

5. 高精度位置管理による二船式反射法地震探査の実現

齊藤秀雄、成田誠（株地球科学総合研究所）

1. はじめに

沿岸海域における海上反射法地震探査では、調査測線上の航行船舶や漁業活動等の海上環境、水深及び回頭半径で規定される作業船の海岸への接近限界等が、調査実施にあたっての制約要因となる。このような状況下にあつて、日本国内では沿岸海域での長大ストリーマケーブルの曳航は事実上不可能であり、深部地殻構造の抽出に足るオフセット距離を確保するには、これまで海底敷設ケーブル(OBC)に拠らざるを得なかった。OBC敷設についても、漁業活動等による制約の上に海底地形やコスト増加の問題も加わり、調査対象は限定されてきた。

一方、2007年能登半島地震以降、沿岸活断層の深部構造を把握することの重要性が広く認識され、沿岸海域における深部地殻構造を対象とした海上反射法地震探査への期待が高まった。株地球科学総合研究所では、こうした要請に対応するため、比較的短いストリーマケーブルを用いた二船式反射法地震探査を、極めて高い位置精度のもとに実現し、今後の沿岸海域における深部構造探査の可能性を飛躍的に増大させた。

2. データ取得手法

大型エアガンを搭載した発震船と、1200m～2000m程度の比較的短いストリーマケーブル及び小型エアガンを搭載した観測船の二船を同一測線上に航行させ、両船による交互発震記録を観測船で収録する。この際、一回の航行における二船間のオフセット距離は一定に保ち、オフセット距離を変えて反復航行することにより、長大オフセットデータを取得する。

同様の調査は、国内においては鶴ほか(2003)による先駆的な試みがあり、深部地殻構造及び高精度な速度情報の抽出に成功している。鶴ほか(2003)では、二船それぞれの発震およびデータ収録を一定の時間間隔でおこなうことにより二船式データ取得を実現している。これに対して

我々は、発震及びデータ収録時刻については二船間で無線による同期をとる一方、互いの船速を調整しながら予定位置での発震をおこない、より高い位置精度によるデータ取得を実現した。具体的な作業手順は概ね以下のとおりである。

- (1)両船は、小型航法システム(CHIPS2, 株地球科学総合研究所)によって、予定測線上に予め等間隔で設定された観測点位置にそれぞれ別個に誘導される。
- (2)観測船をマスター側として、同船が予定位置に到達した時点でデータ収録をおこない、発震船はこれに同期して発震をおこなう。尚、発震船をマスター側とすることも可能である。
- (3)データ収録時点における実際の発震船位置と予定位置とのずれを常時監視し、互いの船速調整により相対距離を保持する。この際、発震船の位置情報(Differential GPSによる実測値)は無線を介して観測船に送信され、観測船においては両船の正確な位置がリアルタイムで把握されている。

以上により、ニアオフセットから最大オフセットに至る均一なオフセット分布が実現する。尚、同一測線を複数回航行するため、発震点は重複するが、これを陸上の固定観測点で受振する場合、重複発震を垂直重合することでSN比を大幅に向上させることができる。この場合においても、発震位置が正確に管理されていることが重要である。

さらに、二船間オフセットについては、上記のようにオフセットを一定に保つ場合に加えて、航行中にオフセットを連続的に変化させることで、以下に挙げる付加データの取得が可能である。

・局所的な高密度長大オフセットデータの取得
同一測線上を互いに向かい合わせに航行することにより、両船の中間位置付近に、一回の航行で高密度かつ大オフセットのCMPデータを取得する。この際、発震船の船速を、観測船よりもわず

かに速くすることにより効率的に中心付近にデータを集めることができる。船速比は測線長とケーブル長に依存する。これにより、必要な箇所でも効率的に高精度の速度推定をおこなうことができる。

・屈折法データの取得

発震船は測線直交方向の狭い区間（500m 程度）を往復しながら多数回の発震をおこない、その間、観測船は測線に沿ってストリーマケーブルを曳航しデータを収録する。この際、観測船は測線方向に航行しながら連続的にデータを収録するため、大量の重複データが取得される。これらを垂直重合することで SN 比を大幅に向上させることができる。これにより、海底地震計（OBS）の設置が困難な海域での屈折法地震探査が実現する。

3. 調査実績

本手法による調査は2009年度までの3年間で4調査が実施された。最大オフセットの実績は、反射法については18km、屈折法は50kmである。位置精度については、例えば相模湾で実施された調査（発震間隔50m）では、総発震数4790点のうち二船間距離の誤差10m以下が79%、25m以下が98%という極めて高い精度を実現している。いずれの調査においても比較的小型の船舶（200～700トン）を使用しており、船舶自体の機動性の高さが高精度位置管理においては重要である。尚、各船における誘導係と操船手との連携及び各船間の誘導係同志の連携が、実際の調査現場においてこのような高い位置精度を実現する上で最も重要な要素である。

これらの調査結果は、これまで困難であった深部における精密な速度解析や多重反射除去処理、さらには屈折法による広域速度構造推定の実現により、深部地殻構造の解明に大きく貢献した（例えば佐藤ほか、2007）。

4. 今後の展開

高精度位置管理による二船式データ取得により、沿岸海域における長大オフセットデータ取得技術が確立した。今後の展開としては以下のようなものが挙げられる。

(1)沿岸域のあらゆるフィールドへの適用

これまでの調査では1200m～2000mのストリー

マケーブルを使用してきたが、これよりさらに短いケーブルを使用することにより、港湾施設近傍、岩礁地帯といったこれまで調査が難しかった対象を含む沿岸域のあらゆるフィールドでの深部探査が可能となる。

(2)三次元調査への応用

三船以上による多船式データ取得により、これまで海底敷設ケーブルに抛らざるを得なかった浅海域での三次元調査が可能となる。

謝辞

調査の実施にあたっては、地元自治体、漁業関係者の皆様には多大なご配慮ご協力をいただきました。調査の成功は、正確かつ的確な操船をしていただいた船長はじめ株式会社オフショア・オペレーションの乗組員の皆様に拠るところが大きい。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 佐藤比呂志・阿部進・斉藤秀雄・加藤直子・伊藤谷生・川中卓（2007）：二船式による2007年能登半島地震震源域の反射法調査，地震研究所彙報 Vol.82 pp275-299.
- 鶴哲郎・朴進午・三浦誠一・藤江剛・伊藤亜妃・金田義行・笠原順三・KR02-11 上船研究者（2003）：二船による反射法地震探査データの中間処置報告，物理探査学会第108回学術講演会講演論文集.