

観測記録に基づく中央コア型ロックフィルダムの非線形地震応答特性

東京工業大学大学院 学生会員 ○田原 徹也
東京工業大学大学院 正会員 大町 達夫

1. 背景・目的

2008 年 6 月 14 日午前 8 時 43 分ごろ、岩手・宮城内陸地震 (M7.2) が発生し震源近傍の山間地を強い地震動が襲った。震源域にあった荒砥沢ダム (高さ 74.4m, 中央コア型ロックフィルダム, 竣工 1998 年) では、ダム中央断面の天端と監査廊、およびその中間の 3 ヶ所に 3 成分地震計が設置されており (図 1 参照)、本震 (下表中④) による最大加速度値は監査廊で 10.24m/s^2 であったのに対して、ダム天端では 5.25m/s^2 と半減しており、通常の増幅特性とは逆の応答を示した (図 2)。直下地震の本震時に当ダムがこのような特異な地震応答を示した理由を解明し、ダムの耐震性能に及ぼす影響を検討することは極めて重要と思われる。上述の地震応答特性は、フィルダムを構成する土質材料の非線形動的特性、特に動的剛性のひずみ依存性との関連性が強いと推察される。そこで本研究では、ダムで観測された地震動記録を解析して、ダムの振動周期やダム内の波動伝播速度を推定し、動的ひずみとの関連性を調べる。

表 1 使用した地震記録 (最大加速度値 (m/s^2))

	年月日	M	上下流方向最大加速度		
			監査廊	コア中間	ダム天端
①	1996. 8. 11	5. 9	0. 28	0. 81	1. 05
②	1996. 8. 11	5. 7	0. 33	0. 66	1. 14
③	1996. 8. 11	4. 8	0. 3	0. 42	0. 87
④	2008. 6. 14	7. 2	10. 24	5. 35	5. 25

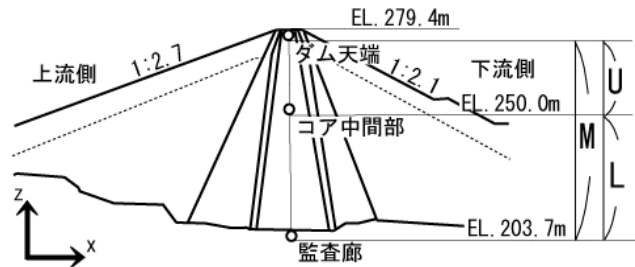


図 1 横断面図

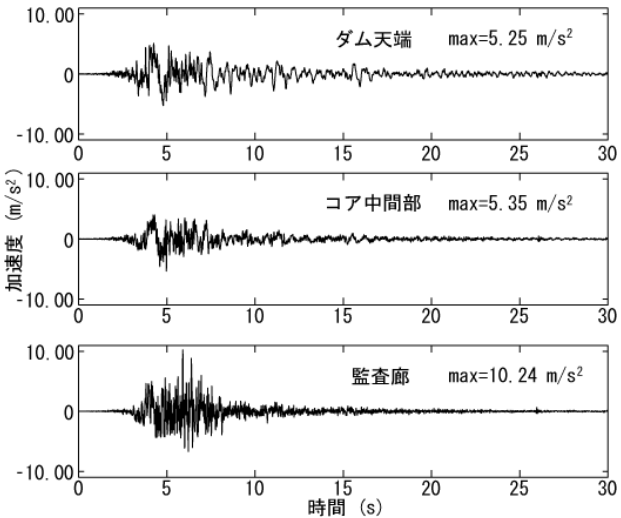


図 2 本震の加速度時刻歴波形 (上下流方向)

2. ダムの振動周期

天端と監査廊のスペクトル比 (上下流方向) を図 3 に示す。本震のスペクトル形状が 1996 年の地震と大きく異なり、短周期成分がダムで大きく減衰し、1996 年の一次周期よりも明らかに伸長している点が注目される。さらに、図 4 はランニングスペクトル比 (天端/監査廊, 上下流方向) を表している。ダムの基本周期は、主要動時には 1.20 秒に急伸し、揺れが収まるにつれて徐々に短縮し、最後には 0.5 秒弱となっている。

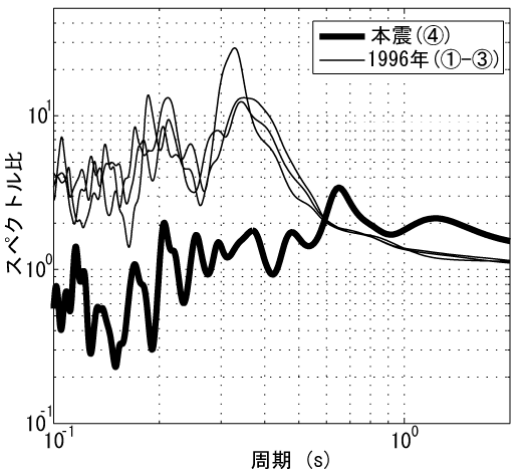


図 3 スペクトル比 (天端/監査廊, 上下流方向)

キーワード ロックフィルダム, 非線形応答, 振動周期, 伝播速度, 動的ひずみ
連絡先: 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G3-2 東京工業大学大町研究室 TEL045-924-5605

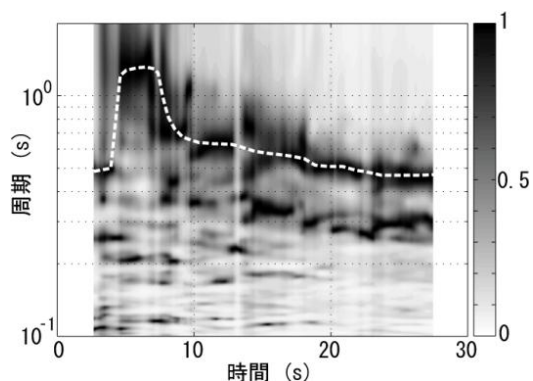


図4 ランニングスペクトル比による周期変動状況
(天端/監査廊, 上下流方向)

3. 波動伝播速度のひずみ依存性

ダム振動周期の変化は、波動伝播速度の変化を示唆している。そこで、時間幅 2.56 秒の箱型データウィンドウを用いて監査廊、天端のフーリエ位相を求め、両者の位相差から伝播速度の時間変化を推定した(図5)。当初 500m/s 程度の伝播速度が主要動の開始とともに 200m/s 以下まで急低下し、その後徐々に増加に転じ、本震終了時には 350m/s 程度に収束している。

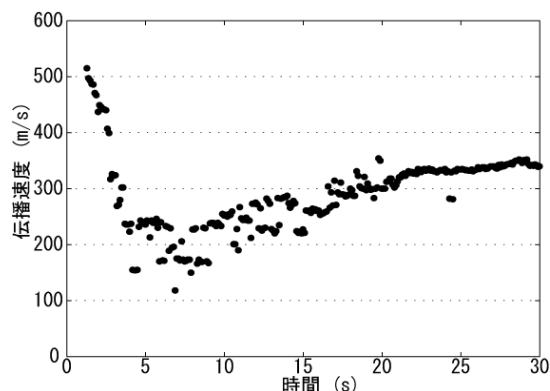


図5 本震中における伝播速度の時間的変化状況
(監査廊-天端間, 上下流方向)

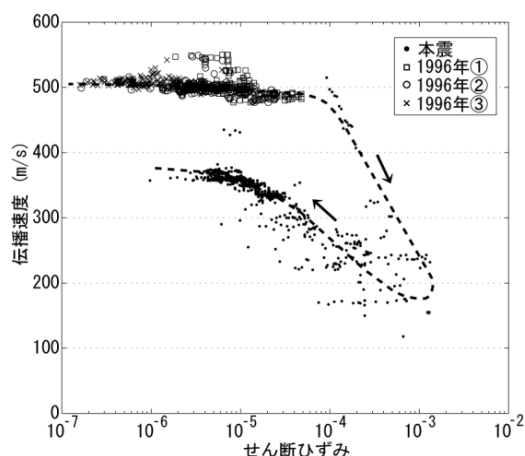


図6 本震時動的ひずみと伝播速度の関係
(監査廊-天端間, 上下流方向)

次に監査廊-天端間の相対変位から動的ひずみ時刻歴を算定し、上述の伝播速度の変化と動的ひずみの関係を求めた(図6)。同図には、1996年の地震記録からの推定伝播速度と、本震時の大まかな速度変化を示す破線と矢印を併記している。本震の主要動時に 10^{-3} を超える大きなひずみが生じ、それに伴い伝播速度が激減する傾向がうかがえる。

4. 本震後の回復過程

本震終了時に伝播速度が本震前の値まで回復していないことを踏まえ(図5,6)、本震後の余震を含めた 185 の地震記録から同様に伝播速度を推定することにより、コア内を伝わる伝播速度の回復過程を調べた(図7)。本震後、伝播速度は指数関数的に増加し、約1年を経て当初値に回復する過程が確認された。

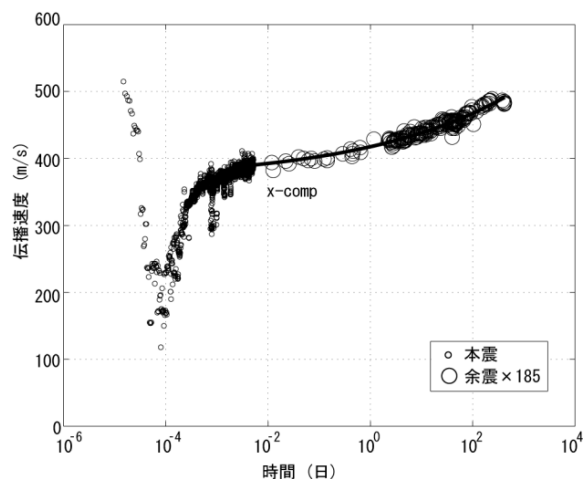


図7 S波伝播速度の回復過程
(監査廊-天端間, 上下流方向)

5. まとめ

2008年岩手宮城内陸地震の震源域にあった荒砥沢ダムでは、本震の主要動時に 10^{-3} を超える大きなひずみレベルに達したことに伴い、コア内のS波伝播速度は当初値 500m/s から 200m/s 以下にまで減少した。これに伴いダムの振動周期も伸長した。主要動後、S波伝播速度は徐々に増加する傾向を示したが本震終了時では 350m/s と当初値に戻らず、約1年かけて回復する過程が確認された。

参考文献

- 1) 大石純夫(1995)：荒砥沢ダムの設計・施工について、ダム日本 No. 606, pp. 15-47.
- 2) 大町達夫, 田原徹也(2009)：直下地震の観測記録に基づくロックフィルダムの非線形地震応答特性、第54回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 243-250