

# ロックフィルダム模型の動特性

Dynamic Characteristics of Model of Rockfill Dam

韓 国城\*・田村 重四郎\*・加藤 勝行\*

Guo cheng HAN, Choshiro TAMURA and Katsuyuki KATO

## 1. 前 言

著者らは、ロックフィルダム模型の弾性波伝播速度分布について報告した<sup>1)</sup> 实在ダムで行われた地震観測の結果とゼラチンで作成した模型の振動実験結果との対比によって、堤体内で剛性が様でないことはすでに推測されていたことであり<sup>2)</sup> 实在ダムの試験からも認められていたことであるが、模型ダムで実測した結果、模型ダムの高さが1.4mであるにもかかわらず、堤体内部の弾性波伝播速度は場所によって異なること、したがって、堤体の歪みのレベルの低い範囲ではあるが、模型内部の剛性も場所によって違うことが明らかになった。このことは模型実験結果を解析する上で、基本的なものである。振動モードは構造物の動特性を表す重要な要素であり、動的解析を行う際の一つの基本資料である。著者らは、大型ロックフィルダム模型の振動特性を調べているが、本報告では主に振動実験で得た自由振動モードと堤体内部の剛性の非一様性との関係について行った研究を報告する。

## 2. 振動モードの測定

今回行った振動実験の対象となるロックフィルダム模型の寸法と計器の配置は図-1に示してある。模型の材料は玉砂利で、粒径は2-6cm、ダム模型の高さは1.4m、勾配は両側とも1:1.8、堤頂幅0.14m、厚さは2

mの二次元模型である。模型は人力で築造し、特別に締め固めはしていない。模型を振動台の上に築造し、正強波で加振し、堤体表面ならびに内部に設置した加速度計により、共振時の各測点の変形を求め、一次振動モードを得た。図-2は共振時の波形の一例であり、図-3は実験で得られた一次振動モードである。

共振実験の結果によると、図-4、図-5および図-6に示すように、模型堤頂の倍率と減衰比は入力加速度レベルによって変化する。すなわち入力加速度レベルの増加によって、堤頂の倍率は減少し、減衰比は入力レベルの増加と共に増大する。しかしながら図-3からこの模型の一次振動モードは、入力加速度の範囲(22.1-50ガル)では、入力加速度レベルによって明瞭な変化は見られず、またフィルダム内部の剛性を常数と仮定して、有限要素法で求めた振動モードとは異なった型を現していることがわかる。共振振動数の入力加速レベルによる変動は僅かで図-6に示すとおりである。

## 3. 振動モードの数値計算

### 3.1 ポアソン比

模型内のS波とP波の伝播速度からポアソン比を計算すれば、その値は0.33-0.43の間で変化する。ダム内部のポアソン比も場所によって多少変化があると思われるが、測定精度の点より明瞭でないため、振動モードの

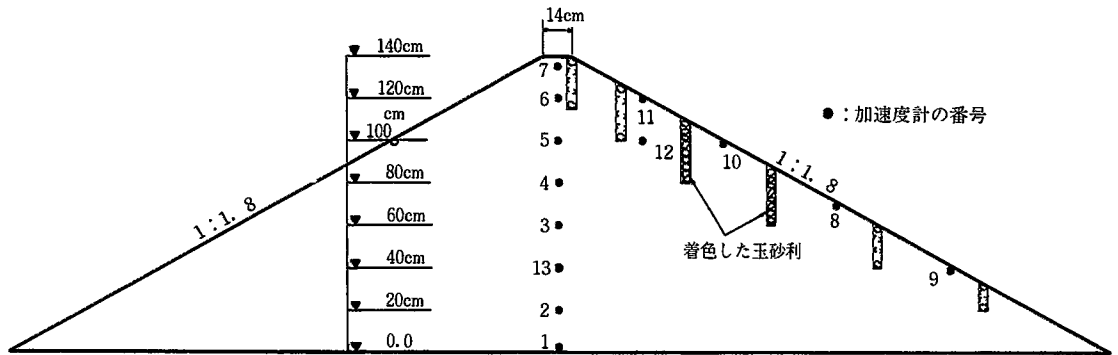


図-1 測定計器の配置

\*東京大学生産技術研究所 第1部

研究速報

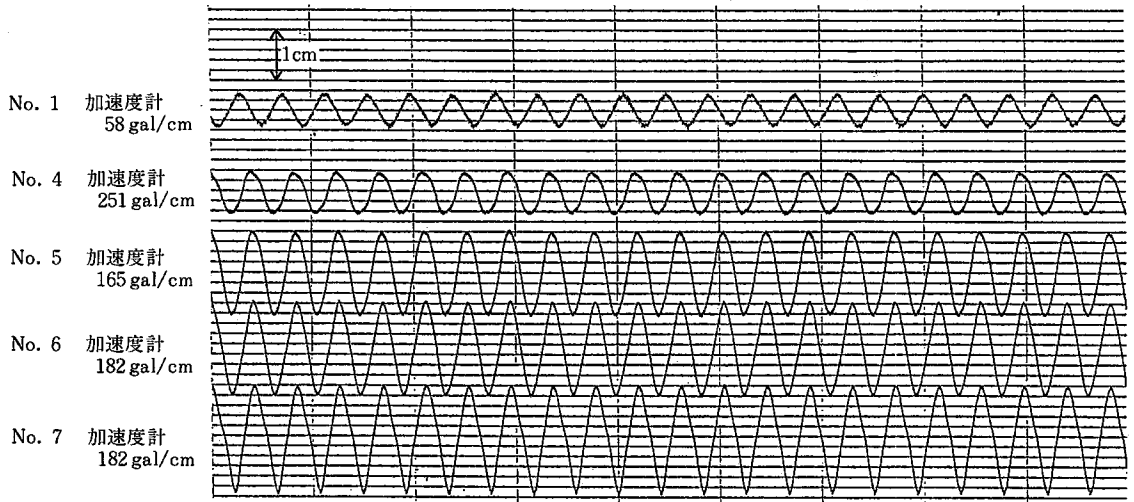


図-2 共振時の波形

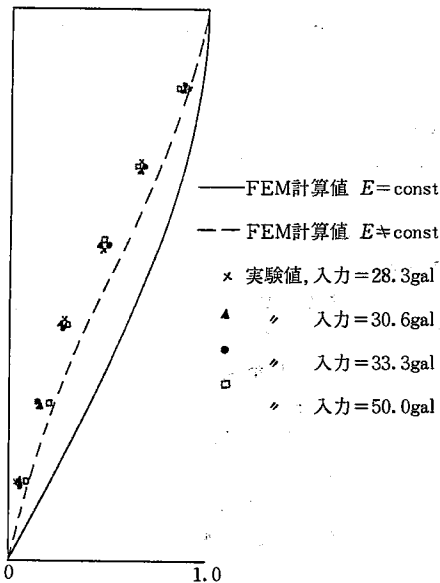


図-3 振動モード

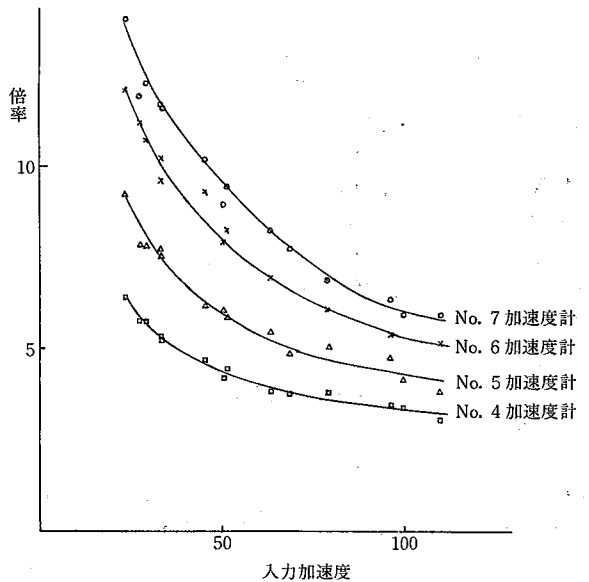


図-4 入力加速度と堤頂倍率

計算時では、その値を0.4とした。

3.2 ヤング率  $E$  とせん断弾性係数  $G$

模型内部の弾性波伝播速度の実測値<sup>1)</sup> から算定されたヤング率  $E$ 、せん断弾性係数  $G$  と模型中心線上の深さとの関係を図-7に示した。これによると、模型底部のヤング率  $E$  (あるいはせん断弾性係数  $G$ ) は模型堤頂近辺の約3倍になる。図-7の関係を式で表すと、次式になる。

$$E = 480 + 670 Z^{1.7} + 236 Z^{3.4}$$

ここで、 $Z$  はダム堤頂からの深さで、単位は  $m$ 、 $E$  は  $kg/cm^2$  で現す。

また、堤体内部各点の剛性分布は図-8のようになる。堤体内部の剛性分布は弾性波伝播速度分布と同じく、堤頂から深くなるほど大きくなり、また堤体中心から法面表面に近づくほど小さくなるのがわかる。

3.3 振動モードの計算

上述の模型を対象にして、有限要素法で振動モードを計算した。比較のため、実験で得られた堤体内部の剛性分布をもつ模型のほか、堤体内部の剛性が一樣であるモデルについても固有振動モードを計算した。

固有値問題の解析は次式で行った。

$$[K]\{\phi_n\} = \omega_n^2 [M]\{\phi_n\}$$

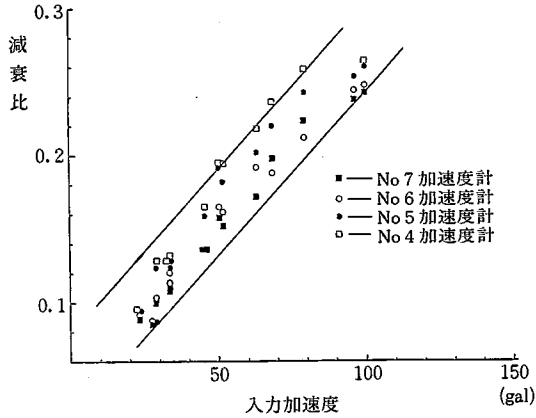


図-5 入力加速度と減衰比

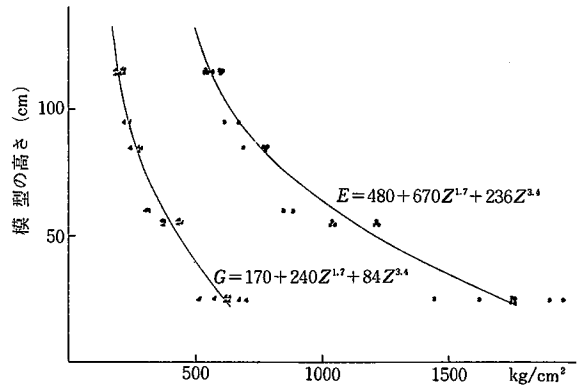


図-7 EとGの分布

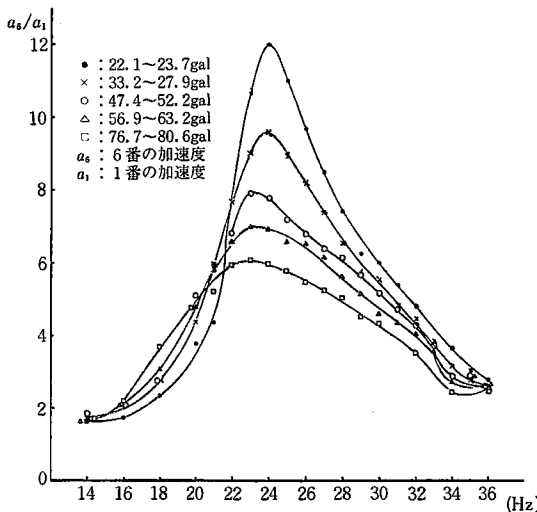


図-6 共振曲線

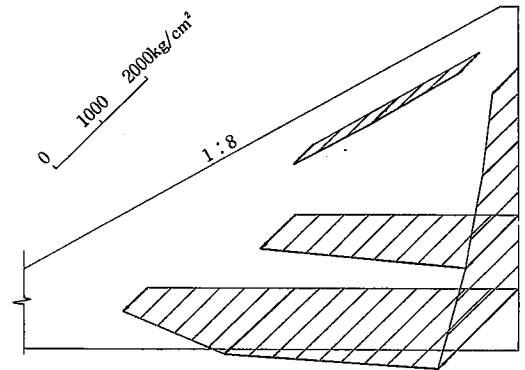


図-8 堤体内部剛性分布

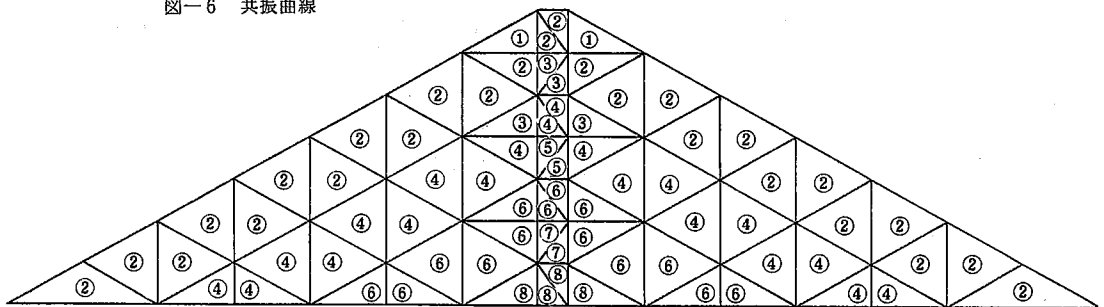


図-9 要素分割

式中,  $[K]$  は剛性マトリクス,  $[M]$  は質量マトリクス,  $\omega_n$  は  $n$  次の円振動数,  $\{\phi_n\}$  は  $n$  次の基準関数を示している。

要素分割は図-9に, また各要素における剛性は表-1に示してある。図-10(a)~(c)には一次から三次までの自由振動モードを示してあるが, 一次モードは

水平振動で, 二次は鉛直振動モード, 三次は水平振動モードである。計算で得られた模型断面中心線上における自由振動モードは実験で得られたモードと共に図-3に実線(剛性: 一樣)および点線(剛性: 実測値)であらわしてある。

研究速報

第 1 表

番号	$V_p$ (m/s)	$\nu$	$E$ kg/cm <sup>2</sup>	$G$ kg/cm <sup>2</sup>
①	250	0.4	480	170
②	256	0.4	500	179
③	276	0.4	580	207
④	308	0.4	722	258
⑤	345	0.4	906	324
⑥	390	0.4	1158	413
⑦	420	0.4	1342	479
⑧	478	0.4	1739	620

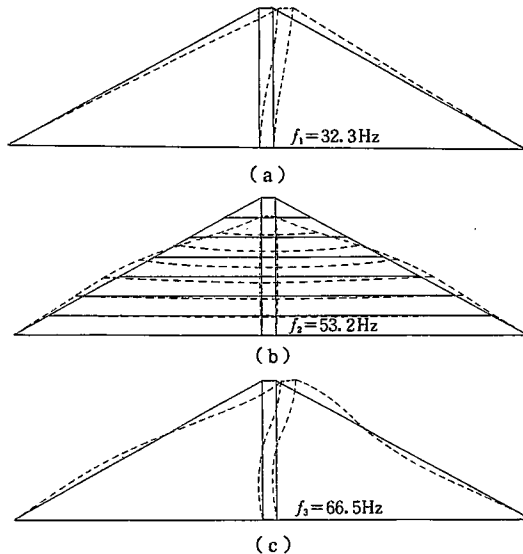


図-10 振動モード

4. 実験結果の検討

実測した一次振動モード（以下実測モードと呼ぶ）と実測した剛性に基づいて算定した一次振動モード（以下計算モード1と呼ぶ）を比較した場合、図-3からわかるように、計算モード1が実測モードより全体として、振幅の分布が大きくなっていることがわかる。次に、堤体材料の剛性が一樣である場合の一次振動モード（以下計算モード2と呼ぶ）も併せ比較した場合、計算モード2は他の2者に比して定性的に全く異なった種類のモードであることが推定される。モードの形状からして、実測モードと計算モード1とは同種類のものであると考えよう。堤体内の剛性の分布が前の報告<sup>1)</sup>にのべたように、特に急激な変化の伴ったものではないことを考慮すれば、このことは計算モード1に対する堤体内の力学的状態が模型のそれをほぼ正しく表していることを示している。

次に実測モードと計算モード1との間に差異がみられ

る理由として、1) 実測の堤体内の波動の伝播速度は測定区間の平均値であり、必ずしも正確に捉えられていないこと、2) 図-6にみられるように堤体材料が完全な弾性体ではなく、力学特性が歪み依存性をもつこと、3) したがって、共振実験時の歪みレベルと弾性波の試験時の歪みレベルとは異なり、前者のそれは後者の場合に比して著しく大きな歪みになっていること、4) モードの形状によっても剛性の分布が変わることなどがあげられる。実測モードと計算モード1とを概括的に比較した場合、共振実験時の堤体内の剛性は、表-1に記してある剛性に比して、堤体下部では大きく、上部では小さい値をとっているものと推測される。

次に、共振振動数を比較する。計算モード1における共振振動数は32.3 Hzであり、共振実験のそれは24~25 Hzであり、加速度レベルの変化による共振振動数の変化は比較的小さい。基本振動モードの形状からみた場合、実測モードと計算モード1とは剛性の堤体内の分布についてはほぼ正確に評価していると考えられるが、共振振動数から推定されるその絶対値の差異は、前述モードの差異でも述べた歪み依存性が主な理由と考えられる。

5. まとめ

著者等が振動実験を行っている高さ1.4 mの玉砂利よりなるロックフィルダム模型の振動特性について、次のようなことがわかった。

- (1) ダム模型内部の剛性を弾性波伝播速度から求めた結果、底部の剛性は堤頂の剛性の約3倍の値を示した。また、この剛性分布から計算した振動モードは実験で得られた振動モードとよく類似している。
- (2) 弾性波伝播速度から求めた堤体内剛性に基づいて算定したダム模型の固有振動数は実験値のそれより約30%大きい値となっている。
- (3) ダム模型の減衰比および堤体底部に対する堤頂の倍率は入力加速度レベルと明瞭な関連をもっているが、実験範囲内では、自由モードに対する影響は明瞭ではなかった。

終わりに、数値計算に当たっては(株)熊谷組 木戸義和氏にお世話になったので、ここに記して謝意を表します。  
(1981年9月12日受理)

参考文献

- 1) 韓国城・田村重四郎・加藤勝行：“ロックフィルダム模型の動特性に関する実験的研究”，生産研究，33，10（1981）
- 2) 田村重四郎・韓国城・加藤勝行・酒井清武：“ロックフィルダムの模型の振動破壊について”，第16回地震工学研究発表会講演概要，1981. 7.
- 3) 岡本舜三；「耐震工学」，オーム社，1971.