

# 鉄道地震工学研究センター



鉄道地震工学研究センターは、ひとたび発生すると甚大な被害を及ぼす可能性の高い地震に特化し、地震による災害から鉄道の安全・安心を確保することを目標に、予防的な対応から、被災後の復旧に至るまでソフト、ハード問わず総合的な研究開発を進めています。また、鉄道総研唯一の研究センターとして研究開発のみならず、情報発信にも力を入れて取り組んでいます。ここでは、鉄道地震工学研究センターの代表的な研究開発を紹介します。

鉄道地震工学研究センター長 小島謙一  
 鉄道地震工学研究センターウェブサイト <https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd61/>

## はじめに

日本は地震の多い国であり、これまでに鉄道のみならずさまざまな構造物などが大きな被害を受けてきました。2024年1月にも石川県能登半島を震源とするマグニチュード7.6の地震が発生し、鉄道、道路、水道などのインフラ設備をはじめ、多くの被害が生じました。図1に地震による鉄道構造物の被害の一例を示します。上段は被災時の状況、下段は復旧後の状況です。

2023年は耐震設計の導入など鉄道における地震防災にも非常に大きな影響を与えた「関東大震災」から100年という節目の年でした。次の100年に向けた鉄道防災について、これまでの災害やその対応を振り返り、見

つめ直し、そして今後につなげていく非常に大切な機会となりました。

このように、鉄道の安全・安心を保つためには継続的に地震への対応に取り組むことが不可欠であると考えられます。鉄道地震工学研究センターは「地震解析」、「地震動力学」、「地震応



図1 地震による鉄道構造物の被害

地震による鉄道構造物の被災  
 (提供：JRTT 鉄道・運輸機構)

地震による鉄道構造物の被災

復旧状況  
 (提供：JRTT 鉄道・運輸機構)

復旧状況

答制御」の3研究室で、地震の発生から発災後の対応に至るまで、地震に対して総合的に立ち向かうべく、さまざまな研究開発を進めております。図2には耐震補強の例（上段補強前，下段補強後），また図3には地震検知に用いる地震計を示しています。ここでは、これまでに進めてきた研究開発のうち代表的なものについて紹介いたします。



耐震補強前



耐震補強後

図2 鉄道構造物における耐震補強例



早期地震警報システムに用いる地震計



海底地震計（提供：防災科学研究所）

図3 鉄道に活用されている地震計

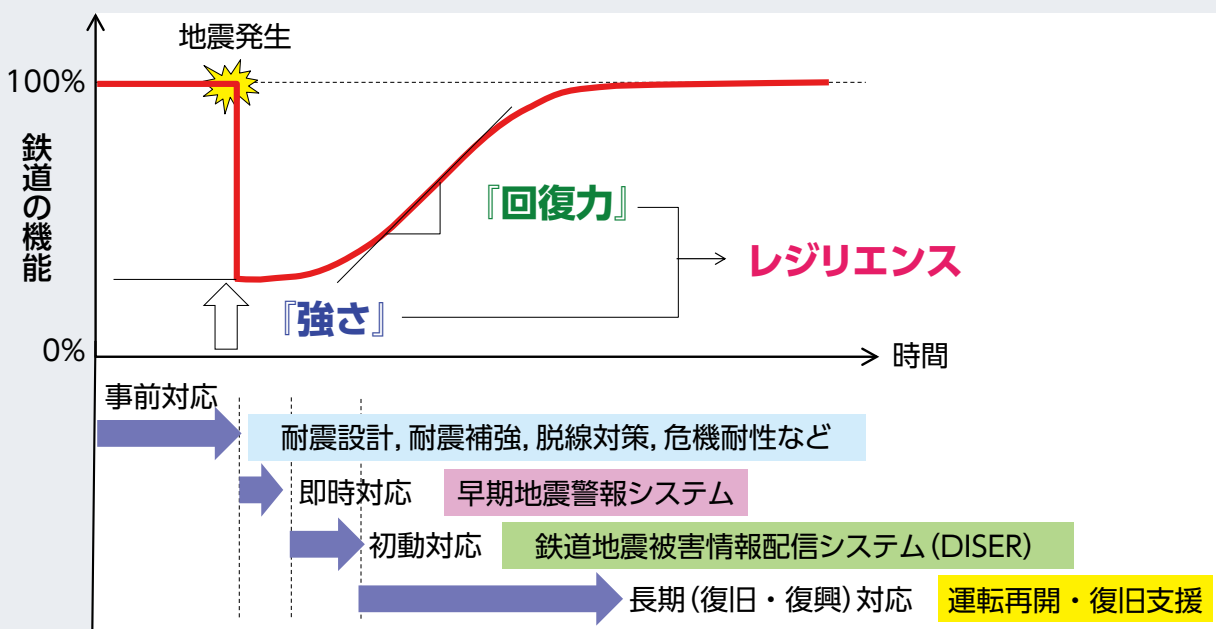
### 地震レジリエントな鉄道の実現へ<sup>1)</sup>

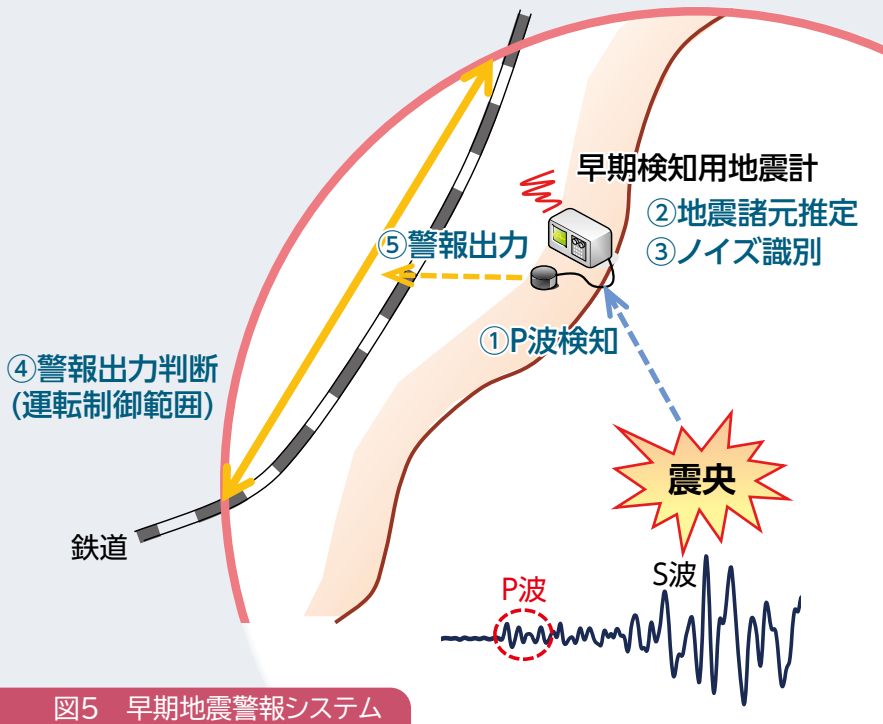
レジリエンスという言葉が近年、耳にすることがあるかと思えます。回復力や弾力性を意味し、さまざまな分野で使われはじめています。鉄道の地震に対するレジリエンスと考えると、地震において失われる鉄道の機能を減らす（強さ）こと、また、失われた機能をできるだけ早く回復させる（回復力）こととなります。これらを

高めるための対応を進めていくことが地震レジリエントな鉄道を作り上げていくこととなります。図4には地震におけるレジリエンスと時系列に沿った対応について模式的に示しています。

鉄道地震工学研究センターでは、これまでに「事前」から「即時」、「初動」、そして「長期」とどのような状況においても地震に対して対応できるように研究開発を進めています。ここでは地

図4 地震に対するレジリエンスと対応





るためには、できるだけ早く列車を止めることが重要となります。そのための技術として早期地震警報システムを開発しています。地震を検知して列車を止めるシステムは東海道新幹線の開業間もない1965年からすでに開発・導入されています。現在、稼働中のシステムは地震の揺れのうち、被害を与えるような大きな揺れ（主要動）が来る前の微弱な揺れ（P波）を使い、その後に来る大きな揺れが到達する前に列車を止めるというも

図5 早期地震警報システム

震レジリエントな鉄道に向けたさまざまな取り組みのうち、「地震発生時に安全のために早く列車を止める」、「地震発生後にできるだけ速やかに列車の運行を再開させる」の2点に着目し、関連した研究開発について紹介します。

のであり、P波を検知してから最短1秒で判断することができます<sup>2)</sup>。図5に、システムの流れ（地震の検知から警報出力まで）を示します。

### より早く地震を検知し、列車を止める

地震時に高速で走行する列車の安全を確保す

現行システムで検知に用いているP波は非常に微弱であるために、列車の通過や周辺を通行する車などさまざまなほかの振動（ノイズ）と切り分け、その振動が地震であることを早く、正確に判断することが重要となります。その識

図6 機械学習によるノイズ識別

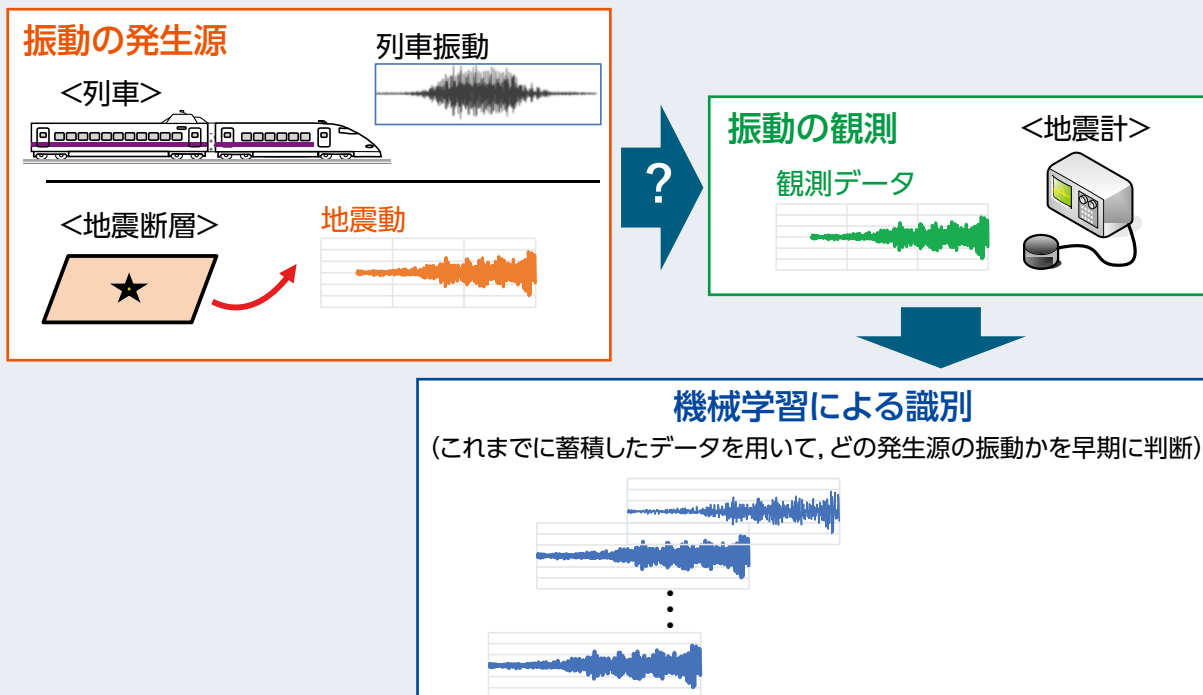


表1 機械学習を用いたノイズ識別の例

振動データ (1 秒間)	判定結果			識別率 (%)
	列車振動と判定	地震動と判定	その他と判定	
列車振動	3959	2	2	99.90
地震動	0	3797	4	99.89

別に、近年さまざまな分野で活用され始めている機械学習を導入した手法を新たに開発しました<sup>3)</sup>。図6に機械学習を用いたノイズ識別の概念図を示します。機械学習を用いたノイズ識別手法は事前に大量の地震動や列車振動などのデータを学習させ、計測された振動が地震か否かを判定します。本手法には近年、積極的に機械学習が活用されている画像認識問題における代表的な手法である畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network : CNN)<sup>4)</sup>を用いています。表1に本手法を用いたノイズ識別の検討例を示します。ここでは、地震動と列車振動について、どの程度識別可能かについて検討を行っています。現行技術では列車振動および地震動の識別率がどちらも約90%であるのに対して、いずれも99%以上の非常に高い識別率を得ることができています。

### 鉄道システムの回復力を向上させる

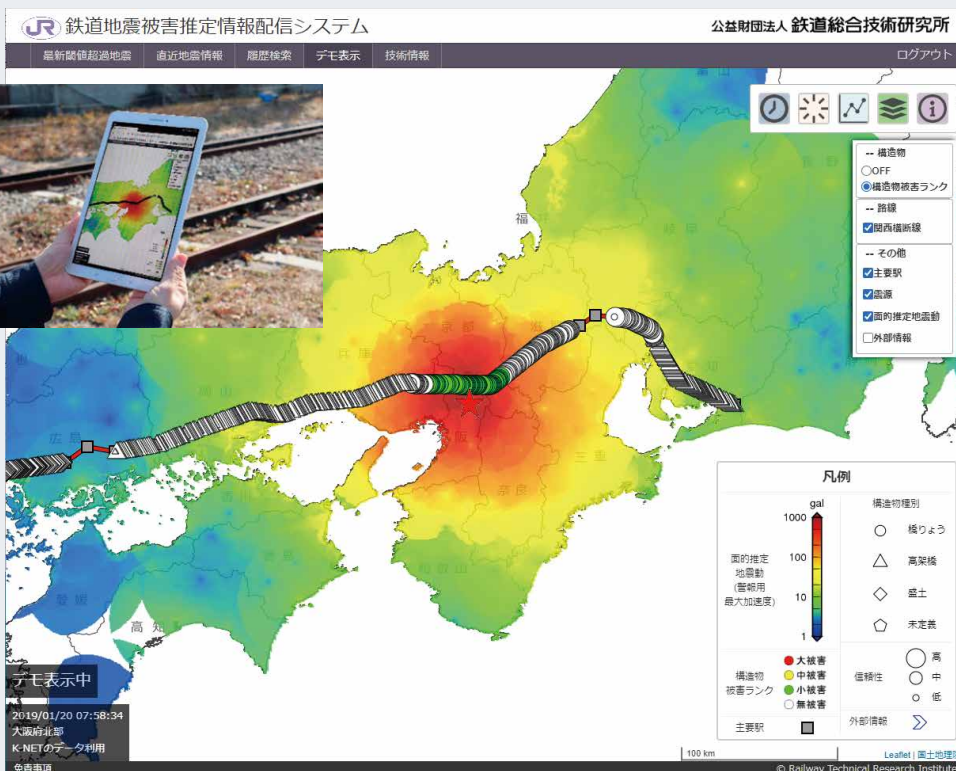
レジリエンス向上策の1つとして、地震により消失した機能の早期回復があげられます。地震発生時に止めた列車を早期に運転再開させる、損傷を受けた構造物などを早く元の状態に戻すなど、鉄道の運行をできるだけ早く通常状態に戻すことは社会生活を保つためにも非常に重要な課題です。このような地震後の「復旧」に向けた研究も積極的に進めています。

いったん地震が発生すると、安全な運行を行うために構造物や設備など列車運行に関して、鉄道システムのさまざまな状況を確認する必要があります。そのため、いち早く鉄道沿線の揺れや構造物の状況がわかるシステム「鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER)」を開発しています<sup>4)</sup>。図7は本システムの出力例です。日本全国にある公的機関の地震観測網(観測点:

約1000箇所)を使い、地震発生後、比較的早い段階で鉄道路線に沿った揺れなどの情報を発信し、列車停止後の効率的な点検や運行再開をサポートしています。

耐震対策として構造物の強化を行ったとしても、設計段階で想定した地震動を超える地震の発生の可能性

図7 鉄道地震被害推定情報配信システム (DISER)



### 4) CNN

人間の脳の神経回路の一部を模した数理モデルであり、畳み込み(特徴の抽出)、プーリング(計算量の削減)などの処理を中心に構成され、高度な認識や分類などを行うことができます。

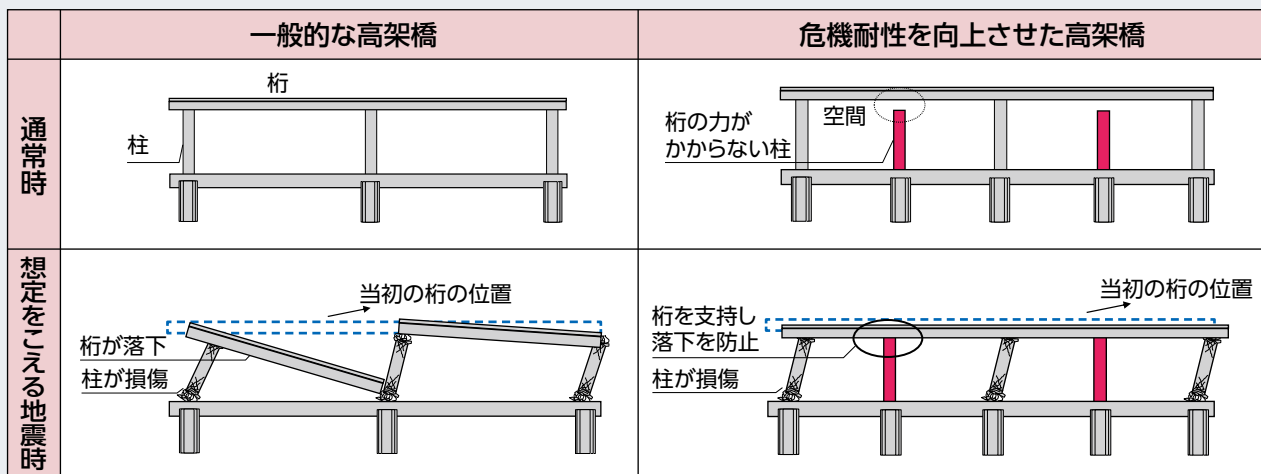


図8 危機耐性を向上させた構造

は捨てられません。そのような地震に対しても、できるだけ早く機能が回復できるような検討を進めており、鉄道では、いち早く「危機耐性」という概念を取り入れています<sup>5)</sup>。これは想定を超えるような地震が発生しても壊滅的な被害とならないように配慮するというものです。

図8に危機耐性を向上させるための対策例を示します<sup>6)</sup>。左側の高架橋に対して、危機耐性を向上させたものが右側の高架橋です。上段の通常の状態に対して、想定を超えるような巨大地震が発生したと仮定したときの状況を下段に示しています。一般的な高架橋の構造と比較すると、危機耐性の対策を施した高架橋には桁と接続されていない赤色の柱が数本設置されています。これが、本対策工法のポイントとなります。巨大地震が発生したと仮定したときの状況をみると、一般的な高架橋は柱が損傷し、桁も落下する可能性があります。これに対して危機耐性を向上させた高架橋は柱に関しては損傷が生じているものの、赤色の柱で桁を受け倒壊を防いでいることがわかります。このように高架橋の倒壊を防ぐことができるため、車両や構造物、高架橋下の設備などに対して被害を抑えられ、復旧に際しても時間やコストを大幅に削減することが可能となります。このように、危機耐性を向上させ、万が一に対する備えを行うことにより、想定を超えた巨大地震においても鉄道の安

全性の向上や機能の早期の復旧を考えています。

### おわりに

鉄道地震工学研究センターが取り組んでいる研究開発の例として、より早く地震を検知し、安全に列車を止めるための技術、できるだけ早く元の状態に復旧させるための技術について紹介しました。これらの技術開発はより良いものを目指し、現在も継続的に実施しています。また、紹介させていただいたもの以外にも、構造物や地盤における耐震性評価や対策、シミュレーションを活用した被害予測など、地震に対して安全・安心な鉄道を目指したさまざまな取り組みを行っています。詳細についてはウェブサイト (<https://www.rtri.or.jp/rd/division/rd61>) をご覧いただければと思います。

### 文献

- 1) 小島謙一：鉄道における地震との関わり～いくつかの大地震を経験して～, RRR, Vol.80, No.5, pp.8-11, 2023
- 2) 岩田直泰, 山本俊六, 是永将宏, 野田俊太：早期地震防災システムで迅速かつ確実に列車を止める, RRR, Vol.73, No.3, pp.12-15, 2016
- 3) 野田俊太, 鵜飼正人, 岩田直泰, 山下貴志：機械学習法を用いた早期地震警報における単独観測点処理の改善に関する検討, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SCG51-11
- 4) 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
- 5) 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善出版, 2012
- 6) 豊岡亮洋, 室野剛隆：鉄道高架橋の危機耐性を高める自重補償構造と倒壊方向制御構造, コンクリート工学, 第58巻, 9月号, pp.749-754, 2020