

I-B 85 重力式コンクリートダムの堤体応力に及ぼす鉛直地震動の影響

建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室（正）佐々木隆，（正）永山功

1. まえがき

現在、重力式コンクリートダム（以下、重力ダムという）の耐震設計は主として水平地震動について行われている。また、地震時におけるダムの実測挙動解析では水平地震動のほか鉛直地震動を考慮した解析も見られるが、鉛直地震動がダムの挙動に及ぼす影響を主眼とした解析事例はほとんどない。そこで、本論文では、鉛直地震動が重力ダムの堤体応力に及ぼす影響について検討した。

2. 解析モデルと解析方法

図-1に解析モデルを示す。堤高は50～150mの範囲で変化させた。貯水の影響は非圧縮流体を仮定して付加質量マトリマスの形で考慮した¹⁾。なお、基礎岩盤の変形性は考慮していない。動的解析には振動形解析法を用い、低次6モードを考慮した。堤体材料の弾性係数は $3.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.2、単位体積質量は 2300 kg/m^3 とし、減衰定数は全モードに対して10%とした。また、実測加速度波形に対する応答解析には応答スペクトル法を用いた。

3. 応力の周波数応答特性

(1) 鉛直地震動の影響 重力ダムが地震動を受けた場合、一般に堤踵部（図-1のA点）に最大引張応力が生じる。そこで、固有値解析より求めた応力モードから¹⁾、水平地震動と鉛直地震動に対して堤踵部鉛直応力の周波数応答関数を求めた結果が図-2である（堤高100mの場合を例示。固有周波数は堤高に反比例、応力応答は堤高に比例する）。図によれば、水平地震動に対しては1次モードが卓越し、次に2次モードの影響が大きい。一方、鉛直地震動に対しては3次モードが卓越し、次に1次モードの影響が大きい。各モードの堤踵部鉛直応力の最大応答値を表-1に示す。鉛直地震動の3次の応答は水平振動の1次の応答の約20%で、鉛直地震動の影響は水平地震動の影響に比べて小さい。

(2) 貯水の影響 同様に、空虚時に重力ダムが地震動を受けた場合について、堤踵部鉛直応力の最大応答値を求めた結果が表-2である。鉛直地震動に対する3次の応答は水平振動に対する1次の応答の約40%で、貯水がある方が鉛直地震動の影響は小さくなっている。

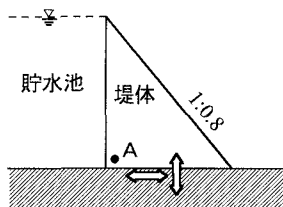


図-1 解析対象

表-1 各振動モードごとの応力の最大応答値（貯水あり）

地震動種別	モード別最大応答値 ($[\text{N/mm}^2]/[100\text{gal}]$)					
	1	2	3	4	5	6
水平地震動	2.730	0.290	0.101	0.009	0.013	0.011
鉛直地震動	0.326	0.020	0.588	0.002	0.025	0.041

表-2 各振動モードごとの応力の最大応答値（貯水なし）

地震動種別	モード別最大応答値 ($[\text{N/mm}^2]/[100\text{gal}]$)					
	1	2	3	4	5	6
水平地震動	1.469	0.149	0.026	0.021	0.012	0.016
鉛直地震動	0.365	0.053	0.593	0.008	0.046	0.008

4. 実波形に対する応答

ダムの基礎で得られた20の水平加速度波形、鉛直加速度波形をそれぞれの最大加速度が100galとなるように調整し、図-1のモデルに水平地震動、鉛直地震動としてそれぞれ独立に入力した場合に、堤踵部鉛直応力の最大応答を比較した結果が図-3である。また、最大加速度を100galに調整した上記20の水平加速度波形を図-1のモデルに水平地震動、鉛直地震動としてそれぞれ独立に入力した（水平、鉛直とも同一加速度波形）場合に、堤踵部鉛直応力の最大応答を比較した結果が図-4である。図によれば、鉛直地震動による応力は、水平地震動による応力の20～30%の範囲に集中している。また、水平地震動による応力はばらつき

が大きく、鉛直地震動による応力はばらつきが小さいことから、鉛直地震動による応力は入力地震動の周波数特性に対して相対的に鈍感であることがわかる。なお、水平、鉛直とも同一の地震動を入力した場合にも、図-4に示すようにその傾向はほとんど変わっていない。

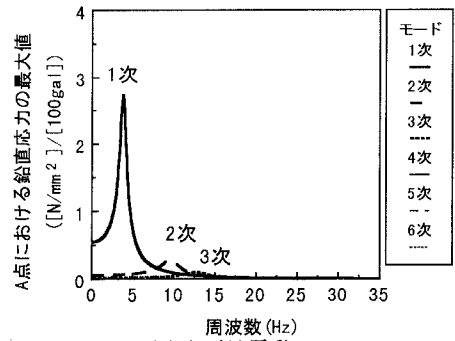
5. 結論

(1) 水平地震動に対しては1次モード、鉛直地震動に対しては3次モードが卓越する。しかし、堤踵部鉛直応力の応答に関して、鉛直地震動の影響は水平地震動の影響よりも小さい。また、貯水がある場合には貯水がない場合に比べて鉛直地震動の影響は小さくなる。

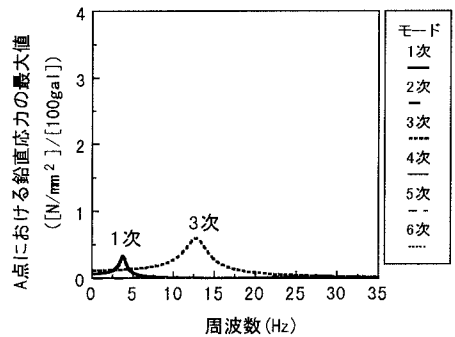
(2) 実測加速度波形を用いた解析の結果、同一入力加速度レベルに対して、堤踵部鉛直応力に及ぼす鉛直地震動の影響は水平地震動の影響の20～30%程度である（貯水がある場合）。

なお、実際の地震において鉛直最大加速度は水平最大加速度の1/2～1/3程度であるから、鉛直地震動の影響を無視しても解析結果に大きな影響はないと考えられる。

参考文献 1) 永山功:重力式コンクリートダム の簡易耐震設計法に関する考察, ダム技術, No. 58, pp30～41, 1991



(a) 水平地震動



(b) 鉛直地震動

図-2 堤踵部鉛直応力の周波数応答

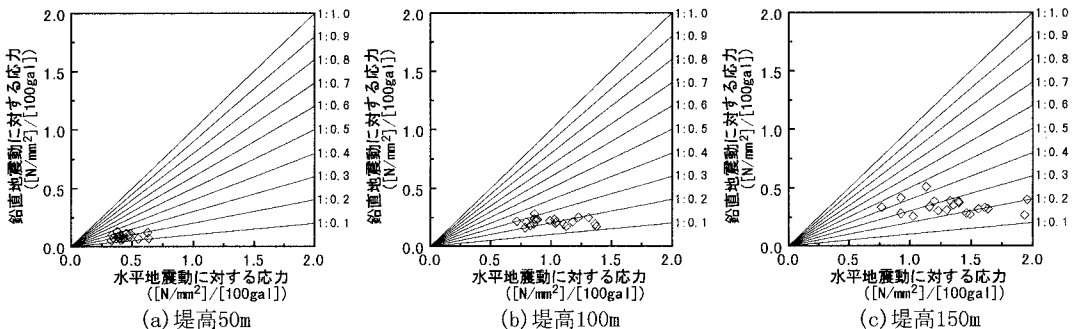


図-3 水平および鉛直地震動による応力の比較（鉛直地震動：実測鉛直加速度波形）

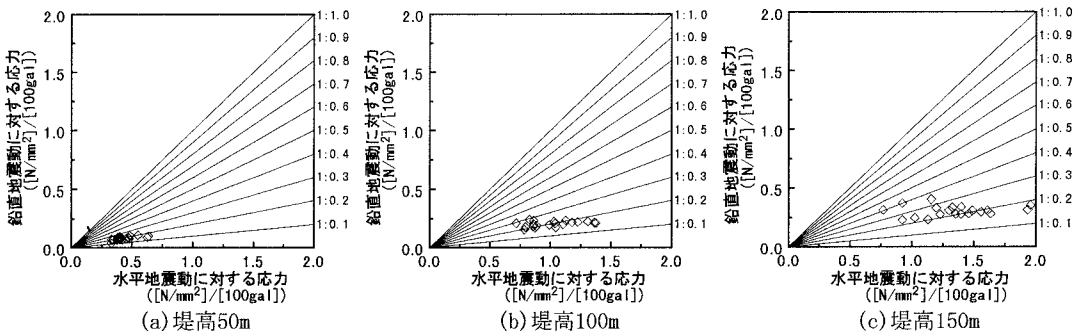


図-4 水平および鉛直地震動による応力の比較（鉛直地震動：実測水平加速度波形）