

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

実走行を模擬して車体制振デバイスの効果を調べる

鉄道総研では、乗り心地への影響が大きい車体の弾性振動の低減を目指してさまざまな制振デバイスを開発してきました。その多くは、定置加振試験や車両試験台での実走行を模擬した加振試験によって振動低減効果を確認しています。ここでは、定置加振試験と車両試験台試験のそれぞれの特徴について述べるとともに、制振効果の検証例としてアクティブマスダンパー (AMD) の実証試験結果を紹介します。



秋山 裕喜
Yuki Akiyama
車両構造技術研究部
車両振動研究室
研究員
[専門分野] 機械力学,
振動工学, 車体弾性振
動, 振動解析



富岡 隆弘
Takahiro Tomioka
車両構造技術研究部
上席研究員
[専門分野] 機械力学,
振動工学, 車体弾性振
動, 車体構造



瀧上 唯夫
Tadao Takigami
車両構造技術研究部
車両振動研究室
主任研究員 (上級)
[専門分野] 振動工学,
制御工学, 車体弾性振
動, 振動解析



相田 健一郎
Ken-ichiro Aida
車両構造技術研究部
車両振動研究室
副主任研究員
[専門分野] 車体弾性振
動, 車体構造

はじめに

乗り心地のさらなる向上のために、鉄道車両の振動低減が求められています。特に、**図1**に示すように車体が弾性変形しながら振動する車体曲げ振動 (弾性振動) は、乗り心地に与える影響が大きいことが知られており、その低減が必要とされています。これに対して、鉄道総研ではさまざまな制振デバイスを開発してきました^{1), 2), 3)}。

制振デバイスの有効性は、実際の線路を走行する走行試験で検証することが理想的ですが、コストや時間などの制約から開発した全てについて走行試験を行うことは困難です。そこで、車両を定置した状態で車体をアクチュエーターなどで加振する定置加振試

験や、車両試験台での加振試験 (以下、車両試験台試験) によって制振効果などの検証が行われています。

定置加振試験

定置加振試験は、**図2**と**図3**に示すように車両を定置した状態で地面に設置した加振器により車体を加振する試験です。これは、加振器を据え付けることができれば場所を選ばず、比較的容易に実施することができます。そのため、開発した制振デバイスの最初の効果検証のために、多く行われます。

車両試験台試験

車両試験台は**図4**と**図5**に示すように、車輪に接する場所がレールと同じ

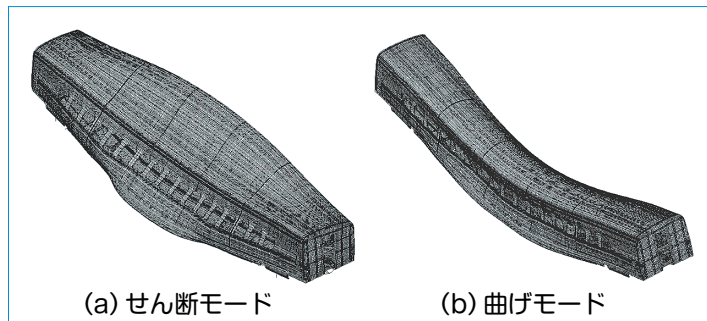


図1 車体曲げ振動のイメージ

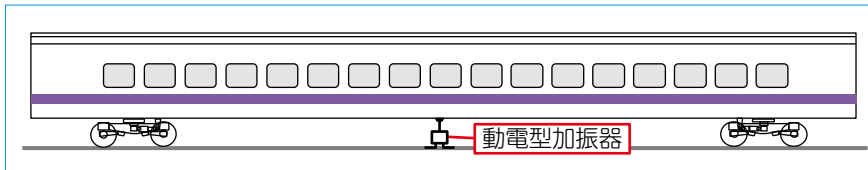


図2 定置加振試験概略図

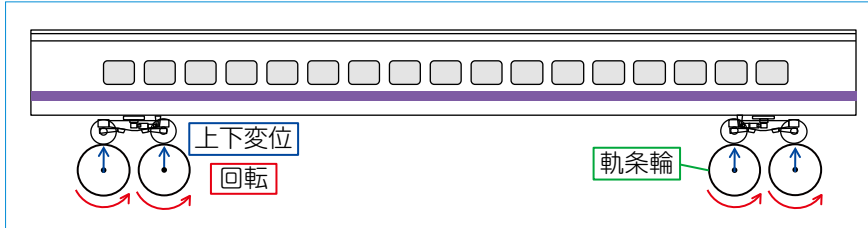


図4 車両試験台概略図

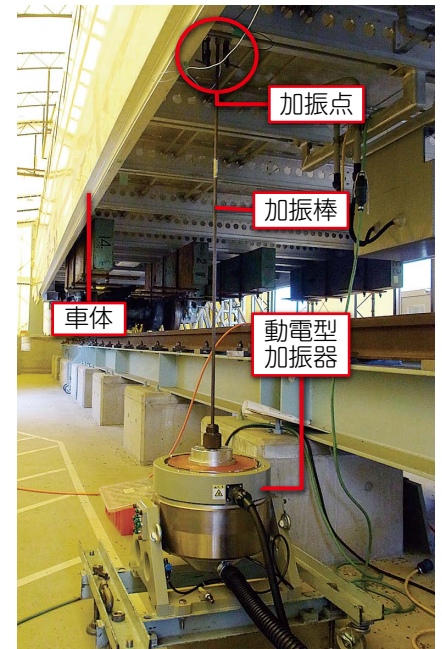


図3 定置加振試験実施状況

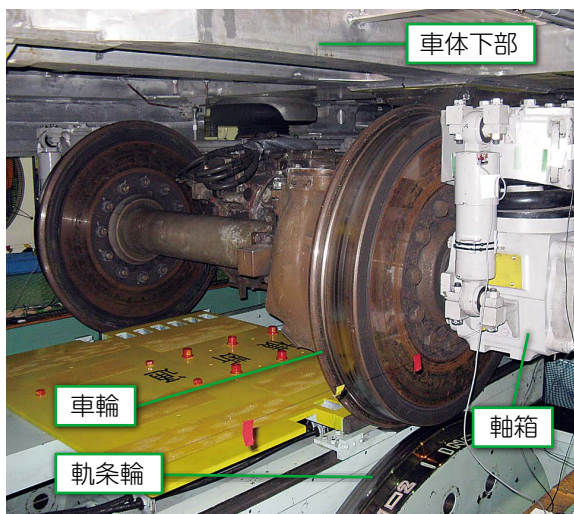


図5 試験台試験実施状況

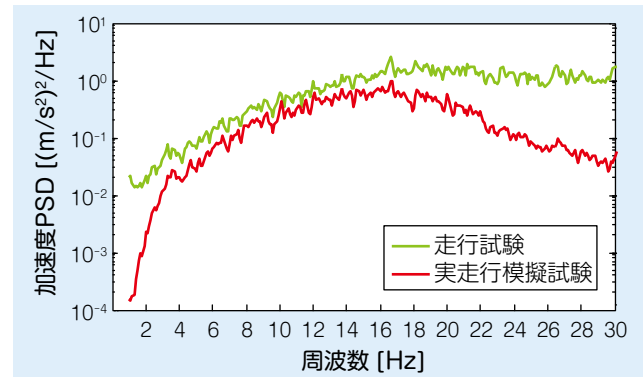


図6 軸箱上下加速度PSD (走行速度300km/h)

断面形状をした回転円盤（軌条輪）で構成されており、この軌条輪を回すことで車両がレールの上を走行している状態を再現することができる装置です。鉄道車両の走行中の振動はレールの上下・左右方向の微小な曲がりである軌道変位が影響しています⁴⁾。そこで、軌条輪を軌道変位と同じように上下・左右に動かすことにより、車両試験台上で実際の走行状態を模擬した加振試験（以下、実走行模擬試験）を行うことができます。この時、対象とする車両や軌道の条件によっては、乗り心地の評価に用いる車体床面の振動の大きさを走行状態と同程度にするために車輪に入力する軌条輪変位の大きさ、

あるいは低周波の加振信号を除去するなどの調整を行うことがあります。また、鉄道車両では各軸が走行速度に応じた時間差をもって同じ軌道変位上を通過します。車両試験台では、4つの軌条輪に同様の時間差を与えて動かすことでさまざまな走行速度に相当する実走行模擬試験を行うことができます。

図6に走行試験と車両試験台での実走行模擬試験で得られた軸箱の上下加速度のパワースペクトル密度（PSD）を示します。加速度PSDは振動加速度のパワー（強さ）を表し、値が大きいほどその周波数での振動が大きいことを表します。軸箱は、図5に示すように左右の車輪をつなぐ車軸を支える

部分で、軸箱の振動加速度は軌道変位との相関が高いことが知られています。図6から走行試験と実走行模擬試験では加速度PSDのパターンは、特に3～18Hzにおいてよく対応しており、走行試験の軌道変位を再現できていることがわかります。ただし、全体的に実走行模擬加振の結果は走行試験の結果よりも小さくなっており、3Hz以下と18Hz以上の周波数では差異が大きくなっています。これは、走行試験とは異なる車両を使用しているため、前述のように入力信号を調整していること、油圧のアクチュエーターの性能上高い周波数での加振が難しくなることなどの影響によるものです。

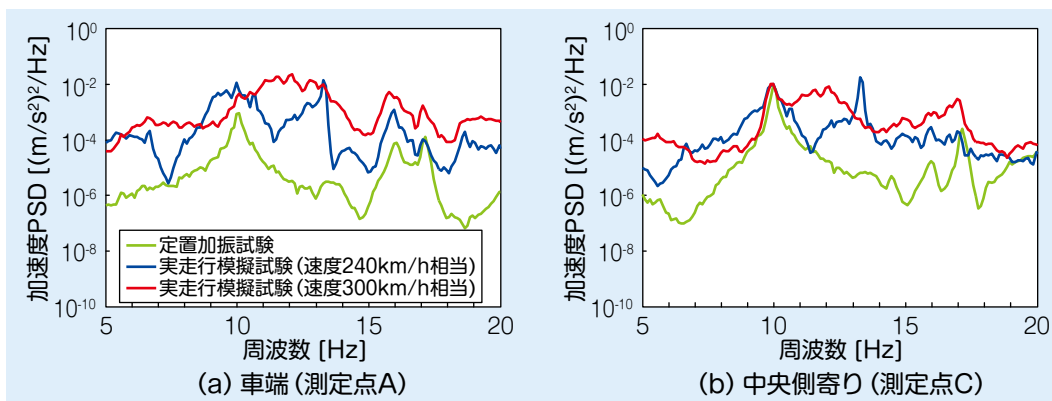


図7 加振試験結果の比較

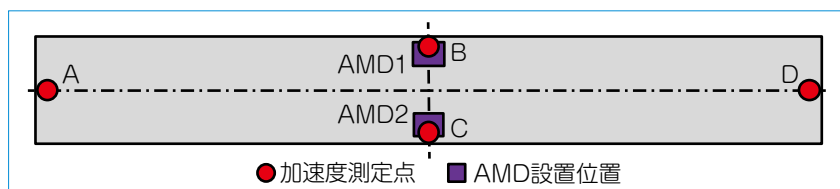


図8 加速度測定点とAMD 設置位置 (車体床面)

定置加振試験と車両試験台試験の比較

図7に同一車両で実施した定置加振試験と車両試験台での実走行模擬試験で得られた、床面の車端(図8の測定点A)と中央側寄り(測定点C)における上下方向の加速度PSDを示します。ここで、実走行模擬試験はそれぞれ別区間の軌道条件での走行速度240km/hと300km/hに相当する2つの条件の結果を示します。なお、対象とする周波数は乗り心地に影響を与える車体弾性振動が顕著に現れる5~20Hzとしました。

定置加振試験の結果では、車端と中央側寄りの加速度PSDで10Hzと16Hz、18Hzに顕著なピークが見られます。これらのピークは車体が振動しやすい周波数である固有振動数に対応したもので、走行時にもピークが現れやすい周波数です。すなわち、固有振動数に対応したピークに対する制振デバイスの効果を調べることで、走行試験で同様の振動低減効果を期待できるか調べることができます。

定置加振試験と実走行模擬試験の結果を比較すると、定置加振試験で顕著なピークが認められた周波数では実走

行模擬加振でもピークが見られることがわかります。ただし、図7(a)において定置加振試験の10Hzで顕著に見られたピークは、実走行模擬加振ではわずかに見られる程度でした。これは、加振条件によってその振動が励起されやすい場合とされにくい場合があること、ピークの前後の周波数の振動が大きい場合にはそれによってピークが隠れてしまう場合があることが影響しています。定置加振試験と走行試験では加振力の伝わる経路が異なるため、最終的には走行試験と同様の経路で加振する実走行模擬試験により制振効果を検証する必要があります。

また、走行状態での制振効果は複数の軌道・速度条件で検証を行い、軌道や速度の条件が変わっても有効であることを調べる必要があります。そのような多くの条件を車両試験台では容易に設定することができます。

以上をまとめると、車両試験台では、定置加振試験では難しい実際の走行状態を模擬した加振試験を、さまざまな軌道や走行速度の条件で行うことができ、制振デバイスの有効性を検証するために不可欠であるといえます。

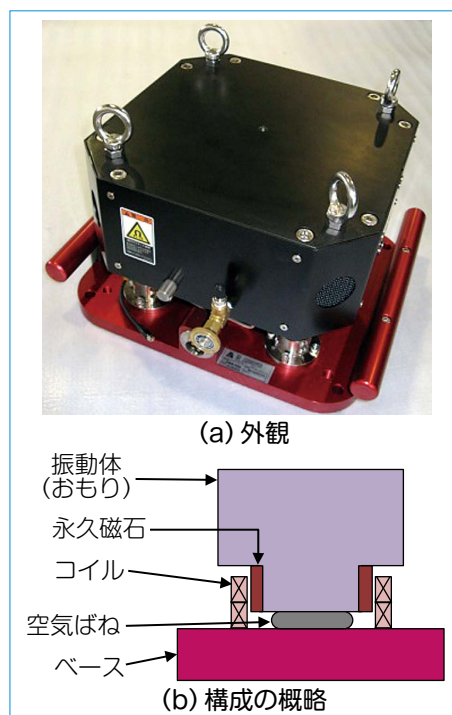


図9 小型AMD

アクティブマスダンパーの概要

車両試験台試験による車体制振デバイスの制振効果の検証例として、アクティブマスダンパー (AMD) の実証試験結果を紹介します。鉄道総研で開発した小型AMDの外観と構成の概略を図9に示します。この装置は、建物などを加振する起振機をベースとして作られたもので、空気ばねで支持された振動体と、コイルに電流を流すことで作られる電磁石と永久磁石の引力・斥力を用いるリニアアクチュエーターで構成されています。このアクチュエーターで振動体を動かすことで、その慣性反力を用いて建物などを揺らすことができます。ここでは、床面の振動を

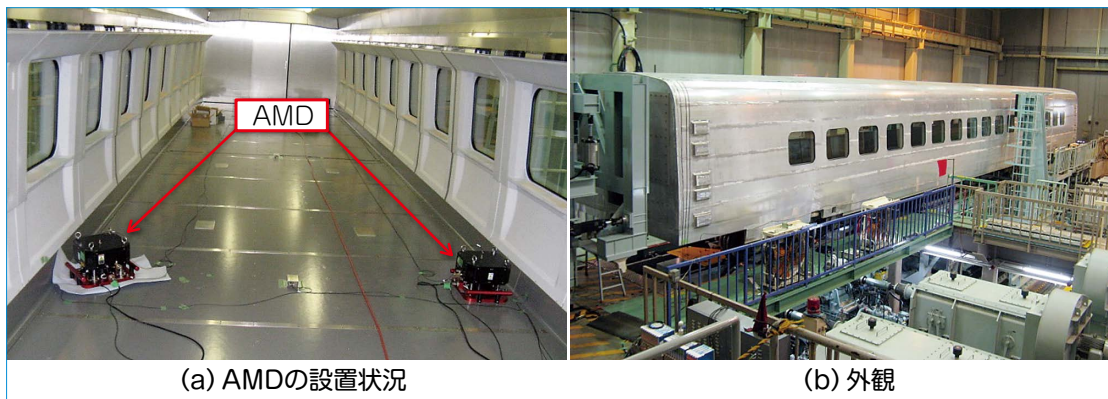


図10 供試車両(新幹線型試験車両)

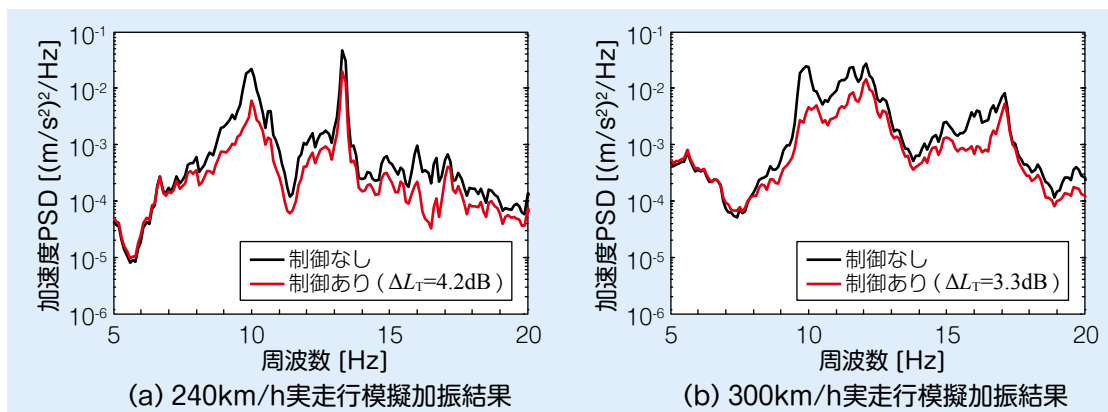


図11 小型AMDの制振効果(床中央側寄り：測定点C)

抑えるように制御することで制振デバイスとして使用します。

AMDは図8に示すように車体中央の左右に振り分けて2台設置しました。設置状況を図10(a)に示します。制御には図8に示す床上4点(A,B,C,D)の加速度を使用しました。また、制振対象とする周波数は、定置加振試験で顕著なピークがみられた10Hz前後としました。図10(b)に示す新幹線型試験車両を用いて車両試験台試験を行い、AMDによる制振効果を検証しました。

車両試験台での実走行模擬試験による制振効果の検証

加振条件は走行速度240km/hと300km/hに相当する実走行模擬加振としました。床中央側寄り(測定点C)の加速度PSDを図11に示します。凡例の ΔL_T は、鉄道の乗り心地評価に用いられる乗り心地レベル(L_T)の、制御なしとありの差で、数値が大きいほど

乗り心地が向上したことを表します。この図から、2つの加振条件において、制振対象とした10Hz前後の周波数で振動が低減していることがわかります。また、 ΔL_T の値から乗り心地が向上していることが確認できました。このことから、開発した小型AMDは走行時の車両の床面振動を低減し、乗り心地を向上させる効果が期待できます。

この車両試験台での検証結果を踏まえ、新幹線車両と在来線特急形車両で走行試験を行った結果、試験台試験と同様に制振効果が得られることを確認しました⁵⁾。

おわりに

定置加振試験と車両試験台試験のそれぞれの試験の特徴について述べ、試験結果の比較を行うとともに車両試験台を用いた制振効果の検証例としてAMDの実証試験結果を紹介しました。車両試験台では、定置加振試験では難しい実際の走行状態を模擬した加振試

験を、さまざまな軌道や走行速度の条件で行うことができ、制振デバイスの有効性を検証するために不可欠な装置であるといえます。これからも、車両試験台を活用してさらなる乗り心地の向上を実現するための検討を続けていく予定です。[RRR]

文献

- 1) 瀧上唯夫ほか：吊手棒で車内をつないで乗り心地を向上する, RRR, Vol.72, No.5, pp.20-23, 2015
- 2) 富岡隆弘：乗客による制振効果をヒントに車体の曲げ振動を低減する, RRR, Vol.70, No.6, pp.20-23, 2013
- 3) 富岡隆弘ほか：高速車両の車体曲げ振動とその制振法, RRR, Vol.62, No.5, pp.16-19, 2005
- 4) 古川敦：鉄道車両はなぜ揺れる？軌道変位と車両の運動, RRR, Vol.63, No.4, pp.6-9, 2006
- 5) 秋山裕喜ほか：小型アクティブマスタダンパによる車体弾性振動の多モード制振効果, 鉄道総研報告, Vol.27, No.12, pp.29-34, 2013