

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、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。

鉄道総研における車両技術の研究開発は、3研究部8研究室が、それぞれの得意な技術分野について分担して実施している。また、基礎研究分野でも、材料関係の研究室など、多くの研究室が車両技術の開発に関わっており、2012年度は約80件の車両技術に関する研究開発テーマが進められている。

本稿では「乗り心地向上」の分野から、近年の使用状況の変化により顕在化しやすくなってきた上下系振動の対策のうち、乗客の振動低減効果を模擬する制振デバイスや制振機器吊り等の新しい発想による車体弾性振動対策や、可変減衰ダンパによる制振制御等の最近の研究状況を紹介する。これまでの研究から、車体の弾性振動はモード形状・モード周波数の異なる複数の振動が接近した周波数帯域で混在しており、単一モードへの対策では効果が薄いことが分かっている。このため、ある程度の周波数幅にわたって減衰効果を発揮できる方策の研究を進めている。また、十分な軌道保守コストが掛けられない閑散線区向けに開発した、可変減衰ダンパによる上下振動低減システムを紹介する。

2. 乗客の振動低減効果を模擬する制振デバイス

鉄道車両の上下振動乗り心地は、通常空車条件で評価されるが、車体の振動特性は乗客により変化する。車体弾性振動に着目した場合、乗客の影響は、剛体の錘を積載した場合に見られる固有振動数の低下ではなく、7~14Hz程度の比較的広い周波数範囲にわたる周波数応答ピークの

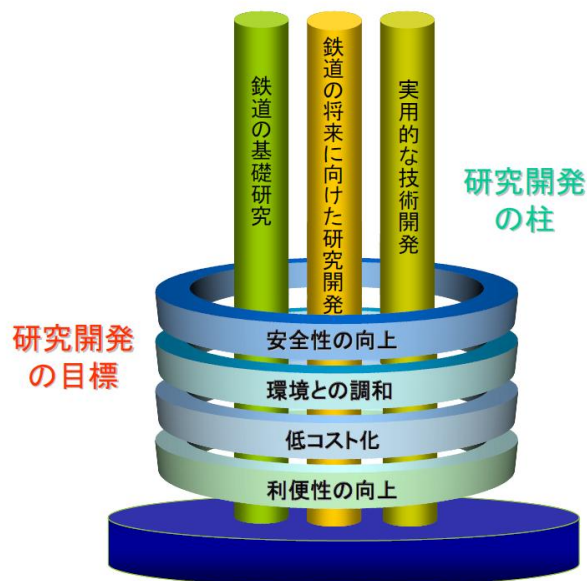


図1 鉄道総研の研究活動

低減として現れることが分かっている。

この効果は人体の柔軟性により、振動方向以外の多方向に変形することに起因すると考えているが、制振デバイスとして見た場合、比較的広い周波数範囲にわたって共振周波数の振幅を低下させる良好な特性を示す。

この特性を適切・簡便に模擬して車体弾性振動を低減することを目的とし、その基礎検討として、水、水溶性ジェル、高吸水性樹脂を充填した柔軟なポリエチレン製容器(以下、柔軟容器)による振動低減効果について検証した。

通勤車相当の試験車体に柔軟容器(質量約 1t)を積載し、車両試験台において加振試験を実施して、ほぼ同質量の乗客の乗車時(16名立位)および空車時と振動特性を比較した。柔軟容器の設置状況を図 2 に、加振時に測定した床上(車体中央腰掛下)の振動加速度パワースペクトル密度(PSD)を図 3 に示す。

空車時の PSD には 7Hz および 11Hz 付近にピークが見られるが、乗客の乗車時には両方のピーク値が減少している。柔軟容器積載時は、充填物により両ピークの低減のバランスが異なるが、いずれの場合もピーク値が減少し、複数の弾性振動モードに対して振動低減効果が得られており、乗客による振動減衰効果を模擬できることがわかった。

次に、床面全体としての振動低減効果を確認するため、床上 21 点(床面をほぼ等間隔で 3×7 列に配置)と腰掛 2 点(中央部の左右)の加速度のうち、弾性振動が支配的な 5~20Hz 成分の実効値(RMS 値)の平均を計算した結果を図 4 に示す。この結果より、車体特定の部位だけでなく、全体として振動が低減していること、柔軟容器積載時の低減効果が、乗客とほぼ同程度であることを確認した。また、この減衰効果は封入する液体の種類にはあまり影響を受けず、通常の水で良いことが分かった。一方、減衰効果に対する容器形状の影響は大きいと考えられ、最適な形状の研究を進めている。

3. 床下機器の高減衰弾性支持による振動低減

床下機器を適当な支持剛性で弾性支持すると、「動吸振器」を構成でき、車体弾性振動の低減に有効と考えられる。しかし、通常の動吸振器では制振したい周波数の振動に振動体(この場合は



図 2 柔軟容器の設置状況

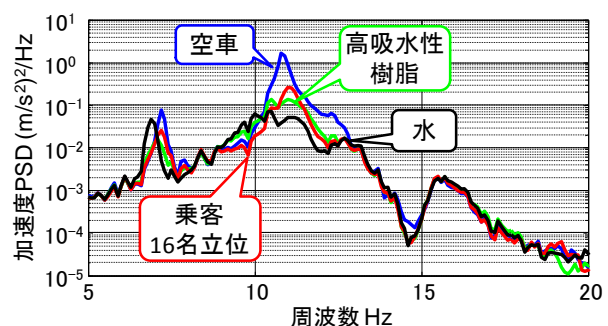


図 3 乗客と柔軟容器による振動低減効果

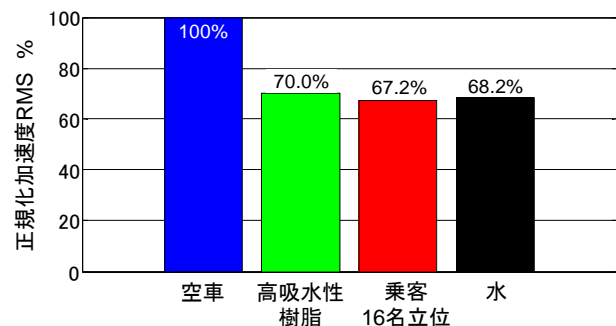


図 4 平均床面振動加速度の低減効果

床下機器) を共振させる必要があるため、固有周波数の異なる複数の振動モードが混在する状況においては十分な効果を得るのが難しかった。

これに対して、共振周波数を制振対象周波数より低く、高減衰で床下機器を支持すると、比較的広い範囲の周波数で効果が得られ、床下機器が発生する振動に対する絶縁効果もあることがシミュレーション結果等から分かった。これより、乗り心地に影響の大きい車体弾性振動の低減と機器が発生する振動の車体への伝搬抑制を両立する、「制振機器吊り」の開発を行った。

自動車や建設機械に使われる液封マウントをベースとして吊り金具を製作し、通勤形車両相当の試験車両に1台 500kgの質量を持つダミー機器を2台設置(うち1台は振動発生機能あり)して車両試験台における加振試験を実施した(図5)。その結果、本手法の適用により複数の車体弾性振動モードの同時低減効果とともに床下機器から発生する振動を車体に伝えにくくする振動絶縁効果を持つこと(図6)、床下機器自体の振動増大はないこと(図7)などが明らかになり、開発した制振機器吊りの有用性が確認された。本手法は一般的な動吸振器のように固有振動数や減衰特性の調整が不要であり、メンテナンスフリーで軽量、簡便な車体弾性振動低減対策であるため、様々な車両に適用可能と考えられる。



(a) ダミー機器設置状況 (b) ダミー機器 (質量 500kg/片側)

図5 車両試験台における加振試験

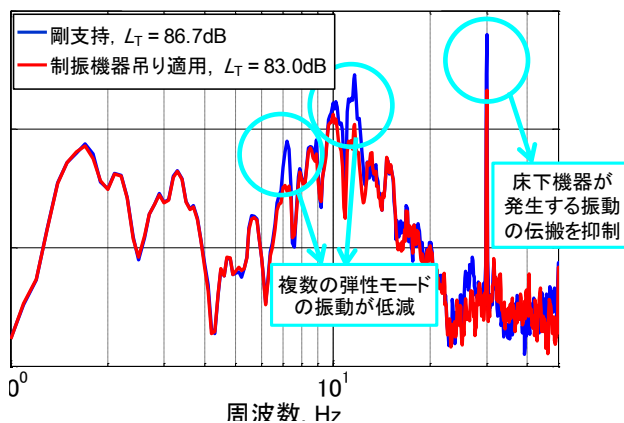


図6 床中央窓下位置での加速度パワースペクトル密度(PSD)の測定結果(82.8km/h相当の実走行模擬加振, 凡例中のLTは上下乗り心地レベル)

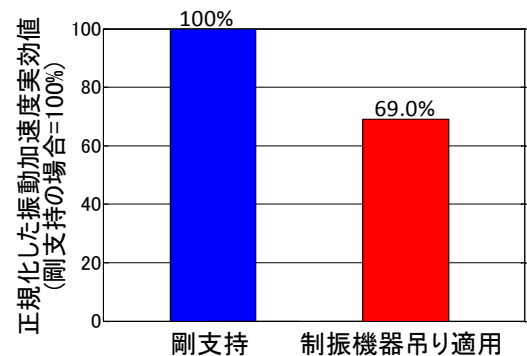


図7 ダミー機器可動側の振動加速度実効値(剛支持条件の値で正規化)

4. 可変減衰上下動ダンパを用いた制振制御システム

軌道不整が比較的大きい線区を走行する車両では、上下方向の剛体モード(上下並進, ピッチングモード)の振動が大きく、乗り心地に大きな影響を与えている場合が多くみられる。そこで、

枕ばねと並列に可変減衰ダンパを取り付けて減衰力の制御を行うことにより、車体の振動を低減するシステムを開発した（図8）。

本システムは、車体に取り付けた加速度センサの情報をもとに、制御装置が適正な減衰力を計算し、可変減衰上下動ダンパを制御して車体の振動を低減する。また、制御用の加速度センサ信号から、ピッチングと並進モードの振動の位相差でダンパの減衰力異常を検知するアルゴリズムを開発し、ダンパの減衰力を直接測定することなく減衰力の異常を検知できるようにした。

電源断の状態では通常のダンパと同程度の減衰力を発生する油圧回路としており、異常時には自動的にダンパの制御電源が切断することで、通常の車両としての走行が可能となっている。

走行試験の結果、本システムにより台車直上の車体上下振動加速度パワースペクトル密度のピーク値は1/5程度に低減され、乗り心地評価指標であるLT値（乗心地レベル）は約4dB減少した（図9）。本システムはJR九州殿の観光特急列車「指宿のたまて箱」他に搭載され、鉄道用の

上下振動制御システムとしては世界初の実用化例となっている（図10）。

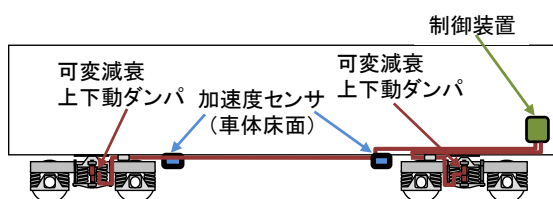


図8 制振制御システムの構成

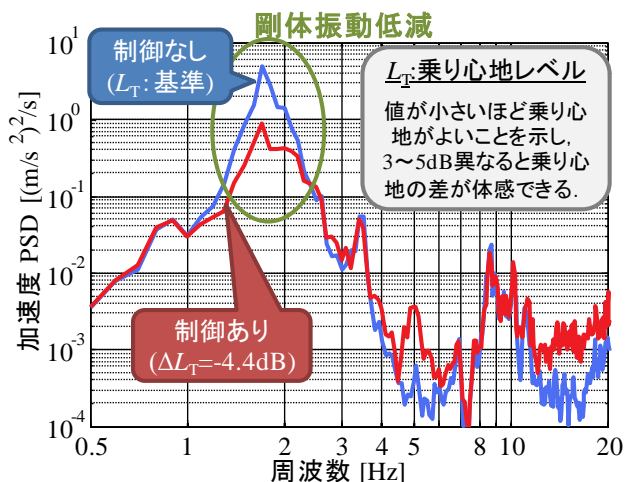


図9 制御による振動低減効果例

(速度 73km/h 台車直上 車体上下加速度 PSD)



図10 観光特急「指宿のたまて箱」に搭載された可変減衰上下動ダンパと加速度センサ

5. おわりに

車両技術に関する最近の活動から、乗り心地向上に関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バランスの良い技術開発を今後も進めていきたい。