

VI-253

パイプクーリングによるアーチダムの温度応力抑制に関する解析的検討

—奥三面ダム本体工事—

新潟県三面川開発事務所 正会員 峰村 修

新潟県三面川開発事務所 正会員 佐藤 賢弥

鹿島技術研究所 正会員 横関 康祐

鹿島北陸支店 正会員 大内 斉

鹿島北陸支店 正会員 坂田 昇

1. はじめに

アーチダムのようにジョイントグラウティングを行って堤体の一体化を図るダムにはパイプクーリングが実施され、それはコンクリートの温度ひび割れ防止を目的として堤体コンクリートの最高温度及びその後の温度変化を規制するためのクーリング（一次クーリング）と、ジョイントグラウティングを行う前に収縮継目を最大に開口させるためのクーリング（二次クーリング）に分類される。パイプクーリングの基本的な考え方や実施方法は米国開拓局や建設省土木研究所の検討と実績を通じてほぼ一般化してきているが、各ダムによって外気温の年間変動、断面寸法、リフト厚、リフトスケジュール、配合その他が異なるので、これらの条件に応じた最適なパイプクーリングの方法を選定・修正することが望ましい。ここでは、新潟県北部に建設中であるアーチ式コンクリートダム・奥三面ダムを対象に、一次クーリングの最適方法を検討したもので、パイプの配置方法、通水温度及び期間、リフト打設間隔等が温度ひび割れ指数に及ぼす影響について技術的予測を裏付ける結果が得られたので報告する。

2. 解析方法

解析対象は堤体下部リフトであり、既設コンクリートを拘束体としたダム軸に直交する長手方向断面（ダム上下流方向に切り取った断面）の1/2について図-1に示すようにモデル化した。

解析に用いた主な入力値を表-1に示す。ここで、コンクリートの圧縮強度発現、単位容積質量は室内試験結果に基づき、その他の値は土木学会コンクリート標準示方書（平成3年版）等を参考に定めた。パイプクーリングに関しては、既往の文献¹⁾を参考に管径と流速からパイプ壁面での熱伝達率を推定し、パイプ位置の節点にパイプの表面積を考慮して熱吸収率を算定する方法を用いた。この方法は、田辺ら²⁾の解析方法を参考にモデル化したものであるが、事前にパイプを要素の辺で表

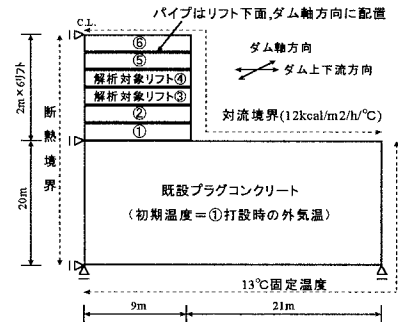


図-1 解析モデル

表-1 解析入力値

解析条件	入力値	適用
熱伝導率	2.3 (kcal/m/h/℃)	1)
比熱	0.28 (kcal/kg/℃)	1)
密度	2,400 (kg/m ³)	配合実績
セメントの種類	中濃熱ポルトランドセメント	—
断熱温度上昇特性 $Q = Q_{\infty}(1 - \exp(-\gamma t))$ 夏 25℃, 秋 15℃, 冬 10℃打設	夏季: $Q_{\infty}=36.6$, $\gamma=0.89$ 秋季: $Q_{\infty}=37.2$, $\gamma=0.58$ 冬季: $Q_{\infty}=37.6$, $\gamma=0.44$ 冬季: $Q_{\infty}=35.4$, $\gamma=0.42$ C=200	実験式
外気温	新潟市の月別平均気温	理科年表
パイプ壁面の熱伝達率	283 (kcal/m ² /h/℃)	論文 ¹⁾
圧縮強度 $f'_c(t)$ (kgf/cm ²)	325t / (6.38 + 0.623t)	配合実績
引張強度 (kgf/cm ²)	$1.4 \times f'_c(t)^{0.5}$	1)
ヤング係数 (kgf/cm ²)	$\psi(t) \times 15,000 \times f'_c(t)^{0.5}$	1)
クリープを考慮した 補正係数 $\psi(t)$	材齢3日まで0.5 材齢5日以降0.67	2)
ポアソン比	0.2	1)
熱膨張係数 (1/℃)	10×10^{-6}	1)

1) 土木学会コンクリート標準示方書, 2) JCI ひび割れ制御指針

3. 解析結果

図-2～5にリフト中心部での最高温度及び最小ひび割れ指数を示す。

(1)パイプ配置方法の影響（図-2参照）

ひび割れ指数はパイプのピッチを2mから1.5mにすることで0.1～0.2程度改善された。上下リフトのパイプの配置が平行の場合と千鳥の場合との比較では4リフトでは千鳥配置の方がやや有利な結果となったが、3リフトでは大差ない結果となった。これは、両ケースのパイプ本数が同じであるためリフト全体としての吸

収熱量は同一となり、外部拘束応力が大きく影響する本部位においては、その効果が小さくなったものと考えられる。

(2) 通水温度の影響（図-3 参照）

クーリング水の入口と出口の温度差は昨年度の計測で10℃程度であることが分かっている。これを厳密に解析に反映させるためには三次元解析を行わなくてはならないが、ここでは簡単のため、解析に用いる温度は入口温度+5℃のパイプ内の平均的な温度として解析を行った。ひび割れ指数は通水温度を下げることで大きくなる傾向を示すが、予想していたよりもその効果は小さく、水温を10℃下げることによって0.05程度改善されるにとどまった。打設間隔が8日の場合には、夏季には25℃（入口温度20℃）以下、秋季には15℃（入口温度10℃）以下とするのがよいと判断される。

(3) 通水期間の影響（図-4 参照）

夏季施工時はリフト打設間隔が8日の場合について、また冬季は降雪のため3ヵ月打設間隔が空く場合についてそれぞれパイプクーリング通水期間の影響について検討を行った。夏季については通水期間が5～30日の範囲で通水期間が長いほどひび割れ指数は大きくなり、本解析条件では、目標ひび割れ指数を1.5とした場合、通水温度20℃（入口温度15℃）では通水期間を15日程度以上とするのがよいと判断される。一方、冬季においては通水期間が長いほどひび割れ指数は低下した。したがって、冬季においては通水期間を2日程度に抑えるのがよいと判断された。

(4) 打設間隔の影響（図-5 参照）

上下リフトの打設間隔は、気象その他の影響により変更せざるを得ない場合がある。ここでは、夏季については順調に施工が進行した場合の8日間隔、及び30日間隔を比較し、冬季においてはコンクリート打設を中止せざるを得ない90日間隔、及び保温養生とセメント量低減の対策を行った場合の解析を実施した。リフトの打設間隔がひび割れ指数に及ぼす影響は大きく、夏季においては打設間隔を極力短くする必要がある。冬季においてもできる限りその間隔を短くし、かつセメント量の低減等の対策を施す必要があると判断された。

4. まとめ

ダムの一次クーリングに関して温度ひび割れの抑制・防止に効果的な施工方法及び運転方法を検討した結果、打設間隔、通水期間、配管ピッチがひび割れ指数に及ぼす影響が大きく、パイプの配置方法、通水温度の影響は小さいことが分かった。今後、ここで得られた結果をクーリングの施工示様に反映する計画である。

【参考文献】1) 溝渕ら：マスコンクリートのパイプクーリングによる熱除去効果の解析，第7回コンクリート工学年次講演会論文集，pp. 37～40，1985，2) 田辺ら：パイプクーリングにおける管壁面の熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析，土木学会論文報告集，第343号，pp. 171～179，1984. 3

