

地震時すべり変位からみた山口貯水池アースフィルダムの耐震補強効果

芝浦工業大学 学生会員 ○香山 智史 正会員 岡本 敏郎 白井 勇輔

1. はじめに

山口貯水池は水道専用のアースフィルダムとして昭和9年に竣工され、日本における有数な大規模な貯水池である。このダムは、平成7年に発生した兵庫県南部地震を契機に耐震性能向上のため堤体補強が行われた。東京都による解析¹⁾では補強前と補強後で異なる方法により解析を行っているため、耐震補強効果が不明確となっている。そこで、本研究では補強前と補強後に同じ方法で解析し、耐震補強効果の検証を行い、さらに補強後の課題を考察することを目的とする。

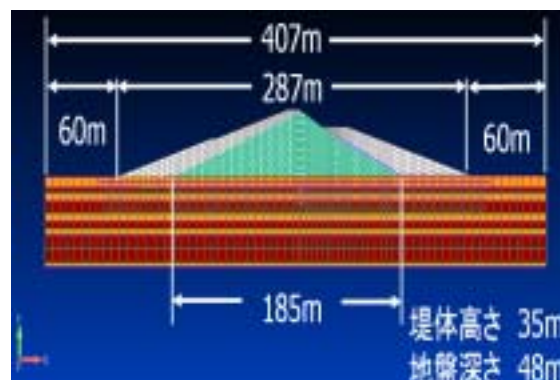


図-1 二次元 FEM モデル

2. 解析概要

(1)解析手法：FEM モデル(図-1)を作成し、自重解析(解析コード「EXAP」)、等価線形解析による動的応答解析(解析コード「Super FLUSH」)により、応力を求める。これらを合成してすべり安全率とすべり変位を求める、この解析を、補強前と、補強後の2通り行って比較を行う。

(2)解析条件

(a)材料区分および入力物性値：堤体部分はロームで盛土され、基礎地盤は礫層と粘土シルト層により成る。補強盛土は礫質土で構成される(図-1)。基礎地盤と堤体、補強盛土の単位体積重量、ポアソン比、初期せん断弾性係数、剛性低下率と減衰定数のひずみ依存曲線など、解析に必要な物性値は、東京都水道局の資料より入手した¹⁾。なお、堤体の初期せん断弾性係数は弾性波速度の結果を詳しく分析し、表層から深さ方向に2m ずつ入力することにした。

(b)入力加速度波形と最大加速度：山口貯水池において実際に起こりうる地震動の中で、設計上考慮すべき地震動は、安政江戸地震、南関東地震、立川断層地震の3種類あげられている¹⁾。その中でも、設計上最も厳しいとされた立川断層地震の波形を入手できなかった。そこで今回は基礎面における最大加速度を東京都による検討同じ600gal として、繰り返し回数の少ない内陸直下型の地震動である箕面川波と、繰り返し回数の多い陸域大断層の

地震動である人工地震波を使用し、立川断層地震はこれら2つの中間的なものと位置づけて計算を行うこととした。(図-2)。

表-1 堤体・地盤の物性値

深さ(m)	物性	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的ヤング係数 E_s (kN/m ²)	静的ポアソン比 ν_s	弾性波速度 V_s (m/s)	せん断弾性係数 G_s (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν_d
堤体	補強盛土	19.6	1550 Z + 114	0.4	3.43 Z + 116	$\frac{\gamma V_s^2}{9.81}$	0.49
	補強前堤体	15.7	662 Z + 22200	0.4	3.43 Z + 116		0.49
0~6	Ig-3	18.6	5.69×10^4	0.4	310		0.48
6~9	Ic-2	16.2	4.71×10^4	0.4	310		0.48
9~20	Yg-1	19.6	1.40×10^5	0.4	490		0.46
20~24	Yc-1	17.7	5.49×10^4	0.4	320		0.48
24~28	Yg-2	19.6	2.35×10^5	0.4	640		0.44
28~31	Yc-2	17.7	7.26×10^4	0.4	370		0.47
31~38.5	Yg-3	19.6	2.41×10^5	0.4	650		0.43
38.5~46	Yc-3	17.7	5.49×10^4	0.4	320		0.43
46~48	Mg-1	19.6	2.92×10^5	0.4	700		0.49

(注)I：芋窪層 Y：谷津層

g：礫層 c：粘土シルト層 z：深さ

	粘着力 C_u (kgf/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
補強前堤体	0.69	12
補強盛土	0	37

箕面川波

人工地震波

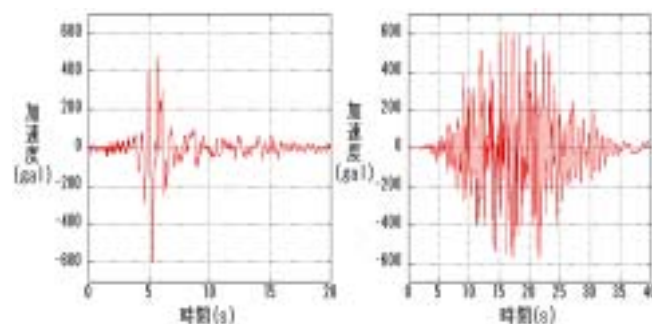


図-2 入力地震動

キーワード：アースフィルダム 耐震補強効果 最小すべり安全率 残留沈下量 山口地貯水池

芝浦工業大学 東京都江東区豊洲 3-7-5 TEL(03) 5859-8360 FAX(03) 5859-8401

(c)検討する円弧：まず補強前堤体における最小すべり安全率の円弧を求め、補強後に比較検討の対象とした円弧は、この円弧すべりと同じで、両側に延長した円弧すべり面に関し、補強前後のすべり安全率を比較することにした。その様子を図-3に示す。図4のように、天端を通る、上流側8通り、下流側8通り行った。

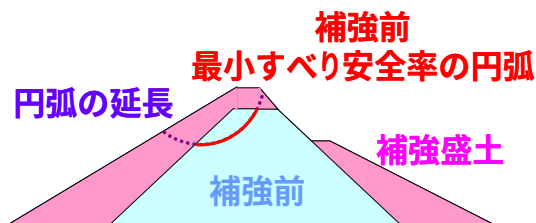


図-3 円弧の設定概念図

3. 解析結果および考察

(1)円弧すべり安全率：箕面川波を用いたときの上下流側および人工地震波を用いたときの下流側において、補強後のすべり安全率は全て補強前に比べて上昇したが、すべり安全率1.0を下回る円弧がいくつかみられた。人工地震波を用いた上流側では、上記よりもより安全率が小さかったため、図-4に上流側8通りの円弧すべりに対する結果を示した。半数以上の円弧で補強後にすべり安全率が上昇しているが、円弧2, 3, 8で補強後にすべり安全率が1.0を下回っていることがわかる。

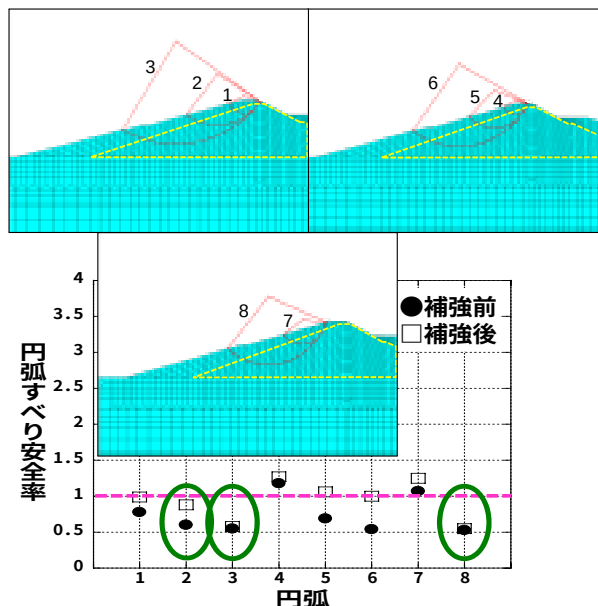


図-4 人工地震波 上流側 すべり安全率

(2)天端沈下量：円弧2, 3, 8での補強前後におけるすべり変位量から天端沈下量を求め比較した結果が図-5である。ロックフィルダムにおいて機能不全が全くないとされる天端残留沈下量は、堤高に対し天端沈下量が0.8%未満とされており²⁾、これによれば山口貯水池の堤高は35mであるため、許容天端沈下量は28cmとなる。補強前後においても許容天端沈下量を下回っており、かつ補強後での残留沈下は非常に軽微な変位に留まっている。

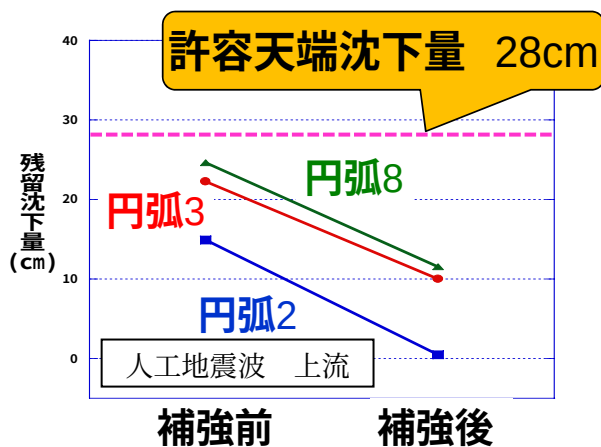


図-5 補強前、補強後におけるすべり変位の比較

(3)補強後表層のすべりによる沈下量：補強盛土内でのすべり変位を調べたところ、上流側における天端での残留沈下が最大で88.8cm計算されたが、補強前の堤体にかかる円弧すべりはなく、補強盛土内だけのすべりに留まっており、補強前の堤体に影響ある円弧すべりで安全率1.0を切るすべりはなかった。したがって、補強盛土表層部で大きなすべり破壊が発生している。

4. まとめ

補強前後にすべり安全率は上昇しており、補強効果はみられた。しかし補強後でも安全率が1.0を切るケースがみられるものの軽微な変位に留まることがわかった。以上より耐震補強効果を確認することができた。しかし、補強盛土部内での安全率が1.0を切ることがあり、今後の課題としてより良い補強対策の検討が必要となる。

参考1) 東京都水道局(2006): 山口貯水池堤体強化事業誌、2) T.Okamoto(2005): Seismic stability evaluation・・・第16回国際地盤工学会議

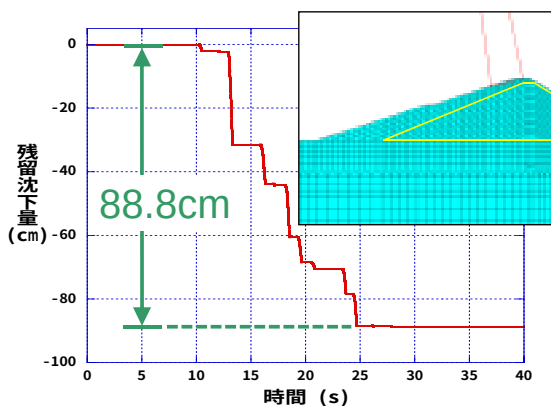


図-6 補強後表層における最大すべり変位