

東京工業大学 総合理工学学生員 曾我 誠彦

東京工業大学 総合理工学正会員 大町 達夫

ジョン・ビーエル・ジャーナル

1 序

著者は、フィルダムの三次元的解析に関する実用的手法の開発を行って来た。本報では、実ダムの線型地震応答解析を行った結果につき報告する。但し、振動方向は、上下流方向に限るものとする。

2 解析手法の概要

図1(a)に示す様に、ダムをダム軸に沿って有限個に鉛直分割して得られる個々の要素は、三角形断面を基つ剪断梁と考える。ダム軸横断面の振動形 $f_m(x, z)$ が図1(b)の様にあらかじめ与えられれば、ダム基礎における加速度分布が一様に $\alpha(t)$ の時、ダム全体の運動方程式は次式で表せる。

$$\ddot{Q}_{mn} + 2\phi_{mn}\dot{Q}_{mn} + \phi_{mn}^2 Q_{mn} = -C_m (X_{mn}^T M_m \mathbf{1} / X_{mn}^T M_m X_{mn}) \alpha(t) \quad \text{--- (1)}$$

但し、 Q_{mn} は鉛直方向 m 次、ダム軸方向 n 次 (m, n) 振動モードの基準座標、 ϕ_{mn} , ϕ_{mn} は、(m, n) モードの固有円振動数、減衰定数である。 C_m は、 $f_m(x, z)$ により定まる定数で、ダム内の剛性分布が深さ z 乗に比例する場合、

$$C_m = 2 / (z_m^{1-\mu} J_{\mu-1}(z_m)) \quad \text{--- (2)}$$

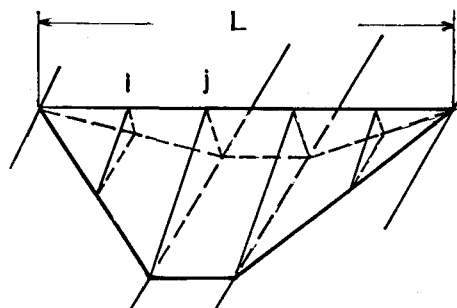
で与えられる。ここに、 $\mu = \alpha / (2 - \alpha)$, $J_{\mu-1}(z)$ は、 $(\mu-1)$ 次の第一種ベッセル函数、 z_m はその m 番目のゼロ点である。 m 次振動に属する質量マトリクス、剛性マトリクスを各々 M_m , K_m とし、(m, n) 次のダム頂に沿う振動形 X_{mn} は、次の固有値問題の解から得られる。

$$(K_m - \phi_{mn}^2 M_m) X_{mn} = 0 \quad \text{--- (3)}$$

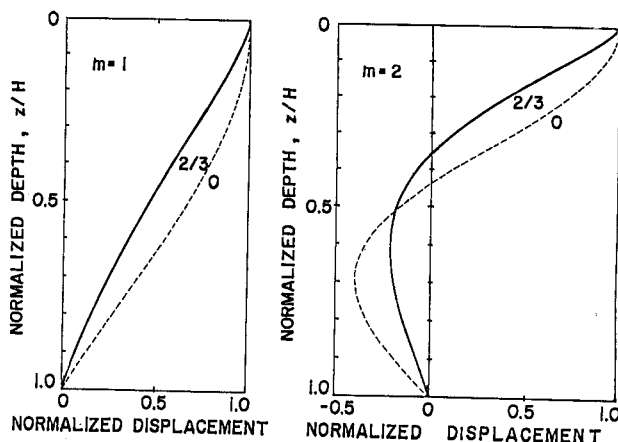
M_m , K_m の具体形及び(3)式の結果については前報を参照されたい。

3. 解析結果

宮城県沖地震の際、深田ダムでは、基礎とダム頂で地震加速度波形が記録されている。そこで、ダムを図2aの様に有限要素化し、基礎に一樣に観測波形を入力した。ダム内の剛性分布が (a) ダム内で一樣、(b) ダム頂からの深さの $2/3$ 乗に比例する場合の二通りについて各々計算を行った。解析で重ね合せたモードは、(1, 1) ~ (1, 9), (2, 1) ~ (2, 5) の計14モードであり、減衰は各モード共5%とし、基本周期が0.52秒になる様に調整した。図3は、剛性分布を一樣とした場合の二次元有限要素法による解析結果と、本手法による解析結果を対照



(a) 解析モデル概要

(b) $f_m(x, z)$ の形状

G_1 : 一定 $f_m(x, z) = J_0(z_m z / H(x))$

G_2 : $G_0 z^{2/3}$ $f_m(x, z) = \sqrt{\frac{\pi}{2\xi}} J_{1/2}(\xi) \quad (\xi = z_m (\frac{z}{H(x)})^{2/3})$

図1 解析モデルと $f_m(x, z)$ の形状

最大応答加速度

実測	210 gal
(I) G_1 一定 減衰5%	261 gal
(II) $G_1, G_0 \propto \omega^2$ 減衰5%	460 gal
(III) $G_1, G_0 \propto \omega^2$ 減衰(下表)	358 gal

モード	刺激係数		固有周期(sec)		減衰
	(I)	(II)(III)	(I)	(II)(III)	(III)
1 1	2.41	2.53	0.52	0.52	5.0
1 2	0.21	0.29	0.42	0.44	5.8
1 3	1.14	1.45	0.36	0.40	6.5
1 4	-0.03	-0.11	0.31	0.36	7.2
1 5	0.86	1.31	0.28	0.33	7.8
1 6	-0.10	0.02	0.25	0.30	8.4
1 7	0.57	0.85	0.23	0.28	9.1
1 8	-0.04	0.02	0.21	0.26	9.8
1 9	0.54	0.73	0.19	0.24	10.5
2 1	-1.40	-2.62	0.25	0.27	15.0
2 2	-0.06	-0.18	0.22	0.25	16.4
2 3	-0.82	-1.64	0.20	0.23	17.7
2 4	-0.28	-0.45	0.18	0.21	18.9
2 5	-0.74	-1.12	0.17	0.20	20.1

表1 解析結果

波形と比較したものである。最大振幅が出現する付近の波形は、三者共類似しているが、細部では一致していない。そこで、これらの波形の固有振数成分を比較するため、5%の減衰に対する加速度応答スペクトルを算定した結果が図4である。計算値と実測値とのスペクトルの形状は、1次のピーク付近ではよく似ているが、高次のモードでは大差がある。この主因を、ダム内の剛性分布と振動減衰にあると考え、これを変えて同様の計算を行った結果を表1に示す。得られた最大加速度は、いずれの場合も実測値よりも大きい。また、実測波形には計算波形に含まれない高周波成分もとられる。これらのことは、実物ダムへの地震波入力か基礎で一致でないためによるものと思われる。

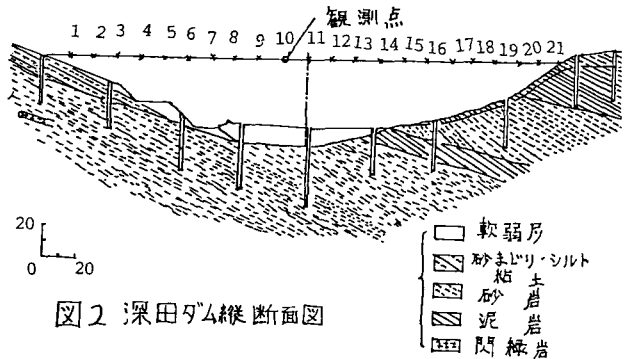


図2 深田ダム縦断面図

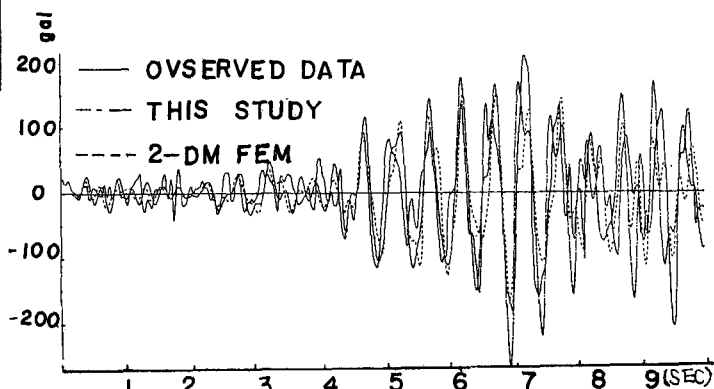


図3 応答加速度波形

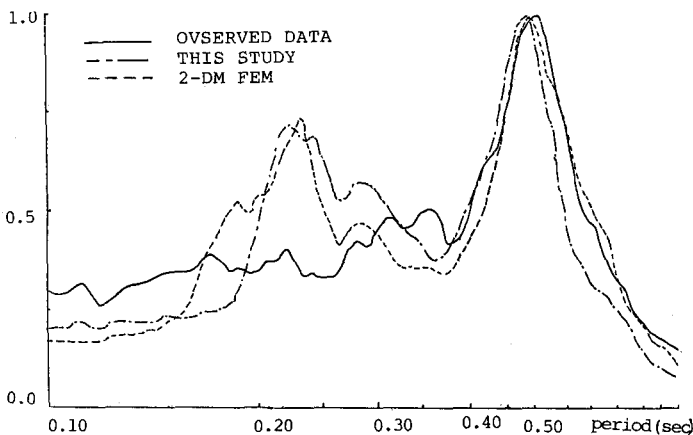


図4 加速度応答スペクトル

参考文献

- (1) 大町達夫, 時松孝次 フィルダムの三次元動的解析のための簡易手法 (第16回 地震工学研究発表会講演概要, PP.337~340, 1981年)
- (2) 越智武夫, 大町達夫, 時松孝次 簡便な動的解析によるフィルダム起振実験シミュレーション (第36回土木学会年次学術講演 概要集の一部, PP.547~548, 1981年)
- (3) 大町達夫, 時松孝次 実物大型フィルダムの簡便な三次元動的解析のための有限要素マトリクス (東京工大土木工学科研究報告, NO.29, PP.13~26, 1981年2月)