

フィルダムの固有周期と堤高、堤頂長との関係

佐藤 博¹ ・ 栗田哲史²

¹正会員 東京電力(株)電力技術研究所 構造研究室 (〒230 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

²正会員 工博 東電設計(株)技術開発本部 (〒110 東京都台東区東上野3-3-3)

本研究は、既存のロックフィルダム6地点とアースダム2地点を対象として、フィルダムの固有周期とダムの堤高、堤頂長等との関係を調べたものである。地震観測を行っている8地点のフィルダムの観測記録を用いて、各ダムの1次固有周期を求めた。求められた固有周期とダムの堤高、堤頂長との関係を統計的処理により分析した。検討の結果、ダムの堤高と固有周期の間には高い相関性が認められた。また、堤頂長もある程度以下の長さの時には、固有周期との間に相関が見られた。更に、ダムの固有周期を目的変量、堤高と堤頂長を説明変量とした重回帰分析の結果から、堤高の寄与が支配的であることを把握した。

Key Words : fill dam, natural period, regression analysis, height of crest, length of crest

1. はじめに

フィルダムの振動特性は、堤高、堤頂長等のダム諸元、谷形状、堤体の物性等多くの要因に依存する。著者らはこの特性を把握する為に、模型振動実験、地震観測、数値シミュレーション等の総合的な検討を進めている。この内、地震観測は実ダムの特性を直接的に把握する上で有益な手法であり、これまでに多くの観測結果が報告されている^{1)~7)}。東京電力(株)管内のフィルダムについても、大ダムを中心に地震計を設置し、観測記録をデータベース化している。一般にダムが建設される地点は良質の岩盤上が多く、平野部の沖積層と比較して大きい加速度の記録は少ないが、現在までにある程度の観測記録が蓄積された為、これらの整理、分析を行った。

本報告では、フィルダムの地震時応答性状を簡便に把握するための基礎的資料を得ることを目的として、振動性状の最も基本的な量である固有周期に着目し、固有周期とダム諸元との関係を分析した。

分析の対象としたのは東京電力(株)管内の8地点のフィルダムである。まず、地震観測記録からダムの1次固有周期を求め、堤高との関係、堤頂長との関係をそれぞれ分析した。次に、固有周期を目的変量、堤高と堤頂長を説明変量として重回帰分析を行い、各説明変量の寄与の程度を分析した。以下にその結果を報告する。

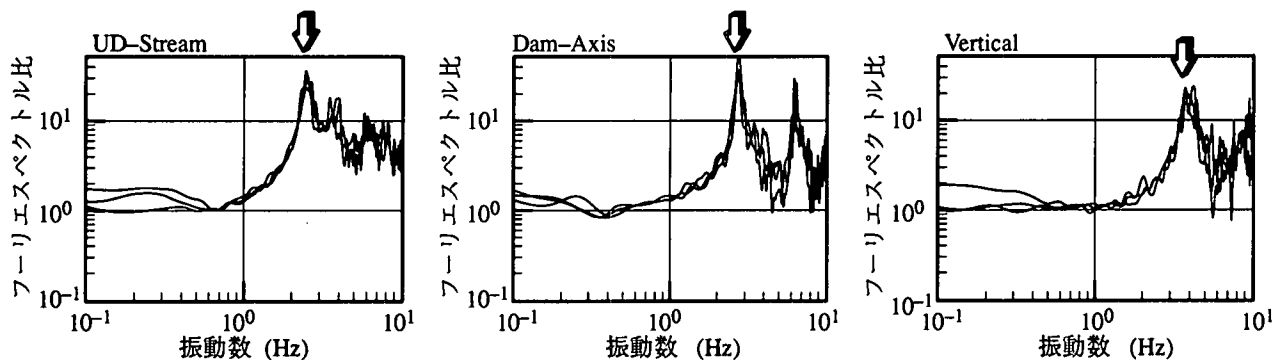
2. 対象ダムの概要

表-1に対象としたフィルダムの諸元を示す。内訳はロックフィルダムが6地点、アースダムが2地点である。また、ロックフィルダムの内、4地点は中央遮水壁型、2地点は表面遮水壁型である。堤高は18m~176m、堤頂長は153m~982mまでと幅広く分布している。表-1には、各地点で集録されている観測記録数及び、解析に使用した地震記録の数も併せて示している。

表-1 フィルダム諸元

番号	名称	型式	フィル材	コア材	堤高 (m)	堤頂長 (m)	集録地震 記録数	解析対象 記録数
1	Aダム	R	ロック	粘性土	97.5	340.0	8	4
2	Bダム	E	粘性土	コンクリート	18.18	981.82	8	8
3	Cダム	CFR	ロック	-	44.0	152.5	7	2
4	Dダム	R	ロック	粘性土	116	570	46	6
5	Eダム	E	粘性土	粘土コンクリート	37.27	309.10	37	15
6	Fダム	R	ロック	粘性土	176	362	6	4
7	Gダム	R	ロック	粘性土	125	340	7	5
8	Hダム	AFR	・ロック	-	90.5	263.0	3	3

(型式) R:中央遮水壁型ロックフィルダム,E:アースダム,CFR:コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダム,
AFR:アスファルト表面遮水壁型ロックフィルダム



(1) 上下流方向

(2) ダム軸方向

(3) 上下方向

図-1 加速度記録のフーリエスペクトル比（天端／基盤部）の例（Hダム, 0.2HzのParzen windowで平滑化）

表-2 各ダムの1次固有振動数の平均値と変動係数

番号	名称	上下流方向			ダム軸方向			上下方向		
		平均値 (Hz)	変動係数	データ数	平均値 (Hz)	変動係数	データ数	平均値 (Hz)	変動係数	データ数
1	Aダム	2.2	0.03	12	2.4	0.04	12	3.6	0.03	3
2	Bダム	2.8	0.04	8	2.9	0.03	8	3.6	0.01	6
3	Cダム	5.3	0.00	2	5.5	0.00	2	7.1	0.00	2
4	Dダム	2.0	0.03	12	2.2	0.02	12	3.3	0.04	9
5	Eダム	1.9	0.05	11	2.0	0.02	15	3.0	0.03	11
6	Fダム	1.4	0.03	12	1.6	0.00	12	1.9	0.02	4
7	Gダム	1.7	0.03	10	1.9	0.04	10	-	-	-
8	Hダム	2.5	0.00	12	2.7	0.00	12	3.8	0.01	11

3. フィルダムの固有周期と堤高、堤頂長との関係

(1) ダムの固有周期と堤高との関係

各フィルダムの1次固有振動数は、図-1に示するような基盤部の加速度記録に対する堤体の各地震計の加速度記録のフーリエスペクトル比から、その1次ピークの値（図中の矢印）を読み取って求めた。観測記録及びスペクトル比の組合せは複数存在する為、表-2に示すように平均値及び変動係数を求めた。この時、観測記録に堤体材料の非線形性が見られるもの及びピークが不明瞭なものは、この組み合わせから取り除いた。固有振動数の変動係数は0.0～0.05の間にあり、ばらつきは非常に小さい。表-2の平均値の逆数を対象としたダムの1次固有周期の代表値として以下の検討に用いた。

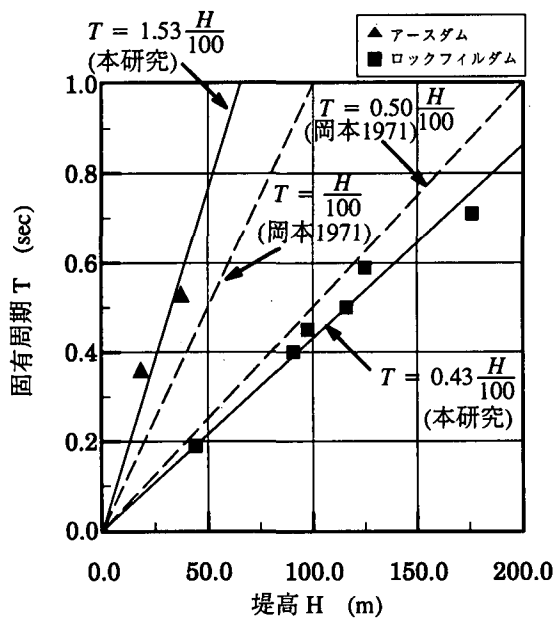
図-2に堤高と1次固有周期との関係を示す。図中の実線は最小二乗法によるデータの回帰式を表している。また、破線は岡本¹⁾が求めた回帰式である。全てのデータはほぼ回帰式上に有り、固有周期とダムの堤高との間に高い相関性が認められる。アースダムとロックフィルダムとでは明かに傾向が異なっている。同じ堤高でもアースダムの方がロックフィルダムに比べて長周期であり、堤体の剛性の違いが

主要因と考えられる。

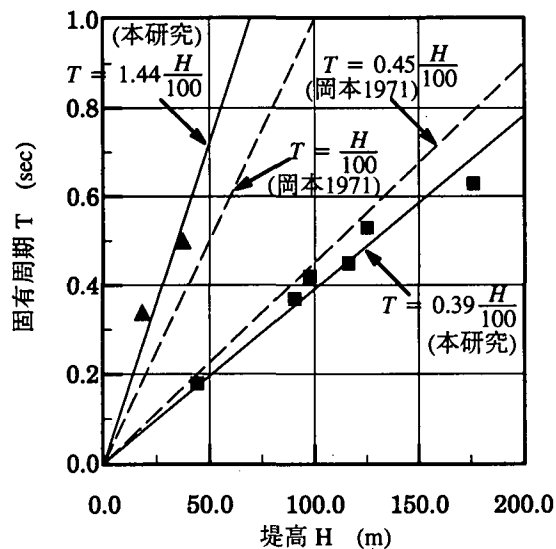
また、岡本の回帰式と比較すると、回帰係数はやや異なるものの、アースダムとロックフィルダムで傾向が異なること、また、上下流方向、ダム軸方向、上下方向の順に周期が短くなることなど全体的傾向は良く似ており、岡本の式を補足するデータが得られたものと考えられる。

(2) ダムの固有周期と堤頂長との関係

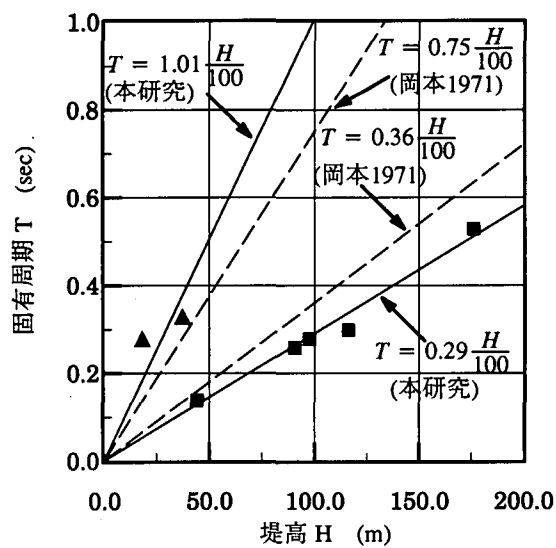
図-3に堤頂長と1次固有周期との関係を示す。堤頂長と1次固有周期との関係については、今回のデータの範囲では堤頂長が概ね400m以下の範囲で両者の間に正の相関が見られるが、400mを超えるダムについては相関が見られなくなる。これは、堤高に対して堤頂長がある程度以上長くなるとアバットメントの拘束の影響が小さくなり、堤頂長が固有周期に及ぼす影響も小さくなることがその一因と考えられる。ちなみに、堤頂長 $L \leq 400\text{m}$ の範囲で回帰式を求めると、各データは回帰式と良く一致しており、堤頂長がこの範囲では固有周期との間に高い相関性が有ることが分る。但し、堤高との関係で見られたような、アースダムとロックフィルダムの間の顕著な差異は認められない。



(1) 上下流方向

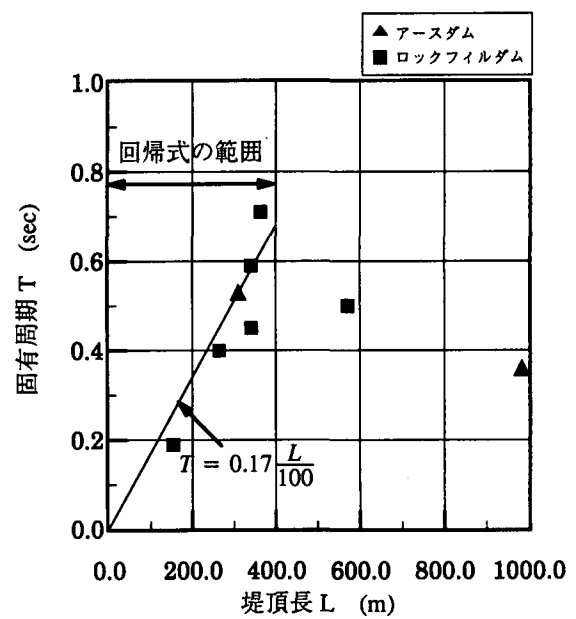


(2) ダム軸方向

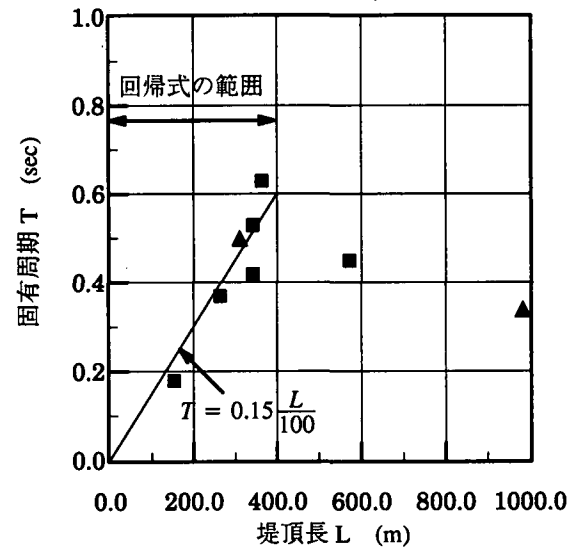


(3) 上下方向

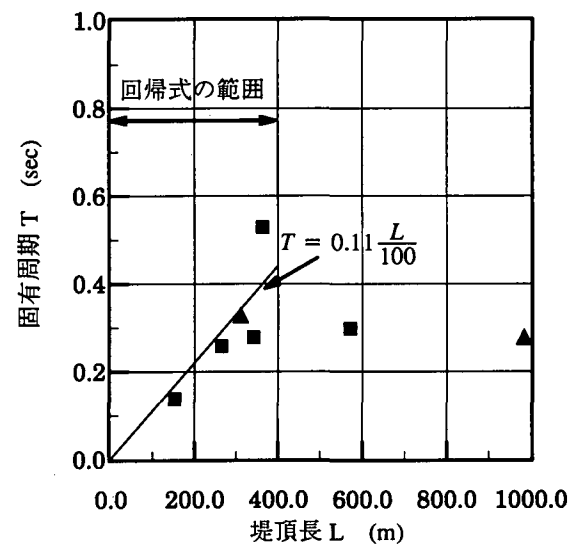
図-2 堤高と1次固有周期との関係



(1) 上下流方向



(2) ダム軸方向



(3) 上下方向

図-3 堤頂長と1次固有周期との関係

表-3 ロックフィルダム1次固有周期の重回帰式

方向	重回帰式	寄与率	重相関係数	標準化回帰式
上下流	$T = 0.003908H + 0.000052L + 0.033064$	0.97	0.99	$T^* = 0.96H^* + 0.04L^*$
ダム軸	$T = 0.003352H + 0.000048L + 0.051090$	0.96	0.98	$T^* = 0.96H^* + 0.04L^*$
上下	$T = 0.003233H - 0.000166L + 0.019093$	1.00	1.00	$T^* = 1.08H^* - 0.16L^*$

(3) 重回帰分析

次に、重回帰分析により堤高及び堤頂長がフィルダムの1次固有周期に及ぼす影響を定量的に調べた。重回帰分析の目的変量は1次固有周期、説明変量は堤高及び堤頂長である。また、アースダムはデータ数が少ないため、以下の解析ではロックフィルダムのみを対象とした。

本来、重回帰分析を行う場合には、2つの説明変量が互いに独立している必要がある⁸⁾。そこで、各フィルダムの堤高と堤頂長との間の相関を調べた結果、相関係数は0.56と比較的小さい為、ここでは説明変量として用いても差し支えないと判断した。

表-3に上下流方向、ダム軸方向、上下方向の各成分について得られた重回帰式を示す。求められた重回帰式の寄与率は0.96~1.00、重相関係数は0.98~1.00と、精度の高い回帰式が得られた。図-4に1次固有周期の実測値と回帰式による推定値との比較を示す。図中の破線は1:1の線を表している。図より、各成分とも回帰式による推定値は実測値と良く一致している。

一般に重回帰式の偏回帰係数は各パラメータの単位が変われば異なる値となる。また、各パラメータの平均値も異なっているため、重回帰式の偏回帰係数を直接比較することにより各説明変量の目的変量に対する寄与の程度を議論することができない。そこで、表-3に示すように標準化回帰式⁸⁾を求めた。これは、各データを平均値0.0、分散1.0となるように基準化し、重回帰式を求めたものである。表-3の標準化回帰式より、上下流方向およびダム軸方向については、ほとんど堤高のみでダムの固有周期が説明できることが分る。また、上下方向については、堤高が支配的ではあるが、堤頂長もある程度の影響を与えていることが分る。

4. あとがき

既存のフィルダム8地点を対象として、地震観測記録から求めたダムの固有周期と堤高、堤頂長との関係を回帰分析を中心として統計的に検討した。

その結果、固有周期と堤高、固有周期と堤頂長それぞれの間に正の相関が見られることが分った。

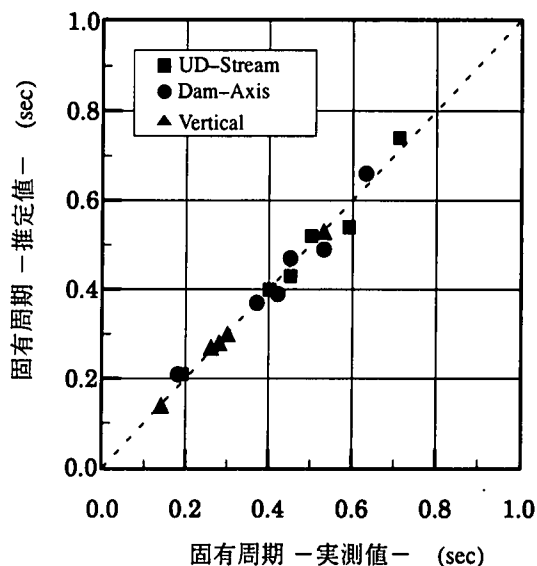


図-4 1次固有周期の実測値と回帰式による推定値との比較

また、固有周期と堤高の関係については、本研究で求めた回帰式は岡本の式と比べ、回帰係数はやや異なるものの全体的傾向は良く似た結果となり、岡本の式を補足するデータが得られたものと考えられる。次に、固有周期を目的変量、堤高と堤頂長を説明変量とした重回帰分析を行った。その結果、高い精度の回帰式が得られ、固有周期に及ぼす影響としては、堤高が支配的であることが分った。

今後は、現在進めている模型振動実験、数値解析等の検討結果を、適宜報告していく予定である。

参考文献

- 1) 岡本舜三：耐震工学，オーム社，1971年9月。
- 2) Mori, Y. and Kawakami, F.: Dynamic properties of the Ainono earth dam and the Ushino rock-fill dam, Proceedings of JSCE, No.240, pp.129-136, August 1975.
- 3) 丹羽武彦：喜撰山ダムの動的挙動について，大ダム，No.72, pp.26-47, 1975年。
- 4) 林正夫，藤原義一，駒田広也：ロックフィルダムの材料物性と地震時挙動解析の関連について，大ダム，No.73, pp.14-24, 1975年9月。
- 5) 野瀬正儀，高橋忠，国井仁彦：ロックフィルダムの地震観測と動的実験およびその解析，大ダム，No.78, pp.38-43, 1976年12月。
- 6) 高比良敬一，江川顕一郎，中山武樹：地震観測によるフィルダムの地震応答の検討，電力土木，No.159, pp.35-42, 1979年3月。
- 7) 松本徳久，安田成夫，豊田光雄，志賀三智：三保ダムにおける実測地震記録の解析，土木技術資料，26-7, pp.9-15, 1984年7月。
- 8) 川口至商：多変量解析入門 I，森北出版，1973年6月。