

アーチダムに発生する地震時応力に対する堆砂の剛性の影響

弘前大学 フェロー会員 有賀 義明

1. まえがき

河川周辺域等で地表改変や地盤変状等が発生すると降雨時に地表の土砂が河川に流入し、ダムでは堆砂が発生する。ダムで堆砂が増加すると洪水調整機能や発電機能が低下するため、これらの機能維持に関しては、排砂や浚渫等の堆砂対策が施されている。しかし、ダムの耐震性能に関しては、堆砂の影響を評価した研究例がないことから、本研究では、アーチダムを研究対象にダム堤体に発生する地震時応力に対する堆砂の影響について三次元的解析により検討した。

2. 三次元的解析による検討

2.1 解析の主眼

ここでは、地震時応力に対する堆砂の剛性（硬軟）の影響に着目して比較解析を行った。

2.2 解析モデル

解析対象は、堤高 100m のアーチダムとし、図-1 と図-2 に示したように、ダム堤体と基礎岩盤の連成解析モデル（堤体モデル）と堆砂とダム堤体と基礎岩盤の連成解析モデル（堆砂モデル）の 2 種類の解析モデルを設定した。堆砂の厚さは堤高の 1/3（33m）を仮定し、基礎岩盤は幅 600m、高さ 300m、奥行き 500m の領域をモデル化した。堆砂、ダム堤体、基礎岩盤ともにソリッド要素を用い、連続体としてモデル化した。側方境界は粘性境界、下方境界は剛基盤とした。貯水については堆砂の影響に焦点を絞って検討するため、また、堤体の地震時応力の評価に際しては空虚時の方が応力が大きくなると想定されるため、空虚時を仮定した。解析は線形解析とし、解析には汎用解析プログラム ISCEF を使用した。

2.3 解析用物性値

ダム堤体と基礎岩盤の解析用動的物性値を表-1 に示す。ダム堤体の動的せん断剛性は、2011 年東北地方太平洋沖地震での既設アーチダムの実地震時挙動に基づく研究結果¹⁾を踏まえ、地震時の非線形性も考慮して 6000N/mm²を設定した。減衰定数は 5%を仮定した。堆砂の動的せん断剛性は、表-2 に示したように 3 種類の値を設定して比較解析を行った。

2.4 入力地震動

解析には、図-3 に示した、土木学会コンクリート標

準示方書耐震性能照査編²⁾に例示されたレベル 2 地震動基盤波を用い下方基盤より上下流方向に入力した。

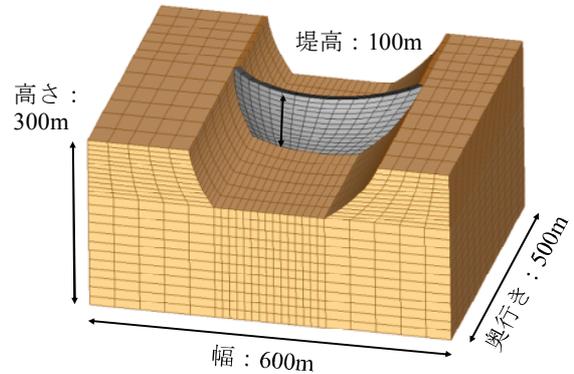


図-1 ダム-基礎岩盤連成解析モデル（堤体モデル）

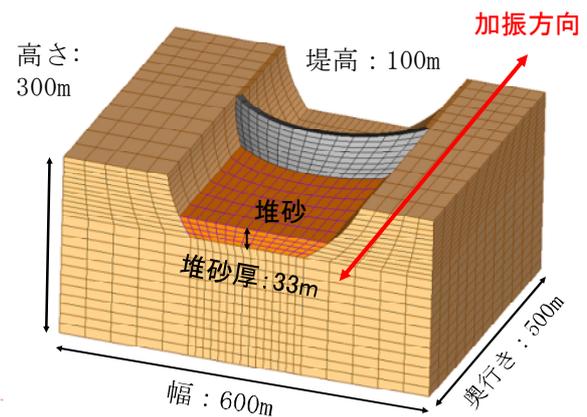


図-2 堆砂-ダム-基礎岩盤連成解析モデル（堆砂モデル）

表-1 ダム堤体と基礎岩盤の動的物性値

項目	密度 g/cm ³	ポア ソン比	せん断 剛性 N/mm ²	S波 速度 m/s	減衰 定数
ダム堤体	2.4	0.2	6000	1580	0.05
基礎岩盤	2.6	0.25	4500	1315	0.05

表-2 堆砂の動的物性値

項目	密度 g/cm ³	ポア ソン比	せん断 剛性 N/mm ²	S波 速度 m/s	減衰 定数
ケース 1	1.6	0.4	10.25	80	0.05
ケース 2			23.05	120	
ケース 3			64.0	200	

キーワード：アーチダム、堆砂、三次元的解析、地震時引張応力、耐震性能照査

連絡先：〒036-8561 弘前市文京町 3, 弘前大学 大学院理工学研究科 Email : y-a-arig@hirosaki-u.ac.jp

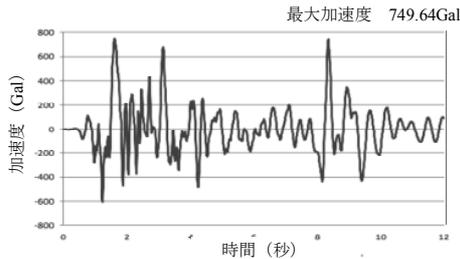


図-3 入力地震動

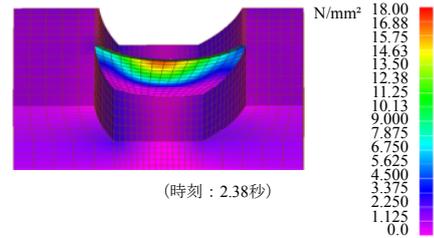


図-4 堤体モデルでの地震時最大引張応力の分布

2.4 解析結果

(1) 堤体モデルにおける地震時応力

堤体モデルでの地震時の最大引張応力分布を図-4に示す。また、図-6に示した代表出力位置での地震時の最大引張応力の値を表-3に示す。図-4と表-3より、地震時の最大引張応力は、天端中央周辺で大きく、天端中央(位置2)では18.40N/mm²、天端左岸(位置1)では7.52N/mm²、天端右岸(位置3)では4.57N/mm²となった。

(2) 堆砂モデルにおける地震時応力

堆砂の剛性を变化させた場合の堤体の地震時最大引張応力分布を図-5に、代表出力位置の地震時最大引張応力の値を表-3に示す。表-3より、天端左右岸(位置1および位置3)では堆砂の存在によって最大引張応力が大きく増大したことが分かる。引張応力の値が大きい天端中央(位置2)では、堆砂の剛性が10.25 N/mm²の場合、最大引張応力が17.05N/mm²であったのに対して、堆砂の剛性が64.0 N/mm²の場合、最大引張応力は18.50N/mm²となり、増加した。一方、天端左岸(位置1)では堆砂の剛性が10.25 N/mm²の場合、最大引張応力は11.49N/mm²であったが、堆砂の剛性が64.0 N/mm²の場合、最大引張応力は10.01N/mm²となり、減少した。このように、ダム堤体の地震時応力に対する堆砂の剛性の影響は、ダム堤体において画一的ではなく、堆砂の剛性を高くすると引張応力が増大する位置がある一方で、引張応力が減少する位置があることを示す結果が得られた。

3. あとがき

今回の解析結果から、ダム堤体の地震時引張応力は堆砂の剛性によって変化し、地震時引張応力の増減の現れ方や位置はダム全体系(堆砂とダム等の連成系)の地震時挙動に応じて変化するものと考察される。ダムの地震時挙動は、ダムの形状・寸法、サイトの地形・岩盤等によって変化するので、堆砂が顕在化しているダムに関しては、個々の地点依存性を考慮しながら耐震性能を適確に照査することが必要である。

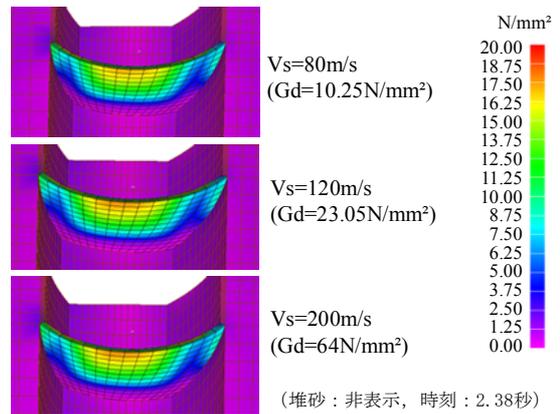


図-5 堆砂モデルでの地震時最大引張応力の分布

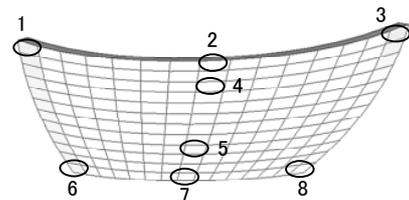


図-6 ダム堤体での代表出力位置

表-3 地震時の最大引張応力の比較

ダム堤体 での位置	最大引張応力 (N/mm ²)			
	堤体 モデル	堆砂モデル		
		堆砂の動的せん断剛性 (N/mm ²)		
	堆砂なし	10.25	23.05	64.0
1 天端左岸	7.52	11.49	11.62	10.01
2 天端中央	18.41	17.05	17.56	18.50
3 天端右岸	4.57	7.71	7.75	6.86
4 中央上部	14.64	15.40	15.85	15.41
5 中央下部	4.81	5.85	5.08	6.40
6 底部左岸	6.23	6.44	6.39	5.90
7 底部中央	18.40	17.00	19.47	14.89
8 底部右岸	6.72	7.38	7.67	6.59

参考文献

1) 有賀義明, 上島照幸, 仲村成貴, 塩尻弘雄: 三次元動的解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震におけるダブルアーチダムの耐震性評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.70, No.4, I_121- I_129, 2014
 2) 土木学会土木学会: コンクリート標準仕方書耐震性能照査編, p47, 2002