

- 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

構造物被害を推定し 即時的に情報配信する

地震発生後に、鉄道沿線の構造物の被害程度を即時的に情報配信する手法を開発しました。本手法ではまず、鉄道沿線の構造物の「揺れやすさ」と「強さ」に関する情報を事前に登録します。地震が発生した際には、公的機関から公開されている観測データをもとに地震動の面的な分布を求めることにより、鉄道沿線の地震の揺れの性質を推定します。そして、登録した構造物の情報と、推定した地震動の性質から、構造物の被害程度を即時的に推定して情報配信します。本手法を活用することにより、鉄道事業者が地震発生後に優先的に点検すべき構造物の範囲を判断することが可能となり、早期運転再開に役立つことが期待できます。

はじめに

鉄道の路線で地震の強い揺れが観測または予測された場合、安全のためにまず列車を止めます。その後、揺れの大きさが点検基準値を上回った場合、軌道、橋りょう、高架橋、盛土などの施設を点検し、安全が確認されれば運転を再開します。しかし、路線延長が長い場合や、構造物が多数ある場合には、鉄道事業者が点検する箇所が多くなり、運転の再開までに時間がかかる

場合があります。この課題に対して、地震発生後に素早く構造物の被害程度を知ることができれば、点検を行うべき範囲を判断する手助けとなります。そこで鉄道総研は、地震直後に鉄道沿線の地震動や構造物の被害ランクを推定するシステム（鉄道地震被害推定情報配信システム ^{ダイザー} DISER）を防災科学技術研究所（以下、防災科研）と連携して開発しました。このシステムは、地震発生直後におもにK-NET（防災科



土井 達也
Tatsuya Doi
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



小野寺 周
Meguru Onodera
鉄道地震工学研究センター
地震応答制御研究室
研究員



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

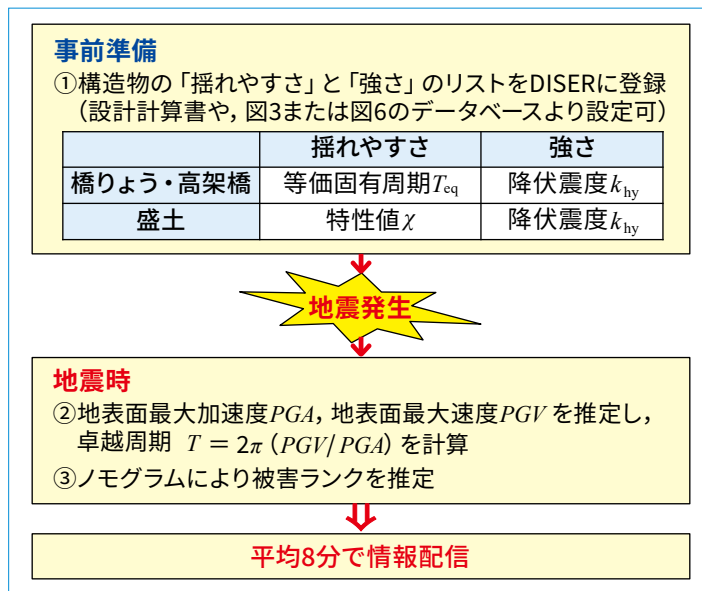


図1 構造物（橋梁・高架橋と盛土）の被害推定の流れ

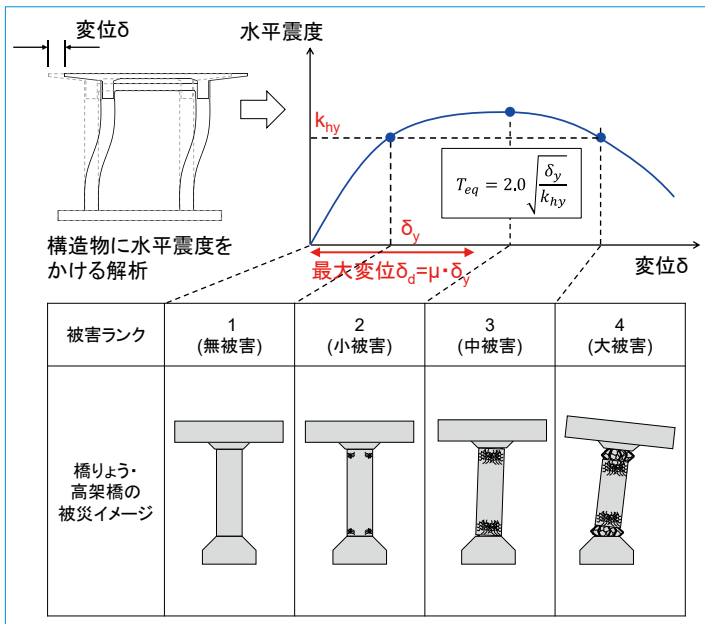


図2 橋りょう・高架橋の揺れやすさ、強さの設定と被害程度の判定のイメージ

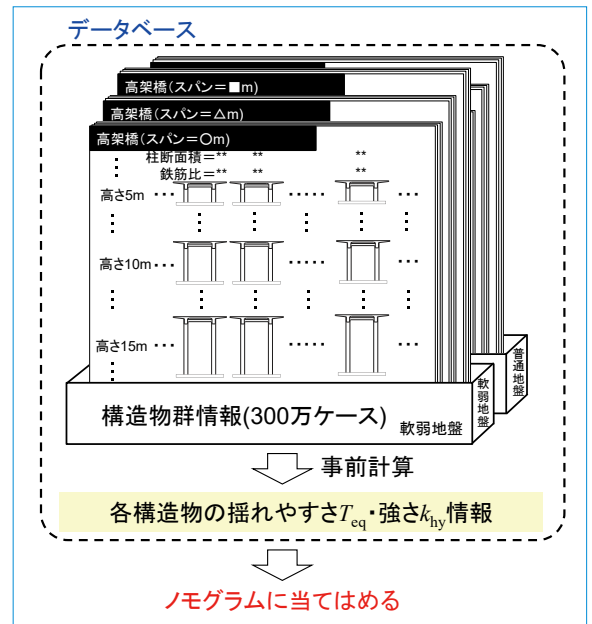


図3 橋りょう・高架橋の揺れやすさ、強さの推定用データベース

研が運用する地震観測網)の観測データを用いて地震動の面的な分布を推定し、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、それらの情報を配信します。

橋りょう・高架橋、盛土とも、被害推定は図1に示す流れで行います。まず、構造物の揺れやすさや強さの情報を事前にDISERに登録します。地震

が発生すると、地震動の揺れの情報(地表面最大加速度PGA、地表面最大速度PGV)をDISERで推定し¹⁾、地震動の卓越周期T(☞参照)をPGA、PGVより計算します。そして、構造物の揺れやすさや強さの情報と地震動の揺れの情報をノモグラム²⁾³⁾⁴⁾に当てはめ、被害推定を即時的に行います。

ここでは、推定した地震動の揺れ

の情報をを用いて、DISERで橋りょう・高架橋や、盛土の被害程度を推定する流れを説明します。さらに、登録事業者にどのような情報を配信するかを説明します。

どのようにして橋りょう・高架橋の被害ランクを推定するか？

橋りょう・高架橋の場合、まず、構造物を1自由度系(1つのおもりと1つのばねで表され、水平方向だけに振動する系)に置き換えます。このためには、橋りょう・高架橋の揺れやすさを表す等価固有周期 T_{eq} と、強さを表す降伏震度 k_{hy} (☞参照)という指標が必要となります(図2)。これらの指標は、設計計算書から得ることができます。また、設計計算書が残っていない場合や、古い構造物で耐震設計が行われていないなどの理由で T_{eq} や k_{hy} がわからない場合は、設計図から構造物の寸法や鉄筋の量などを読み取り、その情報を、鉄道総研で事前に多数の構造物に対して揺れやすさや強さを評価・整理したデータベース(図3)に当てはめることで推定できます。

上記のいずれかの方法を用いて、構

☞ 地震動の卓越周期 T (図1)

ある物体が揺れるとき、揺れが1往復するのに要する時間のことを周期とよびます(地震の場合は、岩盤や地盤が揺れます)。地震の波はいろいろな周期の波が重なり合っていて、その中でとくにエネルギーをたくさんもっている波の周期のことを卓越周期とよびます。

☞ 等価固有周期 T_{eq} (図2)

構造物が揺れやすい周期を表します。地震動の卓越周期と構造物の等価固有周期が近いと、「共振」という現象が生じ、構造物が大きく揺れるため、被害が生じやすくなります。

☞ 降伏震度 k_{hy} (図2)

地震動による水平加速度を重力加速度 g で割った値を水平震度とよびます。ある構造物(橋りょう・高架橋など)に、水平震度を静的に、徐々に加えると、柱やはりなどがだんだんと壊れ、ある水平震度から急に变形が進みます。このときの水平震度を降伏震度とよびます。降伏震度は構造物の「強さ」を表す指標です。

☞ 応答塑性率 μ (図2)

地震で構造物が揺れたときの最大の変位量 δ_d を、降伏震度に到達したときの構造物の変形量 δ_y で割った値、つまり $\mu = \delta_d / \delta_y$ を応答塑性率とよびます。この値が大きいくほど、構造物の被害が大きいことを表します。

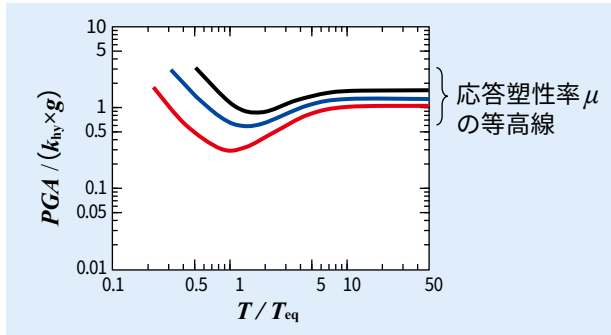


図4 橋りょう・高架橋の被害推定ノモグラム²⁾³⁾

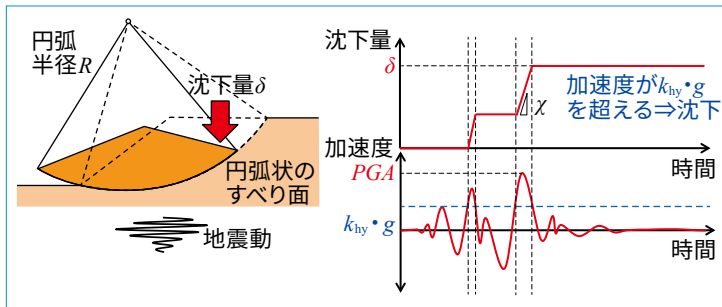


図5 盛土の地震時沈下量の算定イメージ

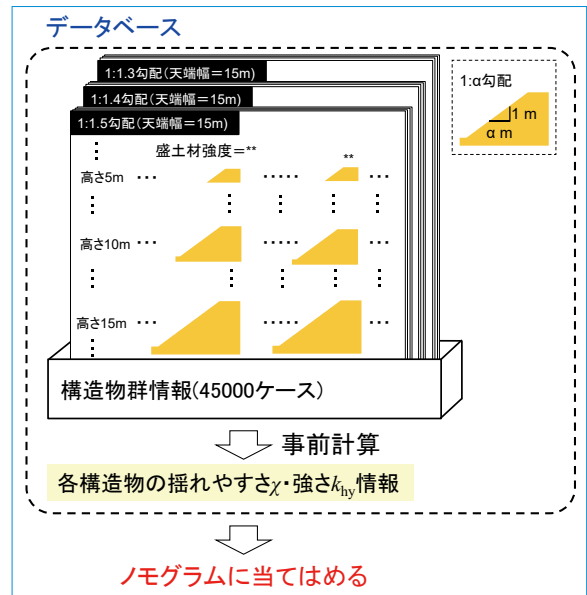


図6 盛土の揺れやすさ・強さの推定用データベース

造物ごとの T_{eq} や k_{hy} を事前にDISERに登録します。そして、地震動の性質を表す指標 (PGA , PGV , T) と、橋りょう・高架橋の揺れやすさや強さの指標 (T_{eq} , k_{hy}) を、図4に示すノモグラムに当てはめることで、構造物の被害の大きさを表す応答塑性率 μ (参照) を即時的に推定できます。そして、最大応答変位は $\delta_d = \mu \times \delta_y$ と算定できます。

構造物の被害ランクの推定は図2に示す流れで行います。まず、設計計算書または図3のデータベースから、各部材(柱など)が、どの程度の変位の際にどの程度損傷したかの情報を求めます。これと前段落で得られた δ_d を比較することで、各構造物の被害ランクを判定することができます。図2の例では、被害ランク2と判定されます。

どのようにして盛土の被害ランクを推定するか？

次に、盛土を対象に、被害ランク推定の流れについて述べます。盛土では、地震で線路が沈下した場合の復旧のしやすさが被害を表現するために重要な

ので、盛土の沈下量を用いて被害ランクを判定します。ここで、過去の地震で盛土が大きな被害を受けたときには、盛土の一部がすべて崩れるような壊れ方をしたケースが多くみられます。そこで、盛土の地震時の沈下量の算出の際には、図5に示すように、盛土に円弧状のすべり面が発生し、崩れる様子をモデル化します。盛土の場合では、すべりが生じはじめるときの水平震度を降伏震度 k_{hy} とよびます。また、すべり面の円弧半径 R などから、特性値 χ という指標を算定します。

盛土の被害ランクの推定にあたり、まず、盛土の k_{hy} や χ の情報を事前にDISERに登録します。 k_{hy} は盛土の強さ、 χ は盛土の揺れやすさを表す指標です。これらの情報は、設計計算書から抽出可能です。設計計算書がない場合や、耐震設計が行われていない場合でも、事前に盛土高さ、のり面勾配、盛土材の強さなどを多数変化させて k_{hy} , χ との関係を整理したデータベース(図6)から近い諸元の値を適用することで、対象箇所の盛土高さ、のり面

勾配、盛土材の強さなどの情報のみから k_{hy} , χ を推定できます。

続いて、これら盛土の情報と地震動の情報を用いて、盛土の被害ランクを判定します。この時、各箇所の沈下量を直接算定するのではなく、多様な条件で沈下量をあらかじめ計算し、これをもとに PGA や k_{hy} などから盛土の沈下量 δ を簡易に算定可能としたノモグラム⁴⁾(図7)を用います。具体的には、地震動の情報と、計算書または図6のデータベースから求めた k_{hy} , χ を当てはめることで、各地点の沈下量が即時的に算定されます。さらに、鉄道的设计標準に記載されている沈下量 δ と被害程度の関係(図8)から、被害ランクを即時的に推定することができます。

登録事業者にどのような情報が配信されるか？

こうして推定された橋りょう・高架橋や盛土の被害ランクは、登録鉄道事業者へ即時的に(地震発生から平均約8分で)情報配信されます。配信情報の例を図9に示します。この例では、構

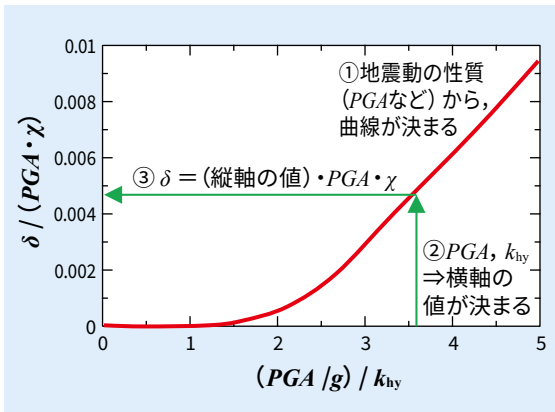


図7 盛土の被害推定ノモグラム⁴⁾

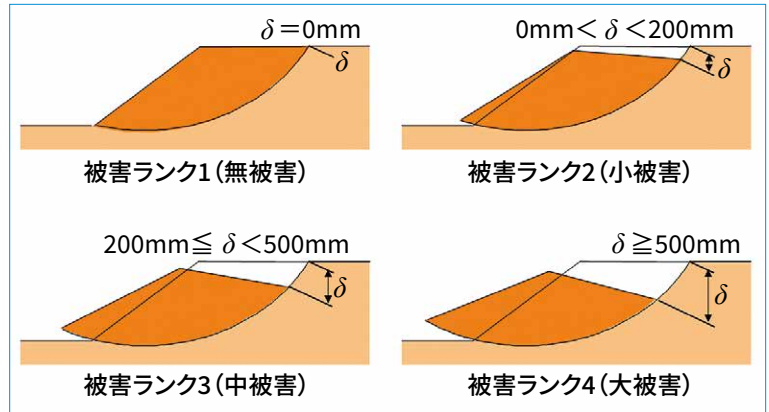


図8 沈下量と盛土の被害程度の関係

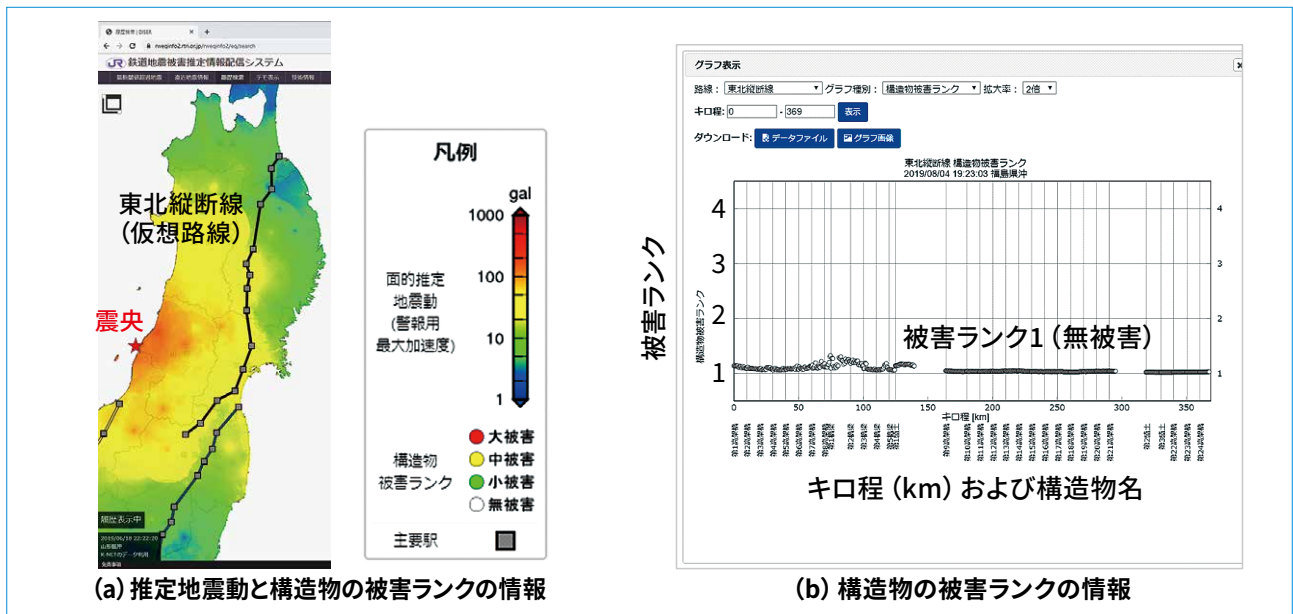


図9 配信情報の例

造物はいずれも被害ランク1 (無被害) です。地点ごとの推定地震動および構造物の被害ランクの情報は、**図9 (a)** に示すように、地図上に表示されます。さらに、構造物の被害ランクについては、**図9 (b)** に示すように、キロ程を横軸、被害ランクを縦軸としたグラフでも表示させることができます。また、横軸には構造物の名称も登録することが可能ですので、地震発生後に、被害の大きい構造物の名称とキロ程を一目で確認することができます。DISERを活用することにより、地震発生後に素早く構造物の被害程度を知ることができ、構造物の点検を行うべき範囲を判断することが可能となります。

おわりに

地震直後に鉄道沿線の地震動や鉄道構造物の被害ランクを推定するシステム(鉄道地震被害推定情報配信システムDISER)について、推定した地震の揺れの性質を用いて、どのようにして橋りょう・高架橋や、盛土の被害ランクを推定するのかを説明しました。さらに、登録事業者にどのような情報が配信されるかを説明しました。今後、推定精度を高めるための検討を進めます。また、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ます。**RRR**

文献

- 1) 岩田直泰, 坂井公俊, 山本俊六, 室野剛隆, 青井真: 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, RRR, Vol.77, No.2, pp.12-15, 2020
- 2) 室野剛隆, 野上雄太, 宮本岳史: 簡易な指標を用いた構造物および走行車両の地震被害予測法の提案, 土木学会論文集A, Vol.66, No.3, pp.535-546, 2010
- 3) 坂井公俊, 室野剛隆: 地震動の最大加速度と最大速度を用いた土木構造物の地震被害推定ノモグラムの改良, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.71, No.4 (地震工学論文集第34巻), pp.1_32-l_39, 2015
- 4) 坂井公俊, 室野剛隆, 京野光男: 鉄道盛土の地震被害簡易推定手法の提案, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol.68, No.3, pp.542-552, 2012