

長安ロダム改造事業における ダム本体切削時の挙動について

那賀川河川事務所 開発工務課 武川 晋也
那賀川河川事務所 開発工務課長 南本 秀行
那賀川河川事務所 開発工務課 係長 朝山 千春

長安ロダムでは、平成27年12月～平成28年6月にかけて、幅11.2m、高さ37.0mとなる国内最大級の堤体切削工事を実施した。この大規模改造工事に際しては、堤体挙動を監視する目的で種々の計測機器を配置して、多面的なモニタリングを行っている。堤体切削が完了した1年後の平成29年度の冬期には、残壁部の横継目（J10）が当初の想定よりも2倍以上大きく開く現象が確認された。このため、継目の開きが増大した原因（メカニズム）を究明し、今後の挙動予測を行うと共に、堤体の安全性を評価し、対策工の検討を行った。

キーワード ダム改造事業、ダム堤体切削、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に位置するため、大きな洪水が頻発している。また、洪水時に時折大規模な地滑りが発生することで大量の土砂が長安ロダムに流入し、貯水池内の堆砂容量が増加している。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。

こうした背景から平成19年に洪水調節能力の増強、流水の正常な機能維持、既設発電取水による放流水の水質改善及び貯水池機能の保全を目的とした那賀川長安ロダム改造事業計画が始動した。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流水の正常な機能の維持のための容量配分の変更、③環境保全対策として選択取水設備の設置、④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の洪水吐の新設を行うため、平成27年12月から平成28年6月にかけて、日本国内で運用中のダムとしては初めて大規模な堤体切削を行った。本稿では、ダム堤体が切削前後に示す挙動の把握を目的に行ったモニタリング結果を報告する。2章で堤体の挙動モニタリング手法、3章で堤体の挙動モニタリング結果、4章で考察、5章で堤体の安全性評価、6章で対策工、7章でまとめを記す。

2. 堤体の挙動モニタリング手法

モニタリング計器はダム堤体に多数設置されている。本稿では、堤体切削を行ったBL10と隣接するBL11の境目（J10）に設置されており、一般的な既設ダムの安全管理¹⁾にも用いられる変位を測定する3カ所の継目計（J10天端、J10下流面上部、J10下流面下部）に着目する。図-2に計器の配置図を、図-3に継目計の写真を示す。継目計は3方向（ダム軸方向、上下流方向、鉛直方向）の継目の開きの測定が可能である。



図-1 長安ロダム改造事業完成イメージパース

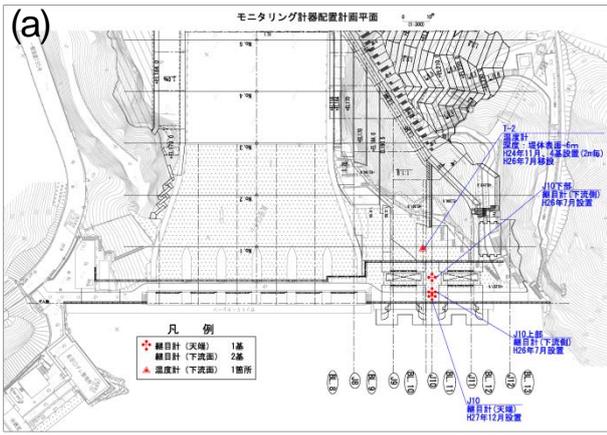


図-3 継目計

3. 堤体の挙動モニタリング結果

長安ロダム管理事務所屋上にて観測した外気温及び日降水量、長安ロダムの貯水位を図-4に、同期間におけるJ10継目のダム軸方向の開きを図-5に、J10下流面上部のダム軸方向の継目の開きと外気温との相関図を図-6にそれぞれ示す。これらの図より、継目の開きは外気温の高い夏に小さく、外気温の低い冬に大きくなっており、外気温との相関性が高い。つまり、継目の開きは温度に制約されて挙動する傾向があるといえる。この傾向はJ10天端及びJ10下流面下部でも同様である。また、平成29年度の継目の開きは最大で12.6mmとなっており、平成28年度の4.5 mmの2倍以上となっている。さらに、平成29年8月以降は、温度低下に対し継目の開きが大きくなる傾向が明瞭となる。

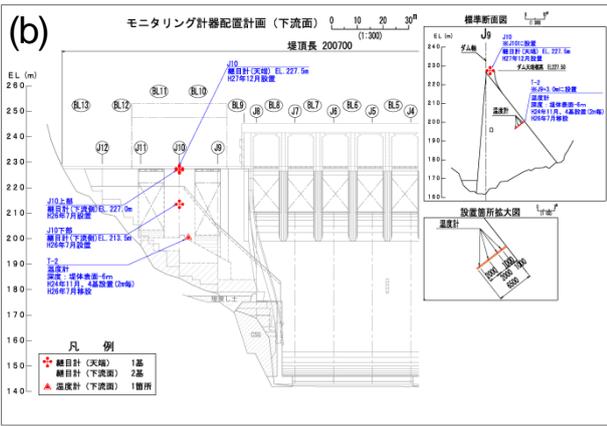


図-2 (a)モニタリング計器配置平面図 (b)下流面図

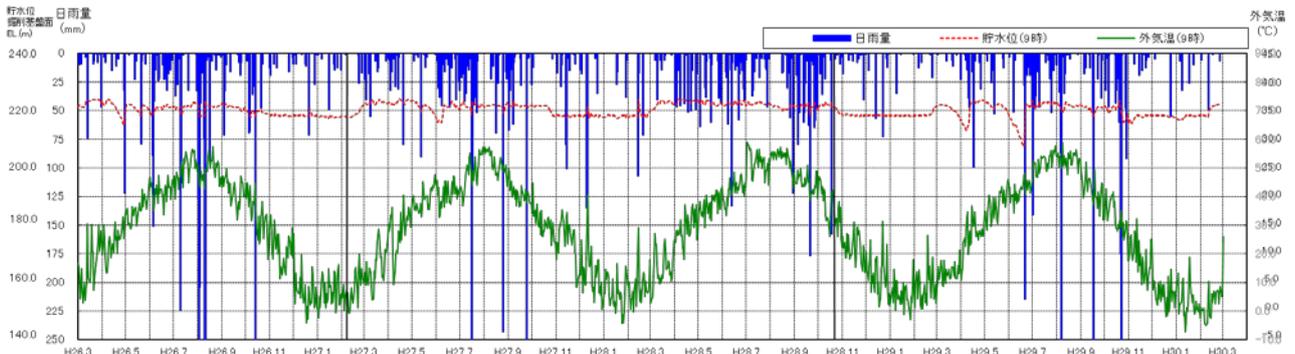


図-4 長安ロダム管理事務所屋上における日降水量、外気温及び貯水位の変動

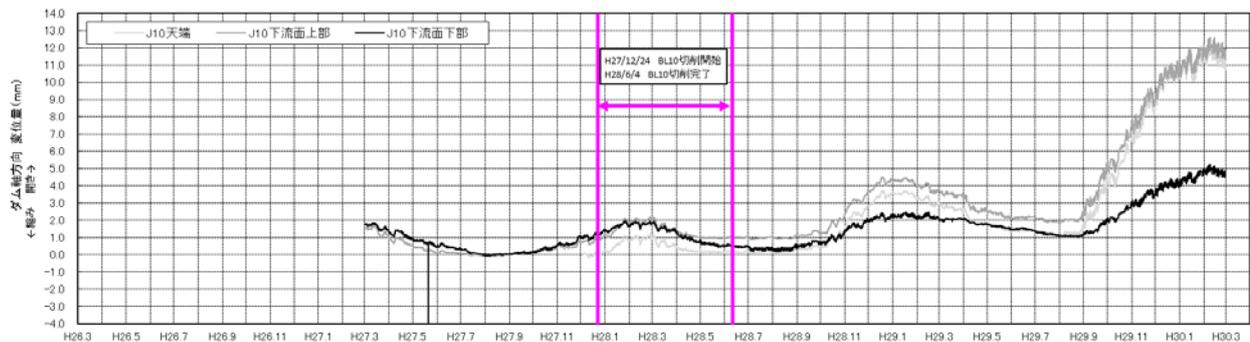


図-5 J10継目の開きの経時変化 (ダム軸方向)

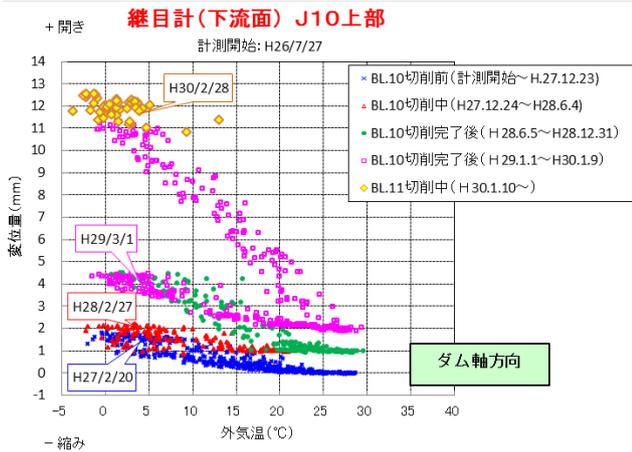


図-6 ダム軸方向の継目の開きと外気温との相関図 (J10 下流面上部)

4. 考察

(1) 変形要因の分析

3.で述べた温度の影響について分析する。平成28年の最高気温時の残壁表面は切削直後であり、外気に曝されている時間が短かったため、平成29年8月程温度上昇しなかったと推定される。また、切断後の平成28年冬期において、下流増厚及び残壁表面コンクリートを打設していたため、残壁表面（左岸側）の「夏期⇒冬期」における温度低下量が平成29年に比べて小さかったと推定される。図-7の残壁の温度変化量に伴う変形概念図に示す通り、残壁表面と継目側の温度変化の差異に応じて不等変形が生じることで、継目の開きは変化する。平成29年度は、残壁表面の温度変化量が大きく、継目の開きが増大したと推定される。

以上より、継目の開きの増大要因は外気温に制約されたコンクリート内部の温度変化であると推定される。

(2) 挙動の検証と今後の予測

(1)より、コンクリート内部の温度変化が継目の開きの増大要因であるとしてJ10下流面上部の継目の挙動を検証する。残壁が構造物に拘束されずに自由に温度変形する場合の温度変化に伴うひずみ ϵ は式(1)で表される。

$$\epsilon = \mu \Delta t \quad (1)$$

ここで、コンクリートの線膨張係数を $\mu [1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}]$ 、年最高最低の温度差を $\Delta t [^\circ\text{C}]$ とする。残壁の各標高で温度勾配がほぼ一様であり、基部に生じる温度ひずみは平均的にどの地点でも生じていると仮定する。残壁にひずみ ϵ が生じた際の各面の長さは以下の通りとなる。

$$k1 = L(1 - \mu \Delta t) \quad (2)$$

$$k2 = L(1 + \mu \Delta t) \quad (3)$$

ここで、切削深さを $L [m]$ 、表面側の長さを $k1 [m]$ 、内

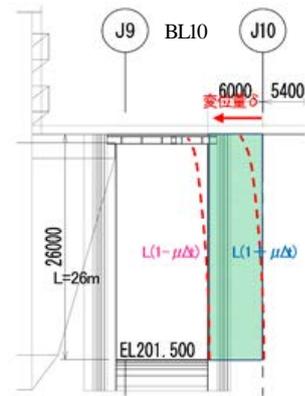


図-7 残壁変形概念図

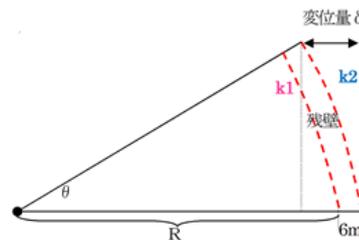


図-8 残壁の変形幾何学図

面側の長さを $k2 [m]$ とする。上記の長さの変化が生じても平面保持されるものとし、残壁の変形を巨視的に見て、図-8のような半径 R の円弧上の挙動と考えると、式(4),(5)が成立する。

$$k1 = R\theta \quad (4)$$

$$k2 = (R + 6)\theta \quad (5)$$

図-7,8及び式(1)~(5)より、継目変位量 δ に関して式(6)が成立する。

$$\delta = (R + 6)(1 - \cos\theta) \quad (6)$$

継目の開きの予測値 δ' は、式(6)に継目の開きが増大する前の初期開口量と補正定数を考慮したものになる。図-9に平成29年の継目の開きの予測値と実測値の経時変化を示す。BL10の湛水後は外気に接触する境界条件が貯水に変更になるため、平成30年2月以降は新しく計測を開始した残壁内部の温度計(T-4, T-5)を用いて継目の挙動を推定している。図-9より、予測式で継目の開きが概ね再現できているといえる。

次に今後の継目の開きの予測について述べる。継目はBL10とBL11の両方の残壁の不等変形の影響を受ける。BL11側は切削が平成30年4月に完了したばかりなので、平成28年の計測結果より、継目の開きは最大4.5mmと考えられる。BL10側は予備ゲートの撤去により通年的に水没した状態となることを考慮すると、継目の開きは9.9mmと予測される。以上より、BL11切削完了後の平成30年度冬期のJ10継目の開きは、 $4.5 + 9.9 = 14.4 \text{mm}$ と予想される。安全側を考慮し、J10の継目の開きに関して15mmを管理基準値として設定する。

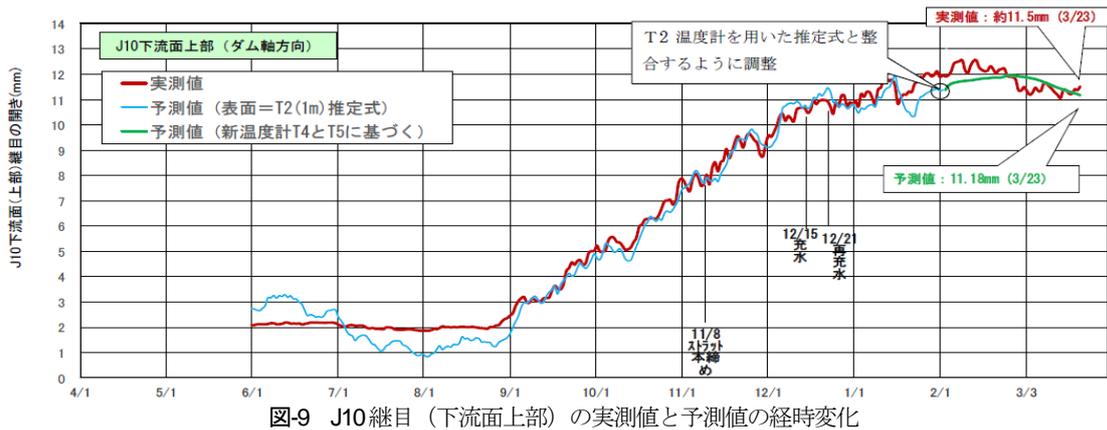


図-9 J10継目（下流面上部）の実測値と予測値の経時変化

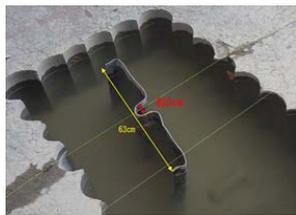


図-10 銅製止水板

目の開きが増大することによる残壁基部へのクラックの発生は認められなかった。以上より、構造安全性は保持されていると評価される。

6. 対策工

4., 5.より平成30年度冬期のJ10継目の開きは14.4mmと予想されるが、止水板の安全性を考慮し、仮に管理基準値を超えたとしても、運用中のダムが壊れない対策を実施する必要がある。そこで、J10継目の開きを抑制するため、下流側にはBL10の増厚コンクリートとBL11の既設堤体の間に図-11の左側に示す火打ちと呼ばれる開き抑制工を、また上流側にはJ10をまたぐように図-11の右側に示す留め金具を設置している。



図-11 J10開き抑制工（左：下流側、右：上流側）

5. 堤体の安全性評価

まず、図-10に示すような継目止水板の安全性を評価する。継目止水板は水の浸入を防ぐためにコンクリートの打ち継目に入れる板のことであり、ダム天端に設置されている。止水板は周辺がコンクリートで拘束された状態にあり、大きな変形が生じると周辺コンクリートにもひび割れ等の影響が生じる可能性がある。今回は銅製止水板のセンターリングが2cm程度以上あることから、継目の開きは2cm程度が上限であると考えられる。4.(2)で述べた今後の挙動予測においても継目の開きは2cmを上回ることはないと推定されている。また、平成29年度に上段監査廊のJ10において定期的に漏水の有無を確認した。この結果、特に漏水は発生しておらず、継目の止水性は保持されていると評価でき、浸透に対する安全性は保持されていると判断される。

次に構造安全性を評価する。予備ゲート下流に充水することで残壁に作用する水圧により、残壁の自由な変形が拘束されると内部応力が発生する可能性がある。しかし、平成29年12月14日～15日に予備ゲート下流に充水した結果、J10の継目変位は約0.1mm～0.3mm閉じ側になった程度であり、ほとんど変形しなかった。また、J10継

7. まとめ

本稿では、長安口ダム本体のBL10の切削に伴うダム堤体の挙動について、BL10とBL11の間にある継目計のデータをもとに要因を分析した。得られた知見は以下の通りである。

- ・継目変位量は温度に制約される。
- ・平成28年度と比較して29年度の継目の開きが増大した要因は夏期から冬期の温度変化量の増大と推定される。
- ・堤体内部温度データを用いた継目予測式により、概ね精度よく継目の挙動を再現できる。

今後は平成30年4月に完了した山側の堤体切削の影響も考慮し、継目の開きを注視することで、ダムの安全性について確認していく。

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.