

I-601 フィルダムの地震応答 -実測応答と1次元および2次元解析-

建設省土木研究所 正会員 松本 徳久、〇山辺 建二、安田 成夫

1. まえがき

地震動を受けたときのフィルダムの応答計算には1次元、2次元、3次元計算が考えられる。いま、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、堤体内各標高における加速度応答が所定の精度内で求められればよく、応力分布は必ずしも必要でない。本論文は、フィルダムにおいて実測された記録を基に1次元と2次元の応答計算を実施し、計算の精度や問題点を検討したものである。なお、ダムの動的変形係数は室内動的三軸試験から求めた。

2. 多層重複反射理論による動的解析

加速度応答は、①多層重複反射理論による1次元モデル¹⁾、②ダムの上下流方向長さを考慮した1次元モデル、③2次元モデルのQUAD-4の3種で計算した。②のモデルは Chugh²⁾によるもので図-1に示す。ここでは有限地盤であるダム横断面に適用するため、境界条件としてせん断応力のつりあいではなく、次式に示すせん断力のつりあいを考える。ここで、 τ はせん断応力、 L は有効幅で、添字の i は層順を表している。

$$\tau_i \times L_i = \tau_{i+1} \times L_{i+1} \quad \text{----- (1)}$$

なお、上記の3種の計算とも材料の変形性については等価線形を仮定している。また、②のプログラムについては著者が新たに作成したものである。

ダム天端の地震動を推定するには、まずダム基礎に対する分割した各層上端の応答倍率を算出する。そして、ダム基礎の地震動をフーリエ変換して所定の応答倍率を掛けてその結果を再び加えることにより、各層上端の加速度を得る。ただし、加速度値から各層のせん断ひずみを計算し、入力値である減衰定数、せん断弾性係数がせん断ひずみから推定される値と誤差が5%以上ある場合には、推定値を入力データとして再計算する。なお、せん断弾性係数、減衰定数は拘束圧による影響を考慮している。

3. 伊豆東方沖群発地震とダム地震動

平成元年6月30日から7月中旬の間に伊豆東方沖で起こった群発地震の最大規模の地震は、7月9日午前11時9分に生じ、網代測候所で震度IV (M 5.5) を記録した。

最大規模の地震時に得られたフィルダムの基礎と天端における上下流方向加速度時刻歴を図-2に示す。動的解析に用いる入力地震動はダム基礎の上下流方向の地震動である。ダム基礎のダム軸、上下流、鉛直方向の最大加速度は 19gal, 25gal, 17galで、ダム天端ではそれぞれ67gal, 251gal, 73galである。

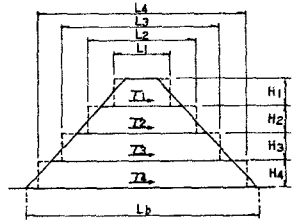
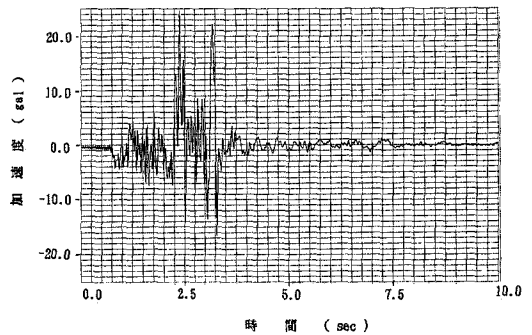


図-1 ダムのモデル図

(1) ダム基礎



(2) ダム天端

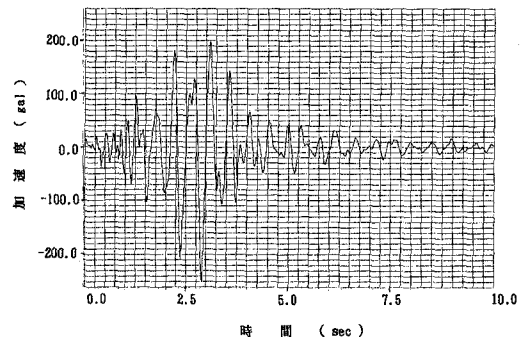


図-2 加速度時刻歴(上下流方向)

4. 動的解析結果

2. で述べた手法のうち②と③の結果を主に以下に示す。動的解析の入力データとなる築堤材料の物性値は原石山跡地より骨材を採取し、室内動的三軸試験を行った結果を基にしている。

ダム基礎の地震動から推定した天端の加速度時刻歴を図-3に示す。最大加速度はそれぞれ155gal, 159galであり、ほぼ同じ結果が得られた。ただし、実測値の251galに比べて両手法とも加速度値を小さく評価している。加速度の波形については③のモデルの方が実測の形状を良く表している。

図-4はダム天端加速度のフーリエスペクトルである。一次モードに着目すると実測のピーク値が周波数2.2Hzで約33gal/secであるのに対して、両手法では周波数2.0~2.2Hzで約18~19gal/secとほぼ同じ結果が得られた。ピーク値は小さくなっているが、周波数についてはほぼ合致しており、入力物性値が妥当なものであると判断される。また、高次モードについてみると③のモデルが二次モードまではほぼ合うのに対し、②のモデルでは二次モード以上での精度が良くない。

図-5はダム基礎に対する天端の周波数応答関数を示している。実測値では一次モードのピーク値が周波数2.20Hzで37.6であるのに対して、計算値では②のモデルが周波数2.20Hzで30.9、③のモデルが周波数2.00Hzで25.0となり、一次モードだけでみると②のモデルの方が近い結果が得られた。

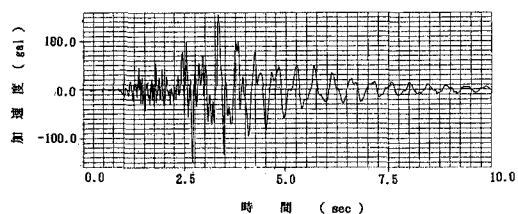
なお、①の完全1次元の重複反射理論によると、最大加速度は76galと小さく、フーリエスペクトルの一次モード周波数は1.7Hzと実測の結果からは低周波側に大きくずれ、周波数応答関数についても同様の傾向が見られる。①の手法は精度の面でかなり劣っている。

5. おわりに

有限地盤に対する重複反射理論は、2次元のQUAD-4に比べて高次モードの評価という面で精度が劣っている。しかしながら、解析上重要なポイントとなる一次モードについては精度よく評価できており、また天端の最大加速度の値も2次元とほぼ同じ結果が得られている。したがって、加速度等の最大値を推定する上で問題点は小さいものと考えられる。2次元モデルに比べて入力データが少なく、計算時間も短くてすむというメリットを考えあわせると、この一次元の有限重複反射理論による手法は有効でかつ簡便な動的解析手法といえる。

参考文献 1) P.B.Schnable, J.Lysmer, and H.Bolton Seed, "SHAKE-a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", EERC Reprt No.72-12, University of California Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California, December 1972
2) Chugh, A.K., "Dynamic Response of Embankment Dams", International Journal for Numerical and Analytical Method in Geomechanics, Vol.9, pp.101-124.(1985)

(1) ②の1次元モデル



(2) ③の2次元モデル

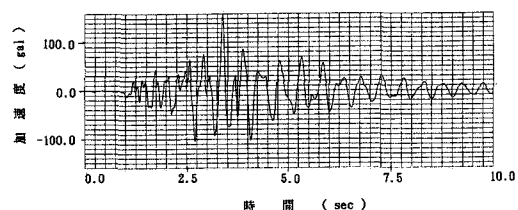


図-3 天端加速度時刻歴計算結果

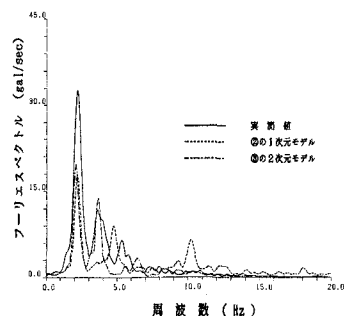


図-4 フーリエスペクトル

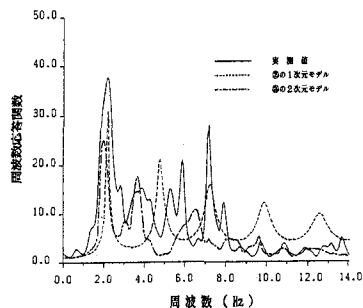


図-5 周波数応答関数