

地震後の早期列車運転再開支援に関する技術開発

防災技術研究部 地震防災研究室

副主任研究員 岩田 直泰

1. はじめに

地震時に停止させた列車を早期に運転再開させるためには、徒歩巡回等による安全確認の要否や範囲を適切に判断する必要がある。運転再開の判断は線路沿線に設置された鉄道事業者が管理する地震計の情報をを用いるが、その配置間隔は一般的に在来線で約40km、新幹線で10kmから20kmである。ここで、地震動を空間的に詳細に把握できれば地震後の安全確認をより適正化でき、状況により運転再開までの時間を短縮することが可能になると考えられる。

一方、1995年の兵庫県南部地震以降、公的機関により全国に多数の地震計が展開され、近年は地震発生後直ちに地震記録を取得することが可能となっている¹⁾。また、表層地盤の揺れやすさなどの地盤情報についても全国一律の基準で整備されている²⁾。そこで、鉄道事業者が管理する地震計の情報を補間するために、これら公的機関が提供する地震や地盤の情報をを用いて地震動を高密度に推定する早期列車運転再開支援システムを開発した³⁾。

また、一定間隔の常設地震計を一時的に補間することを目的として、電力や通信といった新たな地上設備を必要としない無線通信と乾電池を用いた簡易型地震観測装置を開発した³⁾。

2. 早期列車運転再開支援システムの開発

2.1 開発システムの概要

開発した早期列車運転再開支援システムは、公的機関から公開される地震動情報と全国一律の基準で整備されている地盤情報(例えば250mメッシュ)を用いて、空間補間手法により面的に地震動分布を推定するものである。この面的な揺れの大きさの情報と対象路線のキロ程を対応させることにより、対象路線に沿った揺れを推定することができる。

2012年1月から2013年3月まで、宮崎リニア実験線をモデル路線とし開発システムの稼働試

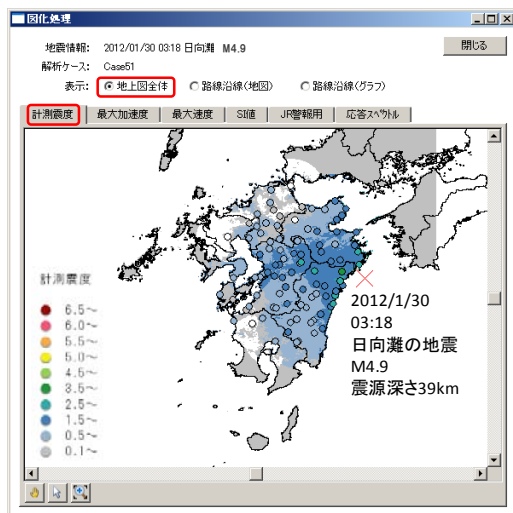


図1 地震動分布の推定結果例

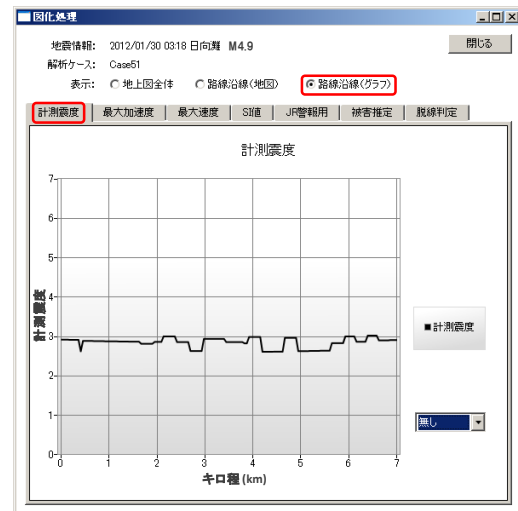


図2 キロ程に対する表示例

験を行った。出力画面の例として2012年1月30日に日向灘で発生した地震(M4.9)の九州地域における推定地震動分布を図1に示す。また、モデル路線のキロ程に対する推定地震動(計測震度)の空間変化を図2に示す。

また、開発システムによる地震動推定の精度検証を行うことを目的として、モデル路線である宮崎リニア実験線の2地点で地震観測を行った。地震計設置地点を図3に示す。前記の地震についてモデル路線に沿った推定と実測の比較を図4に示す。開発システムは地震動推定の手法として距離減衰法、IDW法(逆距離加重法)、KRIGING法の3つを実装しており、図中には異なる推定手法を重ねて示している。更に、複数の地震において実測と推定を比較した結果を図5に示す。これらの図を見ると、地震計を設置した2地点のうちキロ程3k158mの地点①では実測と推定がほぼ一致したが、6k708mの地点②ではやや過大な推定となった。地震の発生位置や規模が異なっても過大に推定する傾向は変わらないことから過大な推定の原因として地震の震源特性や伝播経路特性の影響は小さいと考えられる。従って、その主な原因は地震動推定に用いる公的地盤情報が地震計設置地点の地盤特性と異なるためと考えられる。



図3 モデル路線の地震計設置地点

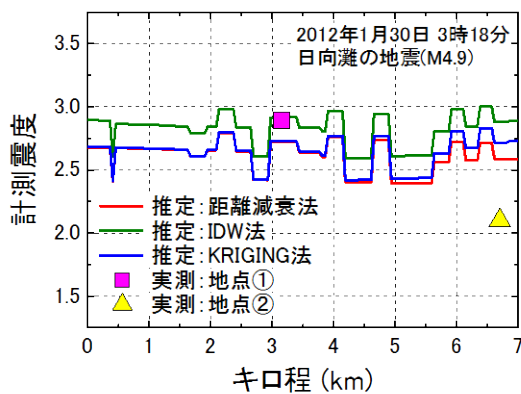


図4 キロ程に対する検証の例

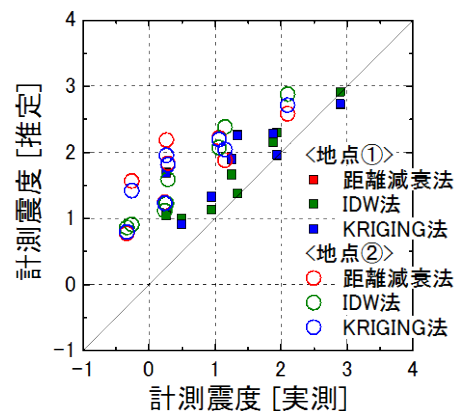


図5 実測と推定の比較による精度検証

2. 2 開発システムの活用

開発システムで用いる公的地盤情報は例えば 250m メッシュといったある空間を代表する情報として提供されるため、鉄道路線に沿った線的な地盤特性と差異が生じる場合がある。ただし、公的地盤情報は全国一律の基準で整備されており、地震動を推定するための有用な情報である。そこで、公的な地盤情報による推定地震動を列車運転再開判断に用いる場合には、評価地点の違いによる地盤特性の差異を考慮して、安全確認の実施等を判断する基準値に余裕を持たせるよう配慮することが考えられる。

加えて、開発システムの推定精度向上を目的として実測の微動に基づき対象路線に沿って地盤増幅特性を補正する方法について検討した。その一例として、2章1節で示した地震に対し、参照点(地震観測地点)と推定点の微動 H/V スペクトル比(水平動のフーリエスペクトルを上下動のそれで除する)の相対的な関係を用いて地震動を推定した結果を図6に示す。なお、ここでは地点①を参照点、地点②を検証点としている。

この図によると、地震計による実測との比較において、キロ程 6k708mの検証点付近の推定は公的地盤情報(IDW法)を利用したケースに対し、実測微動データを利用した推定ではよい一致が見られ推定精度の向上が確認される。

なお、微動などの実測情報に基づき地盤増幅情報を補正し地震動推定の精度を向上する取り組みは今後さらに進める予定である。

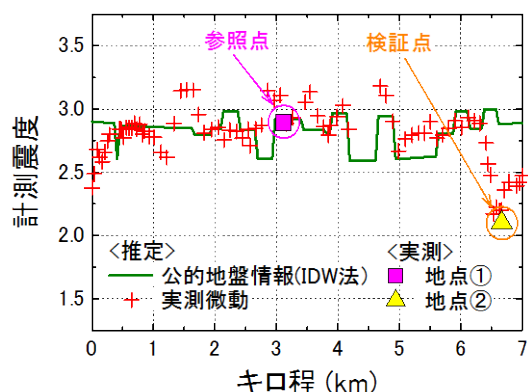


図6 実測微動を用いた地震動推定例

3. 簡易型地震観測装置の開発

3.1 開発した地震計の概要

大地震発生後など余震活動が活発な場合には、本震後数カ月にわたり地震動が運転規制の閾値を頻繁に超過し、その都度、安全確認を実施する必要がある場合がある。このような場合に、一時的にでも地震計を効果的に増設し対象路線沿線の地震動を詳細に把握することは、安全確認の要否や範囲を適正化する上で有効となる。

そこで、簡易に設置し地震動の規定値超過の監視を行うことができる簡易型地震観測装置(SPOT地震計, Sensor Pod Train system)を開発した。これは無線通信や乾電池を用いるため電気や通信などの新たな地上設備を必要としないものであり、かつ小型・軽量であることから運搬や設置が容易な地震計である。

図7にSPOT地震計の外観、図8にそのネットワーク概念図を示す。SPOT地震計は乾電池4個で約1ヵ月動作し、観測した地震動情報等は携帯電話のネットワークを通じてWebサーバに送信され、その情報はPC等でWebサーバにアクセスすることで確認できる。開発した簡易型地震観測装置を複数配置することで、路線に沿った地震動を実測値としてより高密度に把握することが可能となる。



図7 SPOT地震計の外観



図8 SPOT地震計のネットワーク概念図

3. 2 開発した地震計の性能確認

SPOT 地震計の地震観測装置としての性能を確認する目的から、SPOT 地震計と気象庁検定済みの計測震度計を振動台に並べて設置し、加振試験を行った。SPOT 地震計は MEMS センサーを用いており通常の地震計よりも大きなセルフノイズを持つが、図 9 に示す通り計測震度 2.5 以上の揺れに対して計測震度計との誤差が±0.1 以下となる。鉄道施設に影響を及ぼす可能性のある強さの揺れ(震度 5 弱程度以上)を把握するという用途を考えれば、十分な性能を有する。以上より、列車運転再開判断のための補助的な地震計として活用できると考えられる。

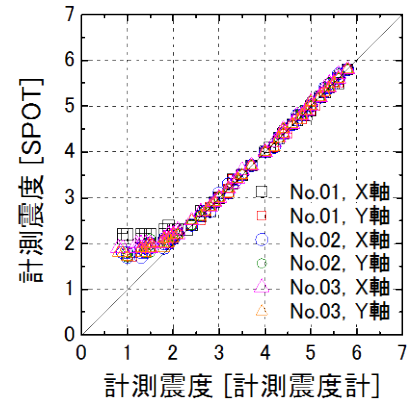


図 9 加振試験による精度検証

4. まとめ

ここで紹介した早期列車運転再開支援システムや簡易型地震観測装置を用いることで、地震発生後において沿線の地震動を高密度に把握することが可能となり、安全確認の要否や範囲、更には優先順位や重点点検箇所などを適正に判断することが可能になると考えられる。その結果として、状況によっては運転再開までのダウンタイムの短縮が期待される。

謝辞

開発した早期列車運転再開支援システムは、気象庁や(独)防災科学技術研究所の地震情報や地震波形データを利用するものです。記して感謝します。また、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

参考文献

- 1) (独)防災科学技術研究所, 強震観測網(K-NET, KiK-net): <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2) (独)防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション(J-SHIS): <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) 岩田直泰, 山本俊六, 是永将宏, 野田俊太, 伊藤賀章: 地震後の早期列車運転再開に向けた支援システムおよび地震計の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第 17 号, pp.159-166, 2013