

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 地震情報公開システムで 地震後の早期復旧を支援する

地震後の効果的な運転再開と早期復旧に資する情報を提供することを目的として、地震発生直後に沿線の揺れの分布を推定して、素早く公開する鉄道用地震情報公開システムを開発しました。このシステムは、気象庁の発表する緊急地震速報と防災科学技術研究所の公開するK-NET観測データを利用し、地盤の増幅特性を考慮して警報用最大加速度、SI値、計測震度の分布の推定を行います。推定された情報は、ホームページにて確認することが可能です。ここでは、システムの概要と、システム内で利用される揺れの面的分布推定のしくみに関して紹介します。



**山本 俊六**  
Shunroku Yamamoto  
鉄道地震工学研究センター  
地震解析研究室  
室長  
【専門分野】地震防災、  
地震工学



**岩田 直泰**  
Naoyasu Iwata  
鉄道地震工学研究センター  
地震解析研究室  
主任研究員  
【専門分野】地震防災、  
地震工学



**岡本 京祐**  
Kyosuke Okamoto  
鉄道地震工学研究センター  
地震解析研究室  
研究員  
【専門分野】地震工学



**坂井 公俊**  
Kimitoshi Sakai  
鉄道地震工学研究センター  
地震動力学研究室  
副主任研究員  
【専門分野】地震工学



**室野 剛隆**  
Yoshitaka Murono  
鉄道地震工学研究センター  
研究センター長  
【専門分野】地震工学、  
耐震工学

## 鉄道におけるリアルタイム地震情報の活用

鉄道における地震対策として、構造物の耐震設計、耐震補強などのハード的な対策が行われています。また近年、軌道や車両に関わるハード対策も積極的に導入されています。これらのハード対策に加え、地震情報をリアルタイムに活用したソフト的な対策も減災や早期復旧に役立てられています。たとえば、鉄道事業者が設置した地震計の情報をを用いた早期地震警報による自動列車停止システム<sup>1)</sup>や、地震計の記録した値を基準にした点検や運転再開の判断などはソフト対策の代表例です。

一方、現在日本ではさまざまな地震情報が地震直後に公開されています。気象庁の緊急地震速報<sup>2)</sup>や、防災科学技術研究所（以下、防災科研）のK-NET<sup>3)</sup>観測データなどはその代表的なものです。緊急地震速報は、気象庁や防災科研が全国に展開する約1000点の地震計のリアルタイムデータに基づき、地震発生直後に震源、マグニチュード、発生時刻などを推定し、即時的に公開を行うものです。2007年より本運用が開始されています。

K-NETは全国に展開された約1000点の強震計ネットワークです。強震計はおおむね20～30km程度の間隔で設置されており、地震波を高密度に記録します。K-NETは1996年より運用されており、現在はインターネット経由で各観測点のデータを地震直後にダウンロード可能です。緊急地震速報による地震そのものの情報、K-NET観測データによる高密度な揺れの情報を併用することにより、地震発生直後に揺れの面的分布の概要を把握することができます。このようなリアルタイムで活用可能な公的機関の地震情報は、地震に対する鉄道のソフト対策として活用することが可能です。

### 警報用最大加速度

鉄道構造物への影響を考慮し、加速度波形に対して5Hz以降の高周波成分をカットするフィルター処理を行った後、水平2成分のベクトル合成による最大値を求めたもの。

### SI値

一般的な構造物に対する影響を評価するため、周期0.1～2.5秒の水平動に対する速度応答スペクトル（減衰20%）の平均を求めたもの。

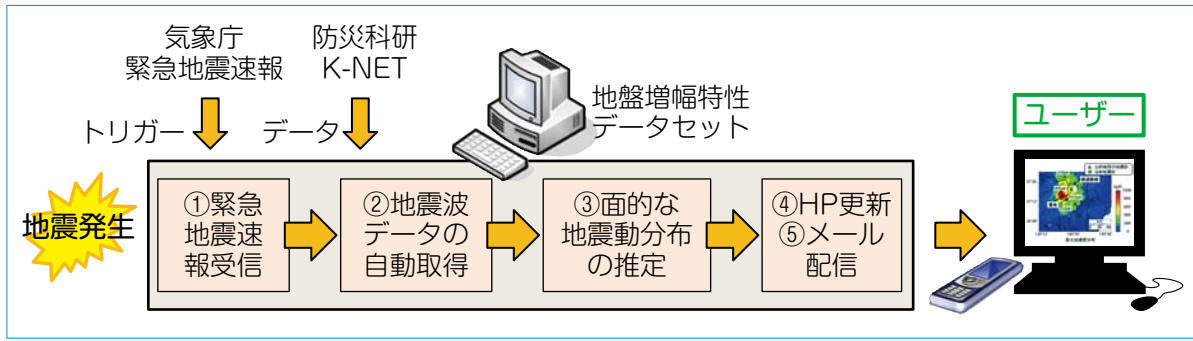


図1 鉄道用地震情報公開システムの処理フロー

以上のことがらを背景に、地震後の効果的な運転再開と早期復旧に資する情報を提供することを目的として、緊急地震速報とK-NET観測データを用いて、揺れの面的分布を即時的に推定し、公開するシステムを開発しましたので、紹介したいと思います。このシステムは、推定した揺れの分布を鉄道事業者が通常利用する警報用最大加速度(☞参照)、SI値(☞参照)、計測震度などの指標で自動公開します。ユーザーが独自に地震計を設置することなく活用できる情報であり、鉄道における新しい地震情報の活用方法と考えます。

### 鉄道用地震情報公開システムの概要と公開される情報

鉄道用地震情報公開システムの特徴は、(1)地震発生直後に公開される緊急地震速報とK-NET観測データなどの公的な地震情報を利用すること、(2)地盤の塑性化を考慮した増幅特性を扱い、揺れの面的分布を推定すること、(3)推定結果を、鉄道事業者が通常利用する地震動指標で公開すること、の3点です。これらの特徴により、鉄道事業者の地震計データが存在しない状況でも、沿線の揺れの分布(推定値)を、各事業者が普段用いる地震動指標で確認することができ

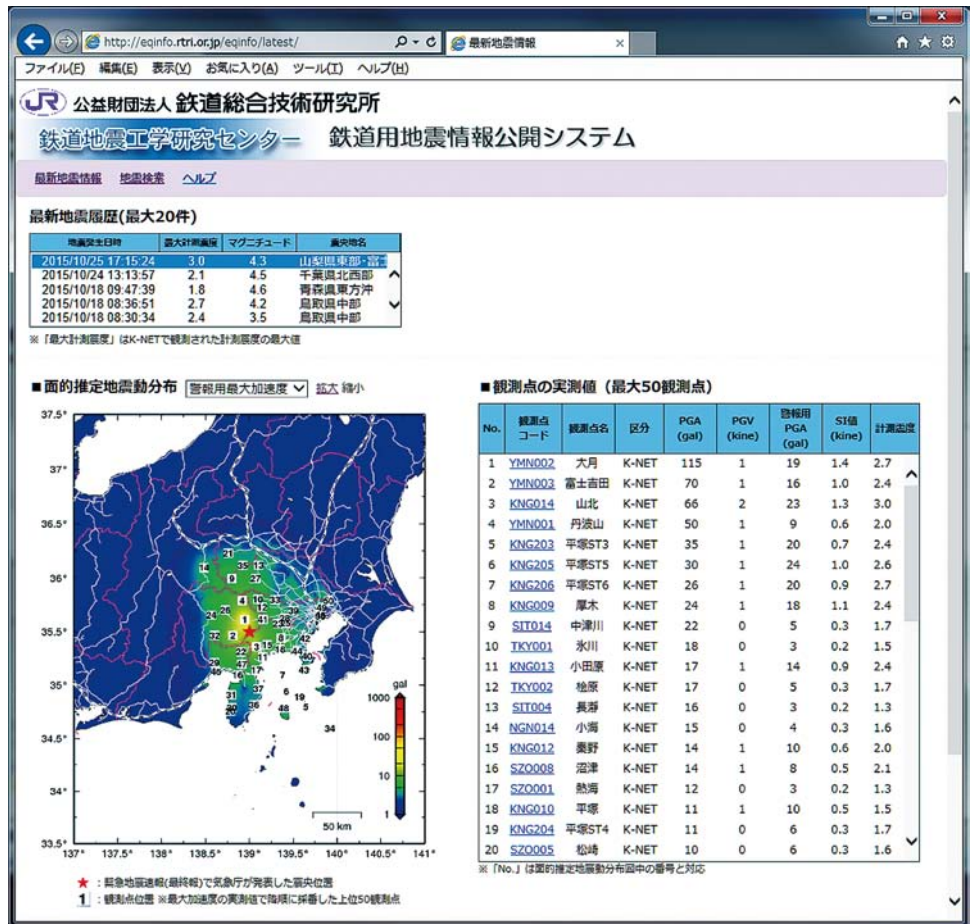


図2 鉄道用地震情報公開システムの画面表示例

ます。

はじめに、このシステムの処理のフローを紹介します(図1)。(1)気象庁から配信される緊急地震速報の最終報を受信し、条件を満たす場合に処理を開始します。(2)K-NETの即時データが公開されるまでの待ち時間のうち、データの自動取得を行います。(3)自動取得した波形データと事前に用意した地盤の増幅特性に関するデータを用いて揺れの面的分布などを推定しま

す。(4)これらの推定結果に基づきホームページを更新します。(5)ユーザーに対してホームページ更新のメールを送ります。地震発生後、メール送信までにかかる時間はおおむね10分以内です。

ユーザーはメールに記載されたホームページのURLをクリックすることにより、最新の揺れの情報を確認できます。ホームページの画面表示の例を図2に示します。画面の左側には推定された揺れの面的分布図が表示され

ます。揺れの面的分布図で用いられる地震動指標は警報用最大加速度、SI値、計測震度の3種類です。分布図には鉄道の路線が示されており、鉄道事業者の観点から揺れの状況を確認することが可能です。地図は約400×400kmの大領域を表示するものと100×100kmの小領域を表示するものが用意されており、揺れの全貌を把握したり、小領域での揺れの分布の変動を確認したりすることが可能です。このような情報は、点検計画や早期復旧計画を立てる際の判断材料の一つになると考えています。

一方、画面の右側にはK-NETで観測された地震動指標の観測値が示されます。観測値は警報用最大加速度の大きな順にリストとして示されます。また、表内の観測点コードをクリックすると各観測点の観測データに関わる詳細な情報を確認できます(図3)。具体的には、加速度波形、加速度フーリエスペクトル、弾性加速度応答スペクトル、加速度距離減衰、所要降伏震度スペクトル(参照)が表示されます。所要降伏震度スペクトルは鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計<sup>4)</sup>で規定されたスペクトルと比較できるように表示されており、対象とする地震動が構造物に与える影響を把握することができます。K-NETと線路との離隔を考慮し、上記の情報を参考にすることで、沿線近傍における地震波の特性や構造物の被害の可能性を詳細に推測できます。

#### 所要降伏震度スペクトル

構造物の固有周期をパラメータとして、ある塑性率となるために必要な降伏震度を求め、固有周期と降伏震度の関係を表したものの。

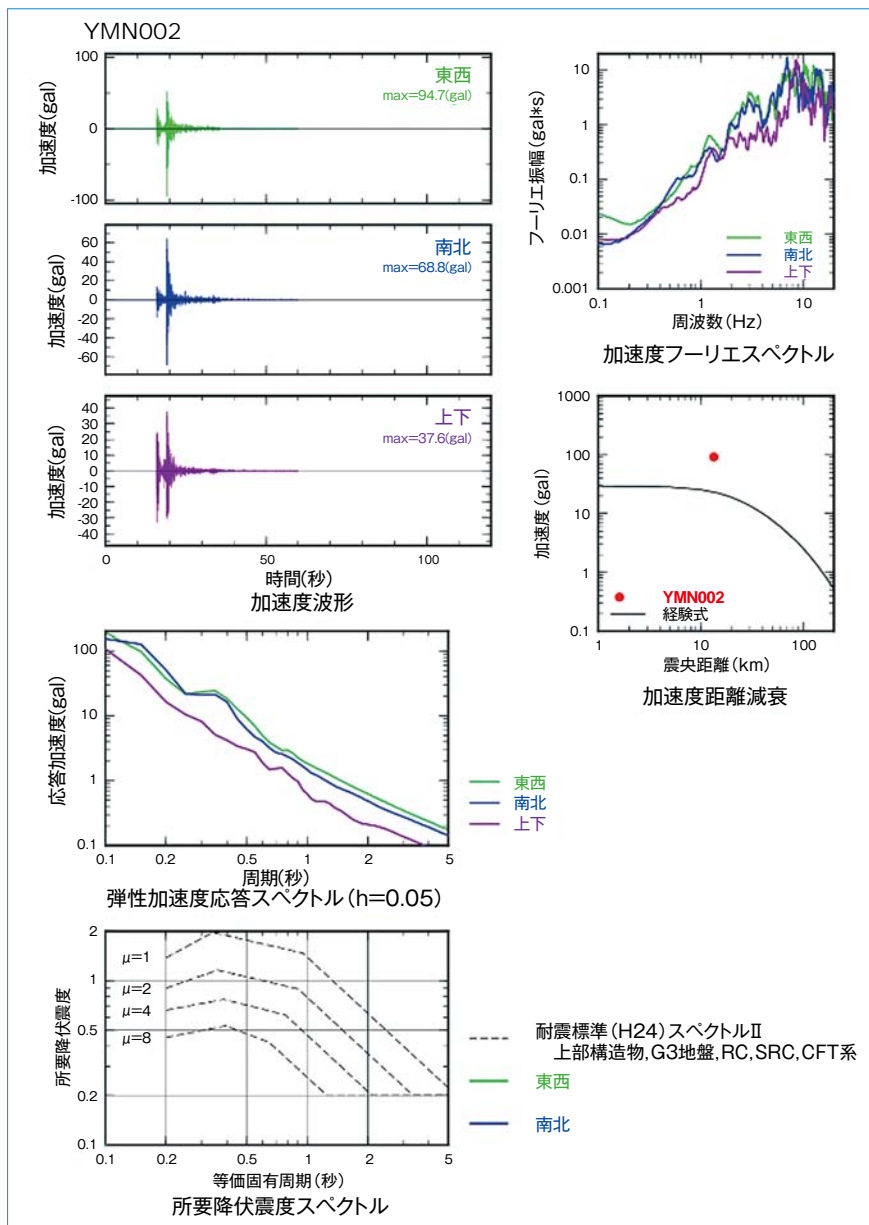


図3 K-NET観測データに基づく詳細情報

#### 揺れの面的分布推定のしくみ

K-NETは高密度な観測網ですが、より高密度な揺れの面的分布を求めるために、このシステムでは0.015度単位のグリッドで定義された地盤の増幅特性とK-NET観測データを併用することによって、高分解能の分布図を作成しています。

推定のしくみを図4に示します。①K-NETの観測データより、最大加速度、最大速度を求めます。②K-NET観測点における地盤の増幅率を用いて基盤上での最大加速度、最大速度を推

定します。③上記②で推定された基盤上の最大加速度、最大速度に基づき空間補間を行い、基盤における0.015度グリッドの各値を求めます。④各グリッドにおける地盤の増幅率を用いて地表における最大加速度、最大速度を求めます。⑤経験的な指標の変換式を用いて、最大加速度、最大速度から地表の警報用最大加速度、SI値、計測震度を求めます。

なお、上記②④では、地盤の塑性化を考慮しており、地震動の振幅レベルに応じて増幅率が変化します<sup>5)</sup>。この

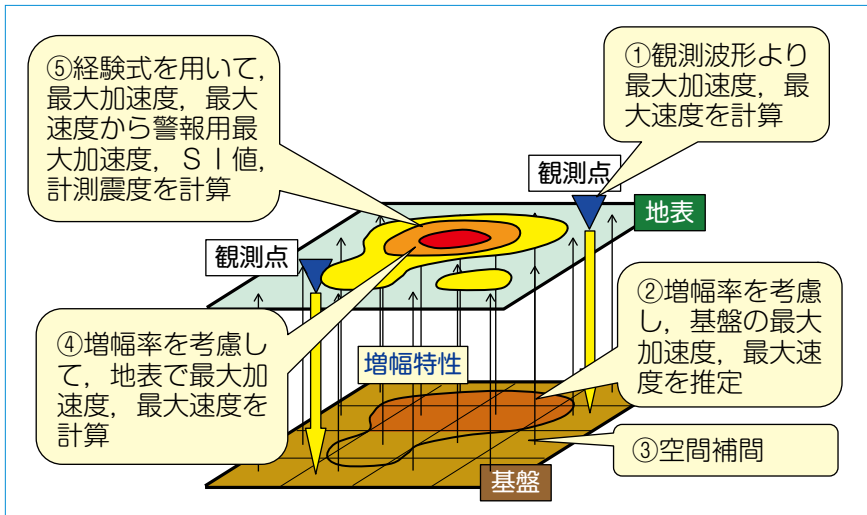


図4 揺れの面的分布の推定法

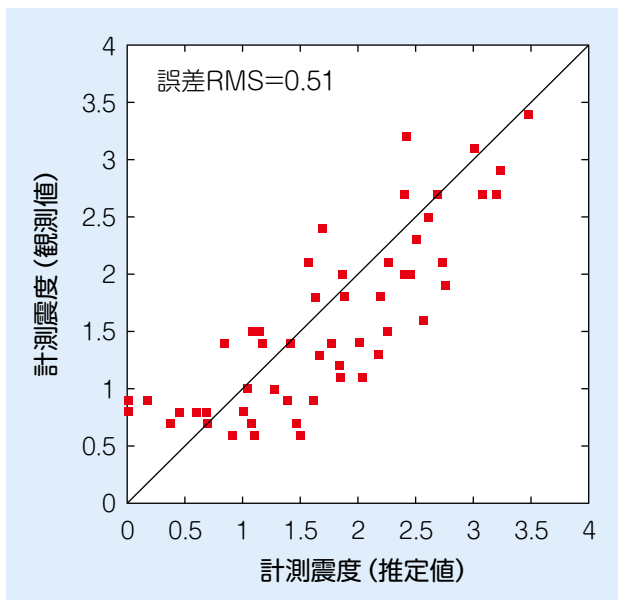


図5 2015年2月26日宮城県沖の地震における推定値と観測値の比較例(計測震度)

増幅率を用いることにより、表層地盤が弾性的に挙動する小振幅レベルから、表層地盤の塑性化が予測される大振幅レベルに至るまで、地盤の増幅特性を適切に扱うことができます。

このシステムにおける揺れの面的分布の推定精度を確認するために、推定値とK-NET以外で観測された値との比較を行いました。K-NET以外の観測点として、ここでは防災科研のKiK-net観測点を用いました。比較の一例として、2015年2月26日に発生した宮城県沖の地震(マグニチュード

4.9)における結果を示します(図5)。図中の推定値はこのシステム(当時はプロトタイプシステム)が実際に推定した計測震度です。縦軸がKiK-net観測点における観測値、横軸がこのシステムによる推定値を示します。図より観測値と推定値には良好な相関性が認められます。この地震に対する推定誤差の二乗平均平方根(RMS)は0.51でした。ほかの地震に関してもおおむね同様の精度を得ることを確認しています。

## おわりに

地震直後に揺れの面的分布などを推定し、素早くホームページで公開する鉄道用地震情報公開システムの概要とこのシステムで用いる揺れの面的分布推定のしくみを紹介しました。現在のシステムでは、公的な地震情報に基づき揺れの推定を行っています。鉄道事業者が管理する沿線の地震計データ、地盤データを併せて扱うことにより、揺れの推定精度向上を図ることも可能です。さらに、鉄道事業者の所有する構造物のデータを活用することにより、詳細に被害推定を行う展開も考えられます。

今後も、推定精度向上に向けた検討を進めるとともに、ユーザーの意見を反映し、より活用しやすいシステムを目指したいと考えています。RRR

## 文献

- 1) 岩橋寛臣, 岩田直泰, 佐藤新二, 芦谷公稔: 早期地震警報システムの実用化, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, pp.23-28, 2004
- 2) Hoshiya, M., Kamigaichi O., Saito M., Tsukada S., and Hamada N.: Earthquake early warning starts nationwide in Japan, Eos Trans. AGU, Vol.89, p.73, 2008
- 3) Okada Y., Kasahara K., Hori S., Obara K., Sekiguchi S., Fujiwara H. and Yamamoto A.: Recent progress of seismic observation networks in Japan-Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net-, Earth Planets Space, Vol.56, 2004, pp.15-28, 2004
- 4) 国土交通省監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計, 丸善出版, 2012
- 5) 野上雄太, 坂井公俊, 室野剛隆, 盛川仁: 表層地盤と入力波の周期特性を考慮した表層地盤での地震増幅率の評価, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.1, pp.191-201, 2012