

コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム¹⁾の耐震性評価に関する基礎的研究(その3)
ー二次元 FEM モデルを用いた地震時挙動の予測に関する一考察ー

大阪工業大学
エイト日本技術開発
熊谷組
同上
センチュリテクノ

正○藤本哲生
正 藤田亮一
正 大越靖広
非 服部翼
非 中川弘明

非 白川拓哉
非 野谷正明
正 佐藤英明
非 尾崎亮斗
非 野島太生

非 西澤和也
正 平松大周
非 野田亜久里
非 佐々木裕一

1. はじめに 本報では、現行では文献 1)の対象外であるコンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム(以下、CFRD と称す)の耐震性評価の方法を開発することを目的とし、前報 2), 3)に続き、耐震性評価に関する基礎的研究として二次元 FEM により地震時挙動の予測を試みた結果について述べる。

2. ダム概要 解析対象の A ダムは発電を目的とし、竣工後約 17 年が経過した CFRD である。図-1 に示す標準断面図のように、堤高は 86.9 m、上下流面勾配はそれぞれ 1:1.4 であり、最上流側には遮水を目的としたフェイススラブ(最小厚さ 30 cm, 鉄筋量 0.4 %)が配置されている。

3. 解析条件 本研究では、汎用構造解析プログラム ISCEF を用いて等価線形化法による地震応答解析を行った。以下に、解析条件を示す。

1) 解析モデル：図-2 に解析モデルを示す。堤体のうちフェイススラブは線形梁要素、それ以外は平面ひずみ要素によりモデル化した。また、一般的なフィルダムはコンクリートダムと比較して堤体の剛性が小さく上流面勾配が緩いため、地震応答解析では動水圧の影響は考慮されない。しかし、A ダムにはロック材と比較して剛性の高いフェイススラブが配置されていること、上流面が 1:1.4 であることから、本研究では貯水を非圧縮性流体要素としてモデル化することにより動水圧の影響を考慮することとした。

2) 解析物性値：表-1 に解析物性値を示す。このうち、堤体の V_s 及びスラブの E_d は、堤体モデルを用いた固有値解析による 1 次固有周期が原位置で実施した常時微動観測による堤体の固有周期($T=0.388s$)と一致するように補正したものである。

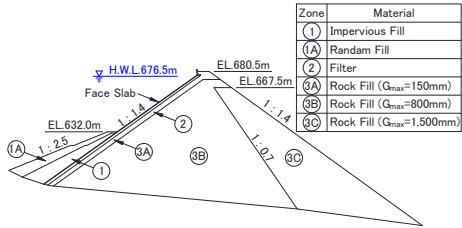


図-1 A ダムの標準断面図

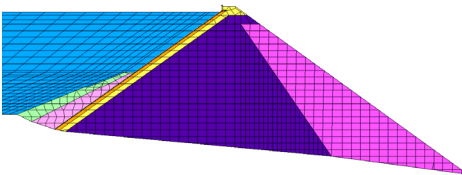


図-2 解析モデル(堤体付近拡大)

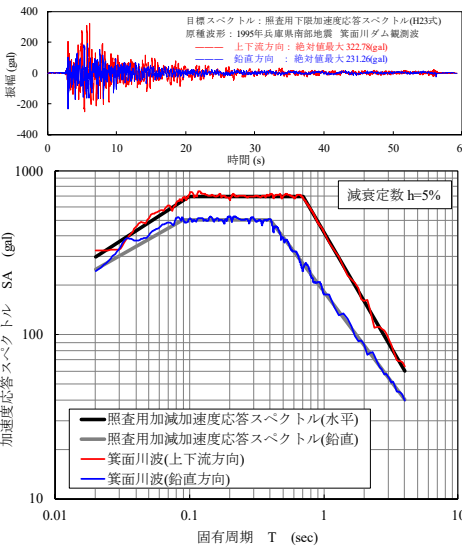


図-4 入力地震動
(時刻歴波形とスペクトル)

表-1 解析物性値(等価線形解析)

項目	記号	単位	堤体							貯水
			1	1A	2	3A	3B	3C	スラブ	
			飽和		不飽和					
単位体積重量	γ	(kN/m^3)	18.6	20.1	21.6	20.6	19.6	19.1	24.5	9.8
せん断波速度	V_s	(m/s)	1.342×{コア(H) ⁵ }		1.342×{ログク ⁵ }					-
動ポアソン比	ν_d	(-)	コア(H) ⁵		ログク ⁵					0.2
動弾性係数	E_d	(kN/mm^2)	-						1.8×{23.5}	-
ひずみ依存特性 (図-3 ⁴⁾)	G- γ	(-)	特性1		特性2					-
	h- γ	(-)	特性1		特性2					-

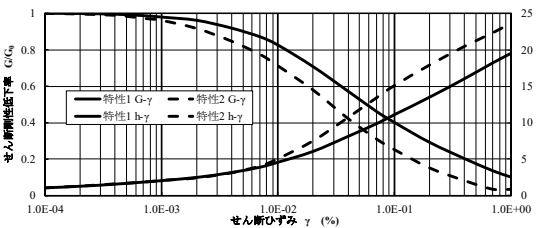


図-3 ひずみ依存特性⁴⁾

キーワード: コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム(CFRD), 耐震設計, 有限要素法, 地震応答解析
連絡先: 〒535-8585 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号 大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 TEL 06-6954-4141

3) **入力地震動**：図-4 に示すように、1995 年兵庫県南部地震の箕面川ダム観測波⁶⁾を原種波形とし、周波数特性を照査用下限加速度応答スペクトル(H23 式)に適合するように調整した波(水平動・鉛直動)を堤体底面に入力した。

4. **解析結果** 本文では、紙面の都合上、解析結果のうち応答加速度分布、貯水のモデル化がせん断剛性の低下率及びフェイススラブの変位量に与える影響について述べる。

図-5 に貯水をモデル化した場合の水平方向最大応答加速度分布図を示す。応答加速度は堤体底面から堤頂部に向かい漸増し、堤頂部で 6.41m/s^2 を示す。なお、堤体底面と堤頂部との加速度応答倍率は約 2 倍である。

図-6 に堤体の初期せん断剛性 G_0 と地震後の収束剛性 G_e の比(地震後のせん断剛性の低下率(G_e/G_0)の分布図)を示す。 G_e/G_0 は、貯水を考慮した場合は概ね $0.4\sim 0.5$ 、貯水を考慮しない場合(空虚)は概ね $0.4\sim 0.6$ が主体であり、貯水を考慮することにより G_e/G_0 が 1 割程度低下する傾向がみられる。なお、当然ながらこの傾向は動水圧が作用する上流面付近のゾーン(図-6(a)の赤破線内)において顕著にみられる。図-7 に示す最大動水圧分布図より、動水圧は堤体中位標高(EL.630m 付近)で最大となりその下位では減少しているが、この単峰性の分布形状は文献 7) で確認されたものと同様の形状である。

図-8 にフェイススラブの地震時最大変位の深度分布図を示す。フェイススラブは、貯水の有無によらず下流下方向へ変位しているが、これは主として堤体底面が下流下がりであることが影響していると思われる。また、変位量はわずかではあるものの貯水を考慮した方が大きくなっており、EL.630m 付近より上位標高でその傾向が顕著となっている。

以上より、動水圧の影響により堤体のせん断剛性の低下やスラブの変位量の増加が確認できた。したがって、CFRD の耐震性評価を行ううえでは貯水を考慮した解析を行う必要があるといえる。

5. **おわりに** 本報では、CFRD の耐震性評価に関する基礎的研究として、二次元 FEM モデルにより A ダムの地震時挙動の予測を試みた結果について述べた。今後は、二次元静的解析結果との重ね合わせによるフェイススラブの応力照査、さらに、三次元モデルによりダム軸方向の応答を考慮したフェイススラブの安全性評価などを進めていきたい。

【参考文献】 1)国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説，2005.3. 2)藤田ら：コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの耐震性評価に関する基礎的研究(その 1)，土木学会第 74 回年次学術講演会，投稿中. 3)平松ら：コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの耐震性評価に関する基礎的研究(その 2)，土木学会第 74 回年次学術講演会，投稿中. 4)A ダム耐震性評価報告書，2014. 5)(財)電力中央研究所土木技術研究所：ロックフィルダムの物性値分布特性および堤体の動的特性 -弾性波動に基づく考察-，1977.11. 6)国土交通省国土技術政策総合研究所：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料，国総研資料第 244 号，pp.186-188，2005.3. 7)大町ら：表面遮水壁型ロックフィルダムに作用する地震時動水圧に関する基礎的数値解析，ダム工学，Vol.12，No.2，pp.103-111，2002.

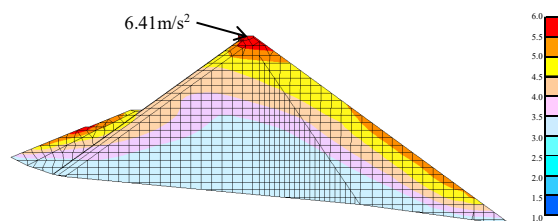
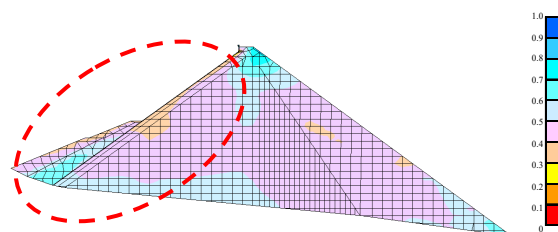
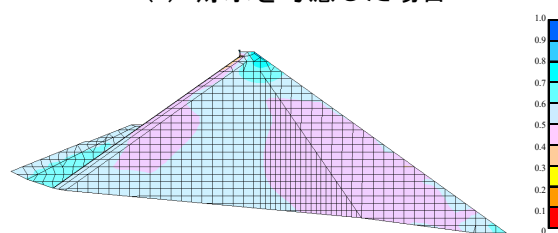


図-5 最大応答加速度分布図(水平方向)
(貯水を考慮した場合)



(a) 貯水を考慮した場合



(b) 貯水を考慮しない場合

図-6 地震後のせん断剛性の低下率(G_e/G_0)

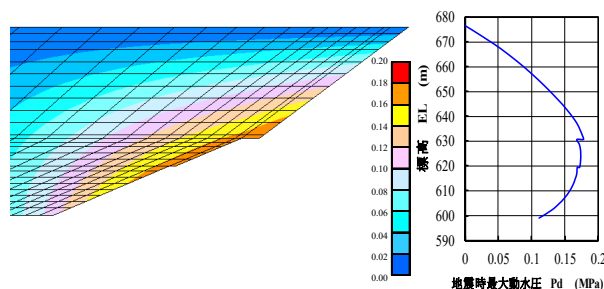


図-7 最大動水圧分布図及び深度分布図

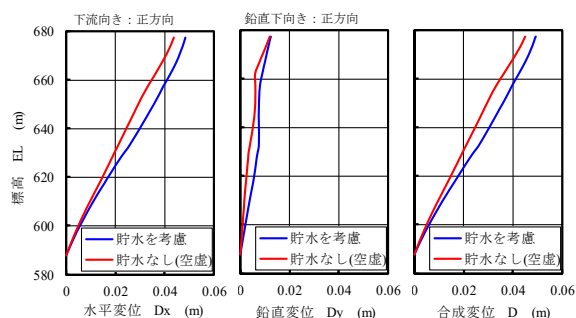


図-8 スラブの地震時最大変位(深度分布図)