

車両の研究開発における最近の話題

車両構造技術研究部
部長 早勢 剛

1. はじめに

鉄道総研では基本計画 Research2010 に則り、図1のように①安全性の向上、②環境との調和、③低コスト化、④利便性の向上の4点を大きな目標として、①基礎研究、②将来に向けた研究開発、③実用的な技術開発という3つ柱に沿ってテーマを設定し、研究開発を推進している。

車両技術についても、この基本方針に沿って研究開発を進めているが、近年の鉄道車両に求められる性能は、社会の意識や環境の変化を反映して多様化が進んでおり、これらをバランスよく組み合わせることで安全性や性能の向上につなげていく必要がある。本稿では車両分野における最近の研究開発の中から、安全向上に関係する「車輪踏面の微小凹凸による曲線走行時の横圧低減」、「中空車軸のき裂検知」、「踏切事故時の衝突安全性」などのトピックを紹介する。

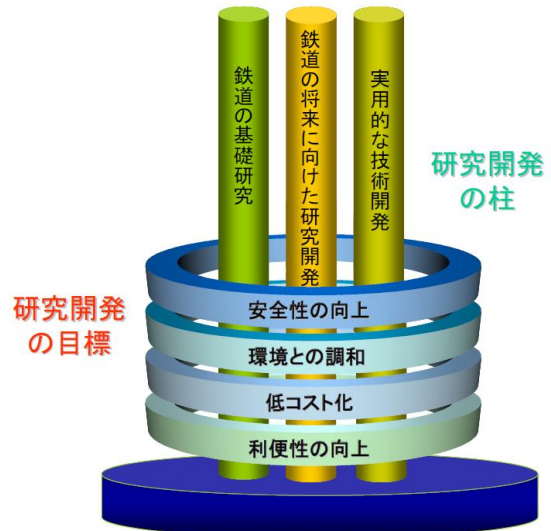


図1 鉄道総研の研究活動

2. 車輪踏面の微小凹凸による曲線走行時の横圧低減

車輪踏面の円周方向には、削正痕などによる微小な凹凸（高さ数 μm ～数十 μm 程度）があり、車輪とレール間の接触面形状（コンタクトパッチ）が理想的な楕円形状とならない場合がある。この時、レール/車輪間に作用する接触力（クリープ力）は微小凹凸の有無で異なると考えられ、車両の運動特性に影響を及ぼす可能性が考えられる。

車輪踏面の微小凹凸の有無と、車輪とレール間に作用するクリープ力特性の関係を調べるため、接触面に異なる高さ・ピッチの微小凹凸を設けた小型試験片を製作し、接線力測定実験によりクリープ力を比較した。その結果、接触面に微小凹凸がある方が平滑な形状よりクリープ力が小さく、特に、まくら木方向に作用する横クリープ力を低減させる適切な条件があることが分かった。この知見を応用し、車輪踏面の反フランジ側に適切な形状の微小凹凸を設けて、曲線走行時の車両の横圧を低減させる手

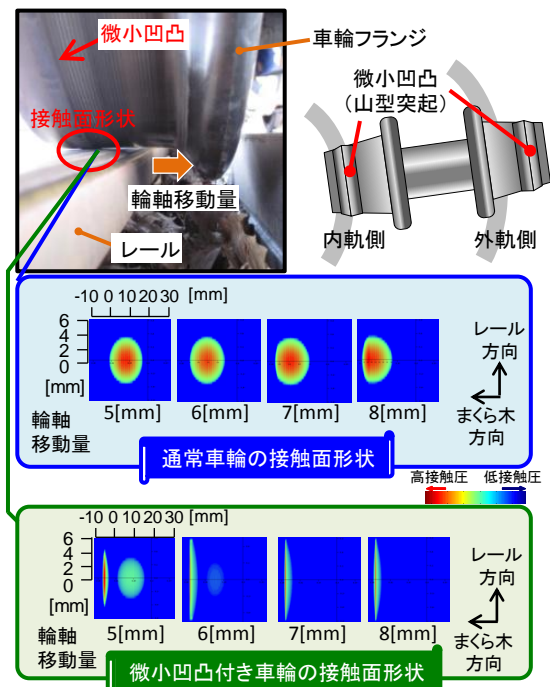


図2 通常車輪と微小凹凸付き車輪の接触面形状

法を提案し（図 2），鉄道総研構内での現車試験によりその有効性を確認した。この結果，本手法は通常の車輪踏面より大気相対湿度が低い条件（≒車輪とレール間の摩擦係数が高い条件）において，円曲線で生じる定常的な横圧を 10%程度低減させ，内軌側横圧輪重比 κ と脱線係数 Q/P を小さくする効果があることが分かった（図 3）。

この方法は，車輪転削の形状を変えて，反フランジ側に 0.1mm 程度の突起を作るものであり，走行とともに磨滅していくが，車輪転削後に発生しやすい乗り上がり脱線を抑える効果があると考えられる。

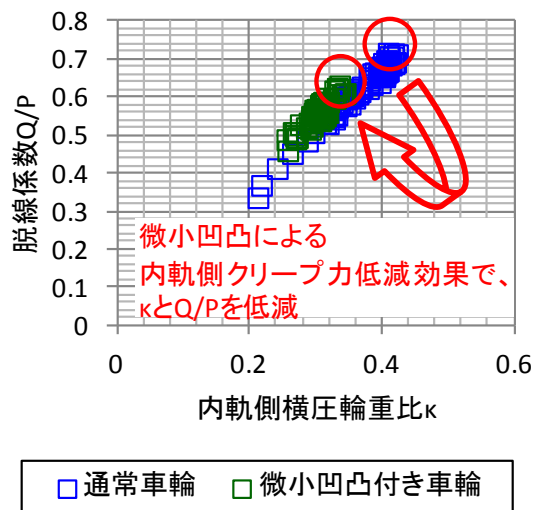


図3 微小凹凸付き車輪の横圧低減効果

3. 中空車軸のき裂検知

常時監視による故障発見方法の例として，破壊前漏洩（LBB）を用いた輪軸・台車枠の常時監視手法を紹介する。この手法は中空輪軸や溶接構造台車枠などの中空部分に圧縮空気などの流体を予め封入しておき，きずが発生・成長して中空部に貫通すると，封入した圧縮流体が漏れ出して圧力が低下することを検知して損傷を判定するものである。車軸や台車枠の疲労破壊は脱線等の重大事故に直結するため，これまでも超音波探傷や磁気探傷を用いて，定期的に検査が実施されているが，大掛かりな作業であるので，頻繁に行うのは困難だった。本手法によれば閉空間内のどこで発生したきずであっても，圧力という比較的観測しやすい物理量を用いて容易に発生を検知できる。また，完全に在姿状態で検知できるため，手軽であり，装置の構成によっては常時監視が可能であるなどの利点がある。

一方で，本手法を鉄道車両の故障徴候の検知に応用するためには，①確実なき裂検知ができること，②検知から破断に至るまでに十分な余裕時間が得られること，の 2 点を確認しておく必要があり，これらを実験的に確かめた。

模擬車軸に対する試験の状況を図 4 に示す。試験は実物の 1/3 の中空模擬車軸に圧縮空気を封入し，回転負荷を加えて疲労き裂を発生させ，圧力低下の検知から破断に至るまでの状況を

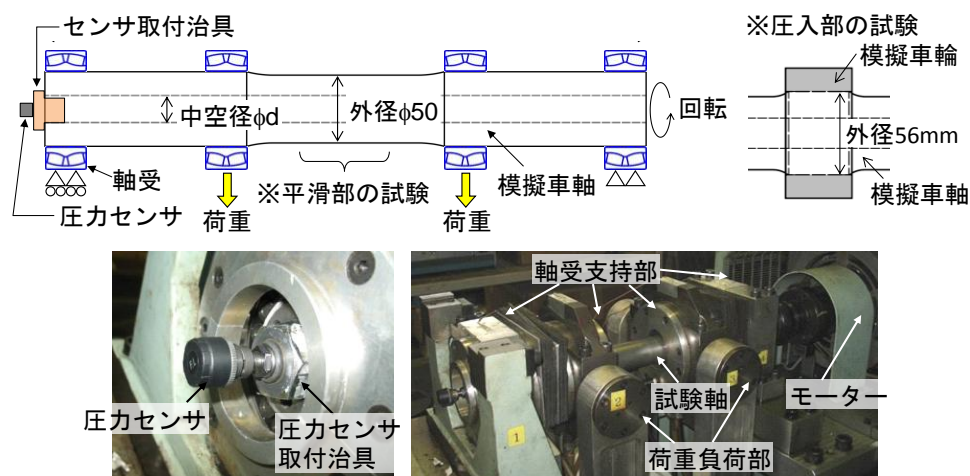


図4 模擬車軸によるLBBの適用性確認試験

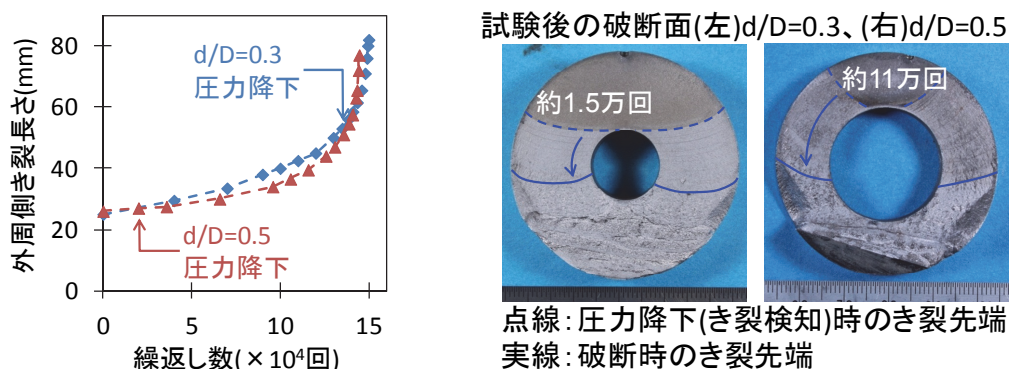


図5 きずの成長状況と破断後の様子

観測した。また、外径に対する内径の比（内径比）を変えて試験し、検知しやすい軸の形状を検討した。

内径比 0.3 と 0.5 の軸の平滑部に成長したきずの成長と破断の状況を図 5 に示す。両方の軸ともきずが内側に到達した段階で圧力が低下し、きずの検出が可能であることが確認された。さらに試験を継続していくと内径比 0.3 の軸は圧力低下後、約 1.5 万回で破断したが、内径比 0.5 の軸は破断までの負荷回数が約 11 万回となり、内径比の大きい方が本手法による検知には有利であることがわかった。

一方、車軸には車輪や歯車などが嵌合されている圧入部があり、このような部位に発生したきずについても検知できることを確認する必要がある。平滑部のきずと同様に試験を行ってこれを確かめた。この結果、平滑部と同様に圧力低下はきずが中空部に達した段階で検出され、検出後破断に至るまでの繰り返し回数は約 7 万回だった。

これらの結果を用いて、実物の車軸が圧力低下から破断までにどの程度の余裕を持つかを材料のき裂進展速度、想定される実働応力から破壊力学的に評価すると、検出余裕の少ない内径比 0.3 の軸が大きな負荷を受ける急曲線区間を走行する状況において、5 万回（走行距離換算 140km）程度となり、常時監視であれば破断に至る前に検出可能であることがわかった。

4. 踏切事故時における衝突安全性

万一の衝突事故時に乗客・乗員の被害を軽減する車体構造は重要であるが、日本の鉄道車両においては車体構造の設計基準は衝突事故を想定しておらず、衝突条件が明示されていない。また、車両の衝突安全性の指標としては、車体衝撃加速度や生存空間確保のための車体変形量が使用される場合が多いが、その限度値を設定することが困難であった。このような状況に鑑み、この研究では衝突シナリオを検討するため、近年の踏切重大事故を調査し、特に重要な項目であると考えられる衝突速度と衝突対象物について統計的な調査をおこなった。

調査の結果、昭和 62 年度から平成 22 年度までに発生した踏切重大事故（死傷者 10 名以上または脱線車両数 10 両以上）は 34 件あった。推定衝突速度と衝突対象の内訳を図 6 に示す。平均推定衝突速度は 54km/h で、最大は 109km/h、衝突対象は大型貨物自動車が 64%を占めていた。

次に、先頭車の詳細な FEM 解析モデルを作成し、自動車の前面衝突試験用のダミー人形 (Hybrid-MIAM50) の FEM モデルと組み合わせることにより、衝突事故時の車体変形と乗務員

の挙動を同時に評価し、乗務員の傷害値を定量評価できる評価手法を構築した。乗務員の傷害評価は自動車分野で用いられている評価指標のうち、死亡・重傷・後遺障害につながる可能性の高い頭部傷害値(HIC36)、胸部傷害値(3MS)および下肢傷害値(大腿部荷重)の3つを使用した。また、乗務員の脱出を考慮し、車体変形により乗務員が挟まれないことを条件とした。

事例調査の結果から、積載荷重 22t の大型トレーラに速度 54km/h で衝突する場合を想定して解析を行った。この変形状況を図 7 に示す。頭部、胸部の傷害値は基準値以下であったが、左右大腿部荷重は基準値を超えた。衝突により、先頭車前面が圧縮変形して運転台が後方に倒れ始め、衝突後約 10ms 経過時に運転台が膝に衝撃することにより、左大腿部に 32kN の著大な圧縮荷重が発生した。その後も運転台の倒れ込みが継続し、最終的には、運転台の倒れ込みにより脚部が挟まれた状態となった。

車両のパラメータを様々に変えて上記の改善を検討した結果、①運転台の剛性低下(頭部・胸部・膝の衝撃緩和)②車端から運転台の間のクリアランス確保(挟まれ防止、頭部・胸部の衝突位置コントロール)、③運転台前面から窓まで半身以上の距離の確保(頭部の衝撃防止)などが有効であることが分かった。

なお、過去に発生した重大事故の解析を本手法により行い、実際の事故車両の変形状況および乗務員の負傷状況を概ね再現できることを確認している。

本評価手法は様々な条件に対応でき、今後の車体設計や衝突シナリオ策定にむけての検討に活用できるものと考えられる。また、乗務員を対象とした本研究の知見をもとに乗客を対象を広げ、乗客の傷害度を評価できる車両の衝突安全性評価手法の構築を進める計画である。

5. おわりに

車両技術に関する最近の研究から、安全性の向上に関する事例を紹介した。車両技術は関係する技術の間口が広く、技術革新も早い。また、車両に求められる性能も多様化してきており、要素技術の進歩を取り込みながら今後もバランスの良い技術開発を進めていきたいと考えている。

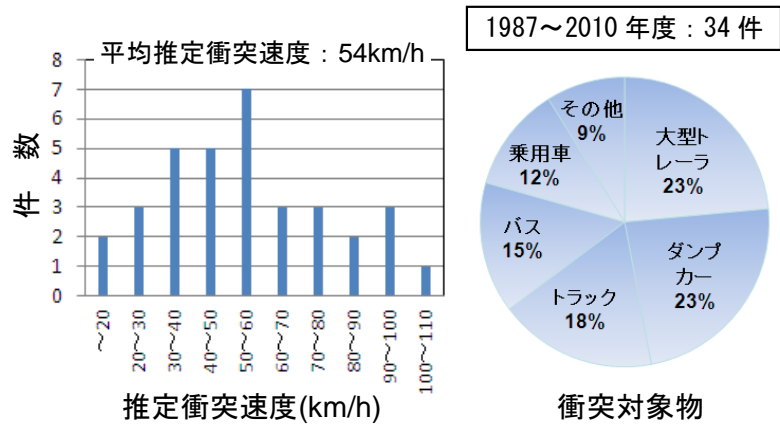


図6 衝突推定速度と対象物の調査

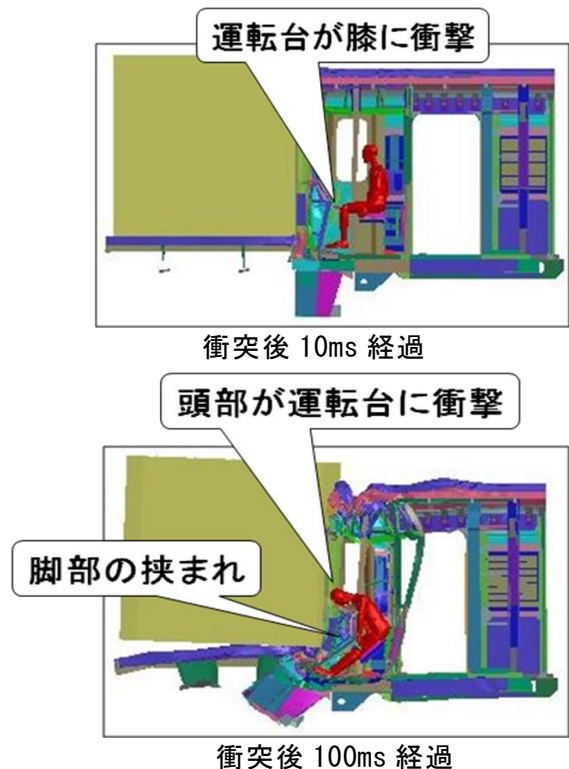


図7 衝突後の挙動