独立行政法人土木研究所	正会員	〇山口嘉一
独立行政法人土木研究所	正会員	佐藤弘行
独立行政法人土木研究所	正会員	下山顕治

1. はじめに

平成20年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震では、 地震発生時に盛立段階であった中央土質遮水壁型ロックフィ ルダム(以下, A ダムと呼ぶ)において、すべりを伴わない 比較的大きな沈下が発生した.本研究では、岩手・宮城内陸 地震時のA ダムの変形挙動を累積損傷解析により再現する.

2. 解析の概要

2.1 解析方法

本研究では,築堤解析結果を初期応力とする地震応答解析 を実施し,得られた応力を用いて累積損傷解析を実施した.

築堤解析は Duncan-Chang モデルを用いた盛立解析とし, 地震応答解析には複素応答法による等価線形解析を用いた. 累積損傷解析は,地震によるフィルダムの永久変位が,繰返 し応力により発生する築堤材料の残留ひずみに起因するとい う考え方に基づいている¹⁾. なお,累積損傷解析における繰 返しせん断応力比 *SR*_dの算出方法は,著者ら²⁾の検討結果を 参考に次式を用いることとした.

 $SR_{d} = \{ (\sigma_{xd} - \sigma_{yd})/2 \sigma_{m'} \} \cdot \sin 2\beta + (\tau_{xyd}/\sigma_{m'}) \cdot \cos 2\beta$ (1)

ここに、 SR_d :繰返しせん断応力比、 $\sigma_{xd}, \sigma_{yd}, \tau_{xyd}$:地震に よる増分応力、 σ_m' :常時の平均有効応力、 β :せん断が最 も卓越する軸と鉛直方向(y軸)のなす角である.

入力地震動は、岩手・宮城内陸地震時において、Aダムに は地震計が設置されおらず、Aダム基礎部の地震記録が得ら れていないため、Aダム近傍の既設のロックフィルダムに おいて作成された基礎部の加速度時刻歴³⁾を用いた.図-2 に入力地震動を示す.

2.2 解析モデルおよび物性値

解析モデルを図-1に示す.モデルは地震発生時における 最大断面の形状を再現した2次元断面とした. 築堤解析で は、堤体および基礎をモデル化し、地震応答解析では、堤 体のみをモデル化して、底面を固定境界とした.

表-1 に築堤解析に用いた物性値を示す.物性値は,Aダ ム材料の設計値や試験結果を基本として,築堤解析による

節点鉛直変位が A ダムの層別沈下計計測値に合致するように調整したものを用いた.基礎岩盤の弾性係数は,盛立 中の岩盤変位計の計測値を基に設定した.

表-2 に等価線形解析に用いたパラメータを示す.動的変形特性は A ダム材料を対象とした不飽和条件における繰返し三軸試験結果を基に設定し、ポアソン比には沢田式を用いた.逸散減衰は 15% とした.

キーワード	ロックフィル,耐震,沈下,累積損傷度理論	
連絡先	〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所	TEL: 029-879-6781

	EL. III
フィルタト	320
M X 229	300
	260
	240
図-1 解析モデル(堤体部)	220

表-1 築堤解析に用いた物性値

	-									
	密度 (g/cm ³)	弾性係数		ポアソン比			強度		
ゾーン名	湿潤	飽和	k	n	$R_{\rm f}$	G	F	D	c (kN/m ²)	ф (°)
コア	2.07	2.10	281.6	0.564	0.785	0.342	0.100	8.30	15.2	36.0
フィルタ	2.08	2.15	947.2	0.317	1.042	0.303	0.344	7.21	23.5	37.0
ロック	2.01	2.11	1073.5	0.131	0.744	0.240	0.183	10.68	64.7	41.5
基礎岩盤	-	-	4315MPa		0.25		-	-		

表-2 等価線形解析に用いた物性値

バーンタ	ーンタ 飽和 初期せん断剛性		ひずみ依存	字特性 ^{*2)}	ポアソン	逸散減衰
/-//	条件	$G_0 (\text{MPa})^{*1)}$	γr	$h_{\max}(\%)$	比 ν *3)	h_0 (%)
コア	不飽和	294.879 σ m ^{0.444}	1.06×10^{-3}	18.0	沢田式	15
フィルタ	不飽和	628.347 σ m ^{0.665}	4.74×10^{-4}	15.6		
ロック	不飽和	737.070 σ m ^{.0.680}	4.80×10^{-4}	14.0		

*1) $\sigma_{\rm m}$: $(\sigma_{\rm m}^{+})$: $(\sigma_{\rm m}^{+})$

*3) v=0.450-0.0062^{0.00}:コブ材料, v=0.375-0.006Z^{0.58}:フィルタ, ロック材料 Z:堤体表面からの深度(m)

表−3 累積ひずみ特性

	ゾーン名	飽和条件	SR _d ~N _c 関係式		
	コア	不飽和	$SR_{d}=2.15 \epsilon^{0.90} \cdot N_{c}^{(-0.51 \epsilon^{0.08})+0.19 \epsilon^{0.25}}$		
	コア	飽和	$SR_d=0.23 \epsilon^{0.60} \cdot N_c^{(-0.40 \epsilon^{0.33})+0.19 \epsilon^{0.21}}$		
	フィルタ	不飽和	$SR_{d}=0.44 \epsilon^{0.07} \cdot N_{c}^{-0.17}+0.06 \epsilon^{1.46}$		
	ロック	不飽和	$SR_{d}=0.47 \epsilon^{0.07} \cdot N_{c}^{-0.17}+0.37 \epsilon^{1.46}$		
Ĩ	*) SR ₄ : 繰返しせん断応力比, N ₄ : 繰返し回数,				

ε:累積軸ひずみ(%)





表-3 に累積損傷解析に用いる累積ひずみ特性を示す.累積 ひずみ特性は、A ダム材料を用いた繰返し三軸試験結果を基 に設定した.このとき、フィルタおよびロック材料は不飽和 条件における試験結果を用いた.コア材料については、地震 時にAダムコアゾーンにおいて間隙水圧の上昇が見られたた め、不飽和条件のほか、飽和条件についての物性も設定した. 表-4 に検討ケースを示す.

3. 静的·動的解析結果

図-3 に初期せん断弾性係数 G_0 および等価線形解析における収束剛性 G の分布を示す. G_0 および G は堤体表面からの距離に応じて大きくなる. コアゾーンの G_0 および G は他のゾーンよりも小さい.図-4 に上下流方向最大加速度の鉛直分布を示す.入力の最大値の 4.65m/s²に対して,天端において 4.66~5.92m/s²となっており,応答倍率は 1.0~1.3 倍となった.図-5 に,コアゾーン,上下流ロックゾーンにおける動的増分応力による偏差応力($\sigma_{xd}-\sigma_{yd}$)/2 とせん断応力 τ_{xyd} の関係の履歴を示す. τ_{xyd} と($\sigma_{xd}-\sigma_{yd}$)/2 は,地震中において,ある程度一定の比を保って変動しており,地震時にせん断の卓越する軸が存在していることがわかる.

4. 累積損傷解析結果

図-6 に累積損傷解析による残留変形図を示す.ケース1の 変形形状は、コアゾーンの沈下量がフィルタ、ロックゾーン の沈下量よりも小さくなった.ケース2の変形形状は、コア ゾーンの沈下量がフィルタ、ロックゾーンよりも大きく、上 下流のロック、フィルタゾーンはコア方向に傾く形状となっ た.表-5 に層別沈下計設置位置近傍における天端の沈下量と

層別沈下計最上部の沈下量を,図-7に沈下量の鉛直分布の比較を示 す.ケース1と2では、コア材料の累積ひずみ特性に飽和条件の物 性を用いたケース2の方が実測値に対する再現性が高い結果が得ら れた.また、ケース2の解析結果と層別沈下計計測値の鉛直分布を 比較すると、上流ロック部およびコア部では、解析結果と実測値の 分布形状はよく一致している.下流ロック部では、層別沈下計最 上段の沈下量は解析結果と実測値で近い値となったが、深部にお いて,解析結果が実測値に比べて沈下量が小さい傾向が見られた.

5. まとめ

累積損傷解析により,岩手・宮城内陸地震時のAダムの沈下挙動を再現できた.今後はAダムの湛水時を対象に本解析手法を適用し,大規模地震に対する完成ダムの耐震性能を検討する予定である.

参考文献

- 島本和仁、山口嘉一、佐藤弘行、安田成夫、佐野貴之:フィルダムの 累積損傷に伴う変形予測手法、ダム技術、No.244、pp.15-31、2007.
- 2) 下山顕治,山口嘉一,佐藤弘行:ロックフィルダムへの累積損傷解析の適用性の検討,土木学会第66回年次学術講演会(投稿中),2011.

240

220

3) 三石真也,大谷知樹,末久正樹,山口嘉一,岩下友也,林直良,佐々木晋:平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査 報告,土木研究所資料,第4120号, pp.90-137, 2008.



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 沈下量 (m) 沈下量 (m) 沈下量 (m) 沈下量 (m) 沈下量 (m) 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.8 0.0 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.8 0.0 0.8 0.0 0.8 0.0 0.8 0.0 0.8 0.0 0.8 0.0 0.8 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.8 0.8 0.0 0.8 0.8 0.0 0