

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420477

研究課題名(和文)地震観測記録に基づくアースダムのS波速度の評価と堤体のエージングプロセスの検討

研究課題名(英文) Evaluation of S-wave velocities in earth dam body on the basis of earthquake records and examination of aging process

研究代表者

茂木 秀則 (MOGI, Hidenori)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80261882

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、長柄ダム、東金ダム、荒砥沢ダム、小田ダム、森吉山ダムなど多数のフィルダムにおける堤頂、コア中段、監査廊/基礎に設置された地震記録を用いてNIOM解析(deconvolution解析)を行い、堤体内を伝播する地震波の伝播速度を推定した。また、推定された地震波の伝播速度に基づいて、著しい強震動時に生じる堤体の剛性低下とその後起きる回復過程や築堤後生じるダム堤体の物性の変化を長期間にわたる数多くの地震記録を解析して追跡した。その結果、(1)2008年岩手・宮城内陸地震などの強震動において堤体の剪断剛性の低下がみられること、(2)その後長期にわたる剛性の回復がみられることなどを指摘した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted Normalized Input-Output Minimization (NIOM) analysis of earthquake records at the crest, core, and gallery/foundation of many fill dams in Japan such as Nagara dam, Tougane dam (the Japan Water Agency), Aratozawa dam, Koda dam (Miyagi prefecture) and Moriyoshizan dam (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) and examined the propagation velocities of seismic waves in the dam body. We also examined the nonlinear behavior and temporal changes of shear rigidity of the dam body. These examinations revealed that (1) the soil degradation in the dam bodies due to the extremely strong ground motion caused by the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake and The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake observed at Aratozawa and Koda dams, (2) healing process from the soil degradation was also observed.

研究分野：地震工学

キーワード：フィルダム 地震波の伝播時間 経時変化 NIOM法 エージングプロセス

1. 研究開始当初の背景

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、実際の地震観測記録に基づいて堤体の剛性や強度を常に把握していくことが重要であろう。しかしながら、アースダムの地震時の挙動については数理モデルに基づいた Dakoulas and Gazetas (1986), Maugeri et al. (1993) などの研究があるものの、実際の強震記録に基づいてアースダム堤体の剛性変化やその挙動を論じた研究は、筆者の知る限り、後述の Ohmachi and Tahara (2011) の他は国内外において存在しない。

研究分担者・川上は、鉛直アレー観測記録から地震計間を伝播する地震波の伝播速度を精度よく解析する方法として NIOM 解析を提案し、様々な観測記録に適用してその有効性を示している。また、研究代表者・茂木ならびに研究分担者・川上らは柏崎刈羽原子力発電所地盤内の鉛直アレーにおける 2007 年新潟県中越沖地震や防災科学技術研究所 KiK-net 一関西観測点における 2008 年岩手・宮城内陸地震の本震記録とその前後の地震記録に NIOM 解析を適用して、剪断剛性率 (S 波速度) の歪依存性と剛性低下後の回復過程を時間軸上で論じている。この結果 2008 年岩手・宮城内陸地震から 1 年を経た後も本震以前の地盤剛性まで回復していないことを明らかにした。

2. 研究の目的

以上の背景から、強震動による土の剛性低下やその後の回復過程について、地震記録の解析によって正確に把握できることがわかる。研究代表者、分担者は、この剛性変化が「強震動による攪乱」と時間の経過に伴う「セメンテーションなどによる剛性の回復」と考えているが、この剛性変化は地震前後のみならず、ダムの盛立て、竣工から現在に至るまで、地震や凍結融解、貯水位の変化などの様々な影響を受けながら、絶え間なく続いているものと推察している。本研究計画では、地震波の伝播速度の変化から求められる剛性変化と、堤体の圧密沈下量や透水係数の変化、さらに、これらのパラメータから推定される堤体の強度の経年変化を「エージングプロセス」と名付け、これをより詳細に、かつ、長期間にわたって検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 地震観測記録の収集

本研究はダムの地震観測記録に基づく研究であるため、研究初年度は様々な形式や竣工年代のダムを対象として地震観測記録の

収集を行う。通常、強震時の応答のみに関心が持たれることが多いが、本研究では線形域から非線形域まで広範囲の歪レベルにおける地震挙動を長期間にわたって調べる必要があるため、地震記録の強弱にかかわらず収集する。

(2) 関連計測値の収集

エージングプロセスの一項目となるダム堤体の強度や圧密沈下量などの変形に関する情報や貯水位、間隙水圧などのエージングプロセスの要因調査を行う。

(3) 伝播速度の解析

収集した地震観測記録のうち地震計間で時刻の同期が取られている観測記録を用いて、NIOM 法や位相差法によって伝播速度を解析する。ダムの建設される基盤岩は硬質であるため、地震波の入射角が堤体内の見かけの伝播速度に影響することも考えられる。このため、必要に応じて入射角の影響を論じる。

4. 研究成果

本研究では、長柄ダム、東金ダム、荒砥沢ダム、小田ダム、徳山ダム、森吉山ダムなど多数のフィルダムにおける堤頂、コア中段、監査廊/基礎に設置された地震記録を用いて NIOM 解析 (deconvolution 解析の 1 種) を行い、堤体内を伝播する地震波の伝播速度を推定した。また、推定された地震波の伝播速度に基づいて、著しい強震動時に生じる堤体の剛性低下とその後に起きる回復過程や築堤後生じるダム堤体の物性の変化 (エージングプロセス) を長期間にわたる数多くの地震記録を解析して追跡した。以下、得られた主な知見を記す。

(1) 荒砥沢ダムや小田ダムの観測記録の解析から、2008 年岩手・宮城内陸地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震において堤体の剪断剛性の低下がみられること、

3 年程度かけて経過日数の対数にほぼ比例して初期の剪断剛性を回復する過程がみられること、

堤体の上部・上下流方向成分の伝播速度は明らかに貯水位の影響を受けること、

強震時の堤体の剛性低下に基づいて堤体への地震動の影響を把握することができるため、維持管理のための有用な情報となること、などを明らかにした (図 1 参照)。

(2) また、長柄ダム、東金ダムの観測記録の解析から、

1987 年千葉県東方沖地震とその直後の余震において伝播時間が増加したことが確認できること、

一方、2011 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震前後の解析結果ではほぼ一定した伝播時間を示しており、2011 年東北地方太平洋沖地震における当ダムの健全性が確認できること、

得られた P 波速度と S 波速度からポアソン比を推定することで不飽和の状態に維持されていることが確認できること (図 2 参照)。

などを示した。

なお、東金ダムの解析は平成 26 年度土木学会年次講演会優秀講演者賞，長柄ダムの解析は平成 27 年度ダム工学会論文賞を受賞した。

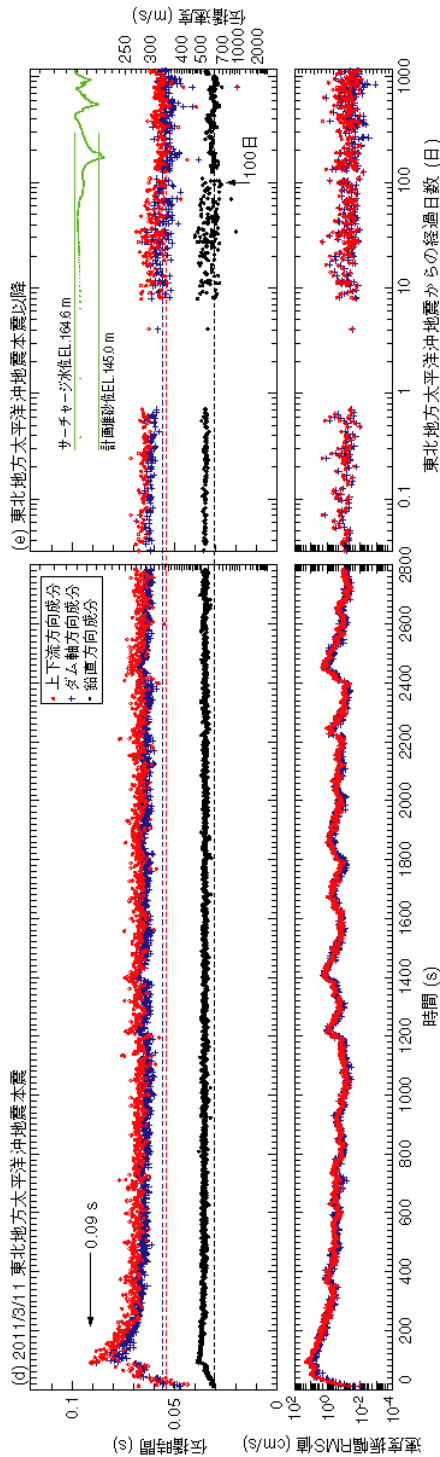


図 1. 2011 年東北地方太平洋沖地震における小田ダム堤体上部の非線形挙動と回復過程。

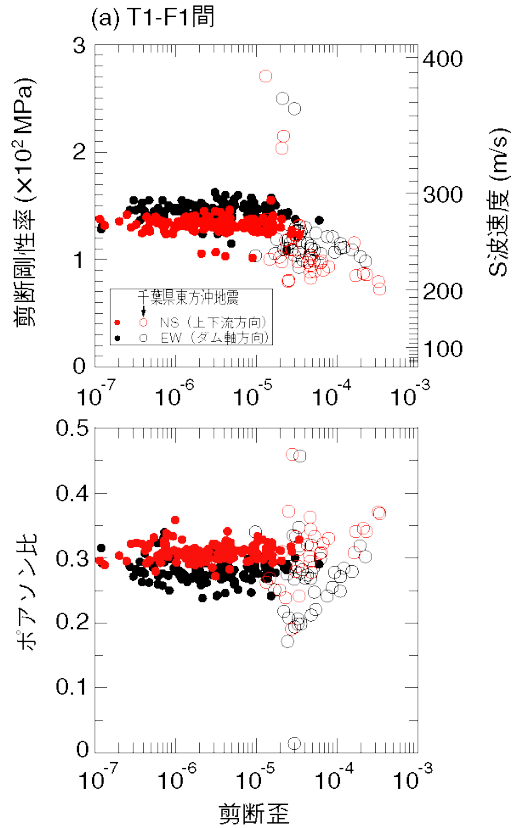


図 2 長柄ダムにおける堤体上部の非線形挙動とポアソン比の算定結果。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

茂木秀則、川上英二、内海満希、KiK-net 日野における2000年鳥取県西部地震とその前後の地震波の伝播時間、日本地震工学会論文集、査読有、Vol.16、No.1、2016、1-9

茂木秀則、川上英二、小田優介、大町達夫、ロックフィルダムにおける長期間にわたる地震観測記録から推定した地震波伝播時間の経時変化、ダム工学、査読有、Vol.25、No.4、2015、218-229

茂木秀則、曾田英揮、川上英二、大町達夫、アースダムにおける長期間にわたる地震観測記録のNIOM解析と堤体の物性評価、ダム工学、査読有、Vol.25、No.3、2015、139-149

〔学会発表〕(計 4件)

片岡俊一、福元俊一、野津厚、杉田尚男、
八戸市内にある強震観測点のサイト増幅特性
の統一的評価とそれに基づく地震動評価、第
51回地盤工学研究発表会(投稿)、査読無、
岡山市、2016/9/13~16、発表確定

茂木秀則、川上英二、ロックフィルダム堤
体の地震波の伝播速度の検討、ダム工学会研
究発表会、査読有、日比谷星陵会館(東京都
千代田区)、2015/11/13、21-26

茂木秀則、川上英二、小田優介、大町達夫、
荒砥沢ダム加速度記録のNIOM解析、ダム工学
会研究発表会、査読有、日比谷星陵会館(東
京都千代田区)、2014/11/20、5-8

小田優介、新田裕恭、川上英二、茂木秀則、
曾田英輝、佐藤信光、太田垣晃一郎、大町達
夫、NIOM解析法によるアースダムの動的物性
値の検討、土木学会年次講演会、査読無、I-418、
大阪大学豊中キャンパス(大阪府豊中市)、
2014/9/10~12、835-836

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.kiban.civil.saitama-u.ac.jp/~hmogi/Papers.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

茂木秀則(MOGI, Hidenori)
埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：80261882

(2) 研究分担者

川上英二(KAWAKAMI, Hideji)
埼玉大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：50125887

片岡俊一(KATAOKA, Shunichi)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：60333712

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

大町 達夫(OHMACHI, Tatsuo)