

プレクーリングによるダムコンクリートのひび割れ制御について

建設省温井ダム工事事務所 正会員 森田義則 藤原博昭 ○庄司俊介

1. はじめに

ダムコンクリートにおいては、セメントの発熱に起因する温度応力によるひび割れを防止することは重要な課題である。このため、単位セメント量を極力小さくするとともに、セメントについても発熱の小さいものを使用している。また、練混ぜ水に冷水を使用したり、コンクリート内部に設置された配管に冷水を流すことによりコンクリートの温度上昇を抑えるパイプクーリングも実施している。温井ダムでは、堤体の一般部についてはこれらにより温度制御が可能であるが、放流管が埋設される部位については、管胴周りの補強鉄筋が高密度となることから、施工性（充填性）に配慮した流動性の高いコンクリートが要求され、その結果、単位セメント量が多いコンクリートの打設が余儀なくされ、温度応力によるひび割れが懸念された。

こうした中で、放流管周りのコンクリートの温度応力解析を行い、ひび割れを防止し得る打込み温度について検討し、その結果に基づき液体窒素によるプレクーリングを実施したので、ここに解析結果と実施工による検証結果について紹介する。

2. 温度応力に関する検討の概要

検討の対象とする放流管埋設ブロックのダム軸方向断面を図-1に示す。温度応力解析は2次元有限要素法により行った。図-2に解析を行った上下流方向断面の要素分割図を示す。図中のA、C、Lの記号はコンクリートの配合種別であり、それぞれ表-1に示すとおりである。また、表-2に解析条件を示す。

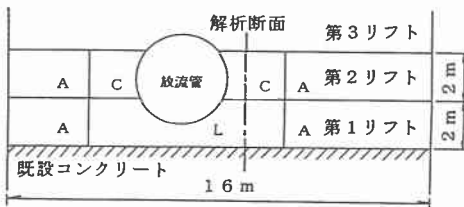


図-1 放流管埋設ブロック断面図

なお、ひび割れの危険性の判断は、材齢に応じたコンクリートの引張強度を、解析によって得られた引張応力で除して得られたひび割れ指数によって行った。

3. 検討結果

図-3に、ひび割れ指数が最も小さくなる第1リフトのブロック中央の点（図-2に示すa点）における、打込み温度が20℃のときのコンクリート温度、温度応力、ひび割れ指数および外気温の経時変化を示す。

これより、温度応力は初期の温度上昇時においては圧縮となるが、その後の温度低下に伴って引張側へ移行し、第2リフト打設後数日たってピークを生じている。

ひび割れ指数については、第2リフト打設後の引張応力のピーク時に最小値となり、その後は引張応力の低下により増加するが、再び引張応力の増加に伴って小さくなっている。なお、本解析では、第3リフトの打

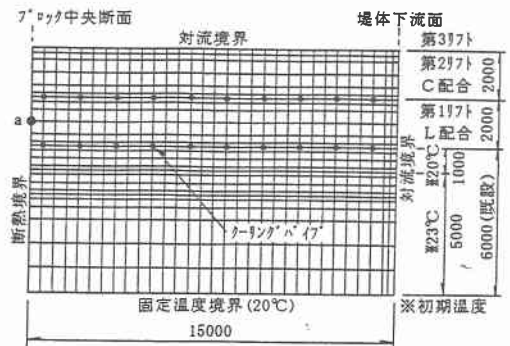


図-2 解析断面要素分割図

表-1 コンクリート配合

配合名	骨材最大寸法	スランプ	単位セメント量
A	150mm	3cm	220kg/m ³
C	80mm	5cm	267kg/m ³
L	40mm	15cm	335kg/m ³

表-2 温度応力解析条件

打込み温度	15, 20, 25℃
打設日	第1リフト：8月20日、第2リフト：9月3日
外気温	過去の実測データにより設定
パイプクーリング	各リフト打設後4日間実施
コンクリートの物性値	密度 2,413kg/m ³ 比熱 0.242kcal/kg℃ 熱伝導率 2.34kcal/m・hr℃ 発熱特性 断熱温度上昇式を実験値により設定 表面熱伝達率 側面：12kcal/m ² ・hr℃ 上面：10kcal/m ² ・hr℃ 線膨張係数 10×10 ⁻⁶ /℃ 弾性係数 実験結果をもとに積算温度の関数として設定

設は考慮していないが、実際の施工では第2リフト打設後20日程度で第3リフトを打設するため、長期における温度降下速度は計算結果よりも小さくなり、ひび割れ指数は大きくなるものと考えられる。よって、最小ひび割れ指数は、第2リフト打設直後の引張応力のピーク時における値として評価できる。表-3は、解析結果から最小ひび割れ指数発生時の値をまとめたものである。

図-4は、打込み温度と最小ひび割れ指数の関係であり、打込み温度を下げることによってピーク温度が抑制され、その結果、その後の温度降下量が小さくなることにより温度応力も小さくなり、ひび割れ指数が大きくなることを示している。この図より、ひび割れ指数の目標値を1.2以上とすると、打込み温度は21℃以下でなければならないという結果が得られた。

4. プレクーリングの実施

堤体16ブロックの当該リフトの打設日は9月2日となり、この時期のコンクリートの打込み温度はプレクーリングを行わなければ24℃程度となるため、上記の結果を踏まえプレクーリングを実施し、目標打込み温度を21℃とした。

プレクーリングの方法としては、液体窒素をコンクリート練混ぜ時にミキサー内に直接噴射する方式を採用した。この方式は、ランニングコストがやや高いが、設備コストが比較的に安いので、今回のような施工量が少ない場合に適している。また、比較的容易にコンクリートを冷却できるとともに、窒素の噴射量を変えることによってコンクリート温度をある程度自由に制御できるという利点を有している。

実施工においては、コンクリートの打込み温度を随時確認し、20～21℃となるように窒素の投入量を調整しながら打設を行った。その結果、液体窒素の平均投入量は約19kg/m³であった。また、打設後のコンクリートの温度履歴を、他のブロックで同時期にプレクーリングなしで施工した場合の温度履歴とあわせて図-5に示す。これより、同じA配合で比較してみると、プレクーリングの有無により打込み時に4℃あった温度差は、最高温度到達時においてもほぼ維持されており、プレクーリングによるピーク温度の低減効果が確認された。また、L配合について、ピーク温度が解析値よりやや低めとなっているのは、周辺のA配合コンクリートの影響を受けたためと考えられるが、その後の温度降下の傾向は解析結果とほぼ一致しており、解析の妥当性を裏付けるものと考えられる。

5. おわりに

液体窒素によるプレクーリングによって、コンクリート打込み温度の制御およびピーク温度の抑制が可能であることが分かった。また、解析に基づき打込み温度の設定を行い施工した結果、コンクリートのひび割れを防止することができた。今後、コンクリートのひび割れ制御法として、本手法の応用が期待される。

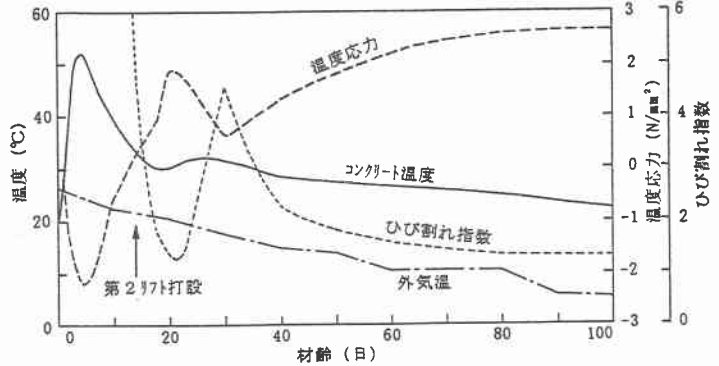


図-3 温度・温度応力・ひび割れ指数の経時変化（解析値）

表-3 解析結果（最小ひび割れ指数発生時）

打込み温度 (°C)	最高温度 (°C)	温度降下量 (°C)	引張応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ひび割れ指数	材齢 (日)
25	54.4	21.5	2.37	2.39	1.01	20
20	51.7	20.4	1.82	2.33	1.28	21
15	47.8	17.6	1.42	2.31	1.63	21

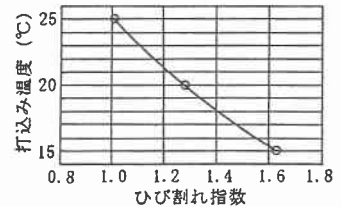


図-4 打込み温度と最小ひび割れ指数の関係

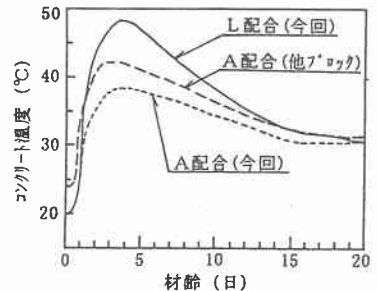


図-5 コンクリートの温度履歴（実測値）