

鉄道沿線地震動推定に向けた観測データと推定データの融合手法の検討

(公財)鉄道総合技術研究所 ○(正)岩田直泰, (正)森脇美沙, 野田俊太
(株)ANET 松林弘智, 山本俊六

1. はじめに

地震時において、鉄道では必要に応じて列車を素早く停止し、沿線で観測された地震動に基づき施設の点検が実施される。安全確保に向けた点検には多大な時間を要する場合があります。近年、地震後における列車の早期運転再開が課題となっている。この際、沿線に設置された地震計による離散的な観測データの他に、沿線の地震動を推定により連続的に素早く把握できれば、点検区間の適正化が可能となる。本研究では、観測データと推定データを融合した鉄道沿線地震動推定手法を提案し、その手法を適用した事例を示す。

2. 地震時における列車運転規制の特徴

鉄道の地震防災対策として、素早く走行列車を停止させ、その後に施設の点検などを実施する運転規制が重要な施策として挙げられる。地震時の列車運転規制に向けて、鉄道事業者は沿線の概ね一定間隔に地震計(沿線検知点)を設置しており、一般に点検の判断は沿線検知点の観測値に基づき行われる。現行の運転規制の特徴は、図1の水色実線の通り沿線検知点の観測値をその沿線検知点の受け持ち区間において一律に取り扱うことにある。一方、実際の地震動

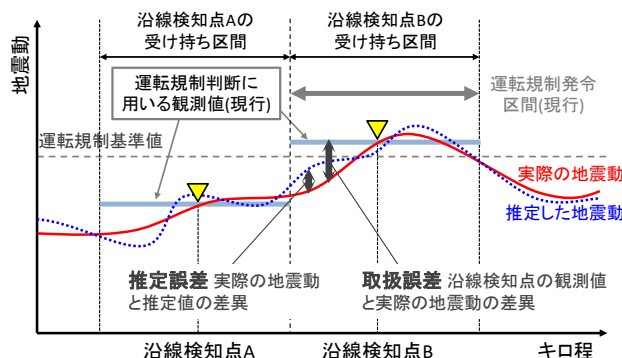


図1 地震時における列車運転規制の概要

は図1に赤色実線で示す通り、表層地盤などの影響を受けて変動しており、現行の取り扱い上の地震動(水色実線)と実際の地震動(赤色実線)には、差異(取扱誤差)があることは明らかである。また、沿線地震動を推定した場合、図1の青色破線で示す推定地震動は、実際の地震動(赤色実線)とは差異(推定誤差)が生じる場合がある。

3. 地震時列車運転規制における地震動の取扱誤差

2章で述べた通り、現行の地震時列車運転規制は取扱誤差を有している。本研究では、(国研)防災科学技術研究所のK-NETとKiK-net¹⁾の観測データを用いて、対としたK-NETとKiK-netの離隔距離と同一地震で観測された計測震度差を整理することにより取扱誤差を評価する(図2)。対としたK-NETとKiK-netの組み合わせの内、評価対象の81地震に対して、離隔距離が40 km以内の組み合わせを整理した。本研究では、遠い地震は鉄道への影響は小さいと考えられることから震源距離が200 km以内、併せて、地震動が小さい場合は地震時列車運転規制では考慮されず点検の実施には影響しないため計測震度1.5(震度2)以上を評価対象とする。地震計からの離隔に伴う地震動の差異について、離隔距離と計測震度差の統計的な関係を図3に示す。図3の青色実線は、離隔距離を1 kmごとに区切り、各区間の計測震度差のRMSを算出したものである。図より、離隔距離が大きくなるほど1 km区切りの取扱誤差RMSは大きくなることが確認される。この原因として、対とした観測点の離隔距離が大きくなるに従い、2点間の震源からの距離の違いやそれぞれの地点の表層地盤の地震動増幅特性の違いが大きくなるためと考えられる。ただし、地震時列車運転規制の実務において、図1に示した受け持ち区間の地震動は取扱誤差が生じる原因を考慮することなく扱われるため、本研究では2点間の地震動差異が生じる原因の識別を考慮することなく、観測データに基づき得られた

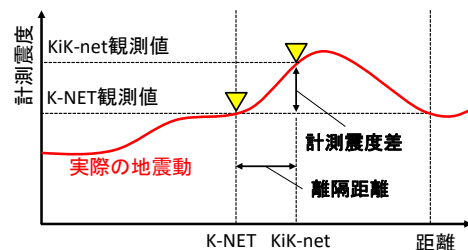


図2 取扱誤差の評価方法

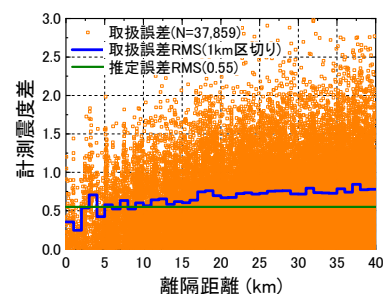


図3 離隔距離と計測震度差の関係

キーワード 地震時列車運転規制, 早期運転再開, 面的地震動, 鉄道沿線地震動

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・地震解析研究室 TEL 042-573-7273

値を用いて取扱誤差と推定誤差の関係を評価する。

4. 観測データと推定データの融合手法の提案

観測データが得られる地点(KiK-net 観測点)の地震動を推定(K-NET データを使用)し、その観測値と推定値を比較することにより確認した任意地点における面的地震動の推定誤差を図4に示す。これより計測震度の推定誤差 RMS は 0.55 となる結果が得られた。図3に、この推定誤差 RMS の 0.55 を重ねてプロットした結果、取扱誤差 RMS(青色実線)と推定誤差 RMS(緑色実線)はある距離で交差することが確認できる。

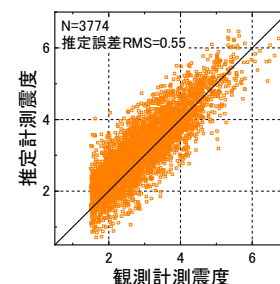


図4 観測値と推定値の比較

この交差する距離(観測値適用距離)は、統計的結果において、観測値適用距離よりも小さい範囲であれば観測値をそのまま用いた方が誤差は少なく、大きい範囲であれば推定値を用いた方が誤差は少なくなることを表している。図3より、本研究では観測値適用距離は2kmとなる結果が得られた。これを受け、観測データと推定データの融合手法として観測点より2km以下の範囲には観測値の値をそのまま用い、2kmより大きな範囲には面的地震動の推定値を用いる地震動推定手法を提案する。

5. 最寄りの観測点からの離隔に伴う推定誤差

本研究の面的地震動推定手法は、観測点からの距離の逆数により複数観測点データのそれぞれの重みを決定するIDW法を適用しており、適用する観測データの位置が推定対象点に近いことが推定精度の確保につながると考えられる。そこで、推定に用いる複数の観測点の内、推定対象点から最寄りの観測点までの距離(最短観測点距離)と推定誤差の関係を整理した。3章と同一の選定基準による対象データの最短観測点距離と計測震度の推定誤

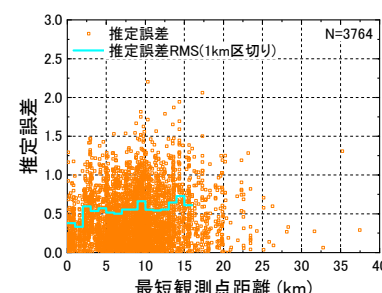


図5 最短観測点距離と推定誤差の関係

差の統計的な関係を図5に示す。この図には、最短観測点距離1km区切りのRMS(水色実線)を併せて示している。この図を見ると、最短観測点距離が小さい方が推定誤差は小さくなることが確認される。この結果は、ある地点の地震動推定にあたり、より近接の観測データを用いることが推定誤差の低減につながることを表している。

6. 提案手法を適用した鉄道沿線の地震動推定の事例

5章の評価により地震動の推定精度を高めるためには、より近傍の観測データを取り込むことが有効であることが分かった。ここで、鉄道事業者が運用している沿線検知点は線路直近に設置されており、この観測データを導入することが望ましい。九州地域に設定した仮想路線における、2016年熊本地震の推定沿線地震動(計測震度)を図6に示す。この図にお

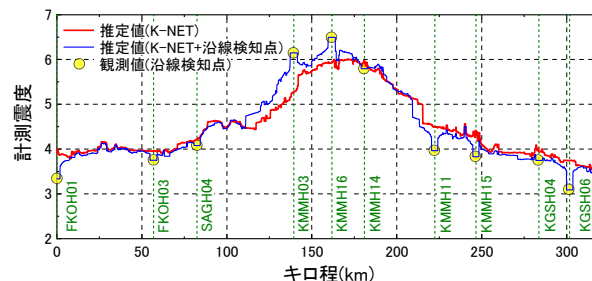


図6 推定沿線地震動の例(2016年熊本地震)

いてK-NETのみから推定された沿線地震動(赤色実線)と仮想の沿線検知点(KiK-netを設定)の観測値(黄色○印)を見ると、推定値と観測値がほぼ一致している地点も見られるが、差異がある場合も確認される。次に、4章で提案した手法(観測点から2kmの範囲は観測値をそのまま適用)を用いて、仮想の沿線検知点の観測データを加えて求めた沿線地震動(青色実線)を図6に併せて示す。ここで対象とした地震の場合、震央のやや北側の仮想路線上におけるKMMH03やKMMH16では、推定値は観測値よりも小さく過小推定となっていたが、沿線検知点の観測データを導入することにより、推定地震動は引き上げられ修正されていること等が確認できる。なお、沿線検知点の観測データの追加による沿線地震動推定の精度向上効果について、図5の結果から、沿線検知点の観測データの導入は沿線地震動の推定精度の改善に資すると考える。

7. おわりに

本研究では、地震時における列車運転規制に関して、観測データと推定データを融合した鉄道沿線地震動推定手法を提案した。提案手法による推定沿線地震動情報は、適正な点検区間の判断等に活用することができ、地震時に停止した列車の早期運転再開に資すると考える。

参考文献 1) 防災科学技術研究所：防災科研 K-NET, KiK-net, 2019, DOI: <https://doi.org/10.17598/NIED.0004>