

防災技術に関する最近の研究開発

防災技術研究部

部長 杉山 友康

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、最近では、地球温暖化の影響もあって気象状況そのものが変化しつつあり、これに伴う新たな形態の災害も見られるようになった。また、昨年東北地方太平洋沖地震では、沿岸域において津波による甚大な被害を受けた。こうしたなか、鉄道総研では幅広い視点からさまざまな種類の災害防止・減災に向けた研究開発に取り組んでいる。ここでは、最近の自然外力の状況と災害状況を概説したうえで、防災技術の課題をあげ、それらを背景とした鉄道総研における最近の研究開発の状況を主な外力別に整理して紹介する。

2. 防災技術の研究開発に求められるもの

自然災害をもたらす外力は変化しつつある。特に降雨に着目すれば、最近10年間の短時間豪雨(80mm/h以上)の年間平均観測回数は、20年以前までの10年間の約1.7倍に増加している¹⁾。また、降り始めからの総雨量についても「観測史上最大」と言われるような豪雨が各地で観測される事が多くなっている。さらに、昨年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震では、M9という地震規模そのものが最大であった上に、その後の巨大津波によって甚大な被害をみた。こうした外力の変化に伴い、鉄道の被害は多様化するとともに、被害範囲の広域化、規模の拡大化が見られるようになってきている。

最近の自然災害に対応する研究開発に求められるものは、第一に災害をもたらす外力を精度よく評価することである。これまでは、被害箇所近傍の観測データに基づいて、その外力を代表し、施設耐力との比較を行ってきた。実際に被害を受けた箇所の外力を推定することは、外力と耐力のバランスで対応がきまる防災技術には、不可欠な情報であり、ある条件下での気象状況を面的に精度よく評価することは重要である。第二は、鉄道の安全運行のための耐力を、外力別に正しく評価することである。このためには、施設に応じた外力別の耐力をより広範囲にわたって評価することが必要となる。第三には、安全運行のための対策技術である。効果的な対策とするためには、ハード対策とソフト対策をバランス良く組み合わせることが求められる。より効率良い対策とするために、どの程度の外力によってどのような被害となるかを確率論的に評価するリスク評価手法の導入が必要といえる。

3. 最近の研究開発

防災技術の分野で対象とする主な外力は、強風、雪氷、降雨、地震に整理できるが、これに加えて外力に関係なく発生する落石や防護設備の経年劣化などによる被害や地震によってもたらされる津波も防災技術の対象に含まれる。以下では外力別に最近の研究開発の状況を紹介する。

3.1 強風災害への対応

強風時の安全な列車運行を確保するためには、線状に長い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ことが必要となる。そこで、鉄道沿線の地形を考慮した数値シミュレーションと統計的な手法とを組み合わせ、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を提案した。現在では、

四国の「やまじ風」に代表されるような局地風にも精度よく対応する数値シミュレーション手法の改良を進めている。また、強風箇所を設置される風速計は、適切な位置に設けることが求められる。そこで、風洞試験結果と現地観測結果とから線路構造物周りの風速計位置における観測風速を、転覆限界風速の評価位置での風速へ換算するための係数を風速計の高さや風向角別に示した(図1)。これらの成果は、今後風速計を新たに設置する場合や、移設をする場合の適切な位置の検討に資するものと考えている。

一方、強風から列車の安全を確保するためには、風速とこれによる列車の転覆との関係を明らかにし、この関係をもとにした強風時の運転規制が必要となる。これに資することを目的として、ある区間を走行する列車が転覆限界風速に遭遇する確率を安全性指標とした評価手法の開発を進めている(本日発表)。

これらの研究開発の他、線路脇に設置される防風柵の効果(本日発表)や車両に働く空気力の評価、強風時の走行列車の安全性評価手法の開発などを進めている。

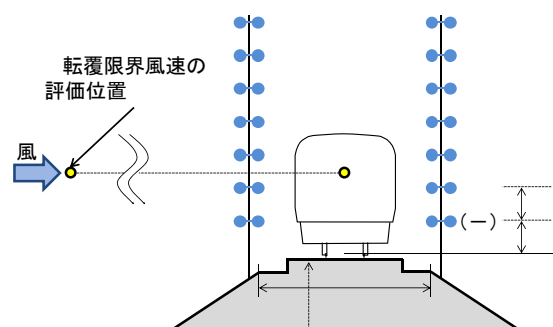


図1 転覆限界風速の評価位置での風速を1.0としたときの風速計位置での最大瞬間風速の分布例(単線盛土のケース。風は線路に対して90度)

雪氷災害への対応

雪崩災害を未然に防ぐためには、雪崩危険斜面を抽出したり警備を実施する時期を適切に判断する必要がある。そこで、客観的な判断基準をもとに危険斜面や警備時期を決定する方法を提案した。また、日々の気象データから全層雪崩の予兆現象である斜面積雪の滑动状況を推定する手法の開発を進めている。

車両側の寒冷・雪害対策として、車両の着雪が落下することによる被害軽減に資するため、着雪の要因である走行中の雪の舞い上がり量を沿線の気象データと走行速度から推定する手法を開発した。さらに、舞い上がり量の推定値を用いて、車両への着雪量を推定する方法を提案した。車両先頭部に取り付けるスノープラウについては、縮尺模型を用いた試験(図2)を実施し、排雪力の相似則を確認したうえで、側雪が存在しても対向列車などへの飛雪影響が小さく、従来のプラウと比べて排雪抵抗力が小さいプラウ形状を提案した。



図2 模型スノープラウによる排雪抵抗力評価試験

降雨災害への対応

斜面災害防止技術

線路周辺の斜面の安定性を評価するためには、線路周辺斜面に達した降雨が地盤に浸透し、傾斜方向に流下してやがて地下水を上昇させる機構を解析し、これに基づいて崩壊に対する安定性を評価することが必要となる。そこで、線路に隣接する斜面地下水の降雨による時間的・空間的变化と、これに基づく斜面の不安定化を解析するモデルを開発した。さらに、このモデルを拡張して、土石流などの土砂災害全般の評価も可能とすべく改良を進めている。

また、沿線斜面の弱点箇所には必要に応じて防護対策を実施しているが、崩壊による被害程度や線区特性(輸送量)などを考慮した災害リスクの評価を行えば、より効率的な対策の順位決定が可能となる。そこで、

沿線での発生頻度が高い降雨時斜面崩壊と落石による災害を対象として、これらの発生確率や災害発生時の損失から斜面災害リスクを計算し、防災計画の意思決定を支援する手法を開発した。

さらに、既設盛土の降雨対策のひとつとして、のり面への排水パイプの打設が既に定着しているが、打設間隔や打設長などは過去の施工実績に基づくものであった。そこで、実物大模型盛土散水実験、数値解析などを実行して、排水パイプの耐降雨性向上効果を定量化し、排水パイプの適切な施工仕様を決定する解析手法を開発した。(本日一部発表)

河川災害防止技術

河川増水時には、橋脚の周辺地盤が洗掘されて橋梁が不安定化する場合があるが、増水したときの橋脚の微動から固有振動数あるいは変位量の変化を特定して橋脚の安定度を的確かつ安全にリアルタイムで評価・判定するシステムを開発した。(本日一部発表)

さらに、短時間に局所的な集中豪雨が発生する事例の増加により、斜面崩壊や河川増水による被害に加えて、中小河川や水路の氾濫による盛土被害や道床バラストの流出などの被害が増加するなど、近年被災形態が多様化している。そこで、周辺地形や鉄道施設の状態を考慮した中小河川の降雨時挙動をシミュレートするモデルを開発し、そのモデルを用いた氾濫影響度評価手法の開発を進めている(図3)。



図3 氾濫影響評価モデルによる解析結果の例

地震災害への対応

鉄道総研が開発した早期地震防災システムは、地震計で観測されたP波およびS波のデータを即時に処理することにより新幹線等の迅速な運転制御を行うものであり、既に新幹線に導入されている。特に地震の揺れの推定精度と即時性は新幹線の安全に直結するため、これらの精度を向上した各種推定アルゴリズムや新しい制御方法を用いた次世代システムの研究開発を進めている(図4)。また、P波情報を用いた早期地震防災システムの導入効果を評価する手法を提案した(本日発表)。

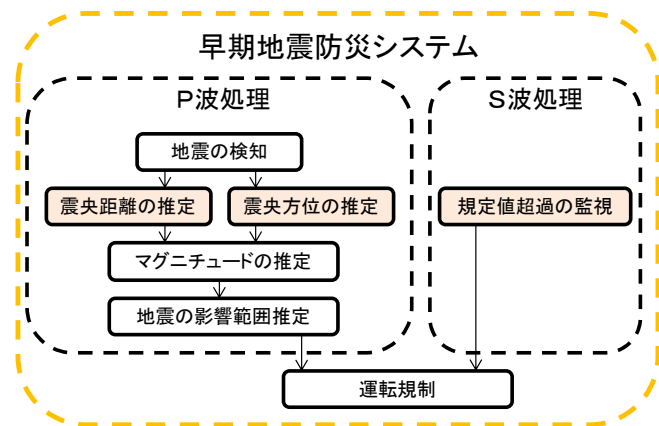


図4 新しい早期地震防災システムの改良部分(図の網掛け部分)

一方、規制値を超える揺れの地震が発生した場合のダウンタイム短縮を目的として、常時微動のスペクトルやH/Vスペクトルの比の空間分布から沿線に配置された各地震計間における地盤の揺れの分布を精度良く推定する手法の開発を進めた。現在、上述の概念に基づくプロトタイプシステムを作成し、観測結果との比較による手法の検証と課題の抽出を行っている。

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

切土のり面にはコンクリートなどによつてのり面を防護している場合があるが、経年により背面地山が風

化により土砂化し、のり面工が不安定化することが懸念される。そこで、のり面工背面の風化層の土圧特性を解明し、切土のり面工の安定性を評価する手法を提案した。現在、健全度が低下した箇所での効果的な対策手法の開発を進めている。

一方、落石については、気象条件との相関が小さいこともあり、斜面の素因に基づいて適確に落下の危険性を判断することが求められる。斜面上の岩塊の自重と引張強さのつり合いのバランスから落下の可能性を推定する手法と打音測定により危険度を評価する方法を提案した（本日一部発表）。

また、数値標高データなどのリモートセンシングデータを用いて鉄道沿線斜面の地形や経年的に変化する植生条件を数値化し、斜面崩壊の要注意箇所と落石の発生源を抽出する手法を開発した（本日発表）。現在、このような斜面災害の素因の抽出結果を後述するハザードマップへ反映する手法について検討を進めている。

津波災害への対応

鉄道事業者が津波対策を検討する際、津波対策の対象路線が属する自治体によって整備された既往の津波ハザードマップを活用するが、マップの作成および公開の程度や、マップ作成の前提条件や精度が自治体によって異なる状況がみられる。また、既往の津波ハザードマップで表現される浸水範囲や浸水深の計算には、鉄道構造物を含む地物の影響は考慮されていない。そこで、「線」で連続する鉄道の総合的な津波対策の検討に資することを目的として、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開発に着手した。一方、地震直後に限られた観測データを利用して津波の危険度を把握するための基礎研究として、地震の破壊域の即時推定手法（図5）、その結果を用いた簡便な津波伝播の評価手法などに関する検討を開始した。前者はリアルタイムで観測される強震動の強さの分布から簡便に大地震の破壊域を求めるもの、後者は破壊域の情報と簡素化された海底面変動と津波伝播のモデルを利用して津波の危険度の評価を目指すものである。これらの課題については、今後関連機関と連携を取りつつ、研究を進める予定である。

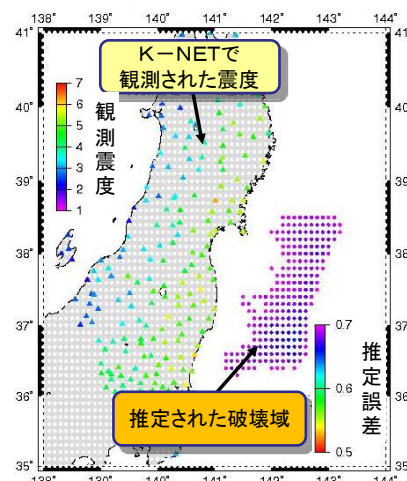


図5 K-NETで観測された深度とその情報から推定した断層破壊域

災害ハザードマップ

数値標高データや衛星画像等の数値情報を用いて鉄道沿線の自然斜面での土砂災害をターゲットにした災害ハザードの可視化を可能とし、ハザードの影響範囲を解析・評価してマッピングする手法の開発を進めている。さらに、近年の気象状況の変化に伴い多様化する災害に対応して、沿線近傍だけでなく広範囲にも視点を向けることの重要性から、風災害、雪害、雨災害など沿線で発生が懸念されるハザードをひとつのマップに展開する総合的災害ハザードマッピング技術の構築を進めている。

4. 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変化とそれに呼応した被災形態の変化を確実に捉えて、今後も鉄道の安全輸送と耐災性向上に貢献できるよう全力で取り組む予定である。

[文献]

- 1) 内閣府：平成20年版防災白書，平成20年7月