

強震時の堤体の非線形性はアーチダムの耐震性評価にどう影響するか

弘前大学 フェロー会員 ○有賀 義明

1．概要

コンクリートダムの耐震性能照査では地震時の引張応力が重要な評価指標であり，強震時の評価では動的変形特性の非線形性の考慮如何が議論になる．そこで，動的せん断剛性の非線形性に着目し，その変化がダムの耐震性評価にどう影響するか三次元動的解析により検討した．

2．三次元動的解析の方法

(1) 解析対象

解析対象は，図-1 に示した，堤高 100m，堤頂長 310m の理想化したアーチダムとした．基礎岩盤は，幅 600m，奥行き 500m，高さ 300m の領域をモデル化した．ダムおよび基礎岩盤は 8 節点ソリッド要素でモデル化し，側方境界は粘性境界，下方境界は剛基盤とした．

(2) 貯水条件

貯水池が満水の場合，アーチダムには水圧が作用し堤体は圧縮応力状態になる．貯水が無い場合は，貯水の水圧が作用しないため，強震動を受けた場合，堤体には引張応力が容易に発生し易くなる．したがって，耐震性評価の視点では満水時よりも空虚時の方が危険な条件になるため，ここでは空虚時を設定した．

(3) 解析用物性値

堤体の非線形性は，ダムコンクリートの引張試験の結果¹⁾と 2011 年東北地方太平洋沖地震時の実ダムの実地震時挙動の再現解析の結果²⁾に基づき図-2 のように設定し，堤体の動的解析用物性値は，非線形性の影響を比較検討するために表-2 に示したように微震時 ($G/G_0=1.0$) と強震時 ($G/G_0=0.65$) の 2 ケースを設定した．

等価線形解析を行った場合，動的解析が収束した時の動的剛性の値は，各要素によって異なるため，非線形性の影響を単純に考察することが難しい．そのため，ここでは，非線形性の影響を単純に考察するために，非線形性を考慮して動的剛性の値を設定した上で，解析は，線形解析により行った．解析には，汎用解析プログラム ISCEF を使用した．

(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．

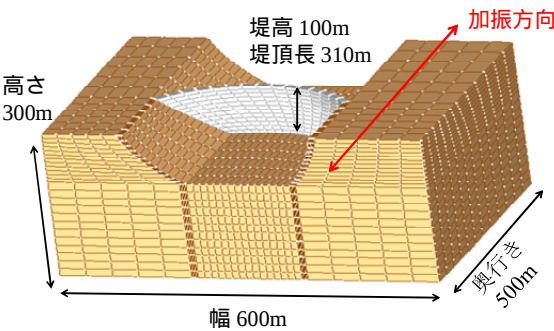


図-1 三次元有限要素解析モデル

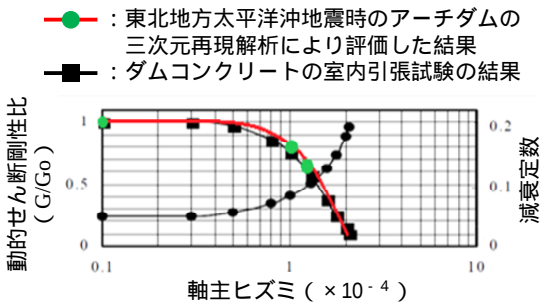


図-2 堤体の動的変形特性の非線形性

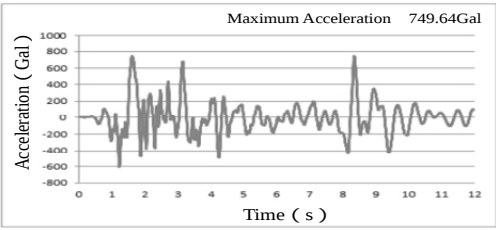


図-3 入力地震動

表-1 堤体の動的解析用物性値

Case	動的せん断剛性 N/mm ²	密度 ³ t/m	ポアソン比	減衰定数	備考 G/G ₀
1	9250	2.40	0.20	0.05	1.0
2	6000	2.40	0.20	0.05	0.65

(G/G_0 : 動的せん断剛性の低下率)

表-2 基礎岩盤の動的解析用物性値

動的せん断剛性 N/mm ²	S波速度 m/s	密度 ³ t/m	ポアソン比	減衰定数
4500	1315	2.60	0.25	0.05

キーワード：アーチダム，耐震性能照査，非線形性，三次元動的解析，地震時引張応力

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

3. 三次元動的解析の結果

地震動によって発生した変位と引張応力について、堤体と基礎岩盤の代表出力位置での最大値をそれぞれ表-3と表-4に示す。代表出力位置は図-4に示したとおりであり、堤体と基礎岩盤での最大引張応力の分布をそれぞれ図-5と図-6に示す。

(1) 堤体の変位と引張応力に対する影響

堤体の非線形性の影響は、堤体天端中央（位置3）で顕著に現われており、動的せん断剛性が 9250 N/mm^2 から 6000 N/mm^2 に低下したことによって、堤体の最大変位は 49.7 cm から 63.5 cm に増大し、最大引張応力は 13.13 N/mm^2 から 10.40 N/mm^2 に低下した。動的剛性の低下に伴い堤体の引張応力は全体的に低下傾向を示した。また、位置2（天端・右寄）では最大引張応力が 15.18 N/mm^2 から 15.72 N/mm^2 に、位置4（天端・左寄）では 11.58 N/mm^2 から 12.49 N/mm^2 になり、僅かではあるが増加した。

(2) 基礎岩盤の変位と引張応力に対する影響

今回の解析では堤体の動的剛性だけを変化させたが、表-4から分かるように、基礎岩盤での最大変位と最大引張応力に関しては値に殆ど差は見られなかった。

4. 考察

コンクリートダムの耐震性は、加速度、変位ではなく引張応力に支配されるため、引張応力が耐震性評価の重要な指標になる。堤体の動的剛性を低下させた場合、地震動によって堤体に発生した引張応力は全体的に低下傾向を示した。このことから、強震時の堤体の非線形性はアーチダムの耐震性評価に有利な影響を及ぼす可能性がある」と推察される。換言すれば、非線形性を考慮しない場合は安全サイドの評価になるものと推察される。ただし、引張応力が僅かに増加した位置も見られたので、もし引張応力が大きく増大する事例では留意が必要である。

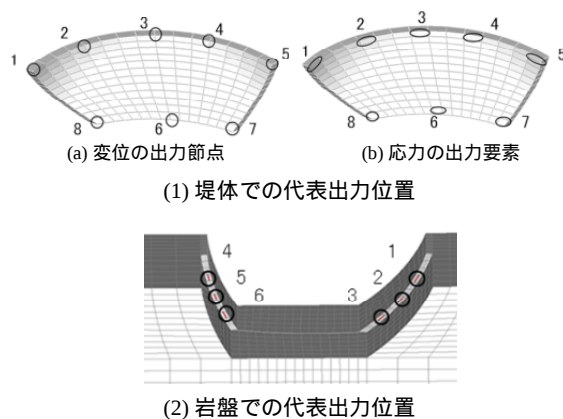


図-4 地震時応力の代表出力位置

参考文献

- 1) 畑野正：コンクリートの如き脆弱体のひずみに立脚した破壊論，土木学会論文第153号，pp.31-39，1968。

表-3 地震動による堤体の変位と引張応力

位置	堤体の動的せん断剛性 (N/mm^2)			
	G=9250	G=6000	G=9250	G=6000
	堤体の最大変位 (cm)		堤体の最大引張応力 (N/mm^2)	
1 天端・右岸	29.7	29.9	7.10	5.96
2 天端・右寄	36.3	41.8	15.18	15.72
3 天端・中央	49.7	63.5	13.14	10.40
4 天端・左寄	42.2	47.4	11.58	12.49
5 天端・左岸	30.1	30.3	13.21	11.94
6 底部・中央	17.7	17.6	12.81	12.72
7 底部・左岸	21.0	21.0	10.47	8.23
8 底部・右岸	19.5	19.4	8.18	6.96

表-4 地震動による基礎岩盤の変位と引張応力

位置	堤体の動的せん断剛性 (N/mm^2)			
	G=9250	G=6000	G=9250	G=6000
	岩盤の最大変位 (cm)		岩盤の最大引張応力 (N/mm^2)	
1 右岸・上段	28.2	28.3	3.15	3.20
2 右岸・中段	25.6	25.6	3.85	3.77
3 右岸・下段	22.2	22.2	3.68	3.58
4 左岸・上段	28.9	29.1	3.54	3.53
5 左岸・中段	26.8	26.9	4.03	4.04
6 左岸・下段	23.8	23.8	4.27	4.23

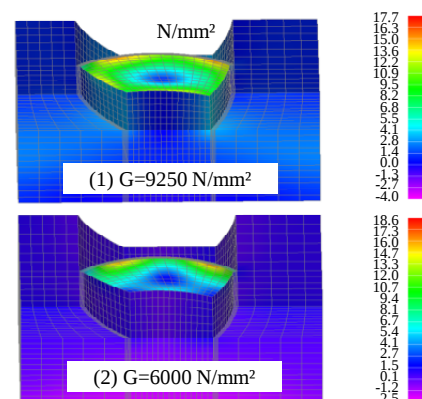


図-5 堤体での地震動による引張応力の分布

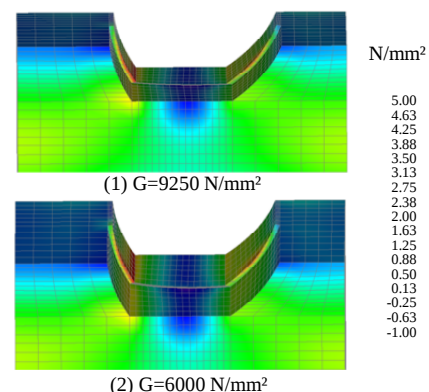


図-6 基礎岩盤での地震動による引張応力の分布

- 2) 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 (地震工学論文集第 33 巻)，_121- _129，2014。