

ロックフィルダムの耐震性能照査解析におけるコアトレンチモデル化の影響

土木研究所 正会員 山口 嘉一, 正会員 佐藤 弘行,
非会員 林 直良, 正会員 ○三笠 真吾

1. はじめに

大規模地震に対するロックフィルダムの耐震性能照査解析における解析モデル作成に関して、ロックゾーンと基礎岩盤の間に分布する砂礫層、段丘堆積物などのモデル化や、本堤体内に取り込む上流仮締め切りの詳細なゾーニングのモデル化などが解析結果に与える影響について検討しておくことは、解析モデル作成の合理化につながる。本研究では、ロックフィルダム底敷の形状（コアトレンチの有無）がフィルダムの耐震性能照査解析の結果として得られるすべり変形量に及ぼす影響について検討を行った。

2. 解析方法

図-1 に示す中央土質遮水壁型ロックフィルダムモデルを扁平な要素とならないように有限要素分割し、複素応答法による等価線形解析により堤体応答加速度を求めた。設定すべり円弧の土塊応答平均加速度を求め、Newmark 法の考え方にに基づきすべり変形量を求めた。すべり円弧は、図-2 に示すとおりで既往の研究成果¹⁾により判明した相対的に大規模地震に対する安全性の低い上流側のみを対象とし、円弧の始点や深さとダム高 H と円弧深さ y との比で y/H を 0.1, 0.2-1.0 まで 0.2

刻みで、計 24 円弧設定した。また、入力地震動は兵庫県南部地震時の箕面川波（上下流方向）の最大加速度が 1000gal となるように引き延ばしたものとした。

各種解析に用いた入力物性値を表-1 に示す。貯水位は堤高 H の 92% とした。境界条件はモデル底部で固定境界とし、ロック敷下の基礎地盤をモデル化する場合についてもこれに準じた。堤体材料のせん断剛性および減衰率とせん断ひずみとの関係²⁾ は七ヶ宿ダムの試験値を参考に設定した。本研究では、モデル底部を固定境界条件としているため、基礎地盤でのエネルギー逸散を等価逸散減衰率として、材料減衰率に一律 15%³⁾ 上乘せしている。初期せん断剛性率 G_0 (kN/m²) および平均有効主応力 σ'_m (kN/m²) は式(1)-(3)を用いた。

$$G_0 = 5820 \cdot \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \sigma_m'^{0.6} \quad (\text{ロック}) \quad (1)$$

$$G_0 = 2380 \cdot \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \sigma_m'^{0.7} \quad (\text{フィルタ, コア}) \quad (2)$$

$$\sigma'_m = \frac{1 + 2K}{3} \rho \cdot g \cdot D \quad (3)$$

ここで、e:間隙率、K:主応力比、 ρ :密度(t/m³)、g:重力加速度(=9.8m/s²)、D:層厚(m)である。

なお、本解析に使用した物性値は、七ヶ宿ダムで用いられた設計値や試験値^{2),3)}を参考に設定している。

3. 解析ケース

解析ケースは表-2 のとおり設定した。Case1 では、ロック敷下の基礎地盤やコアトレンチを考慮せず、堤高 100m の堤体のみモデルとして設定した。Case2 では、最大深さ 20m のコアトレンチを有するモデルとした。さらに、ロックゾーンと基礎岩盤の間に砂礫層、段丘堆積物が分布する場合を考慮し、ロック敷下の基礎地盤をモデル化する場合についても設定した。基礎地盤

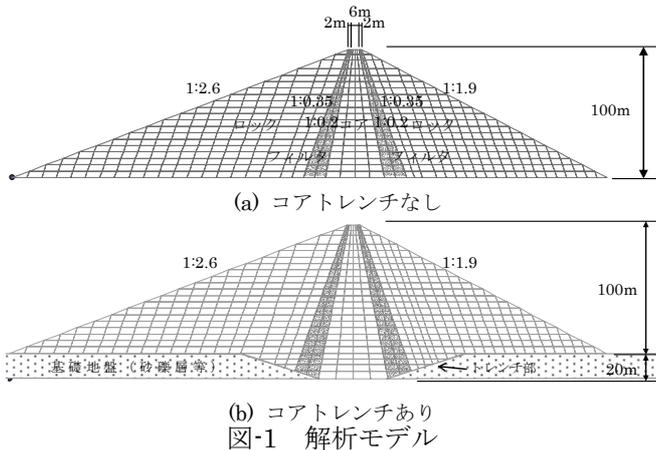


図-1 解析モデル

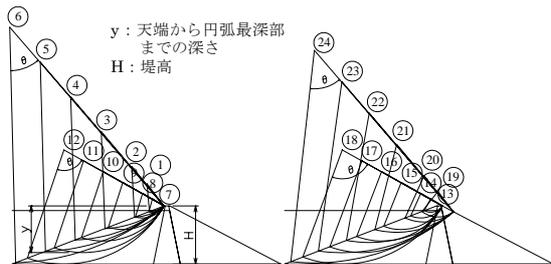


図-2 すべり円弧

表-1 解析に用いた入力物性値

材料の種類	ロック	フィルタ	コア
湿潤密度 ρ_t (t/m ³)	1.94	2.13	2.22
飽和密度 ρ_d (t/m ³)	2.15	2.24	2.23
粘着力 c (kN/m ²)	—	—	0
内部摩擦角 ϕ (°)	—	—	35
A ^{※)}	4.37	1.57	—
b ^{※)}	0.804	0.902	—
ポアソン比	0.35	0.35	0.35
間隙率	0.326	0.33	0.33

※) 応力の単位系として、kN/m²を用いた場合の値。

キーワード ロックフィルダム, 塑性変形解析, すべり変形量, コアトレンチ, 耐震性能照査
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 Tel.0298-79-6781 Fax.0298-79-6737

盤は図-1 の網掛け部に示すように深さはロックゾーン底敷からコアトレンチ底敷標高までの間とし、上下流方向の幅は堤体敷幅の 3 倍程度とした。基礎地盤の堅さは初期せん断剛性率で規定し、表-2 に示す大、中、小の 3 種類とし、堅さ中程度をロック材料相当とした。

4. 解析結果と考察

ここでは、最大すべり変形量を有する円弧グループ(⑬-⑱)の結果について評価を行った。y/H との関係において、図-3 に土塊最大平均応答加速度、図-4 にすべり変形量の分布を示す。また、耐震性能照査上最も重要となる最大すべりが発生する円弧⑭の応答加速度とすべり変形量について Case1 との絶対値差に対する Case1 との比(以下、応答加速度の比およびすべり変形量の比とする。)を表-3、4 に示した。

まず、図-3、表-3 より、土塊最大平均応答加速度への影響について分析する。コアトレンチの有無による影響は Case2-1 と 1 の結果を比較することでわかるが、両者の応答加速度はほぼ同等の分布を示し、応答加速度の比においても微少な差でしかない。次にロック敷下の基礎地盤の剛性による差は、Case2-1 から 2-4 の結果を比較することでわかるが、基礎地盤の剛性が最も小さい Case2-4 が他と比べやや小さくなり応答加速度の比で 1 割強減少となるほかは、同等の値となっている。

図-4、表-4 より、最大すべり変形量への影響について分析する。コアトレンチの有無による影響は Case2-1 と 1 の結果からほぼ同等の分布ですべり変形量の比でも微少な差でしかない。次にロック敷下の基礎地盤の剛性による差は Case2-1 から 2-4 の結果により、基礎地盤の剛性がロック材料以上の Case2-2、2-3 が他と比べてやや大きく、すべり変形量の比で Case2-3 で 1 割強増加となる。一方、基礎地盤の剛性がロック材料よりも低い Case2-4 で最小となり、すべり変形量の比で 1 割程度減少となる。

表-3、4 より応答加速度の比とすべり変形量の比をみると、Case2-3 が応答加速度の比では Case1 に対して微少な差であるのに対して、すべり変形量の比では差が生じている。これは応答加速度の周波数特性の違いに起因していると考えられる。

5. まとめ

本研究の結果、以下のことがわかった。

- ①土塊最大平均応答加速度で見ると、基礎地盤がロック材料よりも軟らかい場合は他の結果よりも小さくなるが、基本的にコアトレンチや基礎地盤の有無に

表-2 解析ケース

ケース名	フィルダムの種類	堤高	基礎地盤の有無	基礎地盤の堅さ	基礎地盤の動的物性値	備考
Case1 (基本ケース)	中央遮水壁型ロックフィルダム(コアトレンチなし)	100m	無	-	-	*)G ₀ とは、動的解析に用いるロック材料の初期弾性係数のことを指す。)基礎地盤モデルは図-1 に示すとおりである。
Case2 (ロックフィルダムの底面形状が与える影響)	Case2-1	120m	無	-	-	
	Case2-2		有*)	大	G ₀ *)×2	
	Case2-3		有*)	中	G ₀ *)	
	Case2-4		有*)	小	G ₀ *)×1/2	

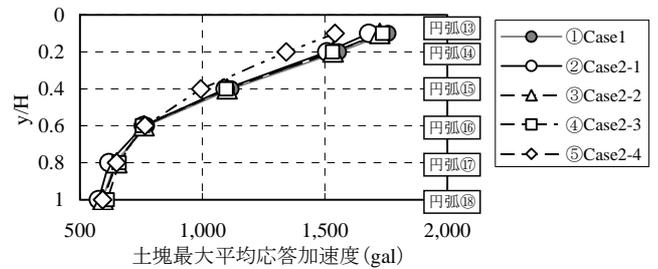


図-3 土塊最大平均応答加速度と y/H の関係

表-3 土塊最大平均応答加速度の結果

円弧	y/H	土塊最大平均応答加速度(gal)				
		①Case1	②Case2-1 (①-②)/①	③Case2-2 (①-③)/①	④Case2-3 (①-④)/①	⑤Case2-4 (①-⑤)/①
⑭	0.2	1555.5	1508.2 (3.0%)	1533.4 (1.4%)	1531.4 (1.6%)	1342.1 (13.7%)

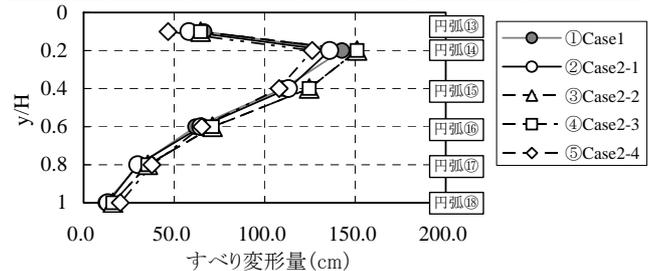


図-4 すべり変形量と y/H の関係

表-4 最大すべり変形量の結果

円弧	y/H	最大すべり変形量(cm)				
		①Case1	②Case2-1 (①-②)/①	③Case2-2 (①-③)/①	④Case2-3 (①-④)/①	⑤Case2-4 (①-⑤)/①
⑭	0.2	142.7	135.9 (4.8%)	151.0 (5.8%)	158.5 (11.1%)	126.2 (11.6%)

よる差は極めて小さい。

- ②最大すべり変形量で見ると、基礎地盤の堅さがロック材料以上の場合は他の結果よりも 1 割程度増加するが、基本的にコアトレンチや基礎地盤の有無による差は小さい。

今後は、精度を高めたフィル材料動的試験等を実施し、より厳密な形での塑性変形量の把握やひずみ軟化を考慮したすべり変形量の簡易推定法など、効率的な耐震性能照査技術の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 山口嘉一, 富田尚樹, 水原道法: ロックフィルダムの地震時すべり変形量に関する検討, ダム工学, Vol.15, No.2, pp.120-136, 2005年6月.
- 2) 松本徳久, 安田成夫, 大久保雅彦, 境野典夫: セツ宿ダムの動的解析, 土木研究所資料, 第2480号, 1987年3月.
- 3) (社)東北建設協会: セツ宿ダム工事誌, 1992年3月.