

アーチダムの地震時応力に及ぼす動的せん断剛性の影響

弘前大学 フェロー会員 ○有賀 義明
弘前大学 非会員 齊藤 大
弘前大学 学生会員 三浦千穂, 佐藤優乃

1. まえがき

ダムの耐震性能を照査するためには地震時応力の評価が重要であり、地震時応力を評価する際には動的変形特性の値を設定することが必要であり、また、強震時の応力を評価する場合には動的変形特性の非線形性の影響を考慮することが必要になる。ここでは、動的変形特性の内、動的せん断剛性に着目して、その値の変化が堤体に発生する地震時応力の解析結果にどのような影響を及ぼすかについて三次元動的解析により比較検討した。

2. 三次元動的解析による比較検討

2.1 解析対象

複雑な形状をしたアーチダムとして、マルチプルアーチダムを解析対象とした。マルチプルアーチダムの建設事例としては、海外では Hongrin ダム（堤高：123m，総堤頂長：600m，竣工 1969 年，スイス），国内では大倉ダム（堤高：右岸ダム 42m，左岸ダム 82m，総堤頂長 323m，竣工 1961 年，宮城県）等がある。これらの既設事例を参考にして、解析対象の形状・寸法等を仮定した。

2.2 解析モデル

三次元解析モデルを図-1 に示す。ダムの形状は、左岸ダム、右岸ダム、左・右岸ダム(全体系)の形状が非対称になるように設定した。ダムの堤高は、左岸・右岸ダムともに 100m，堤頂長は右岸ダム 310m，左岸ダム 246m，ダム底面の長さは右岸ダム 166m，左岸ダム 100m とした。スラストブロックは、コンクリート造とし、下流面の天端幅は 50m，底面幅は 143m とした。ダム、基礎地盤ともにソリッド要素でモデル化し、基礎地盤の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、地震時引張応力を評価する際に安全サイドの条件になることを念頭に置き空虚時を仮定した。解析は、線形解析とし、解析プログラムは ISCEF を使用した。

2.3 解析用物性値

ダム堤体と基礎地盤の解析用動的物性値をそれぞれ表-1 と表-2 に示す。ダム堤体の非線形特性（ひずみ依存性）は図-2 のように設定し、表-1 に示したように動的せん断剛性は 3 通りの値を設定した。図-2 の■印は、ダムコンクリートの引張試験の結果¹⁾を基に図化したものであり、●印の 3 点は、2011 年東北地方太平洋沖地震

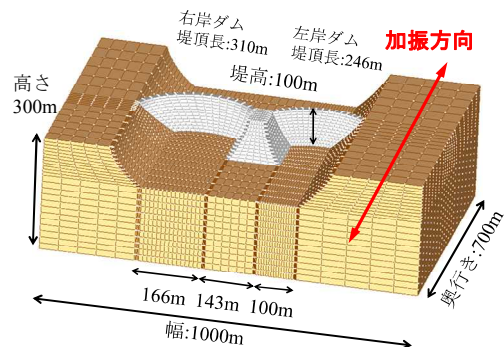


図-1 三次元動的解析モデル

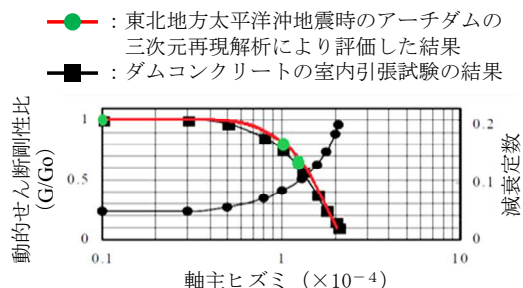


図-2 ダム堤体の動的変形特性のひずみ依存性

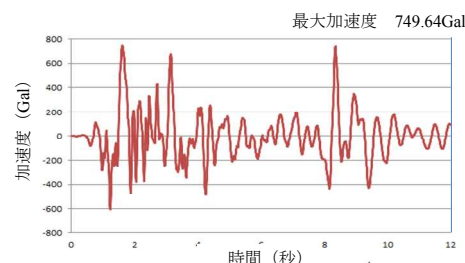


図-3 入力地震動

表-1 ダム堤体(スラストブロック含む)の動的物性値

Case	動的せん断剛性 ²⁾ N/mm ²	密度 ³⁾ t/m ³	ポアソン比	減衰定数	備考 G/G0
1	9250	2.40	0.20	0.05	1.0
2	7310	2.40	0.20	0.05	0.73
3	6000	2.40	0.20	0.05	0.65

(G/G₀ : 動的せん断剛性の低下率)

表-2 基礎地盤の動的物性値

動的せん断剛性 ²⁾ N/mm ²	S波速度 m/s	密度 ³⁾ t/m ³	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，三次元動的解析，ひずみ依存性，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 地球環境学コース Tel・Fax 0172-39-3608

の本震時(3/11), 余震時(4/7), 余震後の小規模地震時の大倉ダムの実地震時挙動の再現解析により同定した結果²⁾である。

24 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³⁾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。

25 地震時引張応力の解析結果

代表出力位置の地震時引張応力(地震動によって発生した応力)の最大値を表-3に示す。代表出力位置は図-4に示したとおりである。位置9(左岸ダムの天端右岸寄り)では, 動的せん断剛性の低下に伴い地震時引張応力の最大値が増大した。位置1と位置12(左・右岸アバットメント)では, 動的せん断剛性の变化に伴う地震時引張応力の変化は小さかった。位置5と位置8のスラストブロック接続部では, 地震時引張応力の値が大きく, また, 動的せん断剛性の低下に伴い地震時引張応力の値が低下した。位置3(右岸ダム天端中央)と位置11(左岸ダムの天端左岸寄り)では地震時引張応力の値が大きく, 動的せん断剛性の低下率も大きかった。一方, 位置10(左岸ダムの天端中央)では, 地震時引張応力の値は小さく, 動的せん断剛性の变化の影響も小さかった。

今回の比較解析では, 動的せん断剛性の値の低下に伴い地震動によって生じた引張応力の値は, 総じて低下の傾向を示した。なお, 図-5に示したように地震時引張応力の分布形状については大きな相違は見られなかった。

3. あとがき

マルチプルアーチダムのように複数のダムがスラストブロックで連結されている場合には, 地震時引張応力は, 堤体とスラストブロックの接続部で大きくなることが想定されるので, ダム堤体に加えてスラストブロックの耐震性能についても十分な検討を行うことが必要であると考えられる。

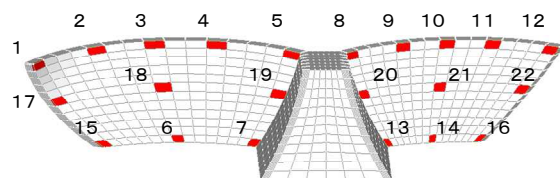


図-4 地震時応力の代表出力位置

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, 土木学会論文集第153号, pp.31-39, 1968
- 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), I_121-I_129, 2014

表-3 代表出力位置における地震時引張応力 (N/mm²)

代表出力位置		位置 番号	ダム堤体の動的せん断剛性		
			9250	7310	6000
右岸ダム	右岸アバットメント	1	11.34	9.00	11.20
	天端右岸寄り	2	<u>24.78</u>	<u>23.32</u>	<u>22.38</u>
	天端中央	3	20.13	18.72	14.64
	天端左岸寄り	4	13.68	14.61	13.32
	スラストブロック接続部	5	<u>29.74</u>	<u>27.02</u>	<u>19.26</u>
	基礎中央	6	15.45	13.57	12.78
左岸ダム	スラストブロック接続部	8	<u>32.59</u>	<u>28.42</u>	<u>29.65</u>
	天端右岸寄り	9	18.77	21.85	23.97
	天端中央	10	7.23	6.83	7.07
	天端左岸寄り	11	<u>32.07</u>	<u>28.78</u>	<u>26.62</u>
	左岸アバットメント	12	19.58	20.41	17.70
	基礎中央	14	14.81	13.20	11.41

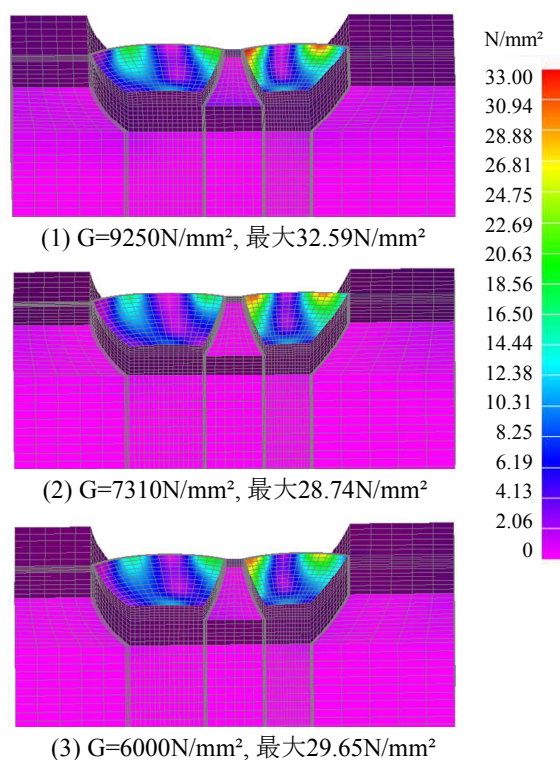


図-5 ダム堤体での地震時引張応力の分布

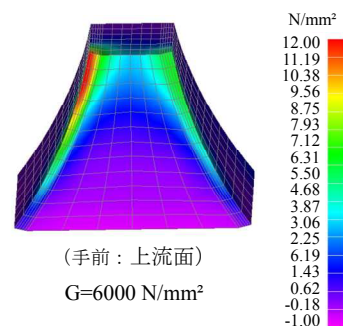


図-6 スラストブロックでの地震時引張応力の分布

- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 耐震性能照査編, p.47, 2000