

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

鉄道システムの 安全性向上に向けて

鉄道システムの安全確保のためには、自然災害、設備の不具合、作業者のヒューマンエラーなど通常とは異なる状態を想定し、対策を講じることが必要です。そのためには、負荷の大きさ、システムの応答、どこまで耐えられるかといったことの見極め、安全性を評価する方法と対策の提示、安全管理の手法の確立が重要となります。ここでは、鉄道総研における安全性向上の研究を紹介するとともに、安全性評価手法の研究における現象解明の重要性などについて述べます。



鈴木 康文
Yasufumi Suzuki
研究開発推進室
主管研究員
【専門分野】車両振動

はじめに

鉄道総研では、基本計画(2010～2014年度)において研究開発の目標として「安全性の向上」「環境との調和」「低コスト化」「利便性の向上」を掲げて取り組んでいます。このうち安全性向上に関する研究は図1に示すように、全研究テーマの数、経費のそれぞれ45%程度程度の大きなウェイトを占めています。鉄道において安全を脅かす事象は様々で、地震、降雨、強風などの自然災害、車両、軌道、構造物など設備の異常・不具合、運転士などのヒューマンエラー、踏切障害など様々な要因があります。これらが鉄道システムに作用したときに最終的に事故に至らない、あるいは乗客など鉄道利用者が危険な状態にならないようにすることが、安

全性向上の研究の主な内容になります。

我が国の鉄道における運転事故(脱線、衝突、踏切事故など)は100万キロ走行あたり0.6件の発生頻度であり、鉄道は安全な乗り物として社会に受け入れられていると思います。ここでは、安全性をさらに向上するために鉄道総研として重点的に取り組んでいる研究について紹介するとともに、安全性向上の研究の中で特に重要となる安全性評価について述べてみたいと思います。

安全性向上に関する研究の取り組み

一口に安全性向上の研究といってもいろいろなタイプの研究テーマがあります。事故により安全が損なわれる場合を考えてみましょう。図2に示すよ

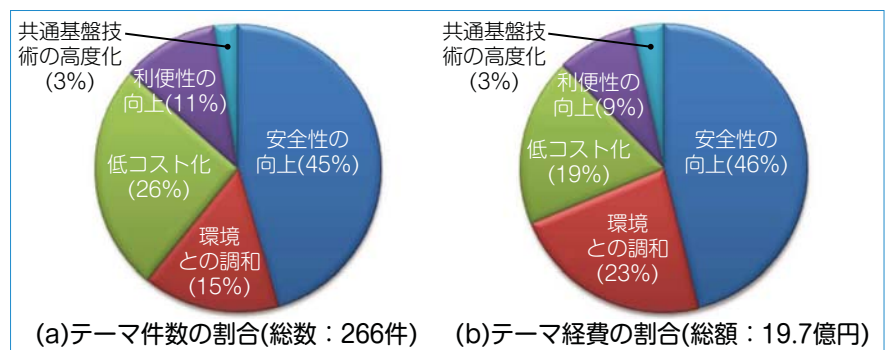


図1 研究テーマの目標別割合 (2012年度初)

表1 「鉄道システムの安全性・信頼性向上」の研究概要

研究課題	研究目標	主な研究項目
知能列車による安全性・信頼性向上	列車自身が危険情報を収集し安全性確保のために速度制御を行う知能列車の基盤技術の開発	列車位置検出システム、自律型台車健全性監視システム、運転士支援システム、運転状況に応じた最適減速制御、基本知能構成法
脱線・衝突に対する安全性向上	輪重減少と横圧を低減する台車の開発、衝突時の乗客、乗務員の安全性評価法の確立、安全性向上策の提示	③台車旋回性能評価法、④輪重減少低減台車、④ボルスタレス台車用操舵台車、⑧人体挙動シミュレーション、⑧人体の傷害度を考慮した安全性評価法
気象災害に対する安全性向上	降雨、強風など自然外力情報の推定精度向上、危険箇所抽出技術開発、ハザードマッピング技術の開発	①局地気象シミュレーション、⑦降雨災害発災ポテンシャル評価モデル、⑦災害ハザードマッピング技術
地震に対する安全性向上	巨大地震に対する鉄道施設の合理的な安全性評価手法の提案、新対策工法の提案	①巨大地震の地震動予測手法、⑥構造物の耐震対策技術、⑥電車線柱の耐震性向上策、⑦構造物の耐震余裕度の評価手法、⑦在来線車両の走行安全性評価法

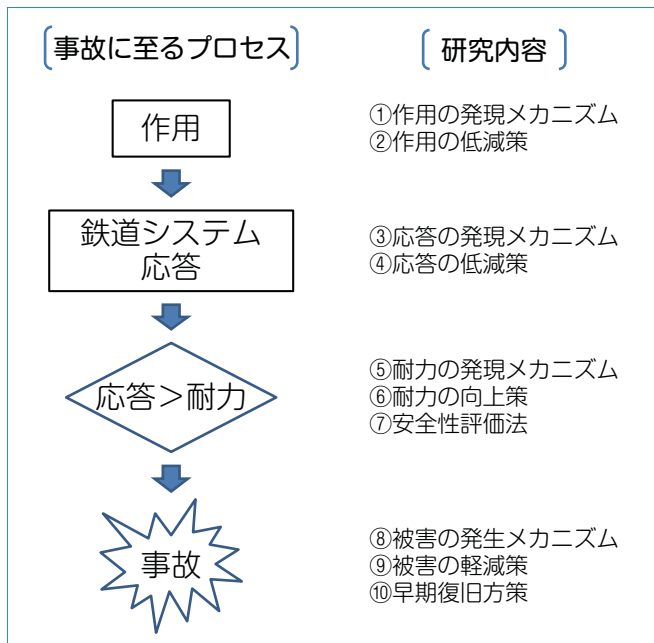


図2 事故に至るプロセスとそれに対応した研究内容

安全性を確保するためには事故防止対策が適切に行われることが必要であり、そのためには事故の発生メカニズムをきちんと理解し、安全な状態に保たれるためには何をどのような値で管理すべきか明確にする必要があります。その意味で、安全性評価、安全管理は安全性向上の一連の研究の中でも重要となります。ここでは今月号の特集である安全性評価について注目してみます。安全性評価は、システムに作用が働いた時の応答（の大きさ）を見極め、耐力・限界値を決め、それらを比較判定する方法を決めるという内容であり、多くの場合、研究として高度なものとなります。

うに、鉄道システムを構成する要素に作用（自然災害であれば降雨、地震動など）が働き、システムの応答が耐力・限界を超え本来の機能が果たせなくなり、乗客など鉄道利用者に危害が及ぶことになると考えられます。事故あるいは被害を防ぐにはそのプロセスのどの段階かで、連鎖を断ち切ることが必要であり、安全性向上に関わる研究も段階に対応して様々な内容となります。鉄道総研では、基本計画の中の目標に沿って重点的に取り組む研究テーマのグループをいくつか設定しています¹⁾。その中の「鉄道システムの安全性・信頼性向上」では、「知能列車による

安全性・信頼性向上」「脱線・衝突に対する安全性向上」「気象災害に対する安全性向上」「地震に対する安全性向上」の4つの課題に関する研究を行っています。これらの研究テーマにおける目標、主な研究項目を表1に示します。表の研究項目の番号は、その項目が図2の[事故が起きるプロセス]に対応した[研究内容]のどこにあてはまるかを示しています。さまざまな段階で研究が行われていることが分かります。「知能列車」は、事故を回避するためのシステムとして広い意味での耐力を向上するものとして扱うことができます。

安全性評価における現象解明の重要性

安全性評価法の検討を行うに当たっての基本は、まずどのような状況でどのようにして安全性が損なわれるのかを理解する、即ち事故の発生メカニズムを明らかにすることです。どのような要因が絡んで応答が大きくなり耐力・限界値を超え危険な状況になるのか、それを明らかにするためには、現象をきちんと把握することが基本であり重要なこととなります。この点に関して、急曲線低速走行時の乗り上がり脱線における安全評価法をとりあげて述べてみたいと思います。

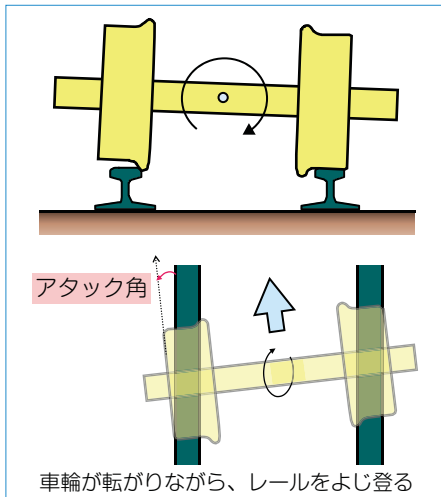


図3 乗り上がり脱線

乗り上がり脱線の安全性評価法

乗り上がり脱線の安全性評価法については、本誌2月号の「車両の走行安全性を評価する」でも扱われていますのでその記事も参考にしてください。

乗り上がり脱線は、図3に示すように車輪が転がりながらフランジがレールの肩部を乗り越えるようにして脱線するものです。乗り上がり脱線の大きな事故としては、2000年の旧営団地下鉄日比谷線の脱線衝突事故があり、事故直後に旧運輸省に設置された事故調査検討会において、原因究明と事故防止対策が検討されました²⁾。その過程で、乗り上がり脱線のメカニズム解明、安全性評価手法を含むいくつかの検討課題が指摘されました。

安全性評価法の課題は以下のようなものです。乗り上がり脱線の安全限界については図4(a)のように車輪フランジがレール肩部に接し、乗り上がりを開始する状態としていました。しかし、実際にはフランジの直線部分がレールの肩部に接触し乗り上がりを開始してから乗り上がって脱線する(図4(c))までにはいくらかの余裕があるはずですが、その現象は未解明でした。また、乗り上がり脱線ではレールと車輪の間の摩擦が大きな役割を果たしますが、事故原因の調査の過程で、従来考えて

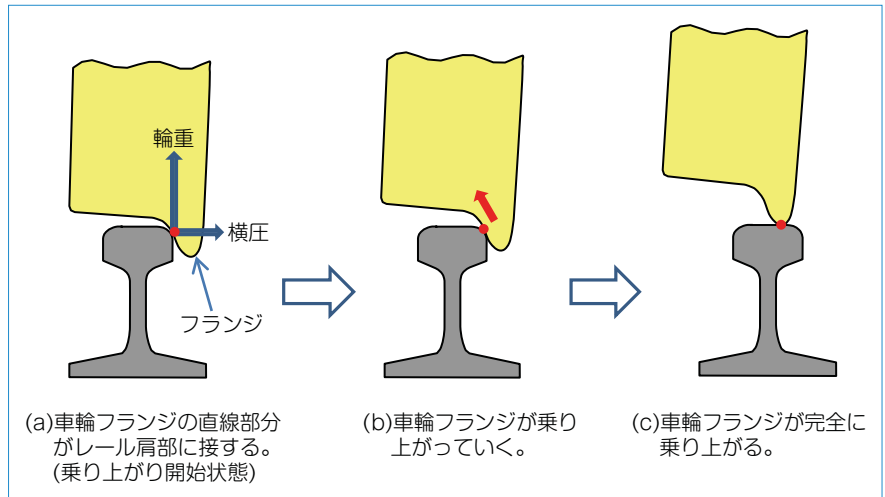


図4 車輪フランジが乗り越える経過

いた0.3よりも大きな摩擦係数が観測されることが分かりました。大きな摩擦係数は安全の余裕を小さくすることになるので、これらのことを明らかにして、新たな安全性評価法を確立することが課題の一つとされました。

鉄道総研では、クリープ力特性試験(実輪軸を使用し車輪/レール間に働く接線力を詳細に定置で測定する試験)、構内脱線走行試験、営業線における摩擦係数の実態調査、シミュレーションを行い、この課題に取り組みました。クリープ力特性試験及び営業線でのレール表面の摩擦係数の多くのデータから、車輪/レール間の摩擦係数は0.6程度に大きくなる場合があることが分かりました。その場合でも車輪が上昇していく過程のクリープ力特性を考慮すれば、事故調査検討会が提示した評価方法は、200m以上の半径の曲線において安全側に評価していることが確認されました(図5参照)。つまり摩擦係数0.3で安全率1.2を考慮すれば、摩擦係数が大きな場合でも事故調査検討会による方法が適用できることが確認されました。詳細は参考文献3)をご覧ください。

乗り上がり脱線に対する安全性評価手法の確立において重要であったことは、車輪とレールの間にどのような力

が働いているのか、その作用力が線路の曲線半径、環境条件などによりどのように変化するかを詳細に調べること、乗り上がりを開始してからフランジがレールに乗り上がるまでの現象を解明することに尽きると思います。安全性評価法は、何がいくらになったら安全でなくなるかという尺度を決めることです。現象を支配している要因とその関連性を実態に即してきちんと把握することが重要となるわけです。

現象解明の手法

乗り上がり脱線の現象解明は、実験を主体として理論解析、シミュレーション解析を組み合わせた手法で行われましたが、対象とする現象により手法は様々です。今月号の記事の踏切事故に対する安全性評価(12ページ)においては、シミュレーション解析が主体となっています。そこでは、車体の先頭部を有限要素でモデル化し、それと乗務員の剛体ダミーモデルを組み合わせ、衝突時の動的挙動をシミュレーションにより求めています。実物大車両の模型と人体の代わりにダミー人形を用いた実験による手法も考えられますが、コストと時間の点で効率的とは言えません。現象解明にシミュレーション手法が有効な事例と考えます。

近年の計算機の性能向上は目覚まし

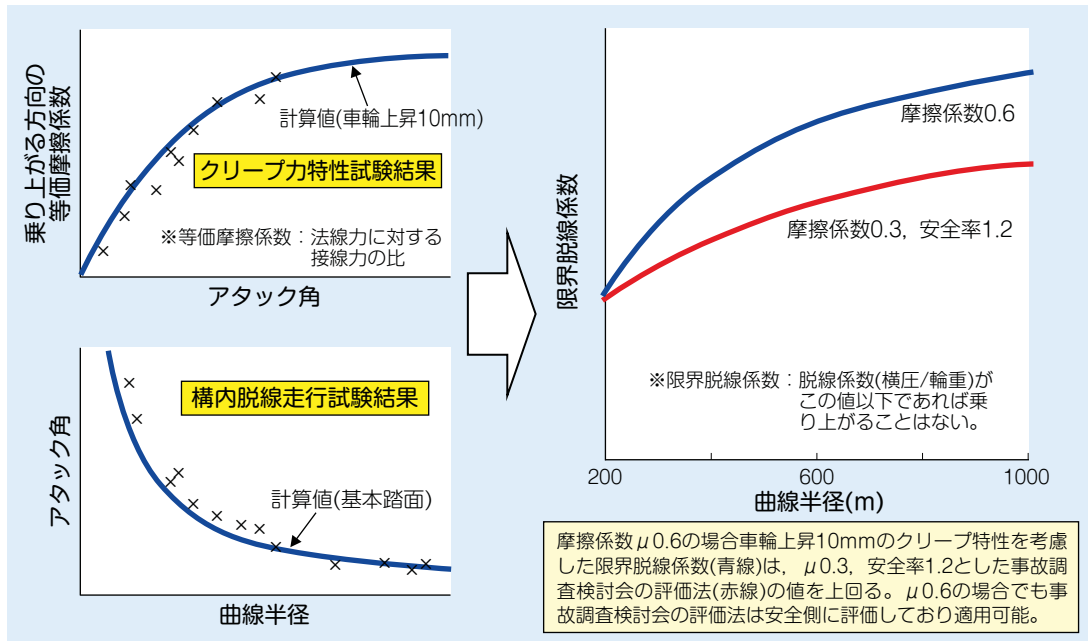


図5 構内脱線走行試験，クリープ力特性試験の結果から得られる，曲線半径と限界脱線係数の関係

いものがあり，従来扱うことができなかった大きな計算規模の問題，実験や計測が難しい問題など様々な場面で計算機シミュレーションが威力を発揮していくことになるでしょう。鉄道総研では，先述の重点的に取り組む研究テーマのグループの一つに「鉄道シミュレータの構築」¹⁾を掲げ，鉄道の力学現象を対象に，各分野の解析モデルを統合して鉄道シミュレータを構築することを目標に取り組んでいます。この中の構成要素の一つである車輪／レール高速接触解析モデルを図6に示します。レールと車輪が高速で回転接触する時の接触領域内の作用力を計測することは困難ですが，このような計算により詳細に推定することができる

を例に記しました。鉄道システムの安全性をさらに向上させるためには，過去に起きた事故に学び同種の事故を起こさないように対策をすることはもとより，関連して類似のあるいは全く異なるどのような事象が起こりうるかなど想像力を働かせ，それに対する備えをしていくことが必要となります。また，作用，応答，耐力の発現メカニズムについて理解を深め，それに基づいた安全性評価法の構築と効果的な対策を提示し，安全レベルを維持するための安全管理の適切化を図る必要があります。安全性評価については，必ずしも決定論的に応答と耐力の大小の判別ができるとは限らず，ばらつきや不明な要素を考慮した安全率(余裕)の中身(要因の寄与)を見極めることや，確率論的な考え方の導入などにより，より適切な評価法のあり方の追究が必要と考えます。鉄道総研は，安全性のさらなる向上に向けたこのような基礎的な取り組みに今後とも傾注してまいります。**RRR**

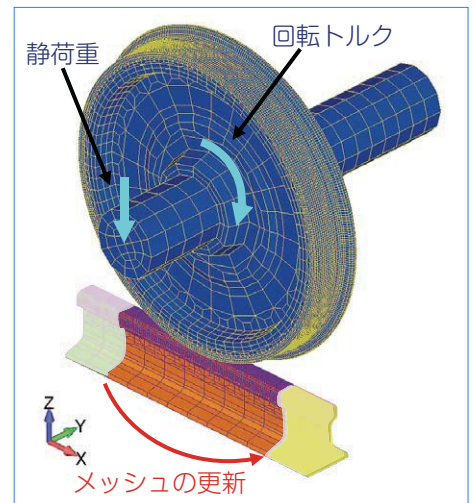


図6 車輪／レール高速接触解析モデル

おわりに

以上，鉄道総研における安全性向上の研究のなかで，重点的に取り組んでいる「鉄道システムの安全性・信頼性向上」の研究概要と，安全性評価法の研究の重要性，その研究における現象解明の重要性について乗り上がり脱線

文献

- 1) RRR : Vol.68, No.1, 2011
- 2) 事故調査検討会：帝都高速度交通営団日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告書, 2000.10
- 3) 石田弘明ほか：急曲線低速走行時の乗り上がり脱線に対する安全性評価手法，鉄道総研報告，Vol.18, No.8, pp.5-10, 2004