

東京大学生産技術研究所 正員 田村重四郎
 東京大学大学院 学生員 〇大町達夫

1. はじめに

ロックフィルダムを均質等方弾性体とみなして震度法に基き応力解析を行なうと、堤体の或る部分に引張応力の作用する領域が存在することが分る。しかし、礫の如きいわゆる粘着力のない堤体材料の場合、引張に対する挙動は圧縮に対するものとはかなり異なり変形抵抗も小さい(或いは無視できる)と思われる。我々はロックフィルダムの地震時破壊を検討する際の一助として、堤体材料のこのような非線形性を考慮に入れて堤内応力の算定及び堤体の不均質・異方性の評価を試みてみた。

2. 計算方法

有限要素法によるこの種の非線形問題は、既に no-tension problem として知られている⁽¹⁾が、ここでは応力の算定のみならず堤体の不均質・異方性を評価する目的もあるため図1に示すような過程で計算を行なった。即ち

- (i) 水平震度を設定し、それと壱力とによる応力を均質等方弾性体として解析する。
- (ii) 引張応力の作用している要素をさがし、そこでは引張主応力の作用する方向に関する弾性係数及びポアソン比を減ずる。(今の場合 $1/2$ とする)
- (iii) 新しく(ii)で定めた定数を用い要素内直交異方性体として元の問題を再び解析する。
- (iv) no-tension 状態が得られるまで(ii)と(iii)とを繰り返す。

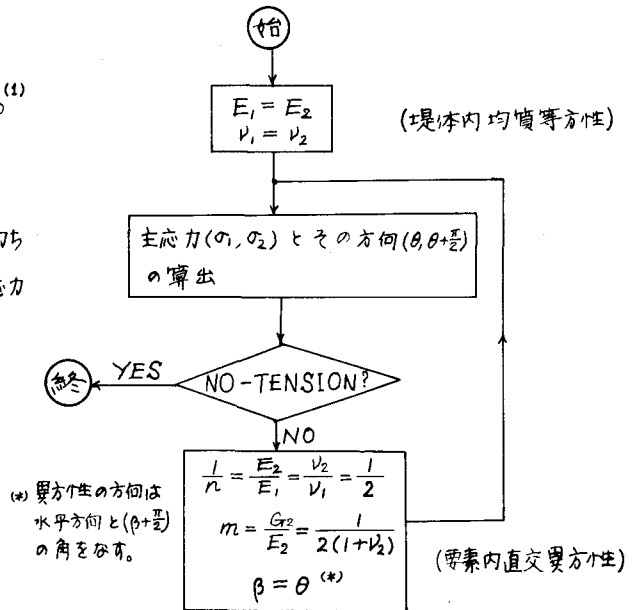


図1 計算のフローチャート

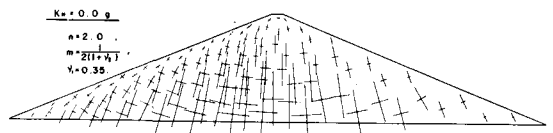


図2 自重による応力

3. 計算結果

1) 応力の算定

以下、法面勾配が上・下流側とも 1 : 2.5 の場合について記す。図2には自重のみによる堤内応力が示されているが、このときには(i)の段階でも引張領域はない。図3(a)(b)(c)には水平方向に $K_H = 0.2g$ の加速度を作用させた場合の収束計算の各段階が示されている。図中〇印を付した部分の斜面に平行な方向の主応力が引張である。各段階ごとに堤内の応力分布は変化して行くが、その変化の割合は引張領域で最も大きくそこから離れるにつれて小さくなる。図4には $K_H = 0.4g$ を作用させた場合の no-tension 状態における主応力が示されている。この状態に収束するまでには5回の iteration を

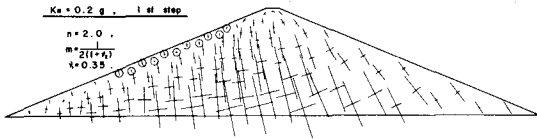


図3 $K_H=0.2g$ における収束過程 (a)

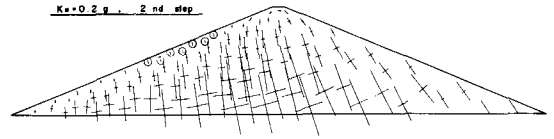


図3 (b)

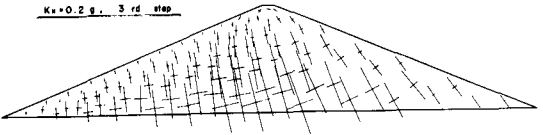


図3 (c)

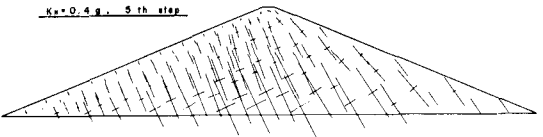


図4 $K_H=0.4g$ における no-tension 応力状態

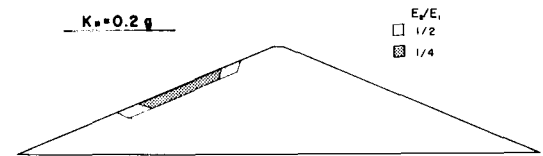


図5 no-tension 状態での異方性の分布 (a)

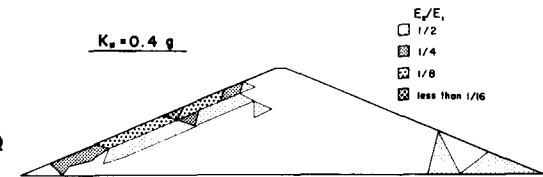


図5 (b)

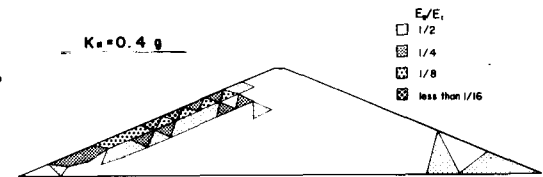


図6 別の方法による異方性の分布

要した。

2) 異方性の分布および非線形性の評価

収束計算を繰り返すたびに引張方向の弾性率は $1/2$ ずつ減じて行く。従って no-tension 状態が得られたときには構造物としてかなりの不均質、異方性を示すことになる。図5(a)(b)にはそれぞれ $K_H=0.2g$, $K_H=0.4g$ に対して弾性率の減少した領域とその程度が示されている。なお、減少の方向は斜面にはほぼ平行な方向である。

no-tension 状態を得る方法としては他にも幾つか考えられる。一例として我々が行なってみたのは前記の方法に似たものであるが、設定震度まで徐々に水平荷重を増して行き各震度ごとに no-tension 状態に達せしめるという方法である。図6には設定震度を $K_H=0.4g$ とし、 $K_H=0.1g \rightarrow 0.2g \rightarrow 0.3g \rightarrow 0.4g$ と増して行くと得られた異方性の分布が示してある。図5(b)と比較すると、同じ荷重条件のもとにおいても物性の非線形性に帰因して種々の no-tension 状態がありうる事がわかる。

4. 考察

変形の初期の段階で堤体のどの部分がどの程度緩んでいると考えたら良いかがこの計算で少しはわかりしてきた。ロックフィルダムの模型振動破壊実験で最初に不安定な現象が観察される領域あるいは最終的な滑り面の形はこの計算結果とかなりの相関がある。これは礫のような材料が動き始めるにはその周囲が緩んでいて運動方向への拘束が弱いことが必要な条件であることによるのであろうと思われる。

5. 参考文献

(1) O.C.Zienkiewicz 他 'STRESS ANALYSIS OF ROCK AS A NO-TENSION MATERIAL' *Geotechnique* 18:56-66, 1968

終りにこの計算の一部は B.K. Bhatia 氏の努力に負うところがあることを付記しておく。