

V-427

コンクリートダムの温度応力解析に関する一考察

水資源開発公団

自閑 茂治

正 ○ 谷 剛

日野 浩二

1. はじめに

近年、重力式コンクリートダムの合理化施工法として施工実績が増えつつあるRCD工法、ELCM等においては、施工上の合理化をはかるため、パイプクーリングの省略および横継目は設けるが縦継目は設けないコンクリート打設が行われる。こうした工法の温度規制計画の中で堤体内部の最高上昇温度からダム完成後の最終安定温度に至るまでの温度降下に伴って発生する温度応力に対する安全性を検討する、いわゆる長期間問題は最も重要な検討項目といえる。この長期間問題の検討に際しては「拘束度マトリクスを用いる方法」¹⁾が、ダム温度規制の分野において一般に用いられている。今回の報告は「拘束度マトリクスを用いる方法」の妥当性と信頼性の検証を目的として岩盤の熱特性値等の温度応力に影響を与える因子をパラメータとして感度分析を行い、各因子の影響程度を検討したものである。

2. 解析方法

「拘束度マトリクスを用いる方法」は、堤体と岩盤の弾性係数比および全体形状から決定される単位温度の変化に対する温度影響マトリクス(拘束度マトリクス)を求め、これと最高上昇温度から最終安定温度までの温度降下量との積で拘束温度ひずみを算出するものである。今回の解析では、実ダムの最大断面を鉛直方向に均等に33分割したものを解析モデルとして用い、33×33の拘束度マトリクスを作成して、基本検討ケースの拘束温度ひずみを求め、それと比較するために各パラメータを変化させた場合のそれぞれのケースにおいて拘束温度ひずみがどの程度変動するかを求めている。

3. 解析結果

解析結果は表-1のとおりである。これは基本検討ケースの解析条件のうち各パラメータを変化させ、他の条件を変化させず同一の条件として解析した場合、拘束温度ひずみがどの程度増減するかを数値と増減率で表したものである。

4. 考察

表-1からわかるようにパラメータ解析を行った結果、発生する拘束温度ひずみに影響を与える主な因子は①断熱温度上昇式②最終安定温度の設定③コンクリートの打設間隔等であり、他の岩盤・コンクリートの物性値はほとんど影響を与えないことがわかった。また、解析条件として①他設計荷重(自重、水重等)を考慮した場合②岩盤の熱膨張係数を考慮した場合は、かなり拘束温度ひずみは低減されることがわかった。解析として設計上最も安全側の検討を行った場合、発生する拘束温度ひずみは約5割増の結果となり、各条件の設定には十分注意する必要がある。

5. まとめ

今回の検討により、温度応力解析に用いる各解析条件の変化が拘束温度ひずみの増減に与える影響度が把握できたので、今後この「拘束度マトリクスを用いる方法」で温度応力解析を行う際、これらの解析条件の設定にあたっては十分に吟味した上で注意して行うことが必要である。

〔参考文献〕¹⁾ 大藪勝美・永山 功・小林政登：RCD工法によるコンクリートダムの温度規制，
土木技術資料，Vol.29-11，1987年11月

表-1 パラメータ解析結果一覧表

パラメータ	基本検討ケース	比較検討ケース	打設時期(発現場所)	拘束温度ひずみの増減	増減率
(1) 弾性係数比	$E_c/ER = 4, E_c = 200,000 \text{ kgf/cm}^2$ $ER = 50,000 \text{ kgf/cm}^2$	$E_c/ER = 10, E_c = 200,000 \text{ kgf/cm}^2$ $ER = 20,000 \text{ kgf/cm}^2$	9月打設開始(堤体内部) 8月打設開始(岩着部)	114 μ → 112 μ 135 μ → 123 μ	-2% -9%
(2) 岩盤熱膨張	考慮せず $E_c/ER = 4$	熱膨張係数 $1 \times 10^{-3} (1/^\circ\text{C})$ 9月打設開始	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(岩着部)	114 μ → 110 μ 95 μ → 83 μ	-4% -13%
(3) 断熱温度上昇	断熱温度上昇式 $K = 15.0^\circ\text{C}$ $\alpha = 0.013$ $T_c + 0.217$ $\beta = 0.6$	布目ダム実績考慮 ($T_c > 15$) $K = K + 2^\circ\text{C}, \alpha = \alpha, \beta = \beta$ ($T_c < 15$) $K = K + 8^\circ\text{C}, \alpha = \alpha/5, \beta = \beta$ Kの影響の把握 $K = K + 5^\circ\text{C}, \alpha = \alpha, \beta = \beta$	8月打設開始(岩着部) 2月打設開始(堤体内部)	135 μ → 148 μ 124 μ → 131 μ	10% 6%
(4) 最高上昇温度の定義	最高上昇温度 材令1か月以内	最高上昇温度 材令1, 2, 3週間 材令2, 3か月以内	8月打設開始(岩着部) 8月打設開始(岩着部) 2月打設開始(堤体内部) 2月打設開始(堤体内部)	135 μ → 148 μ 1週間 135 μ → 130 μ 3か月 124 μ → 137 μ 1週間 124 μ → 119 μ 3か月	10% -4% 10% -4%
(5) 最終安定温度	年平均温度11.5 $^\circ\text{C}$	貯水池水温と年平均気温との平均 8.0 $^\circ\text{C}$	9月打設開始	127 μ → 137 μ	8%
(6) 他設計荷重	温度荷重	温度、自重、水圧	9月打設開始 10月打設開始	114 μ → 84 μ 119 μ → 72 μ	-26% -39%
(7) 岩盤初期温度	1次元FEM解析による基礎地盤の2年間の追跡温度計算後の分布	年平均温度11.5 $^\circ\text{C}$	9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 111 μ	0%
(8) 岩盤熱特性	熱伝導率 : 40 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ 比熱 : 220 kcal/t. $^\circ\text{C}$ 単位体積重量 : 2.4 t/m 3	①熱伝導率 : 110 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ ②比熱 : 220 kcal/t. $^\circ\text{C}$ ③単位体積重量 : 2.4 t/m 3 ④ 比熱 : 110 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ 比熱 : 220 kcal/t. $^\circ\text{C}$ 単位体積重量 : 2.4 t/m 3	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 111 μ 111 μ → 111 μ 111 μ → 111 μ 111 μ → 111 μ	0% 0% 0% 0%
(9) コアリート打設間隔	0.75m/5日	0.75m/7.5日	9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 116 μ	5%
(10) コアリート打設温度	外気温と同じ	①河川水温 ②外気温 + 2 $^\circ\text{C}$	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 110 μ 111 μ → 113 μ	-1% 2%
(11) コアリート熱特性	熱伝導率 : 40 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ 比熱 : 220 kcal/t. $^\circ\text{C}$ 単位体積重量 : 2.4 t/m 3	①熱伝導率 : 28.8 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ 比熱 : 28.8 kcal/m.day. $^\circ\text{C}$ ② 比熱 : 200 kcal/t. $^\circ\text{C}$ 単位体積重量 : 2.5 t/m 3	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 113 μ 111 μ → 112 μ	2% 1%
(12) 外部熱伝達係数	240 kcal/m 2 .day. $^\circ\text{C}$	① 2400 kcal/m 2 .day. $^\circ\text{C}$ ② 24 kcal/m 2 .day. $^\circ\text{C}$	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 111 μ 111 μ → 112 μ	0% 1%
(13) 外気温	日向観測所昭和55~61年の7年間の平均	①平均 + 5 $^\circ\text{C}$ ②平均 - 5 $^\circ\text{C}$ ③11.5 $^\circ\text{C}$ 以上 + 5 $^\circ\text{C}$ 、11.5 $^\circ\text{C}$ 以下 - 5 $^\circ\text{C}$	9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部) 9月打設開始(堤体内部)	111 μ → 114 μ 111 μ → 105 μ 111 μ → 153 μ	3% -6% 38%