

減災に向けたこれからの研究開発

杉山 友康*

Future Research and Development for Natural-hazard and Risk Mitigation

Tomoyasu SUGIYAMA

In Japan, the disaster prevention technology in railway has been developed by many disaster experiences since the beginning of its operation. It was reported various parts of Japan suffered by an earthquake, some heavy rains and other aspects, last year, however, the damage of railway was found to be minimized fortunately. This result obviously demonstrates the past developments on the disaster prevention technology. On the other hand, the level of natural forces bring disaster has become slightly larger, and the further progress of the damage estimation technology that accepts the changing of natural forces is expected for the future railway disaster prevention. This paper describes the recent state and the future prospects of the research and development on the disaster prevention in the Railway Technical Research Institute.

キーワード：自然災害，豪雨，地震，強風，豪雪

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てきていることは、既に幾つかの紙面で指摘してきた^{1) 2)}。また、昨年の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、最近の自然外力が大きくなる傾向に伴い、被害を出さないといういわゆる「防災技術」からある一定規模の外力を上回る場合には、被害を最小にとどめるといった「減災技術」の考え方をすべきであるという社会的な動向がある中で、減災技術の研究開発に求められる点を指摘した後、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. 減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年前までの10年間の約1.7倍に増加している³⁾。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。また、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。沿線の被害が、単に鉄道施設そのものに起因するものから、部外用地などが発生源となるものが目立つようになってきていることから、被害対象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減災技術に最も求められることである。外力が大きくなりつつある現状から、被害を完全に防止するハード対策にはおのずと限界があるといえる。しかし、災害に対するより一層の安全対策を進める必要性は不可欠であり、発生しうる外力、それに伴う被害推定とハード対策およびソフト対策を総合的に判断する手法の確立が急務といえる。

3. 鉄道総研における減災に向けた研究開発

2章で示した減災に向けた防災技術の展望に鑑み、鉄

* 防災技術研究部 部長

特集：防災技術

道総研では、災害に対する一層の安全性向上を目指して、様々な自然外力に対処する方策の研究開発を進めている。ここではその主なものを自然外力別に整理して紹介する。なお、具体的な研究の一部については、本号特集号に掲載されているので参照されたい。

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て、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⁴⁾。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)⁵⁾。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⁶⁾。

3.2 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⁷⁾。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動状況を推定する手法の開発を進めている。

全国の新幹線は、少しずつ整備が進められ、現在では北陸、北海道の両新幹線の開業に向けて準備が進められている。両新幹線に代表される積雪地域の新幹線の雪対策として、地上側では高架橋の形状や消雪方式について検討する必要がある。東北新幹線八戸・新青森間の開業にあたり、地域に合致した散水消雪方式を提案してきた⁸⁾。一方、車両側の対策として、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するとともに、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⁹⁾。また、車両先頭部に取り付けるスノーブラウに

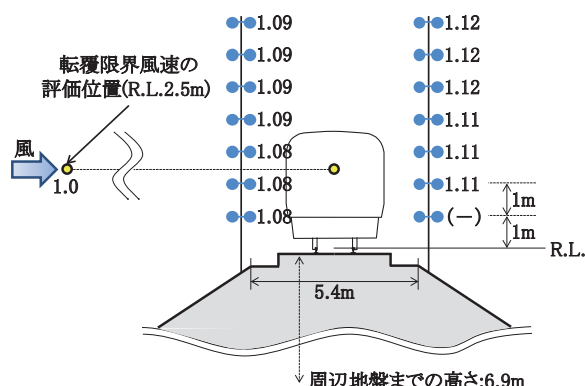


図1 転覆限界風速の評価位置での風速を1.0としたときの風速計位置での最大瞬間風速の分布例(単線盛土のケース 風は線路に対して90度)



図2 模型スノーブラウによる排雪抵抗力評価試験

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¹⁰⁾。

3.3 降雨災害への対応

(1) 斜面災害防止技術

最近の降雨時土砂災害は、部外用地である線路周辺斜面を発生源とする被害発生比率が増加しつつある。こうした、線路周辺斜面の安定性を評価するためには、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より広範囲で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・空間的変化と、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¹¹⁾。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

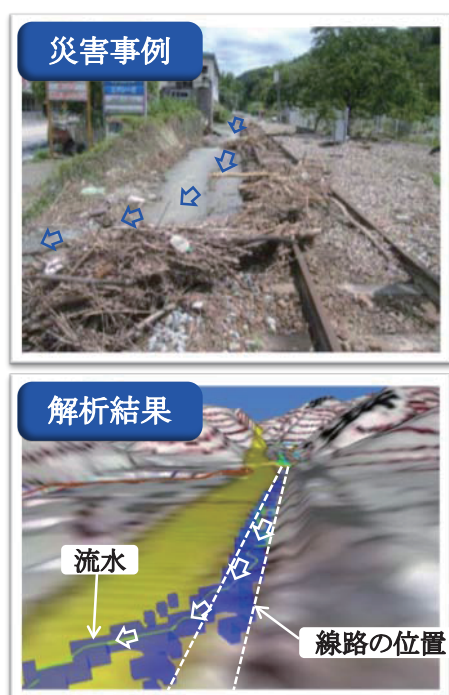


図3 氾濫影響評価モデルによる解析結果の例

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提案した¹²⁾。

(2) 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¹³⁾。

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)。

3.4 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迅速な運転規制を行うものであり、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¹⁴⁾。

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および構造物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¹⁵⁾。

3.5 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

崩壊防止対策として、切土のり面にはコンクリートなどによっ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¹⁶⁾。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¹⁷⁾。

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¹⁸⁾。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。

3.6 津波災害への対応

東北地方太平洋沖地震による津波被害を経験し、多方面で津波対策が急務となっている。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ことが多い。しかし、浸水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。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。これについては内閣府の津波に対する対策の動向を確認しつつ進める予定である。また、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¹⁹⁾(図4)、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。

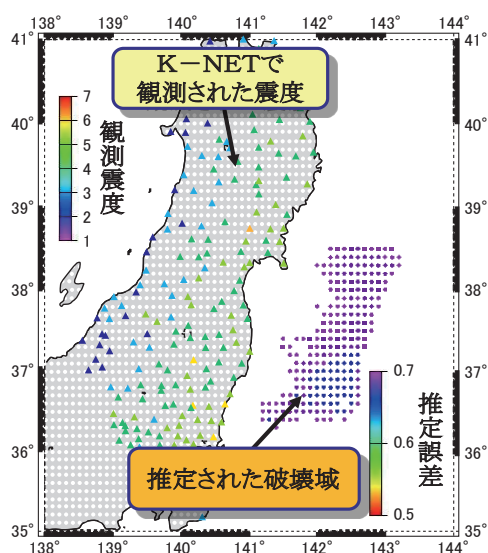


図4 K-NETで観測された震度とその情報から推定した断層破壊域の推定例¹⁹⁾

3.7 災害ハザードマップ

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、空間領域の狭い面的な気象状況の計算を可能とする数値気象シミュレーション手法を開発するとともに、これによって計算された外力に基づいて、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沿線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²⁰⁾。

4. おわりに

昨年の東日本大震災や本年7月の九州北部豪雨災害などでは、自然の猛威が凄まじいことを経験し、これからの災害対策に社会全体として取り組む必要性を提起した。鉄道総研でも、今後変化しつつある自然外力に対して、その外力と鉄道施設の耐力の両面を精度高く評価し、安全で安定した輸送を確保し、安心して利用できる鉄道システムのあり方について、改めて問い直すとともに、これを達成することに向けて一歩ずつ成果を重ねるつもりである。

文 献

- 1) 杉山友康：自然外力の変化に伴う最近の災害の特徴と今後の研究開発の展望，鉄道総研報告，Vol.25, No.7, 2011.7
- 2) 杉山友康：豪雨への備え，第24回鉄道総研講演会－巨大な自然災害に備える－講演集，(公財)鉄道総研，2011.11
- 3) 気象庁：気候変動監視レポート2009 世界と日本の気候変動および温室効果ガスとオゾン層等の状況について，気象庁ホームページ，p30-31, 2010
- 4) 荒木啓司，福原隆彰，島村泰介，今井俊昭：数値解析手法

を用いた鉄道沿線における強風箇所の抽出方法，鉄道総研報告，Vol.24, No.5, pp.29-34, 2010.5

- 5) 荒木啓司，今井俊昭，種本勝二，鈴木実：構造物周りの風速計位置が観測値に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.25, No.7, pp.43-48, 2011.7
- 6) 今井俊昭，荒木啓司，福原隆彰，谷本早紀，種本勝二，日比野有：規制区間で転覆限界風速を超える強風が発生する確率の評価方法，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 7) 栗原 靖，飯倉茂弘，鎌田 慈，宍戸真也，高橋大介，河島克久：斜面積雪の安定性指標に基づく雪崩警備方法，鉄道総研報告，Vol.25, No.7, pp.19-24, 2011.7
- 8) 飯倉茂弘，野口守，小林等，菊池哲雄，河島勝久，藤井俊茂：スプリンクラー散水消雪方式の東北新幹線八戸・新青森間への適用，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 9) 鎌田 慈，高橋大介，栗原 靖，飯倉茂弘：列車走行に伴う雪の舞い上がり量の推定，寒地技術論文・報告集，Vol.26, 2011.12
- 10) 鎌田 慈，宍戸真也，中嶋大智，中出孝次，栗原 靖，高橋大介，遠藤徹，飯倉茂弘：多雪地域対応型スノーブラウ形状の開発，鉄道総研報告，Vol.24, No.5, pp.35-40, 2010.5
- 11) 布川修，杉山友康，太田直之：地形を考慮した斜面表層部の地下水変動予測モデル，鉄道総研報告，Vol.22, No.1, pp.23-28, 2008.1
- 12) 布川修，杉山友康，森泰樹，畑明仁：鉄道沿線斜面の降雨時リスク評価に基づく防災対策の意思決定方法，土木学会論文集C(地圏工学)，第67巻，pp.160-173, 2011
- 13) 佐溝昌彦，渡邊諭：流水の影響を考慮した橋脚振動解析モデルと洗掘時の振動特性評価，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 14) 山本俊六，野田俊太，是永将宏：P波初動部の立ち上がり特性に着目した震央距離推定手法，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 15) 岩田直泰，山本俊六，是永将宏，野田俊太，伊藤賀章：公的地震情報を活用した早期運転再開支援システムの試作，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 16) 太田直之，高柳剛，杉山友康，興水聡：地山の風化により切土のり面工に作用する土圧の実験的評価，鉄道総研報告，Vol.24, No.5, pp.23-28, 2010.5
- 17) 川越健，石原朋和，浦越拓野，太田岳洋：岩盤斜面における岩塊の安定性に関する評価手法，鉄道総研報告，Vol.25, No.7, pp.31-36, 2011.7
- 18) 長谷川淳，太田岳洋：空間数値情報を用いた斜面崩壊の発生危険箇所抽出手法，鉄道総研報告，Vol.26, No.9, 2012.9
- 19) 山本俊六，佐藤新二，岩田直泰，是永将宏，野田俊太，伊藤賀章：震度分布を利用した巨大地震の破壊域の即時推定，日本地震学会講演予稿集，2011.11
- 20) 鈴木康文，渡辺郁夫，石塚弘道，杉山友康，館山勝：鉄道システムの安全性・信頼性向上，p14-17, RRR, 2011.1