

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560576

研究課題名(和文) 常時微動・地震動の長期継続観測によるダムの振動特性把握と構造健全性診断への応用

研究課題名(英文) Attempt of structural health monitoring of aged arch dam through detection of predominant frequency variation over time by means of long-term continuous observation of ambient vibration/seismic motion

研究代表者

上島 照幸 (Ueshima, Teruyuki)

宮城大学・食産業学部・教授

研究者番号：90371418

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：高経年化したアーチダムを観測対象とし卓越振動数とその経時変動・地震時変動を把握することを目的として微動・地震動の長期継続観測を実施した。微動・地震動の観測データの分析から；1)常時微動による卓越振動数のモニタリングによってアーチダムの構造健全性が評価できること、2)東北地方太平洋沖地震とその後の大規模余震群を経てもダムの構造健全性が維持されていたことを卓越振動数という数値によって客観的に提示できたこと、3)卓越振動数が変化していないことは構造健全性の維持確認に加えて地震荷重が不変である確認にもなっており、地震後における耐震性検討が不要であることを示していること、など重要な諸点が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In order to grasp predominant frequencies and their variations over time, including the ones during and/or before/after seismic events, long-term continuous observation of ambient vibration/seismic motion was performed at the crest of an aged arch dam, which revealed the following; 1) Structural health of the observed dam is able to be evaluated by means of predominant frequency monitoring obtained through long-term continuous observation of ambient vibration. 2) It was objectively shown by the numerical value of predominant frequency that the structural health of the dam was maintained even after experiencing the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and lots of its large-scale aftershocks. 3) That the predominant frequency stayed unchanged means that structural health of the dam was confirmed to be maintained, and that the seismic load was confirmed to stay unchanged, which showed that the back-check of the dam after experiencing the big earthquakes was unnecessary.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：常時微動 地震動 長期継続観測 アーチダム 卓越振動数 構造健全性モニタリング 振動特性の常時変動 振動特性の地震時変動

1. 研究開始当初の背景

日本の大ダムは、多くの地震に遭遇したが、これまで幸い大きな事故を起こしていない。しかし、賀祥ダム、石淵ダムなど、設計時の想定の上の地震動が観測されており、詳細な事後分析で、偶然大きな被害を免れたとして補強が行われた例もあり、今後必ずしも安全性が確保されているとは保障できない。しかし、国内には数多くのダムがあり、ダムの補強には膨大な費用を要することを考えると、補修の必要の有無の精度の高い判定が望まれている。

一方、常時微動観測に基づく既設構造物の振動特性評価は、比較的簡易に高頻度で実施できるという利点を有することから、構造健全性診断への応用が期待されている。その場合、「構造部材の損傷に伴って部材剛性が低下し、それによって固有振動数などの構造物の振動特性に変化が現れる」という損傷時の現象を利用しているが、一方で、構造物の剛性や振動特性には、振動振幅に依存した変動や、気温・日照などの気象条件に伴う日変動などの損傷とは無関係な変動が含まれることも知られている。したがって、振動観測に基づく構造物の構造健全性診断を実用化するためには、構造物の振動特性に損傷とは無関係な変動がどの程度含まれているかを知ることが必要である。しかしながら、現状では、構造物の振動特性の長期的な変動に関するデータ自体が乏しい。既設ダムにおけるそれは、況や、殆ど無いのが現状である。

研究代表者は、これまでに、宮城大学食産業学部研究棟において常時微動・地震動の長期継続観測^{*1)}を行ってきており、3年間に亘って蓄積されてきた常時微動・地震動観測データに対してモード同定法を適用し、その解析を進めてきた。また過去に地盤震動に係わる研究や構造物と地盤の動的相互作用に係わる研究に長く従事してきた。さらに、平成22年度より、既設アーチダムを対象として常時微動・地震動の長期継続観測を実施中である(研究分担者らとの共同研究)。また目的は異なるが、フィルダムを対象とした常時微動の長期継続観測をも実施中である。

*1) 観測点数は少ないが、常時微動・地震動の24時間・365日連続観測である。

研究分担者ら(塩尻、仲村)は常時微動観測に基づく振動特性の同定と構造部分の剛性評価を行ってきた。また、ダムの地震観測と地震時ダム挙動の解析手法の検討、および観測と解析の比較も行ってきた。あるいは、構造物や地盤での振動実験や地震観測を通じて、データの処理法や動特性の同定法に関する研究を行ってきた。日本大学理工学部船橋キャンパスでは地盤・基礎構造物・校舎を対象とした合計141chの地震観測網が整備されており、常時微動の24時間連続観測も行っている。

2. 研究の目的

既設アーチダムを対象として、常時微動の長期継続観測・短期高密度観測を行う。微動の短期高密度観測では、天端を主として多点同時観測を行い、観測点間の伝達特性を取得し、高次の振動特性(固有振動数、モード減衰定数、モード形状)の同定を試みる。高次モードを観測結果より把握することにより、より高精度な数値モデルの作成に寄与できる。具体的には構造同定手法を適用して当該ダムの数値モデルの開発を行う。常時微動の長期継続観測から得られたデータにモード同定手法を適用し、ダムの振動特性の日変動・季節変動・経年変動の解析・評価を行う。

併せて、地震動についても、長期間にわたって観測を行い、ある程度の規模の地震動を捉えることができたならば、振動特性の地震時変動の検出を行う。さらに、その応答と解析を比較するとともに数値モデルを用いた逆解析により、ダムのどの部分にどの程度の損傷があるかを評価し、詳細な調査の必要性の有無の判定の参考とする。

常時微動観測に基づき、水位、温度、変位と振動特性変動の関連を明らかにし、ダムの力学特性の変化を評価する。

以上により、常時微動・地震動の長期継続観測を通じて、アーチダムの長期にわたる振動特性変動を解析し、損傷とは無関係な変動がどの程度含まれているかを把握する。これらデータと解析結果を基に、振動観測に基づくダムの構造健全性診断の実用化への道について考察する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、既設アーチダムを対象として、初年度の早い段階で、常時微動・地震動の長期継続観測システムを構築する。常時微動の長期継続観測により得られたデータを解析し、対象構造物の振動特性を得るとともに、振動特性の経時変動の解析・評価を行う。

また別途、常時微動の短期高密度観測を行い、高次の振動特性(固有振動数、モード減衰定数、モード形状)の同定を試みる。高次モードを観測結果より把握することにより、より高精度な数値モデルの作成に寄与できる。また得られた伝達特性群に対し、構造同定手法を適用して当該ダムの数値モデルの開発を行う。

さらに、ある程度の規模の地震を捉えることができたならば、振動特性の地震時変動の検出を行うとともに数値モデルを用いた逆解析により、ダムのどの部分にどの程度の損傷があるかを評価し、詳細な調査の必要性の有無の判定の参考とする。

研究期間を通じて得た常時微動記録に対して多自由度系動特性同定手法を適用するほか、数種のデータ処理手法を随時適用し水位、気温、水温など他の観測値と振動特性の経時変動との相関性について分析・検討する。

平成23年度

(1) 既設アーチダムにおける振動観測システムの構築；

本研究に場を提供頂けるダムにおいて、年度の早い段階で、振動観測システムを構築する。

☆ 常時微動・地震動の長期継続観測における観測点を次のように配置する；

- ・ 天端：アーチの中央付近1点、左岸(或いは右岸)より1/3程度中央に入った付近1点(それぞれNS, EW, UDの3成分×2=計6成分)

(注)ダム基部に関しては、短期観測において計測するほか、ある程度の規模の地震動があった場合には、既存の地震観測データを使用させて頂くものとする。

それらの観測点にそれぞれ地震計(いずれも、加速度計：ミツトヨ JEP6A3 を使用予定)を設置する。地震計に測定ケーブルを接続し、それぞれ、観測室までケーブルを敷設し、観測室内に設けられる振動観測記録処理装置に繋ぎ込む。

振動観測記録処理装置においては、観測点1点ごとに、常時微動を観測記録する系統と、地震観測の系統とに分離する。それぞれの系統において、2観測点・計6成分が観測記録されることとなる。観測を開始すれば、1日24時間、1年365日の常時観測体制に入る。常時微動記録、地震観測記録とも、200Hzにてサンプリングし、1時間ごとに観測データが外付けハードディスクに記録されることとなる。

この振動観測システムに対しては、定期的な保守点検・データ回収を行う。

☆ 堤体の温度観測；

常時微動の長期継続観測記録の分析から、固有振動数の日変動を発見した論文からの知見に基づき、以下の2点について、堤体の温度観測を行う；

- 1) 堤体上流側：4点程度。
- 2) 堤体下流側：4点程度。

堤体温度観測点においても、それぞれの観測点より、ケーブルを敷設し、観測室に引き込んで、常時微動・地震動観測とは別のロガーにより、長期継続観測を行う(サンプリング・レートは微動観測などにおけるそれよりもかなり粗いもので十分である)。

☆ なお、以下の諸データについては、ダム管理者よりご提供頂けるよう働きかける；

- a) 気温(毎正時サンプリング)
- b) 水温(月1回のサンプリング)
- c) 水位(毎正時サンプリング)
- d) ダム変位(月1回のサンプリング)

(2) 常時微動の短期高密度観測と当該ダムの数値モデル作成・開発；

常時微動の長期継続観測とは別に、当該ダムにおいて、常時微動の短期高密度観測を行う。天端を主として多点(10か所程度)同時観測を行い、観測点間の伝達特性を取得する。観測目的は、高次の振動特性(固

有振動数、モード減衰定数、モード形状)の同定を試みることにある。高次モードを観測結果より把握することにより、より高精度な数値モデルの作成に寄与できる。また、次項3の検討には、上記の高密度観測データがベンチマーク資料となる。さらに、得られた伝達特性群に対し、構造同定手法を適用して当該ダムの数値モデルの開発を行う。

(3) データ解析、モード同定、振動特性の日変動・季節変動・長期変動の解析・評価；研究代表者、研究分担者(塩尻、仲村)は、それぞれ、SRC中層建物での観測結果から、常時微動と地震動とで建物の動特性が変化すること、常時微動記録から同定される建物の固有振動数と気温に関連性が見られることを確認している。常時微動の長期継続観測により得られたデータを解析し、対象構造物の振動特性を得る。この2観測点を対象とした長期継続観測だけでは高次モードの抽出は困難であるが、高密度な短期観測データを参照することにより高次モードの変動を捉えることが可能と考えている。これらの結果と、振動特性の日変動、季節変動、長期変動との関連性を分析する。

(4) 振動特性の地震時変動の検出・評価；研究代表者、研究分担者(塩尻、仲村)は、それぞれSRC中層建物での観測結果から、常時微動と地震動とで建物の動特性が変化することを確認している。当該ダムでの地震観測記録に基づいて、振動特性の地震時変動の検出を試みる。さらに、その応答と解析を比較するとともに数値モデルを用いた逆解析により、ダムのどの部分にどの程度の損傷があるかを評価し、詳細な調査の必要性の有無の判定の参考とする。

(5) 研究期間を通じて得られた常時微動記録に対して多自由度系動特性同定手法を適用するほか、数種のデータ処理手法を随時適用し、水位、気温、水温など他の観測値と振動特性の経時変動との相関性について分析・検討する。

4. 研究成果

高経年化したアーチダムを観測対象とし、卓越振動数とその経時変動・地震時変動を把握することを目的として、研究期間のほぼ全般にわたり、微動・地震動の長期継続観測を実施した。2011年東北地方太平洋沖地震時にも観測を継続実施中であり、本震記録の他、前震、多くの余震群の観測記録が、その前後での微動記録とともに得られた。これら観測データを分析して以下の知見を得た；

(1) 観測開始初期での微動記録から観測対象ダムの卓越振動数、および減衰定数を同定した。卓越振動数としては、8.25Hz、10.8Hzなどの値を得た。

(2) アーチダム堤体の上下流方向の卓越振動数は、mode-1,2とも、基本的に、夏期に高く、冬期に低いほぼ1年周期の経時変動

を示しており、堤体温度ないし気温との相関が極めて高いことが示された。また、年間での卓越振動数の最大値と最小値の差は、mode-1で2Hz弱、mode-2では3Hzにも上っていることが明らかとなった。この卓越振動数の変動幅は、後述する強震動を受けた際の変動幅をも上回るものである。

ダム表面温度の低下に伴い、ダムが収縮することでアーチ効果が失われ、堤体コンクリートの圧縮応力が低下すると継ぎ目部の影響によりダムの等価剛性が低下し堤体の卓越振動数の低下が引き起こされるものと推察される。

また、ダムの通常使用状態においても環境条件などの変動に伴う卓越振動数の変動幅がこのように大きいということから、解析対象時期が大きく違えば、同一の次数であっても同定される卓越振動数値にかなりの開きができるケースがあることも示された。

(3) 卓越振動数および温度（堤体温度と気温）の経時変動図から、さらに以下のことが分かった；

1) 卓越振動数（mode-1）は夏頃に8 Hz 付近になり、冬に7 Hz 付近まで下がる。そして4月ころになると7.5Hz 付近にまで上がり、その後5月に再び6.5Hz 付近まで下がる傾向があるということが判明した。

mode-1 では卓越振動数と堤体温度ないし気温の経時変動には位相差があり、卓越振動数の位相が温度の位相に比して3ヶ月程度遅れている。

一方、mode-2 では卓越振動数と堤体温度ないし気温の経時変動には位相差が殆どなく、したがって相関係数も mode-2 の方がより高い。

mode-1 と mode-2 におけるこの差異が生じた原因については、貯水位が影響している可能性があると思われるが、詳細な検討は今後の課題である。

2) 卓越振動数と温度の長期間に亘る経時変動を1日平均で見える範囲では、温度として堤体温度を採る場合と気温を採る場合とで、有意な差は見られない。

3) 対象構造物の表面温度差の発生に伴ってコンクリート部材の剛性が増加し、構造物全体の固有振動数が増加するとの研究結果が示されているが、本研究でも、上・下流それぞれで温度（堤体温度、気温）観測を行っており、表面温度差が卓越振動数の変動にどの程度の影響を及ぼしているかについても、今後検討する必要があると考える。

(4) 固有振動数～貯水位関係についてのこれまでの観測事例によれば、貯水位が高い範囲では、貯水位が満水位から低下するに従い固有振動数は高くなるが、ある貯水位以下になると逆に貯水位の低下に伴って固有振動数は低下すると報告されている。

1) 本ダムにおける観測・解析の結果からは、

これまでの観測事例に沿うモードがある一方、必ずしも明確な傾向が得られないモードもあることが分かった。また卓越振動数の経時変動に及ぼす堤体温度の影響に比すれば、水位の影響の方がより小さいことも分かった。

2) 関連図表に沿って、より詳細に見ると；

a) mode-1 では、卓越振動数と水位の関係に関して従来の研究が示すところと類似した形状を呈した。それに対し、mode-2 では従来の研究が示すところと類似した形状を示す部分がある一方、従来の研究とは異なった形状を示す部分もあるとの結果が得られた。しかし回帰分析による相関関係は圧倒的に mode-2 の方が高いということがわかった。

b) 卓越振動数に対する温度、水位、それぞれ独自の関係を調べるために重回帰分析を行った。mode-1 における卓越振動数に対する温度、水位の重相関係数は0.736、mode-2 における卓越振動数に対する温度、水位の重相関係数は0.917 と極めて高い相関係数であることが判明した。

(5) 2011年東北地方太平洋沖地震時には、ダム天端において、極めて大きい最大加速度を持つ観測記録（約630gal）が収録された。その際の地震動継続時間は3分程にも及んだ。

(6) 収録された加速度時刻歴波形記録を観察すると、複数の波群から構成されており、第1波群より40-50秒程度後の第2波群において最大加速度が記録されている。これは、例えばK-NET築館(MYG004)観測点(栗原市築館)など、宮城県内の殆どの観測点における強震波形と共通の特徴であり、今回の地震の特徴の本観測対象ダムでの記録への現れと考えられる。

(7) 本震およびその前後での微動のスペクトル解析によれば；

1) 本震時には微動時に比して卓越振動数が著しく低下していたことが明らかとなった。

2) 微動記録における本震前後での卓越振動数の変化はあるとしても極めて微小で、常時変動の範囲内にあると思われる。本震時卓越振動数の著しい低下を考慮に入れば、本震後微動における卓越振動数は、本震前微動における卓越振動数に概ね復したものと見ることができよう。

(8) 本震前微動時に比し本震時卓越振動数は低下し、本震後微動時は本震前微動時卓越振動数に概ね復するとの、上記(7)で述べた現象は、大規模余震時にも再現していることを確認した。

(9) 2011年3月から2012年12月までの地震記録・常時微動記録に関して、(7)、(8)で述べたと同様な解析を実施した。地震時と地震前後の微動時を比較すると卓越振動数の低下を見て取ることが出来たケースが多

かったが、地震時の卓越振動数の低下がみられない地震も少なからず存在した。2012年12月までの地震において基本的に卓越振動数は地震時に低下しているが、地震後微動時の卓越振動数は地震前のレベルまで回復しており、この点から判断すると堤体への大きな損傷はないと思われる。

(10) 2011年3月から2012年12月までの地震記録に関するダム天端での上下流方向最大加速度～卓越振動数関係から、最大加速度が大きくなるにつれて卓越振動数が低下する傾向があることが分かった。

(11) 微動・地震動の長期継続観測実施中に2011年東北地方太平洋沖地震とそれに続く規模の大きな数々の余震群が発生したわけであるが、卓越振動数の長期間にわたる経時変動図を参照すると、本震をはじめ、数々の大規模余震時にも、地震前後で顕著な変動は見られないことが分かる。このことから、ダムには損傷は発生していないと考えられる。

このように、

- 1) 常時微動による卓越振動数のモニタリングによってアーチダムの構造健全性が評価できること、
 - 2) 2011年東北地方太平洋沖地震、およびその後の数々の大規模余震後においても観測対象ダムの構造健全性が維持されていたことを、卓越振動数という数値によって客観的に提示できたこと、
 - 3) 卓越振動数が変化していないことは、構造健全性の維持確認に加えて、地震荷重が不変である確認にもなっており、地震後における耐震性検討(バックチェック)が不要であることを示していること、
- など、重要な諸点が明らかにされた意義は大きいものとする。

(12) 高密度なセンサー配置による常時微動の観測と三次元有限要素モデルを作成することで、微小振幅時におけるアーチダム全体系の振動特性を把握するとともに、微小振幅時におけるダム堤体コンクリートと基礎岩盤の弾性係数を同定した結果、以下の知見を得た；

- 1) 測点を高密度に配置した常時微動観測とそのデータ解析から、ダム堤体の3つの振動特性(逆対称2次モード、逆対称3次モード、逆対称4次モード)を抽出することができた。
- 2) アーチダムと基礎岩盤を対象として三次元有限要素モデルを作成し、微小振幅下におけるダム堤体コンクリートと基礎岩盤の弾性係数を推定した。モデル化に際して、各材料の物性値として、ダム堤体コンクリートについては採取試料の試験結果、岩盤についてはダム堤体コンクリートの約半分の値を初期値として用い、常時微動観測記録から得られた固有振動数とモード形を表現できるように物性値を変化させた。その結果、観測結果と極めて良く一致する

モデルを作成できた。得られたダム堤体コンクリートと基礎岩盤の弾性係数は既往の研究結果と対応する値であった。

- 3) 強震時に低下した卓越振動数は、本研究で検討した三次元有限要素モデルにおいて、ダム堤体コンクリートの弾性係数を初期値に比べて13%低下させることで得られた。長期継続観測結果によれば、地震後にもとの大きさに復帰しているため、この現象はコンクリートの損傷に起因するものではなく、強震時における一時的なダムブロック間のジョイント部の影響によるものと推測される。

当該ダムにおいては、上記のとおり、本震記録に加え、4月7日深夜の大規模余震を含む多くの余震群、前震、などの諸記録が、その前後での微動記録とともに得られた。今後これらの記録に加え、既設地震計記録(天端、およびそれから40.5m下の岩盤上での記録を含む)の解析、FEM解析を含め、アーチダムの耐震安全性、構造健全性などに係わる検討を深めていきたいと考える。

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)

上島照幸・金澤健司・村上弘太・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明 (2012): “常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの振動特性同定と2011年東北地方太平洋沖地震時のダムの振動挙動”, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4(地震工学論文集第31-b巻), I_186-I_194

, DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejsee.68.I_186

Ueshima, T., M. Shibuya, K. Kanazawa, H. Shiojiri and M. Nakamura (Sept., 2012): “System identification, detection of proper frequency variation of aged arch dam and its dynamic behavior during the 2011 Great East Japan Earthquake”, Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15th WCEE), Paper No.0688, 10頁

仲村成貴・塩尻弘雄・上島照幸・有賀義明・大湊周作(2013): “常時微動観測と三次元有限要素解析に基づく実在アーチダムの振動特性把握”, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第32巻), I_742-I_749, DOI:http://dx.doi.org/10.2208/jscejsee.69.I_742

[学会発表] (計14件)

上島照幸・村上弘太・仲村成貴・金澤健司・塩尻弘雄 (Sept., 2011): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性(その2)ー長期継続観測を通じたダムの振動特性変動の検出ー”, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, I-662 (pp.1323-1324)

仲村成貴・上島照幸・塩尻弘雄 (Sept., 2011): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性 (その1) - 高密度計測に基づく動特性の同定結果 -”, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, I-661 (pp. 1321-1322)

上島照幸・金澤健司・村上弘太・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明 (Nov., 2011): “常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの振動特性同定と 2011 年東北地方太平洋沖地震時のダムの振動挙動”, 土木学会地震工学委員会主催 第 31 回地震工学研究発表会講演論文集, I-073(8 頁)

仲村成貴・塩尻弘雄・上島照幸・有賀義明(Sept., 2012): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性 (その3) - 高密度常時微動観測と有限要素解析による振動特性の精緻な把握 -”, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, I-440

上島照幸・渋谷允人・金澤健司・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明(Sept., 2012): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性 (その4) - 2011 年東北地方太平洋沖地震時のダムの振動挙動 -”, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, I-441

仲村成貴・塩尻弘雄・上島照幸・有賀義明(Oct., 2012): “常時微動観測と三次元有限要素解析に基づく実在アーチダムの振動特性把握”, 土木学会第 32 回地震工学研究発表会講演論文集, ID3-362 (6 頁)

有賀義明・上島照幸・塩尻弘雄・仲村成貴・金澤健司(Nov., 2012): “三次元動的解析によるダブルアーチダムの地震時応答の検討”, 日本地震工学会-年次大会 2012 梗概集, pp.100-101

大湊周作・仲村成貴・塩尻弘雄・鈴木順一・上島照幸・有賀義明(Mar., 2013): “ダム堤体に対する岩盤部の影響を考慮したアーチダムの振動特性”, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会講演論文集, 000(4 頁)

上島照幸・高嶋佑典・金澤健司・仲村成貴・塩尻弘雄・有賀義明 (Sept., 2013): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性 (その5) - 微動の長期継続観測から得た卓越振動数の経時変動, 温度・水位との相関について -”, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-021

仲村成貴・大湊周作・塩尻弘雄・上島照幸・有賀義明(Sept., 2013): “常時微動・地震動観測による高経年化したアーチダムの動特性 (その6) - 3 次元有限要素モデルにおける岩盤の境界条件の検討 -”, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-022

有賀義明・早坂友宏・川上和貴・上島照幸・仲村成貴・塩尻弘雄 (Sept., 2013): “三次元動的解析による東北地方太平洋沖地震時のアーチダムの耐震性の検討”, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-019

有賀義明・上島照幸・仲村成貴・塩尻弘雄 (Oct., 2013): “三次元動的解析による 2011 年東北地方太平洋沖地震におけるダブルアーチダムの耐震性評価”, 土木学会第 33 回地震工学研究発表会講演論文集 7-529 (8 頁)

上島照幸・高嶋佑典・金澤健司(Nov., 2013): “常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの構造健全性モニタリング技術の開発とその適用 - ダムの振動特性変動の検出: 常時変動と地震時変動 -”, 日本地震工学会第 10 回年次大会梗概集, pp. 239-240

上島照幸・千葉奈央・金澤健司・塩尻弘雄 (Sept., 2014): “常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの構造健全性モニタリング技術の適用 - ダムの振動特性変動の検出: 常時変動と地震時変動 -”, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, I-00

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[講演] (計 3 件)

上島照幸(Nov., 2013): 宮城県仙台地方ダム総合事務所へのこれまでの研究成果報告会における講演: “常時微動・地震動の長期継続観測によるアーチダムの構造健全性モニタリング技術の開発とその適用 - この間の振動観測で明らかになったこと -”, (講演実施日時: 2013.11.8, 13:30-15:30)

上島照幸(Dec., 2013): 西高校での出張講義: 常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの構造健全性モニタリング技術の開発とその適用, (講義実施日時: 2013.12.13, 15:50-17:30)

上島照幸(Feb., 2014): 最終講義: “常時微動・地震動の長期継続観測による高経年化したアーチダムの構造健全性モニタリング”, 他. (講義実施日時: 2014.2.14, 10:10-11:10)

6. 研究組織

(1)研究代表者: 宮城大学・食産業学部・教授 (上島 照幸) (H26.3.31)

研究者番号: 90371418

(2)研究分担者: 日本大学・理工学部・教授 (塩尻 弘雄)

研究者番号: 20267024

(3)研究分担者: 日本大学・理工学部・准教授 (仲村 成貴)

研究者番号: 80328690

(4)連携研究者: 電力中央研究所・地球工学研究所・上席研究員

(金澤 健司)

研究者番号: 00371435