

地震観測記録に基づくロックフィルダム堤体の動的物性に関する研究

埼玉大学	学生会員	○田那部直也
独立行政法人水資源機構	正会員	曾田英揮
	埼玉大学	茂木秀則
埼玉大学	正会員	川上英二
独立行政法人水資源機構	正会員	佐藤信光

1. はじめに

土は非線形化する歪レベルが小さく、間隙水圧の変化、セメンテーションなどによる時間的な剛性変化も生じるため、室内実験や理論解析のみでは土構造物の地震時の挙動を正確に推定することは難しい。従って、フィルダムにおいても実験値や理論値だけでなく、地震観測記録に基づいて堤体の剛性を常に把握していくことが重要であろう。本研究では徳山ダム（独）水資源機構・岐阜県）における2006年9月13日から2014年8月21日までの地震記録を用いてNIOM解析を行い、伝播時間について検討を行った。T1(堤頂)-M1(中段コア)、M1(中段コア)-L1(監査廊)区間の解析では372件の地震記録、R1(左岸リムトンネル)-L1(監査廊)区間の解析では233件の地震記録を用いた。

2. NIOM 解析の概要

鉛直アレー2点の観測記録を $f(t)$ 、 $g(t)$ とすると、両者は伝達関数 $H(\omega)$ (ω は角振動数)を用いて以下のように関連づけることができる。

$$G(\omega) = H(\omega)F(\omega)$$

ここで、 $G(\omega)$ 、 $F(\omega)$ はそれぞれ、 $f(t)$ 、 $g(t)$ のフーリエ変換である。NIOM 法は2点の観測結果から求めた $H(\omega)$ に対して、入力 $x(t)$ を $x(0) = 1$ を満たす単純なパルス波形としたときの入力 $x(t)$ と出力 $y(t)$ を求める手法であり、具体的には、次式で与えられる。

$$X(\omega_i) = N\Delta t \frac{\frac{1}{\left(1 + \frac{k_x}{C_x} \omega_i^2\right)} (C_x + C_y |H(\omega_i)|^2)}{\sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{\left(1 + \frac{k_x}{C_x} \omega_n^2\right)} (C_x + C_y |H(\omega_n)|^2)}$$

$$Y_1(\omega_i) = H_1(\omega_i)X(\omega_i)$$

ここで、 Δt 、 N はそれぞれ、観測記録の時間ステップとデータ数、 C_x 、 C_y 、 k_x 、 k_y はNIOM 解析のパラメータで、得られた $X(\omega)$ 、 $Y(\omega)$ をフーリエ逆変換すると、単純化された時間領域の入力および出力モデルが得られる。

3. 徳山ダムにおける NIOM 解析

図1、2は徳山ダムの断面図及び地震計の配置を示している。本研究では、T1-M1、M1-L1、R1-L1区間の3つで解析を行った。

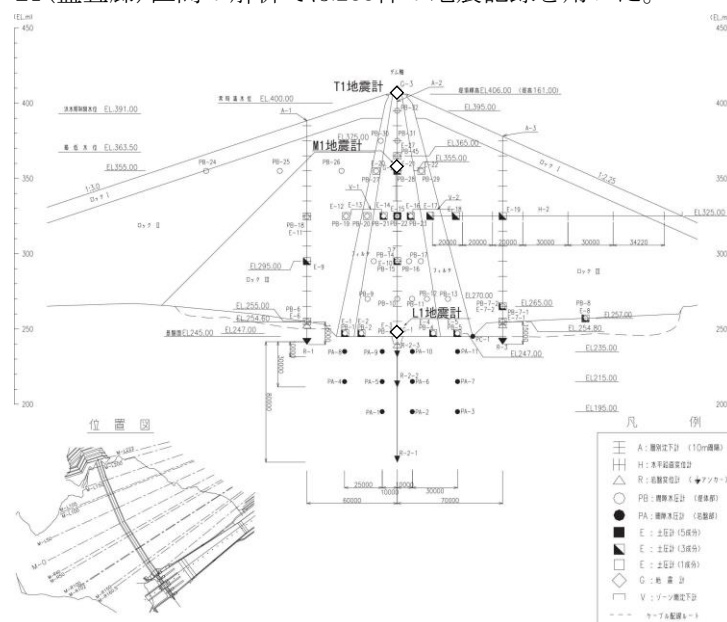


図1 徳山ダム堤体中央部における断面図と計測器の配置¹⁾

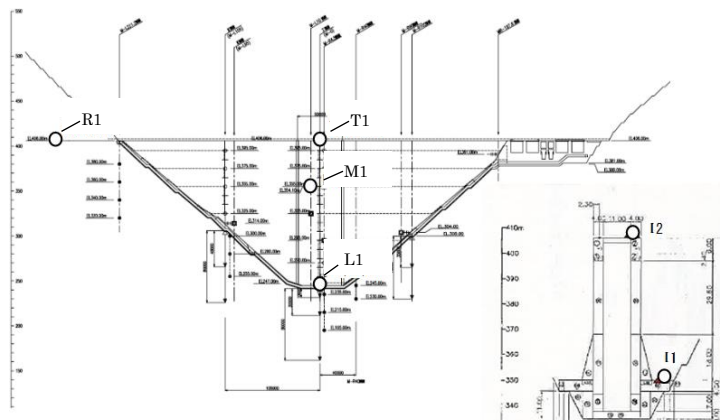


図2 徳山ダムの縦断面図と地震計の配置

キーワード 徳山ダム、地震波の伝播速度、ロックフィルダム、堤体の物性、NIOM 法

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

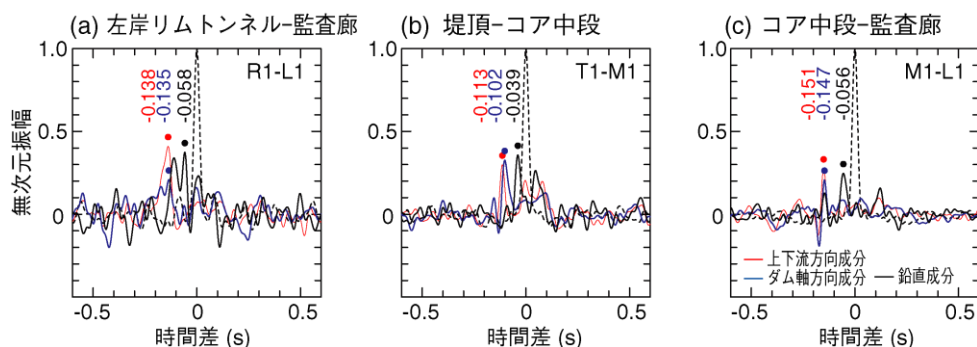


図 3 2009/2/18 06:47:7.06 滋賀岐阜県境 M5.2 の地震の観測記録の NIOM 解析結果
(左岸リムトンネル R1、堤頂 T1、コア中段 M1、監査廊 L1)

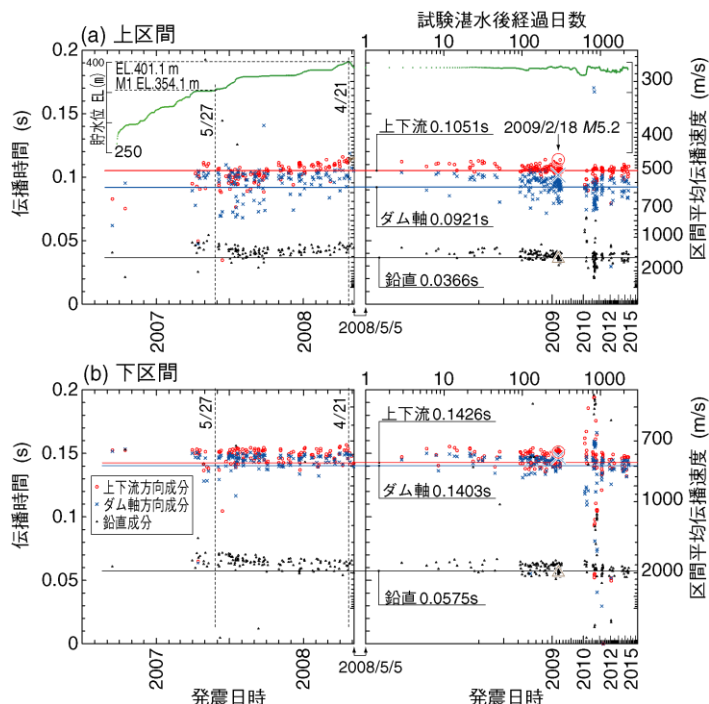


図 4 NIOM 解析によって得られた (a) 上区間 (T1-M1・52.6m)
(b) 下区間 (M1-L1・111.9m) の地震波の伝播時間

図 3 は 2009/2/18 06:47:07 滋賀岐阜県境 M5.2 の地震記録の NIOM 解析結果である。図中の青線、赤線、黒線はそれぞれ上下流方向成分、ダム軸方向成分、鉛直方向成分の NIOM 解析による出力モデルを示しており、破線は入力モデルを示している。T1-M1 区間を例にとると、上下流、ダム軸、鉛直方向成分それぞれの伝播時間が 0.113、0.101、0.039s であることが分かる。

4. 解析結果

図 4 は上区間、下区間の地震波の伝播時間及び貯水位の変化を示している。また、図 4 中の横線は貯水位が安定している 2013 以降の伝播時間の平均値を示す。上区間では 2008 年付近から上下流方向成分がダム軸方向成分に比べて遅い「S 波速度の偏向異方性」が生じていることが分かる。図 5 は R1-L1 区間の時間差を示している。この区間の時間差は波動の入射角に強く影響されると考えられるため、震源の方位と入射角について検討した。図 5 を見ると、ダム軸延長方向で発生した地震における時間差は入射角の影響を強く受けているのに対して、上下流方向の地震の場合は入射角の影響が小さいことが分かる。上下流方向の地震における水平成分の時間差について、入射角 $0^{\circ} \sim \pm 45^{\circ}$ の結果を平均すると 0.09s となり 2 点間の鉛直距離 166.4m より、基礎岩盤の S 波速度は 1840~1850m/s となる。

参考文献 1) 佐藤信光、富田尚樹、波多野圭亮：フィルダムの堤体挙動変化 ―徳山ダム―、独立行政法人水資源機構総合技術センター報告書 第 102030 号、2011。

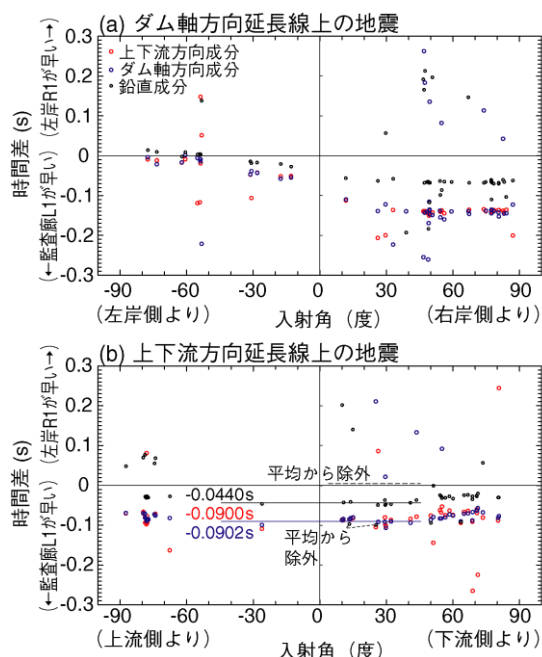


図 5 R1-L1 区間における (a) ダム軸方向で発生した地震、(b) 上下流方向で発生した地震の伝播時間