

渡邊・馬場法によるロックフィルダムの遠心振動時残留変形量評価

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○嶋田 賢
芝浦工業大学 正会員 岡本 敏郎

1. はじめに

近年、ロックフィルダムの耐震性能照査は、地震時の変形により、ダムとしての機能を満足しない恐れのある場合には残留変形量で評価する事が一般的になりつつある。また、残留変形量評価には数値解析と模型実験が行われる。この 2 つを比較すると、模型実験よりも数値解析によるシミュレーションの方が多くの土構造物に用いる事ができる。そこで、本研究では遠心振動台実験¹⁾で観測された沈下量データに対して残留変形解析を行い、実験値と比較し再現性を評価する。また本研究では残留変形解析を、近年研究が進んでいる DEM 法等の詳細な解析方法ではなく、渡邊・馬場法を用いることで、簡便法での適合性を考察する。

2. 解析条件

(1)実験概要 本研究で比較の対象としたロックフィルダムの遠心振動台実験の概要は以下の通りである。実験で用いられた模型は、ロック材のみで構成され、日本国内の施工実績粒度分布のほぼ中間となっている。堤体高さ 55cm、長さ 166cm、天端幅 12cm、斜面勾配 1:1.4 であり、遠心加速度 50G で実験が行われたため、相似則により大きさは 50 倍の堤高 27.5m のダムを模擬している(図-1)。入力波形は兵庫県南部地震において箕面川ダム基礎で観測された地震波形(図-2)を用いて、目標基盤最大加速度を 200,400,800gal となるように連続して 3 回加振が行われた。また、密度による違いを調べるために、高密度・低密度の 2 種類で行われた。

(2)解析概要 解析では図-1 の模型寸法に対して FEM モデル(後述の図-3)を作成し、静的自重解析、動的地震応答解析(解析コード: super FLUSH)を行った。そして、これら応力計算を元に渡邊・馬場法で残留変形量解析を行った。また、解析で用いる物性値は繰返し三軸試験データより表-1 のように決定した。

(3)渡邊・馬場法 残留変形解析に用いた渡邊・馬場法とは、すべり面上の土塊を剛体と仮定し、地震による

外力が加わった時の安全率を基に、破壊基準である安全率 1.0 を下回った時、すべりが発生すると仮定し、変形量を累積させ残留変形量を求める方法である。厳密な方法ではないが、入力物性値は強度特性と円弧すべり位置のみであり容易に計算できる事から、鉄道盛土やフィルダムの変形性能評価法として使われている。解析では、ロック材の強度評価には拘束圧依存性を評価できる ϕ_0 法で解析を行う。また、すべり円弧は中心位置、半径を変化させ複数のすべり円弧で計算を行い、最大残留変形を生じるすべり円弧を選択した。

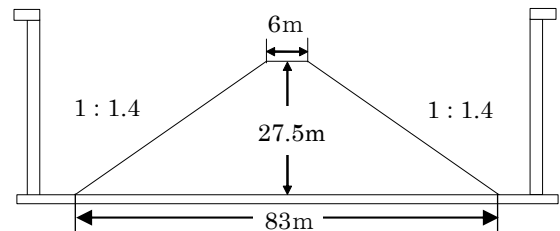


図-1 模型寸法(1G 場換算)

表-1 解析に用いた物性値

		低密度	高密度
乾燥密度: ρ (g/cm ³)		1.67	1.87
せん断剛性係数: G(Kpa/m ²)		3,840 $\sigma_m^{0.72}$	7,080 $\sigma_m^{0.63}$
ヤング率: E(Kpa/m ²)		15,950 $\sigma_m^{0.72}$	8,845 $\sigma_m^{0.63}$
ポアソン比: ν		0.35	0.35
強度定数	a	3.4	9.1
	ϕ_{max} (度)	48.3	65.4

(注)強度定数には三軸試験, その他は繰返し三軸試験
 σ_m : 平均有効応力
 ϕ_0 法: $\tau = \sigma_n \tan \phi_0$

$$\phi_0 = \phi_{max} - a \cdot \log(\bar{\sigma}_n / \bar{\sigma}_0) \quad (\bar{\sigma}_n > \bar{\sigma}_0)$$

$$\phi_0 = \phi_{max} \quad (\bar{\sigma}_n \leq \bar{\sigma}_0) \quad \sigma_0 = 29.4 \text{KN} / \text{m}^2$$

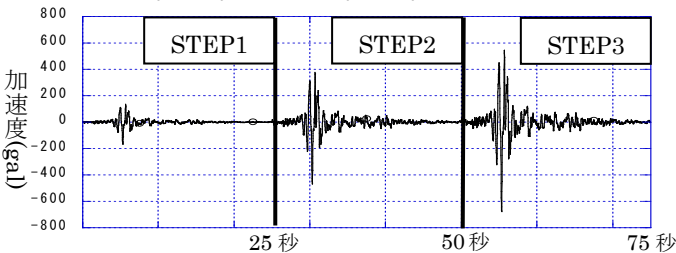


図-2 実験に使用された地震波形(箕面川波)

3. 解析結果

実験では目標基盤最大加速度を 200,400,800gal となるように連続して 3 回加振画行われたが、模型基盤の実測値では目標加速度に達していなかった。そこで、解析では、入力最大加速度を目標加速度ではなく、模型基盤実測値で入力した。(表-2)

解析結果によると、高密度及び低密度での最大残留変形を生じたすべり面は図-3 のようであり、高密度・低密度ともにすべり面は浅く斜面表層付近となっており、実験後の模型の変形形状の様子と符合している。さらに、上記のすべり面における残留沈下量は図-4 のようになっている。これによると、高密度の場合 3 段階目において初めて安全率 1.0 を下回り変形が生じ、最終的に 2.5cm ほど残留沈下を生じた。一方、低密度では 1 段階目から安全率 1.0 を下回り、残留沈下が生じており、最終的に 66cm ほど残留沈下が生じた。

4. 考察

図-5 に解析結果と実験での残留沈下量の比較を行った結果を示す。これによると、高密度の実験結果では 1 段階目から残留沈下が生じ始めるのに対して、解析結果では 3 段階目からであり、解析結果の方が実験結果に比べ残留沈下量が小さい。次に低密度では、実験同様に 1 段階目から残留沈下が生じており、1 段階目と 2 段階目においては解析結果のほうが実験値よりも小さい値となっているが、3 段階目になると実験値に比較的近い値となっており、全体を通して沈下量の増加の傾向をシミュレートできている。

この結果から以下の 2 つの要因により解析と実験結果が異なると考えられる。(1) 実験での天端残留沈下量は大きく分けると、すべり変形による沈下と、せん断破壊を伴わない変形量である 1 次元の揺すり込み沈下に分ける事ができる。今回の解析では円弧すべりが生じると仮定してすべり変形のみを計算しているため、揺すり込み沈下量を再現できていない。(2) 土の特性として高密度の場合ピーク強度を越えると強度が低下し、残留強度まで低下するひずみ軟化が起こる事が分かっている。すなわち、すべりが発生すると強度低下が起こり、すべり変形量が増大する事が考えられる。しかし、今回の解析ではすべり変形発生後の強度低下を再現できていない。

参考文献1) 梶田茂樹, 内田喜久, 鈴木朋和, 星野吉昇, 岡本敏郎:
フィルダム模型の遠心振動台実験, ICOLD 題 73 回年次例会シンポジウム

表-2 基盤最大加速度 (目標値と実測値)

		STEP1	STEP2	STEP3
実験における目標値(gal)		200	400	800
実測値(gal)	高密度	141	317	632
	低密度	167	469	677

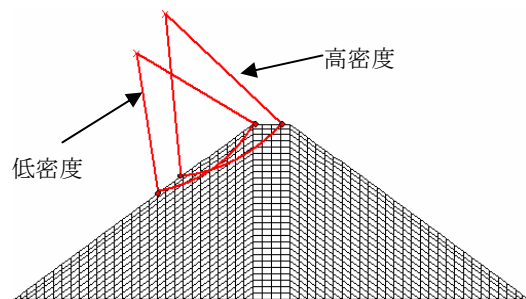


図-3 最大残留変形を示したすべり面

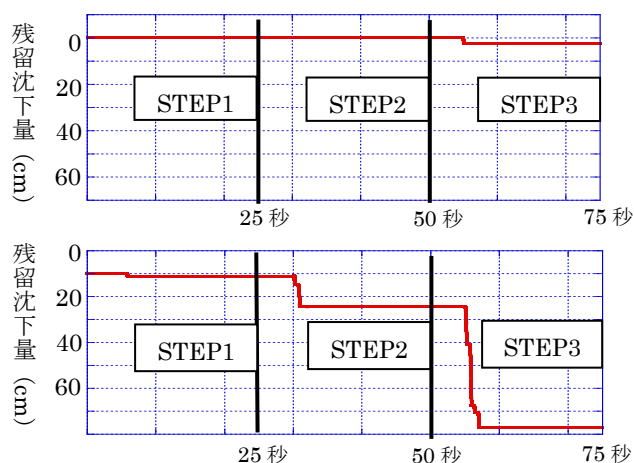


図-4 時系列残留変形量(上:高密度 下:低密度)

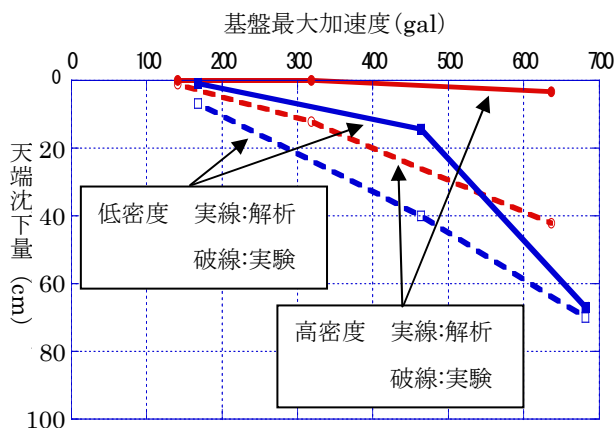


図-5 実験値と解析結果の比較

5. まとめ

本研究ではロックフィルダムの遠心振動台実験に対して渡邊・馬場法で再現解析を行った。その結果、渡邊・馬場法では実験に対する沈下量を評価する場合、低密度では実験結果とほぼ一致したが、高密度やでは沈下量を小さく評価する傾向があり、揺すり込み沈下・ひずみ軟化を考慮し、より詳細な方法での解析が必要である。