

コンクリートダムにおける高速施工を利用した温度ひび割れ抑制方法に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○岡山 誠 室野井敏之 林 大介 坂井吾郎 大内 斉

鹿島建設(株) フェロー会員 坂田 昇 田代民治

1. はじめに

大型のコンクリートダムでは、温度ひび割れの抑制が重要な技術的課題となる。ダムの温度応力の発生メカニズムの特徴として、施工期間が長期に亘るために、ダム堤体内部のコンクリート温度の分布が季節の影響を受けて不均一となって拘束応力が発生することが挙げられる。この特徴を踏まえると、堤体全体の温度分布を平準化することが、温度応力の低減に繋がることが考えられる。一方、堤体内部のコンクリートの上昇温度に大きく影響を及ぼす施工速度については、一般に遅くした方が温度応力の抑制に有効とされている。このような観点から、従来の RCD 工法に比べてコンクリートの施工速度が 1.5 倍以上となる巡航 RCD 工法¹⁾は、温度応力上、不利になることが考えられた。そこで、巡航 RCD 工法の施工速度を早めることができる特長を活かし、施工速度を冬期に早め、夏期に抑えることによって、ダム堤体の温度分布の平準化を図る温度ひび割れ抑制方法を考察し、その効果について解析的に検討した。

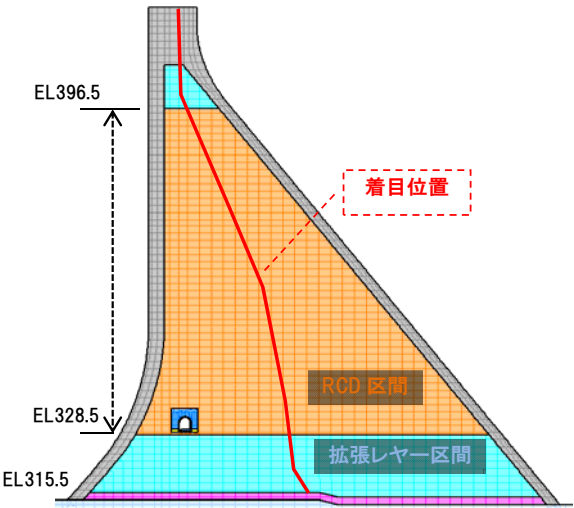
2. 検討の概要

(1)対象としたコンクリートダム

本検討では、実在のダムの堤体最大断面を対象とした。実施工においては、低標高部（標高 315.5m～328.5m）が拡張レーヤ工法で施工され、これ以降の標高（標高 328.5m～396.5m）の内部コンクリートが巡航 RCD 工法にて施工されている。本稿では、巡航 RCD 工法が適用された範囲で、ダム堤体の温度分布の平準化を図る施工の効果を検討した。

(2)評価方法

ダム堤体の温度分布の平準化による温度ひび割れの抑制効果の検証として、二次元有限要素法による温度解析を実施した。温度解析に用いた解析モデルを図－1、入力値の一覧を表－1 に示す。入力値は土木学会コンクリート標準示方書[設計編]に準拠した。また、温度ひび割れの評価として、拘束度マトリックス法²⁾による拘束温度ひずみを用いた。拘束度マトリックス法の算出に用いたマトリックスは、堤体を高さ方向に 22 層に分割したモデルとし、コンクリートの弾性係数 E_c と岩盤の弾性係数 E_R の比を $E_c/E_R=6$ の条件とした。拘束度マトリックスに用いる最終温度降下量は、図－1 の赤線で示す着目位置のコンクリートの最高温度から堤体の最終安定温度を差し引いた値として算出した。



図－1 解析モデル

表－1 解析入力値の一覧

項目	外部配合	内部配合	内部配合(拡張レーヤ)	岩盤
セメント種	中庸熟フライッシュ 30%	中庸熟フライッシュ 20%	中庸熟フライッシュ 20%	—
単位セメント量(kg/m³)	220	130	160	—
水セメント比(%)	53.2	77.7	75.0	—
熱伝導率(W/m℃)	2.50	2.50	2.50	3.45
比熱(J/kg℃)	1.00	1.00	1.00	0.80
密度(kg/m³)	2373	2451	2362	2650
断熱温度上昇特性(℃)	$Q=25.8(1-e^{-0.44t})$	$Q=19.0(1-e^{-0.36t})$	$Q=19.1(1-e^{-0.37t})$	—
表面熱伝達率(W/m²℃)	堤体上下流面(メタルフォーム)：14、堤体上面(湛水養生)：8、監査廊内(露出面)：14			

キーワード コンクリート、ダム、温度ひび割れ、温度解析、拘束温度ひずみ

連絡先 〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島建設(株) 土木管理本部 TEL 03-5544-0997

(3) 検討ケース

検討ケースを表-2に示す。検討ケースは、施工実績のリフトスケジュールと、堤体の温度の平準化を目的に、冬期の施工速度を早め、かつ夏期の施工のサイクルを抑えながらリフト高さをハーフリフトとすることで施工速度を抑えた2ケースとした。施工実績であるケース1の、施工速度は冬期および夏期において0.19m/日（5.19日/サイクル）および0.11m/日（9.40日/サイクル）であり、標高336.5m～337.5mの範囲で2リフトがハーフリフトとして施工された。ケース2の施工速度は冬期および夏期において、0.38m/日（2.67日/サイクル）および0.06m/日（8.62日/サイクル）であり、標高328.5m～335.5mの範囲で14リフトをハーフリフトとした。

表-2 検討ケース

項目	ケース1 (施工実績のサイクル)		ケース2 (3ヵ月短縮のサイクル)
	夏期	冬期	
施工速度	0.11m/日	0.19m/日	0.06m/日
リフト厚	0.50m (夏期ハーフリフト)	0.50m (夏期ハーフリフト)	0.50m (夏期ハーフリフト)
	1.0m	1.0m	1.0m

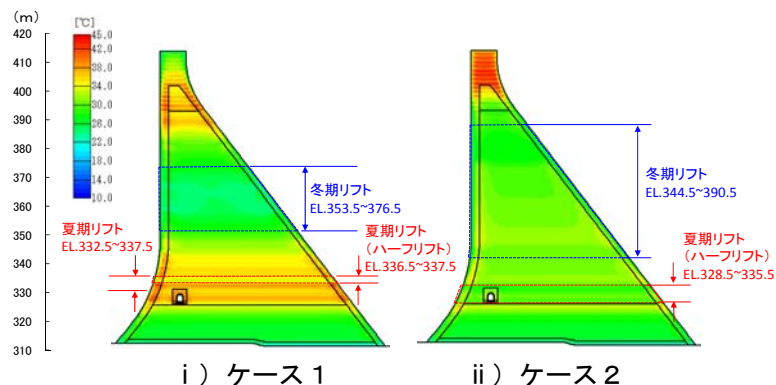


図-2 コンクリート最高温度の等分布図

3. 検討の結果

(1) 温度解析の結果

温度解析の結果として、コンクリート温度の最高温度の等分布図を図-2に示す。また、図-1に示す着目位置における最高温度と標高の関係を図-3に示す。これら図より、夏期施工となる範囲の最高温度の平均値は、ケース1では35.6℃（標高329.5～339.5m）、ケース2では29.6℃（標高329.5～339.5m）であった。冬期施工となる範囲の最高温度の平均値は、ケース1では25.1℃（標高362.5～372.5m）、ケース2では27.4℃（標高379.5～389.5m）であった。以上の結果より、最高温度の最大値と最小値の差は、ケース1とケース2で、それぞれ10.5℃および2.2℃であり、ケース2の方が8.3℃小さく、ケース2では、平準化が図られていることが確認された。

(2) 拘束度マトリックス法の結果

拘束温度ひずみと標高の関係を図-4に示す。同図より、本検討の範囲では、拘束温度ひずみの最大値は、2つのケースともに標高330m付近に確認され、ケース1およびケース2で、47μおよび30μであった。以上より、堤体内の最高温度の平準化を図ることで、低標高部に発生する拘束温度ひずみを抑制することができ、温度ひび割れの発生リスクを低減できるものと考えられた。

4. まとめ

本検討では、巡航RCD工法の特長を活かし、ダム堤体断面の温度の平準化により温度ひび割れの低減効果について解析的検討を行った。結果、本手法を用いて堤体内の最高温度の平準化を図ることで、堤体内に発生する拘束温度ひずみを抑制し、温度ひび割れの発生を低減できることを確認した。

参考文献

- 財団法人 ダム技術センター：巡航RCD工法施工技术資料，2012.2
- 財団法人 ダム技術センター：多目的ダムの建設—平成17年版 第5巻 設計Ⅱ編，2005.6

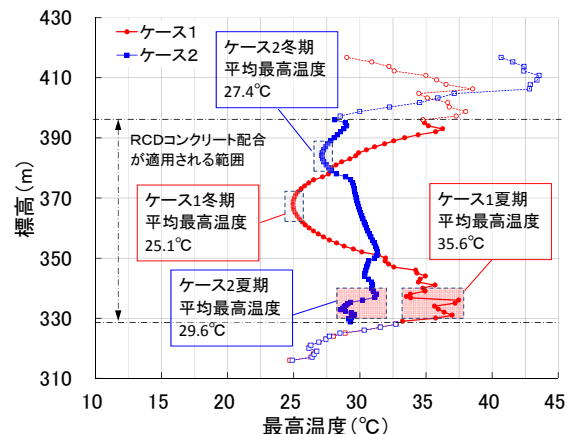


図-3 最高温度と標高の関係

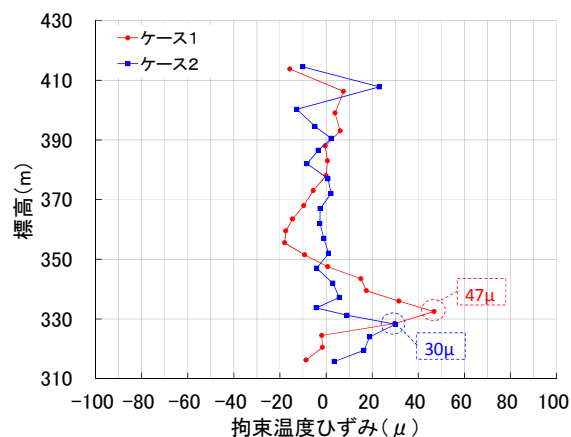


図-4 拘束温度ひずみと標高の関係