

インライン式海底地震計の強震時記録安定性の検証：JAMSTEC の釧路沖 OBS の例

林元 直樹・干場 充之（気象研究所）・中村武史（海洋研究開発機構）

1. はじめに

近年、DONET・DONET2（JAMSTEC）や、S-net（NIED）などの海底観測網の整備が進み、海底地震計の緊急地震速報への活用が期待されている。ただし、その利用には、陸上の観測点とは異なる設置環境の影響を考慮する必要がある。海底と地震計とのカップリングの問題もそのひとつである。2003年の十勝沖地震（M8.0）では、震源直近のJAMSTECの釧路沖OBSで地震計筐体が最大約5°回転したことが指摘されている（Yamamoto et al.,2004）ように、未固結堆積層の上に設置されているOBSのデータは強震入力時に様々なデータの乱れを受けると考えられる。リアルタイムデータから情報を作成し発信する緊急地震速報の処理においてはこれらの乱れを検出することが困難であり、地震動の推定に大きな影響を与えかねない。本稿では、釧路沖OBSを例として、インラインケーブル式OBSが強震時に受ける影響について検証し、緊急地震速報の処理に与える影響について考察する。

2. データおよび手法

釧路沖 OBS は、現在運用されているインライン式 OBS の中でも地震計直近での地震活動度が高い OBS である。3 点の地震計には、長さ約 169.5cm、外径約 26.5cm の細長い円筒状の筐体に、DC 成分までを検出可能な加速度センサを、ケーブル方向である筐体長軸方向を X 軸として直交 3 成分搭載している。データは、2002 年以降に釧路沖 OBS 周辺で発生した M4.0 以上の地震より 10cm/s² 以上の記録が期待される地震を抽出して用いた。はじめに、地震時のセンサの傾動を確認するため、抽出した加速度波形記録の理論 P 波の前 60 秒から後 360 秒の区間において、平田・川口（2002）や Kinoshita（2008）と同様に、メディアンフィルタを用いて XYZ 各成分でのオフセット変化を検出した。メディアンフィルタは試行錯誤のうえ、フィルタ長 2 秒と 50 秒のフィルタを連結して用いた。得られたオフセット変化を重力加速度の分力として OBS 筐体の姿勢角（オイラー角）を算出し、地震前後での OBS 筐体の姿勢角変化を推定した。また、各成分を上下動・水平動成分に変換して、各成分のオフセット量を比較した。さらに、OBS の強震動への応答を確認するため、理論 S 波部分の 20 秒間のフーリエスペクトルより強震時

と弱震時での H/V スペクトル比を算出し、その特性の違いを確認した。なお、地震計の成分変換に際しては、センサ形状による応答の影響を考察するため、地震計の設置方位角の補正は行わずに筐体の長軸方向（X 軸）の傾きを示すピッチ角と X 軸を中心に回転する傾きを示すロール角のみを補正し、センサのケーブル方向の水平動（X'軸）とそれに直交する水平動（Y'軸）とに変換している。

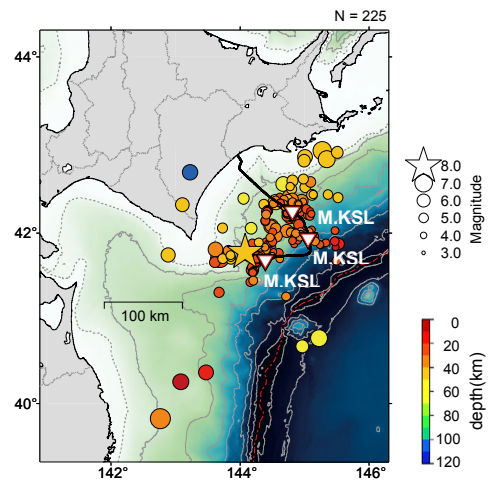


図 1. 釧路沖 OBS（逆三角）と解析に用いた地震

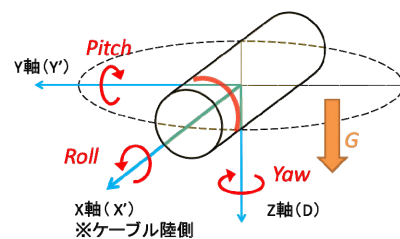


図 2. OBS 筐体中のセンサ設置方向の模式図

3. 地震前後での地震計の姿勢変化と加速度オフセットの特徴

2003年十勝沖地震の例では、ピッチ角に比べて、ロール角の変化が大きいという特徴をもつ（図3）。姿勢角の変化は入力加速度に応じて大きくなる傾向にあり、ロール角の変化が卓越する傾向は、PGAが100cm/s²を超えるような地震で特に顕著である（図4（左））。地震計の姿勢角を補正して上下動・水平動に変換した場合、重力加速度起因のオフセット変化は、ケーブル方向の水平動（X'軸）より、ケーブルに直

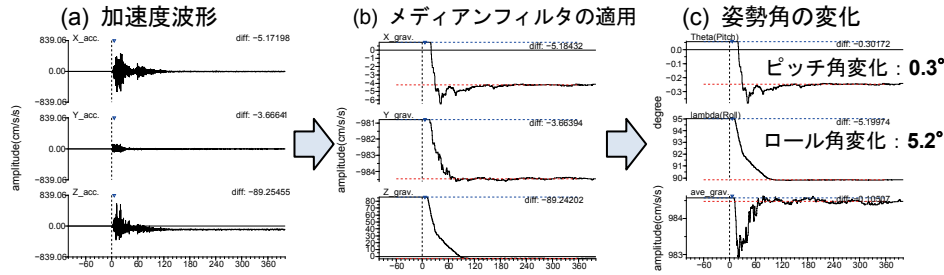


図3. 2003年十勝沖地震のM.KSL1観測点における姿勢角変化検出の例

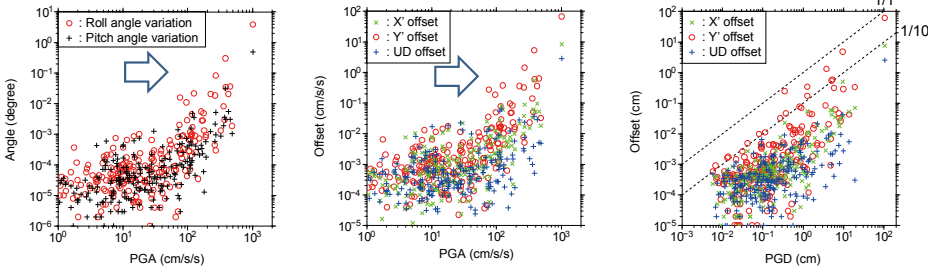


図4. M.KSL3における地震時の姿勢角の変化量(左)と、加速度オフセットとPGA(右, X'Y'UD成分), 変位オフセットとPGD(右)との関係

交する水平動(Y'軸)で大きくなる. さらに, Y'軸は上下動のオフセット変化と比較しても大きい傾向がみられる(図4(中央)). これは鉛直方向に作用する重力加速度のロール角回転に対する分力の変化量が, 上下動成分より水平動成分に生じやすいことによるものと考えられる. 緊急地震速報のマグニチュード推定に用いている変位波形の漸化式フィルタ(勝間田(2008))は, その特性から変位波形にもオフセットが残留するため, 変位波形のオフセット量と変位波形の最大値(PGD)を比較すると, Y'軸成分ではオフセット量と最大振幅が同レベルとなり, マグニチュードの計算に影響を与える可能性のある事例が存在することがわかった(図4(右)).

4. 強震時と弱震時での応答特性の違いについて

陸上の観測点においては, 特に 100cm/s^2 を超える加速度が入力する場合, 地盤の非線形応答により卓越周期の長周期化や高周波数での増幅率の低下が生じる場合があることが知られている(例えば, 翠川(1993), 野口・笹谷(2011)). 同様の傾向を釧路沖OBSで確認するため, PGAが $10\text{-}50\text{cm/s}^2$ のデータのH/Vスペクトルを弱震時の基準として, 強震時のH/Vスペクトルと比較を行ったところ, 2003年十勝沖地震の際など, 強震時の卓越周波数の長周期化や高周波数側でのレベルの低下が明瞭に認められる事例が確認でき, OBSにおいても陸上の観測点での非線形応答と同様の特徴が確認された(図5). 野口(2009)などによる非線形化指標「DNL値」を算出したところ, 非線形化の影響が顕著となるのはPGAが 300cm/s^2 を超えるような強震時の場合であった(図6). これは, 陸上の観測点で非線形化が顕著となるレベルと大差ない値であり, OBSの挙動は不安定な設置環境にもかかわらず比較的安定しているといえる. さらに, 強震時と弱震時で同様に, X'軸とY'軸のスペクトル比において, 10Hzよりも高周波数側でY'軸方向の振幅が顕著に小さく

なる傾向が認められた. これは, OBSの筒状の形状による応答の違いが, 高周波側に生じていることを示しているのかもしれない.

6. まとめ

JAMSTECの釧路沖OBSの観測データを元に, OBSにおける強震観測時のデータ乱れの特徴を抽出した結果, 入力加速度に応じて, 地震計の傾動や非線形応答の影響が生じることが分かった. S-netなど今後緊急地震速報への活用が期待されている地震計も, 同様の特性を有すると考えられることから, 緊急地震速報の処理に適用するうえでは, ケーブル式OBSのもつ特徴を十分に考慮する必要がある.

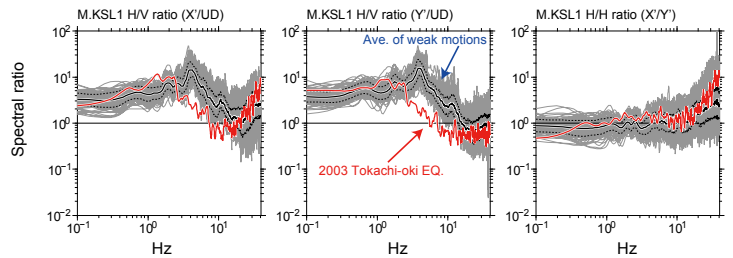


図5. 2003年十勝沖地震(Mj8.0, 赤線)と弱震時(灰色, 平均が黒線, 黒破線が $\pm 1\sigma$)のM.KSL1観測点における, 各成分同士のスペクトル比

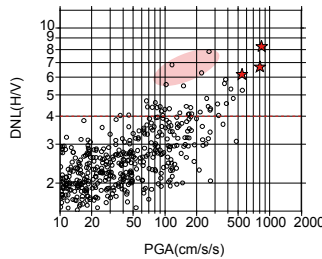


図6. 釧路沖OBSでのPGAとDNL(H/V)の関係. 赤の星は2003年の釧路沖地震, ピンクのハッチは直後の余震を示す.

謝辞

解析には, JAMSTECが設置・運用している釧路沖OBSの低感度加速度記録を, 海底ケーブルデータセンター(http://www.jamstec.go.jp/scdc/top_j.html)より入手して利用しました. 記して感謝いたします. なお, 本研究の一部はJSPS科研費25282114「実時間地震動予測: 実況値を反映させる手法の構築」の助成を受けたものです.