

地震諸元推定と閾値超過監視を併用した地震警報判断処理

JR 東海 他谷周一・岡本弘 三菱スペースソフトウェア 下野五月 ANET 松林弘智

1. はじめに

東海道新幹線早期地震警報システム（テラス）¹⁾は、線路遠方に設置した遠方地震計にて地震を早期に検知し、沿線が強く揺れるより前に警報を出力し、列車を減速・停止させることにより、地震時の列車安全性向上を図るシステムである。より震源に近い位置で地震を検知できるように、線路から約 50 km 以上離れた位置に遠方地震計を 21 か所に設置している（図 1）。システム全体の機能としては、まず遠方地震計にて地震の P 波を検知し、B-Δ 法²⁾等により初動 2 秒間の観測データをもとに震央位置やマグニチュード等の地震諸元を推定し、その推定結果をただちに沿線の各変電所に設置された沿線通信装置と呼ばれる装置に送信する。沿線通信装置では、受信した地震諸元をもとに警報の可否を判断し、必要に応じて警報出力する（図 2）。

本稿は、テラスの遠方地震計による警報について、確実性を維持しつつ、従来よりも警報の早期性を向上させることを目標に、新しい地震警報判断処理について検討した概要を示すものである。

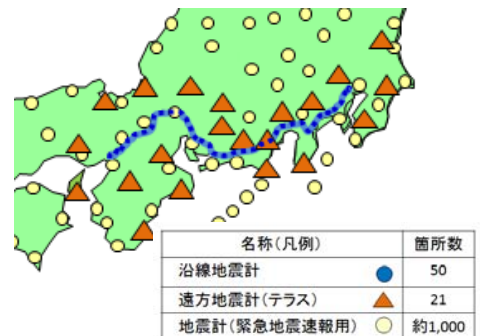


図1 地震計設置位置

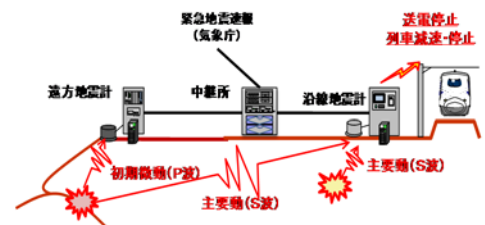


図2 地震防災システム機能概要

2. 閾値超過型早期地震警報の併用の効果

遠方地震計での地震検知から警報出力までの時間を短縮するには、現行よりも少ない観測データをもとに震央位置及びマグニチュード等の地震諸元を推定することが必要になる。最近、(公財)鉄道総合技術研究所から提案されている地震諸元推定手法である C-Δ 法³⁾及び可変ウィンドウ法⁴⁾は、地震検知から警報出力までの時間を短縮することができる。これら手法を適用することで警報の早期性を向上させることができると考えられるが、一方、推定時間が短縮されることで地震諸元の推定精度や、地震検知時に行う地震動と雑振動等のノイズとの識別精度にも影響が及ぶことが懸念される。

C-Δ 法や可変ウィンドウ法を適用して警報の早期性を高める際には、「地震計で一定以上の振幅の揺れを観測した場合に、近隣で地震が発生したとみなし、周辺の一定範囲に警報を出力する」という、閾値超過監視型の手法を併用することで、確実性も確保できるようになると考えられる。閾値超過監視型の警報判断処理は、地震諸元推定型と比較して、仕組みが単純な分確実性が高いことがメリットである。さらに、地震計から震源の距離が非常に近い場合には P 波到達とほぼ同時に振幅が大きくなるため、地震諸元推定型によるよりも早く警報出力されるケースもあると想定される。

3. 地震諸元推定型と閾値超過型を併用した地震警報判断処理

テラスの遠方地震計に、地震諸元推定型の手法として C-Δ 法及び可変ウィンドウ法を適用し、これに加えて、警報用予測震度(I_{ap})⁵⁾を監視指標とした閾値超過監視型の手法を併用することを検討した。 I_{ap} による警報発信閾値は (a)遠方地震計ごとに「想定地震の震源位置及びマグニチュード」を設定、(b)想定地震時発生時の沿線地震計での震度の推定、(c)沿線地震計での震度が警報対象震度（震度 5 弱）以上となる場合の遠方地震計での最小 I_{ap} の推計、の順で実施した。まず、想定地震の震源位置は、各遠方地震計が検知すべき地震の震源の受持ち範囲（テリトリ）を遠方地震計によるボロノイ分割等により決定し、その中の任意の位置とした(図 3)。手順(a)について、震源深

キーワード 地震, 地震計, 鉄道, 早期地震警報

連絡先 〒100-0005 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 1 号 東海旅客鉄道㈱新幹線鉄道事業本部施設部 TEL:03-5218-6274

さは 10 km に固定した。想定地震のマグニチュードは 5.5～8.0 とした。

続いて、手順(b)について、想定地震時発生時の沿線震度を、式 1 及び式 2 により推計した。

$$Iap = f_1 M + f_2 D - \log R - gR + h \quad (1)$$

ただし、 Iap ：警報用予測震度、 M ：マグニチュード

D ：震源深さ、 R ：断層最短距離

f_1, f_2, g, h ：回帰係数

$$I = Iap + c \quad (2)$$

ただし、 I ：計測震度、 Iap ：警報用予測震度

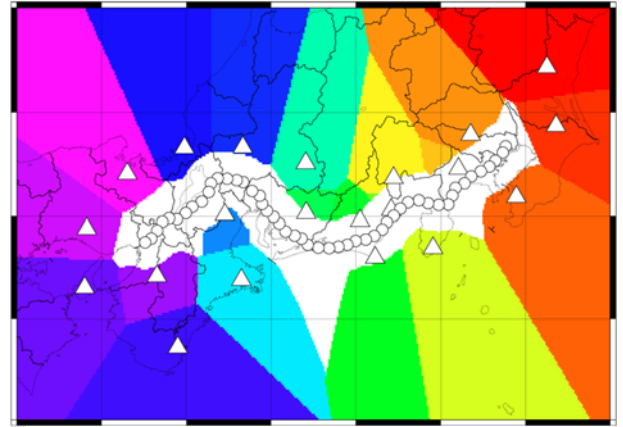


図 3 各遠方地震計の受持ち範囲

ここで、式 1 は 2005 年～2014 年の間に遠方地震計及び沿線地震計で記録された 35 地震、353 波形を用いて回帰分析により作成した Iap の距離減衰式である。式 2 の係数 c は地震計ごとの補正係数で、過去の記録波形をもとに決定した。

最後に、手順(c)における遠方地震計での最小 Iap は、手順(b)において沿線地震計の推計震度が 5 弱以上となる地震のすべてについて、式(1)により遠方地震計での Iap を推計し、その中の最小値を取ることで求めた。その結果、 Iap の閾値は厳密には遠方地震計ごとに異なるが、おおむね 4.0 前後となった。

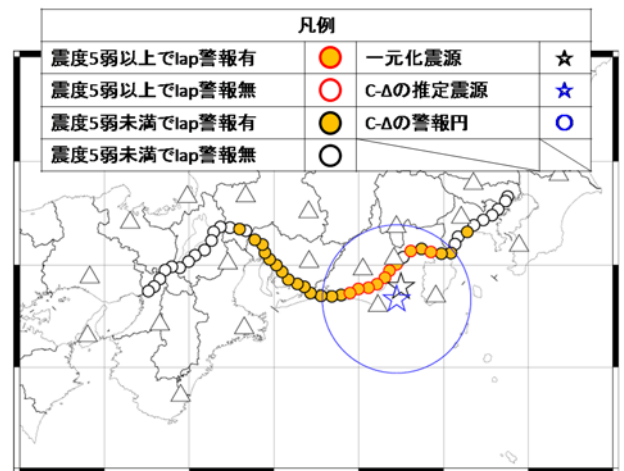


図 4 警報シミュレーションの結果

4. 警報シミュレーションの例

一例として、2009 年駿河湾地震の際に御前崎遠方地震計で記録された波形を使用して、ここまでに提案した処理を適用した場合の警報出力状況をシミュレーションした。御前崎検知点の Iap 警報閾値と閾値超過時の警報範囲は 3 節で示した手順で検討した結果を適用した。C-Δ法による警報円は中村ほか(2005)⁶⁾を適用した。結果を図 4 に示す。震度が警報対象である 5 弱を超えるすべての沿線地震計（図中赤丸）に対して、 Iap による警報、C-Δ法による警報、いずれも出力されていた。また、警報タイミングを比較すると、 Iap による警報は、地震諸元推定結果による警報よりも早く出力された。この例の場合、遠方地震計が震源距離約 30 km と近かったため、P 波到達と同時に振幅が大きくなり、 Iap も早い段階で大きな値になったものと考えられる。一方、 Iap による警報は震度 5 弱未満となった沿線地震計に対しても広い範囲に出力されている。適切な警報範囲の設定が今後の課題であるといえる。

5. まとめ

テラスによる早期地震警報判断処理時間の短縮を目的として、地震諸元推定型の手法と閾値超過型の手法を併用する新しい早期地震警報判断処理手法の検討を行い、2009 年駿河湾地震時のテラス遠方地震計の記録波形を用いてその効果を確認した。今後は、シミュレーション事例を増やし、手法の調整を行う。

【参考文献】

- 1)他谷周一：東海道新幹線の地震防災システム,土木技術 69 巻 9 号,pp.28-34,2014
- 2)東田進也・他：P 波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法,地震第 2 輯第 56 巻,pp.351-361,2004、
- 3)山本俊六・他：P 波初動部の立ち上がり特性に着目した震央距離推定手法,鉄道総研報告,Vol.26,No.9,pp.5-12,2012
- 4)野田俊太・他：早期地震検知における地震諸元推定方法の精度及び即時性向上,鉄道総研報告 Vol.25,No.7,pp.7-12,2011
- 5)他谷周一：東海道新幹線地震防災システム機能強化,JREA,Vol.56,No.6,2013
- 6)中村洋光・他：地震時運転規制に用いる指標と鉄道被害の統計的な関係,鉄道総研報告,Vol.19,No.10,2005