

鉄道の防災・減災技術の高度化

- 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



ゲリラ豪雨のような局地的大雨や突風などの顕著気象、あるいは東北地方太平洋沖地震に代表されるような巨大地震は、これまで想定していなかった被害を鉄道に及ぼすことが考えられます。これらの自然災害を対象として、鉄道の防災・減災に寄与する技術の開発に取り組んできました。ここでは、局地的大雨などを対象としたリアルタイムハザードマップや、巨大地震を対象としたレジリエンス(※参照)の評価手法をはじめ、開発の成果について紹介します。

はじめに

気候変動による雨の降り方の変化や想定以上の揺れをもたらす巨大地震の発生など、近年、災害をもたらす自然現象がより顕著なものに変化してきました。このような自然現象の変化へ対応すべく、RESEARCH 2020では防災・減災技術の高度化をテーマに取り組んできました。ここでは、その主な成果の概要について紹介します。

局地的大雨への対応技術

気候変動の影響により発生が近年増加している気象として、いわゆるゲリラ豪雨があります。この降雨は、積乱雲が急激に発達することで、狭い範囲に非常に強い雨が降る現象のことを指し、気象の専門家の間では局地的大雨とよばれています。大量の雨が降った場合、鉄道沿線の斜面が崩れてその土砂に列車が乗り上げたり、あるいは、

レールが敷かれた地盤が崩れたりすることが予想されます。このような災害から列車を守るために、鉄道では、降った雨の量に応じて列車の徐行運転や運転中止といった措置を行います。しかし、局地的大雨は、その発生が急激であるため、雨量計などの観測値の利用では措置が間に合わない可能性が考えられます。

また、局地的大雨と同様に、短時間

※ レジリエンス

復元力や回復力という意味を有する物理学で使用されてきた用語。近年、想定外の自然災害に対する設備の機能の回復性などを指して用いられます。

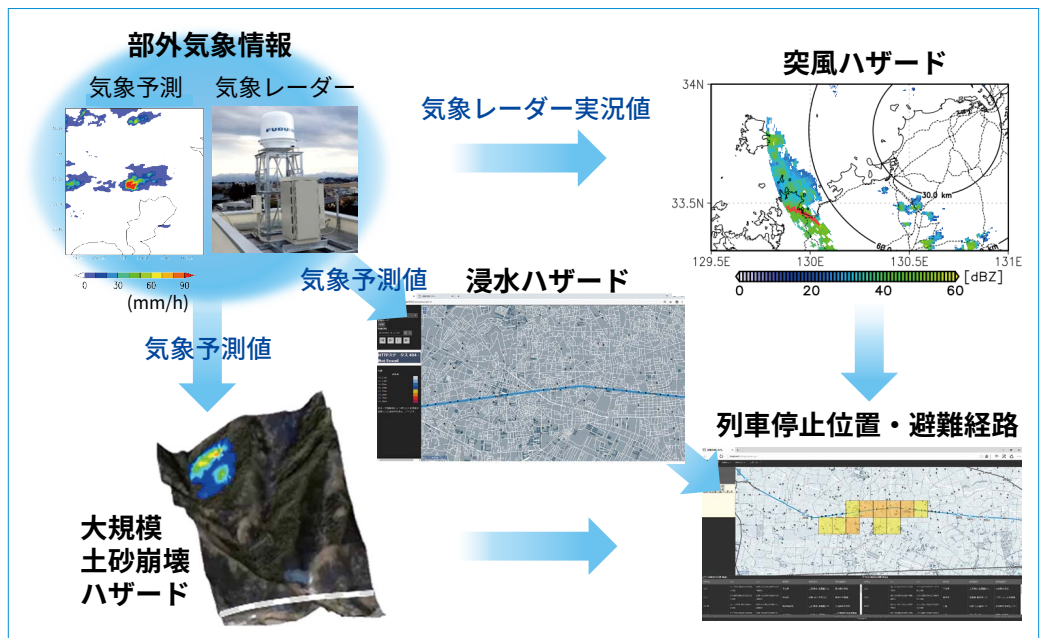


図1 リアルタイムハザードマップの概要

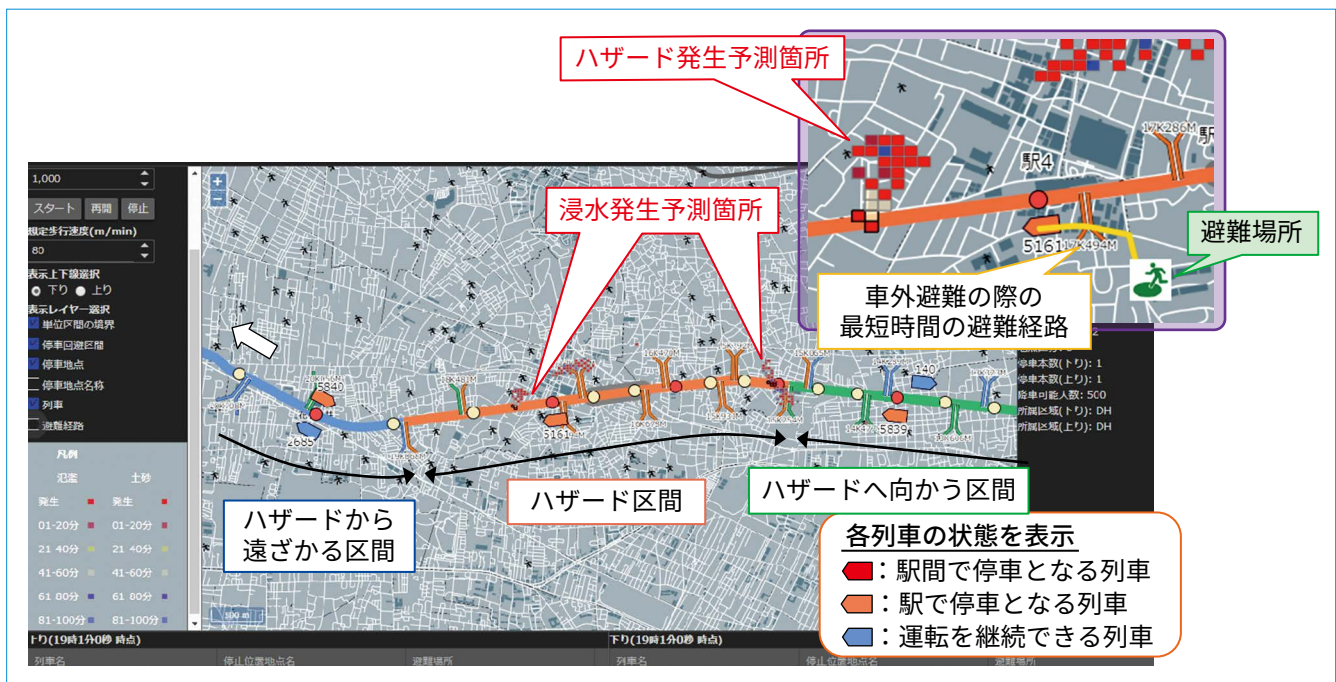


図2 列車停止・旅客避難支援システムの表示画面

で発生する気象に突風があります。これも急激な現象であるため、沿線の風速計での検知では措置が間に合わないことが考えられます。

そこで、外部機関の気象情報を用い、これらの急激な事象による災害を回避することを目的としたリアルタイムハザードマップの開発に取り組みました。

ハザードのリアルタイム評価

開発したシステムの概要を図1に示します。このシステムでは、外部の機関が発信する気象レーダーの観測値や気象予測値を用い、突風ハザード、浸水ハザード、大規模土砂崩壊ハザードを解析します。

突風ハザードの解析では、気象レーダーで得られる雨粒の移動方向やその速度の情報を用い、周辺と異なる特徴的な動きをする雨粒群をとらえて、これを突風として検知します。レーダーの面的な情報は数分おきに得られ、その情報を使って逐次計算を行い、刻々と変化する突風の位置を算出します。

浸水ハザードの解析では、気象予測値を用います。開発にあたっては、共同研究先である防災科学技術研究所が解析する約700m間隔の格子点ごとの雨量値を用いました。この予測値を、数値標高データを用いて作成した地形モデルに与え、地形の傾斜に沿って河川や水路に流れ込む流量を計算します。また、得られた流量を基に個々の河川などの水位を計算し、その高さが堤防の高さを超えた場合に越流と判定します。さらに越流した水が地盤面の傾斜に沿って拡散する過程を計算します。開発したシステムでは、このような計算を数分で行い、1.5時間先の予想浸水範囲を10分間隔で表示することが可能です。

また同じ気象予測値を用い、大規模土砂崩壊のハザードを評価します。大規模土砂崩壊が過去に発生した箇所の地形的特徴をもとに作成した危険斜面の抽出方法を用い、評価対象箇所をあらかじめ抽出しておきます。その箇所が崩壊した場合の崩土の到達域を計算し

ておき、その上で、降雨予測値がしきい値を超えた場合にハザードの発生を表示します。

列車停止位置と避難経路の計算

これまでに試作したリアルタイムハザードマップでは、ハザードの解析結果を基にした列車の停止位置と、避難が必要な場合を想定した避難経路の表示機能を有しています。図2は試作したシステムの表示画面を示しています。

列車の停止位置は、ハザードの発生が予測される箇所とその時の列車の走行位置に応じて、3種類の区間ごとに計算します。図中のオレンジ色はハザードの発生が予測される区間およびハザード発生予測箇所に挟まれた区間からなるハザード区間を示します。また、緑色はハザード区間へ向かう列車がいる区間、青色はハザード区間から遠ざかる列車がいる区間をそれぞれ示しています(図2では画面の右から左へ向かう列車を対象として区間の色別を表示しています)。このように、計

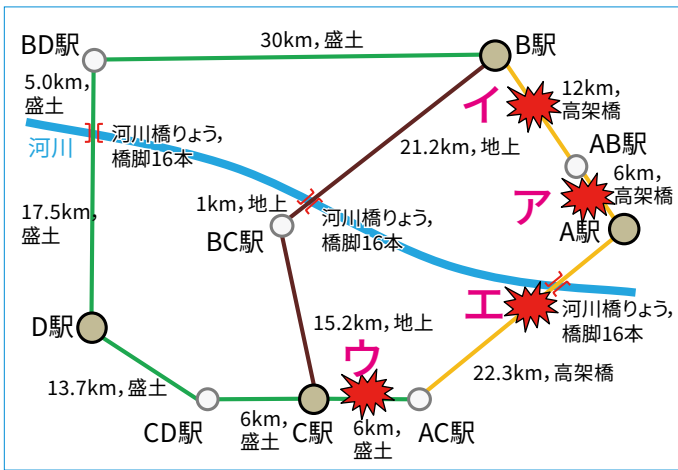


図3 鉄道ネットワークが複数箇所被災した場合

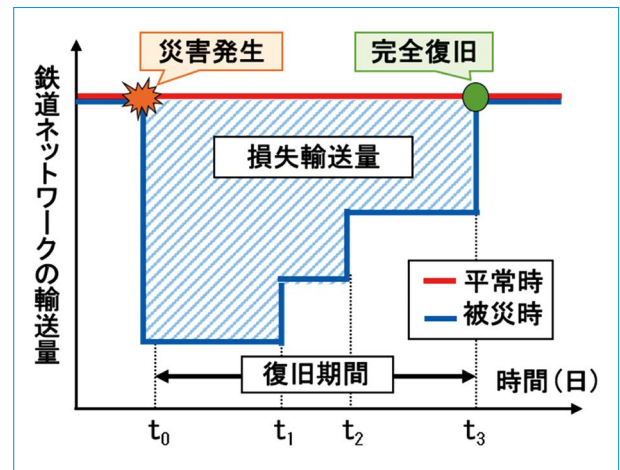


図4 損失輸送量の定義

算対象を小区間に分割した上で、区間ごとに計算条件を設定して最適な列車停止位置を算出します。このような、大きな課題を小問題に分割して最適解を算出する手法は分割統治法とよばれ、計算負荷を低減する効果があるため、リアルタイム性が求められる本システムの計算アルゴリズムに採用しました。

また、図2の右上には、システムの表示画面のうちハザード区間の一部を拡大して示しています。列車からの避難が必要となる場合を想定して、最寄りの避難場所までの避難経路を示しています。基本的に列車は駅に停車するように計算しますが、必要に応じて駅間に停車することも想定しています。この際、あらかじめ設定した避難場所に避難者が到達するまでの時間が最小になる停止位置を算定します。

巨大地震への対応技術

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、東日本の広い範囲の鉄道施設に甚大な被害がもたらされ、復旧には長い期間を要しました。このような巨大地震を想定した場合、鉄道の輸送機能をいかに維持できるかが重要になります。そのためにはネットワークとしての機能の評価が必要となります。たとえば、図3のようなネットワー

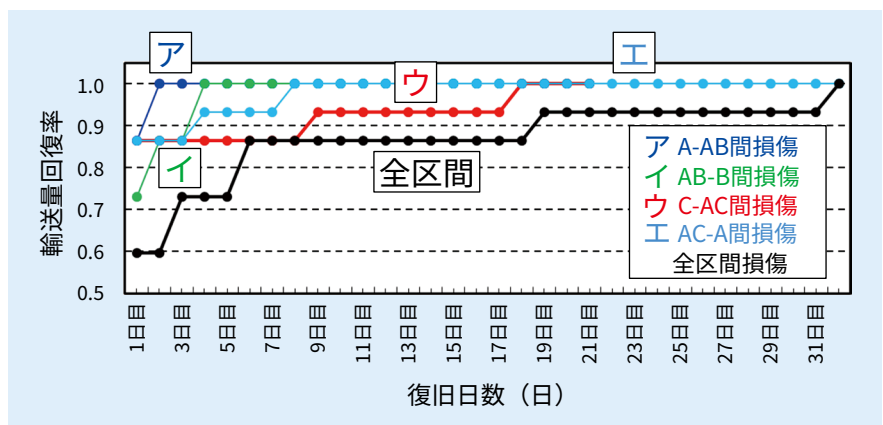


図5 輸送量回復率の経時変化の計算例

クの鉄道線区が地震により複数箇所被災した場合を考えます。A駅～B駅間およびA駅～C駅間は被災直後に輸送量は0となりますが、B駅～C駅間は被災箇所を迂回することで輸送量がある程度維持できることになります。このように、線区をネットワークとしてとらえて、同時多発する広域災害に対して維持できる輸送量に着目した鉄道の機能の評価方法を作成しました。

輸送量に着目した機能評価

作成した評価方法では、図4に示すような通常時の輸送量と比較して被災によって低下する輸送量を損失輸送量と定義し、この損失輸送量の経時変化を算出します。損失輸送量を求めるためには、被災施設の復旧状況が必要と

なります。しかし、その計算には、被災規模に合わせた工法の選定や工事に要する期間などさまざまな知識が必要となります。そこで、その計算の省力化を狙い、復旧性評価データベースを作成しました。このデータベースは、構造物の種類別に、被災程度と選定する工法に合わせて必要となるリソースをデータベース化したものです。これを使用することで、復旧の速度の計算の短時間化や自動化が可能になります。

図5は、図3で示した仮想線区にあるアからエの各施設が被災した場合の輸送量回復率の推移を示しています。例えば、全区間が被災した場合は輸送回復率が平時に戻るまでに32日かかることを示しています。また、各区間が単独で被災した場合を比較するとウ

区間が被災した場合が完全復旧までに最も時間がかかることがわかります。したがって、ウ区間の施設を事前に補強しておくことがネットワークの機能維持のために最も有効であることがわかります。

上述のような検討への利用を考えて、**図5**のグラフを自動的に作成するプログラムを開発しました。輸送損失量を最小にする対策の組み合わせを自動的に算定し、その結果と復旧性データベースから得られる工事の必要経費などを参照することで、想定する地震に対する耐震補強計画を客観的に策定することができます。

巨大地震を想定したレジリエンスの評価

重要なインフラである鉄道施設には、巨大地震に対して構造物が損傷を受けることは免れないとしても、被災の程度を早期の復旧が可能なレベルに抑えることが求められます。このような鉄道のレジリエンスを向上させるために「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」では、危機耐性の考え方が導入されています。この危機耐性の評価方法を作成しました。

危機耐性評価のために、構造物の有する冗長性、ロバスト性、周辺空間の確保、耐余震性、構造の復旧性、ネットワークとしての復旧性の6指標での評価を提案しました。ネットワークとしての復旧性については、上述の被災時の損失輸送量の算定手法を用いて評価することができます。また、冗長性の評価には、たとえば**図6**に示す自重補償柱の有無があります。自重補償柱は、地震によって通常の柱が損傷して通常の列車荷重に耐えられない状況に陥ったとしても、自重補償柱によってその上部にある桁などの構造物を支えることができる柱部材です。これによ

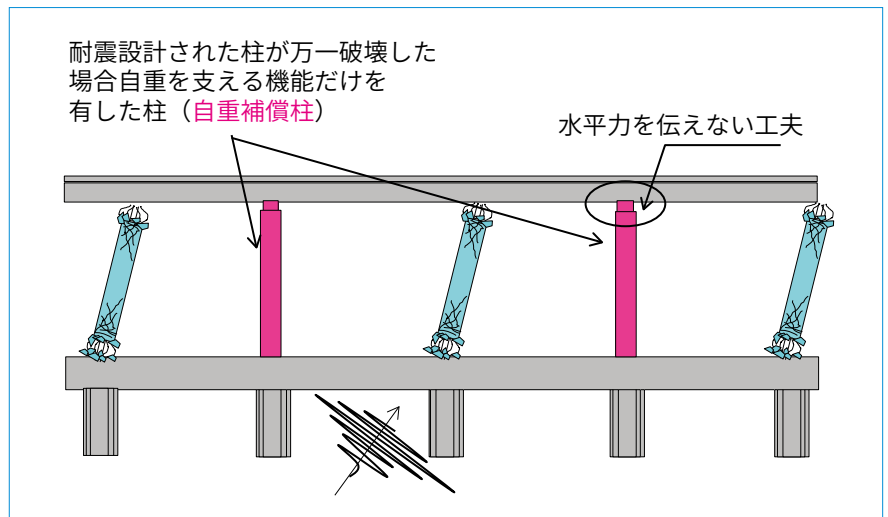


図6 自重補償柱の効果の概念

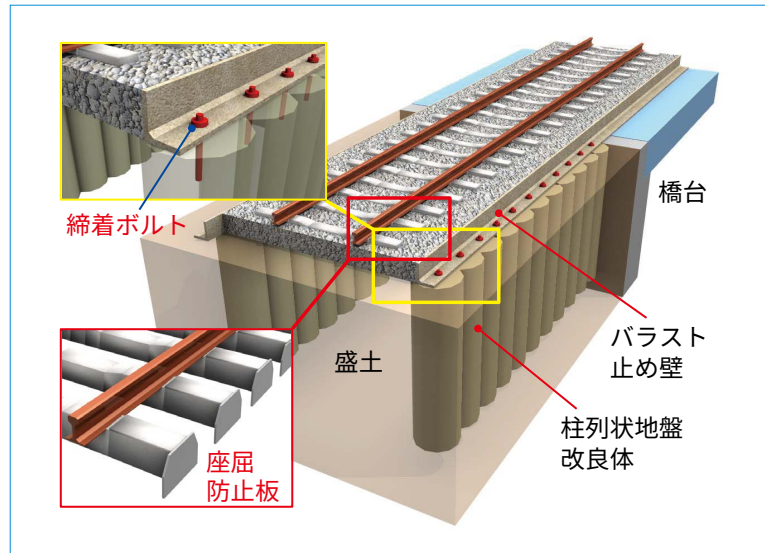


図7 橋台背面耐震座屈補強工

り桁の落下を防止し、早期復旧につながると考えられます。

また、ロバスト性については、たとえば**図7**のようなレール座屈防止対策の有無があげられます。この対策は、地震時に弱点となる橋台と盛土との接合部に地盤改良体を施工することでレールの座屈を防ぐ対策です。このような対策が施工されていることで巨大地震時にも鉄道の機能を維持することができロバスト性の向上に貢献します。

このほかの評価指標の算定方法についても整理し危機耐性の評価法として提案しています。

おわりに

局地的大雨や突風といった顕著気象現象と巨大地震を対象とし、これらに対する防災・減災を目的とした技術開発を行ってきました。一方で、自然災害は近年益々激甚化しており、これに対応するためにはさらに研究開発を進める必要があります。また、その技術開発には進化が著しいデジタル技術の導入が必要不可欠と考えています。これら防災技術を取りまく状況を見据えつつ、鉄道に寄与する技術開発を進めます。**RRR**