

AM 弾性波を使った地殻探査手法の提案と開発の現状

Proposal of a Seismic Exploration Method using an AM Elastic Wave

大竹 雄次[1]; 佐伯 昌之[2]; 東原 紘道[1]

Yuji Otake[1]; Masayuki Saeki[2]; Hiromichi Higashihara[1]

[1] 東大・地震研; [2] 東大・地震研

[1] ERI, Univ. Tokyo; [2] ERI, Tokyo Univ.

1. はじめに

近年、地震予知に関連して、伊豆で地震発生の日くらい前からテクトニックな方向に歪が急に増加する現象を、石井式の3成分ボアホール歪計が捕らえている。この事実は、地震予知のために前駆的な地殻の歪みを捉えるのに、環境に影響しない、非破壊的な準リアルタイム定常監視が効果的であることを示している。従来からある陸域地殻の主たる探査手法は、ダイナマイトによるものとパイプロサイズがある。爆破は弾性波の発生力が大きい、単発的で破壊的、波の発生強度・波形が不明確である。またパイプロサイズは非破壊的ではあるが、発生力は小さく弾性波の到達距離が短い。以上の問題点を解消し地震などに先行する地殻変動を定常監視すべく、偏心荷重を回転させる人工震源アクロスが開発された。この手法は、震源の発振強度・周波数が高安定・高精度で震源関数が明確、発信弾性波がコヒーレントなのでスタッキングによる高いS/N比で高感度に信号を抽出できる。だがサイン波であるが故に、震源から観測点までの直達波と地殻の反射面からの波を観測では即座に区別できない。また既知な地殻のモデルがなければ、その区別も正確には難しい。提案する非破壊な常時地殻探査手法は、以上に述べた人工震源を使った地殻探査の欠点を補完し発展させ、リアルタイム性を確保できるものである。

2. AM 弾性波を使った地殻探査手法と特徴

AM 弾性波を使った地殻探査の概要を図1に示す。この手法では、人工震源でGPS衛星からの基準信号に正確に同期した単一周波数の弾性波(搬送波)を発生させ、その波にパルス強度変調(AM)をかける。その震源は、偏心荷重を回転させ錘の重心位置を変更することでAMを行う。観測点では、AM弾性波が、GPSの基準信号から作った震源の発信周波数に振り子の自然周期を磁気バネにより正確に合わせた地震計で観測される。この地震計は、振り子の自然周期近傍の共振カーブ特性を利用した狭帯域帯域を検出に使う。磁気バネは、スピーカーのボイスコイルと類似で、振り子の復元力に対して正負の力を加え自然周期が変更できるものである。信号検出には、ロックインアンプを使った狭帯域の同期検波が使われる。この方法では、地震計の出力のAM信号から搬送波が取り除かれ、変調パルスのエンベロープのみが抽出される。このアンプは、1000倍以上のノイズから0.1%の精度と120dB以上のダイナミックレンジで信号が観測できる。同期検波に使用する人工震源の発振周波数に同期したパルスは、GPS衛星の基準信号から作られる。以上に述べた探査手法の特徴は以下である。震源から搬送波にのせたパルスを放射するので、観測点で直達波と地殻の反射面からの波が即座に識別できる。変調パルスの発生時間や形を正確に制御し、観測点でのパルスの到達時間と波形の歪を測定することで、震源と観測点の間の走時や伝達関数が推定できる。震源で強度変調するパルスを、パイプロサイズのように短時間でバースト状に繰り返す。バースト時間は、震源からの直達波が観測点へ達する時点から地殻反射面からの波が観測点に到達するまでの時間より、十分短くする。バースト時間が短ければ、バースト内のパルス個々をスタッキングして一つに変換し、S/Nが改善できる。GPSで校正した振り子の自然周期点での検出方法では、観測された弾性波の位相(または周波数)が変化すると地震計の出力信号が大きく変化する。地震直前の断層地殻に於いてクラックの拡大やそこへの水の流入などで断層を通過する弾性波の強度・位相が僅かでも変化した場合、この方法では、その変化を大きなS/Nの良い信号で容易に検出できる。また振り子の自然周期を常にGPS信号で震源の発信周波数に合わせているので、現状の地震計の問題である検出特性の時間・温度変動からも逃れられる。

3. 開発の現状とまとめ

現状は、以前より本研究および他の目的で開発してきた回転しながら偏心荷重の重心位置が変更できるアクロス震源の、基本的な動作を確認している段階である。その震源は、山梨県大月市にある東京電力葛野川発電所の地下トンネルの構内に設置されており、順調に動作している。弾性波出力の安定度は $\pm 0.1\% / 12h$ にも達している。震源からの弾性波の観測点もボアホール型の地震計が設置されており、震源から観測点までが光ファイバーのデータリンクで結ばれている。このような実験装置の現状から、弾性波のAM変調、光ファイバーを使った同期検波用パルスの伝送、観測点でのロックインアンプを使った弾性波信号の同期検波検出などの動作検証が、近い将来に十分実行可能となる。また震源の安定度から考えると、観測では、僅かな波のAMでも十分なS/Nが確保できる。今後の実験では、前記したこの手法の特徴が本当に実現できるかを確かめる。

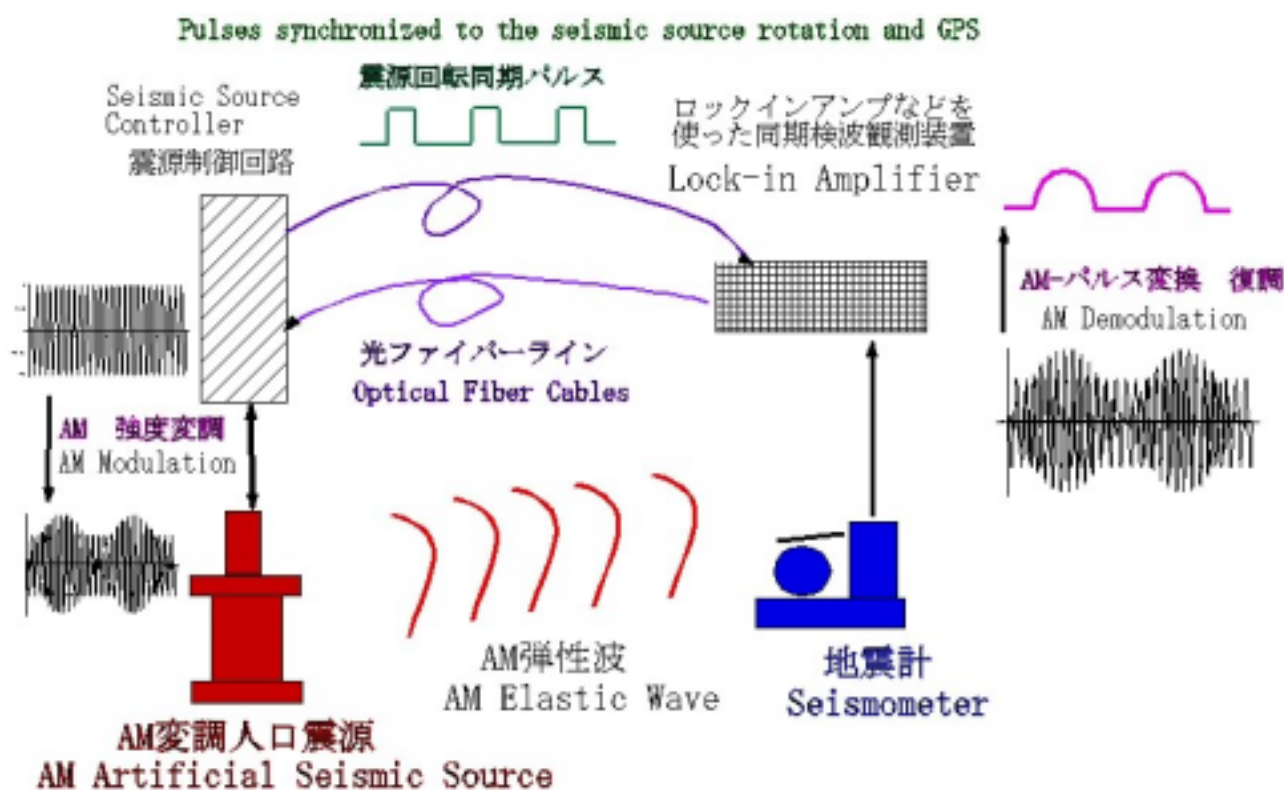


Fig. 1. A seismic exploration method using an AM elastic wave