

## 早期地震諸元推定結果と地震基盤深さの関係に関する検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○丹羽健友 岩田直泰 山本俊六

### 1. はじめに

地震時に鉄道施設や列車の走行安全性が懸念される場合、主に新幹線では可能な限り早く列車を停止させる早期地震防災システムが稼働している。このシステムに導入されている早期警報用地震計は、P波を自動で検知した後、その初動数秒の情報から地震諸元（震央距離、震央方位、マグニチュード）を推定し、その情報に基づき必要とする範囲に対して列車停止の警報を出力する機能を有している<sup>例えば 1)2)</sup>。鉄道総研はこの地震計に実装する早期地震諸元推定アルゴリズムを開発し、その性能向上に取り組んできた<sup>3)</sup>。著者らは、早期警報用地震計の設置地点選定の適正化を目的として、地震計位置のサイト特性が早期地震諸元推定結果に与える要因を検討している<sup>4)</sup>。その結果推定精度を高めるためには、震源特性、伝播経路特性およびサイト特性が推定精度に与える影響を把握した上で、既設検知点に対しては早期地震諸元推定のパラメータチューニング、新設検知点に対しては設置位置の適切な選定を行うことが有効であることが明らかになってきた。そこで本研究では、地震計設置地点における地震基盤深さに着目し、その深さと早期地震諸元推定結果の関係について検討した。

### 2. 地震波形データセットおよび深部地盤情報

検討には、防災科学技術研究所の K-NET で観測されたマグニチュード 2.5~9、震源深さは 146km 以内の条件を満たす 868 地震を用いた。早期地震諸元推定では、遠方の地震を対象としないことから、ここでは震央距離 200km 以内を選定基準とした。P 波初動の情報を用いるため、P 波の到達時刻の目視検出を行い、P 波到達を読み取ることができた波形を対象として、地震動のデータセット(20723 波形)を整備した。

K-NET 観測点の深部地盤情報は、J-SHIS<sup>5)</sup>で公開されている地震基盤から工学的基盤に至るまでの深部地盤モデルを使用した。J-SHIS では、全国の基準地域メッシュ(約 1km メッシュ)に対応する深部地盤各層の密度、P 波・S 波速度等が公開されている。本研究では、K-NET 観測点位置における S 波速度 3100m/s の地震基盤深さを適用した。図 1 に J-SHIS で公開されている地震基盤深さの分布を示す。

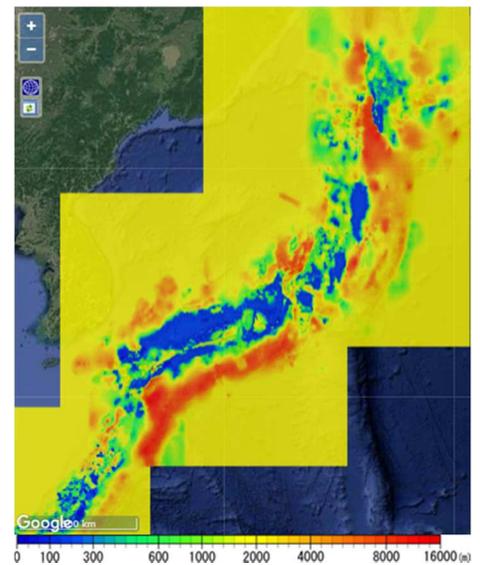


図 1 地震基盤深さの分布<sup>5)</sup>

### 3. 早期地震諸元推定結果と地震基盤深さの関係

整備した地震波形データセットに対して、改良された早期地震諸元推定アルゴリズムによるシミュレーションを行った。K-NET 観測点の深部地盤が地震諸元推定に与える影響を検討するために、気象庁発表の震央位置（震央距離および震央方位）とマグニチュードを正解値として推定誤差を算出し、推定誤差と地震基盤深さとの関係を整理した。図 2(a)~(c)に震央距離、マグニチュード、震央方位推定誤差と S 波速度 3100m/s 相当の地震基盤深さの関係をそれぞれ示す。ここで、灰色のプロットは個別データ、青色のプロットはその平均値および標準偏差を表す。また、橙色のプロットは S/N 比が良好な上位約 30%の個別データ、赤色のプロットはその平均値および標準偏差を示す。平均値は、地震基盤深さの一定範囲内に個別データが 200 サンプル以上ある場合にプロットした。なお、S/N 比が高い場合に推定精度が高まることは別途確認しており、ここでは分離して表示した。

キーワード 早期地震警報, 早期地震諸元推定誤差, K-NET, 地震基盤深さ

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所・地震解析 TEL:042-573-7273

図 2(a)より、地震基盤が深い場合、震央距離をわずかに過大推定する傾向が見られる。早期警報用地震計において震央距離は、P波初動の上下動加速度絶対値振幅に反数関数をフィッティングし、初動振幅の増加程度を表す係数との統計関係式から算出する。地震基盤が深い観測点は、その基盤より浅い表層地盤内の伝播距離が長くなり高周波成分が減衰しやすいことから、初動振幅の増加程度が小さくなり、結果的に震央距離を過大推定した可能性がある。しかし、その傾向はわずかであり、S/N比の違いにもよらないことから、震央距離推定の誤差は地震基盤深さにほとんど影響を受けないと考えられる。

マグニチュード推定は、震央距離の推定値と変位振幅の最大値を係数とした距離減衰式を用いて算出している。このうち震央距離の推定誤差は図 2(a)に示したように、地震基盤深さの影響をほとんど受けないことから、図 2(b)に示すマグニチュード推定についても地震基盤深さの違いによる影響は認められない。なお、全データによる推定値ではマグニチュードを過大評価する傾向があるが、これは使用したデータセットが距離減衰式の適用範囲外のマグニチュードが小さなデータを含んでいるためと考えられる。

図 2(c)より、地震基盤が深い場合、震央方位の推定誤差は大きくなる傾向が見られる。震央方位は、P波到達から0.3~1.0秒の間に変位波形がゼロ線と交差するまでの半波長分のデータを用いて、主成分分析法により算出する。地震基盤が深い観測点は、スネルの法則に従い地震動が鉛直下方から入射する傾向となりやすいため、水平動の粒子軌跡が小さくなり、推定誤差が大きくなると考えられる。また、S/N比が良好なデータは震央方位の推定誤差が小さくなる傾向があるが、震央方位推定結果と地震基盤深さの関係において、上述と同様の傾向を示す。

#### 4. おわりに

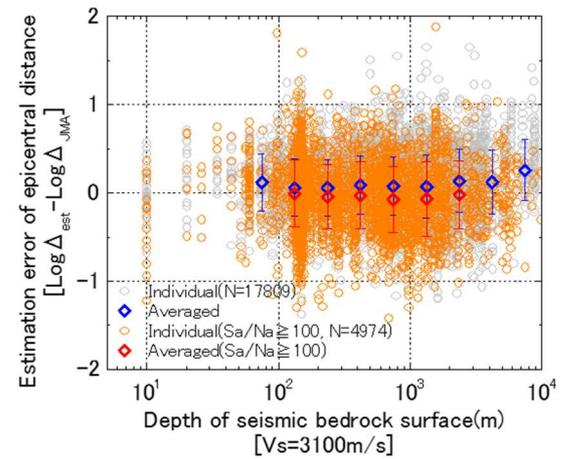
早期警報用地震計の設置地点選定の適正化を目的として、地震計位置における地震基盤深さが地震諸元推定結果に与える影響について検討した。その結果、震央方位推定は地震基盤深さとの依存性が高く、地震基盤が浅い観測点ほど、震央方位の推定精度が向上する傾向が見られた。これは、早期警報用地震計を新設する際の位置選定基準として有益な情報であると考えられる。

#### 謝辞

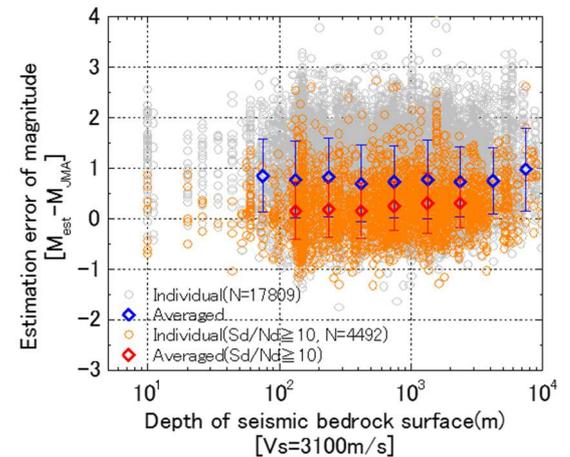
本検討では、防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)の地震記録と J-SHIS の深部地盤情報を使用しました。記して感謝します。

#### 参考文献

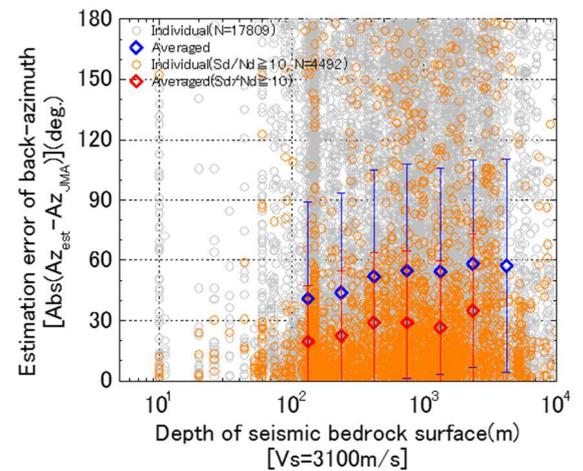
- 1) 中村豊：研究展望 総合地震防災システムの研究，土木学会論文集，No.531 / I-34，pp.1-33，1996。
- 2) 芦谷公稔，佐藤新二，岩田直泰，是永将宏，中村洋光：鉄道の地震警報システムにおける緊急地震速報の活用，物理探査，第60巻，第5号，pp.387-397，2007。
- 3) 岩田直泰，山本俊六，野田俊太，是永将宏：早期地震警報に向けた地震諸元推定とノイズ識別のアルゴリズム開発，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.72，No.1，pp.133-147，2016。
- 4) 丹羽健友，岩田直泰，山本俊六：地震計設置地点環境と早期地震諸元推定推定結果の関係に関する検討，日本地球惑星科学連合 2019 年大会予稿集 (投稿中)
- 5) 防災科学技術研究所：J-SHIS(地震ハザードステーション)，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>



(a) 震央距離



(b) マグニチュード



(c) 震央方位

図 2 推定誤差と地震基盤深さの関係