

I-440 ロックフィル材料のせん断剛性率の室内試験と実測地震動による比較検討

建設省土木研究所 正会員 岩下友也 安田成夫 武田 理 中村 昭

1. はじめに

ロックフィルダム等の盛土構造物の地震時の挙動を把握する際に、動的解析は有効な手段である。解析の入力物性値として盛土のせん断剛性率や減衰定数といった動的物性値を広範なひずみ領域、周波数領域で把握することが必要である。これまでは、動的物性値として要素試験である室内試験で求められたものを用いてきた。したがって、原位置の物性値と室内試験で得られた物性値を比較検討しておくことは重要である。本研究では、Mダムの事例（安田ら,1994a・1994b）に、Oダムの事例を加え、室内試験と実測地震動解析により、せん断剛性率のひずみ依存特性を考察した。対象とした、MダムとOダムは、堤高それぞれ95mおよび56.5mの中央コア型ロックフィルダムであり、標準断面図を図-1、図-2に示す。

2. 試験および解析の概要

2.1 室内試験の概要

室内試験として大型繰返し三軸試験を行った。供試体寸法は直径30cm、高さ60cmである。軸荷重の測定は試料キャップに装着式のロードセルで行い、微小軸ひずみはギャップセンサーで測定しており、ロードセル同様三軸セル内に設置されている。試料は原石山から採取し、Mダムについてはダム下流側の大半を占める小粒径ロック材料の粒度に対して、Oダムについては内部ロック材料と外部ロック材料の粒度に対して最大粒径63.5mmの相似粒度で調整した。

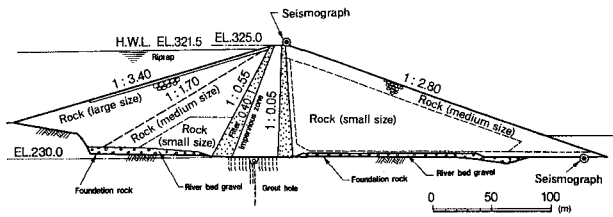


図-1 Mダム標準断面図

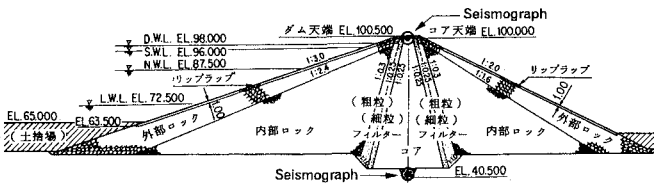


図-2 Oダム標準断面図

2.2 実測地震動解析の概要

地震計は、Mダムでは、図-1に示すように堤体天端と下流法尻基礎の2か所に、Oダムでは、図-2に示すように堤体天端、監査廊底部および左岸リムトンネルの3か所に設置されている。各ダムで実測され解析に用いた地震の諸元をそれぞれ表-1、表-2に示す。堤体の固有周波数は上下流方向における基礎に対する堤体天端の周波数応答関数より求めた。なお、スペクトルにはバンド幅0.6HzのParzenウィンドウにより平滑化を施した。

表-1 Mダム実測地震の諸元

地震No.	震源深度(km)	マグニチュード	震央距離(km)	天端上下流方向最大加速度(gal)
①	10	6.7	57	66
②	40	4.5	13	87
③	30	6.0	12	257
④	58	6.7	131	66
⑤	14	5.1	24	80
⑥	90	5.7	73	32

表-2 Oダム実測地震の諸元

地震No.	震源深度(km)	マグニチュード	震央距離(km)	天端上下流方向最大加速度(gal)
①	25.0	6.6	31	193
②	25.7	4.9	37	38
③	24.8	5.0	28	30
④	26.5	4.8	9	53
⑤	21.0	5.0	42	15

3. せん断剛性率の比較検討

地震時における堤体せん断剛性率のひずみ依存性を検討する。三角形せん断梁理論（例えば、岡本(1971)）によると、せん断剛性

率 G は堤体の第 i 次固有周波数 f_i の 2 乗に比例する。微小ひずみ時の堤体 1 次固有周波数を f_{1*} とすると、せん断剛性率の低減率 G/G_* は次式のように表される。

$$\frac{G}{G_*} = \left[\frac{f_1}{f_{1*}} \right]^2 \quad (1)$$

ここに、実測地震の中で最も堤体のひずみレベルが小さい地震（Mダムでは No. ⑥、Oダムでは No. ⑤）のせん断剛性率を G_* 、1 次固有周波数を f_{1*} とした。また、各地震動における堤体の平均的な発生せん断ひずみは、次の 3 つの手法により算出した。1) 1 次元動的解析 SHAKEM (Chugh,1985) により算出される各層の最大せん断ひずみの堤体全体での平均値。2) 天端での加速度時刻歴を 2 回時間積分し、最大変位 d_{max} を求め、ダム高 H で除した値。3) 式 (2) に示すように、天端での最大加速度 a_{max} から最大変位 d_{max} を求め、ダム高 H で除した値。

$$\gamma = \frac{d_{max}}{H} = \frac{a_{max}}{\omega_1^2 H} \quad (2)$$

ここに、 $\omega_1 = 2\pi f_1$: 1 次固有円振動数。MダムとOダムの各地震におけるせん断剛性率の低減率 G/G_* と室内繰返し三軸試験より求めたせん断剛性率 G を $\gamma = 10^{-6}$ における G_0 で正規化した値を図-3、図-4に示す。

なお、図-4のOダムでは手法 3) による γ のみを用いた。どちらのダムにおいても、 γ の増加とともに、 G/G_* は低減傾向にあり、室内試験結果と実測地震動解析結果はほぼ一致している。よって、地震動による堤体せん断剛性率のひずみ依存性は室内の大型繰返し三軸試験で再現できると考えられる。

4. まとめ

ロックフィル材料の室内試験とロックフィルダムでの実測地震動解析より算出したせん断剛性率を比較した結果、両者のせん断剛性率のひずみ依存特性はほぼ一致した。よって、ロックフィルダムのような人工盛土構造物ではせん断剛性率は室内試験で精度良く再現できることが確認された。

参考文献

- Chugh,A.K(1985):Dynamic Response of Embankment Dams, International Journal for Numerical and Analytical Method in Geomechanics, Vol.9, pp.101-124
- 岡本舜三 (1971):耐震工学, オーム社, pp.372-374
- 安田成夫・中村 昭・岩下友也・武田 理 (1994a):ロックフィルダムにおける動的物性値に関する検討, 第 29 回土質工学研究発表会 (投稿中)
- 安田成夫・岩下友也・武田 理・中村 昭 (1994b):室内試験、原位置試験および実測地震動によるロックフィル材料の動的変形特性の評価, 第 9 回日本地震工学シンポジウム (投稿中)

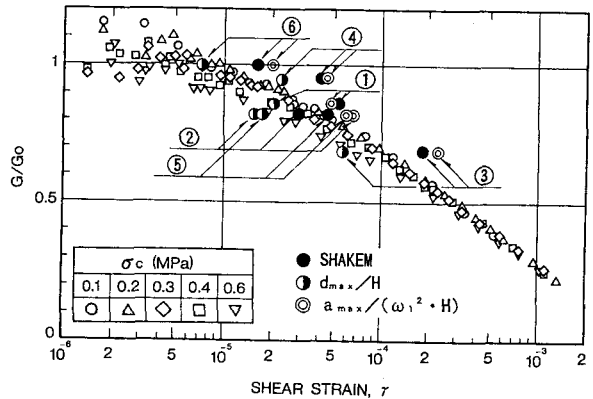


図-3 正規化せん断剛性率のひずみ依存曲線（Mダム）

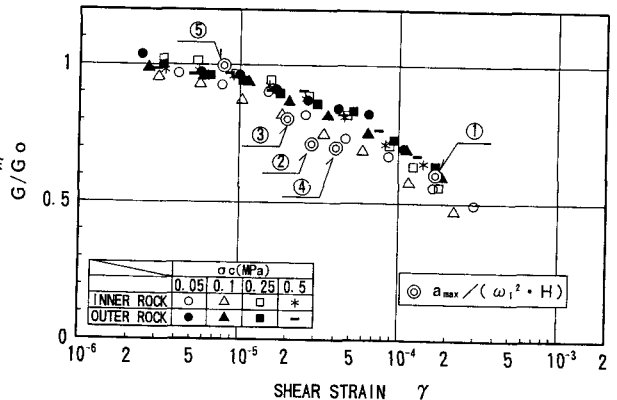


図-4 正規化せん断剛性率のひずみ依存曲線（Oダム）