

足羽川ダムにおける 堤体部のひび割れ抑制対策について

山崎 健司

近畿地方整備局 河川部 河川工事課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

流水型ダムである足羽川ダムは、ダム堤体の河床部に放流設備を設置する。ダムコンクリート打設後に放流設備空洞部と堤体内部との温度差により、堤体中央、ダム軸方向にクラックが生じ易く、ダム堤体の安定性を損なう可能性があり、確実に防止する必要がある。

足羽川ダムでは、温度履歴及び温度ひずみの3次元FEM解析を行った結果、無対策ではクラック発生の可能性が高いことを確認した。クラック発生防止対策として、①夏期のコンクリート打設面への散水養生によるコンクリートの放熱促進、②冬期の放流管空洞部の通気遮断、③最もクラックが生じやすい堤体中央部に縦継目の設置という3つの対策を行うこととした。

キーワード 河床部放流設備、クラック、温度ひずみ、縦継目

1. はじめに

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）に建設中の高さ約96m、堤頂長約350m、総貯水容量約2,870万m³の重力式コンクリートダムである。(図-1)



図-1 足羽川ダム位置図

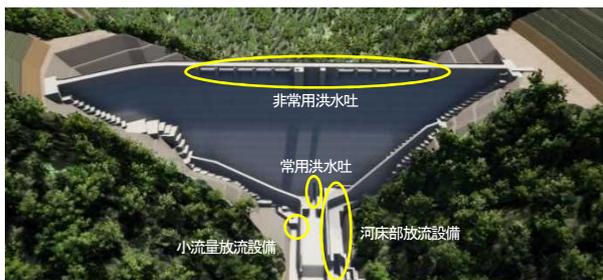


図-2 足羽川ダムイメージ図

足羽川ダムは、非常用洪水吐 (B13.0m×H3.0m) 10門、常用洪水吐 (B2.2m×H2.4m) 1門、小流量放流設備 (φ1.2m) 1門の他、平常時に川の水をそのまま流すため、河床部に放流設備 (B5.0m×H5.0m) 1門を設ける流水型ダムである。(図-2)

河床部に設置する放流設備は、魚類の遡上・降下や土砂排出機能の確保など、流水型ダムの上下流連続性の特性を活かすため、現在の部子川と同じ流れである左岸側の同標高部に設置する。

2. ダム堤体における温度履歴・ひずみ解析

(1) 解析条件

足羽川ダムは、堤体積約70万m³の大規模なダムであり、河床部では上下流方向に約100mの厚みを持つことから、ダム堤体コンクリート打設後に堤体内部の温度が上昇し、温度ひずみによるひび割れの発生が懸念される。

そこで、堤体最大断面における温度履歴および温度ひずみを2次元FEM解析によって推定することとした。

a) 解析の基本条件

足羽川ダムの堤体コンクリートを、図-3に示すとおり外部コンクリート (着岩部コンクリート含む)、内部コンクリートの2種類に区分して解析を行う。コンクリート配合毎の物性値は表-1のとおりである。

また、断熱温度上昇特性を図-4、コンクリート表面の境界条件となる外気温を図-5のとおり整理した。



図-3 堤体コンクリート区分図

	岩盤	内部 コンクリート	外部・着岩 コンクリート
ヤング率 (N/mm)	3,000	23,000	23,000
単位質量 (kg/m ³)	2,650	2,450 ※	2,410 ※
ポアソン比	0.25	0.20	0.20
熱伝導率 (W/m°C)	3.50	2.25 ※	1.91 ※
熱膨張率 (×10 ⁻⁶ /°C)	10.0	10.0	10.0
比熱 (kJ/kg°C)	0.800	1.000 ※	0.946 ※

注: ※印は試験値、その他は一般値

表-1 物性値一覧

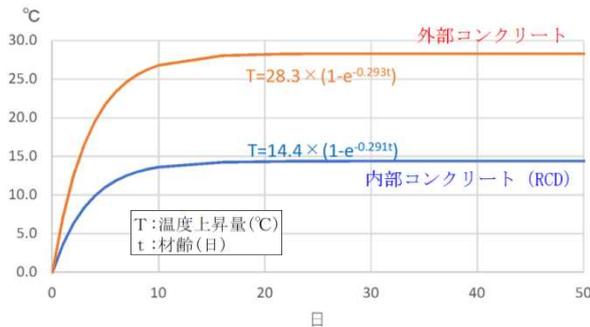


図-4 断熱温度上昇特性

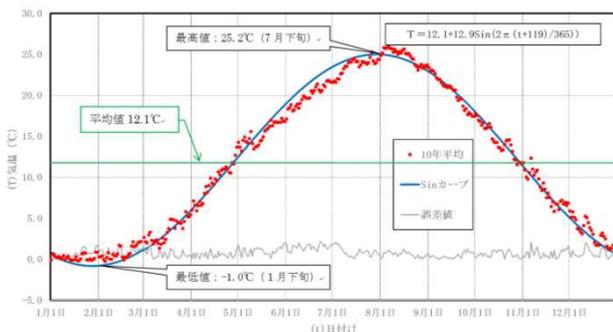


図-5 日平均気温の年変動

b)許容引張ひずみ

クラック発生判定は、「引張ひずみ」または「引張応力」によって行われている。

今回は、ダム堤体の大部分を内部コンクリートが占めており、そのクラックが発生する限界ひずみ量が材齢・打設からの経過日数によらずほぼ一定で、ひずみのみに着目すればクラック発生可否を判定できるため、「引張ひずみ」を指標とした。

許容引張ひずみは配合試験によって得られている弾性係数と引張強度より求める。配合試験の結果から弾性係数と引張強度の関係を求めると、図-6のとおりとなる。

クラック発生境界となる許容引張ひずみは、外部コンクリートで130μ、内部コンクリートで100μとした。

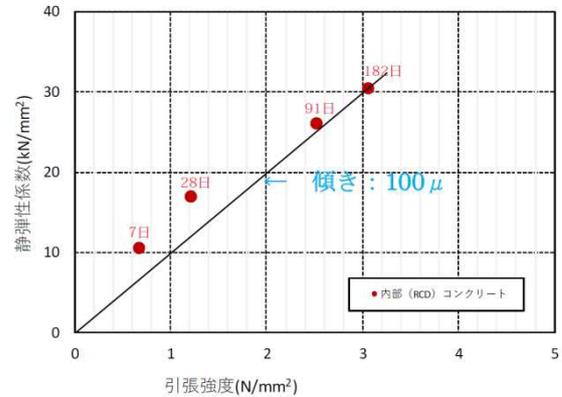
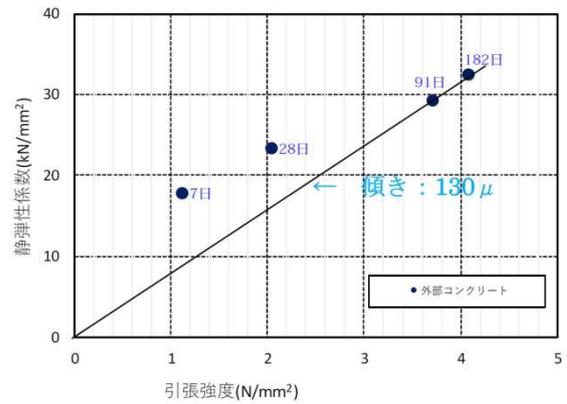


図-6 弾性係数と引張強度の関係

(2) ダム堤体の温度履歴・ひずみ解析

前節の条件により図-7に示す解析モデルを用いて解析を行った。

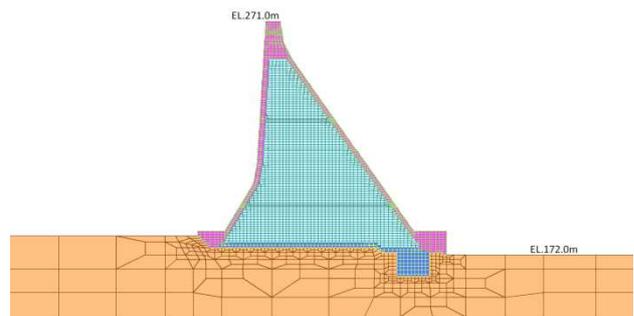


図-7 ダム堤体の解析モデル

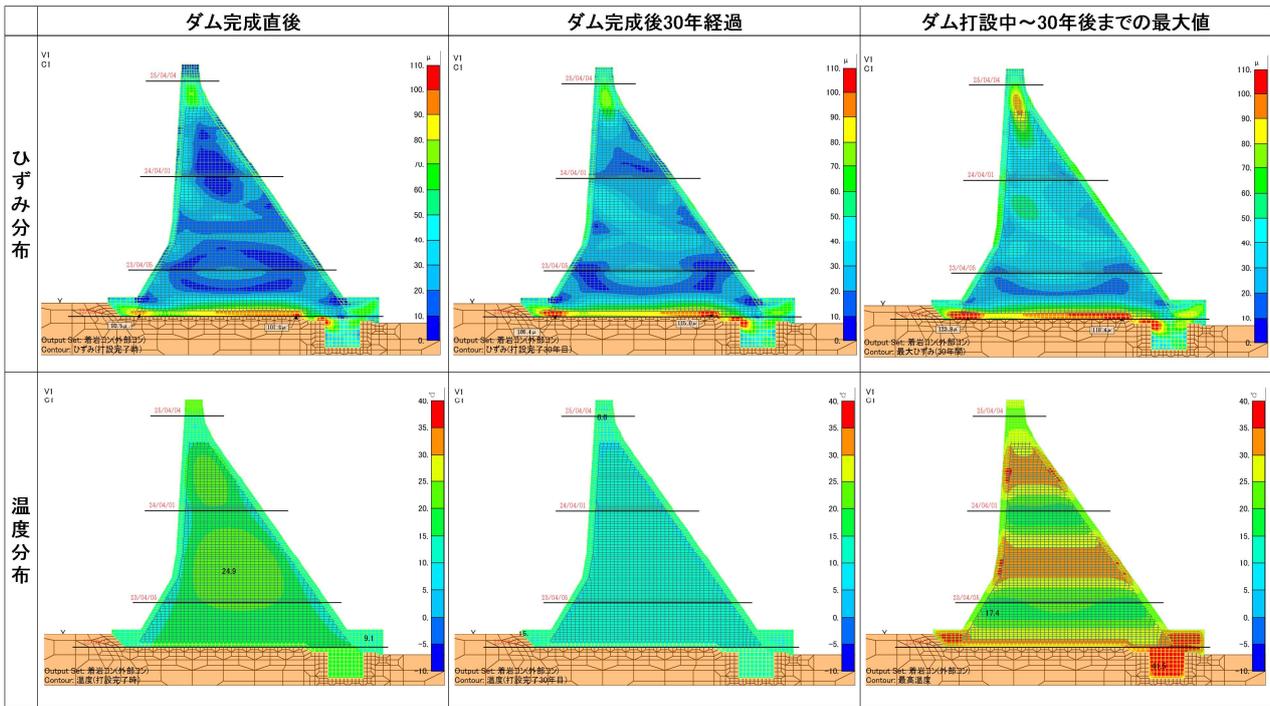


図8 ダム堤体のひずみ分布と温度分布

解析は図-8のとおり、ダム完成直後、ダム完成後30年経過時（ほぼ最終安定温度に収束）、温度およびひずみが打設時～完成後30年間の最大値となる3種類で行った。結果は以下のとおり。

a)外部コンクリート

堤頂部付近で外部コンクリートの厚みがあるため内部温度が上昇して100 μ 程度のひずみが発生しているが、上流面、下流面、堤頂部の全てにおいて、許容引張ひずみ130 μ を超えるひずみは発生していない。

よって、対応策を講じる必要がないと判断した。

b)着岩部コンクリート

着岩付近全体に80 μ を超えるひずみが発生し、最大124 μ のひずみが発生したが、許容引張ひずみ130 μ を下回った。許容引張ひずみを下回るため、クラック発生の危険性は低いが、クラック発生リスクをより低減させるため、温度を上げないよう注意が必要である。

c)内部コンクリート

夏期打設を行う着岩部近くで最高温度が30 $^{\circ}$ Cとなり、他の内部コンクリート箇所と比較して比較的大きな引張ひずみが生じているが、最大で65 μ と、許容引張ひずみ100 μ を下回った。

(3) ダム堤体のクラック発生対策

前節の結果から、実際の打設時には計算条件以上にコンクリート温度を上昇させないよう、打設面の不 \rightarrow 遮熱防止のための養生や十分な散水等を計画することで、クラック発生の防止は十分に可能と判断する。

今後、セメント量の低減やフライアッシュ置換率の向上など、コスト削減にもなる温度抑制対策を検討する。

3. 河床部放流設備周辺の温度履歴・ひずみ解析

(1) 河床部放流設備の影響による堤体安定性への課題

ダム堤体のクラック発生の可能性は低いことが確認されたが、流水型ダムの大きな特徴である河床部放流設備は、平常時に河川の流水とともに外気の通気が行われることから、堤体コンクリート打設後に発熱している堤体内部との温度差によるひずみや、乾燥収縮などによってクラックが生じやすい状況となる。

河床部放流設備周辺でのクラックは、堤体中央部の低標高部でダム軸方向に生じることから、上下流方向の断面で検証されている堤体の安定性を損なう可能性があるため、確実に防止する必要がある。

そこで、河床部放流設備の配置されているブロックを抽出し、温度履歴および温度ひずみを3次元FEM解析によって推定することとした。

(2) 解析条件

前章の解析基本条件と同様に、放流管回りの構造用コンクリート、着岩部コンクリートは外部コンクリートと同一配合と考え、内部コンクリートと2種の物性値を用いる。その他の条件及び許容引張ひずみも前章と同様とした。

なお、河床部放流設備の放流管表面には鋼製のライニングを予定しているが、鋼材とコンクリートの膨張係数はほぼ同一であるため、解析には反映していない。

また、解析は、河床部放流設備回りのコンクリート打設が完了した時点から、河床部放流設備に通水を開始する予定時点までの3年間とし、1年毎に行った。

(3) 温度履歴・温度応力解析

解析モデルは図-9のとおりである。

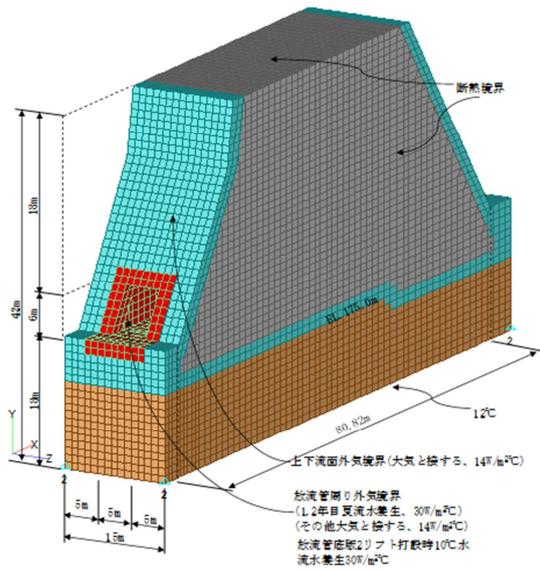


図-9 河床部放流設備設置ブロックの解析モデル

解析の結果、堤体コンクリート打設年の冬期のひずみが最大となり、翌年以降は放熱が促進してひずみが小さくなった。堤体コンクリート打設年の解析結果を図-10に示す。

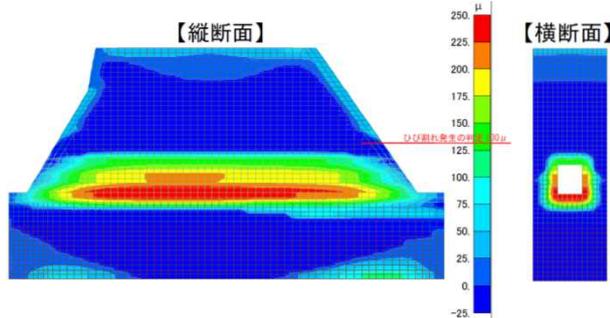


図-10 堤体コンクリート打設年 (冬期) の解析結果

上下流面から5m程度の範囲を除き、河床部放流設備の放流管表面付近全体に大きな引張ひずみが発生する。最大引張ひずみは200μを超え、クラックが発生する危険性は非常に大きくなる。

よって、河床部放流設備周辺のクラック抑制対策を講じる必要がある。

4. クラック抑制対策

(1) 温度抑制対策

河床部放流設備放流管回りの温度応力によるクラックを防止するため、温度抑制対策の検討を行った。

最大引張ひずみの発生は、コンクリート打設後の冬期に発生していることから、①コンクリート打設後の堤体

内部の放熱促進と②河床部放流設備放流管内の急冷の防止である。

①については、夏期の放熱促進のため流水養生を行い、②については、放流管表面の通気を遮断するとともに、一定温度の散水を行い、図-11のように、コンクリート表面温度を夏期20°C、冬期15°Cに規制する。

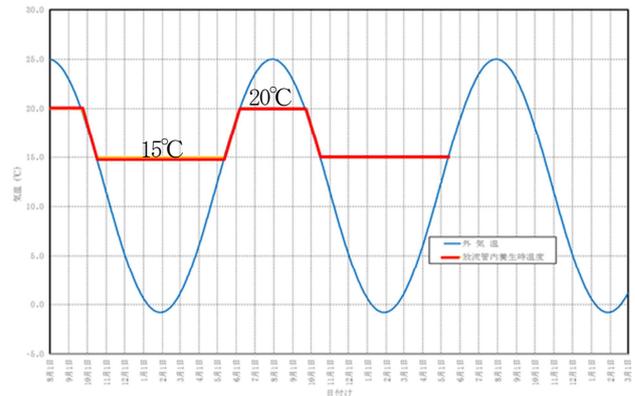


図-11 流水養生による放流管表面温度規制

温度規制の効果を確認するため、コンクリート温度を低下させた条件で解析を行った。

解析の結果、流水養生を行う1、2年目は放流管回りの引張ひずみは100μ以下に大きく低下するものの、着岩面付近で岩盤による拘束が加わっている関係で130μを超える箇所がある。

また、通水を開始する3年目には、図-12のとおり、着岩面付近だけでなく、放流管回りでも100μを超え、最大130μの引張ひずみが確認された。

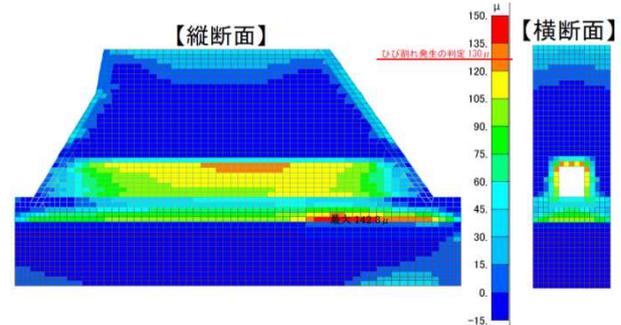


図-12 温度規制対策後の解析結果 (3年目)

以上から、放流管と着岩面に生じている引張ひずみにより、堤体中央付近をダム軸方向に分断するクラックが生じる危険性が高いため、さらなる対策を講じる必要がある。

(2) 縦継目による追加対策

着岩面の拘束を緩和するため、温度抑制対策だけでなく、堤体中央部のダム軸方向に縦継目を設けることで、引張ひずみの低減を図った。

解析モデルは図-13のとおりである。

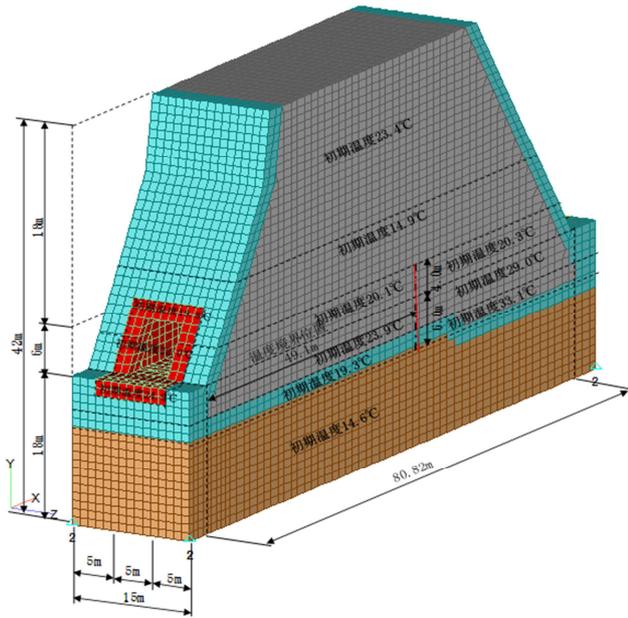


図-13 縦継目を考慮した解析モデル

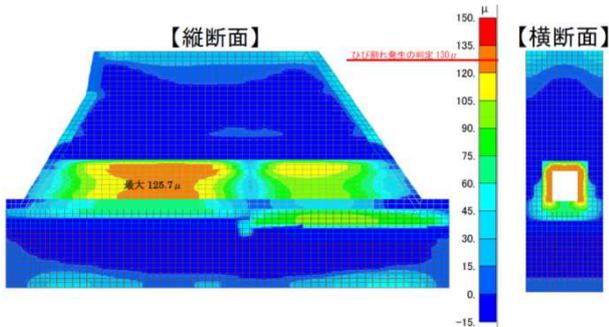


図-14 縦継目設置後の解析結果

解析の結果は、図-14のとおり、最大引張ひずみは 125.7μ と許容引張ひずみ 130μ を下回ることを確認したことから、堤体に縦継目を設けることとした。

なお、縦継目の設置にあたっては、主応力の伝達方向に配慮し、安定解析を行ったうえで、図-15のように、傾斜させることとした。

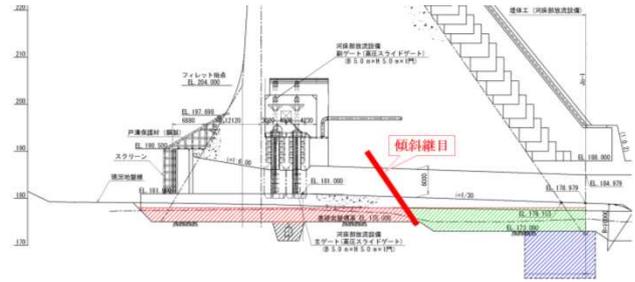


図-15 縦継目の配置

5. 結論

足羽川ダムは高さ96mの重力式コンクリートダムで、流水型ダムという特徴を備えているため、河床部に大規模な放流設備が必要となり、堤体の安定性に影響を及ぼす可能性のあるクラックへの対策として、温度抑制対策、縦継目が必要との結果が出た。

今後、流水型ダムである重力式コンクリートダムについては、管理移行後の不具合を未然に防ぐため、温度応力解析を適切に行い、設計に反映させる必要があると考える。

特に、足羽川ダムと同様に河床部の放流設備にゲートを設置するダムについては、今回検討を行ったひび割れが、放流管及びライニングにより不可視部分となることから、温度応力解析等を実施し、ひび割れの発生の可能性を確認することが望ましいと考える。

※本論文は、前所属の足羽川ダム工事事務所工事課にて行った内容を取りまとめたものである。