

施工後15年を経過した重力式コンクリートダム内部応力に関する研究

東北学院大学 学生会員 ○佐々木直也

東北学院大学 正 会 員 石川雅美

東北学院大学 正 会 員 遠藤孝夫

1. はじめに

本研究では、施工終了から15年経過した時点で、ダム内部に残存する温度応力を、有限要素解析により推測したものである。解析の対象としたダムは堤高104m、堤体積約600,000m³の重力式RCDダムである。本ダムは、平成2年にコンクリートの打設を開始し、途中、2度の冬季休止期間をはさみ、平成4年に打設を完了した。本研究では、このダムの実際のリフトスケジュールを忠実に再現した温度応力解析を実施した。

2. 解析モデル及び解析条件

2次元有限要素法による非定常熱伝導解析および温度応力解析を行った。解析プログラムはASTEAMACS V4. (RCCM 社)を使用した。

解析モデルを図-1に示す。本モデルの節点数は、

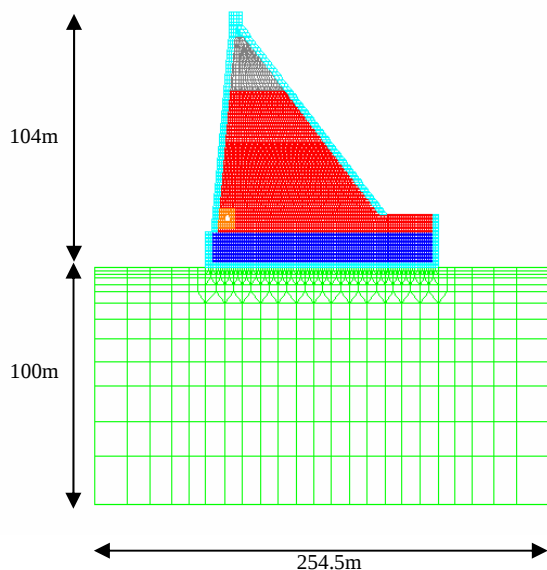


図-1 解析モデル

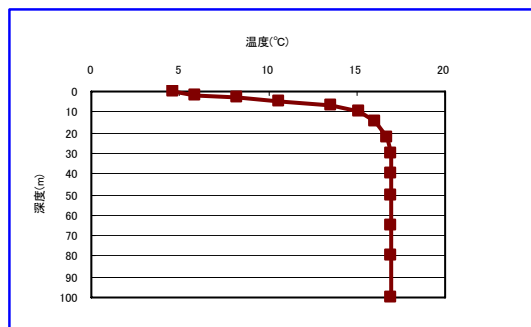


図-2 地盤の温度分布

8651、また要素数は8653ある。解析対象期間は平成2年3月～平成17年8月までとし、解析ステップ数は8350である。コンクリート打設直前の地盤の温度分布は、最下端（地表面より深さ100mの位置）で17℃固定とし、地表面から図-2に示す分布を仮定した。

リフトスケジュールは全120リフトのうち7～100リフトまではハーフリフト(75cm)で打設、それ以降は1リフト150cmとしており、解析モデルではリフトの厚さ方向の分割はすべて75cmとした。すなわち、ハーフリフトでは1要素のみである。

コンクリートの配合は、RCDコンクリート2種類(RCD1,RCD2)と内部コンクリートおよび外部コンクリートの計4種類である。セメントは中庸熱ポルトランドセメントを使用し、フライアッシュ混入率は単位セメント量(C)×30%である。W/Cは上記の順に73%、79%、76%、54%である。各コンクリートの強度を図-3に示す。

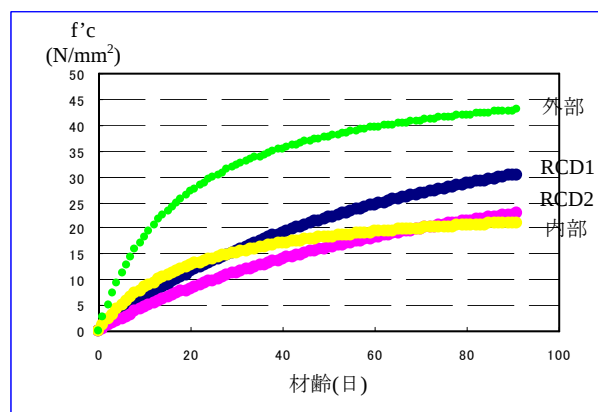


図-3 各コンクリートの強度

RCD1、RCD2、内部および外部コンクリートの材齢91日の強度はそれぞれ30N/mm²、23 N/mm²、21 N/mm²、43 N/mm²である。コンクリートの打設温度は、コンクリートの出荷温度記録より夏季(5/1～10/19)で20℃、冬季(10/20～翌4/30)で10℃と仮定した。

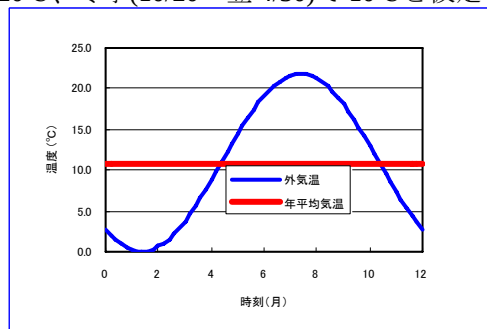


図-4 外気温曲線

ダムサイトにおける外気温を図-4に示す。気象データは現地付近において平成3年の1年間に観測された値を使用し、これをSIN関数で近似した。これによると最高気温21.8℃、最低気温0.1℃であり年平均気温は10.8℃である。

3. 実測値と解析値の比較

ダム中心付近に埋設した温度計T-1、T-2、T-3の位置を図-5に示す。例として図-6にT-1の温度計埋設後から施工完了までの実測結果と解析値の比較を示す。解析と実測では最大で2℃程度であり、材齢の経過とともに両者の値は徐々に近づく傾向が認められる。また、T-2、T-3についても、実測と解析との差はT-1とほぼ同程度であった。

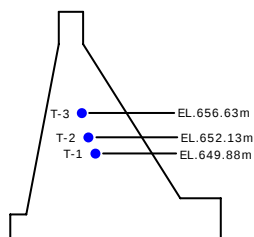


図-5 計器埋設位置図

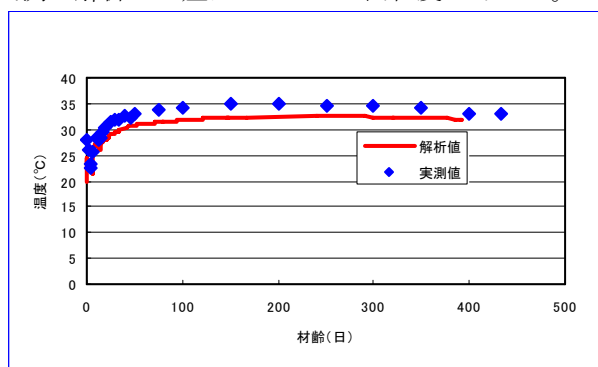


図-6 T-1における温度の比較

4. 解析結果

施工完了後と施工後15年経過した堤体内の温度と応力の解析結果を図-7-1～7-4に示す。

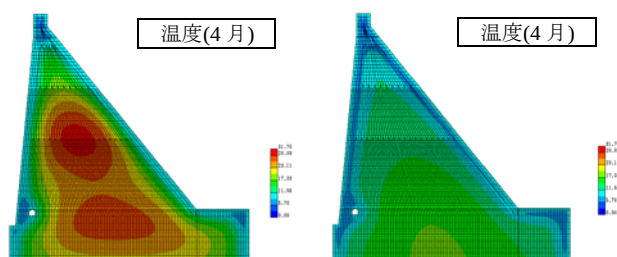


図-7-1 施工完了後8ヶ月

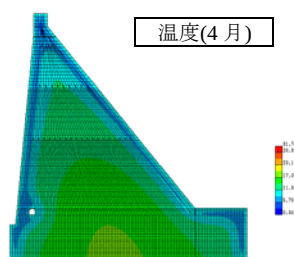


図-7-2 施工完了後15年

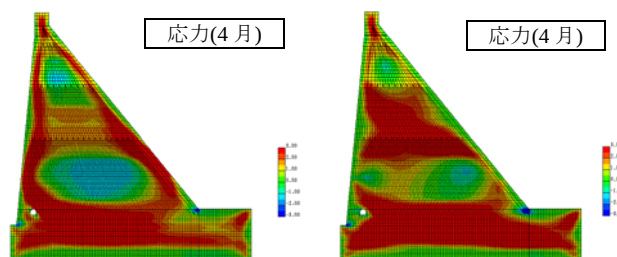


図-7-3 施工完了後8ヶ月

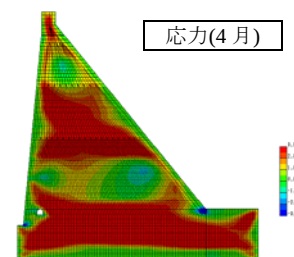


図-7-4 施工完了後15年

打設完了後間もない図7-1では堤体内部の温度状態は越冬部を境界として、いわゆる「二つ目」になっている様子がよくわかる。

図7-2は施工後15年後の内部温度であるが、内部

には、依然として相対的に温度が高い部分が存在している。中心付近の温度は17℃程であり、現地の年平均気温10.8℃より高い温度を保っている。

打設完了後間もない図7-3では、下流側表面部などの表面付近に引張が作用しているが、15年後では堤体下部に引張応力が集中していることがわかる。

また、施工開始から17年後の温度と応力の変化を図-9-1,2に示す。No.1～No.3は図-5に示した実測位置での解析結果であり、他3点は堤体下部から選定した(図-8)。

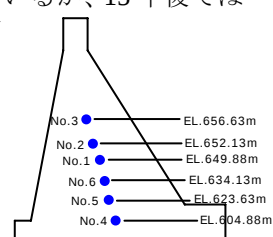


図-8 選定点の位置

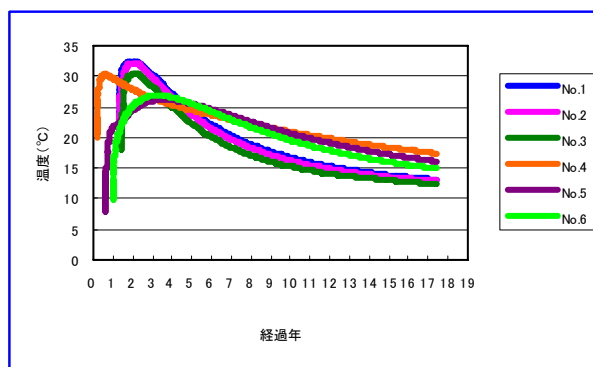


図-9-1 温度履歴

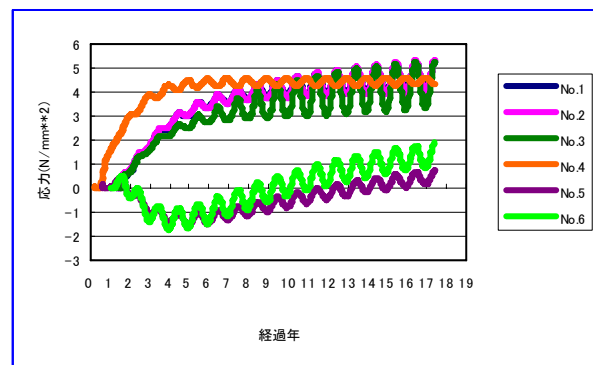


図-9-2 応力履歴

5. まとめ

図9-1より、ダム中心付近の温度は、施工完了から15年を経過した時点においても、依然として年平均気温10.8℃より高いことがわかる。特に堤体下部(No.4,5)では打設後こそ大きな温度上昇は見られなかったものの、その温度低下は上層部に比べて緩やかであり、いまだに15℃を超える温度が残っている。図9-2は、打設開始から15年間にわたる応力履歴である。グラフが波を打っているのは、季節変動に伴う膨張・収縮のためである。今回の解析では、いまだに4N/mm²を超える高い引張応力を示す結果となったが、これは、コンクリート標準示方書の材齢5日までの短期クリープしか考慮していないためであり、実際には長期にわたるクリープの効果により、よりいっそうの応力が緩和されていると推測される。今後は、長期のクリープを考慮して解析を行うことが必要と思われる。