

電力中央研究所 正会員 西内達雄

同 上 正会員 金津 努

1. はじめに

アーチダムは鉛直方向にジョイントを設置し、そこにグラウトを注入した構造となっており、ジョイントを挟むコンクリートブロック間では、ジョイントを介して力の伝達が行われる。従来より、アーチダムの解析においては堤体を一体構造として弾性的に取り扱い、応力、変形の評価を行ってきた。しかし、例えば気温変化によるダムの挙動を検討する場合には、温度応力に与えるジョイント部の影響が大きく、ジョイント部を忠実にモデル化する必要がある。本研究は、アーチダムのジョイント部の挙動やコンクリートのひびわれ等を考慮した三次元非線形有限要素解析手法を開発し、アーチダムの健全性評価や設計技術等に反映させることを目的として実施したものである。このうち本報告は、ジョイント部の非線形性を考慮した有限要素解析により、アーチダムの耐荷機構に関して考察したものである。

2. 解析概要

堤高 60m クラスの実規模アーチダムを対象として、三次元非線形有限要素解析を実施した。解析で用いた要素分割を図-1 に示す。堤体は厚さ方向に 5 層分割(表層 1m, 中間層は均等 3 分割)とした。堤体コンクリートおよび基礎岩盤は弾性体と仮定し、ジョイント部はすべりと剥離を表現できる非線形接合要素と仮定した。

ジョイント要素のすべりおよび剥離条件 [1] は以下に示す通りである。

$$\tau = \alpha + \beta \cdot \sigma_n \quad (\sigma_n \geq -3.5)$$

τ : せん断応力、 σ_n : 直応力 (単位: kgf/cm²)

すべりや剥離を生じていない健全要素: $\alpha=10.2$ 、 $\beta=0.733$

過去にすべりや剥離を生じた要素: $\alpha=0.0$ 、 $\beta=0.587$

なお、すべりや剥離を生じた要素では、応力および剛性を全解放させた。解析により、ジョイント部での経年的な状態変化(すべりや剥離)を表現するには、ジョイント要素の状態に応じて、健全なジョイント要素、すべりまたは剥離を生じているジョイント要素を区別し、それぞれに応じた物性を選択する必要がある。

本解析では、評価時間断面を夏期 7 月と冬期 1 月の 6 ヶ月毎とし、その時点で解析を一度停止し、ジョイント要素の状態変化を評価し、適切な物性に入れ替え、再度解析を進める方法を採用した。解析で考慮した常時荷重は気温の年変化による温度荷重と静水圧である。気温および貯水池の水温の年変化は正弦関数で仮定し、非定常熱伝導解析を行った。解析で用いたコンクリートおよびジョイント部、岩盤の物性値を表-1 に示す。熱伝導解析で用いた熱的物性および境界の伝達率を表-2 に示す。

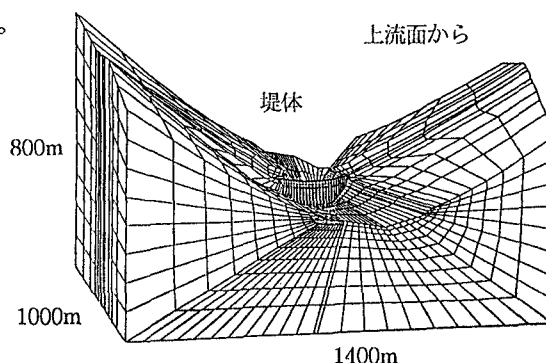


図-1 解析に用いた要素分割

表-1 解析に用いた物性値

	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比
コンクリート	3.0×10^5	0.2
ジョイント部	9.0×10^4	0.2
岩盤	3.0×10^4	0.2

表-2 熱伝導解析に用いた熱的物性

	単位体積重量 (kgf/m ³)	熱伝導率 (Kcal/mh°C)	比熱 (Kcal/kg°C)	熱伝達係数 (Kcal/m ² h°C)	水面下
堤体	2300	2.00	0.27	8.0	温度 固定
岩盤	2600	2.39	0.19	8.0	

キーワード: アーチダム、ジョイント部、耐荷機構、非線形有限要素解析

〒270-11 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

3. ジョイント部の状態変化とアーチダムの耐荷機構

ジョイント要素で状態変化（剥離やすべり）を生じると判定された領域は、経年的に拡大して行くものの、解析時間断面2年程度ではほぼ終息する〔2〕ことから、以下では解析時間断面3年目の夏期および冬期の状態に着目して考察する。

3年目の夏期および冬期のジョイント要素における剥離やすべり状況の解析結果を図-2に示す。冬期のジョイント要素では、堤体中央部で下流面から2層目深さまで、左右岸近傍では上流面から2層目深さまでの領域で剥離が生じる結果となった。これは、コンクリートの内外温度差に起因した温度応力によると考えられる。夏期のジョイント要素では、堤体中央部で比較的一体化している領域が広いものの、着岩部では若干のすべりが認められ、左右岸近傍では上流面から2層目深さまで剥離が生じている結果となった。夏期は冬期

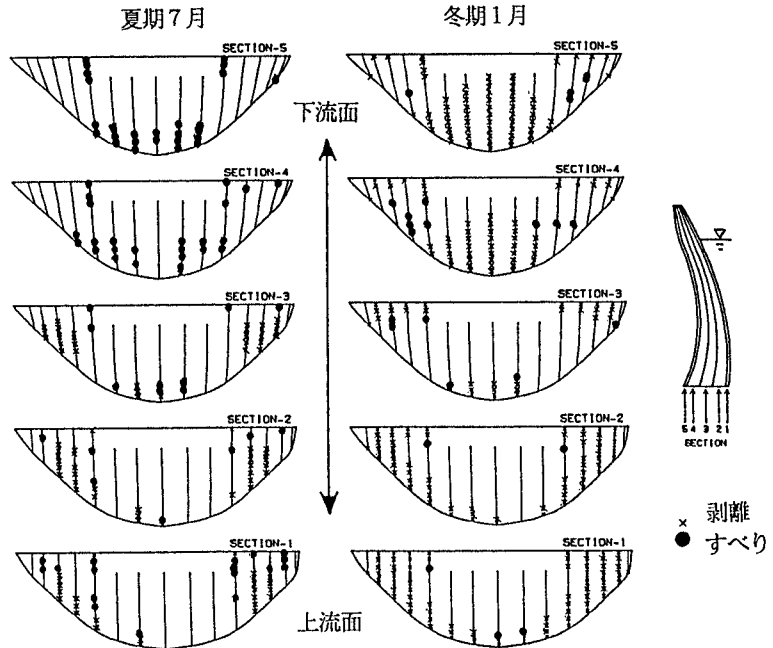


図-2 ジョイント部の状態とアーチダムの耐荷機構

に剥離を生じていたジョイント要素が再び密着して一体化し、アーチ推力をダム軸方向に伝達すると考えられる。下流面中央のジョイント要素で生じる年間の状態変化は、冬期に剥離→夏期に再結合→冬期に剥離と経年的に繰返し生じると考えられる。これらの解析結果は、夏期にダム軸方向のアーチ推力が強まり、冬期にアーチ推力が減少してコンクリートブロックが相互に動きやすくなるアーチダムの挙動と合致すると考えられる。

解析結果から、夏期および冬期のジョイント要素で、剥離やすべりの状態変化を生じていない領域に着目すると、アーチダムの堤体内部にはジョイント部の季節的な状態変化に起因した応力伝達領域が形成されて、外力に抵抗していることがわかる。この現象は、従来から経験的にはセカンダリーアーチ、インナーアーチと呼ばれていたが、堤体内部でどのような領域を形成しているか不明であった。本解析手法を用いて、このようなアーチダムの耐荷機構を定性的に評価することができた。

4. まとめ

ジョイント部の挙動を考慮した三次元非線形有限要素解析を用いてアーチダムの耐荷機構に関して考察した。その結果、ジョイント部で生じるすべりや剥離の状態変化を解析上明らかにできたとともに、アーチダムの堤体内部には、ジョイント部の季節的な状態変化に起因した応力伝達領域が形成されて外力に抵抗することが解析上明らかとなった。

最後に、本研究は平成7年度吉田研究奨励賞を受けて実施した一部であることを付記し、深く謝意を表します。

参考文献

- [1] 金津他：ジョイント部のせん断すべり破壊基準に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集、1995.7
- [2] 西内：ジョイント部の非線形挙動を考慮したアーチ式コンクリートダムの堤体解析技術の開発、平成7年度電力中央研究所研究年報 Vol.1、1995.3