

## 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

鉄道では、古くから自然災害を経験しこれらを克服して安全な輸送を確保する努力が続けられてきた。この成果により、災害発生件数は半世紀前と比較して激減した。一方で、この3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M=9.0) という我が国観測史上最大の巨大地震により甚大な被害を受けた災害をはじめとして、近年いわゆるゲリラ豪雨と呼ばれる局地的短時間豪雨の増加や、この冬に見られたような数十年振りに観測された局地的な豪雪などにより、これまでに経験しなかった形態の災害発生や、最近では経験がなくその対応に追われる様な災害も見られるようになった。鉄道における防災技術は、こうした災害をもたらす自然外力を捉え、それに対する耐力を可能な限り正確に評価した上で、総合的な対策を講じることが求められる。ここでは、変化しつつある自然外力によって多様化する最近の災害の傾向を示すとともに、鉄道総研における防災技術に関する最近の研究開発の概要を主な外力別に整理して紹介する。

### 2. 近年の気象状況の変化と災害の状況

異常豪雨、強風、豪雪などにより鉄道における被害も多様化するとともに、運転見合わせ頻度の増加など輸送障害はかならずしも減少傾向にあるとはいえない。特に降雨に着目すれば、過去10年間の短時間豪雨(80mm/h以上)の年間平均観測回数は、30年以前までの10年間のそれよりも約2倍に増加している<sup>1)</sup>。こうした短時間豪雨だけでなく、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例が多くなっている。このような気象状況の変化により災害の状況も変化しつつある。図1は土砂災害を種類別に分けたうえでその発生割合の変化を示したものである<sup>2)</sup>。同図(a)は1995年からの5年間、(b)は2003年からの5年間における、災害種別ごとの発生割合をそれぞれ示している。両期間を比較すると、発生件数に大差がないものの、最近では、土砂流入・土石流の割合が増加していることがわかる。すなわち、鉄道施設であるのり面への対策が進んだことで線路設備の防災強度が相対的に向上した一方で、鉄道用地外を発生源とする災害の割合が増加しているといえる。このため、今後は鉄道管理用地内の施設だけでなく、部外用地にもよりいっそう目を向けた防災対策が必要といえる。

### 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も防災技術の対象に含まれる。以下では外力別に研究開発の状況を紹介する。

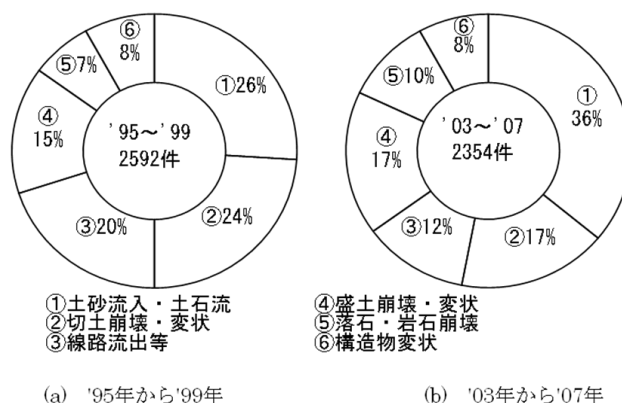


図1 土砂災害の種類別発生割合<sup>2)</sup>

### 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(本日発表)。一方、風速計は適切な位置に設置す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、基準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(本日発表)。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、竜巻に代表されるような突風は、沿線の風速計による観測だけでは確実に捉えることができない現象である。鉄道建設・運輸施設整備支援機構の「運輸分野における基礎的研究推進制度」事業の研究助成を受け、鉄道総研、気象研究所、JR東日本、京都大学との4者の共同研究により小型ドップラーレーダを用いた突風探知のプロトタイプとなるシステム開発と性能確認試験を行ってきた。

鉄道総研では庄内平野に展開した地上気象観測網を用いて、庄内平野の風況と風速変動特性を調べ、冬季に寒冷前線が通過する際に短時間の急激な風速増加が生じて瞬間風速 25m/s 以上に達する事例から、レーダーが上空に渦状のパターンを捉えていることを見いだした。また、鉄道の運行管理に資することを目的とした突風探知システムのプロトタイプ(図2)を提案した。これについては今後実用化に向けた課題の抽出と解決策を見いだす必要があると考えている。

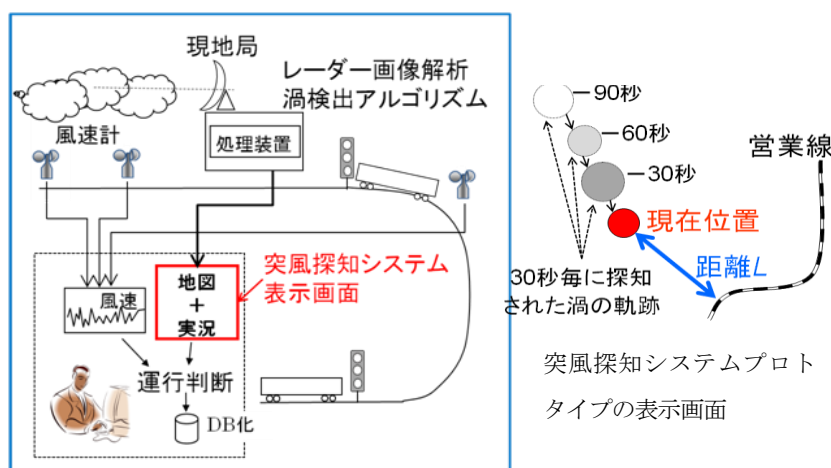


図2 強風監視システムにおける突風探知の役割と表示画面

### 3.2 雪氷災害への対応

積雪寒冷地における走行安全性を確認するため、軌道面に積もった雪の車輪フランジ通過部周辺が氷のように硬くなる(フランジウエイ圧雪)現象について、営業線における測定を行い、圧雪が形成される条件の解明を進めている。また、雪崩災害を未然に防ぐためには、雪崩危険斜面の抽出や警備を実施する時期を適切に判断する必要があり、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(本日発表)。一方、高速列車に対する車両側の対策として、着雪が生じにくい車体形状の検討を行った他、沿線の気象状況から車体へ付着する雪の量を推定する手法を開発している。また、車両先頭部に取り付けるスノープラウについては、模型縮尺を変えた比較試験(図3)を通じて相似則を確認したうえで、側雪が存在しても排雪抵抗力の増加をほぼ伴わず、適正な飛雪分布となるプラウ形状を決定した。



図3 試作したスノープラウの排雪試験

### 3.3 降雨災害への対応

#### (1) 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、実斜面の地下水計測、模型斜面の散水実験、数値解析等を進め、線路に隣接する斜面の地下水が降雨によって時間的・空間的にどのように変化するかを計算し、さらにこの計算結果に基づいて斜面のどの位置がいつ頃不安定化するかを解析するモデルを開発した(図4)。

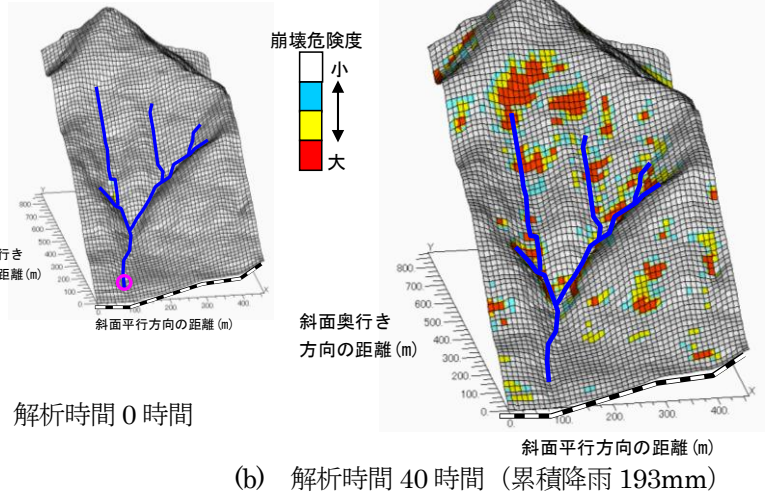


図4 沿線斜面の降雨時安定性計算モデルによる計算結果の例

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、崩壊危険度のみならず、崩壊による被害程度や線区特性(輸送量など)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評価し、防災計画の意思決定を支援する手法の開発(本日発表)を行った。

さらに、既に盛土の降雨対策として、のり面への排水パイプの打設が定着しているが、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施工による耐雨排水効果を定量化し、盛土の立地条件、土質条件などに応じた設計手法の開発を進めている。

#### (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・判定するシステム開発を進めている。

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沿線での被害も、斜面崩壊や河川増水による被害に加えて中小河川の氾濫などに道床バラストの流出、河川の線路横断箇所による越流など被災形態が多様化している。そこで、こうした局所的短時間集中豪雨が鉄道施設にどのような影響を及ぼすかを評価することを目的として周辺地形や鉄道施設状態を考慮した周辺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評価手法の研究開発を進めている。

### 3.4 地震災害への対応

早期地震防災システムは、単独の地震計のP波データ、S波データを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性に直結するため、各種推定アルゴリズムの開発・改良、および新規制御方法の検討を現在実施している。P波データを利用した震央距離、震央方位の推定に関しては、従来より短いタイムウィンドウを用いて純粋なP波成分を解析する手法を開発し、推定精度と即時性が向上することを確認した。また、S波警報に関しては、従来の水平動を対象とした判断指標と、上下動を対象とした判断指標を組み合わせて利用する

ことにより、従来の手法に比べて即時性が向上することを示した（本日発表）。

一方、規制値を超える地震が発生した場合、現状では沿線に設置された各地震計の受け持ち範囲全線の安全確認を行う必要がある。この際、各地震計間の揺れの分布を精度良く推定できれば、安全確認をよりの確かつ効率的に実施することが可能となり、状況によっては運転再開の早期化を図ることができる。上記を目標とし、線路沿いの地盤と構造物の揺れの強さを、常時微動スペクトルや常時微動のH/Vスペクトルの空間的な比の分布を利用して簡便かつ精度良く推定する手法を検討している。現在、上述の概念に基づくプロトタイプシステムを作成すると同時に、地震の連続観測を実施し、手法の検証と課題の抽出を行っている。

### 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

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た場合、その風化層によってのり面工に徐々に負荷がかかり、やがて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を模擬した模型地盤を用いて土圧測定実験を行い、風化層の土圧特性を解明するとともに、切土のり面工の安定性を評価する方法を検討し、地山の風化を考慮した切土のり面工の健全度評価手法とし提案した（本日発表）。

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、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方法と打音測定により危険度を評価する方法を提案した。また、落下する岩塊の風化程度や重さが斜面上での停止しやすさに影響し、斜面の植生占有率が大きいと岩塊が停止しやすいことを明らかにした上で、これらの条件を用いた岩塊の到達範囲の推定方法を示した（本日一部発表）。

### 3.6 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に向けて、基礎的な検討を始めた。

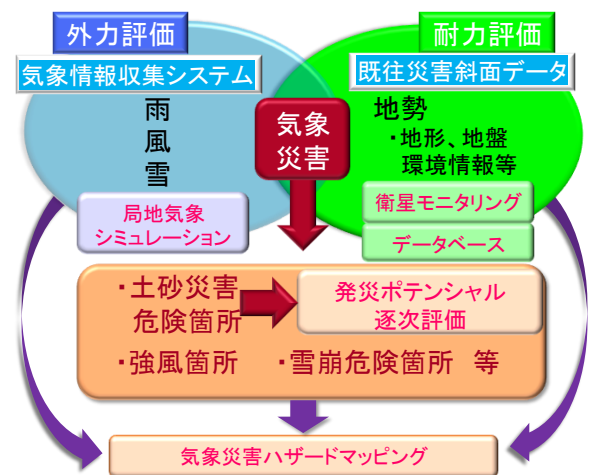


図5 気象災害ハザードマッピングシステムの開発に向けた研究のフレーム

## 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
- 2) 太田直之、杉山友康：災害の推移と今後の防災，日本鉄道施設協会誌，Vol. 47，No. 6，2009. 6.