

車両技術に関する最近の研究開発

車両構造技術研究部
部長 佐々木 君章

1. 鉄道総研における車両技術研究

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将来に向けた研究開発、②実用的な技術開発、③基礎研究という 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、この基本方針のもとで研究開発を進めているが、車両技術の研究範囲は強度や材料特性、運動特性や制御の問題、乗り心地や経済性など、非常に多岐にわたっており、これらをバランスよく組み合わせて安全性や性能の向上につなげていく必要がある。

鉄道総研の車両分野の研究は、図 2 に示す車両を主務とする 3 研究部 8 研究室のほか、基礎研究を主とする防振材料、潤滑材料、摩擦材料研究室(以上材料技術研究部)、車両空力特性、熱・空気流動、騒音解析研究室(以上環境工学研究部)等、多くの研究室で行われており、テーマ内容により協力しながら研究を進めている。

本稿では、これらの研究・開発の中から、安全に係る問題として、車軸の信頼性向上、横圧の低減、ブレーキの信頼性向上等の研究事例について紹介する。

2. 車輪座形状の最適化

車軸の折損は重大事故につながる。車輪と車軸のはめ合い部においては、フレッキングのため、疲労強度が材料単体の場合よりも 50%以上低くなることが分かっている。従って、はめ合い部に疲労き裂が発生しないよう、

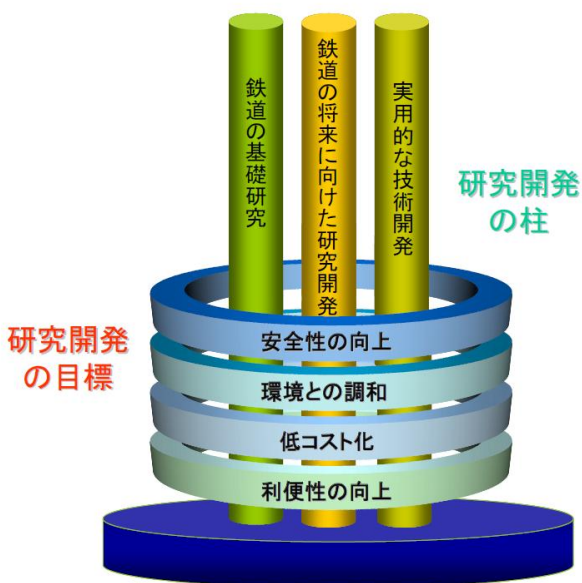


図 1 鉄道総研の研究活動

車両分野の研究室

	車両構造技術研究部	車両制御技術研究部	鉄道力学研究部
車両運動	走行安全性評価 車両運動特性の試験・シミュレーション		
走り装置	振子制御システム／軌間可変台車の開発 アシスト操舵システムの開発		
車両振動	振動制御システムの開発／HILSシステムの開発 車体弾性振動低減／車内騒音低減		
車両強度	車両各部の疲労強度評価／非破壊検査法 車両衝突時の衝撃特性		
駆動制御	車両の省エネルギー・蓄エネルギーシステム 空転・滑走再粘着制御／車両用電子機器の劣化評価		
動力システム	電気車の主回路システム／ディーゼル車の動力制御 新たな車両動力源		
ブレーキ制御	制輪子ブレーキ／ディスクブレーキ ブレーキシステム全般		
車両力学	地震時走行安全性評価／鉄道車両運動の現象解明 車両の空気力動揺／車輪・レールの摩擦		

図 2 鉄道総研の車両関係研究室と主な分野

疲労強度を改善する形状の開発は車軸の信頼性向上において重要な問題である。本件は輪軸を模擬した試験片（図 3）について、弾塑性応力解析と回転曲げ疲労試験により、はめ合い部の段差形状と疲労強度の関係を調べたものである。

試験片形状について図 4 に示すような応力解析を行った結果、はめ合い端部の形状によってははめ合い部の応力状態が変化することを確認した。端部の形状を変えて、はめ合い部に生じる最大応力を調べたところ、図 3 における接線角度 θ が大きいほど変動応力が小さくなり、疲労強度の面で有利であることがわかった。

次に、上記応力解析結果の妥当性を検証するために、接線角度の異なる試験片を製作し、回転曲げ試験を行った。得られた接線角度と変動応力・疲労強度の関係を図 5 に示す。この図より、接線角度を大きく設定することによりはめ合い部の疲労強度が大きくなることが確認された。

この関係を車軸設計に反映させることにより、輪軸の信頼性を向上することが可能である。また、従来と同程度の車軸疲労強度を想定する場合、最大約 30%の軽量化ができる可能性のあることがわかった。

3. アシスト操舵システムの開発

曲線走行における横圧を減少するため、操舵システムの開発に取り組んできた。

これまで研究されてきた操舵方式は、自己操舵、連動操舵、アクティブ操舵に大別できる。自己操舵方式は軸箱の前後支持剛性を軸ごとに変えるなどの手法により曲線通過性能と蛇行安定性を高いレベルで両立させることを目指すものである。構成が簡単である利点があるが、横圧低減効果も限定される。連動操舵方式は曲線走行中に発生する車体-台車間の角度（ボギー角）の変化をリンクにより輪軸に導き、機械的な連動により輪軸の角度を変える方式である。本方式については実用化されており、円曲線内での横圧低減に効果を上げている。アクティブ方式は輪軸をアクチュエータにより動かし、輪軸角度を適切に制御する方式で、3者の中で最も高い横圧低減効果を発揮するが、故障時の安全性担保や、逆操舵の危険性などが指摘され、フェールセーフの観点から実用化に至っていない。

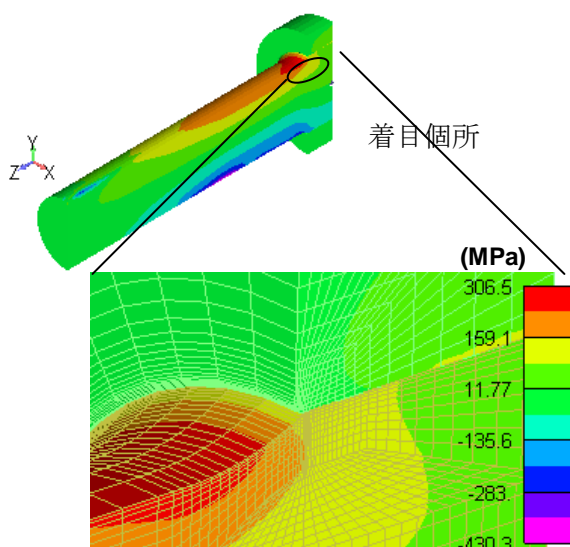


図 4 弾塑性応力解析結果例

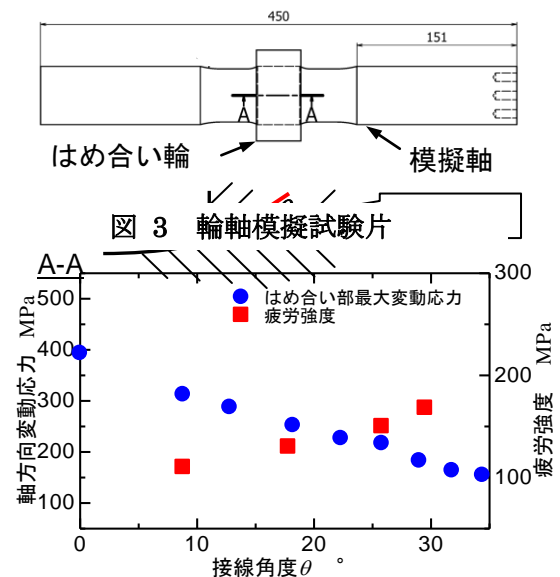


図 5 接線角度と変動応力、疲労強度の関係

このような背景を考慮し、簡単な台車構造でフェールセーフ性を持つ操舵システムの検討を行った。これはボルスタレス台車の軸箱をアクチュエータ組み込んだモノリンクで前後支持し、輪軸自体の持つ自己操舵性能を生かしつつ、力制御で操舵力を補助して曲線通過性能を向上させるシステムである。本方式を「アシスト操舵システム」と呼ぶ。試験の結果、補助操舵力の上限を設けることにより、逆操舵を起こした場合でも横圧上昇が起こらないことが確認され、アクティブ方式の最大の課題であるフェールセーフ性を解決できる見込みが得られた。

図6に台車の外観を、図7にアクチュエータの構造を示す。本アクチュエータは内部に予圧縮ばねが設けられており、空気が込められていない状態では、予圧縮ばねにより最縮位置に保たれ、両端のゴムブッシュにより所定の軸ばね前後支持剛性となる。

操舵時には、外軌側アクチュエータのみに空気圧を込めてアクチュエータを伸ばし、外軌側軸距を広げることにより輪軸の角度を変える。

アクチュエータが伸びるためには、車輪に働く前後クリープ力と、アクチュエータ発生力の合力が予圧縮力を上回る必要がある。このときの力の関係を整理すると図8のようになり、正常方向の操舵ではクリープ力とアクチュエータ発生力の作用方向が同じであるため、合力が予圧縮力に打ち勝ち、アクチュエータが伸びて操舵される。一方、逆操舵の場合には各力の方向が逆になるため、予圧縮ばねの作用によりアクチュエータは最縮位置にとどまり、ゴムブッシュによる基本の軸箱前後支持剛性で動作する。従って、アクチュエータ発生力の上限を予圧縮力以下に抑えれば、逆操舵には至らない。

以上より、制御系の電源断で減圧するように空気圧系を構成し、異常の検知により制御系の電源を切るシステムにすることでフェールセーフシステムが構成可能となる。実験で求めた操舵力と横圧の関係を図9に示す。この図から、最大操舵力を予圧縮力の範囲に抑えれば、逆操舵による横圧上昇は発生せず、この範囲の操舵力でも50~70%程度の横圧低減効果があることが確認された。

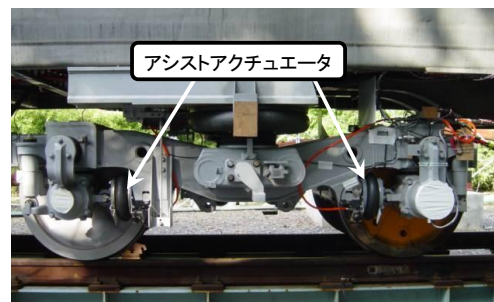


図6 アシスト操舵台車

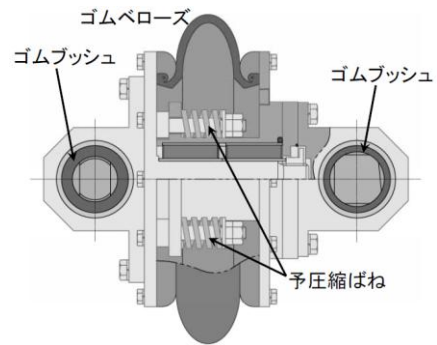


図7 操舵アクチュエータの構造

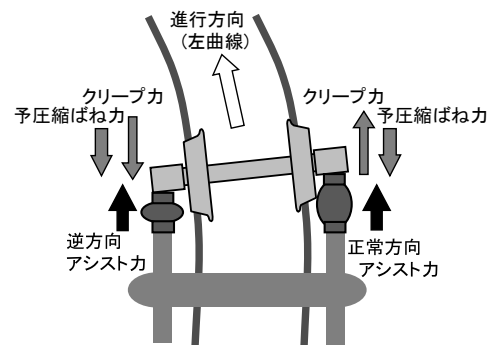


図8 クリープ力とアクチュエータ発生力の関係

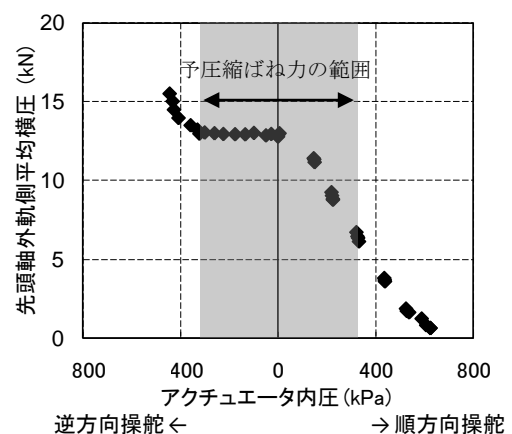


図9 操舵力と横圧の関係

4. 電磁弁指令線断線検知装置の開発

貨物列車のブレーキ方式として広く用いられている自動空気ブレーキ方式は列車が分離しても自動的にブレーキがかかり、電源を必要としないなどの長がある反面、長編成列車になるほど指令が編成後部に伝わるまでに時間を要し、ブレーキのかかりが遅くなる欠点がある。

この課題の解決策として、貨車毎に電磁弁を搭載し、電氣的指令により編成各貨車のブレーキを一斉に動作させる電磁自動空気ブレーキ方式があり、主に高速用貨物列車で用いられている。

本方式では営業走行開始前にブレーキ引通し指令線（以下「指令線」という）の導通確認検査が行われているが、もし指令線に断線が発見された場合には、断線箇所の特定に数時間を要する場合もあり、ダイヤ遅延や最悪の場合には運休となる。

こうした場合に迅速な復旧支援を行うため、編成貨車の端から指令線の断線箇所を特定する方法を提案し、可搬型測定器を開発した。本方式では、編成貨車の指令線回路網モデルを構築し、指令線の理論抵抗値と測定抵抗値を比較することで、断線の有無と、断線があればその箇所を特定する。実貨車を用いた断線模擬試験の結果、理論抵抗値と測定抵抗値はほぼ一致することが確認され、これにより指令線の断線箇所を特定することができた。

指令線に接続される電磁弁の回路網モデルを図 10 に示す。回路網解析では直流成分を扱うこととした。各車両の指令線回路の素子を、1 貨車の車体長分の指令線抵抗 r と電磁弁コイル抵抗 R とし、貨車の端側（図の左側）に、抵抗算出用の電圧 E を与えると、回路網の抵抗により指令線電流 A 得られる。断線がある場合の回路抵抗予測値は回路網モデルから計算されるので、実測値と比較することにより断線箇所を特定することができる。なお、電圧 E を印加する指令線は切り換えスイッチにより、変えることとする。

緩め指令線に断線箇所を設定した時の編成端から見た抵抗値を、理論値と実測値を比較して図 11 に示す。両者は良く一致しており、指令線とグラウンド線の間の抵抗値から断線箇所を特定できることが確認された。

また、本方式を車載装置に応用すれば、万一走行中に断線が発生した場合においても、数十秒ごとに抵抗値を測定して外気温変化の影響等を補正することにより、断線箇所を特定可能になることが期待される。

5. おわりに

車両技術に関する最近の活動から、安全に関係する研究事例を紹介した。車両技術は関係する技術の間口が広く、技術革新の速い分野を含んでいる。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バランスの良い技術開発を進めていきたい。

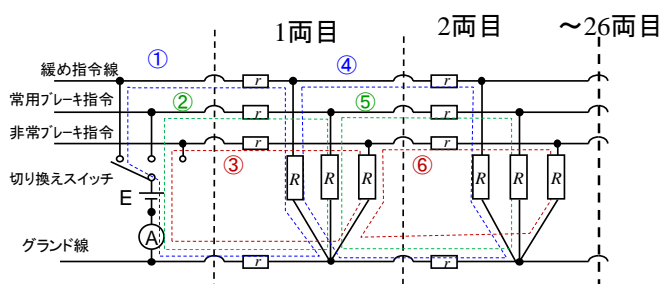


図 10 指令線の回路網モデル

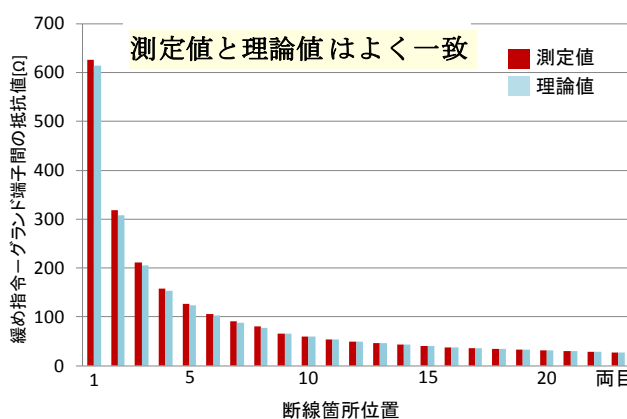


図 11 指令線の断線位置と抵抗値