

ロックフィルダム の 常時微動測定

東京大学生産技術研究所 片山恒雄

大成建設 K K 広野正道 ○堀米昇士朗 浜田政則

1. まえがき

近年、100m をこす比較的高いロックフィルダムの建設が各方面において行われているが、これの地震時における安全性の検討は未だ充分になされていない。筆者等はロックフィルダムの地震時における挙動の解析を有限要素法を使って弾性的に行い、計算に用いる堤体材料の弾性係数の値およびその分布が解析結果に著しく影響する事が判った。

地震時におけるロックフィルダムの堤体材料の動的な弾性係数の値やその分布を推定する一つの方法として、地震時の卓越振動数及びその振動モードを利用することが考えられる。

岡本、河上、田村等による二つのアースダムの地震観測によれば振幅の増大は堤頂付近において著しくこのような振動モードはダム内部の弾性係数をダム表面近くの弾性係数よりも相当大きく仮定しないと得られないようである。

比較的高いロックフィルダムに関しては未だ充分な地震記録が得られていない。そこでいくつかのロックフィルダムについて常時微動観測を行い、ロックフィルダムの動的特性を解析した。勿論、この場合常時微動より得られる諸特性が堤体材料の歪のきわめて小さい領域のものであることに留意する必要があるが常時微動観測は地震観測にくらべて著しく容易であり、測点も豊富にかつ任意に選定できる利点がある。

本報告では神奈川県相模川の本沢ダム（堤高 75 m）岐阜県庄川の御母衣ダム（堤高 131 m）の結果について報告する。

2. 測定方法

常時微動観測の測点は、堤頂上に堤頂中央より右岸ないし左岸へ約 4 ケ所、下流側斜面上に堤頂中央より河床へ向って約 5 ケ所合計 9 ケ所程度設置し、原則的に 4 ケ所を同時測定して振動モードを推定出来るようにした。振動測定方向は各測点ともダム軸直交方向及びダム軸平行方向の二方向とし、堤頂中央の測点では上下振動もあわせて記

録した。測定は固有周期 2.0 秒又は 1.0 秒の速度型換振器を用い約 3 分間行った。採取した記録を積分増幅器により変位記録に変換し、データレコーダへ収録した。

図-2 に測点配置の一例として本沢ダムを示す。

3. 解析方法

データレコーダに収録した記録を本沢ダムについては 0.5~25Hz、御母衣ダムについては 0.5~10Hz のバンドパスフィルター

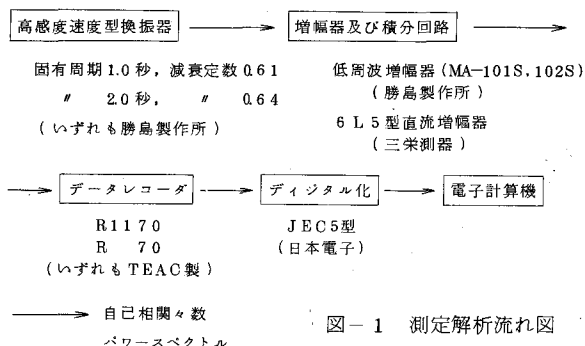


図-1 測定解析流れ図

に通した後 0.02秒間隔で前者は 1,800 個、後者は 2,000 個デジタルサンプリングを行った。

これらのデータから自己相関々数を計算し、更にパワースペクトルを算定した。パワースペクトルの計算ではウィンドウとしてHAMMINGの方法を採用した。ダムの卓越振動数は各測点のパワースペクトルのピークより推定したが、より明確に卓越振動数を推定するために河床堆積上に設けた測点 No. 9 の記録のパワースペクトルに対する各測点のパワースペクトルの比を計算し、その平方根をとって周波数応答関数の絶対値を求めた。

$$|H_j(i\omega)| = \sqrt{\frac{S_j(\omega)}{S_9(\omega)}} \quad (1)$$

$S_9(\omega)$: 河床堆積上の測点 No. 9 のパワースペクトル

$S_j(\omega)$: 測点 No. j のパワースペクトル

$H_j(\omega)$: " の周波数応答関数

パワースペクトル又は周波数応答関数のピークより卓越振動数を推定し、この振動数に対する各測点のパワースペクトル値の比から振動モードを推定した。

4. 測定結果

1) 本沢ダム

本沢ダムの常時微動記録の一部を図-3に示す。この内、測定記録(1)は堤頂の測点のダム軸直交方向の記録であり、測定記録(2)はダム軸平行方向の記録である。又測定記録(3)は下流側斜面の測定のダム軸直交方向の記録であり、測定記録(4)はダム軸平行方向の記録である。これ等の振動波形から次に挙げるような傾向が認められる。

① 堤頂中央の測点 1 における振幅はダム軸直交方向で最大 0.1μ 程度、ダム軸平行方向で最大 0.07μ 程度であり、他の土木構造物に比較しきわめて微小である。

② どの測点においてもダム軸直交方向の振動振幅はダム軸平行方向の振幅より大きくダム軸直交方向

図-2 本沢ダム測点図

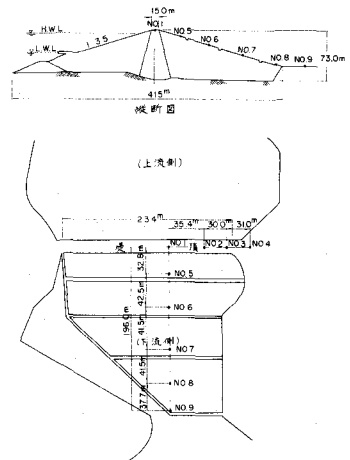
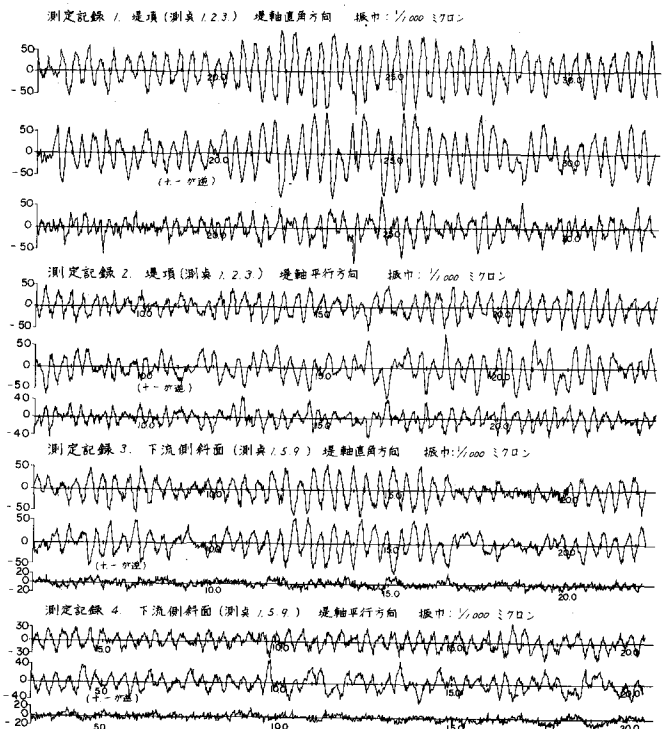


図-3 本沢ダム常時微動記録



により振動しやすい事を示している。

③ 下流側斜面の記録(測定記録(3),(4))によればダム基盤の河床堆積上の測点 $\#9$ では強いランダム性をもった波形となっており、振幅も 0.02μ 程度で小さい。これに対し、堤頂(測点 $\#1$)およびこの付近の測点($\#5$)における波形は明らかにダムの固有周期によるとみられる振動成分を持ち、振幅も大きく、ダムによる増幅を示している。

④ 堤頂及びこの付近の測点($\#1, 2, 5$)の振動振幅はほぼ同じ程度の大きさである。

本沢ダムの下流側斜面の測点 $\#1, 5$ 及び測点 $\#9$ についてパワースペクトルを計算した例を図-4に示す。

主なるピークはダム軸直交方向、ダム軸平行ともに 1.25 秒、 0.36 秒の2つである。 1.25 秒のピークでは堤頂の測点 $\#1$ と河床堆積上の測点 $\#9$ とのパワースペクトルの比は小さいが、 0.36 秒のピークではこの比が著しく大きい。従ってダム軸直交方向、ダム軸平行方向のいずれの場合でも、1次

振動周期は 0.36 秒と思われる。 1.25 秒のピークにおいて測点 $\#5$ のパワースペクトル値が大きい理由は計測上問題があったのか又は実際にこの状態で振動しているのか明確でない。前述の方法により、各測点のパワースペクトルの値から1次振動周期 0.36 秒に対する本沢ダムの振動モードを算定し図-5に示す。各測点のパワースペクトルや算定されたダムの振動モードより一般的な性質として次のことが挙げられる。

① ダム軸直交方向、ダム軸平行方向とも振動モードの振幅の増大は堤頂中央付近の測点 $\#1, \#2, \#5$ 等において著しい。下流側斜面中腹の測点 $\#6, \#7, \#8$ では振幅が小さくこの付近では余り増幅作用がない。このように堤頂近傍において著しく増幅される性質はアースダムの地震観測より得られた定性的な傾向と一致する。

② 河床堆積上の測点での変位を入力と考え、ダムの固有周期 0.36 秒に対する堤頂中央の測点 $\#9$ での増幅率はダム軸直交方向で約2.5倍、ダム軸平行方向で約1.7倍である。

2) 御母衣ダム

御母衣ダムの常時微動記録の中で、河床堆積上の測点 $\#9$ に対する周波数応答関数を算定した一例を図-6に示す。

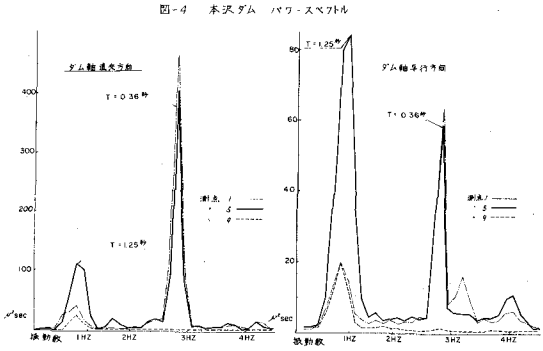
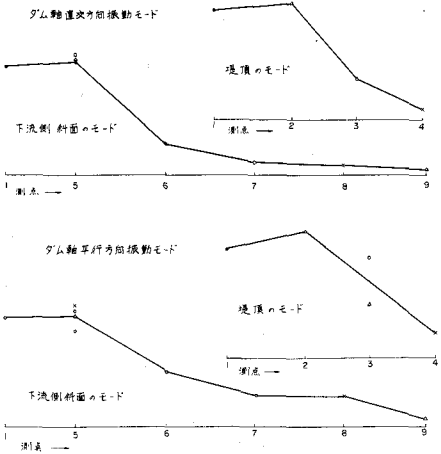


図-5. 本沢ダム 基本振動モード



堤頂中央の測点

№1は一点鎖線、

下流側斜面中腹の

測点№6は実線で

示した。この周波

数応答関数の主な

ピークは、ダム軸

直交方向で0.62秒、

0.35秒、0.30秒、

0.24秒、0.18秒、

ダム軸平行方向で

0.53秒、0.35秒で

ある。

ダム軸直交方向の0.62秒と0.30秒のピークについて前述したように振動モードをもとめたのが図-7である。

ここで実線は0.62秒、点線は0.30秒のピークに対するモードである。0.62秒に対するモードは堤頂近くにおいて急激に振幅が増大しており、これがダム軸直交方向の1次振動モードであることが推定される。又、0.30秒に対するモードを見ると堤頂中央の測点№1の振幅よりも斜面中腹の測点№6、№7の振幅の方が大きい。これは斜面途中で振動方向の反転するダム軸直交方向の2次振動モードであるように思われる。

5. 結 び

① 本沢、御母衣両ダムの常時微動観測及びその解析結果より、常時微動観測からもロックフィルダムの動的特性を把握するに有益な情報を得る可能性を見い出すことが出来た。

② 御母衣ダムのようにパワースペクトルや周波数応答関数に複数のピークを持つ場合にはダムの固有周期を推定することが困難であり三次元有限要素法などによる解析値との対応を考える必要がある。

③ 常時微動は歪の非常に小さい領域での微振動であるのでこれを地震時における解析に利用するためには、地震観測による結果との対比が必要である。

6. 謝 辞

ロックフィルダムの常時微動観測を許可され、その結果の発表を許していただいた電源開発KK、神奈川県企業庁の関係各位を始め測定の際に協力していただいた若築建設KK（当時中央大学在籍）の大沢保二君他中央大学学生の方々に感謝の意を表する。

図-6 御母衣ダム周波数応答関数

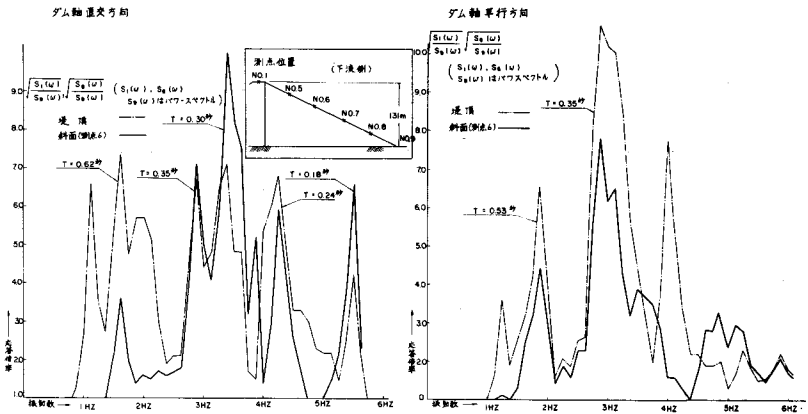


図-7 御母衣ダム下流側斜面の振動モード

ダム軸直交方向

