Study on Seismic Response of the Aratozawa Dam based on Temporary Seismic Observation Data

*Shuji Kumagai[1], Shunichi Kataoka[2], Hidenori Mogi[3], Hideki Nagumo[4], Wataru Okamura[5]

1. Tohoku Electric Power Co.,Inc., 2. Hirosaki University, 3. Saitama University, 4. Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 5. KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

2008年岩手・宮城内陸地震において荒砥沢ダムの監査廊で観測された大加速度の地震動の生成要因を分析することを目的としてダム周辺で臨時地震観測※を実施し，ダム及びダム周辺の震動特性について検討した。

１．臨時地震観測の概要
臨時地震観測では，荒砥沢ダムを中心とする一辺900m程度の三角形の頂点3地点（下流側に追加1点）の合計4地点に地震計を2015年より設置している（図1）。これまでに，荒砥沢ダムの近辺で発生したM3程度以下の小地震及び東北～北海道地方で発生した地震の記録が得られている。一般に，ノイズレベルが小さく，付近で発生したM1以下の地震でもP波及びS波が明瞭である。

２．ダム及び臨時地震観測点のサイト特性
荒砥沢ダム周辺で発生したM1.7以上の地震による臨時地震観測点及び荒砥沢ダムの観測記録を用いてスペクトルインバージョン解析を行った。解析で使用する地震については，臨時地震観測点とダム監査廊の記録を使って震源再決定を行った。再決定された震源（深さ2~11km）は，気象庁より平均2~3km浅い結果となった。また，臨時地震観測点の中で比較的周辺の地形がなだらかなA地点で観測された記録に拡散波動場理論（Kawase et al.,2011）を適用して一次元地盤構造の推定を行い，表層約14mより下部はVs700m/s以上と推定した。
スペクトルインバージョン解析では，計算結果を安定させるために，A地点の理論増幅特性の他に友澤・他（2019）によるQ値を拘束条件に加えた。解析で得られたサイト特性と震源特性には，一部でA地点のサイト特性の影響が顕著に現れたため，インバージョンで求められた震源スペクトルに最もフィットする理論震源スペクトルを仮定して，各地点のサイト特性を求め直した。図2に各地点のサイト特性を示す。ダム監査廊におけるサイト特性は10Hz以下の周波数範囲では，6Hz付近で約1.5倍になることを除き増幅は概ね1以下であり，A地点よりも小さい。一方，高周波数（10Hz以上）では，ダム監査廊とＡ地点は同等であり，最大で３倍程度であった。このことから，ダム監査廊の支持地盤は岩盤的な震動特性を有していると推定され，PS検層結果（日本大ダム会議,2018）とも整合する。

３．ダム堤体の相互作用の影響
ダム堤体の影響を調べるために，上下流方向の2 次元FEMシミュレーション解析を行った。ダム堤体モデルの下部にはPS検層結果に基づく2層の地盤モデルを付加した（図3）。なお，ダム堤体は，モデル化後に小地震を用いた固有値解析により物性値を調整し，本震の計算では本震記録等をもとに算定した$G/G_0 \sim \gamma$曲線を用い等価線形解析を行っている。
シミュレーションによって得られた余震及び本震の伝達関数（ダム監査廊/入射２E）を図4に示す。ダム堤体の地震応答特性は，余震では2Hz～4Hz付近に増幅率の変動が見られるが，倍率は最大でも1.2倍程度であった。10Hz以上の周波数帯域でも顕著な増幅は見られない。一方，本震の結果は，2Hz以上の小刻みな変動が消えてなだらかな形状になるが，増幅率は全体的に1倍程度以下であった。これらの結果から，本震でのダム監査廊の記録に含まれるダム堤体の影響は小さいと考えられる。

４．まとめ
これらの検討から，2008年岩手・宮城内陸地震の本震時に荒砥沢ダムで大加速度記録が記録された要因は，ダム監査廊周辺の地盤やダム堤体の影響ではなく，ダム堤体に入力する前の段階にあった可能性が示唆さ

© 日本地震学会

れる。荒砥沢ダム周辺では地震発生層上端が浅い（例えば，Yoshida et al.,2014）ことや荒砥沢ダムの記録を用いた震源過程の検討においてダムの近傍にアスペリティが想定されている（例えば，吉田・他,2014）ことから，大加速度の主な要因として強震動を発した場所がダムに近かったことが考えられる。なお，本震時のダムの相互作用について本震時の影響を詳細に確認するには，ダムの非線形特性を時間領域で検討することが必要である。

※荒砥沢ダム臨時地震観測グループ［弘前大学 片岡俊一，埼玉大学 茂木秀則，北海道電力（株），東京電力HD（株），電源開発（株），日本原燃（株），リサイクル燃料貯蔵（株），東北電力（株）］による共同観測

謝辞：本検討を行うにあたり，宮城県によって観測された荒砥沢ダムの地震記録及び気象庁による読み取り値を使用させていただきました。また，（株）小堀鐸二研究所の友澤氏には荒砥沢ダム付近のQ値をご提示いただきました。

参考文献：Kawase et al.（2011）,Bull. Seism.Soc. Am.,Vol.101,No.5, 2001-2014.，友澤・他（2019）,建築学会構造系論文集,Vol.84,No.756,171-181.，一般社団法人 日本大ダム会議（2018）,大ダム会誌,No.243, 5-46.，Yoshida et al.（2014）,J. Geophys Res.,119,Doi:10.1002/2014JB011291.，吉田・他（2014）,地震学会2014年度秋季大会, S15-P19.

図１　臨時地震観測点の観測点分布
（※Google Earthより引用）

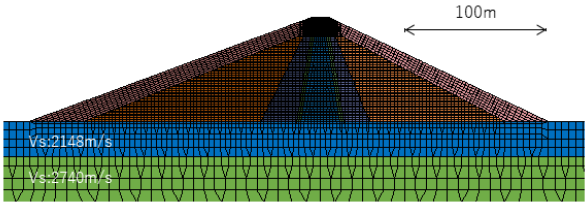

図3　FEMシミュレーションモデル

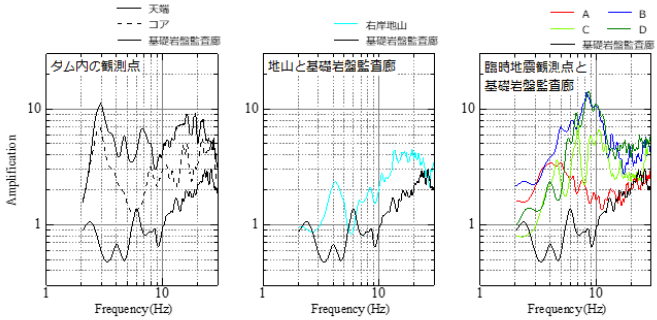

図2　各地点のサイト特性（自由表面の影響は含まない）

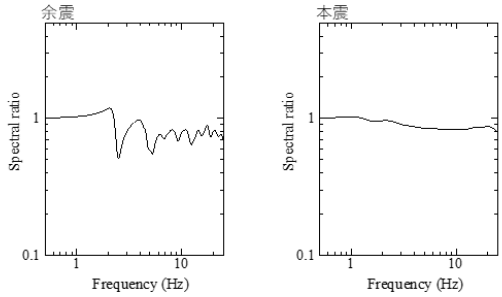

図4　FEMシミュレーション解析によって得られた伝達関数

© 日本地震学会