

防災技術に関する研究開発の現状と展望

木谷 日出男*

Recent State of Research and Development on Disaster Prevention Technology

Hideo KIYA

Some natural external forces generated under the peculiar environmental conditions of Japan cause natural disasters in various forms in combination with the particular condition of each place. Therefore, it is necessary to solve the following problems for development of the disaster prevention technology. ① Evaluation technology of natural external forces based on appropriate measurement, ② Measures technology and a disaster risk evaluation according to particular condition of each place, ③ Construction of overall system for prevention of disasters by combination of the technology mentioned in ① and ② above. This paper explains the recent state and major issues of the research and development in the disaster prevention technological field.

キーワード：防災技術，自然災害，自然外力，降雨災害，地震災害，強風災害，雪氷害，風化

1. はじめに

日本の特殊な地形，地質および気象などの環境条件により発生する様々な自然外力は，それぞれの場の条件との組み合わせにより，多様な形態の自然災害の直接的原因や誘因となっている。このため，防災技術の分野では，時々刻々変化する自然外力と，問題となる場所や区間の災害の起こり易さの程度をそれぞれ把握することが重要な課題となる。

本解説では，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，主に対象とする外力ごとに整理して紹介するとともに，今後の展望について述べる。

2. 防災技術分野の技術的課題

防災技術は，過去の多くの災害から得た知見や，これを契機として進められた技術開発に基づいて発展してきた経緯がある。しかしながら，未だに台風や大地震などの自然災害に対しては，鉄道被害を完全に防止することはできない状況にある。このため，防災技術の分野では経験的な知見の蓄積に加え，ハード，ソフトの両面においてさまざまな関連技術を駆使した技術展開を図ることが求められている。

前述の自然外力と場の条件の組み合わせによる自然災害の発生という観点から，その展開は次の大きく3つのフェーズに整理される（図1）。

- ①適切な計測による自然外力の評価技術
- ②沿線各所ごとの条件に応じた対策技術と危険度評価

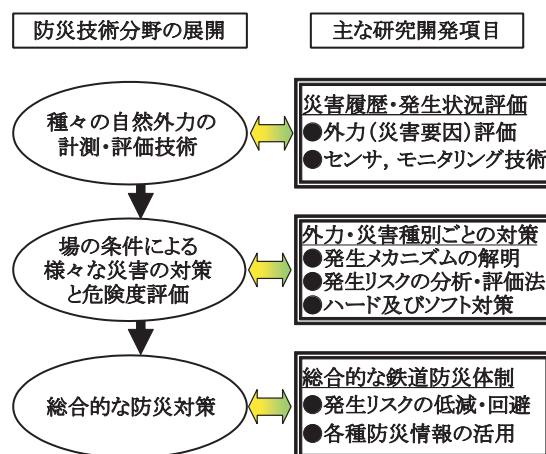


図1 防災技術の展開と主な研究開発項目

③上記①②の組み合わせによる総合防災システムの構築

さらに，図1にこれらに対応する主な研究開発項目を示す。ここで，防災技術の分野で対象とする主な外力としては，降雨（地下水），地震，風，雪氷のほか，自然条件下で進行する風化（暴露による経年劣化を含む）などがある。また，個別箇所の条件とは，鉄道施設の種別による区分や特殊な地形・地質条件など，その場所での災害発生に関わる様々な要因であり，作用する外力の種別により評価の基準となる項目種別やその重要度が異なる。さらに，総合防災システムとは種々の自然外力から鉄道の防災を図るシステムの構築を意図するものである。

3. 防災技術の研究開発の現状と計画

以下に，最近の防災技術に対する取組みを，主な外力別の災害と特殊な地質条件への対応に区分して解説する。

* 防災技術研究部 部長

特集：防災技術

3.1 降雨（地下水）災害への対応

3.1.1 降雨による斜面の崩壊危険度評価手法

降雨や地下水を原因とする斜面災害については、地形を考慮した斜面表層部の地下水変動モデルの研究開発を行っている。これは、線路周辺の地形から、これをメッシュ化した上で外力として時間とともに変化して作用する降雨の斜面内浸透と斜面下方への流下現象をモデル化してメッシュごとの地下水変動とこれと同時に変化する崩壊安全性を予測するものである。基本モデルについてはほぼ完成している¹⁾。現在、計算に必要なパラメータの感度分析を行うとともに、実斜面での地下水計測データと計算モデルを使用した予測値を比較するなど、モデルの精度向上に努めている。さらにこのモデルを利用して、多様な地形、降雨より斜面の安定性の変化を捉え、より適正な運転規制の設定方法の提案を行っていく予定である。

3.1.2 斜面災害に関するリスク評価方法

降雨による斜面災害の危険箇所については、順次必要な箇所からのり面防護工などのハード対策を講じる一方で、降雨量による運転規制を行って列車の安全運行を確保している。このような防災投資の意思決定に資する技術として、斜面の崩壊危険性を確率的に求めることに加えて、様々な線区の特性を考慮することにより斜面の危険性をリスクとして捉えて危険度を評価する手法についての検討および適用性の検証を進めている（詳細は文献2）、3）参照）。今後は、降雨による土砂斜面の崩壊のみならず、落石などを含めた斜面災害全体のリスク評価手法への展開を図る計画である。

3.1.3 河川増水時の橋脚安定度評価方法

個別橋梁の洗掘発生に関する不安定橋梁の評価、抽出方法として、事例調査の分析等に基づく全般検査のための調査表⁴⁾、および詳細な検査段階で活用できる手法を提案した（詳細は文献5）を参照）。

また、河川増水時の橋脚基礎の安定・不安定の判断方法として、橋脚の振動に着目した評価手法を提案した⁶⁾。さらに、この評価技術を応用したモニタリングシステムの試作や現地試験による検討を進めている（図2）。

3.2 地震災害への対応

3.2.1 地震災害リスクの評価方法

鉄道の地震防災では、事前に施設の耐震性を向上させて被害発生を防止するとともに、あわせて地震発生時には迅速かつ適切に列車運行を制御し、被害の軽減を図ることが重要となる。現在は、こうした地震災害に対するリスクの分析や評価方法の基礎的検討を行っており、その一環として、公的機関が公開している地震ハザードに関する各種面的情報の活用方法、常時微動を用いた地盤の地震動増幅特性の評価方法、地震動の周波数特性を考慮した構造物の被害推定方法および構造物の地震応答特

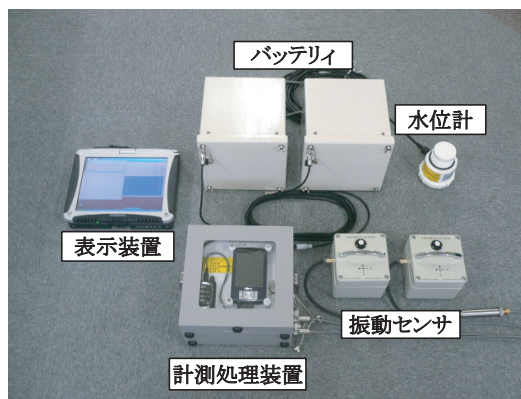


図2 試作した橋脚基礎の健全性評価システム

性に基づく列車走行安全性の評価方法などを考案した⁷⁾。

3.2.2 緊急地震速報システム

気象庁と鉄道総研で共同研究した早期地震検知手法を用いて、気象庁では現在、緊急地震速報を配信している。鉄道総研ではこの速報を用いた早期地震防災システムを開発、実用化している⁸⁾。現在、JR在来線や大手民鉄、公営鉄道を中心に高機能で信頼性の高いシステムが導入されているが、今後は中小民鉄線等への普及を図るため、よりシンプルなシステムの開発も進めている⁹⁾。

3.2.3 運転再開支援システム

地震で列車を停止した後は、迅速に沿線の安全性を確認し、速やかに復旧（運転再開）して、安定輸送の確保に努めなければならない。そこで、地震後に公的機関が配信する面的な地震動情報の有効な活用方法について、関係機関と共同で研究を進めている。その一環として、地震の規模を示す指標として、従来のマグニチュードのほか、任意の場所での震度や地震動の周波数特性を精度よく推定するための新たな震源指標を提案した（詳細は文献10）を参照）。

3.3 強風災害への対応

3.3.1 自然風中における車両に働く空気力評価法

自然風下における車両の転覆限界風速を評価する方法の検討を進めている。自然風下を走行する車両に働く空気力を精度良く評価することを目的として、実物大の車両模型を用いた研究を進めてきた¹¹⁾。現在、風洞試験による変動風中の空気力評価手法の精度向上を目指して、空気力係数の諸特性を考慮した計測データの解析を行い、転覆限界風速の評価を行ううえでの風速と空気力の関係について検討している。

3.3.2 強風特性による運転規制方法

長期間にわたる自然風の観測データを解析し、その特性を抽出した。特に、小さな風速値から短時間に大きな風速値になるときの風速増加特性に着目して、この特性を運転規制に反映する場合の考え方を整理した¹²⁾。また、強風発生確率に基づく列車の安全性評価（詳細は文

献13)参照), 周辺地形が変化する長大区間での風向別運転規制方法の適用性, 運転規制区間や風速計配置の最適化, 等について研究を進めている。

3.3.3 強風箇所の抽出方法

鉄道沿線の強風の再現期待値を求める手法の研究開発を行った¹⁴⁾。本手法の活用例として, 図3に架空の線区における最大瞬間風速の再現期待値が転覆限界風速以上となる再現期間の算出結果例を示す。図より, 同じ規制区間内で規制用風速計設置箇所のほかに転覆限界風速以上の風速が生じる事象の再現期間が短く, 傾向が大きく異なる箇所(○で示す箇所)がある。これらの箇所を風速計設置位置とすることにより, 強風の見逃しを防止するとともに, 適切な規制線区の設定が可能となる等, 運転規制用風速計の設置箇所や運転規制区間の検討の際の客観的な根拠となることが期待される。

3.3.4 強風時運転規制のための風観測方法

軌道の直近に風速計を取り付けた場合には, その時の風向に応じて, 構造物の周りの乱れに伴う過大あるいは過小な風速を観測することが知られている。そこで, 風洞試験ならびに現地試験により, 線路構造物に対する相対的な位置と風向に応じた風速の増速率を求めるための研究を進めている。これにより, 線路構造物の影響を考慮した接近流風速へのより高い精度での換算が可能となり, その成果に基づいた運転規制への活用が期待される。

3.4 雪氷害への対応

3.4.1 雪崩警備方法の検討

鉄道における雪崩危険斜面の抽出方法や警備時期の決定について客観的な判定基準を提案することを目的として研究開発している。これまでに判定基準として, 統計的手法による雪崩危険度算定式等を提案した¹⁵⁾。現在は, 一般的な気象情報を利用した雪崩警備時期の設定方法について検討している。

3.4.2 濡れ雪の雪質と舞い上がり現象の解明

散水区間における運転規制の適正化のため, 濡れ雪の物理的性状と列車走行に伴う舞い上がり現象の発生との関係を明らかにする研究を進めている。

3.4.3 台車着氷雪量の低減方法

平滑化が困難な台車およびその周辺部に対する着氷雪量の低減を目指して, 空気の流れを考慮に入れた, 台車近傍の局所的な形状変更の研究を進めている。

数値計算および風洞実験の結果では, 空気の流れを台車の外側に向けることで台車周辺部に流れ込む雪粒子の数を低減できることが確認されたことから, 実台車における着氷雪の成長を制御する効果が期待される(詳細は文献16)参照)。

3.4.4 新幹線走行時の排雪抵抗力の評価方法

多雪地域に対応したスノープラウの開発を目的とし

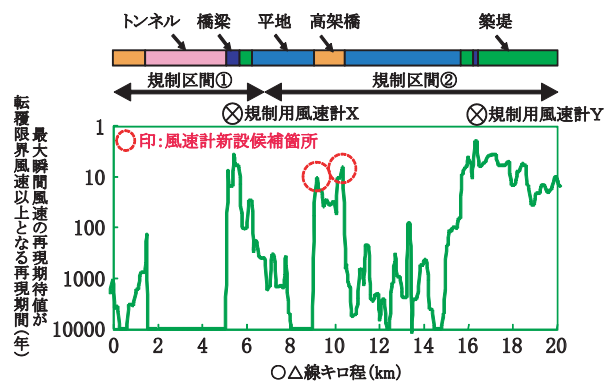


図3 強風箇所の表現と活用例

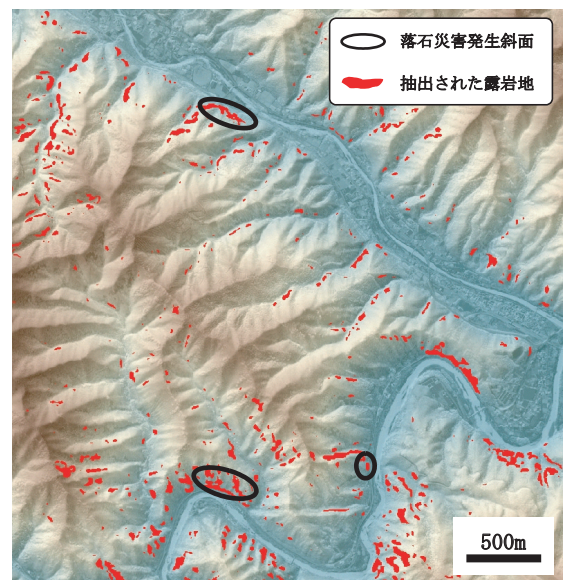


図4 露岩抽出結果

て, 模型実験や数値解析による排雪抵抗力および排雪性能に関する評価方法の検討に取り組んでいる(詳細は文献17)参照)。

3.5 風化(経年劣化)に伴う災害等への対応

3.5.1 岩盤斜面の崩壊危険度評価方法

岩盤斜面で発生する落石の危険度を客観的, 定量的に把握, 抽出することを目的に, 数値標高データや衛星画像による評価方法の研究開発を行っている。その成果として図4に示すように, 数値標高データから落石の発生源となる露岩分布位置を抽出する手法を確立した¹⁸⁾。また, 不安定な状態の岩盤中における不連続面の引張強度について, 測定方法, 風化状況や弾性波速度との関係等を明らかにした。さらに, 風化の進行と岩石の化学組成の変化の対応を検討したうえで, これらの成果に基づく危険度評価方法の開発を進めている¹⁹⁾。

3.5.2 切土のり面工の健全度評価方法

張コンクリートや吹付工など, 切土のり面工自体の老朽化や背面地山の風化の進行によるのり面工の健全性を評価する手法の研究開発を進めている。これまでに, 変

特集：防災技術

状が発生している斜面の実態調査や、地山の風化層がのり面工に作用することによる土圧特性を把握するための模型のり面を用いた土圧実験等を実施した。

今後、実験から得た風化層の土圧式によるのり面工の安定度評価手法を開発する予定である。さらに、切土のり面工背後の地山の検査手法としての物理探査手法の適用性について、現地実験による検討を進めている。

3.6 特殊な地質の評価

3.6.1 泥岩の溶出特性評価方法

都市部などに分布する泥岩の掘削工事に伴い、掘削残土処分地から重金属等を含んだ酸性の水が溶出することが知られている。このような特殊な環境条件の評価方法の検討から、岩石と水の反応を計算することにより、酸性水の溶出期間を予測できることがわかった²⁰⁾。

今後は、地盤中での酸性水の拡散を考慮した調査や地山評価の手法についての研究開発を進める予定である。

3.6.2 不均質な砂質土地盤の評価方法

砂質土地盤は一般に不均質性が高く、建設時や供用後の構造物の不安定化に強く関与することが知られている。この問題に関する評価手法を確立するために、透水係数などの物性値のばらつきが構造物周辺の地下水分布に与える影響などを検討し、砂質土地盤の調査や評価の際の留意事項を整理した（詳細は文献21)参照）。

4. おわりに

以上、防災技術の研究開発の現状と今後の展開について紹介した。それぞれの自然外力や場の条件ごとに研究開発のフェーズは異なるものの、今後とも鉄道の安全という共通の目的において総合的な鉄道防災体制の構築に向けた技術課題の解決を進める必要がある。その際に重要なことは、発生危険度等を共通の尺度で評価できる技術の開発である。その一つの可能性として、確率的危険度評価技術の導入等があり、これまで蓄積した知見との組み合わせによって鉄道のさらなる安全・安定輸送に資する防災技術の展開を図る計画である。

文 献

1) 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
 2) 杉山友康, 布川修, 太田直之: 降雨による斜面崩壊発生確率の算定方法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.11-16, 2009
 3) 布川修, 杉山友康, 太田直之: 降雨による斜面災害に対する防災投資の意思決定支援手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.17-22, 2009

4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編基礎構造物・抗土圧構造物), pp.99-108, 2007
 5) 佐溝昌彦, 輿水聡, 森大樹, 杉山友康: 洗掘災害発生要因の分析と洗掘要注意橋りょう抽出手法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.23-28, 2009
 6) 渡邊諭, 佐溝昌彦, 淵脇晃, 杉山友康: 微動から得られる固有振動数を用いた増水時の橋脚健全度評価, 鉄道総研報告, Vol.21, No.1, pp.31-36, 2007
 7) 是永将宏, 室野剛隆, 野上雄太, 宮本岳史: 鉄道の地震災害を予測する, RRR, Vol.65, No.12, pp.28-311, 2008
 8) 芦谷公稔, 佐藤新二, 岩田直泰, 是永将宏, 中村洋光: 鉄道の地震警報システムにおける緊急地震速報の活用, 物理探査, Vol.60, No.5, pp.387-397, 2007
 9) 芦谷公稔: 緊急地震速報システムの普及を図る, RRR, Vol.65, No.12, pp.32-35, 2008
 10) 山本俊六, 堀内茂木: 新たな震源指標と鉄道分野での利用方法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.41-46, 2009
 11) 日比野有, 今井俊昭, 種本勝二: 自然風下の実物大車両模型に働く空気力の観測, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, 2004
 12) 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 風速の時間変動を考慮した強風時運転規制の評価法, 鉄道総研報告, Vol.21, No.1, pp.13-18, 2007
 13) 今井俊昭, 荒木啓司, 福原隆彰: 規制区間で列車が強風に遭遇する確率の評価方法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.5-10, 2009
 14) 今井俊昭: 強風に対する警戒が必要な箇所を探しだす, RRR, Vol.65, No.12, pp.12-15, 2008
 15) 新山純一, 松田宏, 飯倉茂弘, 河島克久, 藤井俊茂: 東北新幹線盛岡・八戸間のなだれ危険度評価とその工学的意義, 日本雪工学会誌, Vol.19, No.2, pp.91-101, 2004
 16) 宋戸真也, 中出孝次, 井門敦志, 飯倉茂弘, 鎌田慈, 遠藤徹, 根本柁樹, 小杉健二, 佐藤威: 鉄道車両台車部の着氷雪低減デフレクターの開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.29-34, 2009
 17) 中島大智, 鎌田慈: 模型実験によるスノーブラウの排雪抵抗評価方法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.35-40, 2009
 18) 長谷川淳, 太田岳洋: 斜面災害の発生源を空から探る, RRR, pp.36-39, 2008
 19) 川越健, 浦越拓野, 太田岳洋, 榎本秀明: 岩盤斜面の安定性に係わる不連続面の引張強度に関する検討, 鉄道総研報告, Vol.21, No.1, pp.49-54, 2007
 20) 太田岳洋: 泥岩掘削残土からの酸性水の溶出持続性, 日本応用地質学会平成19年度研究発表会講演論文集, pp.79-80, 2007
 21) 川越健, 浦越拓野, 太田岳洋, 井浦智実: 地層区分を考慮した砂質土地盤における物性値の評価, 鉄道総研報告, Vol.23, No.3, pp.47-52, 2009