

1. はじめに

これまでのダムの地震遭遇事例を調べてみると、ロックフィルダムに関しては、大きな地震動を受けた際に貯水機能が損なわれたような重大な地震被害は報告されていないが、軽微な地震被害として堤体に沈下や亀裂等が発生した事例は幾つか報告されている。このことは、ロックフィルダムの耐震性評価手法の高度化、合理化を図るためには、非常に強い地震動を受けたダムの地震時変形特性、沈下、亀裂、残留変形等の定量的評価が重要であることを示すものと考えられる。本研究では、非常に強い地震動を受けたロックフィルダムの耐震性評価手法を研究するために遠心載荷模型振動実験を行った。

実験の主な目的は、つぎのとおりである。

- ①大ひずみレベルでの動的せん断剛性と減衰定数の評価
- ②地震時応答に及ぼす谷形状の影響に関する比較検討
- ③地震動レベルと残留変形量との関連性の検討
- ④地震時間隙水圧の発生状況の検討
- ⑤地震時の損傷過程、損傷様式の検討

本稿では、実施したロックフィルダムの遠心載荷模型振動実験の再現解析に関する検討結果を報告する。

2. 遠心載荷模型振動実験

(1) 実験模型

図-1に示す中央断面を持つ中央コア型ロックフィルダム(高さ40cm、天端幅5cm、堤頂長90.5cm、上・下流面勾配1:1.8)を実験対象とした。谷形状については、比較検討のために、図-2に示したようなU字形状とV字形状の2種類の谷形状を設定した。

ロック部は、砂岩・角礫岩の碎石を実ダムの相似粒度に調整(最大粒径:9.5mm)した材料で作製した。コア部は、重量比でセメント:珪砂:水=1:8:12:10で、V字谷模型の谷部は、セメント:珪砂:水=10:10:10:15の材料で作製した。貯水に関しては、実ダムとダム模型との相似性を考慮した上で通常の水を使用し、貯水深は32cmとした。

(2) 実験装置と加振方法

実験は、カリフォルニア大学デービス校の装置(主な性能:回転半径9.14m、最大搭載容量10.7MN・G、最大遠心重力50G、最大振動加速度40G)を使用し、40Gの遠心重力場で実施した。

入力波としては、ホワイトノイズ、東海地震を想定した模擬地震動(東海想定波)、兵庫県南部地震の際に箕面川

ダムで観測された地震動(箕面川波)、正弦波(周波数50Hz)を使用した。入力波の最大加速度は、ダム模型底面で10G、20G、30G、40Gの4段階を設定した。

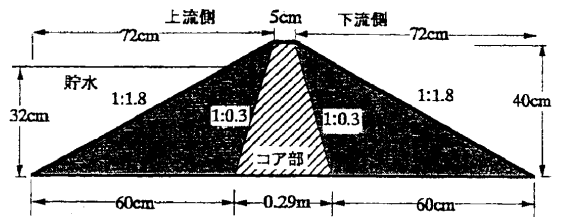
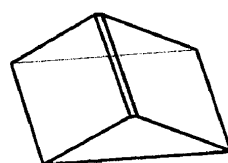
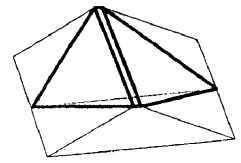


図-1 実験対象とした中央コア型ロックフィルダムの代表断面(U字谷模型、V字谷模型共通)



(1) U字谷模型の概形



(2) V字谷模型の概形

図-2 U字谷模型とV字谷模型の概形

3. 三次元再現解析

(1) 三次元動的解析モデル

解析対象はU字谷模型とし、三次元ダム-基礎-貯水池連成解析プログラム“UNIVERSE”¹⁾を用いて、等価線形解析により三次元動的による再現解析を行った。U字谷模型の三次元動的解析モデルを図-3に示す。

(2) 側方の境界条件

剛土槽を用いた実験では、側方へのエネルギーの逸散はほとんどないと考えられるが、実際の場合では周辺へのエネルギーの逸散が想定される。そこで、ダム模型に閉じ込められたエネルギー量を推定するために、三次元解析モデルの側方境界を固定境界にした場合と粘性境界にした場合について比較解析を行い、実験結果と解析結果が一致するように減衰定数を逆解析的に評価した。

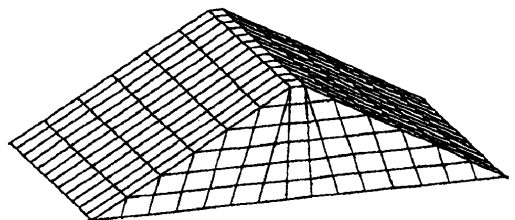


図-3 U字谷模型の三次元解析モデル

(下方:剛基盤、側方:固定境界又は粘性境界)

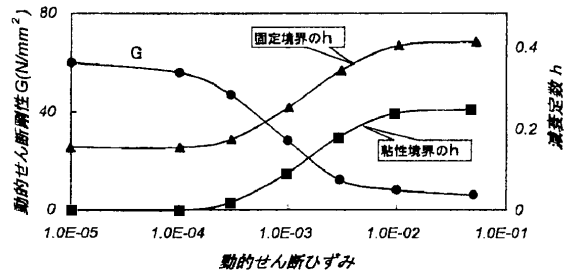
(3)解析用物性値
再現解析に用いた初期物性値を表－1に示す。

表－1 ダム模型の物性値

項 目	ロック部	コア部	谷 部
密 度 (g/cm ³)	1.85(*1)	1.52(*2)	1.64(*2)
間 隙 比	0.33	—	—
一軸圧縮強度(N/mm ²)	—	0.2	2.0
内部摩擦角 (度)	37	—	—
透水係数(*3) (cm/s)	2.3×10 ⁻¹	5.6×10 ⁻⁴	5.6×10 ⁻⁴
S波速度 (m/s)	220	370	945

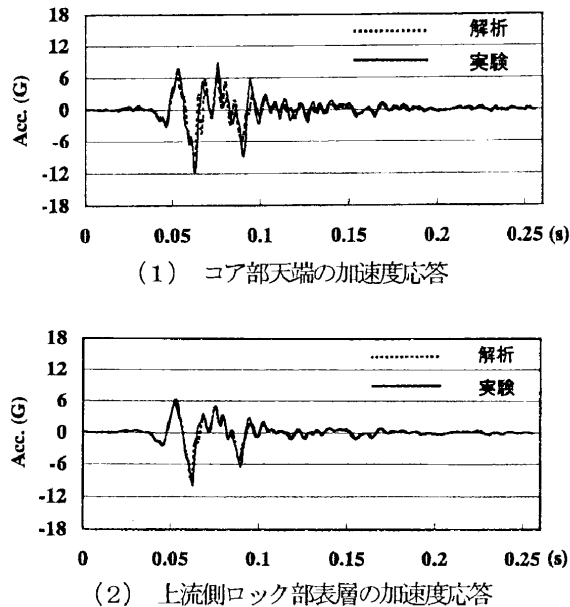
[備考] *1:乾燥密度、*2:湿潤密度、*3:遠心重力場の数値

(4)ロック部のG～γ、h～γ
側方境界を固定境界とした場合と粘性境界とした設定した場合のロック部のG～γ、h～γを図－4に示す。



図－4 ロック部のG～γ、h～γ

(5)解析結果
側方境界を固定境界とした場合の、箕面川波を入力加振したU字谷模型に関する、実験結果と解析結果の比較例（10G加振、貯水なし）を図－5に示す。同様に側方境界を粘性境界とした場合の比較例を図－6に示す。



図－5 側方境界を固定境界としたU字谷模型の解析結果

4. まとめ

40Gの遠心重力場で実施したロックフィルダムの模型振動実験及びその三次元再現解析の結果から、つぎのような知見を得た。

①遠心载荷模型振動実験から評価されたロック部の初期

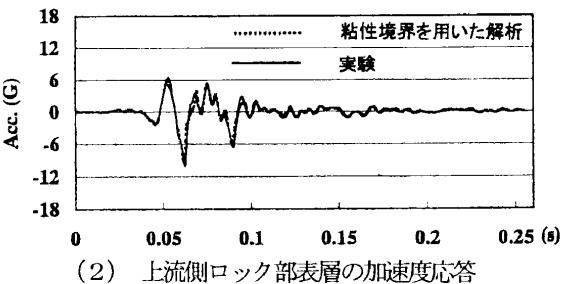
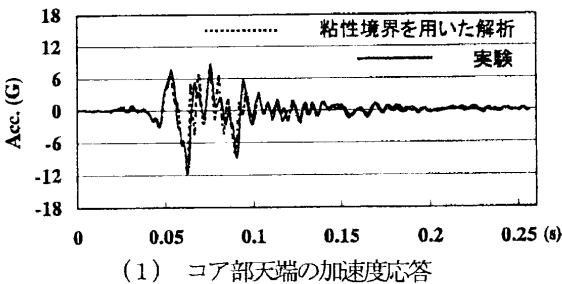
動的せん断剛性は 80～100(N/mm²)、大きなひずみレベルでの減衰定数は20～30%であった。

②これらの結果に基づいて、三次元動的解析により遠心载荷模型振動実験の再現解析を実施したところ、実験結果を大変良く再現することができた。

③ダム堤体に閉じ込められたエネルギー量を推定してみるために、側方境界を粘性境界とした場合の比較解析を実施したところ、側方固定境界と側方粘性境界とでは、減衰定数に関して約15%の差異が生じた。この差は、側方からのエネルギーの逸散に相当する分と解釈することができるのではないと思われる。

5. あとがき

今回実施したロックフィルダムの遠心载荷模型振動実験では、ダム底部で980gal相当の地震動を作用させた場合でも、“すべりによる破壊様式”は発生せず、地震動による損傷様式としては、ダム模型表層の個々のロック粒子が、振動を受けて上方から下方へと転落する現象が主体であった。非常に強い地震動に遭遇したロックフィルダムの耐震性を評価するためには、地震時に発生する残留変形を的確に予測評価すること、更には、残留変形が発生した後の貯水機能保持を照査することが必要であり、今後これらの課題に取り組みたいと考えている。



図－6 側方境界を粘性境界としたU字谷模型の解析結果

参考文献

- 1) 有賀義明、渡辺啓行、吉田昌稔、曹増延：三次元ダム－貯水池－基礎岩盤連成系における逸散減衰に関する一考察、第10回日本地震工学シンポジウム、E4-18、1998.11.
- 2) 有賀義明：ロックフィルダムの地震時応答特性に関する遠心载荷振動実験、土木学会第25回地震工学研究発表会、B8-6、pp445-448、1999.7
- 3) 有賀義明、曹増延：遠心载荷振動実験によるロックフィルダムの地震時損傷に関する検討、第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム、2000.3