

地震波干渉法によるダム堤体の剛性率の評価

Estimation of the rigidity of Aratozawa dam body by the seismic interferometry

○永田友香*・小林範之**

Yuka NAGATA, Noriyuki KOBAYASHI

1. はじめに

通常、ロックフィルダムでは基礎より堤体天端の揺れが大きく、加速度の値も大きくなる。しかし、宮城県の荒砥沢ダムでは、H20.6.14 発生 of 岩手・宮城内陸地震（地震 C）時に基礎部で 1,000gal を超える強い地震動を記録し、上下流方向の加速度応答倍率（天端/基礎）が 0.5 倍と特異な値を示した。一方、それ以降に発生した H20.7.24 の岩手北部地震（地震 D）および H23.3.11 の東北地方太平洋沖地震（地震 E）では 2~6 倍という一般的な値を示し、加速度応答倍率からはダム堤体の異常を確認できなかった（表 1）。本研究では地震波干渉法を用いてダム堤体の地震波伝播時間を抽出し、堤体の劣化度を示す剛性率の評価を行う。

2. 解析方法

2.1 地震波干渉法

地震波干渉法とは、地震波を 2 点で同時観測し、それらの地震波形を相互相関処理することで、一方を仮想的な震源、他方を受振点とした場合の合成波形から 2 点間の地震波伝播時間を評価する解析手法である（図 1）。解析手順を図 2 に示す。図中の相互相関処理には、近年の研究により自然地震観測に対しての有効性が示されているデコンボリューション法を用いた。以下に基本式を示す。

$$D(\omega) = \frac{u_1(\omega)u_0^*(\omega)}{|u_0(\omega)|^2 + \varepsilon} \tag{1}$$

ここで、 $u_1(\omega)$ 、 $u_0(\omega)$ は観測波形 $u_1(t)$ 、 $u_0(t)$ のフーリエ変換、*は複素共役、 ε は安定化のための因

表 1 最大加速度と加速度応答倍率

発生日時		H8.8.11 地震 A	H15.5.26 地震 B	H20.6.14 地震 C	H20.7.24 地震 D	H23.3.11 地震 E
最大 加速	天端	114	365	525	123	290
	基礎	33	114	1,024	24	102
加速度応答		3.4	3.2	0.5	5.2	2.8

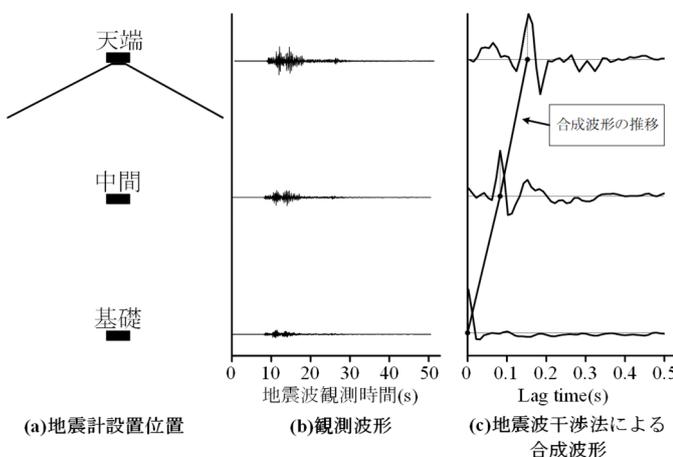


図 1 ダムにおける地震波干渉法の適用イメージ

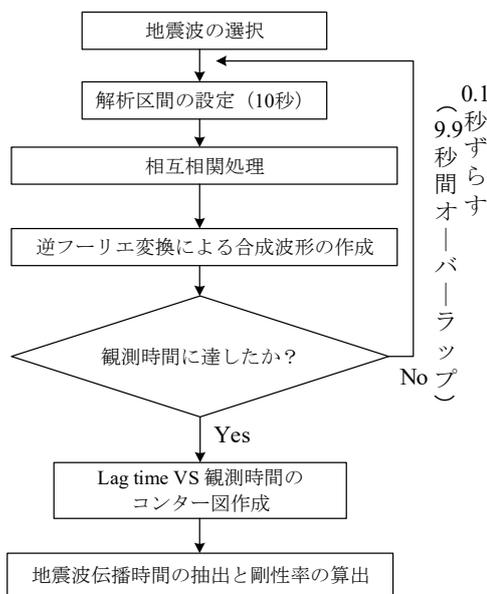


図 2 解析手順

*内外エンジニアリング株式会社：Naigai Engineering Co., Ltd., **愛媛大学大学院農学研究科：Graduate School of Agriculture, Ehime Univ. キーワード：フィルダム，地震波干渉法，剛性率

子で、 $|u_1(\omega)|$ の10%とした。求めた $D(\omega)$ を逆フーリエ変換して得られた合成波形を全ての地震観測時間ごとに並べ、コンター図化し、連続した初動ピークから伝播時間を抽出する。

2.2 剛性率の算出

抽出した地震波伝播時間を堤高 74.4m で除してせん断波速度 V_s を求め、式(2)により剛性率 G を算出する。ここに密度 ρ は、地震時の貯水位を考慮し、浸潤線以上を湿潤密度、以下を飽和密度とした平均的な値を用いた。

$$G = \rho \times V_s^2 \quad (2)$$

3 解析結果と考察

3.1 岩手・宮城内陸地震（地震 C）

表 1 の全ての地震に対してバンドパスフィルタをかけずに解析した結果、図 3(a)に見られるように地震 C のみにピークが 2 つ現れた。地震波伝播時間を特定するために H/V スペクトルにより求めた卓越振動数を参考にバンドパスフィルタをかけ、地震波干渉法を再度行った。(b)は強震時の卓越振動数 1.51Hz からフィルタのレンジを 1~2Hz としたもの、(c)は収束時の卓越振動数 2.25Hz からレンジを 2~3Hz としたものである。これにより、ピークが 1 つに絞られ、強震時は 0.32 秒、収束時は 0.22 秒であることがわかった。

3.2 地震波伝播時間の評価

表 1 の他の地震においても地震波の伝播は強震時に遅くなり、収束時に早くなった。また、最大加速度が大きい地震ほど強震時と収束時の地震波伝播時間の差が大きくなった。

3.3 剛性率の経時変化

図 4 に剛性率の変化を示す。剛性率は、特異的な加速度応答倍率を示した地震 C 時に大きく減少した。翌月に発生した地震 D まで剛性率は回復傾向にあったが、地震 E の強震時に一時的に減少し、収束時には再び地震 D の剛性率程度まで回復した。地震 A の剛性率 512.7MN/m^2 を基準とすると地震 C の強震時で 22.0%まで減少し、その後地震 E の収束時には 77.3%まで回復した。

4 おわりに

適切なバンドパスフィルタをかけることにより、地震波伝播時間を抽出できた。これにより、ダムで観測された地震加速度データから地震波干渉法を用いて堤体の剛性率を推定することが可能となり、地震直後から剛性が回復することがわかった。

参考文献：[1]白石和也・松岡俊文・川中卓(2008)：地震波干渉法の概要，地学雑誌，pp.863-867，[2]黒田清一郎・田頭秀和・増川晋・渡部大輔・影浦弘樹(2019)：農業用ダム地震計観測記録に基づく地震波伝播特性逐次解析の試み，農研機構研究報告書，pp.99-104

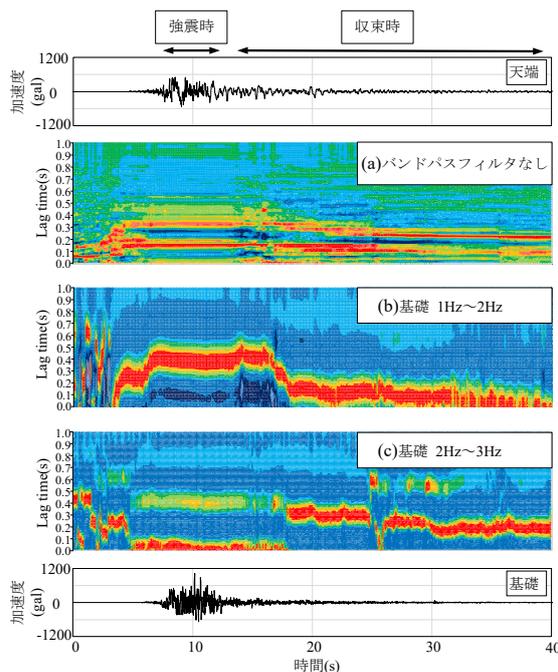


図 3 地震 C の地震波伝播時間の変化

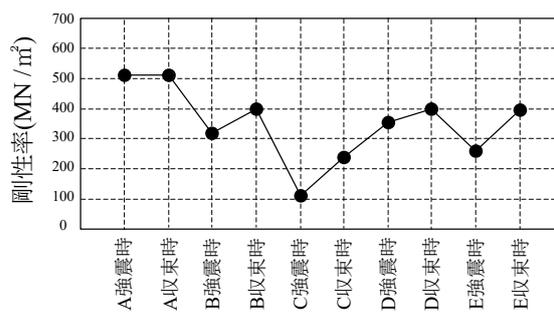


図 4 剛性率の経時変化