

弾性波アクロスによる地球内部の常時モニタリング - 対象スケール100m ~ 100km - Seismic ACROSS as a potential technology for geophysical exploration and monitoring

國友 孝洋 [1]; 熊澤 峰夫 [1]

Takahiro Kunitomo[1]; Mineo Kumazawa[1]

[1] JAEA 東濃

[1] JAEA Tono

弾性波アクロスは、位相と振幅とを精密に制御した複数の周波数の弾性波を常時送受信して、地下の周波数伝達関数を連続的に取得し、地下の構造探査とその状態のモニタリングを行うためのシステムである。我々は、この探査システムを実現するために、偏心した1個の錘をサーボモータにより精密に回転制御して地盤を加振する装置の開発を進めてきた。GPS 時計のタイミングで精密に制御された FM (周波数変調) により複数の周波数の正弦波を同時に送信する手法を開発し、また、定期的かつ自動的に回転方向を反転して送信したデータを合成することで全方位の観測点で任意の方位の直線加振を行ったのと等価な伝達関数を連続的に取得する探査方式を確立し、地球内部の常時モニタリングへの検証試験を行ってきた。本発表では、2002 年末から 3 年以上に渡って継続している連続送受信実験を中心にした成果について報告する。

2004 年 2 月 20 日 19 時から、偏心モーメント 8.0kgm で回転軸が鉛直の送信装置を用いて、約 10 ~ 20Hz の周波数範囲を周期 50 秒で連続的に繰り返しスイープする FM 送信を、約 2 年間に渡って継続している。FM の搬送波周波数 f_c [$f(t)dt / dt$ で定義した平均周波数] を 13.01Hz に設定し、送信する離散周波数系列信号は、搬送波周波数の両側に 0.02Hz 間隔で、ほぼ 10 ~ 20Hz の帯域に分布している。搬送波周波数 f_c が一見半端な値であるのは、Hi-net 観測データに混入する整数 Hz のコヒーレントノイズと送信スペクトルとが重ならないようにするためである。発生力のスペクトル振幅は、周波数によらずほぼ一定値 (この場合は $\sim 2700N$) になるように設計している。

受信データの解析は、送信点近傍に独自に設置した地震計アレイおよび 100km までの Hi-net の観測データで行った。ここで提示する解析結果は 2004 年 2 月 20 日 ~ 2004 年 9 月 23 日までの約 7ヶ月間のデータに基づいたものである。主な結果は、次の通りである。

送受信技術の確立:

1 A) 3 年以上におよぶ連続送信でも、大きな故障なく稼働を続けることができた。制御系のアンブ (落雷)、8 年間使用した制御用 PC の HDD と GPS 時計の電源系統など、修理が容易な部品の故障は何度も生じた。停電や OS のバグなどで送信停止もしくは異常が発生したことがあったが、現在では停電以外は問題なく稼働する状態にある。

1 B) スタッキング手法を工夫し観測データの S/N 比向上を行った。逐次スタッキングによる S/N は 7ヶ月を超えても理論通り単調に増加し、100km の距離でも送信信号が検出された。解析手順は、まず 1 時間毎の受信データの頻度分布から背景雑音水準を推定し、これを基準として異常な大振幅を示すデータを 1 秒単位で除外し、200 秒単位で 1 時間毎のスタッキングデータを作成する。続いて 1 時間毎のデータをフーリエ変換し、周波数領域での最適重み付きスタッキングを必要な時間だけ行い、誤差評価付き伝達関数を得る。ノイズレベルの低い観測点では、50km 以上の遠方でも、1 日程度のスタッキング結果で明瞭に P 波、S 波、その後続波と時間変動を認めることができる。

観測データの解析結果:

2 A) 送信点から 100km までの 70 点以上の観測点について解析を行い、ノイズが特に大きい観測点以外は、6 成分の周波数領域テンソル伝達関数 (直線加振 2 成分に対し、それぞれ 3 成分の受信成分への伝達関数) を得ることができた。テンソル伝達関数は、地殻内に著しい側方不均質と S 波偏向異方性の存在を示唆するパターンを示している。

2 B) 100km 圏内全域で明瞭な S 波とその複数の後続波フェーズが明瞭に認められる。後続 S 波の走時は、P 波と S 波の速度比を一定とすると、後続 P 波の走時とほぼ明瞭な対応がつけられる。これにより、地殻内部構造について精密制御送信による S 波の走時解析や監視観測の道が開けた。

2 C) 観測誤差の範囲を超えた伝達関数の時間変動が観測された。送信点を取り囲む 100km 圏における 70 点の観測点で地殻内の監視観測を開始したことに相当する。

結論: 地殻規模の対象に対して、高度な情報 (速度とその減衰特性だけでなく、分散性、異方性、側方不均質、時間変動特性など) を豊富に含むテンソル伝達関数データの取得法として、アクロスはほぼ実証できたと考える。ただし、構造の空間解像度を上げるには、送受信点の適切な分布と高い密度を要するので将来の課題である。通常の物理探査で扱う 10km 程度までの規模の対象に対して、アクロスは有用な手法であると結論する。

謝辞: 本研究には、防災科学技術研究所の Hi-net データを使用した。関係者に感謝致します。