

宅地開発公団 正会員 越智 武雄
 東京工業大学 正会員 大町 達夫
 東京工業大学 正会員 時松 孝次

1. はじめに

我が国のダム地点は、狭隘な渓谷でしかも地質条件が複雑な場合が多いため、ダムの耐震性はこれらの効果を適切に評価し検討される必要がある。この観点から3次元有限要素法を用いてダムの動的解析を試みた例もあるが、線形弾性問題として扱うにしても膨大な時間と労力を伴うため実用段階に至っていない。著者らは最近ダムの立体的振動モードを簡単に算定する手法を開発した。本手法は、ダムを一種の変断面ばりと見なし、簡略化した運動方程式を、有限要素法を適用することにより解くものであり、均一型アースダムモデルに対し弾性論に基く通常の3次元有限要素解と本手法による簡易解を比較したところ、本手法は実用上十分な精度をもつことが確かめられた。¹⁾²⁾ 本報告は、実在ダムの正弦波起振実験によって観測されたダムの固有振動数、固有振動形および起振に対する応答を本解析手法でシミュレートし、比較検討を加えたものである。

2. Bouquet Canyon Dam の正弦波起振実験

Bouquet Canyon Damの正弦波起振実験結果が、W. O. Keightley によって報告されている³⁾。このダムは、上流面にコンクリートスラブをもつ表面遮水壁型アースダムで、その概要および断面は表-1、図-1に示す通りである。起振実験は、右岸から約220mのダム頂上に掘り付けた4台の起振機からの正弦波入力によってダムを上下流方向に振動させ、ダム頂とノリ面に設けた14地点で上下流方向変位および起振力と変位の位相差を測定している。

ダム長	ダム高	ノリ面勾配	せん断波速度
363m	66.4m	1:3 (上下流)	387m/sec (深さ8.5m地点)

表-1 Bouquet Canyon Dam の概要

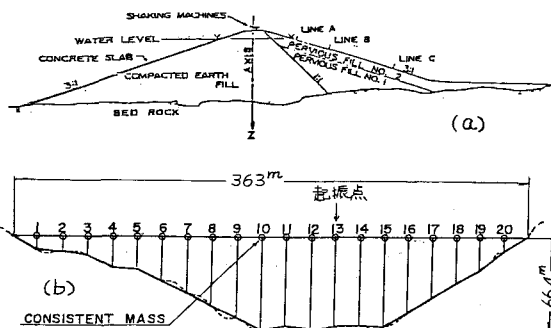


図-1 Bouquet Canyon Dam 断面図

3. 起振実験のシミュレーション

本解析では、Bouquet Canyon Dam を図-1(b)に示したように、20のダム軸直交断面でダムを21要素に分割し、自由度20でダム頂上20点の上下流方向振動モードを算出した。

解析にあたり、ダムのせん断剛性 G について、ダム全体にわたリ一定の場合(G -定モデル) およびダム頂からの深さ z に比例する場合(G_0z モデル)の2通りの仮定をした。また、ダム軸横断面内の振動形に図-2の様な、ダムを2次元せん断ばりとして考えた時の振動形を使用している。

3.1 固有振動形

図-3は、Bouquet Canyon Damのダム軸方向1次および2次振動形について、観測結果と本解析結果およびFrazierによる111自由度

の3次元有限要素解を比較したものである(ダム深さ方向振動次数は1次)⁴⁾。この図より、ダムの固有振動形

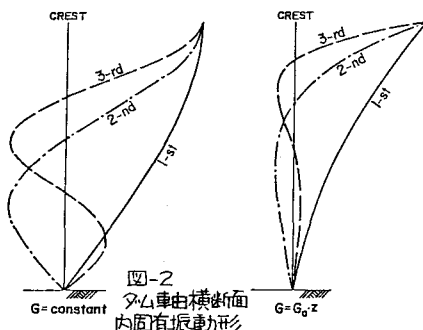


図-2
ダム軸横断面
内固有振動形

に関して、本解析結果は3次元有限要素法による解と同程度の精度で観測結果とよく合うことがわかる。

3.2 固有振動数および共振曲線

図-4は、同タムの固有振動数と図-1で示したタム頂の点16における共振曲線の比較をしたもので、上段は観測結果、中下段は解析結果である。固有振動数は矢印で示し、 (m,n) は振動モードで、 m がタムの深さ方向、 n がタム軸方向の次数である。

基本振動数は、 G -定モデルで17%程度、 G_0 モデルで9%程度それぞれ観測値よりも高めとなっているが、この誤差はソリ面勾配が急になると改善される方向にある。また G_0 モデルでは、高次までその固有振動数が観測値とよく一致している。

解析による共振曲線は、計算された固有振動数と固有振動形を用いてモード重ね合わせ法により求めた。

各振動モードの減衰定数は4.0%（一定）とした。

また、重ね合わせたモードは、 $(1,1)$ 、 $(1,2)$ 、 $\dots$ 、 $(1,7)$ の7モードである。

図-4より、共振曲線は、計算される固有振動数の誤差によって G -定モデルでは横方向に伸びているが、両モデルともその形状は観測値とよく合い、各共振点での応答状態をよく説明していることがわかる。応答変位振幅は、 G -定モデルでは観測値よりも20%程度低めに、 G_0 モデルでは観測値の約3倍となっており、実際の振幅は両モデルの中間にある。

4. まとめ

本解析手法により、フィルタムの振動モードに関して比較的精度のよい解が得られること、起振に対するタムの応答状態も容易に求められることがわかった。今後、深さ方向振動形や剛性の取扱いをさらに検討することにより、変位振幅などに関してもより精度のよい解を得られるものと考えられる。

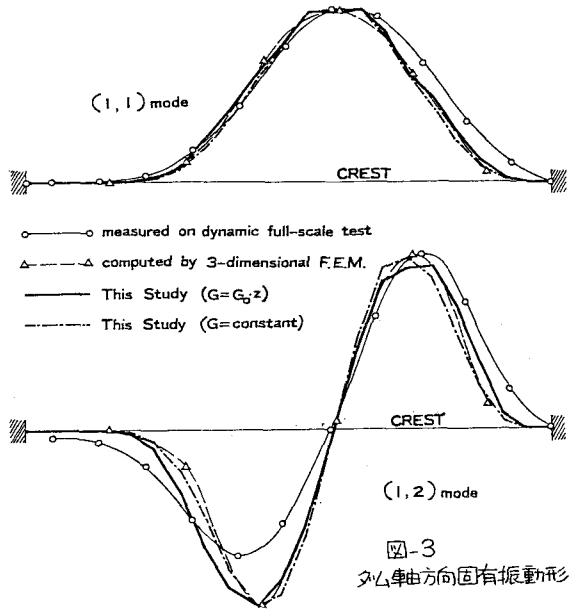


図-3
タム軸方向固有振動形

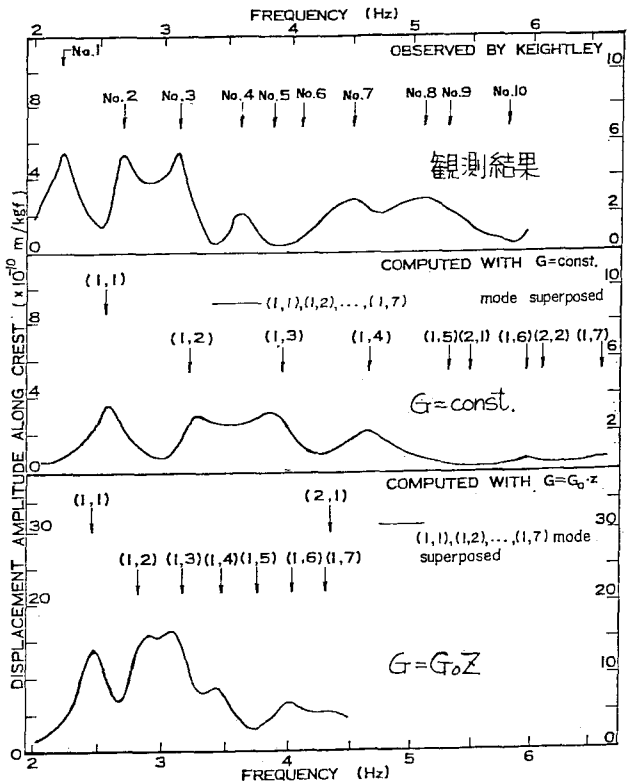


図-4 共振曲線

〈参考文献〉 1), 2) 大町ら：東工大土木工学科学研究報告 No.26, 1980年7月、および同No.27, 1980年12月

3) W.O. Keightley: VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF AN EARTH DAM, B.S.S.A., Vol. 56, No.6, Dec. 1969

4) G.A. Frazier: Vibration Characteristics of Three Dimensional Solids with Application to Earth Dams, ph. D. Thesis

Submitted to Montana State Univ., 1969