

## 30周年を迎えた鉄道総研の研究開発

# 安全性の向上



佐々木 君章

Kimiaki Sasaki

研究開発推進部  
主管研究員

[専門分野] 鉄道車両、制御

鉄道は多数のお客様のかけがえない命をお預かりして運行する公共交通機関であり、安全の確保は全てにおいて優先する課題です。鉄道総研においても発足から現在に至るまで、安全性の向上にはたゆまぬ努力が続けられてきています。課題の対象も気象・地震から車両の特性、人間の行動まで非常に幅広くなっていますが、ここでは、鉄道総研発足からの安全性向上の取り組みを、主として列車の走行安全性向上の観点から振り返り、今後の展望を紹介します。

### 安全性向上に必要なこと

大きな列車事故の例として、鉄道総研が発足してからこれまでに発生した、列車の運転中にお客様や乗務員が亡くなった事例を表1に示します。踏切事故やホームでの転落・触車事故、故意によるものなどはこの表に含みません。原因を見ると、自然災害や車両の問題からヒューマンエラーまで、さまざまな要因により発生していることがわか

ります。ここでは直接的な原因のみをあげていますが、この原因の陰には多くの要因が潜んでおり、ほとんどの事故はその連鎖から起こります。

鉄道はよく「経験工学」といわれます。危険性を予測して原因を除去することはもちろん大事ですが、実際の事故は予想を超えたところでも多く発生します。不幸にして発生してしまった事故は徹底的に原因を分析して、同じ

事故を起こさない対策を取ることが非常に重要です。我々研究者に課された責任は重いと認識しています。

ここでは、列車の走行安全性にかかわる最近の研究と今後の展望について紹介します。

### 脱線に関する安全性向上

脱線事故の発生状況とその防止対策について述べます。

表1 鉄道総研発足後に起こった大きな列車事故

名称	発生年月	状況	主な原因
近鉄東大阪線生駒トンネル火災事故	1987年9月	近畿日本鉄道東大阪線新石切駅 - 生駒駅間生駒トンネル内で、高圧送電ケーブルから出火	特別高圧線の工事不良
中央本線東中野駅列車追突事故	1988年12月	中央線東中野駅に停車中の下り緩行電車列車に後続列車が追突	信号冒進
信楽高原鐵道列車正面衝突事故	1991年5月	滋賀県の信楽高原鐵道信楽線小野谷信号場 - 紫香楽宮跡間で、上り普通列車とJR直通下り臨時快速列車が正面衝突	閉塞信号無視
関東鉄道常総線列車衝突事故	1992年6月	関東鉄道常総線取手駅構内において、同駅終着上り列車が減速せず、車止めを突破し、先頭車両が駅ビルの壁を突破して、駅ビル店舗に突入	ブレーキコック取り扱い誤り
日豊本線電ヶ水駅土石流事故	1993年8月	日豊本線電ヶ水駅付近で豪雨により発生した土石流に列車が巻き込まれた	災害
日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故	2000年3月	中目黒駅手前の急曲線において乗り上がり脱線・対向列車と側面衝突	輪重比不均衡
京福電気鉄道越前本線列車衝突事故	2000年12月	京福電気鉄道永平寺線の上り列車が分岐駅である東古市駅に停車せず、越前本線に進入して越前本線下り列車と衝突	ブレーキ故障
土佐くろしお鉄道宿毛駅衝突事故	2005年3月	宿毛駅（終着駅）において列車が高速で進入し、車止めを突破して駅舎に衝突	進入速度制限超過、ATSの設計等
福知山線脱線事故	2005年4月	福知山線塚口 - 尼崎間の曲線で7両編成中5両脱線、2両が線路脇建物に衝突	運転士の速度超過、ATS整備の遅れ
羽越本線列車事故	2005年12月	羽越本線北余目 - 砂越間橋梁付近で6両脱線・3両転覆	突風

鉄道総研発足後の脱線事故件数の推移を図1に示します(☞参照)。この図で、「鉄道外」とは踏切衝突事故などのように外部要因によるものを指します。長いスパンで見ると件数は順調に減少していますが、まだ根絶にはいたっていません。

1995年の件数が突出していますが、この年には兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)があり、自然災害による脱線が多くなっています。この経験を契機として、地震対策の研究が進み、耐震工法の開発や耐震基準の改訂などの対策が進められた結果、2011年の東北地方太平洋沖地震における被害の軽減につながったと考えています。

脱線防止は鉄道の安全性確保における中心的な課題です。脱線にいたるにはさまざまな要因がありますが、車両や軌道が壊れて起こる脱線を別とすれば、近年起こる脱線は、「乗り上がり脱線」と呼ばれる形態の比率が多くなっています。乗り上がり脱線は、車輪がレール上を転がりながら、レールと車輪フランジの間に働く摩擦力を足がかりにして、よじ登ってしまう現象です。

2000年3月に日比谷線中目黒駅付近で発生した事故はこれが原因でした。この事故は脱線事故の恐ろしさを再認識させるもので、鉄道総研を含む関係者が一致協力して原因の究明にあたりました。鉄道総研では脱線の再現が可能なように所内の試験線を改修し、脱線再現試験を繰り返しました。この結

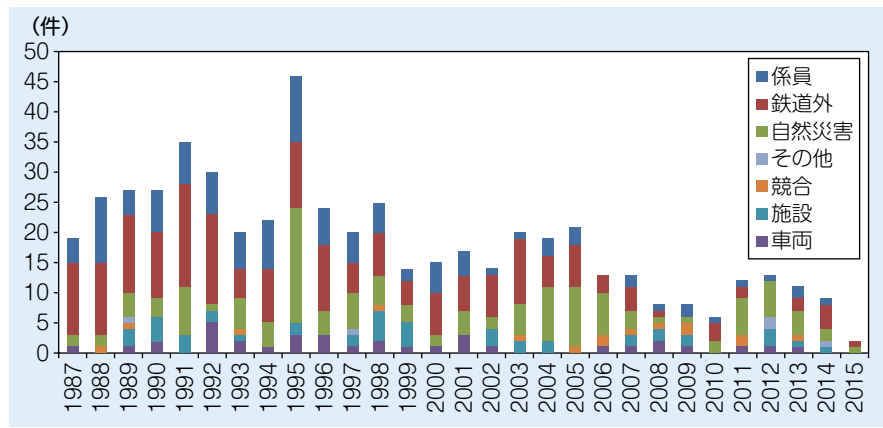


図1 原因別脱線事故件数の推移

果をもとに、「推定脱線係数比」という評価指標を提案し、急曲線部への脱線防止ガードの設置基準、輪重アンバランスの管理指標などの提言を行いました。これらは以後の脱線事故防止の基本的な考え方に反映されています。

このタイプの脱線を防ぐには①横圧(車輪がレールを横に押す力)を小さくすること、②輪重の減少を抑えることが有効です。このため「脱線しにくい台車」と呼ぶ新しい台車の開発を行っています。これは図2に示すような台車で、横ばりと左右の台車枠の間に可動機構を入れて線路のねじれに追従できるようにし、さらにアシスト操舵機構という空気圧を利用した操舵装置を組み合わせることで横圧を減少するものです。鉄道総研所内の試験線での走行試験の結果、

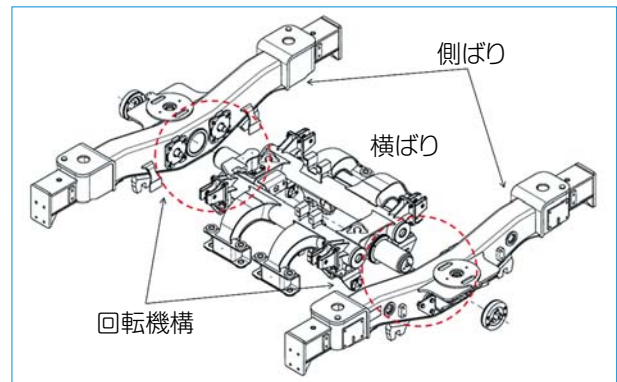


図2 輪重減少抑制機構

脱線係数が通常条件の台車に対して半分以下になることを確認しました<sup>1)</sup>。

### 気象災害に対する安全性向上

強風や雨による土砂崩れ、雪崩、落石などの気象災害に対する安全性の向上について述べます。

強風による事故は倒木や線路への飛来物などによるものもありますが、最も恐ろしいのは走行中の列車が強風を受けて脱線・転覆するケースです。

2005年12月の羽越本線列車事故やJR発足直前(1986年12月)の余部鉄橋列車転落事故などが思い起こされます。

車両に横風が当たると車両を風下側に引き倒そうとする力(モーメント)が働きますが、このときの横風の風速と作用力の大きさとの関係は車両の断面形状、線路周囲の状況(盛土/高架、防風柵の有無など)によって大きく変

### ☞ 鉄道事故の種類

運輸安全委員会では鉄道事故の種類を①列車衝突事故、②列車脱線事故、③列車火災事故、④踏切障害事故、⑤道路障害事故、⑥鉄道人身障害事故、⑦鉄道物損事故の7種類に分類しています。

また、発生原因について①鉄道係員、②鉄道車両、③鉄道施設、④競合脱線、⑤鉄道外、⑥自然災害の6種類に大別しています。

鉄道事故の種類①~③、死者か5名以上の死傷者が出た事故、発生原因①~③の原因で起こった事故および3時間以上本線を支障した事故は重大事故とされ、運輸安全委員会に報告しなければなりません。

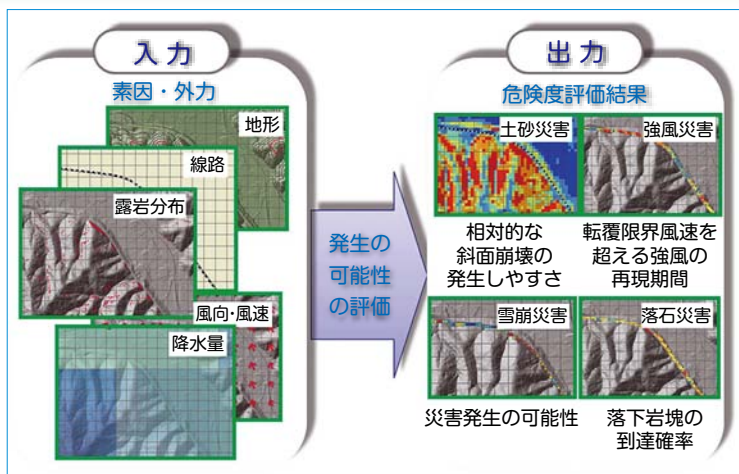


図3 ハザードマッピングシステム

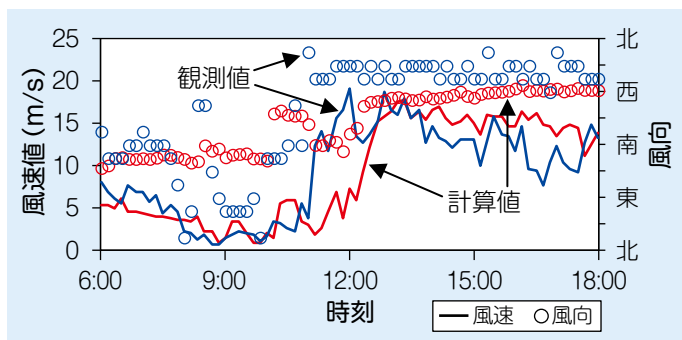


図4 局地シミュレーション(風向, 風速)と観測値の比較

化します。この関係を正確に求めるためには風洞試験を行う必要がありますが、個々のケースごとに風洞試験を行うことは費用も時間もかかりすぎて現実的ではありません。

そこで鉄道総研では多数の風洞試験結果を基に、車両を5種類、線路構造物を7種類に類型化して関係を求めました。

また、従来から用いられてきた転覆限界風速の計算式(国枝式(☞参照))を拡張し、車両のばね系、横風の横力・揚力、空気力係数などを実際に合わせて精度向上した式(総研詳細式)を提

案しました<sup>2)</sup>。これらは事業者が強風に対する運転規制の規則を定めるために使われています。

土石流や落石、雪崩などの気象災害は、地形や土質などの地勢要因と線路構造物によって決まるその地点の「耐力」を、雨、雪、風などによる「外力」が上回ったときに発生すると考えられます。沿線の耐力と、統計的な気象外力から災害の起こりやすさを推定して地図上に表示する「災害マップ」を作成することで、防災対策の計画に役立てることができます。このような観点からいろいろな災害の発生可能性を予測して地図上に示す「ハザードマッピングシステム(図3)」を開発しました。また、気象外力は沿線の風速計や雨量計などで測定されますが、災害発生場所から距離が離れた点のデータであることが多いので、災害発生場所の外力

#### ☞国枝式

1972年に国鉄の技術研究所の国枝が提案したもので、半車両断面モデルと呼ばれる簡略化された計算モデルによる静的解析式です。

を知るためには面的に推定する必要があります。最近のゲリラ豪雨のような極端気象においてはその影響範囲が小さいこともあるため外力が最大になる点を見逃す可能性があり、安全上重要な問題になってきています。そこで、任意地点の外力を推定できるように局地シミュレーションモデルを開発しました。強風、豪雨、大雪の各事例について、観測値と計算値の比較を行ったところ、強風や大雨の事例についてはおおむね実際の状況に合致していることを確認しました(図4)<sup>3)</sup>。

今後、このような技術を拡張し、現在の気象条件に対応した評価ができるよう「ハザードマップのリアルタイム化」に取り組んでいきます。

#### 地震に対する安全性向上

地震時に走行中の列車を安全に停止させるのに重要な、早期地震検知、走行安全限界の向上(脱線の防止)、構造物が変形して列車と衝突することを防止する技術などについて述べます。

地震検知については、沿線の地震計が大きな揺れ(S波(☞参照))を検知した時に、あらかじめ決めておいた範囲に警報を出す「オンサイト地震警報」が国鉄時代から使われていました。警報は早いほど安全上有利なので、鉄道総研では伝播速度の大きいP波成分(☞参照)による初動部分から震央とマグニチュードを推定し、被害が予想される範囲に対して早期に警報を出す「P波警報」の研究を進め、1992年に東海道新幹線において実用化されました。このシステムでは初動における数秒間のP波の卓越周期と最大振幅からマグニチュードと震央距離を推定していました。これに対して、2004年度以降に導入されたシステム(早期地震検知警報システム)ではP波振動の包

路線の形状と震央距離の統計的關係から震央距離を推定するように改良されています。早期検知では精度向上とともに警報発報までの遅れを少なくすることが重要であり、両面での改良が続けられています。

地震に対する走行安全限界の向上については、まず地震時における車両の挙動がどのようになるかを調べる必要があります。このため、地盤、構造物、車両の動きを一体化したシミュレーションで検討できるようにしました。検討の結果、構造物のロッキング振動（構造物の長手方向を軸とする回転運動）と左右振動の振幅比が大きくなると、走行安全限界振幅（車両が脱線しないで走行できる軌道面の振幅）が、左右振動だけの場合と比べて10%以上減少することがわかりました。また、車両側では車体と台車の大きな動きの相互作用で脱線しやすくなることわかりました。

このため、構造物では軌道面の振動を抑える各種の対策工法や、地盤と構造物の間の等価的な剛性を低減して振動の伝達を軽減する方法（負剛性摩擦ダンパー）、角折れや相対変位を減少する超連続基礎などの提案を行ってきました。車両側では地震時の大きな動きに対して有効に制振できる左右動ダンパー（地震時脱線対策左右動ダンパー）<sup>4)</sup>や、地震時の大きな力を受けて間隔が

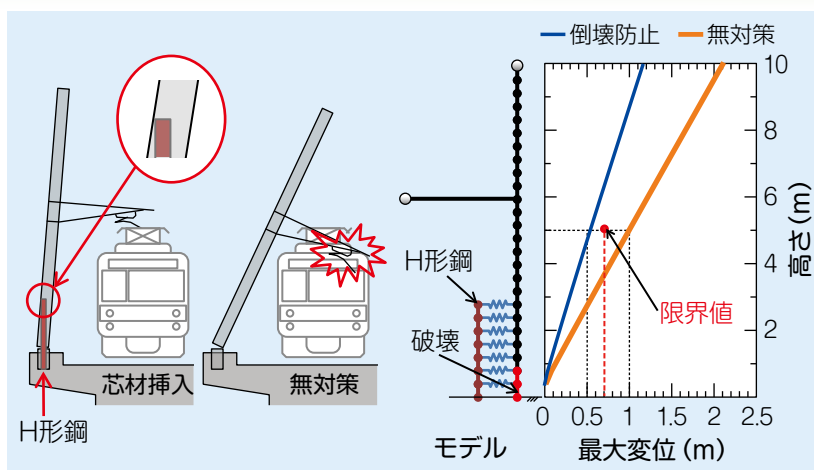


図5 電車線柱の倒壊防止工

広がる左右動ストッパー（地震時脱線対策クラッシュャブルストッパー）<sup>5)</sup>などを開発し、提案を行ってきました。

また、2011年の東北地方太平洋沖地震ではコンクリート製電車線柱の下部の折損が多く見られました。幸いこれによる電車との衝突は発生しませんが、傾いた電車線柱が建築限界外に出してしまうと、非常に危険な状態になります。

このため、中空になっているコンクリート製電車線柱の中にH形鋼を挿入する方法<sup>6)</sup>を提案しました（図5）。この方法は地震時の電車線柱の振幅を低減して折れにくくするとともに、仮に折れても、H形鋼が支えになって大きく傾くのを防ぐことができます。

### 今後の取り組み

鉄道にとって安全性の追求は永遠の課題であり、鉄道総研では約40%の研究開発テーマが安全性の向上を目的としています。本稿ではこの中から、物理的に走行安全性に影響する事象の主な研究を紹介しました。

安全性向上への社会的な要請は、今後も強く、深くなっていくと考えられます。これに応じていくためにはリスク評価に基づく、合理的な方策の提案

が重要になっていくものと考えています。今後も多角的、重層的に研究を進めていく所存です。

なお、本稿で紹介した研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。[RRR]

### 文献

- 1) 鈴木真, 児玉真一, 田中隆之, 梅原康宏, 鴨下庄吾, 宮本岳史: 鉄道総研試験線による輪重減少抑制台車の性能評価, 鉄道総研報告, Vol.30, No.2, pp.17-22, 2016
- 2) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 井門敦志: 在来線車両の空力係数に関する風洞試験結果, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, 2013  
(記事訂正) <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/roms1/0001/2013/0001003654.pdf>
- 3) 太田岳洋: 気象災害ハザードマップのリアルタイム化による鉄道防災ネットワーク構築, 第28回鉄道総研講演会, pp.16-22, 2015
- 4) 鈴木真, 飯田浩平, 宮本岳史, 中嶋大智, 遠竹隆行, 梶谷泰史: 鉄道車両の地震対策用左右動ダンパの開発, 鉄道総研報告, Vol.25, No.6, 2011
- 5) 中嶋大智, 鈴木真, 西山幸夫, 宮本岳史, 梶谷泰史: 地震時脱線対策クラッシュャブルストッパーの開発, 鉄道総研報告, Vol.27, No.10, 2013
- 6) 豊岡亮洋, 原田智, 田中浩平, 岡本大: 新しい耐震技術で巨大地震による被害を低減する, RRR, Vol.73, No.3, 2016

### ☞ P波とS波

地震の振動は波として伝わっていきますが、振動の方向と波の進行方向が同じ波（縦波）をP波、振動方向が波の方向に直角な波（横波）をS波と呼びます。

P波は伝わる速度が5～7km/秒と大きく、初期微動を起こします。S波は伝わる速度が3～4km/秒で大きなエネルギーを持っており、主要動と呼ばれる大きな揺れを起こします。