

早期警報用地震計の機能向上のための検討

鉄道総合技術研究所 正会員 他谷 周一

正会員 芦谷 公稔

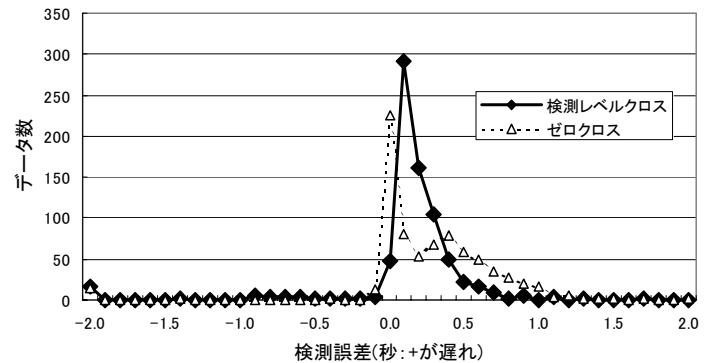
1. はじめに

鉄道総研では、気象庁と共同で早期地震警報システムの研究開発を行っている。昨年度、その一環として早期警報用地震計の試作機を製作し、機能の確認を行ってきた¹⁾。今回は、地震のP波初動部における地震諸元（マグニチュード、震央距離、震央方位）の推定精度の向上を図るべく、新たな解析を行った結果を報告するものである。なお、以下の解析で用いたデータは、気象庁の津波地震早期検知網にて記録された波形（1994～2001年、M5～8）を使用している。

2. 地震到達判定及び検測について

P波初動部における地震諸元の推定精度を高めるためには、まず、地震の到達判定の精度向上が重要である。今回の早期警報用地震計開発にあたって、地震動の初動を検知する方法の検討を行った。まず、地震検知については主に上下動の振幅を監視し、ノイズレベルの数倍（ここでは5倍）に設定したトリガレベルを超えた場合に地震動を検知するものとした。

さらに、トリガレベルを超えた時点からデータを遡り、地震の初動到達時刻を求める（検測）方法の検討も行った。ゼロ線とクロスする時点まで遡る方法と、ノイズレベルとトリガレベルの間に設定した検測レベル（ここではノイズレベルの1.5倍）とクロスする時点まで遡る方法とで、手動検測との誤差を比較すると、検測レベルクロス法では、80%以上のデータについて誤差（自動検測時刻 - 手動検測時刻）は0.1～0.5秒となることが分かった（図1）。



(図1) 最適な検測手法の検討

3. 震央距離推定について

早期警報用地震計では、初動部のエンベロープ形状（図2）から震央距離を推定する。従来の研究^{2)~4)}から、初動部のエンベロープが急激に立ち上がるほど震央距離は近いという関係が分かっている。また、立ち上がりの鋭さを定量化するには、初動部のエンベロープ形状を以下の関数

$$y(t) = Bt \times \exp(-At)$$

で近似し、係数Bを最小二乗法により求めることで可能となる。ここで、 t は検測時刻を0秒としたときの時間である。

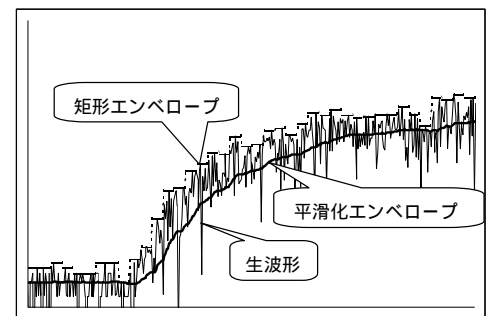
このエンベロープを自動処理により作成する場合、作成が簡単でかつ震央距離の推定精度に悪影響を及ぼさないような方法が必要となる。そ

こで、ある時間中の最大振幅を保持したもの（矩形エンベロープ）と、上下成分の絶対値波形を平滑化したもの（平滑化エンベロープ）とで、実際に係数Bを求め、その係数Bと震央距離のばらつきを図化し、両者の相関係数からエンベロープの良し悪しを比較することを試みた。矩形エンベロープの時間幅は0.1秒とし、平滑化エンベロープは以下の漸化式（今回は $\alpha=0.98$ ）により求めた。

$$UD(i) = (1 - \alpha) \times ud(i) + \alpha \times UD(i - 1)$$

ただし、 $UD(i)$: i 番目のサンプルでの平滑化エンベロープの値

$ud(i)$: i 番目のサンプルでの生波形の絶対値振幅の値



(図2) P波初動部のエンベロープ

キーワード : 地震、早期警報、地震計、地震諸元推定

連絡先 : 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 Tel(042)573-7273

比較の結果、矩形エンベロープでの相関係数の方が1に近く、距離推定に適していることが分かった（図3）。

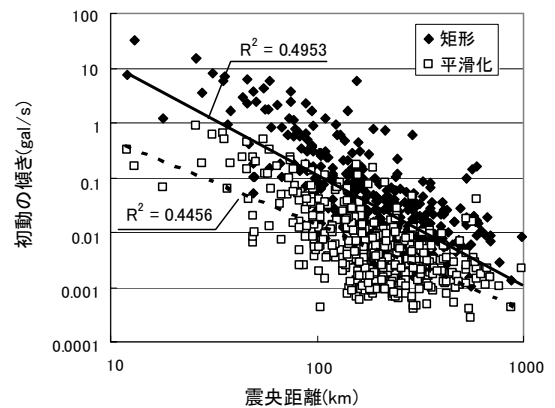
4. 震央方位推定精度について

単独観測点における、P波初動の波形データから震央方位を推定する方法は、南北、東西、上下3成分の比を用いる方法⁵⁾や、波形の軌跡に対する主成分分析を行う方法⁶⁾などが考案されている。どちらの方法でも震央方位の推定精度はほぼ同等であるが、アルゴリズム上、主成分分析法の方がノイズ等の影響を受けにくいと考えられることから、今回は主成分分析法を採用することとした。

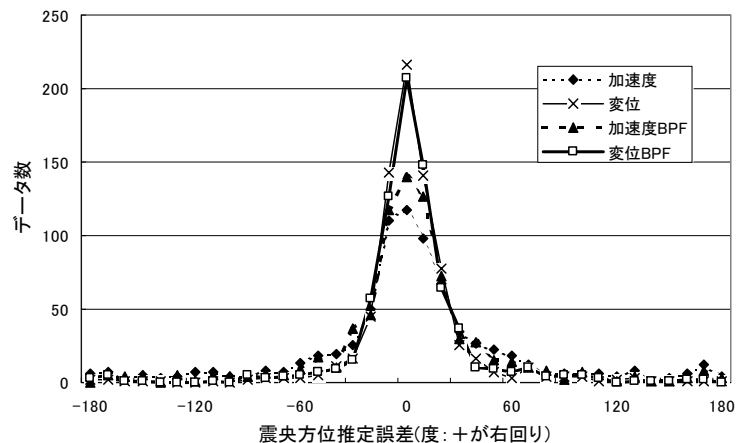
さらに今回は、主成分分析法による場合に、どのようなデータを元に主成分分析法を適用するのが良いかを検討した。

4種類の波形（(1)加速度波形、(2)変位波形、(3)加速度波形にバンドパスフィルタ処理（1～2Hz）を施した波形、(4)変位波形に上記と同様の処理を施した波形）を用意して、実際に震央方位を推定し、その誤差の分布を比較した。その結果、(4)の波形を元に主成分分析法で震央方位を推定するのが最も精度がよいことが分かった。

（図4）



（図3）最適なエンベロープ形状の検討



（図4）震央方位推定時の最適な元データの検討

5. まとめ

今回開発した早期警報用アルゴリズムにおいて、今回の検討により分かったことは以下のとおりである。

- ・ 検測には、トリガレベルを越えた時点から検測レベルをクロスした時点まで遡る方法が良い。
- ・ 係数Bを求める際のP波初動のエンベロープ形状は、矩形エンベロープが良い。
- ・ 主成分分析により震央方位を推定する際には、変位波形に長周期側でバンドパスフィルタ処理を行ったものを元にするのが良い。

今後は、今回の結果を踏まえて試作機のアルゴリズムを改良し、早期検知推定の実例を増やすことを目標とする。

参考文献

- 1) 佐藤・他 早期警報用地震計の試作（土木学会年次学術講演会概要集 2002）
- 2) 小高・他 早期地震検知における震央距離とマグニチュードの新しい推定方法(1)原理（地球惑星関連学会 2001 予稿集、Sp-010、2001）
- 3) 東田・他 早期地震検知における震央距離とマグニチュードの新しい推定方法(2)気象庁津波地震早期検知網データへの適用（地球惑星関連学会 2001 予稿集、Sp-010、2001）
- 4) 東田・他 P波初動部の平均的傾きの距離に伴う減少について（日本地震学会 2002 年秋季大会予稿集、2002）
- 5) 中村豊 総合地震防災システムの研究（土木学会論文集、No.531/I-34、1-33、1996）
- 6) 横田崇 自動検測手法の研究（気象研究所技術報告、16、56-100、1985）