

電力中央研究所 正会員 林 正夫

〇駒田広也

藤原美一

1. まえがき ロックフィルダムの地震時の挙動はダムサイトの谷の形状、ダム自体の形状および地震波により異なると考えられている。このような影響を調べる目的で、三次元有限要素法による震動応答解析をおこなった結果を以下に述べる。

2. ロックフィル材料の動的変形特性(図-1) 最大粒径が100 mm のロック材について、直径50 cm、高さ50 cm の供試体で、大型動的三軸変形試験を実施した。試験結果によれば、周波数が高くなると、動的弾性率や粘性的性質が強くなる傾向にある。これらの特性は、振動中の静的クリープを無視すれば、Voigt型の粘弾性モデルで数式表示が可能である。

3. ロックフィルダムのモデル(図-2、表-1) AダムはV字谷に計画され、Bダムは比較的高く、Cダムは平底のU字谷に建設され、表面アスファルト遮水壁ダムなので、斜面勾配が急になっている。ダム材料の物性値は、築堤の段階を逐次非線型解析した結果の値や大型動的三軸試験結果の値から算出した。

4. 地震入力加速度(図-3、表-2)

A1は0.1 Hz から10 Hz に漸次変化する片振幅

100 gal の正弦波であり、他は最大100 gal のランダム加速度波形である。B1、C1は地震記録波形そのままであるが、残りのA2、B2、C2は、それぞれのダムの固有振動数にほぼ一致した卓越振動数を有するよう、地震記録波形を修正したものである。

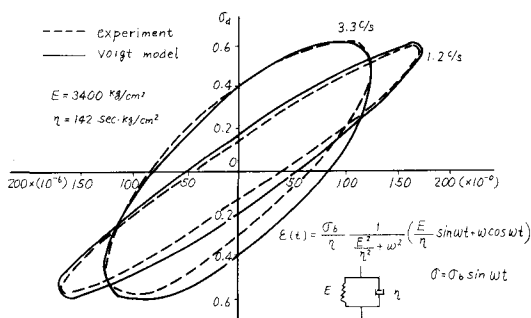


図-1 ロックフィル材料の動的ヒステリシス曲線

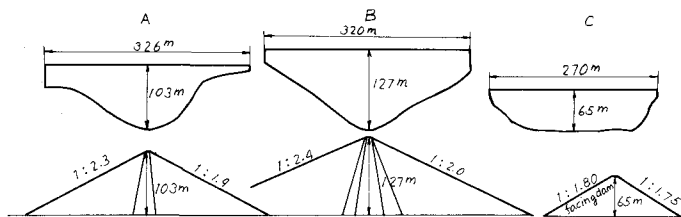


図-2 3種類の3次元ロックフィルダムモデル

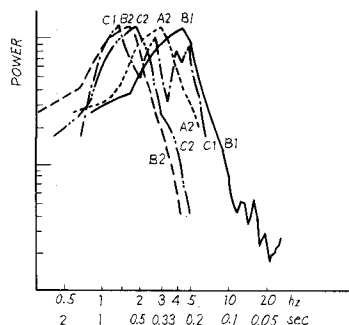


図-3 地震加速度のパワースペクトル

表-1 ダムの諸元と物性値

	解析したダム		
	A-dam	B-dam	C-dam
堤 高	103 m	127 m	65 m
堤 長	326 m	320 m	270 m
上流斜面勾配	1:2.3	1:2.4	1:1.8
下流斜面勾配	1:1.9	1:2.0	1:1.75
動弾性係数	5000~15000 kg/cm²	3000~10000 kg/cm²	3800~6500 kg/cm²
動粘性係数	150 sec·kg/cm²	170~210 sec·kg/cm²	162~195 sec·kg/cm²
節 点 数	152	138	170

5. 固有周期および固有モード(表-2) 1次固有周期が最長なのは3種類のうちで最も堤高が高いBダムであり、2番目はU字谷上の堤高の低く、急勾配の法面を持つCダムである。このことから、ダムの固有周期は堤高だけでなく、谷ダム斜面の形状にも影響されるものと思われる。固有モードについては、どのダムについても、1次が上下流方向モード、2次が堤軸方向モード、3次には上下流方向の2次モードになっている。鉛直方向のモードは、中間の高さであるAダムでは4次モードに、最も高いBダムでは5次モードにあらわれている。最も低いCダムでは、表-2に示されていないが、7次に鉛直方向の1次モードが生じている。

6. 減衰定数(表-2) ダムの減衰定数 h_n は、 $h_n = \{y_n\}^T [C] \{y_n\} / (2\omega_n M_n)$ であらうことができる。 $\{y_n\}$ はn次のモードベクトル、 $[C]$ は減衰行列、 ω_n は固有角振動数、 M_n は基準質量である。計算結果によると、モード次数が増すにつれて、減衰定数も大きくなる傾向にある。

7. 震動応答結果(図-4, 表-2) Aダムの堤軸方向加速度では、正弦波入力に対する応答はランダム波入力に対する応答の約2倍の値が生じている。Bダムの上下流方向に共振波B2を用させた加速度応答は、実地震波B1を用させた場合の約2.8倍の応答になっている。またCダムに堤軸方向地震では、共振波C2に対する応答は、実地震波C1に対するよりも、約1.8倍の加速度が生じている。

つぎに、変位応答について、上下流方向地震に対する最大応答は約0.7～3.3cmであり、堤軸方向地震に対しては、上下流方向地震の場合の約80%になっている。図には示されていないが、上下流方向地震では天端付近の斜面表層で、堤軸方向地震では堤体の両翼部で、部分的ではあるが地震時の引張り応力に注意を要する。このような応力が発生する領域は、施工にあたり、十分に転圧するなり、あるいは、粒度配合として、密度の高い材料や粘着性の材料を混合するなりして、耐震的な設計、施工を心がける必要がある。

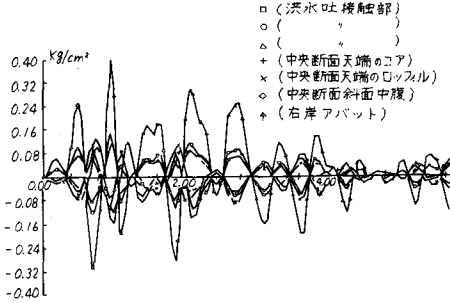


図-4 Aダムの堤軸方向に地震波A2を作用した場合の動水平応力の時間履歴

表-2 地震応答計算結果の要約

ダムの形状(図-2)		A		B		C	
固有周期および固有モード	1次モード	0.39sec(上下流1次)		0.64sec(上下流1次)		0.56sec(上下流1次)	
	2次モード	0.35(堤軸1次)		0.57(堤軸1次)		0.51(堤軸1次)	
	3次モード	0.32(上下流2次)		0.51(上下流2次)		0.47(上下流2次)	
	4次モード	0.28(鉛直1次)		0.43(堤軸2次)		0.41(上下流3次)	
	5次モード	0.26(堤軸2次)		0.42(鉛直1次)		0.37(堤軸2次)	
減衰定数	1次モード	0.08		0.12		0.13	
	2次モード	0.10		0.13		0.15	
	3次モード	0.10		0.15		0.17	
地震入力	スペクトル(図-3)	A1	A2	B1	B2	C1	C2
	卓越周期(sec)	漸変正弦波	0.34	0.25	0.64	0.2	0.55
	最大加速度(gal)	100	100	100	100	100	100
上下流方向地震に対する応答	最大水平加速度(gal)	930		140	390	238	390
	最大鉛直加速度(gal)			20	35	25	43
	最大水平変位(cm)	1.4		0.7	3.3	1.7	3.0
	最大鉛直変位(cm)					0.1	0.3
	最大動引張り応力(kg/cm²)	1.4		0.1	0.3	0.2	0.2
堤軸方向地震に対する応答	最大水平加速度(gal)	800	387	160		200	365
	最大鉛直加速度(gal)	180	90	35			
	最大水平変位(cm)	2.4	1.1	0.6		1.3	2.3
	最大鉛直変位(cm)	0.5	0.1	0.1			
	最大動引張り応力(kg/cm²)	0.6	0.5	0.4		0.5	0.8