

I-526

入力地震動の周波数特性とフィルダムに作用する地震力

建設省土木研究所 正会員 松本 徳久、安田 成夫、山邊 建二

1. はじめに

フィルダム堤体に作用する地震力は、入力地震動の波形すなわち周波数特性に大きな影響を受ける。本報告では、周波数特性を加速度応答スペクトルによって代表させ、これから簡易に地震力を推定できる可能性があることを示した。

2. 解析手法とモデルダム

モデルダムの諸元は表-1に示すとおりである。動的解析手法としては1次元、2次元など種々あるが、別稿¹⁾で述べているように簡易でかつ精度的に十分な1次元のモード重畳法を用いるものとし、図-1に示すようにダムを質点とバネでモデル化する。質点は各層の全重量 m_i を各層の重心位置に設定する。バネ定数 k_i は(1)式で与えられ、 l_i は質点位置におけるダム幅で、 d_i は質点間の距離である。 G_i はせん断弾性係数であり、別途SHAKEM²⁾による解析で最終的に算定される値を用いている。なお、SHAKEMで用いている初期せん断弾性係数はロック材の試験結果を基に設定しており、拘束圧の依存性も考慮している。また、減衰定数はせん断ひずみに関わらず一律20%としている。

$$k_i = \frac{l_i G_i}{d_i} \quad \text{式(1)}$$

堤体加速度は(2)式で算出される。これはせん断力から算定される等価加速度であり、天端を通る円弧すべり土塊の平均加速度と同じ意味を持つ。

F_i は i 層と $(i-1)$ 層の間に働くせん断力であり、 $F_i = k_i \times (y_i - y_{i-1})$ で表される。ここに、 y_i は i 層の質点の相対変位である。

$$a_i = \frac{F_{i, \max}}{\sum_{s=1}^N m_s} \quad \text{式(2)}$$

表-1 ダム諸元

堤 高	63.0 m
堤 頂 長	12.0 m
法 勾 配	上流側 1:2.6 下流側 1:2.0
設計高水位	ダム天端より 5.0m の位置

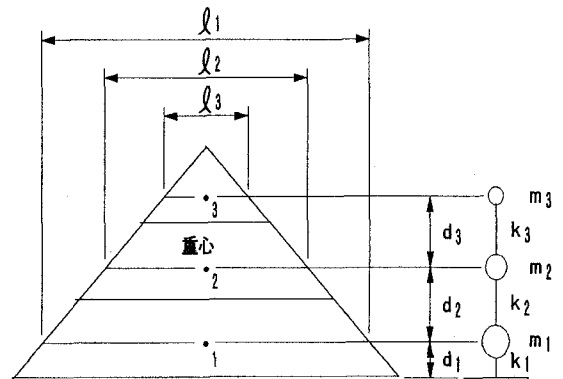


図-1 ダムのモデル化

3. 入力地震動の周波数特性と堤体の応答加速度

モード重畳法を用いて堤体加速度の周波数応答関数を算定した結果を図-2に示す。縦軸は堤体加速度の基礎加速度に対する応答倍率であり、横軸は地震動の周波数を堤体の固有周波数で無次元化したものである。 H はダム高さで、 y は天端から着目する質点までの距離を表している。最上層の質点 ($y/H = 0.02$) の応答倍率は無次元周波数 1.0, 1.8 でピークをとり、それぞれ約 4.6, 3.3 倍の値を示す。また、無次元周波数約 4.1 以上で応答倍率が 1 以下となる。中層 ($y/H = 0.41$) の応答倍率は共振時のみピーク値

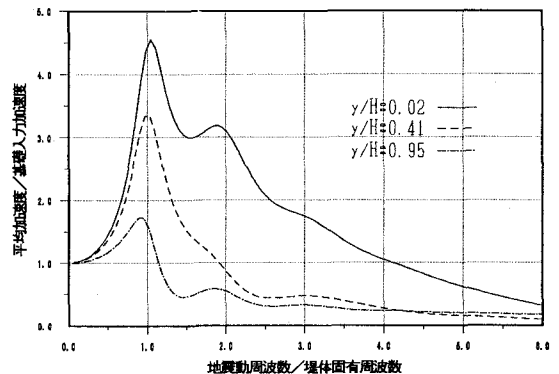


図-2 堤体加速度周波数応答関数

3.3をとり、無次元周波数約 1.9以上で応答倍率が1以下となる。最下層 ($y/H=0.95$)の応答倍率は最上層のときと同様の周波数でピークをとり、それぞれ約 1.7, 0.6倍の値を示す。また、応答倍率が1以下となるのは無次元周波数が約 1.2以上の時である。

応答倍率が1以上となる周波数領域は堤体加速度を増加させるのに寄与するが、それ以外の周波数領域は逆の効果を与える。また、地震動の周波数特性に対し、堤体各標高でその寄与する度合いは異なり、標高が高くなるほど堤体加速度を増加させる周波数領域は広がる。正弦波の場合には周波数成分は単一で、周波数応答関数から堤体震度の推定は容易にできるが、実地震動は様々な周波数成分を有しており、個々の周波数成分に着目して厳密に堤体震度の推定を行おうとすると動的解析そのものになってしまう。ここでは個々の周波数成分に着目するのではなく、堤体震度を増加させる周波数領域の成分の平均値に着目し、この平均値と堤体震度の間にはなんらかの相関があるものと考え、相関性について検討を行った。地震動の周波数特性の設定では、地震波そのものの周波数特性を表すフーリエスペクトルも考えられるが、通常平滑化されたものが用いられており、普遍的ではない。ここでは加速度応答スペクトルを用いるものとする。

4. 地震力と平均加速度応答スペクトル

21個の地震動を用いて、モーダル法で算出される堤体加速度 a と平均加速度応答スペクトル $\bar{S}_a$ の関係をとりまとめた結果を図-3に示す。 $\bar{S}_a$ は設定周波数領域における加速度応答スペクトルの平均値である。入力地震動は実測地震動を最大加速度が 0.2Gとなるように引き延ばしており、各標高で対象とする周波数領域は 3. の結果を基にして以下のように設定している。ここに、 f_0 は堤体の固有周波数である。

$$\begin{aligned} y/H=0.02 & \quad 0.8 \leq f/f_0 \leq 4.0 \\ y/H=0.41 & \quad 0.6 \leq f/f_0 \leq 1.8 \\ y/H=0.95 & \quad 0.6 \leq f/f_0 \leq 1.1 \end{aligned} \quad \text{式(3)}$$

図中に示す実線はこれらの関係を近似的に次式で表したものであり、単位は gal である。

$$\begin{aligned} y/H=0.02 & \quad a = 1.95 \times \bar{S}_a + 43 \\ y/H=0.41 & \quad a = 1.21 \times \bar{S}_a + 43 \\ y/H=0.95 & \quad a = 0.63 \times \bar{S}_a + 43 \end{aligned} \quad \text{式(4)}$$

天端付近ではややばらつきが見られるものの、中低標高では極めて相関が高い。したがって、等価な堤体加速度は平均加速度応答スペクトルから推定できるものと判断される。なお、この手法で得られる地震力は2次元動的解析手法を用いて算定されるすべり土塊の平均加速度に比べて若干高めの値を示し、安全側の値となる。

5. おわりに

ロックフィルダムの堤体地震力は、地震動の周波数特性と堤体の固有周波数の関係によって大きく影響を受ける。動的解析手法として簡便なモード重畳法を用いることにより、堤体震度と地震動周波数特性の関係について検討した結果、堤体震度に影響を与える地震動の周波数領域における平均加速度応答スペクトルは堤体地震力と相関があり、このことから簡易に地震力が推定できることがわかった。

参考文献

- 1) 松本・安田・山邊、「フィルダム堤体に作用する地震力の評価」、土木研究所資料、第1997号、1991年
- 2) Chugh, A. K., "Dynamic Response of Embankment Dams", International Journal for Numerical and Analytical Method in Geomechanics, Vol. 9, pp. 101-124. (1985)

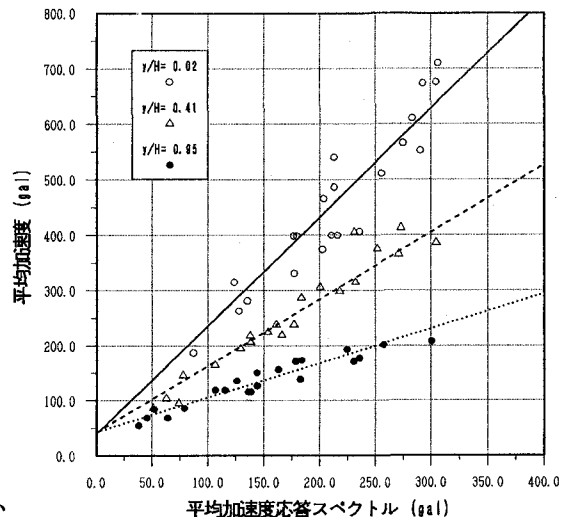


図-3 堤体に作用する地震力
と平均加速度応答スペクトル