

### NIOM 解析法によるアースダムの動的物性値の検討

埼玉大学 小田優介 新田裕恭 川上英二 茂木秀則

独立行政法人水資源機構総合技術センター 曾田英揮 佐藤信光 太田垣晃一郎

一般財団法人ダム技術センター 大町達夫

#### 1. はじめに

土は非線形化する歪レベルが小さく、間隙水圧の変化や凍結融解、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だけから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、土を主要な材料とするアース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。本研究では東金ダム（独立行政法人水資源機構・千葉県東金市）における1998年6月14日から2012年12月7日までの234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。

#### 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 $H(\omega)$  ( $\omega$ は角振動数)を用いて以下のように関係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。

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

$$Y_i(\omega_i) = H_i(\omega_i)X(\omega_i)$$

ここで、 $\Delta t$ 、 $N$ 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、

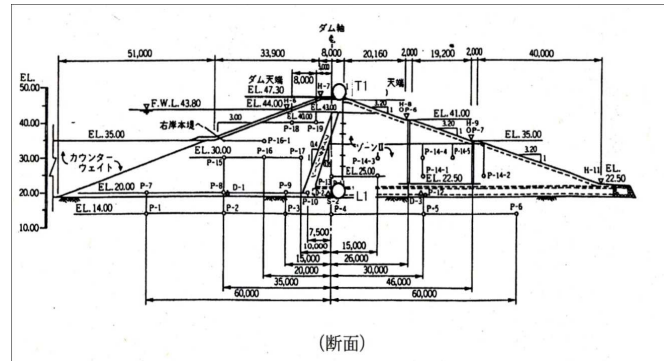


図 1：東金ダムのダム軸方向断面図

本研究では $C_x = C_y = 1$ 、 $k_x = k_y = 0.00001s^2$ とした。最後に、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。本研究では、入出力モデル $X(\omega)$ 、 $Y(\omega)$ に後続の0を付加してデータ数を16倍に増やし、観測記録の時間ステップを1/16に補間している。

#### 3. 東金ダムにおけるNIOM解析

図1に東金ダムの断面図である。本研究では二つの地震計T1（天端；EL47.3m）、L1（基礎；EL19.0m）の1998年月14日～2012年12月7日までの234地震の観測記録を解析した。図2に東金ダムにおけるNIOM解析結果の出力モデルの例を示す。図2(a)1998/6/14のグラフのダム軸方向成分を見ると、上方の地震計T1に時刻0で単純なパルス波形が現れ（図中、破線）、このパルス波が下方の地震計L1を-0.124sに通過したことが読み取れる。従ってこの結果においては、下方の地震計L1から上の地震計T1までS波が伝播するのにおよそ0.124sを要したことが分かる。また、堤頂付近で反射した波が下の地震計L1をおよそ0.128sを通過したことが分かる。なお、観測記録の時間ステップが0.01s、また、NIOM解析において時間ステップを1/16に内挿しているため、NIOM解析から読み取れる伝播時間はおよそ0.000625s間隔となる。

キーワード：東金ダム、地震波の伝播速度、アースダム、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

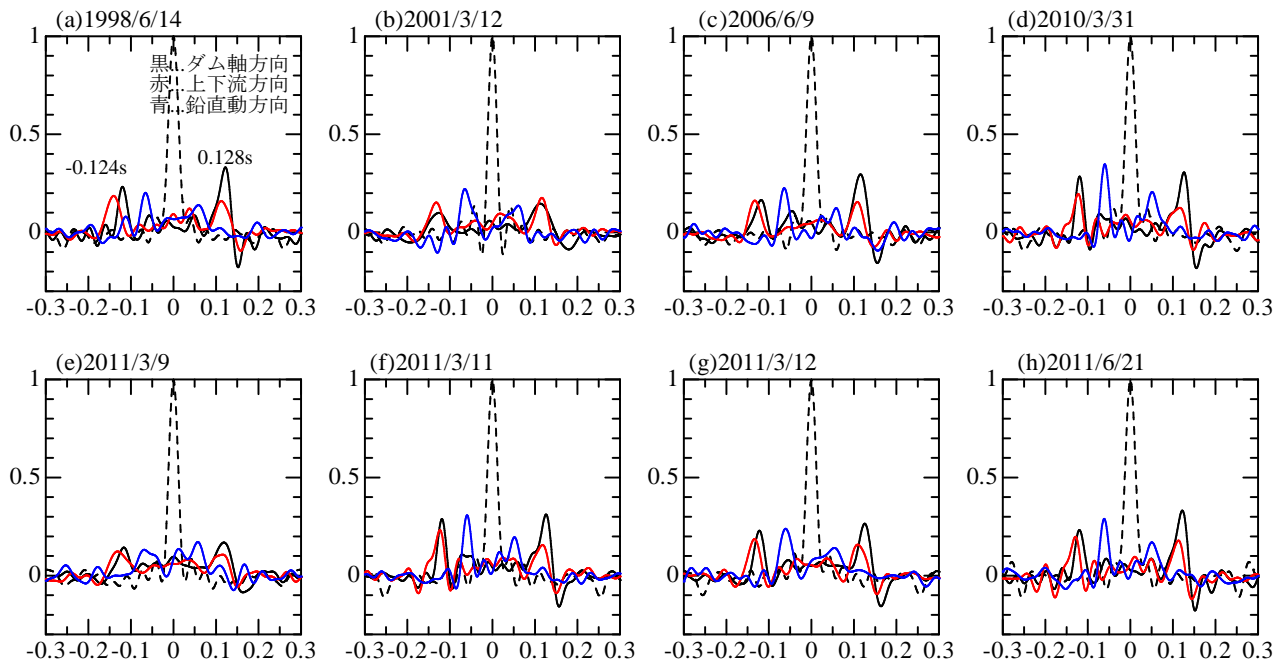


図 2 : NIOM 解析の入出力モデル波形

(a) 1998/6/14 (M5.7, R=38), (b) 2001/3/12 (M4.2, R=141), (c) 2006/6/9 (M4.2, R=141), (d) 2010/3/31 (M4.6, R=141), (e) 2011/3/9 (M7.3, R=143), (f) 2011/3/11 (M9.0, R=143)\*東北地方太平洋沖地震本震, (g) 2011/3/12 (M5.5, R=142), (h) 2011/6/21 (M4.3, R=140) の解析結果。

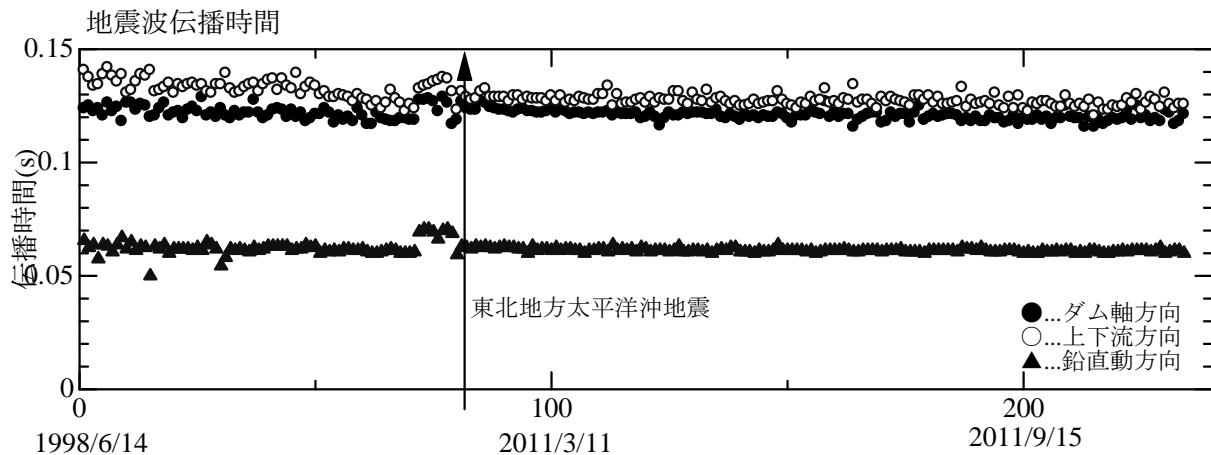


図 3 : 東金ダムの地震波伝播時間の推移

4. 解析結果

図 3 に東金ダムの地震波の伝播時間を示す。横軸は地震記録が古いものから順に左から並べた番号で 1 番目が 1998 年 6 月 14 日、100 番目は 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の余震、200 番目が 2011 年 9 月 15 日の伝播時間である。また、東北地方太平洋沖地震本震は 80 番目、81 番目であり図 3 に矢印で示す。伝播時間についてダム軸方向が 0.12s、上下流方向が 0.13s 程度の値の値を示し、偏向異方向が見られる。また伝播時間は長期間に渡って少しずつゆるやかに減少する様子が認められる。

鉛直動方向は 0.06s 程度の値を示し P 波速度に対応するものである。2010/10/9-15:12:38.00 ~ 2011/3/9-11:47:48.00 の 8 地震の解析結果はばらつきが見られるが、この原因については特定できなかった。

[ 参考文献 ] NONLINER EARTHQUAKE RESPONSE CHARACTERISTICS OF A CENTRAL CLAY CORE ROCKFILL DAM : TATSUO OHMACHI and TETSUYA TAHARA