

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

車両試験台で レール上の走行を模擬する

車両試験台はレールと同じ断面形状をもつ回転円盤（軌条輪）の上に車両を載せ、軌条輪の回転速度を変えたり、軌条輪そのものを加振することによって、さまざまな走行条件での車両の運動特性を調べる装置です。しかし、車両試験台において実際の軌道上の走行を模擬する場合、実際の軌道不整と等しい変位を軌条輪に与えても、軌条輪上と実際の軌道上では車両の運動特性が異なるため、正確に車両の挙動を模擬することができませんでした。本報告ではこの理由を概説し、車両試験台で実際の軌道上の車両の挙動を最大限再現するための軌条輪の加振方法について紹介します。

はじめに

鉄道車両の乗り心地特性などを評価する場合、実際に使用されるときと同じように車両を営業線で走行させる現車走行試験が一般的です。しかし、営業線での走行試験は営業列車の合間をぬって行われるため、時間やコストの点で制約が大きく、これに代わる十分な大きさの試験線も国内にはありません。

そこで、軌条輪と呼ばれるレールと同じ断面形状を持つ回転円盤上に車両を設置して、実験室で擬似的に車両の走行状態を模擬する車両試験台もよく用いられています(図1)。

レールはまっすぐ敷かれているように見えても、実際は上下、左右に歪んでおり、鉄道車両の振動は主にこのレール

の歪み(軌道不整¹⁾参照)の上を走行することによって発生します。車両試験台ではこの軌道不整上の走行を模擬するために、軌条輪を回転させながら上下、左右に移動させることができるようになっており、車体に振動がど



図1 軌条輪上の車両



山口 輝也
Teruya Yamaguchi
車両構造技術研究部
走り装置研究室
研究員
[専門分野] 車両運動特性評価、計測・制御技術



下村 隆行
Takayuki Shimomura
元 車両構造技術研究部
車両運動研究室
主任研究員
[専門分野] 車両運動特性評価



佐々木 君章
Kimiaki Sasaki
車両構造技術研究部
部長
[専門分野] 車両運動制御

1) 軌道不整

車両が繰り返し通過することによる振動および荷重や、地盤の沈下など自然要因が原因となってレールに生じた変位のことを指します。変位の方向によって以下のように分類されます。実際にはこれらの不整が組み合わせられて不規則な形状の不整となります。

- 高低不整…左右のレールがそれぞれ同じ方向に上下変位したもの。
- 水準不整…左右のレールがそれぞれ逆方向に上下変位したもの。
- 通り不整…左右のレールがそれぞれ同じ方向に左右変位したもの。
- 軌間不整…左右のレールがそれぞれ逆方向に左右変位したもの。

この他に、軌道の平面性に関する不整などが定義されています。

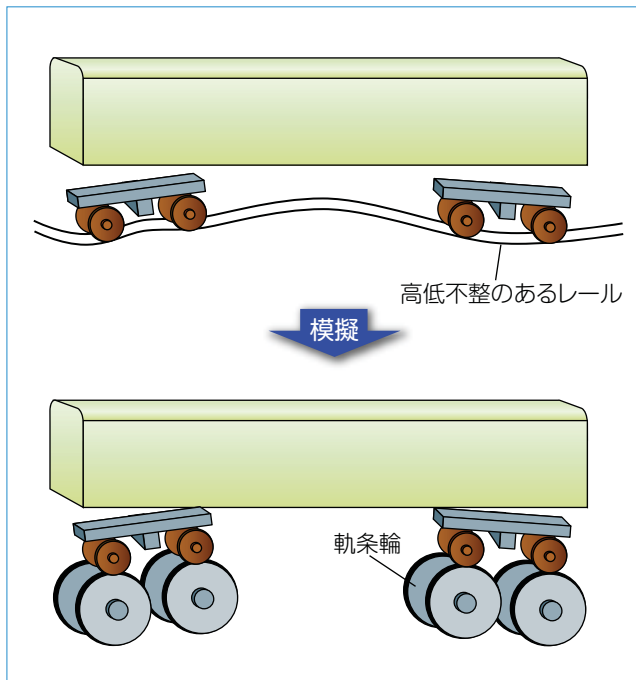


図2 軌条輪による高低不整の模擬

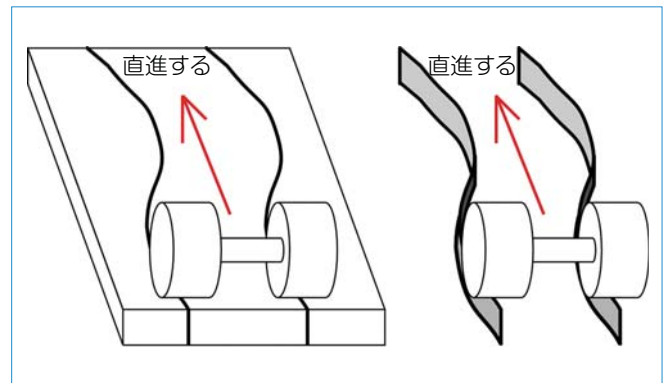


図3 通り不整上の円筒輪軸は直進する

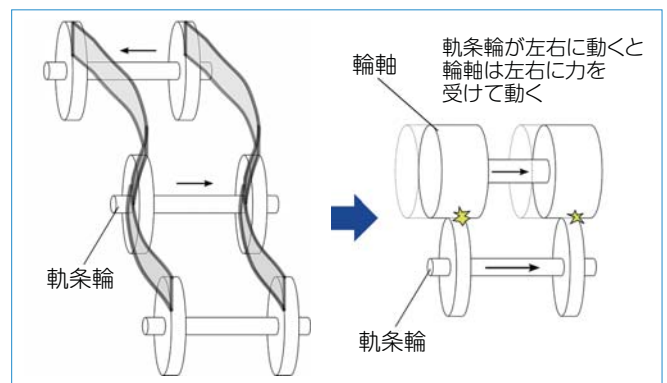


図4 軌条輪で通り不整を模擬すると円筒輪軸は直進しない

のように伝わるかなどを試験できます。ただし、軌条輪上と実際のレール上とは運動特性が異なるため、これまで車両試験台ではこのような軌道不整上の走行を完全に模擬することはできませんでした。ここでは軌条輪上とレール上での車両の運動の違いと、これを考慮して軌道不整上の走行を車両試験台で模擬する方法について示します。

軌条輪とレールの違い

高低不整の場合

レールに高低不整がある場合、この上を走行すると車輪の下にあるレールの位置が車両の移動とともに上下に移動します。車両試験台でこれを模擬する場合は軌条輪をこれに合わせて上下に移動させればこの状況を完全に模擬することができます(図2)。水準不整についても同様に模擬できます。

通り不整の場合

レールに通り不整がある場合も同様に車輪の下にあるレールの位置が車両の移動とともに左右に移動します。従来、車両試験台では高低不整の場合と同様に軌条輪を通り不整に合わせて左右に移動させていましたが、このようにすると、レール上とは異なった運動をしてしまいます。この理由について以下に示します。

通り不整上の走行について、文献1)に分かりやすい説明がされているのでこれを引用します。まず、図3左に示すように通常の輪軸の代わりに円筒でできた輪軸が平面を転がる場合、これが直進することは容易に理解できます。この平面から通り不整のあるレールの形だけを残し、周りの部分をくり抜いた場合はどうでしょうか(図3右)。この場合、レールは静止しているので、

円筒輪軸にとっては接触点が1点に定まること以外は平面上を転がるのと全く同じとなり、やはり直進します。

一方、軌条輪はこの通り不整を模擬するために軌条輪を通り不整に沿ってその場で左右に移動させる必要があります(図4左)。この場合、軌条輪は静止しないので、輪軸と軌条輪の間に摩擦力に相当する力(クリープ力と呼びます)が左右方向にはたらき、輪軸は左右に移動することになります(図4右)。このような単純な例でも軌条輪上ではレール上と異なる挙動をすることが分かります。実際は軌条輪が左右方向に移動することによる影響の他、軌条輪が円盤であることによって車輪との接触特性がレール上と異なることなどが車両の挙動の違いに影響を与えます。一例として同じ通り不整上を同じ車両が走行する場合のレール上と軌条輪上

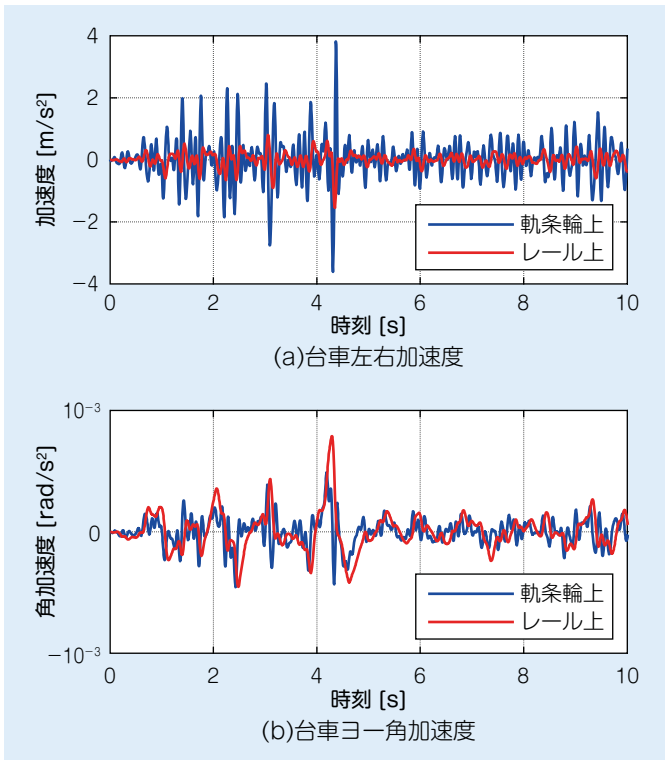


図5 軌条輪上とレール上での応答の違い
(走行速度250km/h)

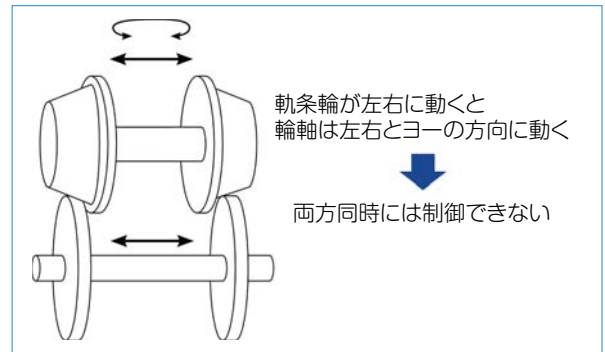


図6 軌条輪は輪軸の運動を完全には制御できない

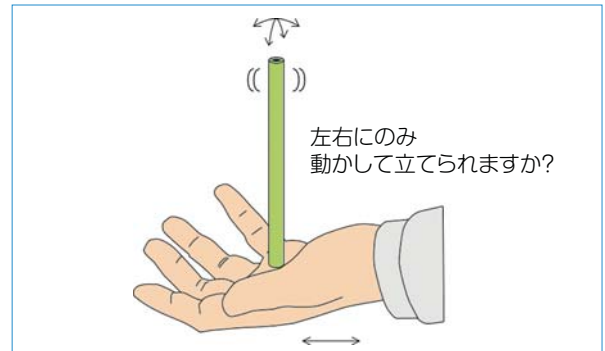


図7 うまく制御できない例

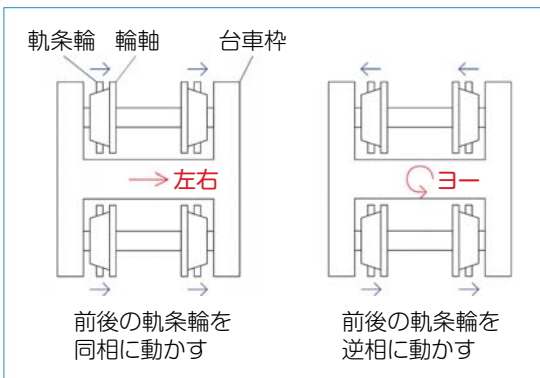


図8 台車枠の運動は軌条輪で制御できる

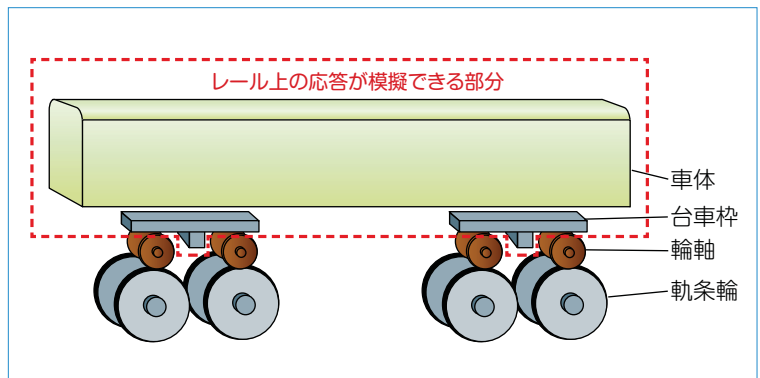


図9 提案手法でレール上の応答を模擬できる部位

の車両の応答の違いを図5に示します。軌条輪上では高周波の振動がレール上に比べて大きくなる特徴があります。

軌条輪上でレール上の走行を模擬する

考え方

軌条輪を通り不整に合わせて移動させるのではなく、何らかの特別な補正をした通り不整に沿って移動させることで、車両全体の応答をレール上と等しくすることができるでしょうか。

残念ながら、どんな補正をしてもこ

れらを完全に一致させることはできません。例えば輪軸が通り不整上を走行するとレールとの間に左右方向と前後方向にクリープ力がはたらくため、左右とヨーの方向(上から見て時計または反時計回りに回転する方向)に輪軸は運動します。もちろん、軌条輪を通り不整に合わせて移動させると輪軸は左右方向にもヨー方向にもレール上とは異なった運動をします。軌条輪は通常上下と左右にしか移動できないため、いくらうまく軌条輪を操作しても、軌条輪の移動のみではレール上と軌条輪上

の輪軸の運動を互いに一致させることはできません(図6)。例えば図7に示すように、手のひらの上で鉛筆を立てようとするとき、手を前後、左右に動かせば鉛筆を立てることができますが、手を左右にしか動かせない状況では前後、左右に倒れようとする鉛筆をうまく立てることができないのと同じです。

そこで、輪軸の応答を一致させることはあきらめ、輪軸の上にある台車枠の応答を一致させることを考えます。通り不整上の走行によって台車枠も左右方向とヨー方向に運動します

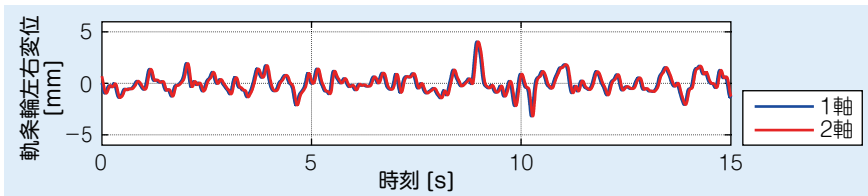


図10 補正しない場合の軌条輪加振波形 (走行速度250km/h)

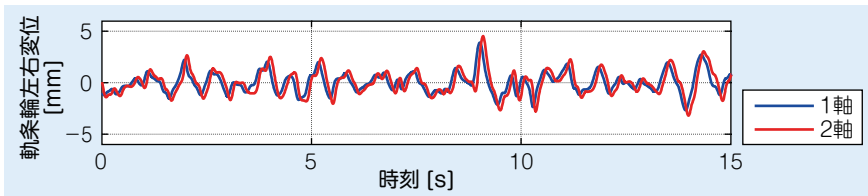


図11 補正した軌条輪加振波形

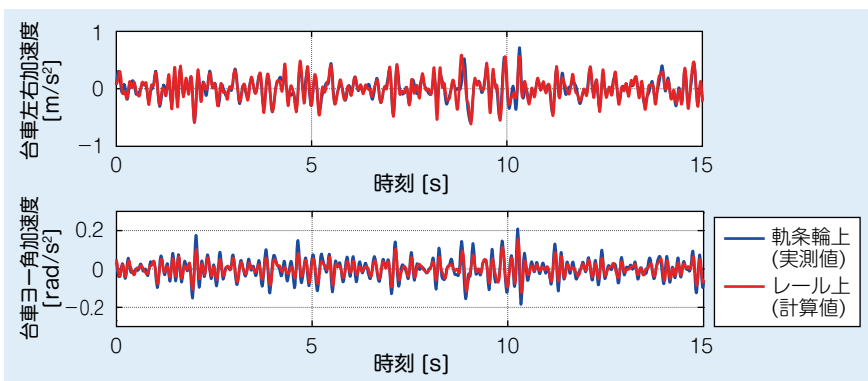


図12 補正加振時とレール走行時の台車の応答比較 (走行速度250km/h)

が、一つの台車枠の下には2本の輪軸と2組の軌条輪があるため、一つの台車枠の運動を2組の軌条輪で操作でき、台車枠の左右方向とヨー方向の運動は軌条輪の移動の仕方によって自由に制御することができます(図8)。図9に示すように台車枠がレール上の応答と一致すれば、その上にある車体の応答もレール上のものと一致するため、乗り心地などをより実態に沿った形で評価することができます。ただし輪軸の挙動はレール上のものとは異なるため、輪軸および輪軸と台車枠をつなぐばねなどはレール上と異なる応答を示すことに注意する必要があります。

補正方法

軌条輪を加振するための補正された通り不整を求める際は、シミュレーションを用います。具体的には車両がレール上を走行する場合と軌条輪上で加振される場合の台車枠の応答をシ

ミュレーションで比較し、これらが等しくなるように軌条輪の移動量を逐次計算していきます。これらの計算を行うためには、レールや車輪の形状、ばねやダンパの特性などの車両諸元をあらかじめ把握しておく必要がありますが、車両諸元が正確に分からない場合でも、本手法を使うことで比較的レール上に近い応答を軌条輪上で再現できることが分かっています²⁾。

また、シミュレーションの際にレール上を走行する車両の走行条件を任意の走行条件に置き換えることによって、その条件における車両の挙動を車両試験台で模擬できます。これにより、溶接継ぎ目や分岐器などの断面形状が変化するレール上の走行や軌条輪とは異なる断面形状を持つ各種規格レール上の走行を車両試験台で模擬できます。

試験台試験による検証

車両試験台において、先ほど提案し

た方法を用いて補正した通り不整で軌条輪を加振し、その有効性を検証しました。補正をしない場合とした場合のそれぞれの軌条輪加振波形を図10、図11に示します。補正をしない場合は各軸の加振波形は同一形状であり各軸間の距離と走行速度で決まる時間差を持って各軸に入力されます(図10)。一方、補正をした場合の各軸の加振波形の形状は互いに似ていますが異なる波形であることがわかります(図11)。求められた補正加振波形で軌条輪を加振した結果を図12に示します。供試車両が実際にレール上を走行した場合の試験結果が得られないため、供試車両のモデルが設計形状のレール上を走行した場合のシミュレーション結果を比較対象としました。図12より台車左右加速度、台車ヨー角加速度ともにレール上のものとよく一致しており、提案手法により軌条輪上でレール上の車両の挙動が模擬できていることが確認できました。

おわりに

軌条輪上とレール上での車両の挙動の違いと、軌条輪上でレール上の車両の挙動を模擬するための軌条輪の加振方法について報告しました。この加振方法はすでに鉄道総研の車両試験台で乗り心地を評価する試験などに使用され、活躍しています。今後は様々な軌道条件での走行状態を車両試験台で模擬できるよう適用範囲を拡大していく予定です。[RRR]

文献

- 1) 松尾：車両運動シミュレーション余話 レールは動く？動かない？, RRR, Vol.46, No.12, pp.25-26, 1989
- 2) 山口, 下村, 佐々木：車両試験台における実軌道走行模擬のための加振方法, 鉄道総研報告, Vol.27, No.5, pp.11-16, 2013