

## 厳しさを増す気象現象に対する鉄道防災の取組み

Detection of severe natural phenomena and disaster prevention at railway facilities



水野 光一朗\*



滝澤 彰宏\*



太貫 淳司\*



大澤 裕之\*

This paper describes the detection of severe natural phenomena and disaster prevention at railway facilities operated by East Japan Railway Company (JR East). Recently, weather conditions change quickly and drastically in Japan, and safe and punctual operations might be affected by disaster. Therefore, we utilize systemized and sophisticated observation equipment to detect meteorological phenomena such as heavy rainfall, earthquakes, scouring by flood, heavy snow, and strong wind. Also, we have been developing bearing capacity at the railway facilities, and reducing acting forces caused by disasters. With these actions, we manage mass, rapid, and dense transportation safely and properly.

●キーワード：運転規制、災害、豪雨、落石、豪雪、強風、地震

### 1. はじめに

近年、気象環境が変化し、局地的に短時間で急激に降る雨が増加傾向にあるほか、活断層も活動期にあるといわれ、鉄道の防災の取組みは安全で安定した輸送を将来にわたり継続するためにも重要な備えとして位置づけられる。このため、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本）では、「災害に強い鉄道づくり」を目指し、想定される災害・リスクへの対策を進めている。

JR東日本の鉄道路線では、1日約1,700万人に利用されている。また、首都圏では、他の鉄道事業者との相互直通運転や上野東京ラインなどの直通運転により、乗換の解消や所要時間の短縮が図られている。しかしながら、降雨や地震、強風などの気象現象に対して鉄道の運行の安全性を確保するために運転を取りやめる運転中止、あるいは速度を制限して運転する速度規制を行う必要が生じた場合には、その影響が従来よりも拡大する傾向にある。

JR東日本の防災の取組みは、設備の強化により鉄道路線の気象現象に対する防災強度を高める対策と気象現象をより早く検知して列車の走行安全性を確保する対策とに大別され、両者を組み合わせている。防災強度を高める対策では、路線の特性を踏まえた対策を行うことが肝要で、過去の経験を生かすことが重要である。一方、気象現象を観測する、あるいは予測する機器の高度化が近年は目覚ましく、JR東日本の防災対策にもこれらを組込むことを進めている。

本稿では、これまで継続して対策している取組みや最近の取組みを取り上げ、防災の取組みの目的や効果、対策箇所の考え方について述べる。なお、書面の都合上、地震に対する設備強化の対策は、本稿には記載しない。

### 2. 設備の強化等による防災

気象現象に対する防災強度を確保するためには、雨、河川の増水、雪、風、地震など数多くの気象現象に対して、路線を通じて一定以上の強度を持つ設備として強化を図る必要がある。また、1つの気象現象に対しても、路線環境や鉄道沿線の周辺環境を十分に加味する必要があり、目的を明確にした上で対策を実施することが肝要である。

#### 2.1 降雨対策

集中豪雨や長雨によるのり面の崩壊や線路への土砂の流入、線路の冠水といった降雨による災害は、長期間にわたる輸送の混乱を発生させる大きな要因である。このため、JR東日本では、降雨時に運転規制を発令する区間全体を評価し、運転中止を解消する対策や運転規制を発令する基準値を向上させる対策を実施している。これまで、成田エクスプレスが運行されるルート（総武本線、成田線）や、首都圏を中心とした路線のうち、特にお客さまへの影響の大きい線区を対象に集中的な降雨防災強化工事を実施している<sup>例えは1</sup>。これらの工事では、主に盛土や切土などの斜面の崩壊防止を図るため、コンクリート製の格子枠や抑止杭などを施工した(図1)。また、雨水の流れを良好にするための排水設備の整備や、自然斜面からの土砂の流入を防止するために、柵や覆い工などを設置した。

これまで首都圏において実施した降雨防災強化対策による輸送改善の効果は、①運転中止を解消した路線が8路線・9区間、②運転中止の基準値を向上した路線が2路線・2区間、そして③速度規制の基準値ならびに徐行速度を向上した路線が12路線・14区間である。特に、2004～2008年度



図1 降雨防災強化対策

に対策を実施した路線では、運転規制の基準値の改正前と比較して、運転中止の回数が約8割減少し、速度規制の回数が約4割減少している。

一方、山形新幹線や秋田新幹線といった急峻な山岳区間を有する路線では、山裾を縫うように路線が敷設され、渓谷や地すべりの地形を有している箇所があるほか、大規模な盛土・切土で路線が構成されている箇所もあり、気象現象によるリスクを完全に回避することが難しい。また、設備強化による対策で運転規制の基準値を向上させる場合、抜本的な対策が極めて大規模となる場合がある。さらに、急峻な山岳区間では、鉄道路線へアプローチできる道路が限定されているため、災害時に列車が当該箇所です長時間停車する可能性があるほか、復旧のための資機材の搬入ルートも限定されるため、多くの時間を要することが想定される。以上を背景に、急峻な山岳区間に対しては、災害が発生した際の影響を可能な限り低減することを目的として対策を行っている<sup>2)</sup>。

これらの工事では、災害時に線路内に流入する土砂の量を低減させることが復旧の時間を短縮することに効果的であると考え、吸収するエネルギー量の高い柵や、施工箇所での加工が比較的容易な鋼製枠の土砂止擁壁などを施工している(図2)。



図2 高エネルギー吸収柵による土砂流入量の低減対策

また、復旧時間を短縮するためには、災害が発生した際の規模の把握や、復旧のための資材や要員の準備を早急に行うことが求められる。そのため、山岳区間の災害のリスクが高い箇所については、搬入路や復旧基地などの整備とともに、沿線に定点の監視を行えるカメラを整備している(図3)。



図3 定点監視カメラで撮影された画像

## 2.2 落石対策

落石は個別の現象が数秒程度で終息するため、発生場・発生時刻・規模の定量的な予知・予測が極めて困難であるといわれている。JR東日本では、これまで健全度の判定に基づき、落石による災害を防止する対策を行っており、斜面上の浮石が転動や滑動を生ずることのないようにコンクリートやロックボルトなどを用いて基部に固定する対策や、覆いや柵、擁壁などにより落石から路線を防護する設備を施工している(図4)。特に落石が発生するリスクのある箇所のうち、列車の重大事故となる恐れのある箇所については、重点的な対策を実施している<sup>3)</sup>。



図4 覆い工による落石対策

## 2.3 洗掘対策

橋りょう橋脚や河川護岸の洗掘は、河川の浸食作用により構造物の支持部の安定性が損なわれる現象であり、橋脚や護岸の倒壊につながる可能性がある。日本の国土は平地部

が少なく、豪雨を発生するなど気象条件も厳しいことから洪水が発生しやすい環境にある。また、JR東日本の橋りょうと交差する河川部よりも上流側に治水事業でダムが建設されたほか、高度成長期に砂利が大量に採取されたため、橋りょう付近の河床を構成する土砂が継続的に供給されにくい環境となった。そのため、河川と交差・近接するJR東日本の橋りょうや護岸を対象に、洗掘対策として河床を防護する、あるいは橋脚・護岸を補強する対策を行っている。

これらの工事では、河川や橋りょうの特性のほか、過去の被災事例の分析に基づき、対策方法や範囲などの仕様を定め、コンクリート製のブロックを橋脚周辺の河床に設置するなどの対策を行っている(図5)。



図5 コンクリートブロックによる洗掘対策

## 2.4 豪雪対策

過去の雪による災害や輸送障害の経験から、降雪量や路線環境に応じて、各種の設備を組み合わせた対策を実施している。

### 2.4.1 防雪柵

降雪量が多く、強風が吹く箇所では路線環境によっては吹溜りが発生し、重大な事故につながる可能性がある。この対策として山形新幹線および秋田新幹線を対象に鋼製の防雪柵を設置する対策を行っている(図6)。防雪柵は、風向のほか、地表面や線路からの高さおよび離れなどにより仕様を定めている。なお、夏季には柵を収納できる構造としている。



図6 防雪柵による豪雪対策

### 2.4.2 雪庇防止板

降雪量が多い地域では一晩で大きな積雪になり、特定の方向に風が吹く場合、雪庇が形成され、線路内への落雪の要因となっている。特に、トンネル坑口の上部からの落雪は、線路内に落下した場合、電線に落下することなどにより輸送障害を発生させる可能性がある。従来はトンネル坑口では人力による除雪を繰り返し行ってきたが、豪雪地域では労力の関係から対策の効果には限度があった。以上を背景に、トンネル坑口に鋼製の雪庇防止板を設置する対策を行っている(図7)。これらの工事では、急峻な山岳区間に位置し、トンネルが連続する山形新幹線や秋田新幹線で重点的に対策を進めている。



図7 雪庇防止板による雪対策

### 2.4.3 ストッパーワイヤー

降雪や強風により鉄道路線の木や竹が倒れ、輸送の混乱を発生させる要因となっている。沿線の樹木については地権者と定期的に協議を行って伐採し、降雪期前に対処することを基本としている。生長が早い竹については、伐採の協議を繰り返し実施する必要があるが、伐採の許可が得られないなどの理由により、適切な処置を行えず、倒竹につながる事例があった。以上を背景に、地権者との協議が難航している箇所について、鉄道路線の脇に鋼製の支柱に支持されたワイヤーで降雪時の沿線の樹木の傾斜を抑えるストッパーワイヤーを施工している(図8)。これらの対策では首都圏の



図8 ストッパーワイヤーによる倒木・竹対策

在来線を中心に、中央本線や総武本線、成田線などで工事を行っている。

## 2.4.4 融雪期の斜面災害対策

斜面や盛土に対しては前述の通り、降雨に対する設備強化の対策を行っている。一方で、降雪地域では春先の急激な気温の上昇により雪が解けて多量の水となり、斜面へ流入する水や地下水の量が増加することがある。その結果、斜面内の間隙水圧が上昇して安定性が低下し、斜面が崩壊する災害を発生させる例<sup>4)</sup>。JR東日本では、これらの融雪期の災害を防止する対策として、排水設備の整備や、斜面の崩壊防止を図る対策を行っている(図9)。



図9 融雪期の斜面災害対策

## 2.5 強風対策

強風は、列車脱線事故や輸送障害を生じさせるため、JR東日本では強風時の鉄道の安全性を確保することや輸送障害を緩和することを目的として、防風柵の整備を実施している。これらの工事では、車両に作用する風の力を低減させることを目的として、穴開け加工した鋼板やFRPを用い、風向やレールとの離れなどをもとに仕様を定め、柵を設置している(図10)。



図10 防風柵による強風対策

1991年以降これまで、首都圏を中心に11路線27区間について防風柵を整備している。これらの対策による輸送改善の効果については、2007年以降供用開始した路線(京葉線、武蔵野線、常磐線)では、設置前と比較して、運転中止時間が約5~9割程度減少し、速度規制時間が6~8割程度減少している。

## 2.6 検知装置による対策

自然災害の危険性が高いと思われる箇所に対し、前述のような設備強化の対策を進めている。一方、災害の発生源がJR東日本の所有地の外にある場合など直接的な対策を直ちに実施できない箇所では、検知装置による対策も進めている。

検知装置はセンサーなどを設置した場所で災害が起きた場合に発生を報知し、列車を停止させることで危険を回避するシステムとなっている(図11)。

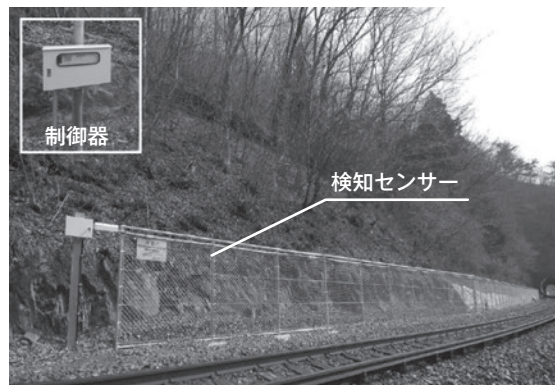


図11 落石検知装置

検知装置には、落石検知装置や、土砂崩壊検知装置、洗掘検知装置などがある。落石検知装置では対策箇所が連続する場合に、最大3,000mの長大区間を検知できる装置を開発している。

## 2.7 鉄道林による防災

鉄道林は鉄道路線の周囲に造成される森林である。設備を強化する対策と同様に、吹雪や、雪崩、降雨による土砂崩壊、落石、飛砂、強風などによる災害を防ぐ効果があり、JR東日本では総面積として約3,900haの鉄道林を有している。最近では、鉄道林に求められる機能に着目した分類を実施するとともに、土地本来の樹種を交えた複数の樹種を採用するなど、多様性があり生態的に強い持続可能な鉄道林とすることで効果的な鉄道林の保全に取り組んでいる(図12)。



図12 鉄道林による吹雪の防止

### 3. 気象現象の観測による防災

JR東日本の鉄道沿線には地震や雨といった気象現象を観測する機器を一定の間隔で配置している。これらの機器を活用した対策としての防災の取組みは、観測機器の高度化やネットワーク化の技術革新が目覚ましく、積極的に活用している。

#### 3.1 新幹線早期地震検知システム

新幹線は高速で運転しているため、地震の発生を早期に検知し、いち早く列車を停止させる措置をとることが極めて重要である。このため、大規模な地震を観測した際に、地震の主要動 (S波) が鉄道沿線に到達するまでに列車を直ちに減速・停止させる「新幹線早期地震検知システム」を構築している (図13)。

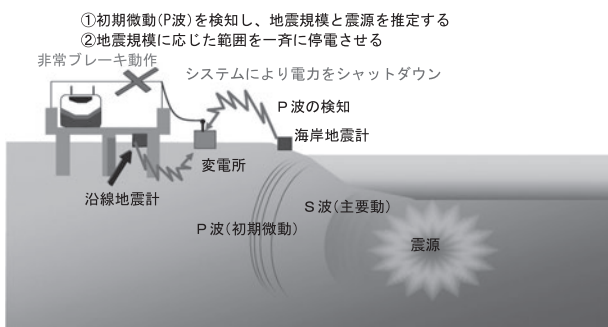


図13 新幹線早期地震検知システムの概略

このシステムでは、早期に地震を検知するために、鉄道沿線だけでなく、海岸や内陸地にも地震計を配置している。また、早期に検知した地震の情報を利用して、直ちに列車を停止させる方法として、地震の初期微動 (P波) の振幅の時間経過に伴う増加率から震源からの水平距離である震央距離 ( $\Delta$ ) を算出し、P波の振幅と $\Delta$ から地震の規模を示すマグニチュード (M) を推定する方式を採用している。そして、推定したMと $\Delta$ から地震による被害が予測される範囲を推定し、その範囲に対して警報を発令する仕組み (M- $\Delta$ 法) とし

ている。警報が発令された範囲では、変電所で新幹線の送電をシャットダウンし、走行中の新幹線に非常ブレーキを動作させるシステムとなっている。

東北地方太平洋沖地震では、鉄道沿線よりも震源に近い海岸部に設置された地震計で地震を検知し、その直後に走行中の東北新幹線が緊急ブレーキをかけた結果、震源に近い位置を約270km/hで走行していた車両が最大地震動の到達時まで約100km/hまで減速させている。

#### 3.2 在来線早期地震警報システム

在来線では、大規模な地震を観測した際に、直ちに列車を停止させるため、列車に緊急停止を知らせる警報を発報するシステムとして、無線を活用した「在来線緊急列車停止システム」を構築している。また、気象庁より配信される緊急地震速報と、新幹線早期地震検知システムの地震情報をそれぞれ活用することで、地震の規模に応じた範囲の列車を緊急停止させる「在来線早期地震警報システム」を構築している (図14)。

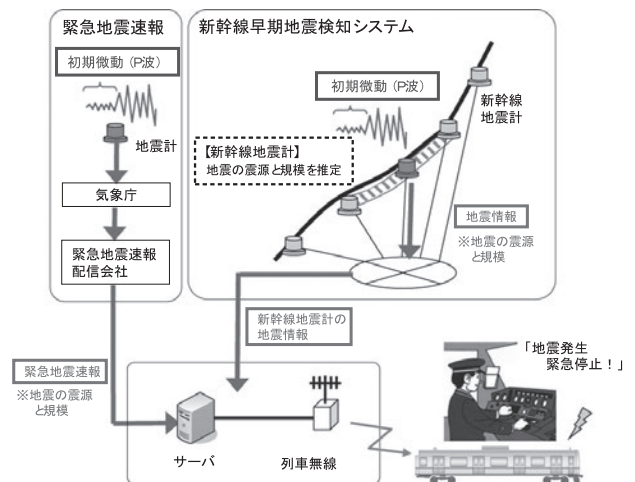


図14 在来線早期地震警報システムの概略

東北地方太平洋沖地震ならびにその後の余震では、これらのシステムがそれぞれ動作し、機能した。

#### 3.3 地震の運転規制指標

従来の地震に対する運転規制には、震度や最大加速度を指標として用いていたが、現在は従来の指標と比べてより構造物の被害との相関性があり、運転規制の発令回数を少なく、輸送への影響を縮減できる指標としてSI値 (SI: Spectrum Intensity) を採用している。

2003年に導入されたSI値を指標とした運転規制では、落石の有無といった路線環境や高架橋や橋りょうといった構造物の設計基準により、速度規制や運転中止の基準値を3つ

の区分で定め、路線の特性を踏まえた区間ごとの運転規制を行っている。導入以来、東北地方太平洋沖地震などを経験しているが、一定の耐震性能を有する構造物については、運転規制の区間にわたって一定以上の地震動に対して被害が発生していないことを確認したため、基準値の区分を上げる取組みを行っている。

さらに、在来線の沿線に配置している地震計はそれぞれの間隔として約40kmを標準としているが、首都圏では密に配置することとして約20kmを標準としている。加えて、東海道線、中央線、東北線、常磐線、総武線・京葉線方面の主要5方面では間隔を約10kmとし、山手線周辺では約5kmの間隔で配置し、運転規制が発令された際の警備などによるダウンタイムの縮減に努めている。

### 3.4 降雨の運転規制指標

従来の雨に対する運転規制には、時雨量と連続雨量の組合せを指標として用いていたが、現在は、従来の指標の災害捕捉性を確保しつつ、より規制時間を短縮することを目的に実効雨量を指標として採用している。実効雨量とは、降った雨が時間の経過とともに浸透および流出することで変化する土中の水分に相当する雨量を合理的にモデル化したものである。

JR東日本では雨の観測は、鉄道沿線に配置された雨量計により行っており、それらの間隔は約10kmである。最近では、局地的に短時間で急激に降る局地的大雨が増加しつつあり、大雨の捕捉性を向上させるため、雨量計の配置の見直しや増設を行っている。また、気象現象を観測する技術の高度化により、気象レーダなどの精度の高い降雨情報の活用が可能となっており、精度の高い面的な雨量情報の活用・導入の検討を進めている。

## 4. おわりに

本稿では、雨や河川の増水、雪、風、地震といった様々な気象現象に対して鉄道の運行の安全性を確保する防災の取組みについて記載した。本稿で記載した以外にも、地下水の上昇といった現象などによっても輸送の混乱を発生させる可能性があり、必要な観測や対策に努めている。

気象現象は年々変化し、厳しさを増しているが、現象を的確に把握し、評価することが鉄道防災の取組みでは重要である。鉄道路線として一定の防災強度を確保する、あるいは高めていくためには、設備の気象現象に対する既存の性能を適切に評価・分析し、不足する部分について着実に

対策を進める必要がある。

今後も、安全を継続して確保してきた路線の特性や維持管理の技術者の経験を踏まえるとともに、新しい技術の導入や技術開発により、より一層の鉄道の運行の安全性ならびに安定性を確保したい。

### 参考文献

- 1) 菱田雅樹、尾崎健志、岩崎浩、川崎秀夫：JR中央線降雨防災強化対策プロジェクトについて、土木学会第63回年時学術講演会、6-100、pp.199～200、2008.9.
- 2) 神山真樹、山村啓一：新在区間における輸送障害発生時の影響低減対策、日本鉄道施設協会誌、pp.38～41、2015.6.
- 3) 今井勉：落石・斜面对策の推進－究極の安全を目指して－、日本鉄道施設協会誌、pp.38～41、2015.6.
- 4) 阿部伸吾：平成26年度災害の概要・JR東日本、日本鉄道施設協会誌、p.21、2015.6.