

直下型地震に対応するための 早期地震検知手法の改良

地震発生時、S波より早く伝搬するP波をとらえることが防災上有利であることはよく知られています。P波の一般的な特徴として、地震の大きさによらず、観測点と地震発生箇所の直上との距離を示す震央距離の長い地震では、波形の振幅が緩やかに増加するのに対して、震央距離の短い地震では、振幅が急激に増加します。この傾向は、波形に特定のフィルターを掛け絶対振幅を対数軸で表示することによりさらに明瞭になります。この性質を使うことにより、P波検知から数秒間の波形データから、震央距離の長短を見分ける手法が考案されました。

これを受け、地震計が震央距離を推定する方法として、P波検知から数秒間のデータを対象に、あらかじめ準備した関数をフィッティングさせることにより、P波部分における上下成分の振幅増加特性が容易に求めることができるようになりました。フィッティングに用いた関数で使われる係数のうち、上下方向の振幅増加率を表す係数Bから、震央距離を求める手法が提案されました。そこで、本手法はB-Δ法と呼ばれています。

次に求められた係数Bと最大振幅Amaxからマグニチュードを得るための経験的関係式を使用します。この式を考案した段階では、震央距離およびマグニチュードはP波検知後2秒から計算するように考えていたため、関係式の係数もP波検知後2秒からの条件を前提に作成されていました。

より早く列車を止めたいという事業者側の意向を受けて、さらに短い時間で早期地震検知ができるか検討を行いました。検討の結果、振幅増加率と震央距離の相関性は1秒間のデータを用いても2秒間の場合とほぼ同じであることがわかりました。従ってデータ時間が短くなっても、ほぼ同じ精度で震央距離を推定できることになりました。一方マグニチュードの推定に関しては、補正が必要であることがわかりました。

次に、2秒のデータを使用した最大振幅Amax

と震央距離の経験的関係式をマグニチュード毎に表したものを図1に示します。図1には1秒のデータを使用した最大振幅Amaxと震央距離の関係を表す実測値を併せてプロットしています。図1より、同一のマグニチュードにおける最大振幅Amaxは1秒データを使用した値が、2秒データを使用した値に比べ系統的にみて小さくなっていることがわかります。

よって、1秒の最大振幅Amaxをそのまま2秒用の経験式に適用すると、マグニチュードを過小評価することになります。そこで本パテントでは、2秒用の経験式を再検討し、P波検知後1秒間の上下成分のデータを対象とした係数Bと最大振幅Amaxとマグニチュードの関係式をあらためて作成しました。結果的に2秒用の経験式に対して一定量の補正項を加えることで、1秒用の経験式を実用に供することができることが確認されました。この式が得られたことで、地震計付近で発生する直下型地震においても、より早く精度よくP波検知による震央距離とマグニチュードの推定を行うことが可能となりました。

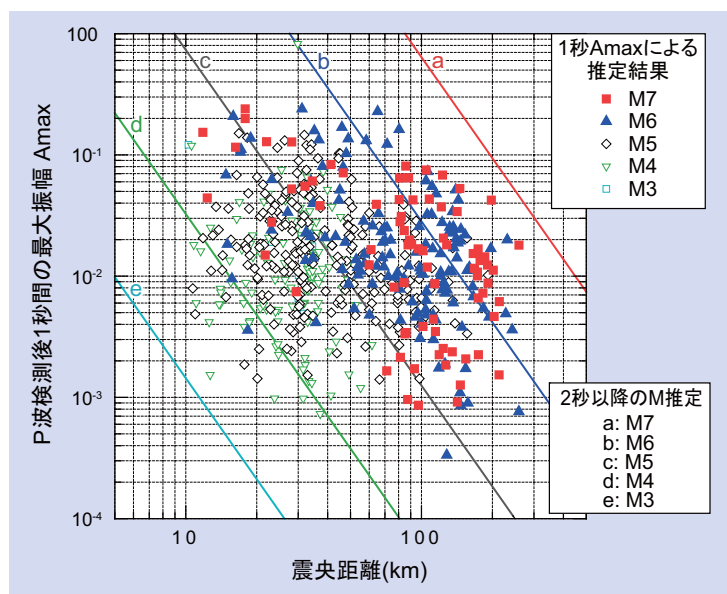


図1 震央距離と最大振幅Amaxの関係

発明余話

この新しいP波検知による震央距離とマグニチュード推定アルゴリズムを開発した後、新しい地震計の製作が行われていました。そのような状況の中、新潟県中越地方を中心としたマグニチュード6.8の地震が発生し、構造物や電力設備に大きな被害が発生しました。新幹線においては「とき325号」が脱線しましたが、幸い人的被害はありませんでした。この地震が起きるまでは、P波検知から2秒以上の上下成分のデータから地震発生位置およびマグニチュードを推定しようと考えていました。しかし新潟県中越地震のような沿線の直下で発生する地震を考慮した際、より早く列車停止判断を行うことが重要と考えられるようになりました。

実際の早期警報用地震計では、地震計間の通信方法を改良し、1秒で推定された地震諸元情報をより確実に有効利

《権利メモ》

発明の名称：早期地震諸元推定方法及びそのシステム
概要：P波到達から1秒間のデータを用いて地震諸元（震央距離とマグニチュード）を推定する早期地震諸元推定方法及びそのシステム。

出願番号：特願2005-93906（2005.3.29）

公開番号：特開2006-275696（2006.10.12）

登録番号：特許第4509837号（2010.5.14）

総発明者：中村洋光、岩田直泰、佐藤新二、
小高俊一、芦谷公稔

用できるように考えられています。具体的には、地震計間の双方向通信を採用して、S波だけでなくP波が到達していない地震計へ地震発生位置およびマグニチュードの推定結果を送信して、更に早く列車停止判定を行うことができるようしています。

この結果、地震諸元推定時間の短縮と他地震計の推定情報の利用という2つの改良効果により、直下型地震に対して従来より素早く対応することが可能となりました。これらの機能の実現により、新幹線の安全性がさらに向上したといえます。図2に開発された地震計を示します。この機能を搭載した地震計は現在ほとんどの新幹線に採用されています。

本パテントを導入した地震計が本格的に導入されて、今年で8年となります。現在までに、宮城県南部地震（2005）、能登半島地震（2007）、新潟県中越沖地震（2007）、岩手・宮城内陸地震（2008）そして東北地方太平洋沖地震（2011）を経験してきました。この中にはいくつか、直下型地震も含まれています。地震はいつどこで発生するかわかりません。いつ地震が発生しても的確に対応できるよう、さらなる信頼性向上のための技術開発を実施して、新幹線の安全運行に貢献していきたいと考えています。

（防災技術研究部 地震防災研究室 佐藤新二）



図2 早期警報用地震計