

長期間安定経過しているアースフィルダムの耐震性の検討

Earthquake-proof analysis on stable earth-fill dam after decades of completion

岡本 大樹 吉久 寧
Okamoto Daiki Yoshihisa Yasushi

1. はじめに 現在、ダムの耐震設計は震度法が基本となっており、これにより設計されたダムは、兵庫県南部地震後の評価において、同地震により生じたと推定された最大の強さの地震動に対しても十分な耐震性を有していることが確認されている。しかしながら、その後の地震観測体制の整備等に伴い、これを上回る強さの地震動も観測されており、大規模地震動に対するダムの安全性について照査を行う必要が生じてきている。本報は、完成後長期間安定経過しているアースフィルダムとして、(独)水資源機構(以下、「機構」という。)が管理する豊川用水・駒場池における大規模地震時の健全度を評価するために実施した耐震性の検討について報告するものである。

表 - 1 駒場池の諸元

堤体	型式	傾斜コア型アースフィルダム
	堤高	24.6 m
	堤頂長	187.5 m
	堤体積	216.0 千m ³
貯水池	総貯水量	約 900 千m ³
	有効貯水量	約 800 千m ³
	常時満水位	EL. 60.5 m
ダム完成年月	昭和43年8月	

2. 駒場池の概要 駒場池の諸元を表 - 1 に示す。駒場池は建設時良質な材料の不足から堤体の物性値の見直しを行い、地震時のすべり安全率が1.01であった。しかし、建設後40年経過しており築堤後長期間安定して経過していることから、圧密等により建設時よりも強度が増している可能性があることから、最新の耐震基準に照らし検証を行う際に、設計値での検討に加え、現時点の土質定数での検討が重要となる。このようなことから、現時点の堤体の土質定数を使用し耐震照査を行うため、土質調査及び試験を行いその結果を用いて耐震照査を行った。

3. 建設時の設計値と土質試験結果

建設時の設計値と今回行った試験結果を表-2に示す。

表 - 2 土質定数対比表

	飽和密度		湿潤密度		内部摩擦角		粘着力	
	sat (g/cm ³)		t (g/cm ³)		(°)		C (kgf/cm ²)	
	建設時 設計値	今回 試験値	建設時 設計値	今回 試験値	建設時 設計値	今回 試験値	建設時 設計値	今回 試験値
コア	1.90	2.12	1.80	2.10	17.00	34.20	0.35	0.15
コア上流上部	1.90	2.08	1.80	2.02	25.00	33.40	0.20	0.24
コア上流下部	1.90		1.80		15.00		0.20	
コア下流上部	1.90		1.80		30.00		0.00	
コア下流下部	1.90		1.80		24.50		0.20	

4. 動的解析による安定性の検討

4-1 動的解析の概要 地震に対する堤体の解析は、静的応力を求める初期応力解析(築堤解析、湛水解析)と動的応力を求める地震応答解析からなる。地震に対するダムの安全性の検討のフローを図 - 1 に示す。

4-2 入力地震動 入力地震動は、中央防災会議から公表されている駒場池の地点の東海地震及び東海東南海地震連動型の地震動データを使用した。図-2に東海地震の波形を示す。

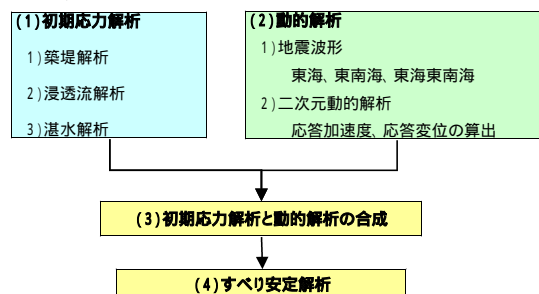


図 - 1 解析フロー図



図 - 2 東海地震入力波形 (EW 方向)

(独)水資源機構総合技術推進室 (Japan Water Agency Water Resources Engineering Department, Incorporated Administrative Agency Japan Water Agency) キーワード: アースフィルダム、耐震検討、動的解析

4-3 解析モデルと土質定数 本解析に用いる物性値を表 4～表 6に示す。基本的にコア・ランダムゾーンは今回の土質試験によって得られた値を採用し、ロック材・基礎地盤等の密度、粘着力及び内部摩擦角は当初設計値を採用し、ロック材の弾性係数、動的物性値等は他ダムの試験結果を準用した。

表 - 4 物性値一覧表(1)

番号	物性名	湿潤密度 (t/m ³)	飽和密度 (t/m ³)	粘着力 (tf/m ²)	内部摩擦角 (°)	透水係数 (m/s)
	ロック材	2.000	-	0.00	40.00	
	ランダム材(下流上部)	2.020	2.080	2.40	33.40	5.65 E-05
	ランダム材(上流上部)	2.020	2.080	2.40	33.40	5.65 E-05
	コア	2.100	2.120	1.50	34.20	5.92 E-05
	コア(上流表層)	2.100	2.120	1.50	34.20	5.92 E-05
	ランダム材(下流表層)	2.020	2.080	2.40	33.40	5.65 E-05
	ドレーン	1.800	1.900	0.00	30.00	1.00 E-03
	湖底土	1.490	1.790	0.00	0.00	5.48 E-04
	基礎沖積層(上流)	1.800	1.900	0.00	30.00	2.89 E-04
	基礎沖積層(下流)	1.800	1.900	0.00	30.00	2.89 E-04
	基礎	1.900	2.100	6.00	38.50	0.00
	ランダム材(上流下部)	2.020	2.080	2.40	33.40	5.65 E-05
	ランダム材(上流下部)	2.020	2.080	2.40	33.40	5.65 E-05

表 - 5 物性値一覧表(2)

番号	物性名	弾性係数 E(tf/m ² (MPa))			ポアソン比 i			間隙比 ε
		K	n	Rf	G	F	D	
	ロック材	1614	0.110	0.856	0.374	0.26	11.440	0.290
	ランダム材(下流上部)	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	ランダム材(上流上部)	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	コア	220	0.240	0.511	0.366	0.38	4.824	0.500
	コア(上流表層)	220	0.240	0.511	0.366	0.38	4.824	0.500
	ランダム材(下流表層)	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	ドレーン	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	湖底土	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	基礎沖積層(上流)	1800(17.652)				0.260		0.500
	基礎沖積層(下流)	1800(17.652)				0.260		0.500
	基礎	6000(58.834)				0.270		0.500
	ランダム材(上流下部)	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550
	ランダム材(上流下部)	246	0.716	0.557	0.271	0.18	7.686	0.550

表 - 6 物性値一覧表(3)

物性番号	せん断弾性係数 G (MPa)	初期せん断弾性係数 G _i	減衰定数 h	ポアソン比
コアゾーン	$\frac{1}{1+ /2.81 \times 10^{-4}} \times G_0$	$\frac{200}{540} \times G_0$ (MPa) $\frac{0.57}{0.57} \times G_0$ (kgf/cm ²)	$\frac{1}{1+ /2.81 \times 10^{-4}} \times 0.19$	不飽和: 0.410 (表層: 0.400) 飽和: 式1
ランダムゾーン	$\frac{1}{1+ /5.54 \times 10^{-4}} \times G_0$	同上	$\frac{1}{1+ /5.54 \times 10^{-4}} \times 0.20$	飽和: 式1
ロック部	$\frac{1}{1+ /3.11 \times 10^{-4}} \times G_0$	$\frac{1210}{2800} \times G_0$ (MPa) $\frac{0.64}{0.64} \times G_0$ (kgf/cm ²)	$\frac{1}{1+ /3.11 \times 10^{-4}} \times 0.15$	不飽和: 0.333 飽和: 式2
沖積層	$\frac{1}{1+ /1.11 \times 10^{-3}} \times G_0$	484(MPa) 4940(kgf/cm ²)	$\frac{1}{1+ /1.11 \times 10^{-3}} \times 0.30$	0.45

式1: sawada式 $=0.45-0.006 \times Z^{0.92}$ (コア材) 式2: sawada式 $=0.49-0.001 \times Z^{0.92}$ (ロック材)
ここに、Z: 深さ(m)
せん断ひずみ
m: 平均主応力

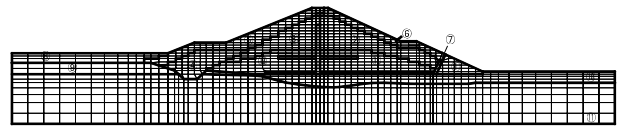


図 - 3 解析モデル図

4-4 地震応答解析 初期応力解析に続き、地震時のダムの挙動を見るため、等価線形法による地震応答解析を実施した。2ケースの入力地震波により得られた最大加速度について、ダム軸上の最大加速度分布図を図 4に示す。いずれもモデル底部からダム底部まではほとんど増加していない。東海東南海地震連動型波形では中標高部で一端加速度が減少し、その後増幅している。ダム天端の加速度は東海地震波形で516.6ガル、東海東南海地震連動型波形で623.9ガルとなっている。

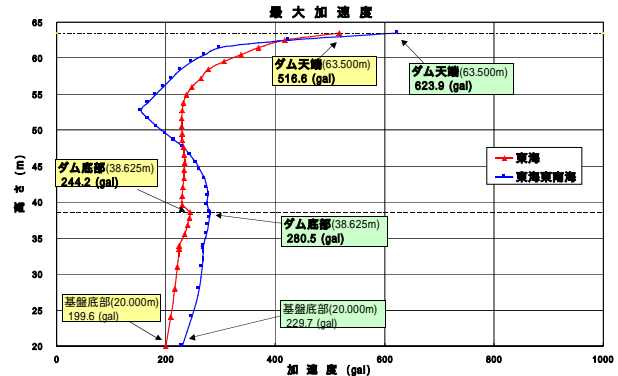


図 - 4 加速度分布図

4-5 すべり安全率 地震時のダムの安全性の検討として、ある仮想すべり面を想定し、そのすべり円弧の安全性を評価する。すべり安全率を算定したすべり円弧を図 4に示す。最小すべり安全率は、上流側が東海地震波形のFS=1.86。下流側が東海地震波形の1.72であった。

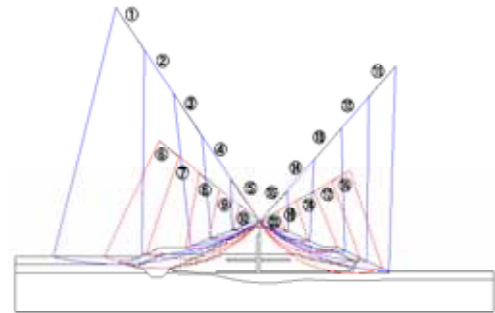


図 - 5 設定すべり円弧図

5. まとめ 長期間安定経過しているアースダムである駒場池の東海地震等に対する耐震照査を行った。現在のダム材料の強度が建設時の設計値よりも大きいことが解析結果に反映されたものと考えられる。建設当時の良好な施工管理、長期間の圧密による強度増加などが要因として挙げられる。このように長期間安定している土構造物の照査にあたっては、現在の物性値を用いて照査することが現状の耐震性をよりの確に評価する上で重要となるものと考えられる。