

- 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

# 鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)を利用して素早く運転を再開する

地震時に鉄道施設に強い地震動が作用した場合は、安全性を確保するためにまず列車を停止させます。その後、必要に応じて施設の点検が行われ、その点検によって列車走行の安全性が確認されれば列車の運転が再開されます。しかし、この点検は地上係員が目視により軌道や構造物などの鉄道施設の状態を確認することから、点検範囲によっては長い時間を要する場合があります。地震時の列車停止から運転再開までの時間を短縮することは、鉄道事業者にとって重要な課題となっています。鉄道総研は、地震後の点検範囲の適正な判断を支援する目的から、地震直後に鉄道路線に沿った地震動や鉄道構造物の被害ランクを推定するシステムを開発しました。このシステムは鉄道地震被害推定情報配信システム(DISER)とよんでいます。ここではDISERの概要や動作状況などについて紹介します。

## はじめに

鉄道の地震対策は、構造物が地震動によって壊れないようにする耐震設計や耐震補強などのハード対策が基本となります。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。これらの対策に加え、地震情報をリアルタイムに活用したソフト対策も防災や減災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る早期地震警報による自動列車停止システムや、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、地震時の列車運転規制という形でソフト対策として適用されています。

現在、日本ではさまざまな地震情報がその発生直後に公的機関から公開されています。気象庁の緊急地震速報

や、防災科学技術研究所(防災科研)のK-NET(※参照)の観測データはその代表例としてあげられます。これらの情報を用いることにより、地震発生直後に地震動の面的な分布を推定することができ、鉄道の運転再開判断に活用できる可能性があります。

以上を背景に、地震後の素早い列車運転再開を支援する情報の提供を目的として、鉄道地震被害推定情報配信システム(Damage Information System for Earthquake on Railway, DISER)を開発しました。このシステムは地震発生直後に主にK-NETの観測データを用いて地震動の面的分布を推定し、さらに路線に沿った地震動や構造物被害ランクの推定を行い、それら情報を配信します。



**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  
室長  
[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  
地震応答制御研究室  
主任研究員  
[専門分野] 地震工学



**山本 俊六**  
Shunroku Yamamoto  
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



**室野 剛隆**  
Yoshitaka Murono  
研究開発推進部  
JR部長  
[専門分野] 地震工学



**青井 真**  
Shin Aoi  
防災科学技術研究所  
地震津波火山ネットワークセンター  
センター長  
[専門分野] 地震学

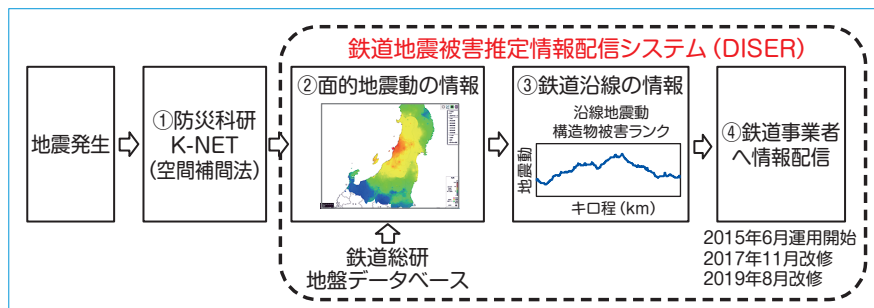


図1 DISERの処理の流れ

## DISERとは

### (1) 特徴

DISERは公的機関により公開される地震情報を、鉄道事業者が列車運転再開の判断などへ使いやすいように加工し、素早く提供することをコンセプトとしています。以下にDISERの特徴を述べます。

- 地震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。
- 鉄道総研が作成した地盤データベースを用いる。
- 強い地震動が作用した場合の地盤の特性変化を考慮して、地震動の面的な分布を推定する。
- 対象とする路線に沿った地震動や、その地震動に対する構造物の被害ランクを推定する。
- 推定した情報を鉄道事業者へ即時的に配信する。

これらの特徴により、鉄道事業者が地震計を設置していない区間においても、地震動の分布を普段用いる地震動指標（警報用最大加速度、SI値、計測震度）で確認できます。なお、路線に沿った地震動推定や構造物被害ランク推定を行うためには、事前に路線情報と構造物情報をシステムへ登録する必要があります。

### (2) 処理の流れ

DISERの地震動の面的分布推定は、気象庁の緊急地震速報に基づく方法と

#### ☞ K-NET（強震観測網）

防災科研が運用する地震観測網の一つです。全国に約20km間隔で1000箇所以上の地表に配置されています。地震発生後、波形を含めたデータが即時的に公開されます。

#### ☞ 空間補間

地震動が未知の地点の揺れを、周辺の地震計で観測した揺れの情報を用いて推定する手法です。

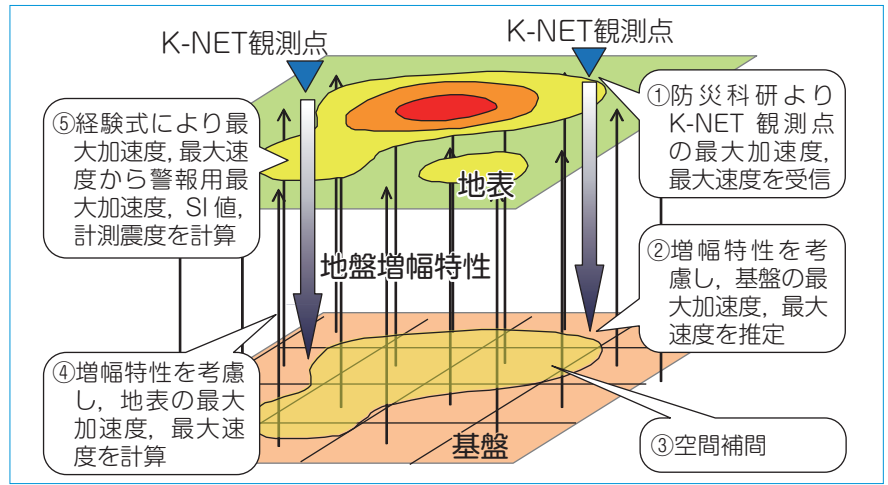


図2 面的地震動推定の流れ

防災科研のK-NETに基づく方法を独立して別々に行います。ここではより推定精度の高いK-NETに基づく方法を対象として、DISERの処理の流れを以下に述べます（図1）。

- ① K-NETの地震動データ（各観測点の地震動指標）を防災科研から受信し、空間補間（☞参照）により地震動の面的分布を推定する。
- ② ①で推定した面的地震動を地図に表示する。
- ③ 面的地震動から路線に沿った地震動を抽出し、横軸をキロ程、縦軸を地震動もしくは構造物被害ランクとしてグラフ表示する。
- ④ 推定した情報をインターネットを通じて登録鉄道事業者へ配信する。

地図表示は暖色系ほど地震動が強く、寒色系ほど小さいことを表します。グラフ表示は駅名や構造物名などをあわせて表示することができます。

### (3) 面的地震動推定の流れ

DISERは、地盤のデータベースとK-NETの観測データを利用することによって、面的な地震動の分布図を作成します。DISERの面的地震動推定の流れ（図1の②の詳細）は以下のとおりです（図2）。

- ① 防災科研よりK-NET観測点の地震動を受信する。
- ② 地表の最大加速度、最大速度から

地盤の増幅特性を考慮して地盤での最大加速度、最大速度を計算する。  
③ ②で推定した地中の最大加速度、最大速度に基づき空間補間を行い、地盤における500mメッシュの面的分布を計算する。

- ④ 各メッシュの地盤増幅特性を用いて地表における最大加速度、最大速度の面的分布を計算する。
- ⑤ 最大加速度、最大速度から経験的な指標の変換式を用いて地表の警報用最大加速度、SI値、計測震度を計算する。

地表では地盤の条件によって地震動が大きく変化します。よって、空間補間はその影響を取り除いた地中の仮想的な面の上で実施します。

また、地盤の特性を扱う②と④では、強い地震動が作用した場合の地盤の特性変化を考慮しています。ここでは、地中から伝わってきた地震動の周期と表層地盤の周期の関係、および地中から伝わってきた地震動の大きさから地盤の特性変化を評価します。これを考慮することで、弱い地震動が作用する場合から強い地震動が作用する場合まで、地盤の増幅特性を適切に扱うことができます。

### (4) 構造物被害ランク推定の流れ

現時点におけるDISERの構造物被害ランク推定は橋りょう、高架橋およ

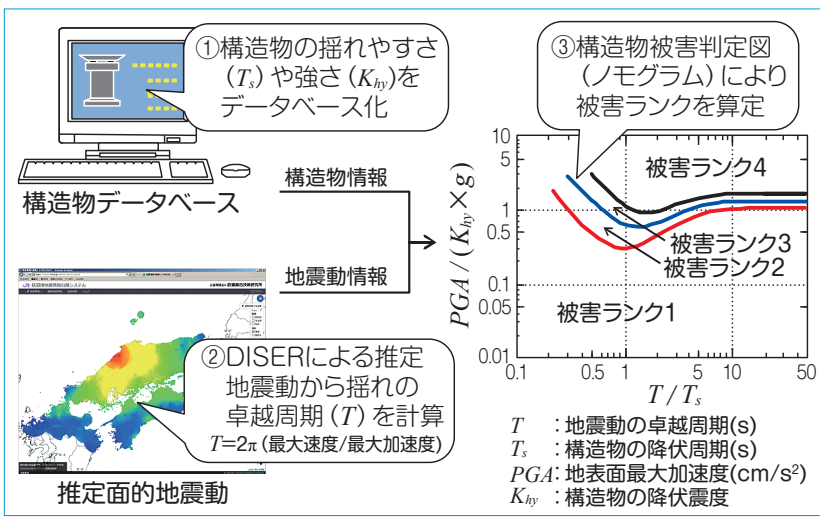


図3 構造物被害ランク推定の流れ

表1 対象地震の諸元および情報配信時刻

| 地震諸元     | 地震発生日時                      | 2019/06/18 22:22 | 2019/08/04 19:23 |
|----------|-----------------------------|------------------|------------------|
|          | 震央位置                        | 山形県沖             | 福島県沖             |
|          | 気象庁マグニチュード                  | 6.7              | 6.4              |
|          | 震源深さ (km)                   | 14               | 45               |
|          | 震央緯度 (度)                    | 38.6067          | 37.7067          |
| 震央経度 (度) | 139.4783                    | 141.6317         |                  |
| 情報配信時刻   | 面的地震動 (K-NET観測データ)          | 22:42 (20分後)     | 19:43 (20分後)     |
|          | 路線に沿った情報 (沿線地震動および構造物被害ランク) | 22:43 (21分後)     | 19:44 (21分後)     |

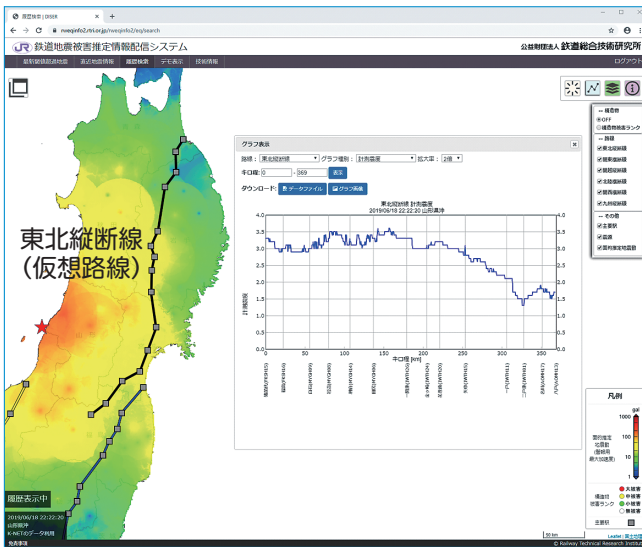


図4 山形県沖の地震の画面例 (沿線地震動)

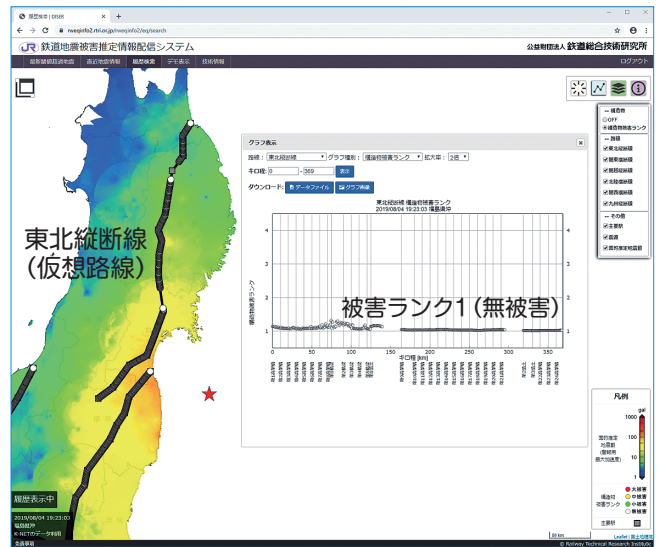


図5 福島県沖の地震の画面例 (構造物被害ランク)

び盛土が対象です。ここでは橋りょうと高架橋の被害ランク推定の流れ (図1の③)における構造物被害ランク推定の詳細)を以下に述べます (図3)。

- ①事前に構造物の情報 (構造物の揺れやすさや強さなどの指標) をシステムへ登録する。
- ②DISERが推定した最大加速度と最大速度から近似的な地震動の卓越周期を計算する。
- ③横軸に周期の比, 縦軸に加速度の比をプロットする構造物被害判定図 (ノモグラム) により被害ランクを算定する。

構造物被害ランクは4段階で表され, その程度は文献<sup>1)</sup>に記載されている損傷レベルにおおむね対応しています。

### DISERの動作状況

DISERは2015年6月より面的地震動分布推定の情報配信を開始し, 2019年の8月より路線に沿った地震動や構造物被害ランクの推定情報の配信を開始しました。2019年に発生した比較的規模の大きな地震として, 2019年6月の山形県沖の地震と8月の福島県沖の地震があげられます。ここでは, この2地震を対象としてシステムの動作状況について述べます。

対象地震の諸元および情報配信時刻を表1に示します。山形県沖および福島県沖の地震とも面的地震動は地震発生後の20分後に情報を配信しました。また, 路線に沿った情報は山形県沖および福島県沖の地震とも21分後に情

報を配信しました。DISERによる情報配信までの時間は, K-NETの観測データ受信や面的な地震動の計算時間によりますが, 対象の2地震ではこのような状況でした。

次に, 対象地震の発生後にDISERが提供した画面例を図4と図5にそれぞれ示します。ここに記す路線は鉄道総研が試験的に定めた仮想路線であり, 構造物の情報は一般的な諸元を仮想的に設定しています。地図中には, 震央位置を星印で記し, 対象とする路線を実線で示しています。画面例では大領域を表示していますが, 多段階の拡大縮小が可能であり, 小領域を詳細に見ることもできます。図4の山形県沖の地震では, 図中に仮想路線に沿った地

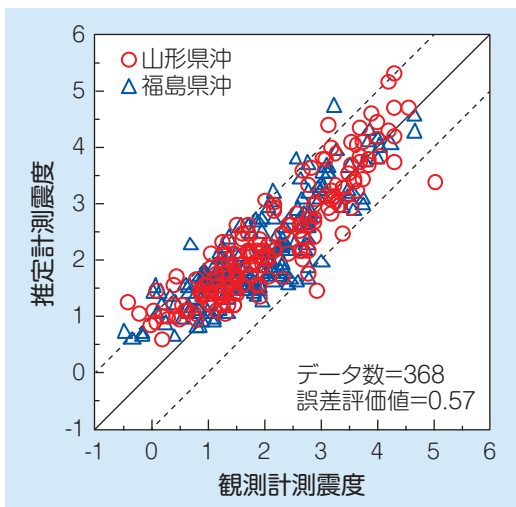


図6 精度検証の結果(観測と推定の比較)

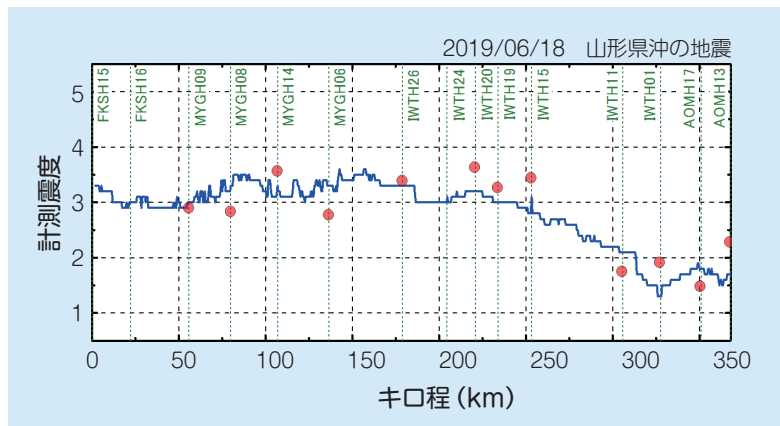


図7 路線に沿った地震動(観測と推定の比較)  
図中の文字はKiK-netの観測点コード

震動のグラフを示しており、図5の福島県沖の地震では、その路線に沿った構造物被害ランクのグラフを示しています。この例では、構造物被害ランクは1(無被害)と判定されています。なお、構造物被害ランクはグラフ表示のほかに地図上に○印の色分け(無被害は白)でも表示されます。

DISERは、即時情報としてこれらの図のとおり地震動や構造物被害ランクを路線に沿って連続的に表示できることを特徴としています。

### DISERによる地震動の推定精度

次に、DISERの地震動推定精度について述べます。精度検証の実測値は防災科研のKiK-net(☞参照)の地表における観測データとしました。防災科研が公開する強震動データは、先に述べたK-NETとKiK-netのおもに2種類があります。ここでは、即時的に情報が公開されるK-NETの観測データに基づく面的な地震動推定値からKiK-net観測点位置の地震動を抽出し、そのKiK-net地点の観測データと比較す

ることにより推定精度の検証を行いました。

対象の2地震における統計的な地震動の推定精度の検証結果を図6に示します。ここでは、精度検証に用いる地震動指標は計測震度としています。図中には観測と推定の一致を示す実線のほかに、計測震度の誤差が±1を表す破線をあわせて示しています。図を見ると、観測と推定の整合性は高く、誤差の程度を表す値(計測震度の誤差評価値)は0.57となりました。気象庁の緊急地震速報における震度予測的中率算出の目安が計測震度で±1以内とされており、DISERの推定による誤差の程度は気象庁が目安とする誤差に収まっていることが確認できます。

図7に、山形県沖の地震による仮想路線に沿った推定計測震度(青の実線)を示します。そして、図6の統計的な検証とは別の精度検証として、路線に沿った地震動の観測と推定の関係について述べます。仮想路線は、先に述べたKiK-net観測点を通過するように設定しており、図7には推定とあわせてKiK-netによる観測の値(赤丸)を記しています。図6の統計的な検証でも示したとおり、計算により求めた地震動は誤差が含まれますが、地震動の強かった区間など全体の傾向は把握できることが確認できます。

### おわりに

地震直後に路線に沿った地震動や構造物被害ランクを推定し、その情報を速やかに配信するシステムであるDISERの概要や動作状況、地震動の推定精度を紹介しました。

路線に沿った地震動では、駅名や構造物名などをグラフ上に任意に表示することができます。これより、地震計が設置されていない地点であっても、どの駅間や構造物地点で地震動が一番大きく、その大きさがどの程度であったかなどを地震後に素早く把握することができます。この情報は地震後の施設点検の優先順位づけなどに活用できる可能性があります。

現在のシステムは、公的な地震情報のみに基づき地震動を推定していますが、鉄道事業者が管理する沿線の地震計データをあわせて扱うことにより、沿線の地震動をさらに適正に把握できると考えられます。今後も推定精度向上の検討を進めるとともに、情報を利用いただいている鉄道事業者などの意見を反映し、より活用しやすいシステムを目指します。[RRR]

#### ☞ KiK-net (基盤強震観測網)

防災科研が運用する地震観測網の一つです。全国に約700箇所配置されており、地中と地表の両方に地震計が設置されています。

#### 文献

- 1) 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