

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

# 鉄道地震工学研究センターの 取り組みと地震関連研究の動向

今後想定される巨大地震にハード・ソフト両面から対応するために、地震工学に関わる研究リソースを『集約』し、設備対策、地震検知・警報システムを推進するとともに、鉄道に係る『情報拠点』の機能を有する組織として、新たに「鉄道地震工学研究センター」を2014年4月1日に設置しました。ここでは、鉄道地震工学研究センターの活動を紹介するとともに、鉄道路地震情報公開システム、地震災害シミュレーター、想定外の地震に対する取り組みについて、紹介します。



**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

## 今、求められていること

2011年3月11日、太平洋三陸沖を震源として、東北地方太平洋沖地震が発生しました。地震規模を表すMw（モーメントマグニチュード）が9という日本の観測史上最大の地震でした。この地震を経験して、いわゆる「想定外」の地震に対してはリスクがあることを認識することとなりました。また、今後も南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの大地震の発生が危惧されています。このような巨大地震に対しては、被害最小化の概念が重要であり、そのためには、「ある程度の地震に耐える強さ（予防力）」と、「万が一災害・危機の影響を受けてもすぐに回復する力（回復力）」を併せ持つことが重要であると言われています。このような戦

略の1つが“レジリエンス”です。図1にそのイメージを示します。

「強さ」と「回復力」を確保するためには、地震前に行う対応と、地震（時）後に行う対応があります。

地震前の対応では、耐震設計や耐震補強により、「強さ」を確保し、危機耐性により「回復力」を事前に高めておくことになります。耐震設計とは、想定される地震に対して、要求性能を満足する構造物を実現することです。危機耐性とは2012年に改訂された鉄道構造物等設計標準<sup>1)</sup>で初めて導入された新しい概念で、万が一想定を越える地震・被害を受けても、破局的な状態の回避と全体系機能の早期回復を可能にすることと定義されています。地震前の対応では、ハードな対策が主流となります。

一方、地震後の対応は、発災直後の初動時に、被害状況を素早く把握し、迅速な応急対応、復旧活動の体制を構築し、被害を最小限に留める努力をしなければなりません。そのためには、地震（時）直後に、リアルタイムに地震の揺れや被害に関する

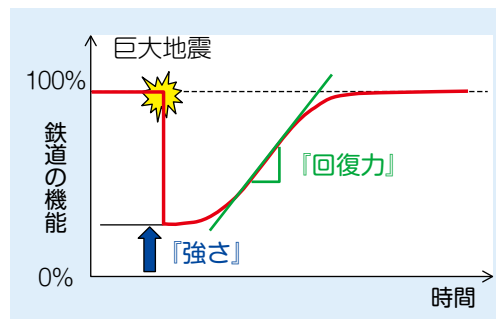


図1 巨大地震に対する『強さ』と『回復力』

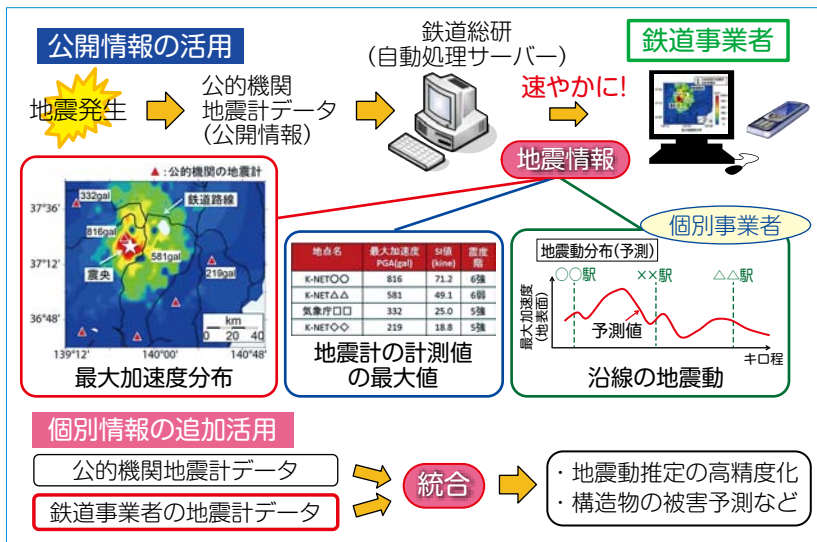


図2 鉄道用地震情報公開システム

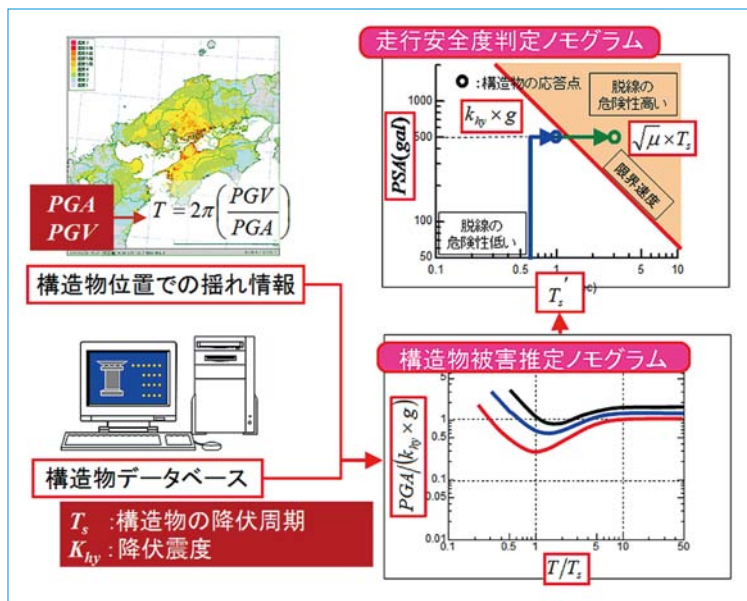


図3 ノモグラム(判定図)による被害予測手順

情報を、さまざまな機関で共有することが必要不可欠であり、ソフト的な対応が重要となります。

今後想定される巨大地震にハード・ソフト両面から対応するために、鉄道総研では、地震工学に関わる研究リソースを『集約』し事前の対策を推進するとともに、鉄道に係る『情報拠点』の機能を有する組織として、新たに「鉄道地震工学研究センター」を2014年4月1日に設置しました。また、本センターの活動や今後の展望などを紹介する場として、アニュアル・ミーティング(Annual Meeting)を開催しています。ここでは、鉄道地震工学研究セン

ターの活動と今後の展開について紹介します。

### 情報の拠点をめざす取り組み

地震に関する情報を、鉄道地震工学研究センターに集約・蓄積し、鉄道事業者や自治体などに分かりやすい形で表現し、配信することで、鉄道の停止時間の短縮や早期の被害把握や復旧に貢献するための活動を行っています。

その取り組みの1つとして、今回、「鉄道用地震情報公開システム」を構築しました。公的な機関で公開された地震記録データを鉄道総研に即座に集約し、地震の揺れの大きさを計算し、鉄道路

線に沿って展開することにより、鉄道路線の揺れがどのようなものであったかを、地震後数分で提供するものです。図2にシステムの概念図を示します。各鉄道事業者において、運転再開と早期復旧に活用して頂けるのではないかと期待しています。2015年6月から本格稼働を開始し、既に100回以上、地震情報を配信しました。今現在100名以上の方々にご利用頂いておりますが、事前に登録をして頂ければ誰でも無料で利用が可能なので、興味のある方はお問い合わせ頂きたいと思

います。また、今後は鉄道事業者に応じた個別情報の配信についても取り組みます。例えば、鉄道沿線の地震観測データや、地盤条件、構造物条件など個別の情報を活用することで、より高精度できめ細かい対応が可能になると共に、構造物の被害予測までも早期に提供可能となります。

### 研究開発の集中化

鉄道地震工学研究センターで対象とする研究分野は、早期地震・津波警報から、耐震設計や設備対策に関わる事項まで非常に多岐にわたります。その中でも、現在重点的に取り組んでいる課題は以下の通りです。

- ①鉄道地震災害シミュレーターの構築
- ②巨大地震に対する地震対策技術
- ③早期地震・津波警報
- ④耐震設計の技術支援

紙面の都合で全てを紹介することはできませんが、ここでは鉄道地震災害シミュレーターについて紹介します。鉄道地震災害シミュレーターは、地震が発生した場合の全国の鉄道沿線の地盤の揺れや路線全体の構造物の揺れ・被害レベルを評価・可視化するシステムです。機能には、「リアルタイム版」と「動的解析版」の2つのタイプがあり

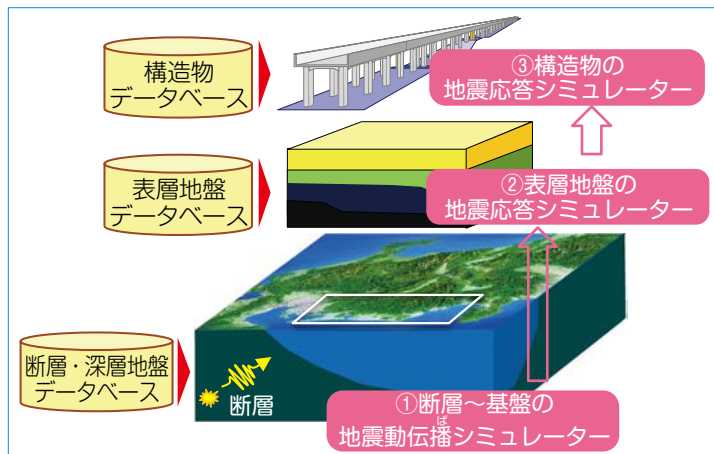


図4 鉄道地震災害シミュレーター



図5 耐震設計と危機耐性の関係

ます。リアルタイム版は、動的解析などを使わずに、あらかじめ構築されたノモグラム（判定図）を使って、即座に被害を判定するものです（図3）。計算精度はある程度犠牲にしつつ、リアルタイム性に特化した手法であり、瞬時に鉄道全線の被害判定を行うことが可能です。

動的解析版は、図4に示すように、断層から構造物までを詳細にモデル化し、地震応答解析を行い、沿線地盤の揺れや構造物の被害レベルの予測を行うものであり、図中①～③の3つのシミュレーター（断層～基盤の地震動伝播、表層地盤の地震応答、構造物の地震応答）と、可視化システムから構成されています。それぞれのシミュレーションにおいて、順次、解析結果を受け渡すことにより最終的に構造物の応答や損傷を評価することが可能です。

これらのシミュレーターは、事前に弱点箇所を抽出し、効率的な地震対策を行うための意思決定に活用することが可能です。また、現在、これらのシステムを活用して、先に紹介した鉄道用地震情報公開システムと連携させて、地震後速やかに被害予測情報などを提供できるようなシステム開発も計画しています。

### 想定外の地震への取り組み

日本の鉄道の耐震設計<sup>1)</sup>は世界的にも最高水準にあると言われています。

十分な余裕度をもって設計で対象とする地震動を設定し、それに対して安全な構造物を設計しています。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震で経験したように、想定した以上の地震が発生することは否定できません。想定を超える地震に対しても破滅的な被害につながらないように配慮することが望まれており、このような性能を先に述べたように「危機耐性」と呼んでいます。耐震設計と危機耐性の関係を表したのが図5です。まずは、耐震設計や耐震補強により、地震に対する鉄道の安全性を向上させることが必須ですが、どんなに性能を向上させたとしても、想定外（図5の耐震設計の補集合）をゼロにすることは不可能です。巨大地震に対しては、ある程度の被害を許容しつつ、被害の大きさを最小化することを目標に、「耐震裕度の向上」と「危機耐性の向上」の両者が必要なのです。

耐震設計や補強に関する技術はこれまでも多くの機会で紹介させて頂いておりますので、ここでは省略をさせていただきます。一方、危機耐性を高める技術は、まさに取り組みが始まったばかりです。具体的には、①構造的な対応、②早期地震警報、③仮想演習の実施、④リアルタイム情報の活用などが考えられます。④は先に述べた鉄道用地震情報公開システムの活用が考えられます。

①危機耐性を高める構造的な対応としては、(i) 自重補償機構および、(ii)

倒壊方向制御機構の開発に取り組んでいます。

自重補償機構とは、万が一、想定外の地震に対して高架橋などの部材が破壊する危機に見舞われても、何らかの方法により自重だけは支えて倒壊を防ぐものです。その1つとして、図6に示すようなラーメン高架橋を提案しています。地震による強い揺れに対して抵抗する柱（通常柱：図中水色）と、想定外の地震により通常柱が万一破壊した場合に、“つえ”のような役割をして構造物が倒壊するのを防ぐ部材（自重補償柱：図中赤色）から構成されています。通常柱は、従来の耐震設計により設計されますが、自重補償柱には地震力による力が作用しない仕組みとし、想定外の地震力を受けた際にも無損傷となるようにします。

倒壊方向制御機構とは、想定を超える地震動により、万が一、構造物が倒壊するという危機が発生しても、倒壊する方向をコントロールする機構を付与することで、歩行者や周辺施設の利用者、緊急輸送道路などの災害復旧時における重要ルート、構造物を復旧するための専用道路やスペースなどを確保して、回復力を高めようとするものです（図7）。この技術は現在、埼玉大学と共同で研究開発を進めています。

②早期地震警報は、地震の揺れをできるだけ早期に検知し、構造物が大きく揺れる前に警報を発し、列車の速度

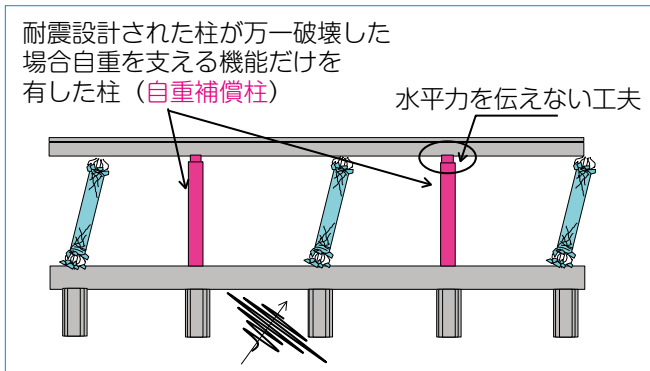


図6 自重補償機構を有するラーメン高架橋

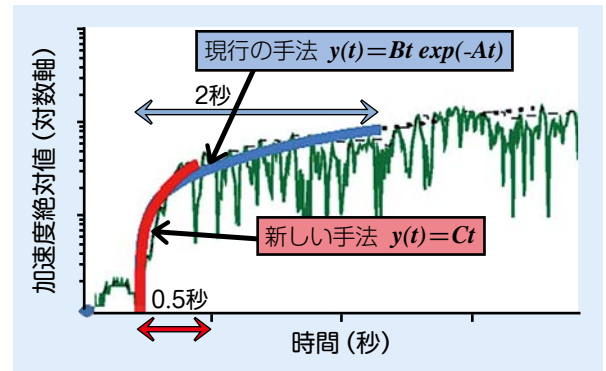


図8 新しい震央距離推定手法と現行法の比較

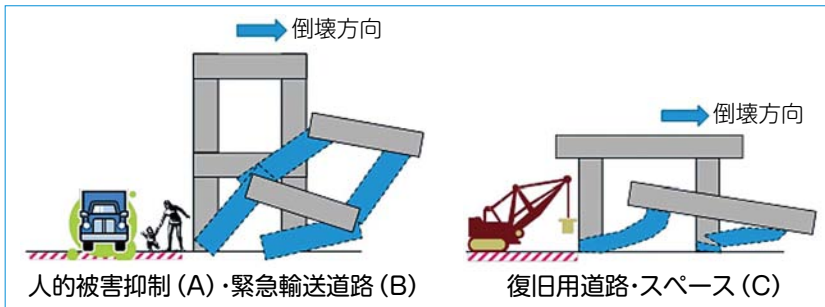


図7 倒壊方向の制御

を速やかに低下または停止させるシステムです。脱線のリスクを低減させるだけでなく、万一、構造物が崩壊した危機に対しても、そのような箇所に入る状況を回避することに大きく貢献できます。現在運用されている早期地震防災システムは、P波初動部2秒程度の加速度の成長を用いて、順次、震央距離やマグニチュードを求めています(B-Δ法、図8)。

危機耐性を高めるために、①より精度の高い警報を出すこと、②より早い警報を出すことに取り組んでおり、より精度の高い警報を出すために、B-Δ法に替わるアルゴリズムとして新たにC-Δ法を開発しました。P波初動部0.5秒程度における加速度成長を用いて、これを1次関数で近似することで震央距離を求めることにしました(図8)。新しい手法により震央距離の推定精度が約13%向上し、また推定に用いる時間は従来の2秒から0.5秒に短縮されました。また、より早い警報を出すために、防災科学技術研究所や海洋研究開発機構などが整備を進めている海底地震観測網を活用することにも取り組

んでいます。

③仮想演習とは、想定外の事象が発生したら何が起こるのか？その想像力を高めて事前に訓練することです。これにより、起きてはならない最悪の事態を回避することに大いに役立つと思われれます。ただし、過去の知見や経験だけを基にした仮想演習だけでは、想定を越えた地震に対して想像力豊かに訓練するのが難しいので、先に紹介した「地震災害シミュレーター」が仮想演習の道具として有効に活用できるものと考えています(図4)。

### 交流の場

鉄道地震工学研究センターの活動や今後の展望などを紹介する場として、アニュアル・ミーティング(Annual Meeting)を開催しています。鉄道総研からの一方的な情報提供の場ではなく、鉄道事業者の皆さんや、地震工学に関連する研究を行っている研究者の皆さんと、問題意識や情報を共有する場として考えており、パネル・ディスカッションなど、双方向の議論ができる場としています。第1回目となるア

ニュアル・ミーティングでは、「地震時の鉄道の早期被害把握・復旧と情報共有・活用の意義」をメインテーマとして開催しました。第2回のアニュアル・ミーティングでは、「耐震設計・耐震補強におけるシミュレーションの活用」をテーマに開催しました。

### おわりに

中央防災会議から、南海トラフで発生する地震の最大規模としてマグニチュード9.0との暫定値が発表されました。また、マグニチュード8以上の巨大地震に関して言うなら、その発生確率は今後30年間で60～70%と公表されています。首都圏においても、マグニチュード7クラスの直下地震の発生も危惧されています。鉄道においても、これら巨大地震の発生を織り込んでいくことが強く求められていると言えます。鉄道地震工学研究センターでは、従来からの取り組み(①設備対策、②走行安全性の確保、③地震検知・警報システム)をさらに強化・推進することに加えて、地震に関する情報を有効に活用して頂くことを目標に、研究開発と情報拠点化の両面から今後とも一層の努力をしてまいります。[RRR]

### 文献

- 1) 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