

竣工後40年以上経過したアーチダムの常時健全性評価

九州電力(株) 正会員 ○大熊信之 九州電力(株) 正会員 江藤芳武
 (財)電力中央研究所 正会員 西内達雄 (財)電力中央研究所 正会員 松井淳

1 はじめに

当社所有のアーチダムは、設置後40年以上が経過している。また、各地で大規模地震が多発している近況を鑑みると、今後もダムを供用していくためには、経年に対する健全性、および大規模地震時における健全性を適切に評価することが重要である。このため、設置後40年以上経過した大規模アーチダム2基を対象とし、静的・動的な実測データの評価、および解析結果に基づき、現在の常時・地震時の健全性評価を試みている。本稿は、1基のアーチダム（昭和38年竣工、堤高130m）において、三次元FEM解析モデルによる非線形解析を実施し、常時における健全性評価を行った概要について述べる。

2 解析条件

モデルの要素分割図を図-1に示す。要素分割は周辺岩盤を含めた三次元モデルで、堤体は鉛直方向の施工ジョイント（以下、鉛直ジョイントと称す）間を均等2分割、厚さ方向を均等5分割した。解析は、まず堤体および周辺岩盤の温度分布を把握するため非定常熱伝導解析を実施し、その後、作用荷重による応力解析を行っており、いずれも汎用解析コード「ABAQUS」を使用した。熱的物性値と力学的物性値は工事記録の値を参考に設定した。設定値を表-1に示す。

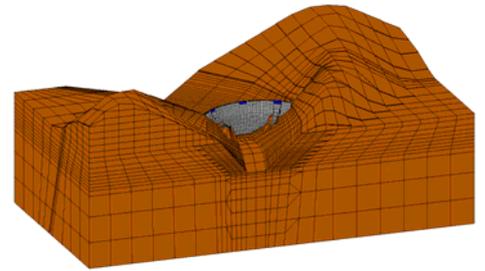
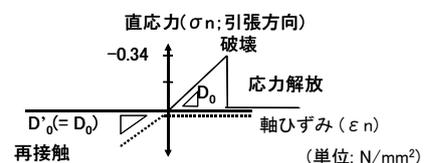
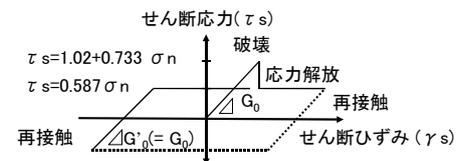
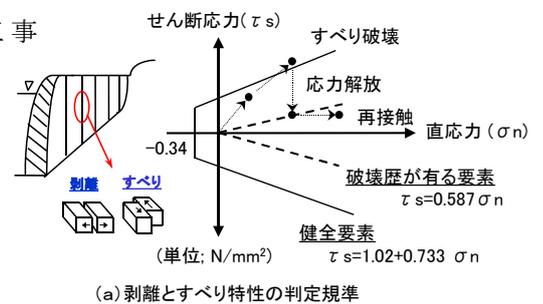


図-1 要素分割図

	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	熱膨張率 /°C
堤体コンクリート	23.95	30.0	0.167	8.9×10^{-6}
鉛直ジョイント	23.95	8.83	-	8.9×10^{-6}
基礎岩盤	25.50	5.46	0.200	10.0×10^{-6}

鉛直ジョイント部については、薄層のボンド要素で構成し、(財)電力中央研究所で開発した非線形力学モデル^{1),2)}を適用した。本モデルの概要を図-2に示すが、すべり・剥離の判定基準をCoulomb則で定義し、判定基準を超えた鉛直ジョイント部は同方向応力を開放した。また再接触した場合は圧縮応力のみ完全に伝達し、引張抵抗はゼロとした。鉛直ジョイント部の物性値は、同研究所におけるグラウト・シアキー実験結果^{1),2)}に基づく値とした。

作用荷重は、水圧、温度荷重、揚圧力、泥圧および堤体自重とし、貯水位は常時満水位とした。温度荷重は外気温と水温の年変化によって付与するものとし、外気温は、至近約10年間の実測データから最小二乗法により正弦関数で回帰することで与え、水温についても水深方向に対し外気温と同様に正弦関数で回帰して与えた。

図-2 鉛直ジョイント部の力学モデル¹⁾

キーワード アーチダム、非線形解析、鉛直ジョイント、常時挙動、健全性

連絡先 〒815-8520 福岡市南区塩原2-1-47 九州電力(株) 総合研究所 土木グループ

3 常時挙動解析結果

図-3に、堤体中央断面の高さ方向変位分布の比較を示す。アーチダムは外気温の変化に伴い、夏季に上流側、冬季に下流側へ変位を生じる^{1),2)}が、解析結果もこの変形モードを再現しており、変位量も実測値に近いことから、モデルの適用性が確認できた。

応力解析結果については、堤体の厚さ方向5分割のうち、下流側表層（以下、下流層と称す）のみを記す。図-4に主応力分布を示すが、夏季は、アーチ推力に寄与する圧縮応力が中標高部以上では水平方向に、中標高部以下では漸次岩着面に垂直な方向に発生している。また、圧縮応力の発生に伴うポアソン効果により、鉛直方向に引張応力が発生しているが、既往の堤体コンクリート強度試験結果から換算した引張強度（ 3N/mm^2 ）には満たず、ひび割れを発生させるには至らない。

冬季は、外気温の低下に伴う堤体の収縮作用により、主応力は夏季に比べ、相対的に低減しているが、水平方向のアーチ推力に寄与する応力は依然発生している。同時に、圧縮応力の低下に伴いポアソン効果も軽減しており、鉛直方向に発生していた引張応力は、堤体中央部でほぼ消滅している。

図-5に鉛直ジョイント部で生じたすべり・剥離の分布を示す。夏季は、圧縮応力が卓越する応力場となるため、左岸スラスト部付近を除いてすべり・剥離は生じておらず、堤体はほぼ一体となって挙動している。冬季は、中標高部から基礎岩着部にかけて広範囲にすべり・剥離が生じており、紙面の都合上、図は割愛したが、このすべり・剥離領域は堤体内部までは進行しておらず、外気に接した下流層のみ発生している。また、この下流層の鉛直ジョイントがすべり・剥離を生じたことにより、下流層の中標高部以下に発生する引張応力を開放し、堤体コンクリートブロックに発生する引張応力を低減させている。以上の結果から、下流層については、コンクリートブロックにひび割れを発生させるような圧縮・引張応力は発生しておらず、状態変化が生じた鉛直ジョイントも局所的な範囲に留まり、構造的な連続性は保たれている。

4 まとめ

本稿では、応力解析結果について、下流層のみを記したが、堤体内部層や上流層の解析結果の評価も行っており、これらの評価結果から40年以上経過したアーチダムの常時における健全性を確認することができた。今後は、本モデルを用いたレベル2地震動に対する地震応答解析を行い、アーチダムの地震時健全性を評価する予定である。

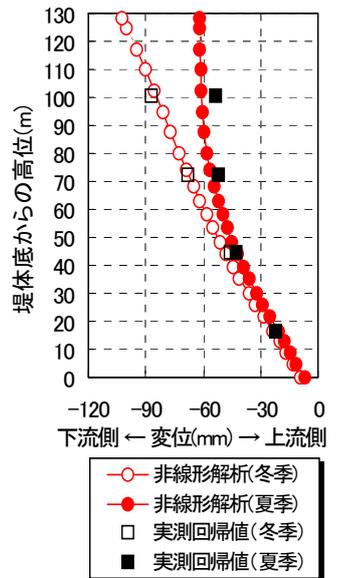


図-3 堤体変位分布

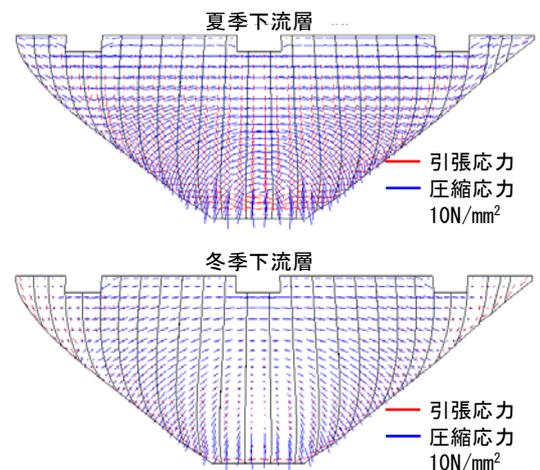


図-4 下流層における主応力分布

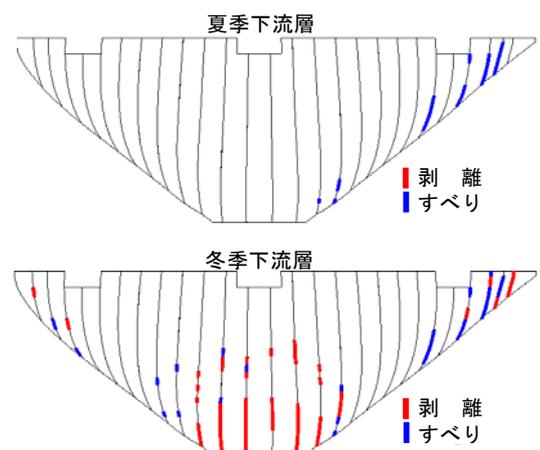


図-5 下流層のすべり・剥離分布

1) 西内達雄, 阪田憲次: 鉛直方向の施工ジョイント部での離接を考慮したアーチダムの常時挙動解析
土木学会論文集Vol. 62 No. 4, 672-688, 2006. 10

2) 西内達雄, 阪田憲次: 既設アーチダムの常時挙動に及ぼす鉛直ジョイント部のモデル化の影響
ダム工学会 17(2), 106-115, 2007