膨張材を添加した低熱高炉セメントと鉛直パイプクーリングの水門構造物への適用

株式会社奥村組　技術研究所　フェロー会員　東　邦和　　正会員　塚本耕治
株式会社奥村組　西日本支社　正会員　森田修二　　宮本達哉　　辻　栄治
国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所　大山直紀

1．はじめに

水門構造物における壁体はマッシブな構造であり，ひび割れ低減が要求されている．対策として，材料面では低熱高炉セメントB種と膨張材を用い，施工面では鉛直パイプクーリングを用いた．現地における計測結果と温度応力解析結果を比較することにより低減効果を検討した．適用した工事の名称を**表-1**に示す．

表-1　工事名称

工事名称	甫木水門改築工事
発注者	九州地方整備局　大隅河川国道事務所

2．ひび割れ低減対策と計測結果

2-1　壁体コンクリートの仕様と対策方法

壁体コンクリートの使用材料と配合を**表-2**に示す．壁体リフト割とクーリング位置を**図-1**に，計測器の配置を**図-2**に示す．鉛直パイプクーリング状況を**写真-1**に示す．低熱高炉セメントは内割り10 kg/m^{3}の膨張材を添加した．事前の温度応力解析の結果から，ひび割れ低減の効果が不足することから，鉛直パイプクーリングを併用した．鉛直パイプクーリング配管は，各リフトごとにφ60mmシース管を壁体幅2.0mの中心に1.0mピッチで設置した．右岸側と左岸側の壁体の同時打設で，クーリングパイプの本数は46本となり，多量のクーリング水を必要とするため，河川水を使用した．また，ひび割れ幅の低減対策として，鉄筋かぶり部分にガラス繊維ネットを配置している．

表-2　使用材料と配合

セメント	低熱高炉セメントB種，密度2.98g/cm^3
細骨材	肝属郡東串良町産陸砂：表乾密度2.56g/cm^3，曽於郡大崎町産陸砂：表乾密度2.54g /cm^3
粗骨材	肝属郡肝付町産砕石，表乾密度2.68g/cm^3，Gmax 20mm
混和剤	高性能AE減水剤標準形
混和材	膨張材低添加型（内割10kg/m^{3}使用）
配　合	スランプ12cm，空気量4.5% 水結合材比54.0%,単位水量164kg/m^3 単位結合材量　304kg/m^3

2-2　計測結果

リフト①の温度の経時変化を，クーリングパイプ2本の中間位置，パイプから10cm位置，パイプ側面位置および外気温の測定値を**図-3**に示す．リフト①の打設温度は25.5℃，ピーク温度53.5℃である．外気温は打設日20℃から次のリフト②打設の20日間で10℃に低下している．クーリングは，打設翌日から5日間実施した．クーリング水温は17℃～22℃であり，クーリング水量は，

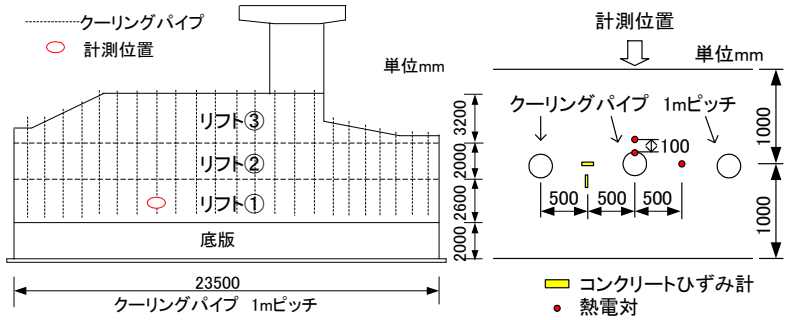

図-1　右岸壁体リフト割とクーリング位置　図-2　計測器の配置（平面図）

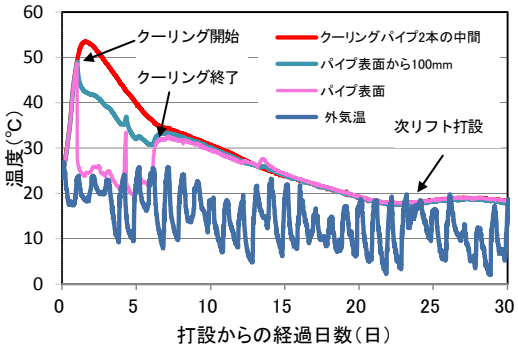

図-3　壁体内部温度と外気温の測定値

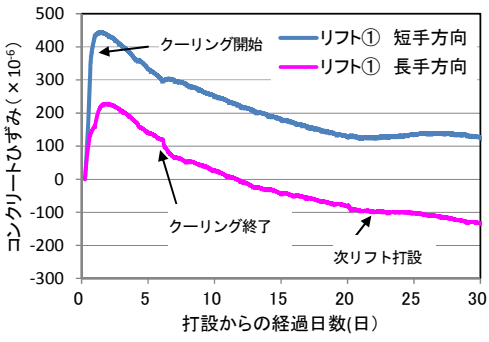

図-4　コンクリートひずみの測定値

写真-1　鉛直パイプクーリング状況

キーワード：水門コンクリート，鉛直パイプクーリング，低熱高炉セメント，膨張材，ひび割れ，温度応力
連絡先　〒300-2612　茨城県つくば市大砂387　㈱奥村組 技術研究所　TEL 029-865-1521　FAX 029-865-1522

1本当たり12L/minである．コンクリートひずみの測定値を図-4に示す．コンクリートひずみ計は壁体長手方向と短手方向に水平に設置した．短手方向は拘束が小さく自由膨張に近い445×10^{-6}，長手方向は拘束により低減された228×10^{-6}の膨張ひずみが得られた．なお，この値は温度ひずみを含んでいる．

2-3　低熱高炉セメントと膨張材の添加

使用した低熱高炉セメントB種は，低発熱・収縮抑制型であり，初期に100×10^{-6}程度の膨張ひずみを示す．事前に本工事の使用材料を用いて，膨張材添加量を0，10，20kg/m^{3}の3水準で拘束膨張・収縮試験[1)]を実施した．収縮補償用コンクリートの範囲に入るものとして，最大膨張率190×10^{-6}の内割り10 kg/m^3（標準添加量の1/2）の膨張材添加量を選択した．膨張材添加量と最大膨張ひずみの関係を図-5に示す．

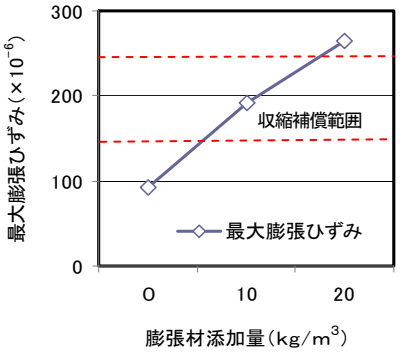

図-5　膨張材添加量と最大膨張ひずみ

3．温度応力解析によるクーリング効果の検討

リフト①壁体と床版モデルの解析による温度ピークコンターを図-6に示す．解析プログラムはFEAST（JIPテクノサイエンス）を用いた．解析条件を表-3に示す．解析における壁体の断熱温度上昇データは，現場での断熱箱試験体から逆解析で求めた．外気温を実測値に合せた温度解析結果を図-7に示す．センター中央位置で，温度ピークは51.2℃である．コンクリートひずみの解析結果を図-8に示す．壁体中央部での膨張ピークひずみは，短手方向は461×10^{-6}，長手方向は235×10^{-6}と測定値とほぼ一致している．

外気温20℃一定としたCASE 1～4のセンター中央位置でのピーク温度とひび割れ指数の解析結果を図-9に示す．CASE4でのピーク温度は51.2℃であり，温度低減が得られ，クーリングの効果を示すことができた．ひび割れ指数は経過28日で1.82であり，ひび割れ発生を防止したい場合の1.85に近い値である．膨張材の効果が小さいのは，膨張ひずみを低熱高炉Bと膨張材に分配していることによる．

表-3　解析条件

膨張ひずみ	$\varepsilon_{ex,\infty}$:145×10^{-6}　最大膨張ひずみの0.75倍　（低熱高炉: 75×10^{-6}, 膨張材: 70×10^{-6}）
外気温	実測値および20℃一定（case1～4）
断熱温度上昇	Q_∞: 38.5，r :0.95，$t_{0.Q}$: 0.262
パイプクーリング	熱伝達率 86.1W/m^2℃

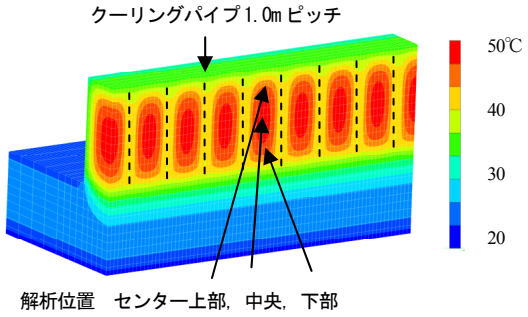

図-6　解析による温度ピークコンター

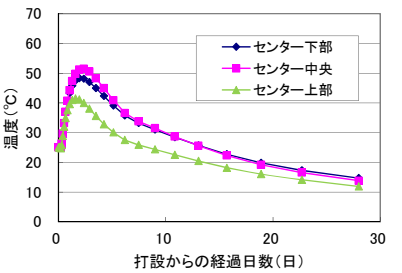

図-7　コンクリート温度（解析）

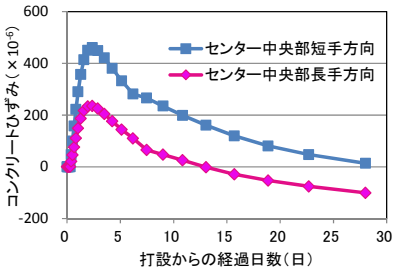

図-8 コンクリートひずみ（解析）

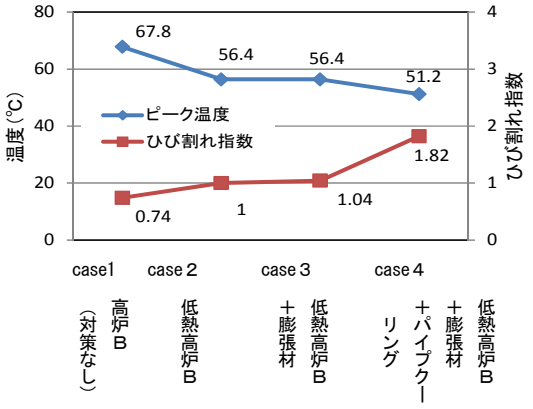

図-9　ピーク温度とひび割れ指数（CASE1～4）

4．まとめ

ひび割れはリフト①壁体に，打設高さに近い2～4m間隔で 0.1～0.3mmの軽微なものが生じ，超音波測定から鉄筋かぶり程度の深さと確認された．また，外部拘束が低減される上部リフトでは，ひび割れ発生本数は少ないものとなった．

ひび割れ低減対策の実施と解析から次の結果が得られた．

(1) 低熱高炉B種および鉛直パイプクーリングの適用により，コンクリートのピーク温度を抑えることができ，ひび割れ指数の増大が得られた．

(2) かぶり部分に軽微なひび割れは生じたが，有害なひび割れは発生せず，ひび割れ低減効果が得られた．

(3) 計測と温度応力解析の比較によって，ひび割れ低減効果を定量的に検討し，対策の有効性を確認できた．

参考文献 1)　JIS A 6202　コンクリート用膨張材　付属書2「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験法」B法