

防災技術に関する最近の研究開発と展望

木谷 日出男*

Recent State of Research and Development on Disaster Prevention Technology

Hideo KIYA

Some natural external forces generated in these peculiar environmental features in Japan cause natural disasters in various forms as combined with the condition of each location. Therefore, it is necessary to estimate the conditions of each location, and take appropriate measures against external forces independently, for safe operations of the railway. In addition, the construction of overall system for the prevention of disasters is essential by concentrating the technology of each external force. This paper explains the recent state and the issues of the research and development in a disaster prevention technological field.

キーワード：防災技術，自然災害，降雨災害，地震災害，強風災害，雪氷害，風化

1. はじめに

日本は急峻な地形や活動性の高い地質環境，地域ごとに異なる気象条件など，多様な自然環境条件で特徴づけられる。これらの自然環境条件は，様々な外力として自然災害の直接的な原因や誘因となり，あるいは自然由来の環境に関わる素因として多様な形態の被害や問題の発生をもたらす。このため，防災技術には種々の外力に対する総合的な対策を図ることや，素因となる自然条件の適切な把握が求められる。ここでは，鉄道総研の防災技術に関する最近の主な研究開発の概要を対象とする外力や素因ごとに紹介したうえで，総合的な防災体制の構築に向けた今後の展望について述べる。

2. 最近の研究開発

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，風化（暴露による経年劣化を含む）などが挙げられる。

2.1 降雨（地下水）災害への対応

2.1.1 斜面の崩壊危険性の評価手法

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するための解析モデルの改良と実斜面での検証など，時間的・場所的に変動する斜面の崩壊危険性を評価する手法の開発を進めている¹⁾。

2.1.2 河川増水時の橋脚安定度評価方法

現地調査結果と被災・出水履歴等のデータによる統計解析に基づき，洗掘要注意橋りょうの判定手法を提案した²⁾。また，河川増水時における橋脚基礎の安定度を，的確かつ安全にリアルタイムで評価・判定する技術として，増水時における橋脚の固有振動数³⁾，さらに橋脚の天端変位量に着目した安定度の評価手法およびシステムの開発を進めている。

2.1.3 斜面災害のリスク評価手法

盛土等を対象とする基礎的な検討として，個別に発生する場合の崩壊の形態と規模の予測方法および降雨被害発生確率のモデル化等の手法を開発した⁴⁾、⁵⁾。さらに，豪雨時に土砂災害が複数箇所が発生する場合や，落石災害に関わる斜面防災計画の意思決定の支援に向けた研究開発を進めている。

2.2 地震災害への対応

2.2.1 早期地震検知・警報システムの高度化

新幹線や気象庁等で実用化している早期地震検知システムのさらなる精度向上策として，直下型地震時の対応方法，巨大地震の即時震源域推定方法，および地震発生直後の安全確認に関する考え方を提案した。また，システムの普及に向けた装置の開発⁶⁾や，地震直後の早期運転再開を支援するシステムの開発を進めている。

2.2.2 広域的な地震災害予測手法

地震災害に関する防災投資や直後の安全確認などに資するため，公的機関の地震情報の活用による構造物被害や列車脱線の危険度予測手法の考え方を提案した⁷⁾。また，早期地震防災システムの防災効果を定量的に評価する手法を提案した。

* 前 防災技術研究部 部長

特集：防災技術

2.3 強風災害への対応

2.3.1 強風特性による運転規制方法

自然風の長期観測データを解析し、短時間で大きな風速値になるときの風速増加特性を運転規制へと展開する際の考え方を整理した。また、強風に対する列車の安全性評価、周辺地形が変化する長い規制区間における風向別運転規制方法の適用性、沿線の構造物種別や強風頻度を考慮した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⁸⁾。

2.3.2 防風対策工の経済的・効果的な配置

安定的な輸送を目指して防風対策工を設備する場合、転覆限界風速を考慮した上で、強風頻度の大きな区間に対策する必要がある。このため、気象条件と周辺地形に基づく強風箇所を抽出する方法を開発した⁹⁾。また、沿線の実測結果に基づく2地点風速の相関性に関する特性を用い、仮想線区での防風柵設置と規制風速緩和の効果を確率的に示す手法を示した。さらに自然風の風速変動特性や対策効果の定量化に向けた研究開発を進めている。

2.4 雪氷害への対応

2.4.1 着落雪被害の軽減方法

降積雪地域を走行する車両への着雪の実態や気象条件との関係を明らかにし、着雪の予測ならびに落雪被害の軽減方法を開発している。また、散水区間における雪の舞い上がりやこれに関連するバラスト飛散の発生について、関連情報の整理や実験的手法により現象の解明や被害軽減に向けた研究を進めている¹⁰⁾。

2.4.2 高速走行時の排雪抵抗の評価試験

多雪地域における降積雪条件、軌道構造に対応したスノーブラウを開発することを目的として、縮尺模型を用いた排雪力測定試験装置による排雪試験に加え、高速度カメラ撮影による解析、および数値解析による形状検討を実施した。それらの結果から、多雪地域に対応可能なスノーブラウのプロトタイプ形状を提案した¹¹⁾。

2.4.3 雪崩警備時期の決定方法

雪崩災害の防止のためには、従来、経験的な判断で行われていた雪崩警備について対象斜面や時期を客観的に判断する方法が必要である。このため、過去の災害履歴調査、現地詳細調査、および実斜面での適用性の検討を実施し、雪崩警備時期の決定方法を提案した¹²⁾。

2.5 風化に伴う災害等への対応

2.5.1 岩盤斜面の崩壊危険度評価

岩盤斜面を対象として、落石等の危険箇所を数値標高データや衛星画像を用いて抽出する研究を進めてきた¹³⁾。また、不安定な状態で斜面内に見られる岩塊の割れ目や風化状況について、弾性波速度や化学組成等との関係を明らかにした¹⁴⁾。さらに、現場詳細調査等による崩

壊形態ごとの定量的な崩壊発生危険度評価指標の検討、安定性解析手法の適用性などの検討を進めている。

2.5.2 切土のり面工の健全度評価方法

切土のり面に施工された張コンクリートや吹付工などの対策工自体の老朽化や背面地山の風化の進行によって、のり面の健全性が低下する場合がある。そこで、古い切土のり面工の現地実態調査、モデル実験、および現地での各種物理探査などを実施して、健全性を評価する手法の開発を進めている¹⁵⁾。

3. 防災技術分野における今後の技術開発

図1に総合的な防災対策に向けた防災技術の展開とそのための技術開発項目を示す。今後の展開を図るうえで重要なことは、前章までに紹介したように多岐にわたる自然災害への対応や技術課題の解決を図ることである。一方、現状では地域性や災害種別ごとの特徴によって異なる危険度の評価の考え方など、総合的な鉄道防災体制の構築にはいくつかの課題が残されている。ここでは、今後の防災技術分野における技術開発項目として、リスクマネジメント支援技術、および各種自然災害に対する総合的な鉄道防災体制構築のための支援技術への取組みについて紹介する。

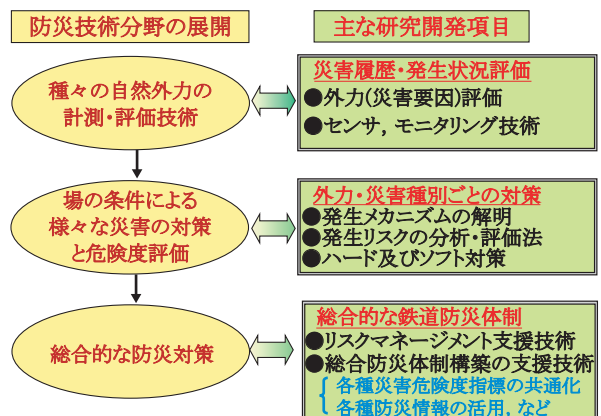


図1 防災技術分野の展開と主な研究開発項目

3.1 リスクマネジメント支援技術

リスクマネジメントとは、一般に対象とする事業等においてリスクを顕在化し、そのリスクを減らす具体的、かつ効果的な対策（保有、低減、回避、移転）を検討、実施するもので、事業者の経営的な判断や各種の投資計画の立案等に用いられる。以下に、現在研究開発を進めている斜面災害に関わる手法（前述の2.1.3）を例として紹介する。

鉄道事業者が必要な防災対策を講じる場合、線区の輸送密度等の特性も重要な判断資料の一つとなる。しかしながら、実際には線区の特性と降雨に対する斜面の耐久性の両面を考慮して経験的に崩壊防止工などのハード対

策や運転規制の基準値が決定されているのが実情である。そこで、実際に運転支障や被害発生に至る災害リスクを定量的に分析、評価したうえで、防災計画のための判断資料とすることを目的とした手法の確立をめざして検討を進めている。例えば、自然斜面や切取り面区間における具体的な算定方法として、鉄道総研では斜面ごとの限界雨量による評価手法で斜面崩壊危険度を求めた上で、その斜面の過去の降雨履歴から崩壊危険度と実際の運転規制値を踏まえて設定した斜面崩壊による被害の発生確率を算出し、これと被害が発生したときの損失額からその斜面の持つ年間損失額（リスク）を求める方法を提案している⁵⁾。

この手法の活用方法については、図2に示すように、(a)個別斜面のリスクの比較や対策工によるリスク低減効果の定量化が可能になるとともに、(b)防災投資効果を対策工実施後の年間リスクの低減により具体的に算出することが可能となり、種々の判断を要する鉄道防災における防災投資計画の有効な基礎的資料としての活用が期待される。

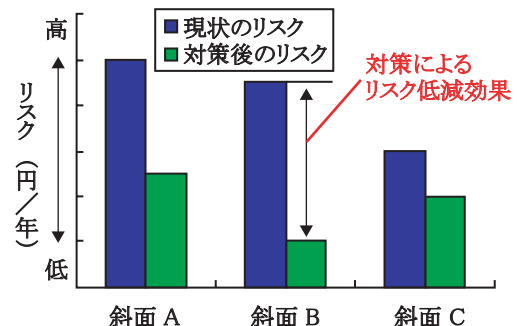
ところで、この投資効果を考える場合、異なる種別の斜面災害を扱うのと同様に、さらに種別の異なる自然外力による複数の災害への対応を同時に検討する必要が生じる場合も想定される。この際には、従来の危険度評価技術では直接的にこれらと比較することは困難な場合が多い。この点で、リスクを算定する過程で必要となる発生危険度の分析・評価技術（リスクアセスメント）、つまり各種の現象を確率モデル化し、具体的な発生確率やリスクとしてそれぞれの危険度を求めることができれば、災害種別に関わりなく少なくとも同じ次元数の量として比較が可能となる。

現状では、様々な災害種別ごとに同様な精度でのモデル化の検討は進んでおらず、さらに、各種災害の危険度指標には様々な仮定や工学的な判断を伴う段階にある。しかしながら今後の展望として、その精度を十分に評価

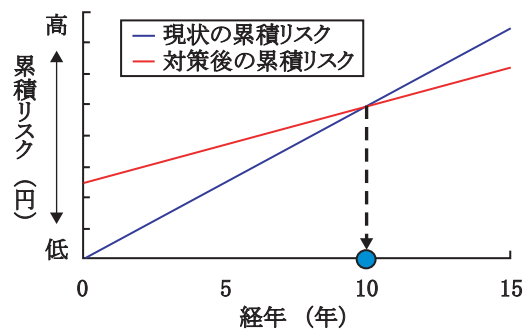
したうえで、総合的な防災技術の分野における共通する危険度評価指標として活用されることが期待される。

3.2 総合防災体制構築のための支援技術

前節で述べた各種災害の危険度指標の共通化は、例えばある線区で発生する可能性がある複数の災害について、どのような条件の場合にどの程度の外力が作用すると別に設定される“危険”と判断される基準値を超えるかが分かり、その外力の発生期待値に基づいた位置や線区



(a) 対策工による個別斜面のリスク低減効果



(b) 防災投資効果：現状からの累積リスクが対策後の累積リスクを上回る年数

図2 降雨災害に適用するリスク評価結果の活用例⁵⁾

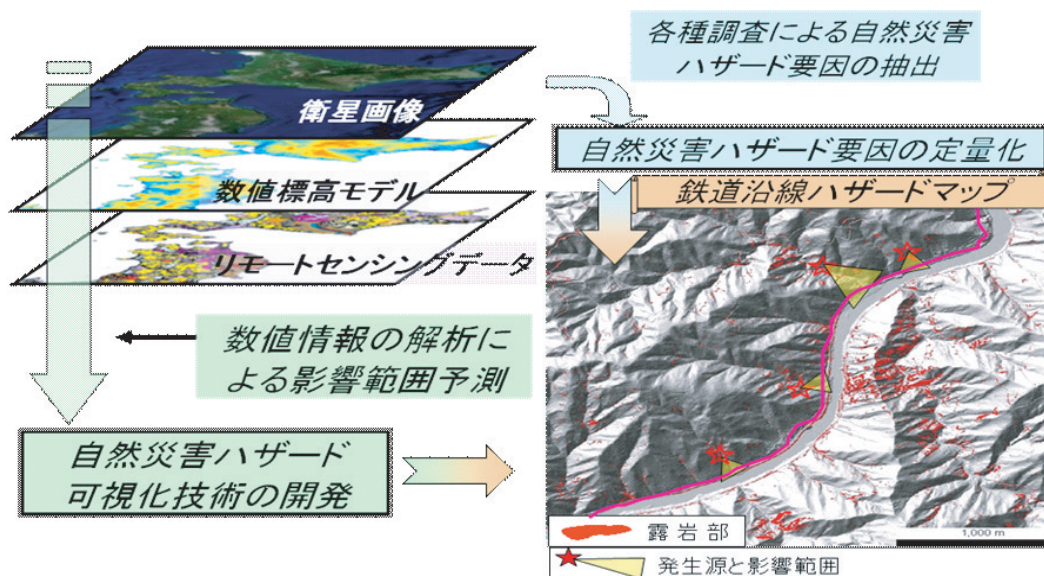


図3 鉄道沿線ハザードマップのイメージ

特集：防災技術

における発生確率分布として算出、図化することも可能となる。このような、複数の災害ハザードの危険度分布を平面的、あるいは影響区間（線路範囲）として図化することは、防災対策の支援技術として有効な手法になると考える。また、この際に落石災害等を対象とした衛星情報や数値標高モデルによる高精度な広域モニタリング技術の実現を図ることができれば、前述の発生源の抽出技術¹³⁾と重ね合わせることで鉄道沿線のハザードマップとすることが可能となる。図3に現在検討を開始した鉄道沿線ハザードマップの検討段階のイメージを示す。その主な検討課題は、①自然災害ハザード要因の定量化技術、②自然災害ハザードの可視化技術、の開発である。

さらに、今後検討を進める必要のある研究開発項目として、主に公的機関から配信される気象情報等の各種防災に関わる情報の活用がある^{16), 17)}。既に気象庁を中心に気象情報を含む様々な防災情報が提供、配信されている。また、例えば突風探知のための新たな取組み¹⁸⁾など、これらの情報は今後さらにその精度や発信頻度等の向上が期待され、上述のハザードマップに関するシステムの基本構成に組み込むことでより精緻に各種災害危険度に関する面的情報の取得を可能にする。この場合、その場の状態がデータベース化（GIS化）等で既知であれば、急速に変化する自然外力を短い時間間隔で取得することにより、その場の状態変化を高い精度で逐次推定、監視できる可能性がある。

4. おわりに

以上のように、防災技術分野は鉄道輸送における安全性の向上を第一義の目的として様々な課題に取り組んでいる。今後このような安全に向けた貢献を社会に向けて発信し、理解を得るように努めることも鉄道システムの信頼を得るうえで重要となる。その一つの手段として、リスクマネジメント支援技術の開発とその導入を進める必要があると考える。すなわち、直接的にはあくまで経営判断等に資するものであるが、合わせてリスクコミュニケーションによる社会への働きかけや説明する場合の方法などにも十分な配慮をしながら社会的受容の形成を進めることで、リスクアセスメントによる客観的な防災強度への理解を図る必要がある。

また、総合防災体制の構築に向けた技術開発のためには、従来からの鉄道防災技術の向上を図りながら、さらに今後の進展が期待できる技術や新技術の導入を推進することが重要であると考えられる。

これらの技術課題を進めるにあたり、防災技術分野では今後とも技術継承を重要な課題と位置付け、これを支援する必要がある。さらに、技術者の客観的判断に資する技術展開を図ることで、より安全・安定な鉄道システムの構築に貢献したいと考える。

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位変動予測と安定性評価, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.17-21, 2010
- 2) 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
- 3) 渡邊論, 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 是永将宏: 衛星放送を利用した移動体用の緊急地震速報受信装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.5-10, 2010
- 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) 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
- 9) 荒木啓司, 今井俊昭, 福原隆彰: 数値解析手法を用いた鉄道沿線における強風箇所抽出方法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.29-34, 2010
- 10) 飯倉茂弘, 鎌田慈, 宍戸真也, 遠藤徹, 斎藤実俊, 井門敦志, 梶山博司, 藤井俊茂: 散水時の積雪密度及び含水率と舞い上がり発生速度の推定, 鉄道総研報告, Vol.22, No.1, pp.11-16, 2008
- 11) 鎌田慈, 宍戸真也, 中嶋大智, 栗原靖, 高橋大介, 遠藤徹, 飯倉茂弘: 多雪地域対応型スノープラウ形状の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.35-40, 2010
- 12) 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
- 13) 長谷川淳, 太田岳洋: 斜面災害の発生源を空から探る, RRR, Vol.65, No.1, pp.36-39, 2008
- 14) 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
- 15) 太田直之, 高柳剛, 杉山友康, 輿水聡: 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.35-40, 2010
- 16) 内閣府: 平成21年度防災白書, 2009
- 17) 国土交通省 気象庁: 気象業務はいま, 2009
- 18) 楠研一, 猪上華子: 突風を探知する, RRR, Vol.65, No.12, pp.8-11, 2008