

防災技術に関する最近の研究開発

防災技術研究部

部長 太田 岳洋

1. はじめに

鉄道における災害発生件数は減少傾向にあるが、近年は地球温暖化の影響ともいわれる気象状況そのものの極端化に伴い、新たな形態の災害も見られるようになった。近年の極端な外力による自然災害に対する最近の鉄道総研での取り組みを対象分野ごとに概説する。また、現在進めているプロジェクト型課題（将来指向課題）「気象災害に対する安全性向上」の概要について解説する。最後に、外力の極端化を鑑み、今後進めるべき防災分野の技術開発についてその方向性や課題を述べる。

2. 防災技術に関する最近の鉄道総研での取り組み

防災技術の分野で対象とする主な外力は強風、雪氷、降雨、地震動であるが、これらの外力との関係が不明瞭な落石や防護設備の経年劣化などによる被害、地震にともなう津波についても取り組んでいる。以下では外力ごとに最近の鉄道総研での取り組みを紹介する。

2.1 強風災害への対応

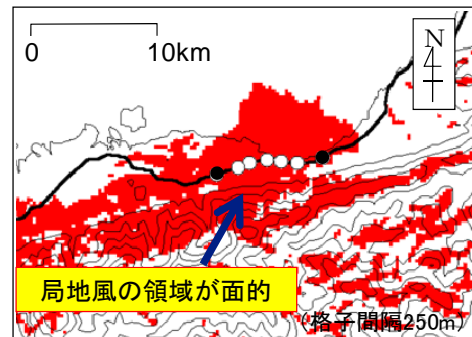
強風時の安全な列車運行のためには、線状の線路に対してより強風が観測される地域に風速計を設置する必要がある。そこで、数値シミュレーションと統計的な手法を組み合わせ、沿線の最大瞬間風速の再現期待値を100mメッシュで求める方法（強風箇所抽出方法）を開発し、さらに局地風が強く吹く地域でも適用できるよう改良した。気象モデルのみの計算でより細かい水平分解能での再現計算ができるようになり、気象モデルと気流モデルを併用した既方法に対して強風箇所を簡易に抽出することに成功した（図1）。

運転規制や防風柵設備などの強風対策については、その効果を定量的に把握しておく必要がある。そこで、強風時の風向を考慮して、列車が転覆限界風速を上回る強風に遭遇する確率を指標とした安全性評価手法を開発した（本日発表）。一方、この手法では規制区間の風向風速は空間的に一律と仮定しており、自然風の空間的ばらつきを考慮していない。そこで、安全性評価手法の精緻化を目的に1点で観測された風向風速から任意の地点の風向風速を推定するモデルを構築するため、多点風観測を開始した。また、局所的かつ短時間に発生する突風にも備えるためには、突風の特徴を理解し、その検知方法や対策を検討する必要があるため、風速計で得られた風観測データに基づいて突風の特徴の把握を進めている。

2.2 雪氷災害への対応

鉄道への降・積雪による被害防止・軽減を目的として、融雪期の全層雪崩や斜面災害の危険度評価手法の開発を行っている。

今回改良した手法(気象モデルのみ)



既開発の手法(気象モデル+流体モデル)

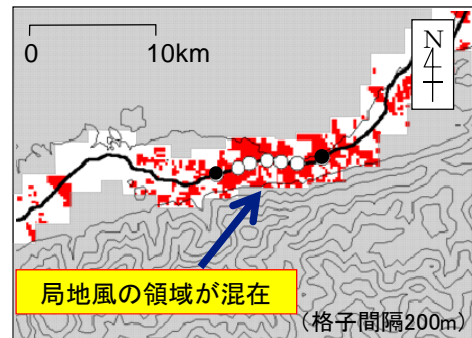


図1 強風箇所抽出方法の改良前後での局地風の再現結果の比較 (図中赤色部が局地風領域)

全層雪崩の発生危険性の評価に必要な積雪底面から地表面へ流出する融雪水量(積雪底面流出量)を推定するための「積雪表面での融雪量」の推定モデル、「融雪水の浸透現象」を再現する浸透モデルを構築し、容易に入手できる気象4要素(気温, 降水量, 風速, 日照時間)から積雪底面流出量を時間単位で精度良く推定できるようにした(本日発表)。

一方, 降雪地帯の鉄道沿線の斜面は融雪水の影響によって崩壊にいたる場合がある。これらの融雪期における斜面の適切な管理手法の確立を目的として, 現地計測による融雪水の斜面内浸透現象の把握と融雪水量の推定モデルの高度化に取り組んでいる。

雪害リスクを評価するうえでは鉄道沿線の降雪量を把握する必要があるが, 雪は地上に堆積したあと風によって移動するため, 降雪の面的な分布を把握することは難しい。気象モデルでは風による雪の移動は考慮していないため, 降雪イベントの再現計算では降雪分布の推定精度が低くなる。そこで, 気象モデルに風による雪粒子の移動を考慮した吹雪モデルを組み合わせた降雪分布推定手法(図2)を構築している。また現在では, 鉄道沿線の雪崩危険箇所の多くには既に雪崩対策工が設備され, 通常の降・積雪状況では災害が発生する危険性は小さい。しかし, 対策工の耐力を超えるような豪雪時にも対応できるように, 対策工を利用して容易に仮設できる省電力雪崩検知装置の開発も進めている。

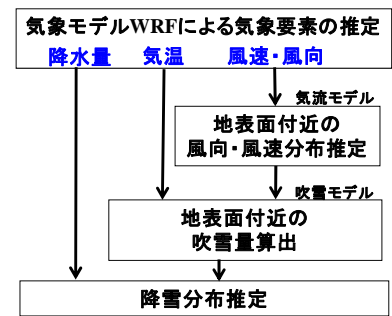


図2 降雪分布の推定フロー

2.3 降雨災害への対応

(1) 斜面災害防止技術

降雨による斜面崩壊は, 地盤内の地下水位が上昇することで発生する。そこで, 自然・切土斜面表層の崩壊を対象として, 降雨時の水の移動現象を考慮して斜面表層の地下水位を求め, この結果から安定性を計算する解析モデルを構築した。さらに, このモデルを利用して土石流や盛土崩壊の評価も可能とすべく検討を進めている(本日発表)。また, 自然斜面の崩壊には地形・地質条件が深く関わるため, これらの条件から不安定な斜面を現場技術者が容易に抽出できる手法の確立が求められている。そこで, 斜面崩壊の発生に関与する地形・地質条件を図面から判読したうえで統計処理を施し, 斜面崩壊に強く寄与する地形・地質条件を抽出し, 専門的知識がなくとも不安定な斜面を簡便に抽出できる手法について検討している(本日発表)。

(2) 河川災害防止技術

近年の局地的な豪雨にともない鉄道沿線の小河川での増水が多発するようになった。そこで, このような豪雨時の小河川における流出・氾濫解析手法を開発している。実際に被災した鉄道沿線領域について, 1mメッシュの数値標高モデルを用い, 降雨は地下に浸透せず排水設備も機能しない条件として, 被災当時の降雨を面的に与えて流出・氾濫解析を実施した。その結果, 実際に発生した浸水の範囲や水の流れ方向を定性的に再現できることが確認できた(図3)。

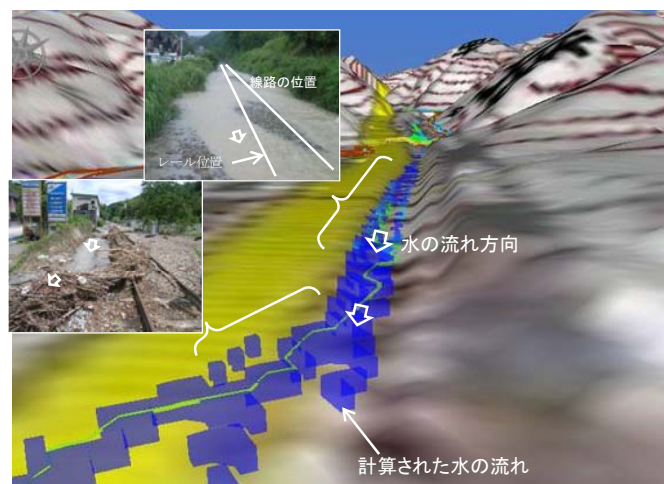


図3 流出・氾濫解析結果と実際の被災状況の一例

2.4 地震災害への対応

地震災害を低減させるために, 鉄道分野では早期地震防災システムが利用されている。このシステムのP波による警報機能はより早期の列車制御を可能とするために非常に効果的と言えるが, この機能を最大限に活用するためには確実なP波検知が要求される。そこで, 現行システムにおけるP波検知の能力向上について

て検討し、東北地方太平洋沖地震のように緩やかに立ち上がるP波の検出率を向上させる処理用パラメータ（図4の α_u , α_n ）、巨大地震に対してより適切にマグニチュードを推定できるパラメータを提案した。さらに次世代の早期地震防災システムに向けて、新しい地震諸元推定法を用いたプロトタイプシステムの製作（本日一部発表）、地下地震計、海底地震計、複数観測点のデータを活用した効果的な警報ロジックの開発を行っている。

また、東北地方太平洋沖地震の事例から、巨大地震は広範囲に様々な形態の被害をもたらすことが再確認された。特に強震動域の拡大や長周期地震動などの発生は鉄道にも大きな影響を与える可能性が高い。これらのハザードを確認するとともに早期警報に向けた各要素技術の開発を進めている。

2.5 津波災害への対応

津波伝播を高精度に推定するためには正確な津波波源の入力が必要となる。これまでリアルタイムの津波推定では「点」（＝震源）の情報を利用しており、これが推定精度向上の課題であった。そこで、観測された地震波形の即時的な処理により海底面の2次元的な変動を簡便に計算する手法を検討している。また、震源域近くで観測された津波データを用いて直接的に沿岸の津波を予測する手法の開発も行っている。

「線」状の鉄道の総合的な津波対策の検討に資するために、統一的な前提条件と精度を有し、鉄道構造物を考慮した津波浸水深マップの作成手法の構築を進めている。これまでに、東北地方太平洋沖地震による津波を対象に、既往の2次元津波計算モデルによる津波再現計算（図5）を行い現地調査結果と比較した。その結果、浸水範囲については計算結果のほうが調査結果よりも概ね広範に及ぶこと、浸水高については計算結果と現地調査結果との差異が評価地点毎に異なること等がわかった。現在、波の挙動の3次元性を考慮した再現計算を進めている。

2.6 風化に伴う落石や施設の経年劣化などによる災害への対応

鉄道沿線の切土のり面に施工されたモルタル吹付け工では、経年劣化に伴うひび割れ等の変状が発生する場合があります。特に背面地山の劣化に伴う場合はその劣化程度に応じた適切な対策工法が必要である。そこで、吹付けコンクリートを用いた効果的な補修工法を検討している。また、はらみ出しが生じた石積み壁の安定性を定量的に評価するために、模型石積み壁を用いた載荷実験を行い、石積み壁の補修の必要性判断に適用する定量的な指標を考案した。

3. 将来指向課題「気象災害に対する安全性向上」の概要

3.1 数値気象シミュレーション等による外力評価

鉄道沿線の風速計や雨量計から得られる「点」でのデータを補間し、鉄道防災に必要な時間・空間スケールでの面的な気象情報を得るためのツールの作成を目的として、局地気象数値シミュレーションモデルを構

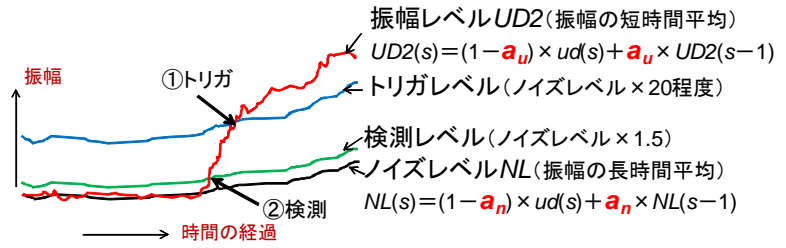


図4 P波検知率の性能向上（ α_u , α_n はパラメータ）

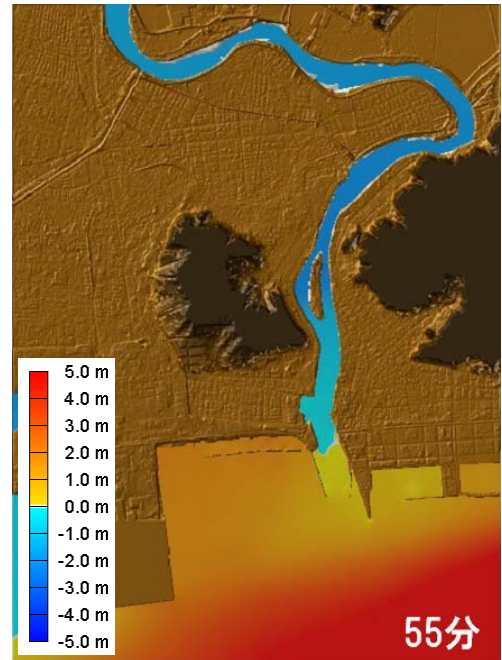


図5 2次元津波計算モデルによる再現計算結果の例

築し、強風、大雨、大雪の各事例についての再現計算結果と検証データとを比較検証した。その結果、強風事例や大雨事例では実際の現象を概ね再現できることを確認した(図6)。現在、地上の観測データを本モデルに取り込むなどの方法により精度向上を進めている。

3.2 耐力・危険度評価と災害ハザードマップ

強風、雪氷、降雨等による気象災害に関するハザードを同一図上に展開する災害ハザードマッピング技術の構築を進めている(図7)。風速・風向、降雪量、降雨量等の外力と、これらに対する雪崩発生危険度、土砂災害危険度等の耐力・危険度評価結果に基づく自然災害のハザードマップを地理情報システム(GIS)上で統合的に表示するシステムを構築している。これは防災上の弱点箇所の把握や防災投資の計画に資すると考えている。

4. 鉄道の防災技術における今後の課題—低頻度大規模災害への対応—

平成23年東北地方太平洋沖地震は、我が国の防災対策の考え方の方向転換を迫る災害であった。特に災害の発生を完全に防ぐことは不可能であること、できるだけ被害を最小とする「減災」の考え方を徹底して災害対策を推進すべきこと、が認識された。災害による被害を最小限にするためには、科学的知見に基づき起こりうる災害形態と規模およびその災害によって生じる被害を適確に想定し、起こりうる災害とその被害推定に基づいて点検を行い、対策をすすめる必要がある¹⁾。

東北地方太平洋沖地震のような強大な外力による災害は、発生頻度は非常に低いが被災の範囲や重大さは大きい。このような低頻度大規模災害は、実施可能なハード対策の耐力を上まわり、被害を防ぎきれないため、設計を超える外力の災害にもある程度の効果を発揮するハード対策や規制や避難などのソフト対策を組み合わせる必要がある¹⁾。近年、我が国ではほとんど経験したことのない規模の地震や豪雨等が発生しており、これにともなって発生することが危惧される低頻度大規模災害に対する供えが必要となってきている。今後は鉄道においても、このような低頻度大規模災害を「想定外」として考慮しないのではなく、「発生したらこのような事象が生じる」ことを理解し、考慮しておくことが重要になると考えられる。

5. おわりに

防災技術は過去の経験から学ぶことが多いと言われるが、経験に基づく判断だけでなく、昨今の気象状況の極端化とそれともなう被災形態の変化を想定した研究開発と、上記の低頻度大規模災害を考慮した研究開発を進める予定である。これらの成果を基に、今後も鉄道の安全輸送と耐災性向上に貢献していきたいと考えている。

[文献]

1) 内閣府：平成25年度版防災白書、<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/>, 2013

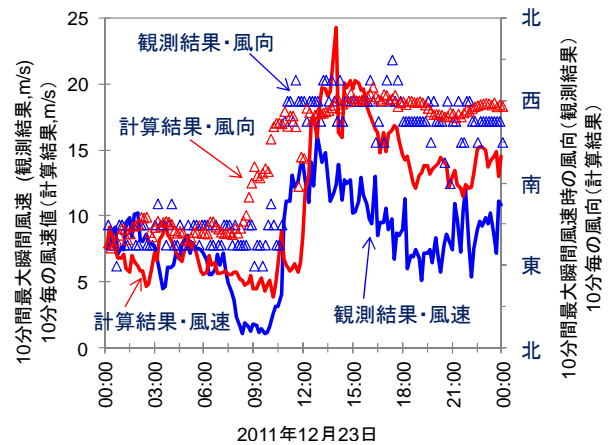


図6 強風事例の再現結果と観測結果の比較

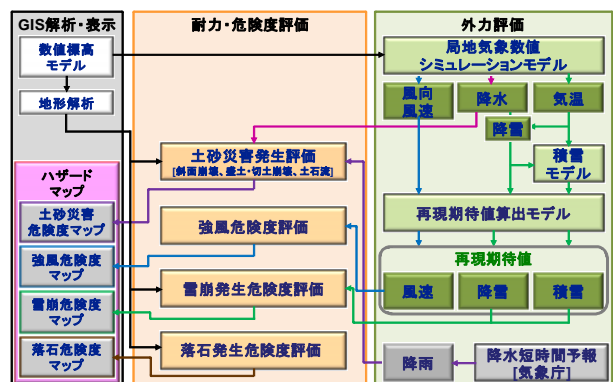


図7 災害ハザードマップの構成