

Curving Performance of a Vehicle with Independently Rotating Wheels Driven by One Wheel

○学 米山 秋彦 (新潟大・院)
Akihiko YONEYAMA, Niigata University,
8050,Ikarashi 2-no-cho, Niigata

正 谷藤 克也 (新潟大)
Katsuya TANIFUJI, Niigata University

正 相馬 仁 (新潟大)
Hitoshi SOMA, Niigata University

正 増田 敏幸 (新潟トランス)
Toshiyuki MASUDA, Niigata Transys

Key Words: Railway, Independently Rotating Wheel, Driving Torque, Curving, LRV

1. はじめに

独立回転車輪(IRW)は左右の車輪が独立に回転することから、走行安定性が高いという特徴がある。また、左右の車輪が共通の輪軸を有する必要がないため近年、低床式 LRV に利用されている。図 1 に低床式 LRV の模式図を示す。この車両は 2 つの車体からなる連接構造であり、各車体が 4 輪の台車で支持されている。駆動方法は、各台車に搭載される 1 台のモータからねじり軸を介して前側または後側の左右一対の車輪が駆動される。このねじり軸にはクラッチがあり、曲線通過の際には左右の車輪のトルク差によりクラッチがすべる構造である。これは、急曲線における通過性能の向上が目的であるとされている。その際、右回りと左回り曲線とで通過性能が異なることが予想される。これらの傾向を調べるために、クラッチの摩擦を考慮しない理想的なすべり状態を仮定する。このとき、1 輪のみで駆動される状態である。

本研究では、1 輪のみで駆動される理想化した独立回転車輪車両を想定し、曲線通過性能をシミュレーションによって検討する。

2. 解析モデル

2.1 独立回転車輪の台車モデル 本研究では、駆動トルクを考慮するため、車輪の回転角を自由度に加える。図 2 に 4 輪の独立回転車輪の台車モデルを示す。ここで、左右の車輪は同一直線上にあり、左右とヨーに一体で動くものとする。これにより、前側と後側での車輪の自由度は計 8 自由度となる。また、駆動輪のトルク T_D は一定速度で走行できるように理想的に変化し、1 台車分のトルクを出力する。

駆動輪の回転角 θ_1 と駆動輪のトルク T_D の式は以下に示される。

$$I_w \ddot{\theta}_1 = -F_{11} \cdot r_1 - R_{cvt} \cdot r_1 + T_D \quad \cdots(1)$$

$$T_D = 4 \cdot R_{sw} \cdot r_1 + \sum_{i=1}^4 R_{cvt} \cdot r_i \quad \cdots(2)$$

ここで、 R_{sw} は直線区間、 R_{cvt} は曲線区間固有の抵抗である。直線区間の抵抗は文献(2)に示される実験式を使用する。また曲線区間固有の抵抗は、文献(3)のモデルを使用する。

2.2 半車両モデル 本研究で対象とする車両は図 1 に示されるように連接構造であり、前後の車体による拘束が無視できるものとする。これにより半車両モデルを用いた

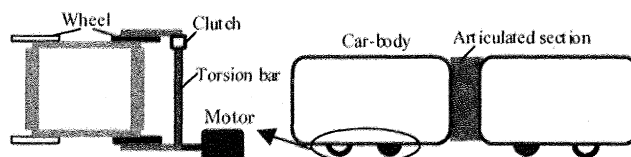


Fig.1 Schematic view of LRV

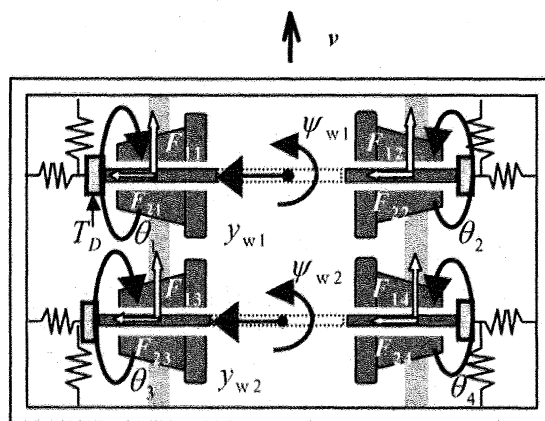


Fig.2 Truck model with independently rotating wheels

検討が可能であり、その自由度は車体で左右動とロールの 2 自由度、台車で左右動、ロールとヨーの 3 自由度、前側と後側の一対の車輪で左右動とヨーの 2 自由度ずつ、4 つの車輪の回転角で 4 自由度の合計 13 自由度である。

3. シミュレーションの条件

シミュレーションには在来線の電車を想定したパラメータ値を使用する。駆動輪は前側または後側の左車輪とする。走行区間は直線と曲線区間であり、速度は 20[km/h] から路面電車の最高速度である 40[km/h] までとする。また、曲線条件は半径 25[m] から 100[m] までの右回りと左回り曲線とする。また交差点を想定し、カント無しで 5[m] の緩和曲線を考慮する。なお、曲線通過性能の評価には車輪横圧を用いる。

4. 計算結果

4.1 直線区間の挙動 モデルの妥当性を検証するために直線区間の挙動を調べる。図 3 に前側の左右動変位を示す。前側の左車輪駆動時には、駆動輪の駆動力が車輪を右回りにヨー変位することによって右側に移動し、その後フランジに接触する。これに対して、後側の左車輪駆動時

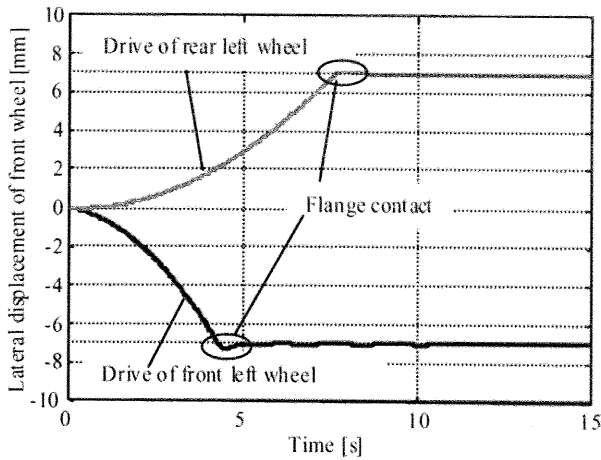


Fig.3 Lateral displacement of front wheel with drive of rear left wheel or front left wheel ($k_{wx}=6000$ [kN/m])

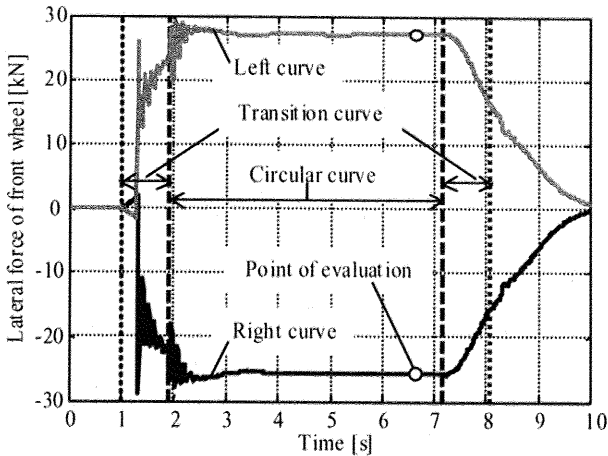


Fig.4 Lateral force of right and left curve with drive of front left wheel

には、駆動輪の右回りのヨー変位が台車を左回りにヨー変位させるため、左側に移動する。これらの挙動は車輪の前後支持剛性 (k_{wx}) が大きくない場合に予想されるものであり、モデルが妥当であることが確認できる。

4. 2 曲線区間の挙動 図4に半径25[m]、走行速度20[km/h]における前側の左車輪駆動時の横圧を例示する。曲線入口に相当する時刻は1秒であり、出口のそれは8秒付近である。この結果より右回りと左回り曲線で横圧の符号は異なるが、大きさにほとんど差はない。

通過性能を比較する上で○印で示すような円曲線中の定常値を対象とする。

4. 3 曲線の向きの違いによる横圧の比較 前側の左車輪駆動による右回りと左回り曲線における横圧を図5に示す。両者を比較すると曲線半径に関らず横圧の大きさにほとんど違いはなくまた、走行速度が変化してもその傾向は変わらない。なお、後側から駆動した場合でも同様の結果が得られた。

4. 4 駆動位置の違いによる横圧の比較 右回り曲線において駆動輪を前側または後側とした場合の横圧を図6に示す。前側および後側とで曲線半径や走行速度に因らず、横圧の大きさにほとんど差はないことが示される。

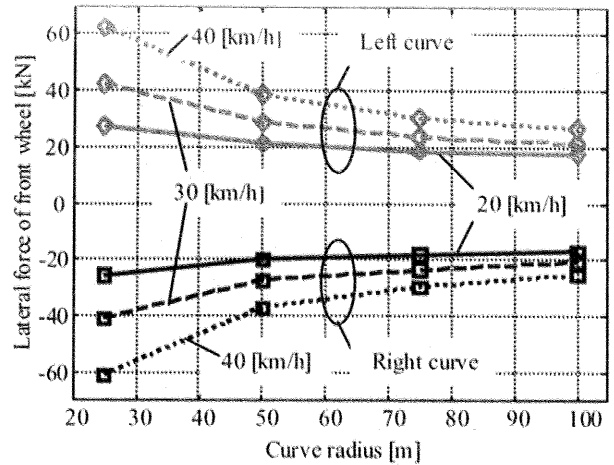


Fig.5 Comparison of lateral force between right and left curve

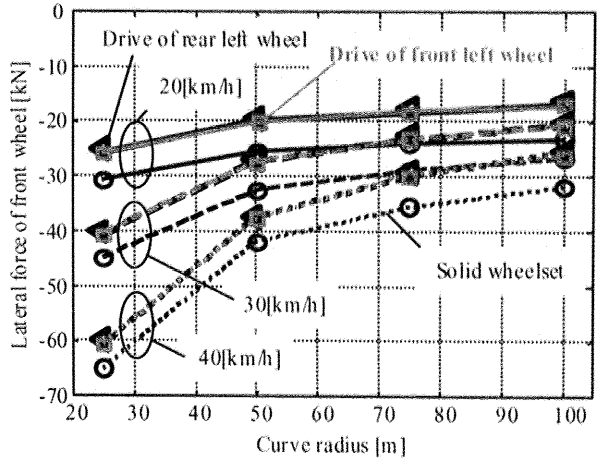


Fig.6 Comparison of lateral force between solid wheelset and IRW

4. 5 一体車輪軸台車との横圧の比較 クラッチが全くすべらない状態を想定し、牽引された一体車輪軸台車の横圧を図6に併せて示す。1輪のみで駆動したほうが、一体車輪軸台車に対して曲線半径や走行速度に関らずほぼ一定の低減効果のあることが示される。

5. まとめ

1輪のみで駆動される独立回転車輪車両を想定し、曲線通過性能を数値シミュレーションによって検討した。その結果、曲線の向きによって横圧の大きさにほとんど差はなく、駆動位置の違いについても同様である。また、一体車輪軸台車と比較した場合では曲線半径や走行速度に関らずほぼ一定の低減効果のあることが示された。

文献

- (1)日本機械学会編 鉄道車両のダイナミクス, 1994, 95-98.
- (2)丸山, 景山, 機械技術者のための鉄道工学, 1981, 28-30.
- (3)小幡, 谷藤, 他2名, 機論, 72-716, C(2006), 1064-1070
- (4)佐藤, 鉄道総研報告, 特別第37号(2000), 125-136