

鉄道の防災技術

鉄道一般

車両

施設

電気

運転・輸送

防災

環境

人間科学

浮上式鉄道



太田 直之
Naoyuki Ota

防災技術研究部 部長
[専門分野] 地盤工学, 土砂災害,
災害復旧

切迫度を増す巨大地震や、気候変動に起因すると考えられる記録的大雨の頻発など、我が国の鉄道はさまざまな自然災害の脅威にさらされています。ここでは、発生頻度が高い豪雨災害に焦点をあて、近年の豪雨の特徴とそれによって引き起こされる被災形態をあげ、そこから見えてくる課題を整理しました。そのうえで、これらの課題を解決するために取り組んできた技術開発について紹介します。また、これらの技術の利用法と将来の防災技術への展開について言及します。

はじめに

中緯度に位置し、ほぼ温帯に属している日本列島は、明瞭な四季の移り変わりの恩恵を受ける一方で、夏から秋にかけての台風や冬の豪雪など、日本が属する気候に起因する災害に毎年のように見舞われています。また、日本列島は4つのプレート（図1参照）が接する位置にあるため、日本とその周辺は世界でも有数の地震地帯となっています。さらに、プレートの境界で発

生する地震の原因とされるプレートの地球内部への沈み込みは、その動きによって周囲にマグマだまりを生じやすく、このような箇所には多くの火山が形成されます。すなわち、複数のプレートが接する位置にある日本は、火山の数においてもまた世界有数であるといえます。

このように、日本は雨、雪、地震、火山など、さまざまな自然災害が発生しう条件にあり、このような条件に

ある日本の鉄道には、災害に対応したシステム作りが求められてきました。ここでは、豪雨災害がもたらした最近の被災事例を紹介したうえで、とくに災害発生の頻度が高い降雨災害のなかでも短時間強雨を対象とした技術開発について、取り組みを紹介します。

近年の豪雨の特徴

近年、「ゲリラ豪雨」とよばれる狭い範囲に突然降るきわめて強い雨や、同一地域に次々と積乱雲が生じて集中的に強い雨を降らす「線状降水帯」による災害のニュースに触れることが増えています。2017年7月に発生した九州北部豪雨もそのひとつです。この豪雨は、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線に向かって暖かく非常に湿った空

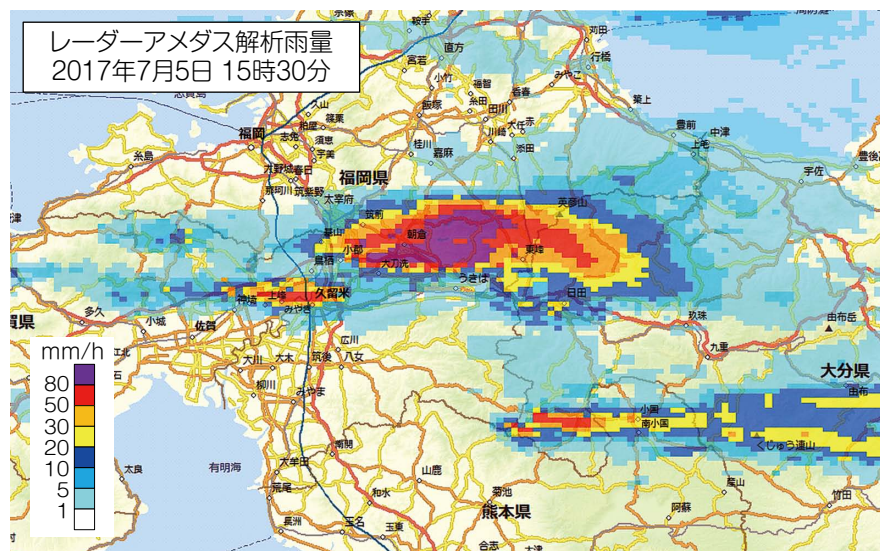


図1 2017年7月九州北部豪雨の降雨分布

プレート

地球は、中心から外側に向かって、核、マントル、地殻で構成されています。このマントルのうち、地殻に近く硬い板状の岩盤部分をプレートとよびます。地球の表面は複数のプレートで覆われています。



図2 2017年7月九州北部豪雨で被災した橋りょう

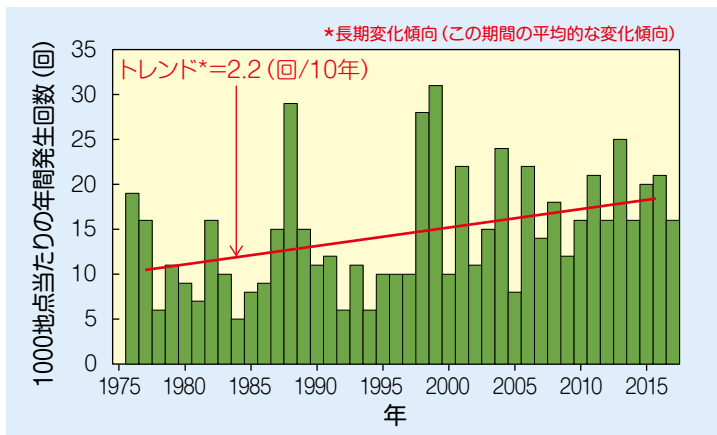


図3 全国の1時間降水量80mm以上の年間発生回数の経年変化(1976~2017年)

気が流れ込んだため、九州北部に図1のような線状降水帯が形成・維持され、福岡県朝倉市では最大1時間雨量129.5mm、7月5日から6日までの総雨量が586mmに達するなど、未曾有の豪雨が記録されました。この豪雨によって、九州北部地域に甚大な被害をもたらされましたが、鉄道でも図2のような橋りょうが倒壊する被害や土砂流入などの被害が多数発生しました。

この災害をもたらした降雨は、7月5日12時までの1時間では17.5mmとやや強い程度の雨でしたが、次の1時間では88.5mmと急増しました。このように、九州北部豪雨の雨は急激に降った「激しい雨」または「猛烈な雨」(☞参照)が数時間連続したため、河川では著しい増水が生じ、山間部では多くの沢で土石流が発生したと推定されます。ここで注目すべきは、1時間当たりの雨の量です。降雨による災害は、

短時間に強く降る雨(短時間強雨)による被災ケースと、1時間当たりの雨はそれほど多くないものの断続的に長時間にわたって降り続く雨により被災するケースの、大きく分けて二種類があります。このうち九州北部豪雨は前者に分類されます。近年、この短時間に強く降る雨が増え、また、それによる被災事例が増加する傾向があります。

上記の傾向を示す図3のようなデータが気象庁から発表されています¹⁾。図が示すように、80mm/hを超える猛烈な雨が降る回数は増加する傾向にあることがわかります。このような短時間強雨の増加傾向は気候変動と関連付けられることが多く、地球規模の気候変動によりもたらされるさまざまな影響のうち、日本で注意すべき課題のひとつととらえられています。国際的な気候評価組織であるIPCC(☞参照)では温暖化の傾向は今後も継続すると

予測されており、短時間強雨の増加傾向も顕著化すると予想されます。

防災上の課題

短時間強雨により発生することが予想される被災形態をいくつか例示します。ひとつは増水による橋脚基礎周辺地盤の洗堀とそれによる橋りょうの傾斜や沈下または倒壊などです。日本の鉄道橋りょうは、大正から昭和のはじめ頃にかけて集中的に建設されました。そのため施工時から100年近く経過した橋りょうの中には、川の流れが施工当時と変わっているものが少なからずあり、そのような橋りょうでは大雨による河川の増水によって洗堀災害が発生する場合があります。洗堀への対処として、河川水位による運転規制が実施されていますが、水位が低下するまでには相応の時間がかかるため、増水時の橋脚の健全度評価方法が必要とされています。

また、増水は橋りょうの洗堀だけでなく、氾濫などの被害をもたらします。とくに都市部では、大きな河川だけでなく小河川や水路から水があふれ出る可能性があります。また、未経験な強雨の場合、これまで冠水しなかった箇所で冠水が発生して、たとえば列車の待避箇所が浸水することがあるかもしれません。列車が浸水した場合、冠水

☞ 雨の強さを示す用語

気象庁は雨の強さを示す言葉を予報用語として定義しています。たとえば、30mm～50mmを「激しい雨」、80mm以上を「猛烈な雨」としています。また、それぞれ「バケツをひっくり返したように降る」、「息苦しくなるような圧迫感がある」など人の受けるイメージも示しています。

☞ IPCC

「気候変動に関する政府間パネル」の略称。1988年に世界気象機関と国連環境計画により設立された組織であり、気候変化とその影響や適応および緩和策に関して科学的、技術的、経済学的な見地から包括的な評価を行っています。



図4 増水時の橋脚の健全性評価手法

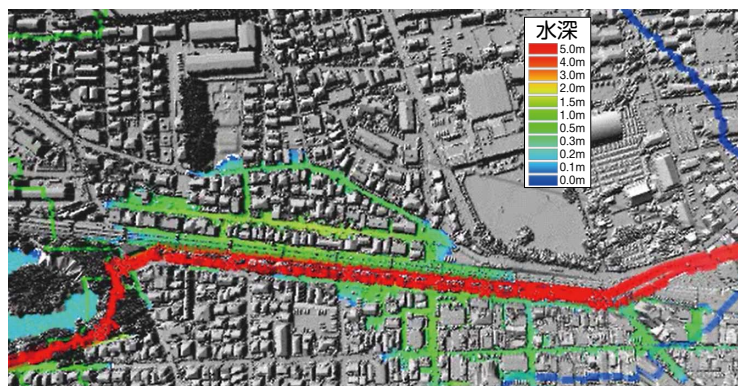


図5 氾濫による浸水域の推定手法

が解消された後も運転再開までに長い時間を要するため、このような事態は避ける必要があります。未経験な強雨に対しても、浸水の可能性がある箇所を推定し、冠水しない箇所へ列車を誘導することが必要と考えられます。

都市部では上記のような被災形態が想定される一方で、中山間地での短時間強雨による典型的な被災形態には土石流があります。土石流は土砂が沢に沿って流下してくるため、その発生源となる斜面崩壊が線路から遠く離れていても被災する可能性があります。したがって、より広い範囲の斜面に対して、土石流の危険性を評価することが必要になります。

課題解決のための技術

増水時の橋脚の健全性評価手法

増水時の河川水の流れは速く、またその水は濁っています。このような状況下で、安全かつ迅速に橋脚の健全度を評価する必要があります。そこで、増水した河川水による橋りょうの振動を利用した橋脚の健全度評価手法を開発してきました。河川内の橋脚は流水によって常に小さく振動しています。この振動は橋脚の形状や構造、橋脚を支える地盤の強度などの条件によって特有の振動性状を示し、その振動数を固有振動数とよびます。固有振動数は流水の強さが変化しても変わりませんが、橋脚を支える地盤の強さが変わる

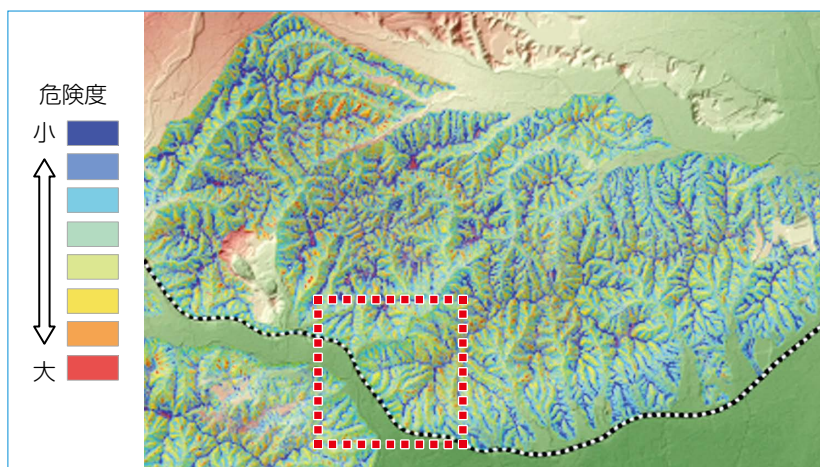


図6 地形および植生の特徴に基づく概略危険度評価
(赤枠内は図7の降雨に対する検討箇所)

と変化します。そこで、この性質を利用し、橋脚上に設置したセンサーで固有振動数を測定して基礎地盤が洗掘されているか否かを評価する手法を開発してきました(図4)。この手法については、これまで、地盤から橋脚へ伝わる振動の影響が大きい場合、その振動に橋脚そのものの振動が埋没してしまう、橋脚の固有振動がとらえられないという課題がありました。そこで、橋脚天端上に設置した2つのセンサーによって得られた振動データにより地盤の振動を推定する手法を考案しました。この地盤振動の推定値を用いることで、地盤振動の影響を除いた橋脚の固有振動数を得ることが可能となります。

この新しい手法は、増水時の橋脚の健全度をリアルタイムに評価することができ、早期復旧に貢献する技術にな

ると考えており、実用化へと展開していきたいと考えています。

氾濫による浸水域の推定手法

豪雨によって浸水しやすい箇所は経験的に認識されているほか、自治体が公開する浸水ハザードマップなどにもまとめられています。ただし、未経験の降雨によって、浸水範囲がどこまで広がるか、また、降雨の終息時に浸水がいつ解消されるかは明らかにされていません。これは、それらの情報は雨の降り方によって千差万別であるため、その範囲や時間を一概に示すことができないことによります。そこで、外部から入手した降雨情報を用い、短時間で氾濫解析を行い、雨の降り方とともない時々刻々と変化する浸水域をパソコン上に表示させるシステムを開発しました。

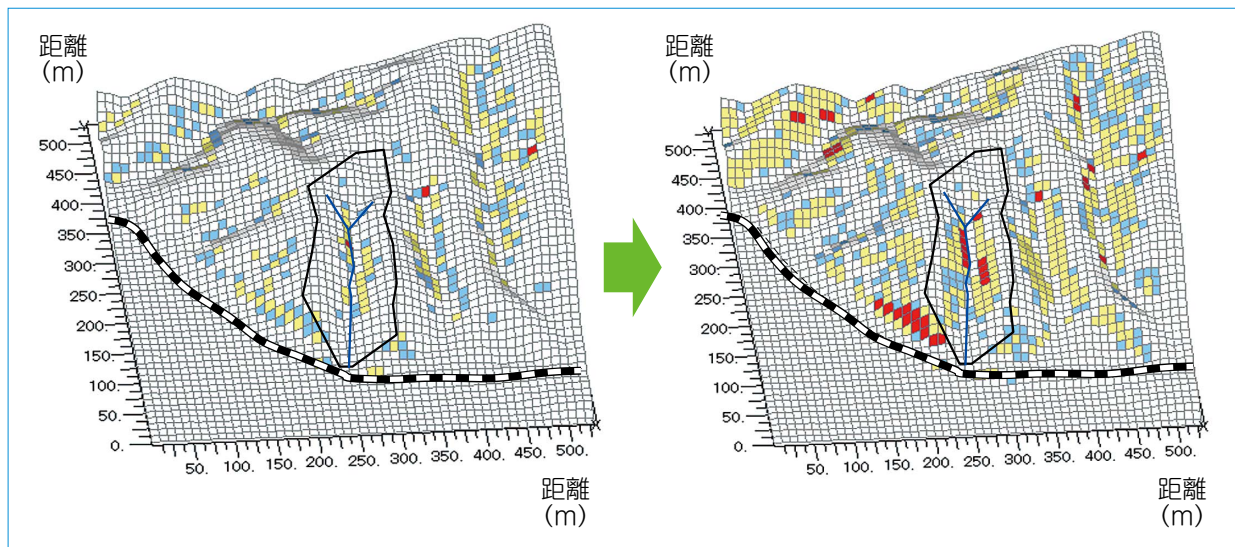


図7 降雨の経時変化に対応した斜面の崩壊危険度評価

図5は解析結果の一例を示していますが、浸水範囲のほかにカラーコンターによって浸水の深さも示しています。この解析ツールでは、^{ふせ}伏びや線路側溝など鉄道固有の排水設備が組み込まれているほか、氾濫が発生した場合に軌道敷が流路となる状況を模擬でき、鉄道周辺の浸水状況を細かく予測することができます。

また現在、この解析ツールを利用して、浸水状況をリアルタイムに表示するシステムを、防災科学技術研究所などと協力して開発を進めています。浸水情報をいち早く展開することを目標として、入力情報に防災科学技術研究所が作成する気象予測情報を利用します。この情報を用いることで1.5時間程度先の予想浸水域を解析し、10分間隔で解析結果を表示します。運転再開のための点検などの手配を早期に進めることができ、ダウンタイムの短縮に貢献できると考えています。

土石流危険箇所の抽出手法

上述のように、土石流災害の多くは、線路から遠く離れた斜面で発生した斜面崩壊による崩土が、豪雨によって増水した沢水とともに流下し線路に至るというケースで占められています。このような線路から離れた斜面の降雨に

よる崩壊危険度を評価する手法を開発しました。

評価には、数値標高モデルを利用します。このモデルの作成手法では、数値標高モデルを利用することで、広域の地形をモデル化し、地形や植生などの情報から斜面の相対的な安定度を概略的に求めます。この広域の地形評価結果を用い、鉄道に向かう方向の沢で、かつ、土石流が発生または流下する可能性がある勾配を有している沢に着目し、その上流域で沢に面した斜面の勾配や植生から崩壊の危険性が高い箇所を抽出します。次に、抽出した斜面(たとえば図6の赤枠内の斜面)に対して、想定される豪雨に対する崩壊の危険度を評価します(図7)。この評価に用いる地形モデルは10m間隔の格子点で構成されており、この格子点を結ぶ縦横10m×10mの矩形要素に分割されています。また、個々の要素は斜面表層の土層として任意の厚さを有しています。このような要素で構成された斜面に降雨の時系列データを入力することで、要素内の地下水位を計算して斜面上のすべりに対する安定度を要素ごとに求めます。

この手法には、計算時間を短くするための工夫を導入しており、時々刻々

と変わる降雨データを入力して、短時間で評価結果を得ることができます。したがって、この手法を利用して外部の気象情報を入力することで、降雨にともなう斜面の不安定度の変化をリアルタイムに評価することも可能です。

おわりに

防災技術のなかでも喫緊の課題として対応が求められている短時間強雨を取り上げ、これに対応する技術について紹介しました。これらは、観測データを基にして短時間でハザードを評価することで運転再開までのダウンタイムを短縮できる技術と考えています。また、将来、自然災害に対応した列車の自律運転を実現する技術としても期待されます。このような展開に向けて、ハザード評価精度の向上に継続的に取り組むことが必要と考えています。

RRR

文献

- 1) 気象庁：全国(アメダス)の1時間降水量80mm以上の年間発生回数， https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html (入手日：2018年6月29日)