

V-417

季節変動を考慮したコンクリートダム-岩盤構造物の温度応力解析

中央コンサルタンツ	正会員	小笠原 稔
名古屋大学工学部	正会員	清木 隆文
名古屋大学工学部	正会員	市川 康明

1. はじめに

ダムコンクリートのようなマスコンクリートにおける温度応力に起因するクラック発生の防止は、コンクリートダムの設計・施工の両面にわたる最重要課題の一つとして位置づけられている。この応力を制御するために様々な温度規制法が採用されているが、いかなる手法でも適切な温度規制を行うためには、応力の分布状態をできるだけ正確に把握することが肝要である。本研究では、より精度の高い温度応力解析手法の確立を目的として、施工速度、外気温の季節変動、また材令に応じた材料特性の変化を考慮した温度応力解析を行う。

2. 熱・応力連成解析

本研究では、有限要素法による熱・応力連成解析を行ったが、ここでは解析例を示す。

2.1 解析モデル

現在建設中であるNダム（堤高109m、堤体積842,000m³）をもとに、解析モデルを作成した。図1のようにダム堤体および岩盤の側方断面形状を近似し、これを8625個の要素に分けた（ジョイント要素256個を含む）。節点数は8822個である。ダム堤体は、止水板を挿入する境界面（止水境界）によって大きく3つのブロックに分けられる。各ブロック間は節点を二重にし、ジョイント要素を設けた。また基礎岩盤に断層が見られるため、この部分にも同様にジョイント要素を設定した。

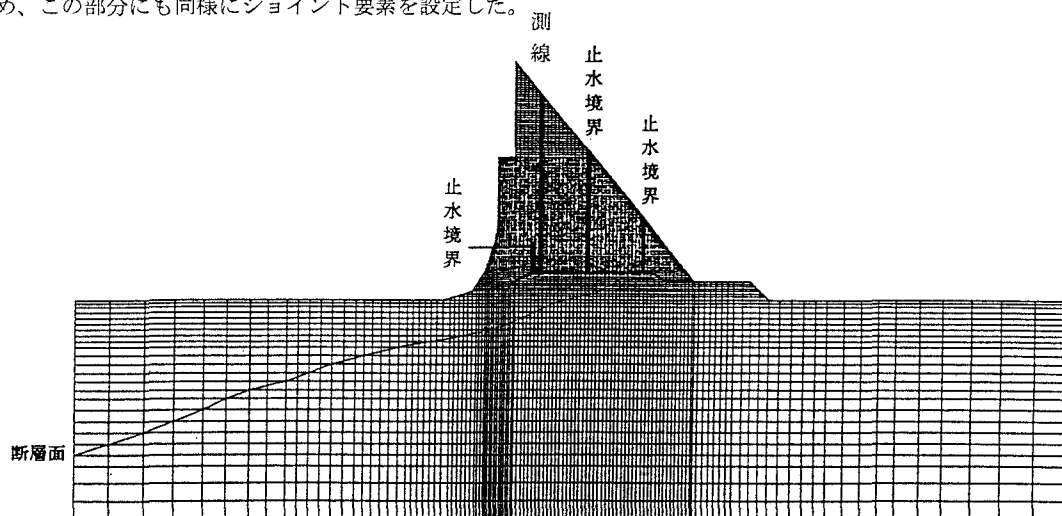


図1 コンクリートダム-岩盤構造物 メッシュ図

2.2 材料特性

マスコンクリートの温度応力を解析するためには、コンクリートの弾性係数等の基礎的な特性が明らかでなければならない。特に、若材令におけるこれらの特性の解明が必要である。従来、コンクリートの特性の経時変化は、材令の関数として与えられてきた。

コンクリートの特性のうち弾性係数は、材令によって非線形的に変化する。しかし、形状寸法の大きなコンクリートの中心部では、水和熱により温度が非常に高くなることがあり、このような場合、材令の関数ではなく、有効材令 t_e （日）あるいは積算温度 M （ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ ）の関数として与えることが適当とされている。ここでは、コンクリートの弾性係数 E_c （ tf/m^2 ）について、材令の関数として与える場合と有効材令の関数として与える場合と、二通り考慮した。その他の材料特性については、Nダム工事事務所作成の資料を参照し決定したが、参考文献3）を参照されたい。

2.3 温度条件

1) 外気温

外気温のデータは、ダム近傍の観測点データを用いる。6年間（昭和55年～60年）の計測データをもとに、正弦関数で回帰し以下に示す近似式により外気温の時間履歴を表した。

$$\bar{T} = 14.4 + 10.7 \sin \frac{2\pi}{365}(t' - 118) + 0.7 \sin \frac{6\pi}{365}(t' - 74) + 0.4 \sin \frac{8\pi}{365}(t' - 14) \quad (1)$$

ここで、 $\bar{T}$ は外気温（°C）、 t' は1月1日からの日数である。

2) コンクリートの発熱

コンクリートの断熱温度上昇特性は、次式によるものとする。

$$T = K(1 - e^{-\alpha t^\beta}) \quad (2)$$

ここで、 T は材令 t 日における断熱温度上昇量（°C）、 K は終局断熱温度上昇量（°C）、 α 、 β は発熱速度定数である。材令 t における発熱速度 $q(t)$ は、上式を熱量に換算し時間 t で微分し、つぎのように表した。

$$q(t) = \rho c \alpha \beta K t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta} \quad (3)$$

ここで、 ρ は単位体積重量（ton/m³）、 c は比熱（kcal/ton°C）である。

2.4 解析方法

本解析では、実際の打設計画をもとに、ダム堤体を立ち上げていくことを想定した。打設計画については参考文献3)を参照されたい。

まず解析ステップ0において、コンクリートが打設される直前の岩盤中の温度および初期応力分布を求める。そのために、岩盤中の全節点に初期温度として年平均気温を与え、外気と岩盤の境界を熱伝達境界とし、年平均気温を示す月から打設開始まで7日間隔の時間ステップで計算を行った。

打設開始後は、外気との境界を熱伝達境界とし、1日間隔の時間ステップで計算を行う。打設されるコンクリート要素の各節点に初期温度を与える。ここで与える初期温度は、外気温と等しいものとするが、次のような条件が与えられる。

- ・外気温が5°C未満の場合、打設温度は5°Cに保つ。
- ・外気温が5°C以上25°C未満の場合、打設温度は外気温と等しいとする。
- ・外気温が25°C以上の場合、打設温度は25°Cに保つ。

以上のに示す条件で計算し、完工時の堤体内部の温度分布、応力分布を求める。

3. 解析結果

本研究では、ダム堤体高さ20mまで打ち上がるまで解析を行い、結果を整理した。図2に、図1に示す測線に沿った、水平応力の鉛直方向分布を示す。

4. まとめ

実際のダムを対象にし温度応力解析を行ったが、外気温の季節変動がダム堤体内の温度応力分布に与える影響は、顕著であることがわかった。今回は、解析結果と比較可能な実測データが入手できなかったが、今後は比較可能な実測データを伴う解析を行う必要がある。

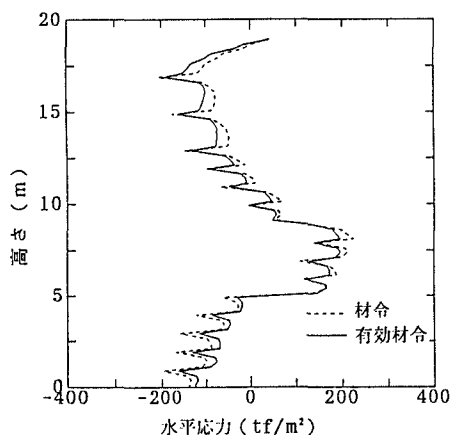


図2 測線に沿った水平応力の鉛直方向分布
(コンクリートの弾性係数の影響)

参考文献

- 1) 市川康明、西尾信治、藤本博之（1992）：「季節変動を考慮したコンクリートダムの温度応力解析」、第6回計算力学シンポジウム報文集
- 2) 市川康明（1990）：地盤力学における有限要素法入門、日科技連出版
- 3) 小笠原稔（1996）：季節変動を考慮したコンクリートダム-岩盤構造物の温度応力解析、修士論文、名古屋大学
- 4) 三浦郷志（1995）：コンクリートダム・岩盤複合体の有限要素法による温度応力解析、卒業論文、名古屋大学