

鉄道システムの安全性・信頼性向上

鈴木 康文
研究開発推進室
(主管研究員
将来指向課題リーダー)

渡辺 郁夫
信号通信技術研究部
(部長)

石塚 弘道
車両構造技術研究部
(主管研究員)

杉山 友康
防災技術研究部
(部長)

館山 勝
構造物技術研究部
(部長)



はじめに

鉄道は、脱線や衝突といった事故を起こさないよう、また地震などの自然災害に対しても安全かつ列車の運行への障害を少なくするなど、安全性や信頼性を高めるための様々な工夫がなされています。この大課題では、図1に示すように「知能列車」「脱線・衝突」「気象災害」および「地震」に関する4つの個別課題を設定し、鉄道の安全性・信頼性を飛躍的に高めることを目的としています。具体的には、自らセンシングし各種異常事態に対応して安全に列車を制御する知能列車の検討、現状より更に脱線しにくい台車の開発や車両の衝突安全性を高める研究を進めます。また、降雨など気象災害の予防と被害軽減に関する研究、巨大地震に対する鉄道施設の安全性評価法や対策工法の研究を進めます。以下、個別課題毎に研究内容を紹介します。

知能列車による安全性・信頼性向上

先進的なITを駆使し列車を知能化することで、列車運行のさらなる安全性向上を実現できる可能性があります。そこで、「車両が持つ、あるいは外部に設置した各種センサ等の情報により危険状態を車両自体で検知し、事故を回避するために最適な状態を確保するように制御する」知能列車の検討を進めていきます(図2)。

検知対象とする異常状態は、踏切を含む線路内への障害物の進入や人の立ち入り、強風、車両の車軸軸受の劣化などです。また、居眠りなど運転士の異常検知も検討します。線路内の障害物検知については、踏切や駅ホーム下などの要注意箇所は地上から監視し、見通しのきく駅中間は車上から直接監視します。カメラとレーダを組み合わせることで、検知精度の向上を目指します。強風については、車両に搭載したドップラーライダー(光で浮遊粒子の移動速度を測定する装置)により数百m前方の風速を列車自体で観測し、強風時には徐行運転や抑止の判断を行うという野心的な課題を設定し、その実現に向けて取り組みます。車軸軸受に関しては、加速度センサを軸箱に内蔵し、故障時の

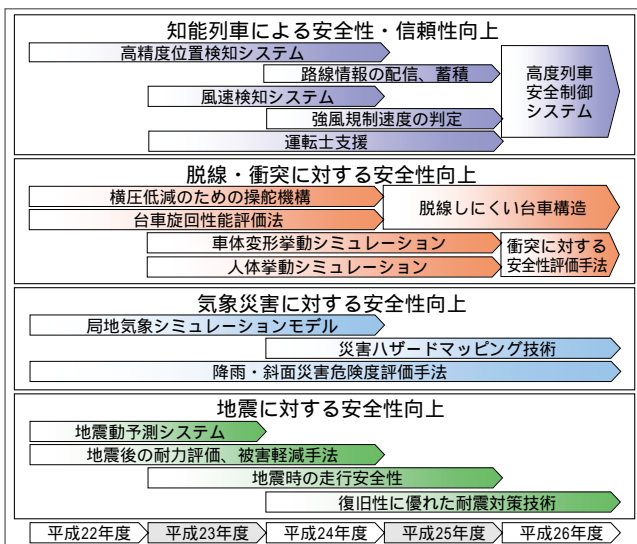


図1 「鉄道システムの安全性・信頼性向上」の全体計画



図2 知能列車で実現する機能

特徴周波数から軸受の焼付きの前兆を事前に検出する手法を開発する予定です。

異常を検知した後の乗務員に対する情報提供や減速制御も重要な課題です。したがって、運転士と機械の最適な役割分担の検討や、運転士にやりがいを持たせるような運転支援システムのあり方についても検討します。また、異常を検知したとき、列車の運転状況によりどのような減速度でブレーキ制御するのが最適か整理し、運転状況に応じた最適減速度制御手法の確立を目指します。踏切警報に関してはできるだけ一定の警報時間になるように列車の速度も制御することを検討します。

このような知能列車を実現するための基盤となる列車の位置速度検知や、異常を検知した各種センサからのタイムリーな情報伝達、線路の曲線などの地理情報データベースの構築・管理などの技術も重要です。位置速度検知に関しては、地上に新たな設備を設置することなく高精度な列車位置速度を検出するため、既設の速度発電機に絶対位置検出のためのGPSと車輪の滑走空転の影響を受けない慣性センサを組み合わせる方式を基本とし、絶対速度検出については、同一台車の各軸箱で計測した加速度波形の相関をとる方式を検討します(図3)。

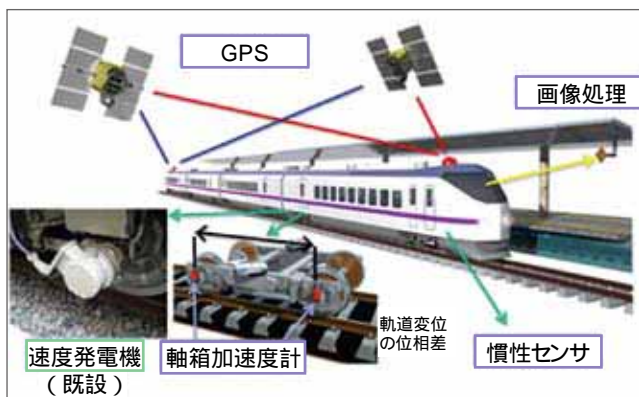


図3 知能列車の高度列車位置検知

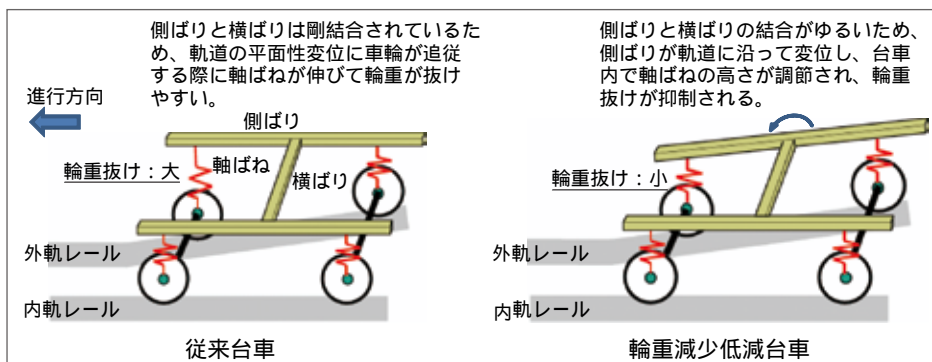


図4 輪重減少低減台車のイメージ

以上の要素技術のいくつかを組み合わせ、知能列車の基本性能を最終年度に鉄道総研構内走行試験で確認することを目指します。

車両の脱線・衝突に対する安全性向上

脱線、衝突などしないよう安全に列車を運行させることは、鉄道輸送にとって最も基本的な事項です。本個別課題では、現状より更に安全な走行に資することを目的として、脱線と衝突に対する安全性向上の研究を行います。具体的には、脱線しにくい台車の開発と、万が一車両が障害物と衝突した際の、乗客・乗員の被害を少しでも軽減するための車体構造の開発および内装品の材料・配置の提案に必要なシミュレーション技術の構築を行います。

車両と軌道の相互作用において脱線しにくくする最も基本的な事項は、横圧/輪重で定義される脱線係数をできるだけ小さくすることです。そこで、具体的には、横圧を低く抑えることの他に、輪重を増加させることは困難なので輪重が小さくなる(輪重抜けと言います)のを防止するための機構を台車に組み込みます。ここでは両者を総合した、より脱線しにくい台車構造の開発を目指します。横圧低減の観点からは、「ボルスタレス台車に適用可能で信頼性の高い操舵機構の開発」を行います。操舵機構とは輪軸を曲線方向に向ける仕組みのことで、操舵機構を備えた台車はすでに実用化されていますが、ここでは機構をもっと簡略化して、最近ではごく一般的となっているボルスタレス台車への適用を目指します。また、輪重抜け対策として「輪重減少低減を図った台車構造の開発」を目指します。具体的には、台車枠の側ばりと横ばりの結合剛性をゆるくすることで、軌道の平面性変位(軌道面のねじれ)に対して台車枠の左右側ばりが独立に変位し、レールに対する車輪の追従性を高め、台車内で軸ばね高さが調節され、輪重減少

の低減を図ります(図4)。最終的には、この研究で開発する輪重減少低減機構を、先に述べた横圧低減機構と組み合わせることにより、抜本的に脱線しにくい台車を開発します。

車両の衝突に関しては、衝突しないようにすることが最重要ですが、万が一発生した場合、乗客・乗員の被害が少しでも軽減されるように車両設計の段

階で策を講じておくことも極めて重要です。

具体的には、一次衝突(車両が障害物と衝突すること)において車両構造面として、車体の変形解析のモデル化手法で課題として残されている、構体溶接部の破断挙動や、内部骨組・座席などの変形を考慮できる解析手法を構築します。一方、二次衝突(車内で乗客・乗務員が衝突すること)を対象とする人間工学の面からは、衝突事故発生時の車内状況を予測するための「人体挙動シミュレーション解析手法」の構築を目標とします。ここでは、内装および他乗客との衝撃を対象として、人体剛体モデルを用いた簡易モデルによる解析手法の高精度化と、詳細な人体有限要素モデルを用いたより詳細な衝突解析手法の確立を目指します。最後に、上記二つの成果を融合して、衝突時の車体変形挙動シミュレーションと人体挙動シミュレーションの連携による「人間の傷害度を考慮した車両の衝突安全性評価法」を提案します(図5)。

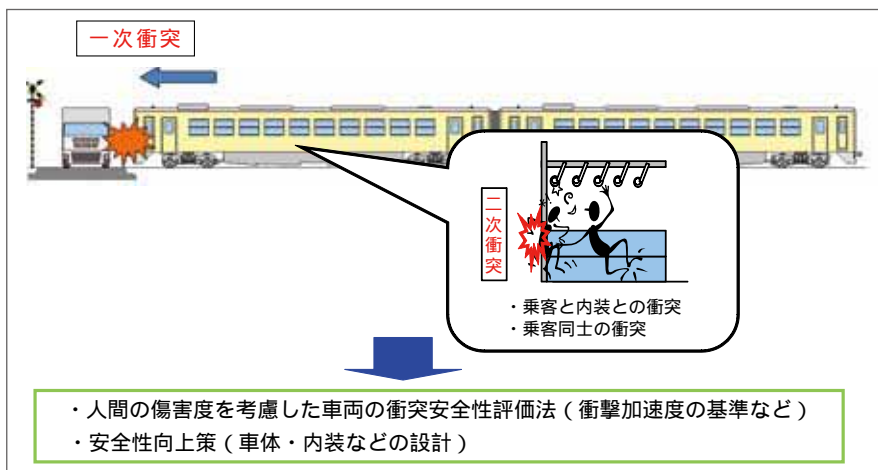


図5 衝突時の安全性向上

気象災害に対する安全性の向上

地球規模の気候変動による異常気象の発現頻度が高まる中、気象災害に対する安全対策は新たな展開を迎える時期にきているといえます。本個別課題では気象災害として、雨、風、雪に起因する災害のほか落石を含めて扱います。雨による災害としては、自然斜面、盛土、切土の崩壊や土石流を考え、風については強風による災害、雪については雪崩を考えます。これまでは、沿線において、どこでどのような災害が発生しやすいか、どの程度の危険度であるかを評価することは、主として過去に起きた災害の履歴や現地調査に基づいて行われてきました。これらの手法は実務的には有効な方法ですが、一方で限られた災害事例に基づく経験によるものといえるため、より理論的で精緻な手法が求められています。

ここでは、気象状況(外力と呼びます)がその地点の災害の受けにくさ(耐力と呼びます)を超えると災害が発生すると考えます。まず、外力、即ちどこでどのような気象状況となるかを面的に予測する精度を高めるために「局地気象シミュレーション」手法を開発します。これにより集中豪雨や強風が発生する可能性が高い箇所の特定制などが可能となる上に、過去の被災事例をより精密に分析することができるようになります。一方、耐力、即ちどのような箇所が災害を受けにくいかを鉄道用地以外も含め広範囲にとらえるため「衛星などによるモニタリング」手法を開発します。これら外力と耐力の比

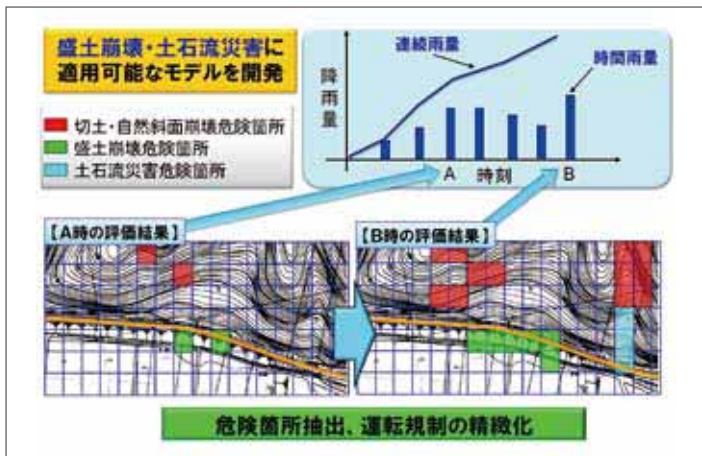


図6 降雨時土砂災害の逐次評価のイメージ

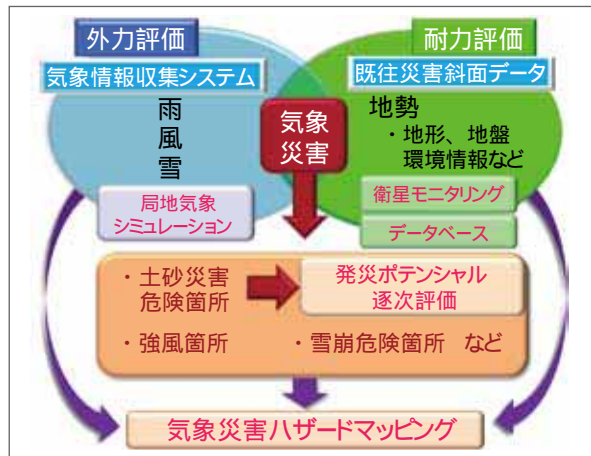


図7 気象災害に対する安全性向上の研究の全体構成

較から、どこでどのような災害が発生しやすいかを面的にとらえる手法を開発し、将来的には時々刻々変化する災害の発生の可能性を逐次予測する手法の開発を目指します。図6

は時間により変化する降雨情報を考慮して、時間的・場所的に変化する土砂災害の発生危険度を評価する様子を示しています。このように評価

することで、どこがどの程度の降雨によって危険となるかあるいは安全になったかを明らかにし、運転規制をよりの確にきめ細かく行えるようになると期待されます。

これまで述べたモニタリングなどによる耐力データから、強風箇所、土砂災害危険箇所、雪崩危険箇所などをGIS(地理情報システム)などにより統合して表示する「気象災害ハザードマッピングシステム」を構築することを目指します(図7)。

地震に対する安全性向上

近い将来、起こることが予想されている東海地震や東南海地震は、マグニチュード8クラスの規模といわれています。このような巨大地震の特徴としては、震源近くにおいては、現行のレベル2設計地震動(構造物の供用期間内に発生する確率は低い非常に強い地震動)を超える非常に大きな揺れが発生するとともに、大きな余震が数日間にわたって発生することが想定されます。また震源から遠く離れた地域では、加速度自体は小さいが、ゆったりとした長い周期の揺れが長時間続くことが想定されます。したがって、巨大地震を対象として、高架橋や地下構造物、電車線構造などの耐震性評価を行う場合や、車両の走行安定性の検討を行う場合には、これら地震の特徴を適切に考慮する必要があります。本個別課題は、このような巨大地震を対象として、鉄道施設のさらなる安全性の向上を図ることを目標とします。

具体的な研究内容としては、これまでの地震観測データを参考に、想定する断層が動いた際の本震の揺れ方や、その後、数日間にわたって発生する余震が、どのような大きさと規模で起こるのか予測できるようにします(図8)。そして、このような巨大地震に対して、従来の設計体系である「部材の損傷程度を評価する方法」によって構造物を評価した場合には、性能が不足していると判断されてしまう可能性が高いことから、予測される本震～余震群の時系列

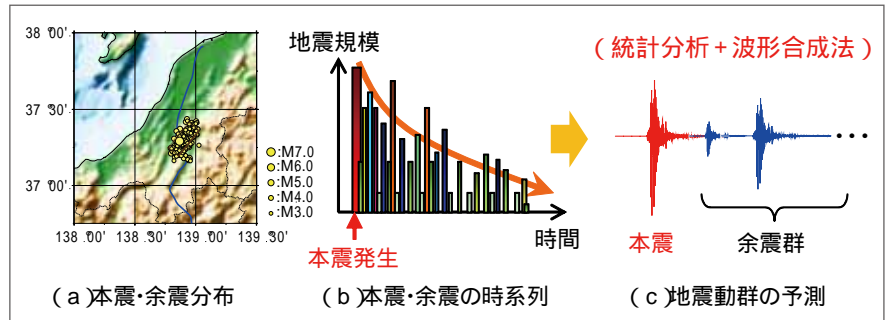


図8 本震～余震の発生状況(新潟県中越地震)

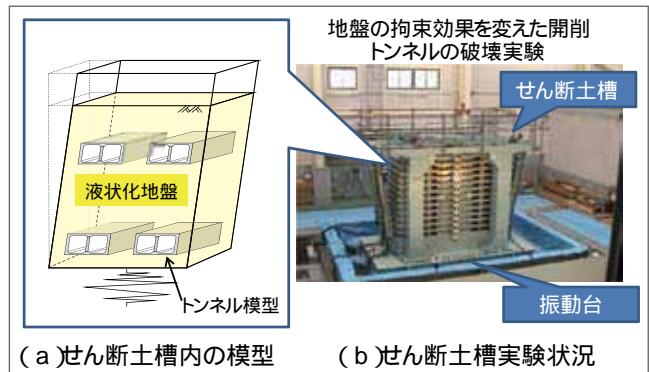


図9 大型振動台を用いた液状化実験

的地震動に対して、「構造物全体が崩壊しないことを評価する方法」を提案し、合理的評価が可能となることを目指します。

また、震源から遠く離れた地域の長周期・長継続時間の揺れを予測できるようにします。そして、継続時間による影響が大きいと思われる地盤の液状化については、特に地下構造物の揺れや壊れ方が時間とともにどのように進展するのか、解析や振動実験により解明します(図9)。また、長周期の地震動が列車の走行安全性にどのように影響を及ぼすのか、架線の振動をどの程度大きくするのかについても検討します。これらに基づいて、制震装置などを用いた巨大地震に対する合理的な対策工の提案を行います。

おわりに

以上、紹介したように、個別課題はそれぞれ多くの要素技術から構成され、先進的な研究内容を含むものです。また、各個別課題のなかで、それらの要素技術は互いに関連づけられ、統合されることとなります。その成果の代表例が、「知能列車」であり、「気象災害ハザードマッピングシステム」です。ハードルの高いチャレンジングな課題に取り組みていきますが、今後とも読者諸兄の御指導をよろしくお願いいたします。[RRR]