

## アーチダムの減衰定数に寄与するジョイント部におけるエネルギー逸散分について

電力中央研究所 正会員○豊田幸宏 中部電力 正会員 上田 稔  
株式会社シーテック 正会員 恒川和久 日本大学 正会員 塩尻弘雄

## 1. はじめに

ダムの減衰定数は、堤体や岩盤の内部減衰、貯水や岩盤への波動伝播によるエネルギー逸散を含んだものと考えられ、地震応答解析を実施するにあたり重要なパラメータの1つである。本報では、堤体の横継ぎ目（以下、ジョイントと記す。）部をモデル化した3次元有限要素モデルを用いて、ダムの減衰定数に対する堤体等の内部減衰やエネルギー逸散それぞれの寄与分を数値解析的に把握することを目的とする。

## 2. 解析の概要

## 2.1 解析モデル

解析対象は、図-1に示す既設アーチダムであり、岩盤、堤体ならびに貯水の連成を考慮した3次元有限要素モデルを作成した（図-2）。表-1に解析用物性値を示す。ジョイント部における非線形挙動をモデル化するために、堤体モデルの太線部分に3次元ジョイント要素を用い、図-3に示すような剛性を有する非線形ばねから成る。

## 2.2 解析方法

(1)時刻歴応答解析による共振曲線の作成 本解析では、最小0.01Hz間隔で周波数の異なる正弦波を複数作成し、それらをダム天端の構造節点（図-1参照）に入力波として与え、時刻歴応答解析を逐一実施することにより共振曲線を作成した。入力波の振幅については、起振実験相当（20tonf）（以下、基準加振力と記す）とその50倍とした。なお、本解析では、予め静的解析を実施し、静水圧により発生する初期応力を考慮した。

(2)減衰定数の評価 本報では、共振曲線より得られた減衰定数は、1)ジョイント部の非線形挙動に起因するエネルギー逸散、2)堤体及び岩盤の材料減衰（予め解析モデルに対してレーリー減衰として付与）、3)貯水と岩盤への逸散ならびに貯水の付加質量相当分、以上を含むものと考え、ハーフパワー法により求める。また、ジョイント部を考慮した解析モデルから得られた共振曲線とは別に、同じ貯水位条件ではあるが、ジョイント要素を適用していない線形モデルから求めた共振曲線からも減衰定数を算出した。但し、貯水位条

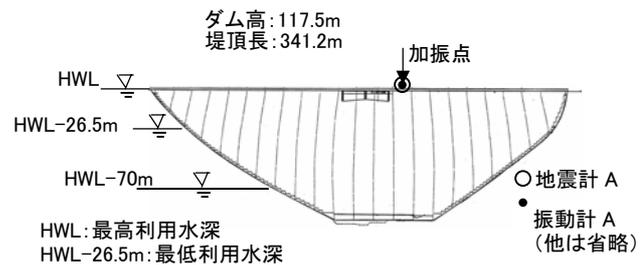


図-1 I アーチダムの上流面展開図と貯水位

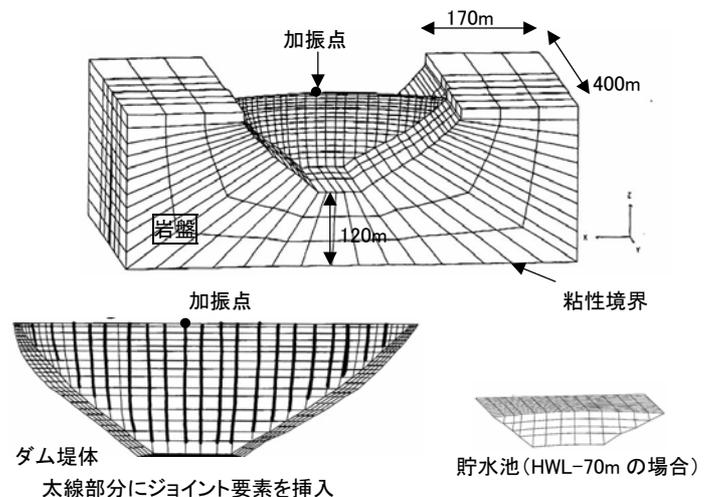


図-2 解析モデルのメッシュ分割図

表-1 解析に使用した物性値

	波動伝播速度 (m/sec)	動弾性係数 (GPa)	動ポアソン比	単位体積重量 (Kg/m <sup>3</sup> )	減衰定数*) (%)
ダム	2,460	37.24	0.20	2.5x10 <sup>3</sup>	1.0
岩盤	1,700	18.03	0.25	2.5x10 <sup>3</sup>	1.0
貯水池	水中音速 (m/sec)		1,400		
	インピーダンス比		5.3(地山), 1.0(貯水)		

\*) レーリー減衰係数 :  $a_1 = 2.45 \times 10^{-1}$ ,  $a_2 = 3.58 \times 10^{-4}$

キーワード アーチダム, 減衰定数, 施工ジョイント, 有限要素法

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 TEL04-7182-1181

件 HWL-70m の場合、ジョイント部の非線形挙動により、堤体の剛性が低減するので<sup>1)</sup>、線形モデルにおける堤体の剛性が、それと一致するように、ダムの変位係数のみを 15%程度低減させた値を用いた。この解析モデルから求まる減衰定数には、ジョイント部における逸散分は含まれないことになる。

3. 解析結果

表-2に、図-4に示す1次の共振ピークに対する減衰定数を、線形モデルに基づく値と併せて示す。同表に示すように、基準加振力の条件でも、既にジョイント部におけるエネルギー逸散は生じている。これは、既報<sup>1)</sup>にて指摘したように、ジョイント部における接触・剥離現象の発生に対応する。また、基準加振力×50の条件では、共振曲線より求めた減衰に対する、ジョイント部におけるエネルギー逸散分の占める割合が大きくなっていることがわかる。図-5に、種々の貯水位条件に対する堤体の内部減衰（堤体の材料減衰とジョイント部の逸散分を併せた値）の変化を示す。同図中の地震記録に基づく値は、ダム上部（地震計A、図-1参照）における最大加速度が5gal以下の場合のものであり、貯水や岩盤への逸散分を含まない、ダムの減衰定数である<sup>2)</sup>。同図によれば、貯水位条件がHWL-26.5mの場合は、計測結果の95%信頼区間内にあるが、HWL-70mの場合には、当該区間を逸脱している。これは、後者が、ダム天端での最大加速度が、15gal程度であること、このため、同様な貯水位条件でも、前述したように、ジョイント部における非線形挙動がより発生しやすい状態にあり、それに起因するエネルギー逸散分が減衰に含まれているからである。

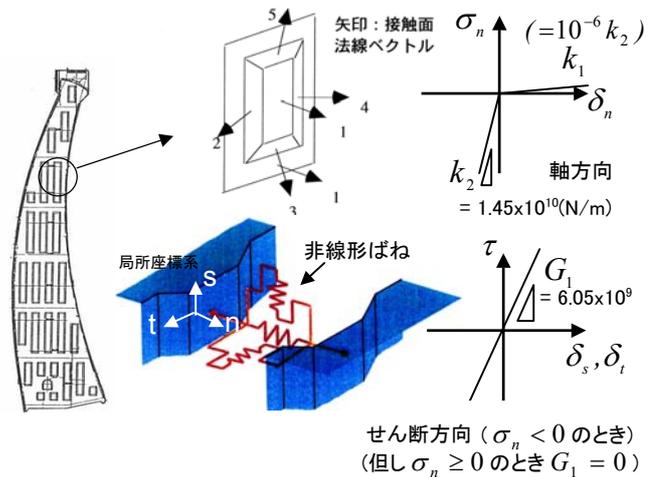


図-3 ジョイント部の解析モデル

4. まとめ

ダムの減衰定数に対する堤体等の内部減衰や逸散分を非線形 FEM モデルにより数値解析的に把握した。

参考文献 1) 豊田ら、第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp. 965-968, 2001. 8. 2) 塩尻ら、土木学会論文集 No. 640/I-50, pp. 177-192, 2000. 1

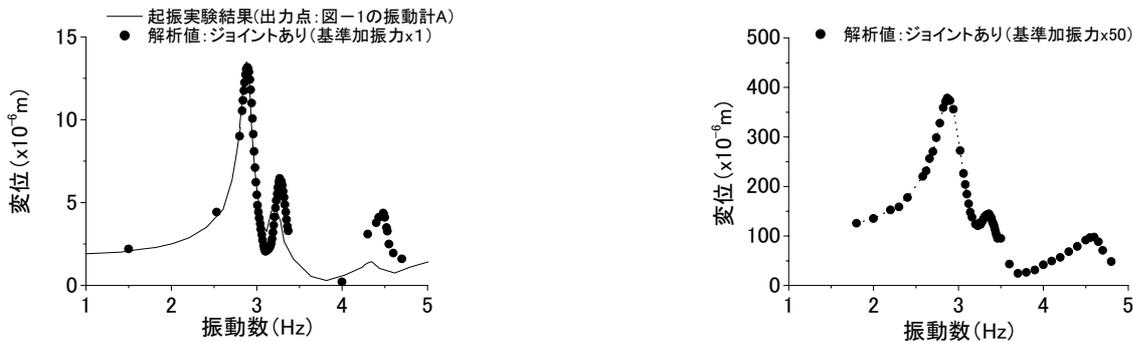


図-4 加振点位置における変位共振曲線の例：貯水位 HWL-70m の場合

表-2 減衰定数の詳細分析結果一覧

加振力倍率	ジョイント	共振曲線より求めた減衰(*1)	ジョイント部における逸散③=①-②	ダムコンクリートの材料減衰④(設定値)	ダム堤体 Total ⑤=③+④	貯水と岩盤への逸散等=①-⑤
× 1	あり	3.20①	0.82	1.03	1.85	1.35
	なし	2.38②				
× 50	あり	5.58①	3.20	1.04	4.24	1.34
	なし	2.38②				

(\*1) ハーフパワー法による。

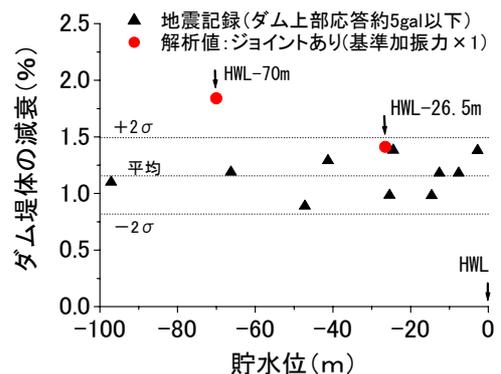


図-5 貯水位とダム堤体の内部減衰の関係