

I-525

フィルダムにおけるすべり土塊の平均加速度

建設省土木研究所 正会員 山邊 建二、松本 徳久、安田 成夫

1. まえがき

地震時のフィルダムの安定性あるいは永久変形量を Newmarkの方法によって求めようとしたときには、想定されるすべり土塊の平均加速度の評価が重要になる。本報告は、ロックフィルダムを対象として1次元と2次元動的解析によりすべり土塊の平均加速度を算定し、解析手法の違いが与える影響や地震動の周波数特性が与える影響について検討した結果をとりまとめたものである。

2. 動的解析とモデルダム

動的解析は、1次元のモード重畳法、SHAKEM、2次元のQUAD-4、FLUSH の4個の手法を用いており、地震動は表-1に示す周波数特性の異なる8ケースの実測記録を基に、最大加速度が0.2Gとなるように引き延ばしたものをを用いている。地震動の継続時間はそのままである。

モデルダムの諸元は表-2に示すとおりである。ロックフィルダムの築堤材料の大半がロック材であることから、せん断弾性係数はロック材の繰返し三軸試験結果を基に設定した。なお、拘束圧の影響も考慮している。また、減衰定数はせん断ひずみに関わらず一律20%とする。

表-1 地震動の特性

ケース	観測地点	地震名	M	L(KM)	卓越周波数F	F/Fo
1	御所ダム	日本海中部地震	7.7	198.0	0.59 Hz	0.35
2	皆瀬ダム	宮城県沖地震	7.4	167.0	0.78 Hz	0.46
3	横山ダム	岐阜県中部地震	6.6	60.0	1.07 Hz	0.63
4	十勝ダム	日高山脈北部地震	7.0	62.0	1.61 Hz	0.95
5	田瀬ダム	日本海中部地震	7.7	264.0	2.39 Hz	1.41
6	御所ダム	岩手県中部地震	6.6	69.0	3.20 Hz	1.88
7	三保ダム	伊豆半島沖地震	6.7	56.0	4.15 HZ	2.44
8	三保ダム	神奈川県西部地震	5.8	12.0	6.59 HZ	3.88

(注) M:マグニチュード, L:震央距離, Fo:ダム固有周波数

3. すべり土塊の平均加速度算定法

図-1に示すようにすべり土塊は天端中央を通る円弧と仮定する。すべり土塊の平均加速度 a は、各要素の水平加速度を基に式(1)から算定する。添字の i は要素番号を表しており、 m_i は要素重量、

$$a(t) = \Sigma(m_i \times a_i(t)) / \Sigma m_i \quad \text{----- 式(1)}$$

$a_i(t)$ は要素の水平加速度時刻歴である。なお、モード重畳法の場合はせん断力から得られる等価加速度を平均加速度としている。

鉛直動も考慮した場合、その影響を最も受けるのはダム基礎を通る円弧の平均加速度であり、その差が10%程度でしかないことが解析結果として得られたことから、ここでは水平動のみを考慮する。

表-2 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

4. 平均加速度分布

各動的解析手法のうちSHAKEMとQUAD-4による円弧すべり土塊の平均加速度 a と円弧高さ y の関係を図-2に示す。なお、平均加速度は時間の関数であり、ここでいう平均加速度は地震動の継続時間内における最大値を指している。平均加速度は、円弧高さが大きくなるほど小さくなる。ダム基礎を通るすべり土塊の平均加速度は、入力地震動の最大加速度とほぼ等しいかそれより小さくなり、最大卓越周波数の高い地震動ほど平均加速度は小さくなる傾向にある。ダム天端付近を通る円弧すべり土塊の最大平均加速度は、最大卓越周波数が0.59Hzであるケース1が最大

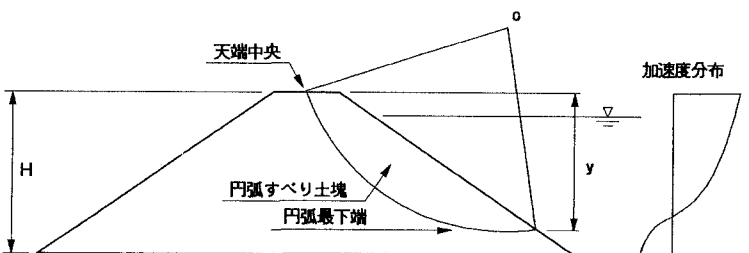


図-1 円弧すべり土塊模式図

となっている。堤体の固有周波数は約 1.7Hzであり、単純に考えると最大卓越周波数が固有周波数に最も近いケース4の平均加速度が大きくなると予想されるが、実際にはケース1に比べて約300gal程度小さい。地震動の最大卓越周波数だけでは天端での平均加速度の大小の傾向はつかめない。また、天端における平均加速度は基礎入力加速度に対して最大約 3.5倍の大きさになり、基礎での平均加速度は最大約 1.2倍となっている。

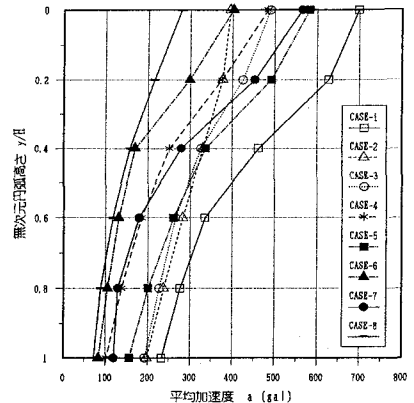
解析手法の違いについてみると、ここではSHAKEMとQUAD-4の結果しか記述していないが、1次元および2次元動的解析の平均加速度分布はそれぞれ同様の結果が得られている。平均震度は1次元動的解析の方が2次元動的解析に比べて大きめの値を示し、天端付近で平均して10~20%程度の差が生じる。ケース1の場合、SHAKEMの方がQUAD-4に比べて若干大きくはなっているがその差は2~3%程度でしかなく、またいずれの手法もほぼ近い結果が得られている。これはケース1の地震動が高周波成分をあまり有しておらず、堤体の固有周波数に近い領域に多くの振動成分があることを示している。

図-3は、天端の最大加速度で無次元化した平均加速度分布の平均を示している。図中にSeedら¹⁾とLuanら²⁾の結果を示す。2次元動的解析の分布はLuanらの結果とよく対応するが、Seedらの結果とは異なっている。この違いはせん断弾性係数の設定方法によって生じるものと考えられ、Seedらはせん断弾性係数が一定としているのに対して、Luanらは拘束圧の影響を考慮してせん断弾性係数を放物線近似で与えている。また、1次元動的解析の場合は天端の最大加速度を大きめに評価するため、無次元平均加速度分布は左側に大きくずれる結果となる。

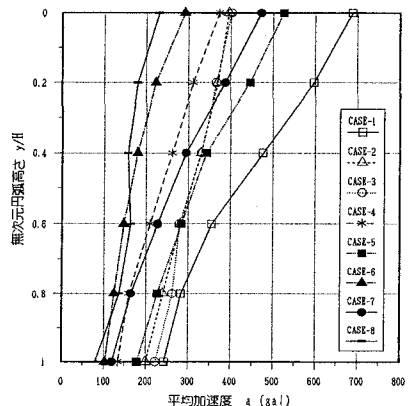
5. おわりに

すべり土塊の最大平均加速度の算定にあたって、高周波成分の割合が少なく堤体の固有周波数付近に振動成分が多い地震動に対しては、いずれの解析手法を用いてもほぼ同じ結果が得られる。平均的には1次元動的解析の方が2次元動的解析に比べて大きく評価し、天端付近で10~20%大きくなる。また、基礎を通るすべり土塊の平均震度は地震動の最大卓越周波数が高いほど小さくなる傾向にある。無次元平均加速度分布の平均値は1次元と2次元動的解析の違いによって異なり、この分布から平均加速度を推定する場合、天端の最大加速度をいずれの動的解析で算定するのが問題となる。

参考文献 1) F.I. Makdisi and H.B. Seed, "A Simplified Procedure for Computing Maximum Crest Acceleration and Natural Period for Embankments", EERC-Report No.19, University of California, 1977 2) M.T. Luan, C.P. Jin, G. Lin and H. Takemiya, "Parametric Studies on Dynamic Stability and Permanent Deformations of Cohesive Embankment", Procedure of Eighth Japan Earthquake Engineering Symposium, Vol.2, 1990



(a) SHAKEM



(b) QUAD-4

図-2 平均加速度分布

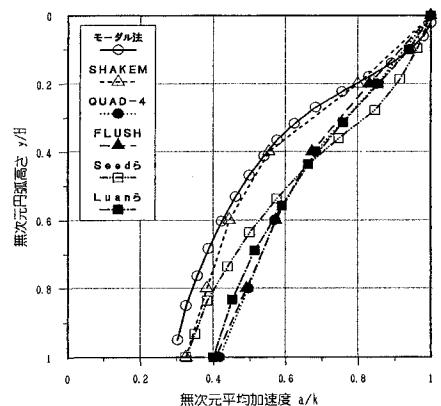


図-3 無次元平均加速度分布の平均値