため、堤体下流に底面のせん断抵抗長の確保と増量を目的にマットコンクリートを打設した。

平成29年12月からはダム堤体11ブロック(以下、BL11とする)の切削を行う予定である。BL11の切削についても、BL10の切削と同様の手法及び手順で行う見込みである。

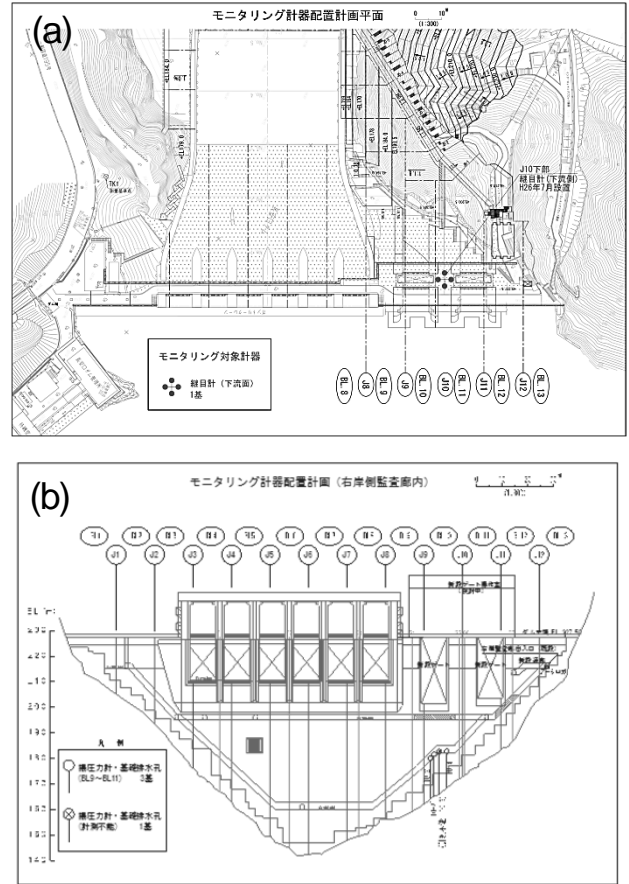


図3 (a)モニタリング計器配置平面図及び(b)正面図

表-1 モニタリング実施項目。期間は本稿に掲載したモニタリング項目の測定値の計測期間を示す。

モニタリング項目	期間	管理基準
全漏水量	H26.3.1～ H29.3.26	・貯水位や気温と無関係に増加
揚圧力	H26.3.1～ H29.3.26	・既往最大揚圧力係数を記録
継目変位	H26.7.26～ H29.3.26	・4.5mm よりも大きくなる ・2日連続して継目変位量が 0.2mm/日以上を計測

(2) 堤体の挙動モニタリング手法

一般的な既設ダムの安全管理には過去のダム決壊事例より重要視される漏水量や揚圧力、変位の測定値を用いることが多い^{1), 2), 3)}。本工事においても既設ダムの安全管理基準に則り、漏水量、揚圧力、堤体ブロック間の継目変位に着目し、作業中止基準を設定した。気温や降水量については長安ロダム管理事務所屋上にて観測し、貯水位データは国土交通省水文水質データベースに掲載しているものを使用した。尚、継目変位については、ダム軸方向、鉛直方向、上下流方向の3方向測定し、揚圧力については貯水位の変動に伴い増減するため、ブルドン管高さと揚圧力水頭の和を貯水深で除した揚圧力係数 μ_u を用いて管理することとした。それぞれの作業中止基準

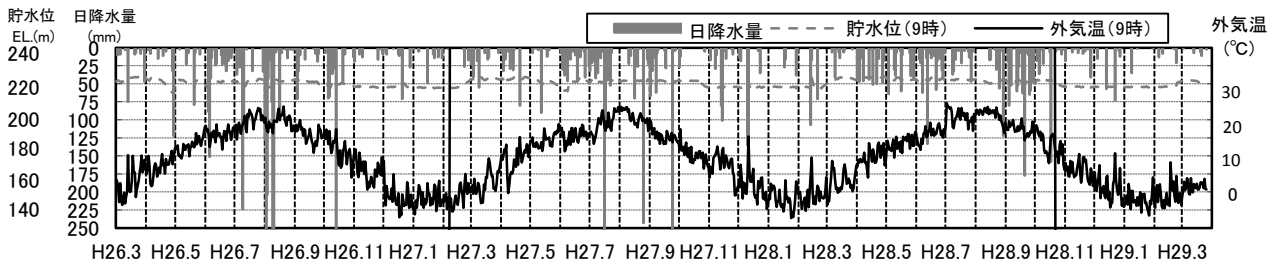


図4 平成26年3月1日から平成29年3月26日の長安ロダム管理所屋上における日降水量及び気温と長安ロダムの貯水位

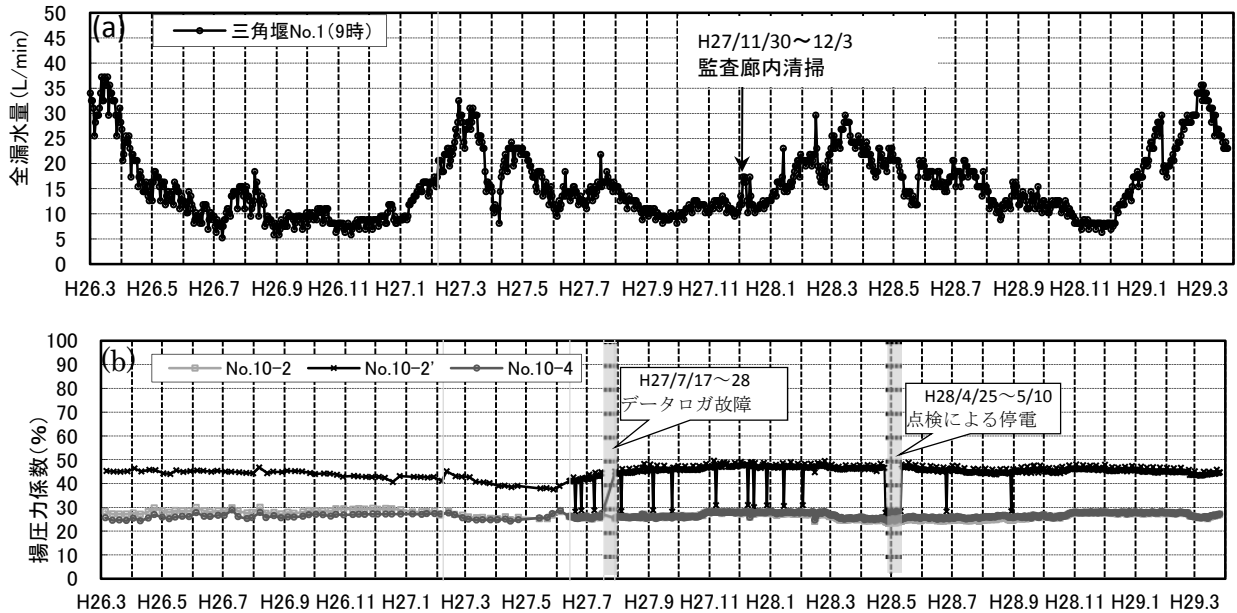


図5 平成26年3月1日から平成29年3月26日における(a)長安ロダムの全漏水量及び(b)長安ロダム BL10の揚圧力の日々変動。データロガの故障などによる測定値異常日はそれぞれ図中に記載の通りである。

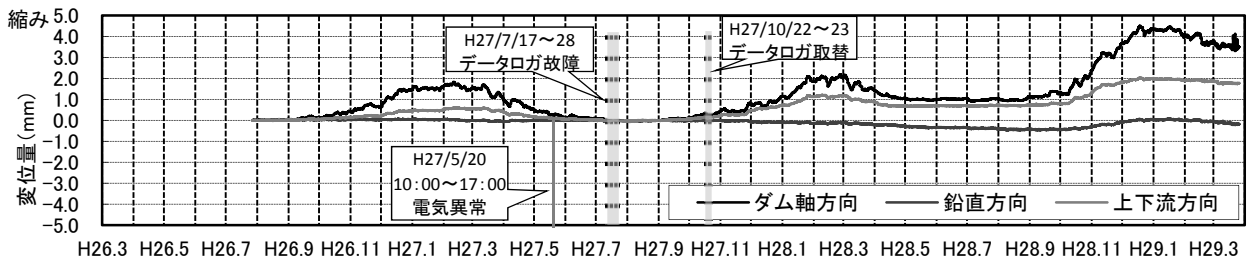


図6 平成26年3月1日から平成29年3月26日における長安ロダム J10の3方向継目変位の日々変動。データロガの故障などによる測定値異常日はそれぞれ図中に記載の通りである。

は堤体切削前の計測値を基に定めたが、継目変位については、温度変化に伴うひずみ ϵ を表す(1)式と、1ブロックの収縮量 δ の算出式である(2)式を用いて4.5mmと定めた。

$$\epsilon = \Delta T \times \mu_t \quad (1)$$

$$\delta = \epsilon \times l_{BL} \quad (2)$$

ここで、コンクリートの線膨張係数を μ_t [1/°C]、年最高最低気温の差を ΔT [°C]、堤体1ブロックの長さを l_{BL} [m]とする。尚、 l_{BL} は10mであり、 ΔT は便宜上30°Cとした。モニタリング項目及び実施期間、管理基準を表-1に、モニタリング計器の配置図を図-3(a)、(b)にそれぞれ示す。モニタリング計器はダム堤体に多数設置しているが、紙面の都合上、本稿では堤体切削を行ったBL10に設置されている計器による測定結果に着目する。

3. 堤体の挙動モニタリング結果

(1) 漏水量及び揚圧力の変化

観測実施期間における長安ロダム管理事務所屋上にて観測した気温及び日降水量、長安ロダムの貯水位を図-4に、同期間における全漏水量の日々変動とBL10の揚圧力係数の日々変動を図-5(a)、(b)にそれぞれ示す。全漏水量には季節変動が見られ、3月頃にピークがある。これは、気温の低下に伴い、堤体が収縮するために生じており、気温の変動に対する位相の遅れは漏水量を規制している部分がダム堤体内部にあるために生じている¹⁾。堤体の切削後においても全漏水量の急激な変化は見られず、安定した値を示している。

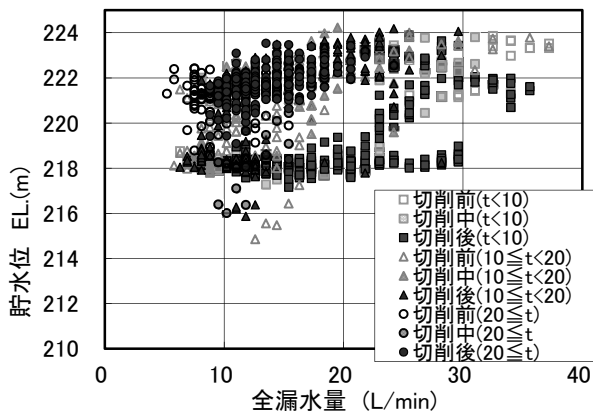


図-7 平成26年3月1日から平成29年3月26日の切削前、切削中、切削後それぞれの期間における気温の階級別の全漏水量と気温の相関図。尚、長安ロダムの洪水時最高水位はE.L.225.0m、最低水位は195.0mである。

揚圧力についても急激に変動することなく、切削前の計測値と同程度で推移している。No.10-2'が他の2計器に比べ、15%程度高い値を示しているのは、No.10-2'が他の2計器よりも孔深が長く、被圧地下水が湧き出しているためと考えられる。尚、No.10-2'からは被圧地下水の特徴である気泡が多く含まれた水が湧き出ていることを確認した。

(2) 堤体の挙動

BL10とBL11間にある継目計(以下、J10継目計とする)の変位を図-6に示す。図-4と比較すると、気温の変動に応じて継目変位も変化していることがわかる。一方、貯水位が継目変位に与える影響は気温の変化に比べ、小さい。いずれの方向の継目計も正の値を推移しているが、これは継目計の設置時期が夏期(平成27年7月27日)であり、堤体が膨張している時に設置したためである。切削中における3方向の継目変位は前年同時期と同程度の値であるが、切削完了後の平成28年12月18日にダム軸方向の継目変位が管理目安値の4.5mmに達した。

(3) 堤体の安全性に関する検証

一般的に既設ダム堤体の漏水量については気温や貯水位の変化に関係なく漏水量が増加しなければ安全性に問題がないとされる¹⁾²⁾。観測実施期間における気温の階級ごとの漏水量と貯水位の相関図を図-7に示す。ここでは、漏水量変化を気温の変化による影響と貯水位の変化による影響に分けて考えるため、10°Cごとに階級分けした。同図より、貯水位が高いほど漏水量が多く、気温が低いほど漏水量が多い傾向が伺える。また、切削前後で同程度の貯水位の場合における漏水量に変化は生じておらず、切削後も安定した挙動を示していると判断した。

図-8は観測実施期間のダム堤体の切削前中後それぞれの期間におけるJ10継目計の温度と継目変位の相関図で

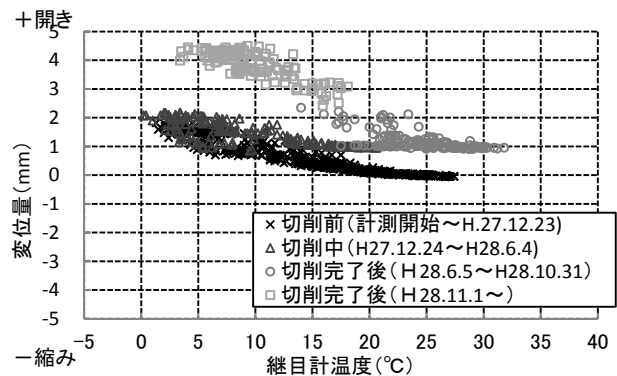


図-8 平成26年3月1日から平成29年3月26日の長安ロダムBL10の切削前、切削中、切削後それぞれの期間におけるJ10のダム軸方向の継目変位とJ10の継目計温度の相関図。

ある。同図によると、いずれの時期も温度変化に応じて変位量も変化しているが、切削後は継目変位に与える温度変化の影響が大きい。これは、切削したことにより、外気に触れる面積が増え、堤体内部が外気の影響を受けやすくなったために生じたものと考えられる。また、切削面にクラックは生じておらず、漏水量や揚圧力も増大傾向を示していないため、この傾向は異常ではないと判断した。

4. まとめ

本論文では、長安ロダムにおいて洪水吐を新設するために行ったダム堤体BL10の切削手法とその際に観測したダム堤体の挙動について報告した。得られた知見は下記の通りである。

- ・ワイヤーソー工法による切削手法を用いることでダム堤体を安全に切削することができた。
- ・漏水量や揚圧力、継目変位に与える影響は気温の変動によるものが最も大きい。従って、平成29年12月から行うBL11の切削に当たっては堤体の温度変化に注意して作業を行う必要がある。
- ・漏水量は切削後も気温及び貯水位の変化に伴い変動しており、安定した挙動を示した。
- ・堤体切削後は外気に触れる面積が増加したことから気温の変化に伴う継目変位量が大きくなった。
- ・今後は漏水量、揚圧力、継目変位の挙動が気温や貯水位と無関係に変動しないか注視していく。

参考文献

- 1) 飯田隆一: ダムの安全管理, 財団法人ダム技術センター, 2006.
- 2) 財団法人ダム技術センター: 多目的ダムの建設—平成17年版 第4巻 設計 I 編, 2005.
- 3) 財団法人ダム水源環境整備センター: ダム管理の実務, 2004.