

丹生川ダムの温度ひび割れ対策について

佐々木啓次¹・松島康彦²・川西貴士³・水野敬久⁴

¹正会員 工修 丹生川ダムJV工事事務所 (〒560-2103 岐阜県高山市丹生川町折敷地104-7)

²正会員 丹生川ダムJV工事事務所 (〒560-2103 岐阜県高山市丹生川町折敷地104-7)

³正会員 工修 (株)大林組 技術研究所生産技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

⁴正会員 (株)大林組 土木本部生産技術本部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

丹生川ダムの本体工事は、拡張レアー工法によるマスコンクリートの施工に加えて、冬季は降雪および外気温低下のため、コンクリートの打設が休止される。冬季の外気温低下時に、堤体コンクリート表面に内外温度差に起因する温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、温度ひび割れ対策として、高断熱養生シートによる堤体コンクリート表面の保温・保湿養生を行った。その結果、高断熱性養生シートの効果によって、堤体コンクリート表面の急激な温度低下を防止したことにより、水平ひび割れを防止することができた。

キーワード: マスコンクリート、温度ひび割れ、プレクーリング、高断熱養生シート、水平ひび割れ

1. まえがき

丹生川ダムは、岐阜県高山市丹生川町に位置する神通川水系宮川の上流荒城川に建設中の重力式コンクリートダムである。丹生川ダムの工事概要を表-1に、標準断面図を図-1にそれぞれ示す。

本工事は、平成18年9月からダム堤体のコンクリート打設を開始した。本工事の特徴としては、マ

スコンクリートの施工に加えて、冬季には外気温が低下するため、12月から翌年3月までの冬季打設を休止することで計画されていた。このため、冬季に表面が冷却され、堤体コンクリート表面に内外温度差に起因する温度ひび割れ（水平ひび割れ）の発生が懸念された。

本稿では、丹生川ダムにおいて実施した温度ひび割れの対策とその効果について述べる。

表-1 丹生川ダム工事概要

工 事 名	丹生川多目的ダム本体工事		
発 注 者	岐阜県宮川上流河川開発工事事務所		
施工場所	岐阜県高山市丹生川町折敷地内		
工 期	平成15年3月19日～平成24年6月29日		
目 的	洪水調整、農業用水の確保、水道水の確保		
ダム諸元		貯水池諸元	
形 式	重力式コンクリートダム	総貯水量	6,200,000m ³
提 高	69.5m	堆砂容量	900,000m ³
堤 頂 長	227.0m	集水面積	23.0km ²
天端標高	EL873.5m	湛水面積	0.32km ²
提 体 積	232,000m ³		

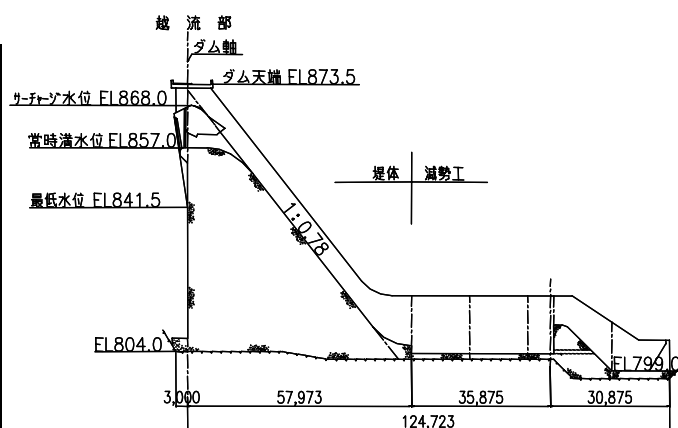


図-1 標準断面図

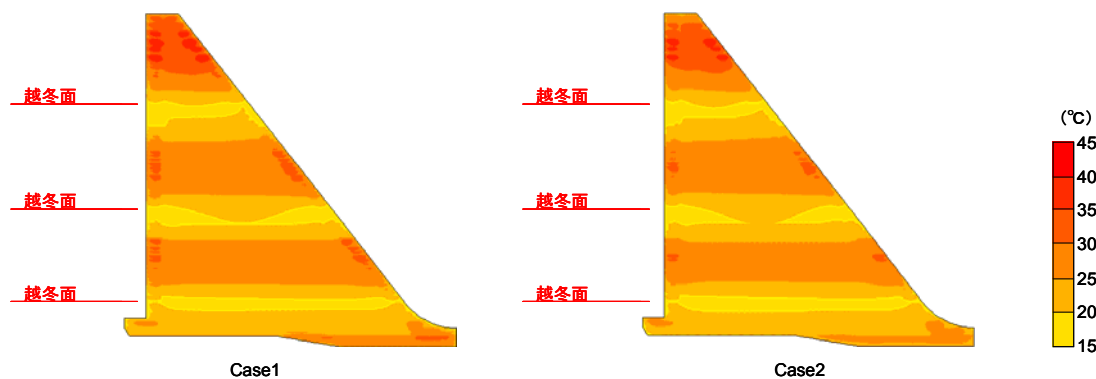


図-2 最高温度分布図

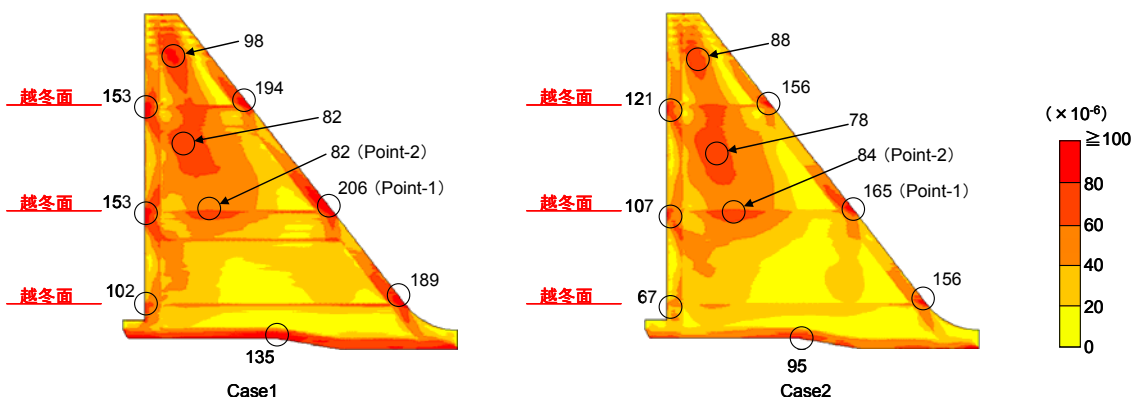


図-3 拘束ひずみ分布図

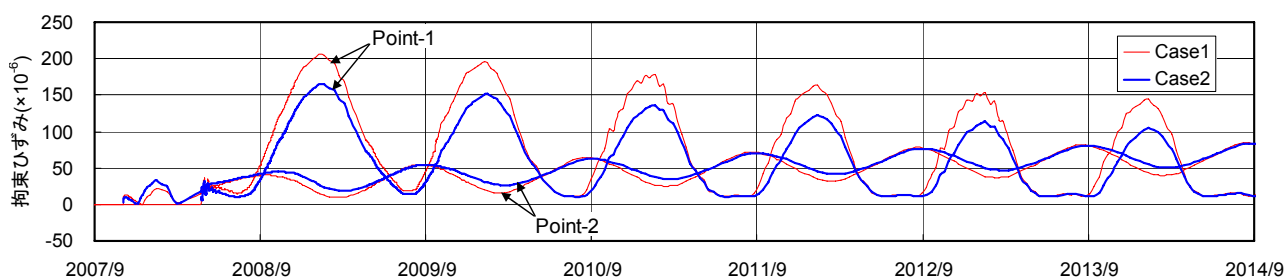


図-4 拘束ひずみの履歴

表-2 検討ケース

検討ケース	Case1	Case2
プレクーリング	無	有
上下流面養生	—	保温養生
熱伝達率(W/m ² °C)	14	4

2. 温度応力解析

丹生川ダムでは、冬季にコンクリート打設を休止するため、堤体コンクリートの温度ひび割れの発生が懸念された。このため、堤体コンクリート打設前にリフトスケジュールに基づいた2次元FEMによる温度応力解析を行った。

解析は、表-2に示す2ケースについて行った。Case1は対策を施さない場合とし、Case2は次の2種類の温度ひび割れ対策を施した場合とした。

- ① プレクーリングの実施によるコンクリートの打込み温度の低減[25°C以下]
- ② 保温・保湿機能を有する養生シート（熱伝達率4W/m²°C）を用い、1リフトの打設高さを75cm、打設間隔を7日程度とした。

ダムコンクリートにおける温度ひび割れ発生の可能性の指標として、拘束ひずみを用いることとし、

その許容ひずみは 100×10^{-6} 程度とした。

最高温度分布図を図-2、拘束ひずみ分布図を図-3、また、拘束ひずみの履歴を図-4に示す。今回の解析結果から、Case1、Case2共に、越冬時の上下流面に拘束ひずみが 100×10^{-6} を超える部位が存在し、堤体内部と表面の温度差による内部拘束に起因する温度ひび割れ発生の可能性が懸念された。しかし、Case1とCase2を比較すると、プレクーリングの実施により、躯体コンクリートの最高温度が低減されることが、表面部の保温養生の実施により、堤体内部と表面の温度差が小さくなり、拘束ひずみの値を低減できることが確認された。



写真-1 練混ぜ水冷却設備



写真-2 保水テープ貼付け状況

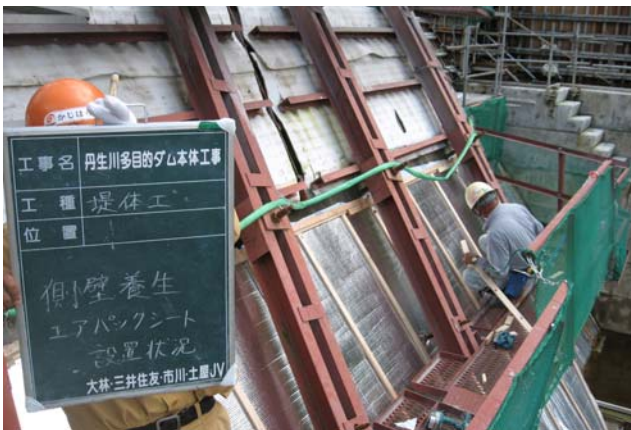


写真-3 高断熱養生シート貼付け状況



写真-4 下流面養生状況全景

このため本現場では、次の2点を温度ひび割れ発生リスク低減策として実施することとした。

- ① プレクーリングによるコンクリートの最高温度の低減
- ② コンクリート表面の急激な温度低下抑制のための新たな養生方法の採用

3. 温度ひび割れ対策

(1) 全施工期間に渡るプレクーリングの実施

通常は夏季の温度抑制対策として実施するプレクーリングを、春季～秋季期間に渡って実施することとした。チラーユニットにより練混ぜ水温を4℃まで冷却し、コンクリートの練上り温度を-2.5℃低減させることを目標とした。練混ぜ水の冷却には、冷却能力42.2JRTを有するプレート式チラーユニット（写真-1参照）を使用した。

(2) 堤体上下流面の保水・保温対策

堤体上下流面の急激な温度低下を防ぐため、全施工期間を通じて散水養生は行わず、コンクリート養生用保水テープの貼付けにより、コンクリート表面

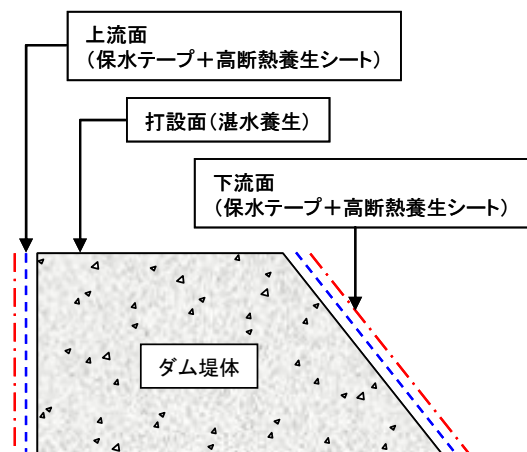


図-5 堤体養生概念図

を湿润状態に保つこととした。

また、コンクリート表面の急激な温度低下を抑制するため、保水テープの上に高断熱養生シートを貼り付け、保湿養生を実施した（写真-2～写真-4および図-5参照）。使用した高断熱養生シートは、輻射熱を反射するアルミ箔シートに空気層を確保できる梱包用気泡緩衝材を貼り合わせたものであり、厚みは10mmのものを使用した。

4. 高断熱養生シートの温度ひび割れ低減効果の検証

(1) 検証手順

使用した高断熱養生シートの温度ひび割れ低減効果について検証を行った。

検証方法は、まずマスブロック試験体を用いて、コンクリート内部の温度履歴を測定し、温度解析により熱伝達率を算出した。次に、実橋脚を対象として、算出した熱伝達率をもとに温度応力解析を実施し、温度ひび割れの低減効果を確認した。高断熱養生シートの概要を図-6に示す。

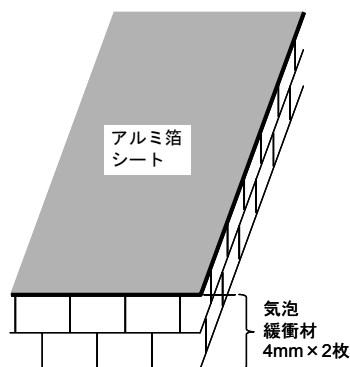


図-6 シートの概要



写真-5 高断熱養生シート貼付け状況

(2) 断熱効果の検証実験

断熱効果については、コンクリート表面を露出し、無養生としたケース（Case1）と、写真-5に示すように、コンクリート表面に高断熱養生シートを貼り付けたケース（Case2）の2ケースについて実験した。

実験に用いた試験体は、1m³立方体のマスブロックとし、周囲を厚さ30cmの断熱材で被覆した。材齢4日後に側面1面のみ脱型し、Case2については、脱型後、高断熱養生シートを貼り付けた。

試験体の内部には、熱電対を設置し、コンクリートの温度履歴を測定した。試験体の概略および熱電対の設置位置を図-7に示す。実験には、呼び強度27、スランプ12cmのレディーミクストコンクリートを用いた。配合を表-3に示す。

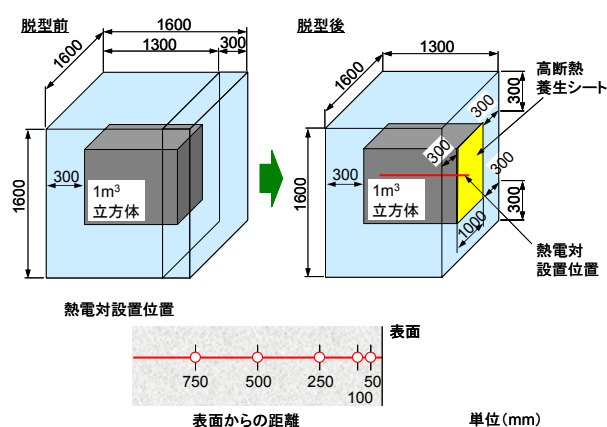


図-7 供試体の概略および熱電対の設置位置

試験体の表面より50mm内部におけるコンクリートの温度履歴を図-8に示す。高断熱養生シートを貼り付けたCase2は、無養生のCase1と比較して、温度の低下が小さく、材齢7日で約10℃の差異が認められた。

計測した温度履歴を基に温度解析を行った結果を図-8に併記する。Case1（無養生）の熱伝達率は13W/m²℃とし、Case2（高断熱養生シート）は4W/m²℃とすると、実測値と解析値が概ね一致した。

高断熱養生シートを用いることで、コンクリート標準示方書¹⁾に記述されている養生マット（熱伝達率5W/m²℃）以上の断熱効果が得られることを確認した。

(3) 温度応力解析によるひび割れ低減効果の検証

上述の断熱効果の検証実験で得られた熱伝達率をもとに、図-9に示すような3次元モデルを用いて温度応力解析を実施し、Case1（無養生）とCase2（高断熱養生シート）について、温度ひび割れの発生に及ぼす影響を検証した。解析に用いたコンクリートの配合を表-4に示す。

表-3 コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
51.8	53.1	167	322	765	1053

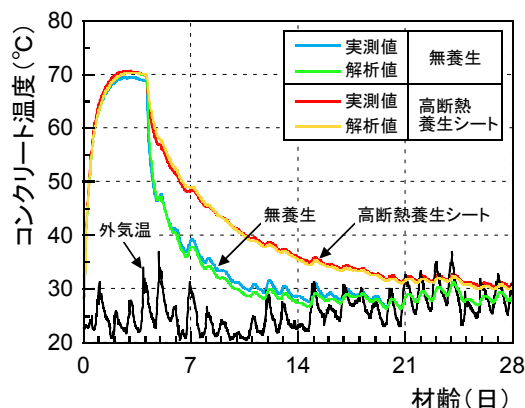


図-8 コンクリートの温度履歴

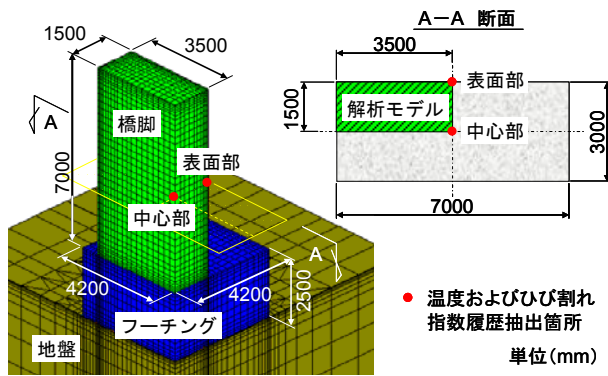


図-9 解析モデル

表-5に解析結果を示す。また、橋脚躯体の中心部と表面部におけるコンクリート温度と表面部のひび割れ指数の関係を図-10に示す。中心部と表面部の最高温度の差を比較すると、Case1（無養生）が30℃程度であるのに対して、Case2（高断熱養生シート）は20℃程度であり、断熱効果が高いことが確認された。

また、高断熱養生シートを用いることにより、ひび割れ指数が増加し、水和熱に起因する内部拘束による温度ひび割れを抑制できることが確認された。

5. ダム堤体温度ひび割れ対策効果

(1) プレクーリングによるコンクリート練上り温度の低減効果

7月初旬から9月初旬にかけて、プレクーリングを行った場合のコンクリートの練上り温度と、プレクーリングを行わなかった場合に推定される練上り温度の比較を図-11に示す。なお、練上り温度の推定値は、式(1)（コンクリート標準示方書²⁾より抜粋）を用いて算出した。

$$T = \frac{C_s (T_a W_a + T_c W_c) + T_m W_m}{C_s (W_a + W_c) + W_m} \quad (1)$$

T : 練上りコンクリートの温度 (℃)

W_a および T_a : 骨材の質量 (kg) および温度 (℃)

W_c および T_c : セメントの質量 (kg) および温度 (℃)

W_m および T_m : 練混ぜに用いる水の質量 (kg) および温度 (℃)

C_s : セメントおよび骨材の水に対する比熱の比 (=0.2)

図-11に示すように、マスコンクリートにおいて厳しい条件である夏季において、プレクーリングを行うことによって、練上り温度が-2.4℃程度低減され、24℃以下で打ち込むことができ、計画通りの効果を確認することができた。

表-4 コンクリートの配合

設計基準強度 Fc (N/mm ²)	セメントの種類	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)	
			水 W	セメント C
24	N	55.0	165	300

表-5 解析結果

解析ケース	養生方法	中心部の最高温度 (℃)	表面部の最高温度 (℃)	中心部と表面部の温度差 (℃)	ひび割れ指数
Case1	無養生	63.2	33.6	29.6	1.30
Case2	高断熱養生シート	64.0	45.5	18.5	1.95

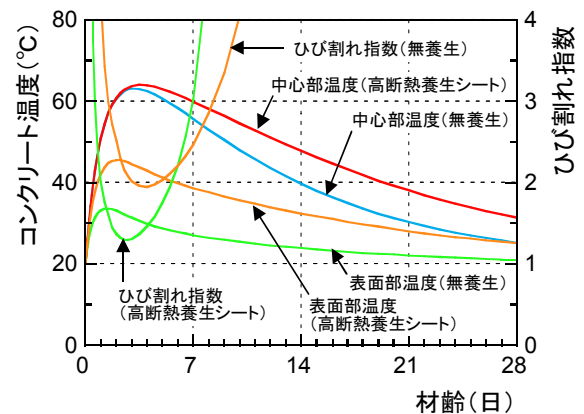


図-10 温度応力解析結果

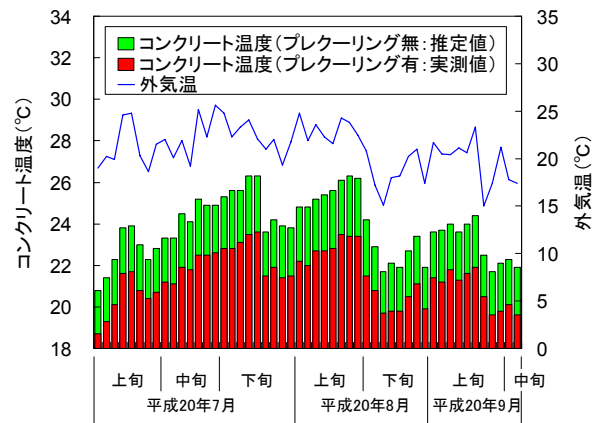


図-11 練上り温度の比較

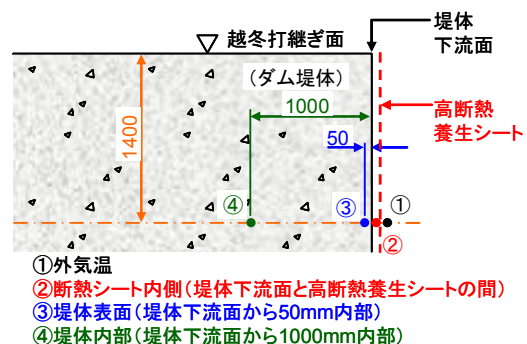


図-12 熱電対測定位置

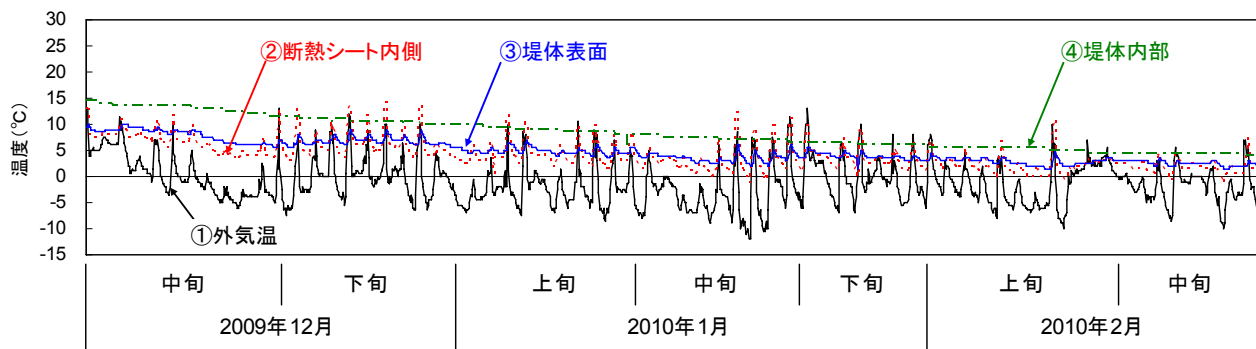


図-13 各部位における温度履歴の測定結果

(2) 冬季における堤体表面の断熱効果

冬季における高断熱養生シートの効果を確認するため、堤体の各部位に熱電対を設置して、外気温とコンクリート温度を測定した。

測定箇所は、図-12に示すように、①外気温、②断熱シート内側（堤体下流面と高断熱養生シートとの間）、③堤体表面（堤体下流面から50mm内部）、④堤体内部（堤体下流面から1,000mm内部）とした。各部位における温度履歴の測定結果を図-13に示す。

外気温が -10°C を下回った場合でも、高断熱養生シートの内側で $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度、コンクリートの表面部で 2°C 程度に、コンクリート温度を保温することができた。堤体コンクリート打設前に実施した温度応力解析では、コンクリート表面部の温度が 2°C 程度になると推定しており、概ね解析値と実測値が一致する結果を示した。今回の実施工における検証結果から、高断熱養生シートを用いた場合、十分な断熱効果を発揮できることが確認された。

(3) 外観調査による堤体表面の温度ひび割れ発生状況

2回越冬した堤体低標高部（EL.803.50m～EL.812.00m）について、貼り付けていた高断熱養生シートおよび保水テープの撤去を行った。養生撤去後の堤体下流面の状況を写真-6および写真-7に示す。

外観観察を行った結果、越冬打継面近傍も含めて堤体表面にひび割れは確認されず、今回実施した温度ひび割れ対策が有効であったことを確認した。



写真-6 養生撤去後の堤体下流面(全景)



写真-7 養生撤去後の堤体下流面(接写)



写真-8 丹生川ダム現況(平成22年4月)

6. まとめ

今回丹生川ダム工事で実施した温度ひび割れ対策は、気象条件の厳しい現場条件においても、より有効な品質管理手法として広く提案できるものであると考える。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【設計編】，2007.3
- 2) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，2007.3