

電力中央研究所	○ 正員	松井孝孝
九州電力株式会社	正員	赤司六哉
同 上	正員	田野襄一郎
同 上	正員	溝辺 哲

1. フィルタムの解析における問題点

有限要素法を適用したフィルタムの数値解析は、最近かなり一般的に行きわたるようになってきている。これの利点は、堤体材料の物性（とくに、変形係数やポアソン比などの変形特性）を正確に把握することができれば、数多くの三角形（あるいは四角形）要素に分割された堤体各部の変位状態・応力状態を細かく知ることができ、これと材料強度との関係からフィルタムの安定性を論ずることができる点にある。しかし、現状ではまだ、フィルタムの挙動を説明し、その安定性を論ずるための十分な技術を持ち得たとは言い難い。というのは、この種の解析の鍵をなすものは、堤体材料の強度・変形特性をいかに正確に把握するかにあることは言うまでもないが、これ以外に、数値解析上で堤体の挙動を正確に表現できていない点がいくつか残されているからである。その代表的なものは、変形特性の異なる材料が隣接する場合、両者がその接触面に互いに他の変位を抑制する形で解析を行っているため、この近傍の応力状態に実際には生じないと思われる乱れがある、すなわち、変形係数が大きいゾーンには過大な応力が、それが小さいゾーンには過小な応力が計算される場合である。このような例は、ロックアップフィルター・フィルター・コアなどのゾーン境界部や、堤体材料と基礎岩盤とが接する岩着部に顕著に現われており、現実の状況とは合致しないと考えられる。

2. ゾーン境界部や岩着部に材料のセン断変位が生ずると考える理由

フィルタムは、ダムサイト近傍でえられる土質材料とその特性に応じて配置し、貯水能力をもった安定度の高い土構造物として築造するものである。したがって、これらの材料間で物性面の差があるのは当然であり、又、築造の過程でその物性値が変化していくと考えるのが自然であろう。現在、筆者らは、変形係数・ポアソン比を拘束応力に依存するものとして非線型表示を行き数値解析に適用しているが、このような扱いによって、当初の変形係数が大きい部分には応力集中が生じ、増々変形係数が大きくなり、応力集中の度合いが大きくなる結果を生じることになる。

ここで、変形係数に差がある場合に解析結果に不都合と思われる点が生ずる原因を知るために、解析の流れを概観しておきたい。すなわち、1 三角形要素で構成される堤体モデルは、節点（三角形要素の頂点）で互いに他と結合しており、力は節点を介して伝達される。2 相隣る要素の変形係数に差がある場合には、力が作用した時の変位がもたらす要素内ヒズミの大きさは、両者に同程度に生ずることになる。3 要素内応力は発生したヒズミからその変形係数に応じて算出されるので、大きな変形係数をもつものには大きな応力が、小さな変形係数をもつ場合には小さな応力が計算される。4 したがって、変形係数の大きい材料は、上載荷重の増大によりますます大きな変形係数をもつようになり、応力の偏重が一層助長されることになる。5 以上が従来行ってきた解析の結果としてえられるものであるが、現実のフィルタムにおいては、各堤体材料の変形特性に応じてその境界部ではある自由度をもってそれぞれが独立に変位を生ずることが可能であり、このようにして生じたセン断変位の結果、応力偏重が緩和されると考えることはできないであろうか。6 これを調べる目的で、新冠・内谷・油谷ダムなどでは特殊な計器を設置したが、いずれもこの境界部におけるセン断変位を示唆するデータが実測されている。7 したがって、このような現象を解析面にうまく反映させることができれば、堤体の安定を論ずる上で有効と考える。

3. 岩着部の安定性の検討

岩着部に關しては、岩の変形係数が堤体材料のそれに比較してはるかに大きい場合が多く、通常の解析ではこれに接する部分での応力の不均衡はゾーン境界部の比ではないと思われる。そこで、大平地点・油谷ダムの堤軸方向断面の解析に際して、前記の考え方を導入した。

解析の対象とした断面は図-2に示す通りであり、谷の内側にはコア材料から段階で盛立てられるものとした。なお前記の考え方を具体化するために、コアの岩着部に水平50cm中のうすい層(図-2には表現されていない)をばさみ、変形係数のちがいにによるせん断変位をこれに吸収させようとした。

解析に用いたコアの変形特性は図-1に示す通りであるが、これはコア部施工時の材料について含水比・密度と合わせた室内三軸試験の結果をもとに推定した。岩着層の物性として、コアと同じ場合(CASE-1)およびコアよりも軟らかい場合(CASE-2)の2通りを採用して両者よりえられる結果を比較した。

堤体内部の変位は、CASE-2の場合に岩着層表面の変位が大きく出るが、それ以外の部分に關しては両者ともほとんど差が生じていないという結果がえられた。つまり、50cm中の岩着層の安定所頼がクロースアップされたことになる。この点に關しては、材料の破壊とその強度回復、透水性の変化とパイピング現象など物性面からの研究が必要であり、検討を進めている。

図-3は、盛立完了時(CASE-1)の主応力(σ_1 , σ_3)の分布を各要素に關して全点プロットしたものであるが、モールの包絡線と主応力値との関係から、粘着力: c の大きさに対応させて安定限界線を一点鎖線で示してある。従来用いていた安全係数とは異なるが、各要素の安定度を調べる上で一つの目安となろう。これによれば、上載荷重の小さい部分の安定度が他に比較して低いこと、粘着力: c のもつ役割がきわめて大きいことが読みとれる。

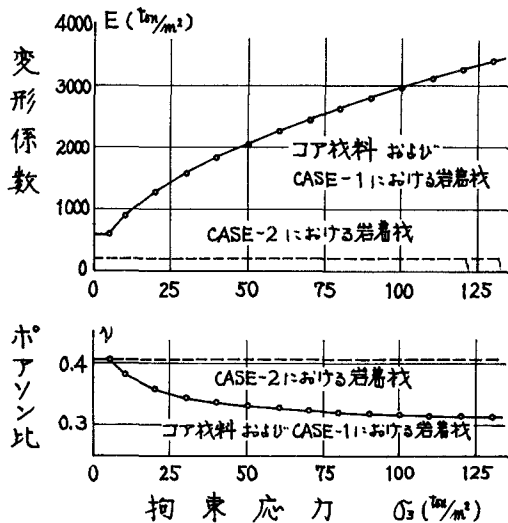


図-2 拘束応力と変形特性との関係

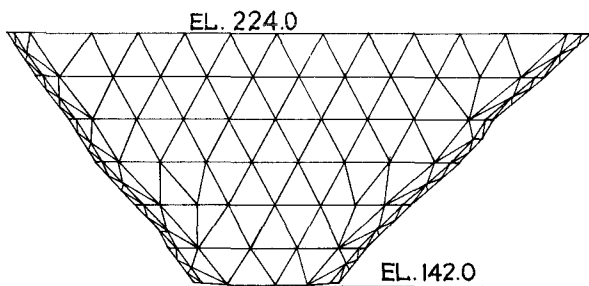


図-1 数値解析に用いたモデル

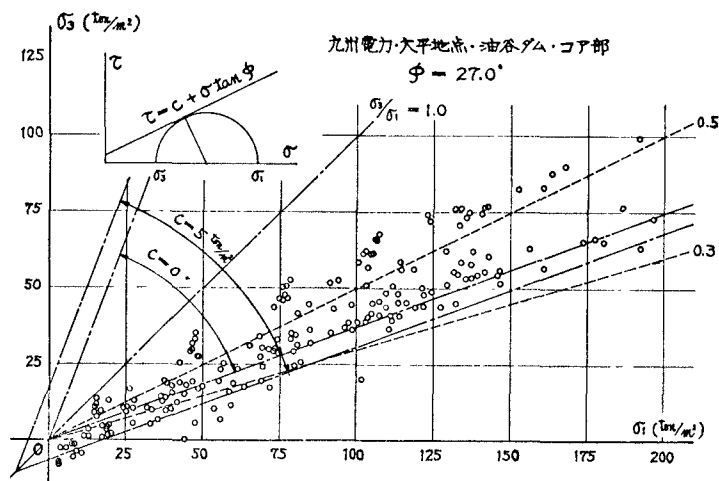


図-3 数値解析でえられた主応力値の分布(CASE-1)