

愛知工業大学土木工学科 正・大根義男 正・成田国朝
正・奥村哲夫 大学院の大島 満

1. まえがき

フィルダムの応答特性については過去、幾多の研究がなされており、その成果は耐震設計法を確立するための有益な資料として評価されている。応答解析について考えてみると、当初は堤体を弾性体と仮定した解析が行われていたが、土の剛性率や減衰定数などの材料物性のひずみ依存性が実験的に明らかになり、またその数式化近似に関する議論が進んでくるにつれ、非線形物性を考慮した応答解析が積極的に行われるようになった。非線形応答解析は、材料物性の表現法やパラメータの決定法、さらに解析手続きの選び方によって計算手法がそれぞれ異なるが、現状では等価線形の概念を土台とした計算手法が一つの有力な手段と考えられている。

等価線形化法に用いられる物性値のうち、剛性率 G は拘束圧 σ_m やせん断ひずみ γ の関数として表わされ一般に $G = K(\gamma)\sigma_m^{m_k}$ と表示されることが多い。この式を用いてフィルダムの応答解析を行うと、表面付近では σ_m 、従って G が0に近いので、要素分割を小さくし過ぎると解が不安定になることが考えられる。そこで、本研究では要素分割を種々変えた場合に応答解がどのように変化するか、またどのような条件のとき解が不安定になるかを調べるものである。なお、本研究は文部省科研費による研究の一部であることを付記し謝意を表する。

2. 動的解析

解析モデルとして堤高100m、上下流斜面勾配が1:2.5の三角形ロックフィルダムを考える。本研究では基本的な応答特性を調べるために、堤体を図-1のようにいくつかの水平層に分割し、多質点系モデルに置き換えて解析を行う。分割の方法は、図-1の堤体を10等分したもの(10質点)、その上部を半分したもの(13質点)、 $1/4$ 分割したもの(17質点)の3種類とした。それぞれの層に対して土かぶり圧に相当する拘束圧 σ_m を割当てて、ここでは $\sigma_m = (1 + 2K_0)\gamma h/3$ で与えることとした。ここに γ :単位体積重量、 h :堤頂から層中心までの距離、 K_0 :静止土圧係数($K_0 = 0.5$)

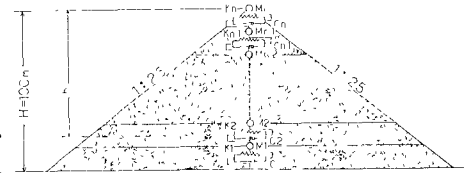


図-1 解析モデル

材料の非線形性はHardin-Denmanichモデル(図-2)を用いて表わす。ここで $\gamma = 10^{-6}$ の $G(G_0)$ および規準ひずみ γ_r と拘束圧 σ_m の関係は $G_0 = G_K(\sigma_m)^{m_K}$ 、 $\gamma_r = \gamma_K(\sigma_m)^{n_K}$ の形で表わされるものとし、 G_K, m_K, γ_K, n_K の数值は、碎石および砂の振動三軸試験の実験データから $G_K = 2000$ 、 $\gamma_K = 5 \times 10^{-4}$ 、 $m_K = n_K = 0.5$ を採用した。また限界減衰比 h_0 は砂のデータより20%とした。

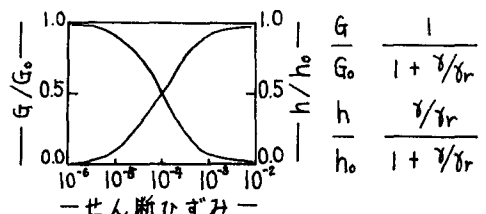


図-2 Hardin-Denmanichモデル

3. 計算結果および考察

計算結果を示す前に、まず碎石を用いた堤高2mの模型振動実験の結果の一例を図-3に示す。この図は堤体内の代表的な点、すなわち堤頂部、中高部および堤底部において測定された応答加速度とせん断ひずみの関係を示したものである(振動数10Hz)、台加速度(付記数値)の増加とともに各点の応答加速度およびせん断ひずみは図のような形で増加するが、ある加速度に達すると堤頂部のひずみが急激に増加し、その時点で堤体には表層すべりが観察された。このように、ひずみ増加を堤体の破壊に結びつけて考えると、このひずみ急増点は一様な降伏点を与えるものと考えられる。

このようなひずみ急増点が計算でも現われるか否かを調べたのが図-4である。これは図-1のモデル(固有振動数1.8Hz)に対して振動数1Hzの正弦波入力を与えたときの解であり、入力加速度が約350gal、堤頂の応答加速度が1000~1200galまでは安定しているが(□△○印)、これを少し越えると堤頂部のひずみが急激に増加し(■▲●印)、堤頂より下部の応答加速度やひずみが逆に

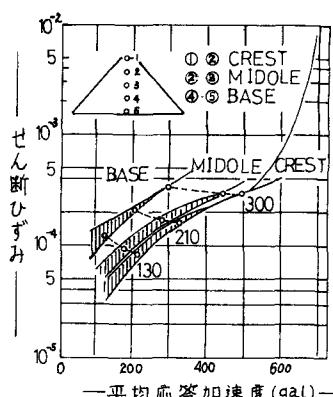


図-3 せん断ひずみと平均応答加速度の関係

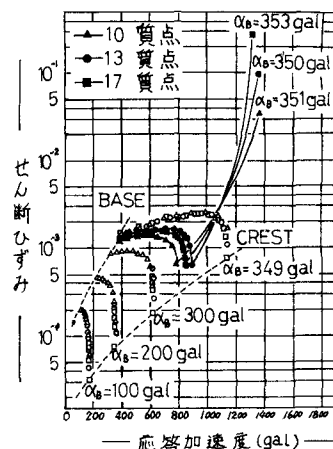


図-4 せん断ひずみと加速度の関係

低下するのがわかる。ここで要素分割の影響を調べてみると、安定している間は分割数によらず解は一致する。しかし、ひずみが急増する条件(例えば入力加速度)は分割数によって若干異なり、これが急増時点での応答値に幾分影響しているようだ

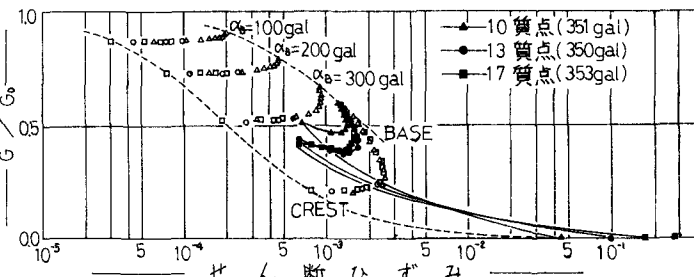


図-5 G/G_0 とせん断ひずみの関係

ある。図-5は上記のひずみ急増現象が堤体材料の剛性低下といかなる関係があるかを見たものである。図によると、入力加速度の増加に伴って堤体内各点のひずみが上昇し、剛性が順次低下するのがみられるが、 G/G_0 が0.45~0.5まで低下すると堤頂部のひずみが急激に増加することがわかる。図-6はひずみ急増時の応答加速度の分布をみたものである。要素分割によって堤頂部の高応答加速度がかなり異なり、解の信頼性がなくなるが、これより下部の応答は要素分割にほとんど影響されないことがわかる。

4. あとがき

本研究では模型実験とは独立に計算値の特性を調べたが、今後は実験結果と結びつけて堤体の破壊現象を議論したいと思っている。

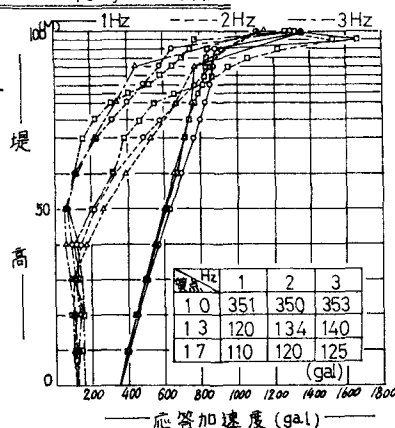


図-6 加速度分布