

樽水ダムの地震応答特性について

東北大学大学院 学生員 ○福井 考
 東北大学工学部 正員 柳沢 栄司
 東北大学工学部 佐々木 静男

1. まえがき

現在するフィルダムの地震時挙動を知るために著者らはセンターコア型のロックフィルダムである樽水ダムにおいて地震観測を行っており、既にその一部を報告⁽¹⁾しているが、その後新たに観測・解析した地震も含めて明らかになった樽水ダムの振動性状を報告するとともに、その成果を取入れた三次元有限要素モデルを用いて地震応答解析を行なった結果について報告する。

2. 地震観測および解析

樽水ダムは仙台市の南約10kmにある、堤高430m、堤長256.5m、堤頂幅10.0m、堤体積55万 m^3 のセンターコア型のロックフィルダムである。左岸側に延長1200mの止水工があることが特徴となっている。最高高を示すのはこの部分である。中央断面での堤高は385mである。マツの加速度型地震計を図1.に示すように地山部分と堤体4ヶ所の計5ヶ所に設置した。水平動については堤軸直角方向の振動を測定するようにし、地山と堤頂では上下動もあわせて測定した。

解析した5ヶ所の地震のフーリエ解析の結果から求めた堤頂での地山に対する加速度振幅比を水平動について示したものが図2.である。それぞれの地震の地山の卓越周期は異なっているが、振幅比は1ヶだけ4.1Hz(0.24sec)で最大となっている地震があるものの、他の4ヶの地震ではいずれも3.7~3.8Hz(0.26~0.27sec)で最大となっており、これが堤体の堤軸直角水平方向の一次固有周期であると考えられる。二次周期はおよそ5.1Hz(0.20sec)

図1. 樽水ダム

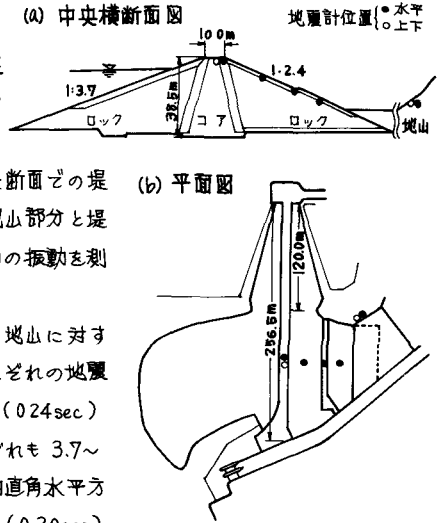


図2. 水平加速度振幅比

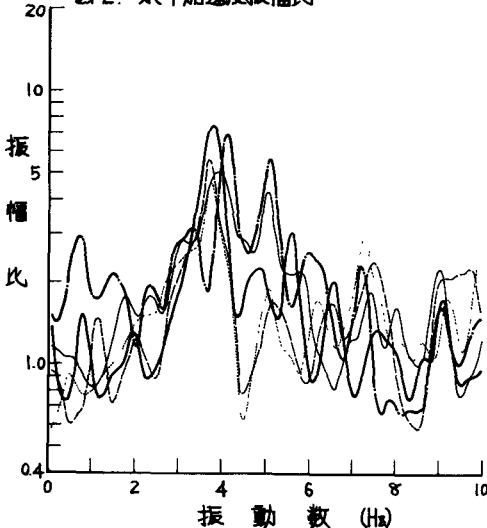
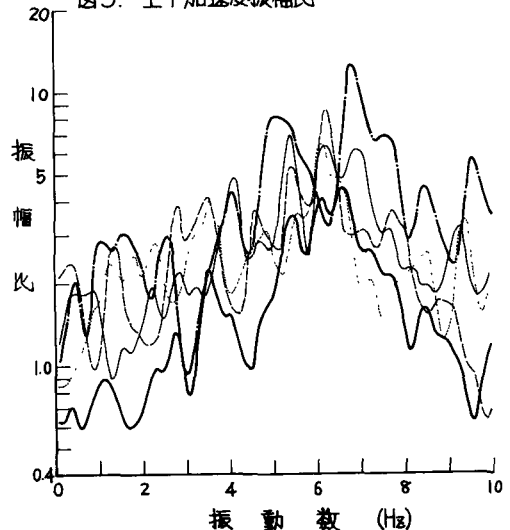


図3. 上下加速度振幅比



であると考えられる。この振幅比の図から $\sqrt{2}$ 分の1法によって求めた一次の減衰定数は5ヶの地震の平均で0.057であり、基盤加速度が大きくなるにつれて減衰定数も増加していくという傾向がみられた。堤頂での地山に対する上下動の加速度振幅比を示したものが図3である。水平動のときはほどのピークが明確ではないが、5.4~6.8Hz(0.15~0.19sec)の範囲にそれぞれのピークが存在しており、これが上下動の一次固有周期であると考えられ、その中心はおよそ6.2Hz(0.16sec)である。

3. 三次元有限要素法による地震応答解析

この樽水ダムを模した三次元モデルを用い、モーダルアナリシスを使って有限要素法による地震応答解析を行った。モデルの節点数は104、四面体要素数は321、自由度数が123である。

まずこのモデルの一次の固有周期を観測から求めた水平一次の固有周期と一致させた。固有周期に影響を与える物性値は、ヤング率 単位体積重量 ポアソン比であるが、このうち後者2つについては「工事誌」を参考にして定め、ヤング率を調整し、コア材については50,000% μ 、ロックフィル材については95,000% μ とすることにより一次固有周期を0.262secとした。上下動の一次周期は計算では0.194secとなり、観測から得られた値よりも大きめであるが、ほぼ妥当な値であるといえよう。

地山部分で観測された加速度記録が堤体の基盤の動きを代表するものと考えて、堤軸直角水平および上下の2つの加速度記録を入力波として用地震応答計算を行なった。この計算では10次のモードまでを合成している。観測値の加速度応答倍率から求めた一次の減衰定数は0.057であったが、この値をそのまま計算に用いると過大な応答値を与えてしまい、ここでは一次の減衰定数として0.15を用いた応答計算例を図4に示した。観測から求めた減衰定数と計算に用いる減衰定数との間にこのような差異が生じる原因は、この計算で入力波として用いた地震の減衰定数が0.091であったということの他にエネルギーの地下透散などと関係があるのではないかと考えられる。図4には堤軸直角方向の水平加速度についてのみ示しているが、実測値と計算値とは比較的良好に一致しており、この解析手法の有用性を示しているといえよう。またこの解析手法は等価線形法を用いて歪量に応じて要素の剛性を変化させることにより、強震動に対する応答計算も行なうことができる。なお本研究の一部は文部省の科学研究費補助金一般研究(C)によって行なわれたことを附記する。

参考文献：(1) 福井・柳沢・佐々木、土木学会誌33回年次 (2) 宮城県土木部、「樽水ダム工事誌」1977

図4 地震応答計算例(水平動)

