

早期地震警報のための地震諸元推定およびノイズ識別のアルゴリズム開発

(公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター 地震解析
岩田直泰 山本俊六 是永将宏 野田俊太

1. はじめに

地震時に鉄道施設などの安全性が懸念される場合、鉄道事業者は可能な限り早く列車を停止させる。いち早く列車を停止させるために、鉄道では単独観測点のP波初動数秒の情報から地震の位置と規模を推定し必要に応じて警報を出力するシステムが稼働している。一方、地震時の安全性向上に資するシステムの高性能化が望まれている。これを受け、精度と即時性の改善に向けた早期地震諸元推定アルゴリズムの改良を行った。また、早期地震諸元推定には微弱なP波初動を用いるため、特に線路沿線に設置された地震計では地震動と列車走行に伴う地面の揺れを識別する必要がある。そこで、地震動と列車振動の識別性能の向上を目指し、周波数情報を用いたアルゴリズムを開発した。

2. 地震動とノイズのデータセット

地震動には、主にK-NETで観測されたマグニチュード4.5から9.0の地震において、震央距離が200km以内のデータ(10,171波形)を用いた。一方、ノイズには、新幹線沿線に設置された地震計で記録された列車走行に伴う振動データ(10,002波形)を用いた。

3. 早期地震諸元推定アルゴリズムの機能向上

単独観測点データを用いた早期地震諸元推定アルゴリズムの改良を行った。これにより精度向上が期待されると共に、最短の警報出力時間が現行の2.0秒から1.0秒に短縮される。以下に改良点を列記する。

(1) 地震検知

ゆるやかな立ち上がりを示す地震動の地震検知性能を向上させることを目指し、早期トリガ(STA/LTA法)のパラメータ調整を行った。また、振幅の大きな地震動の見逃しを低減させるためレベルトリガ(規定値超過法)による地震検知手法を追加した。

(2) 震央距離推定

現行のB-Δ法からC-Δ法への変更により、推定データ長を1/4倍に短縮した。また、推定を開始するタイミングをP波到達時からではなくある程度強い揺れが到達した後とし、さらに推定式に粘性項を導入した。これらにより精度と即時性が向上した。

(3) 震央方位推定

現行は固定データ長(1.1秒)により推定を行っている

が、データ長を可変としてP波到達直後の変位波形の半波長データ(最大1.0秒)を用いる。これにより精度と即時性が向上した。

(4) マグニチュード推定

振幅最大値の平均的な出現タイミングは変位よりも加速度の方が早いことが確認されたことから、加速度マグニチュードを導入することとした。ただし、加速度を用いたマグニチュード推定の精度は変位よりも低いことを考慮し、両者のOR制御を提案する。なお、震央距離推定と同じく推定式に粘性項を導入することで精度が向上した。

4. ノイズ識別アルゴリズムの機能向上

現行の地震動と列車振動の識別には、上下動と水平動の振幅比(VHmax)を用いる方法が導入されている。ただし、両者の周波数特性を比較した結果、列車振動は低周波に対して高周波が卓越することが分かった。これを受け、漸化式フィルターを用いて高周波および低周波の帯域通過データを毎サンプル求め、それらの絶対値振幅の移動平均比(Rud)を指標とする手法を提案した(図1)。識別性能を検討した結果、VHmaxとRudの両指標を1次式($\log_{10} Rud \geq a * \log_{10} VHmax + b$)で組み合わせる手法において高い識別性能が確認された。

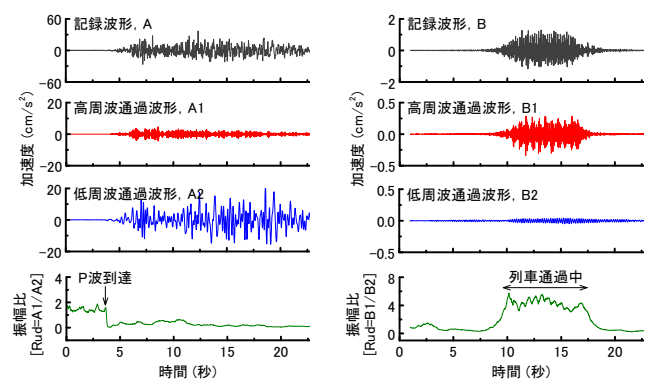


図1 Rud時系列の例

5. おわりに

今後、ここで述べたアルゴリズムを実装した試作版の地震計を開発し、稼働試験を行う予定である。

なお、本研究では防災科研のK-NETおよびKiK-netのデータを使用しました。記して感謝致します。