

LRT車両の曲線通過性能

Curving Performance of LRT Vehicle

須田 義大*・河野 浩幸*
Yoshihiro SUDA and Hiroyuki KOHNO

1. はじめに

近年、地球への環境負荷低減の観点から、都市間輸送における高速鉄道、都市内輸送におけるLRT (Light Rail Transit) が注目されている^{1),2)}。

これまで高速鉄道の運動特性についてはいろいろな検討が行われているが、次世代の高性能軌道系交通機関として期待されているLRT車両については、低床化などの形態に対する様々な提案がなされているにもかかわらず、その方式による運動特性の違いが十分明らかにされていないようである。そこで、我々はLRT車両の基本運動特性を明らかにすることを目的に、考えられる数種類の形式のLRT車両について曲線通過の走行シミュレーションを実施し、運動特性について検討を行った。

尚、計算には、LRT車両の運動性能解析が可能となるように改良したマルチボディ・ダイナミクス・ソフトウェアA'GEM³⁾を用いた。

2. 解析車両と解析モデル

2.1 解析車両の形式

LRT車両では、車体/台車/輪軸の構成・配置や独立回転車輪、そしてリンク等による強制操舵機構を有するなど多種多様な形式が提案されているが、本研究では、考えられる5つの形式について検討した。

図1に本研究で検討した5種類の解析対象車両の形式図を示す。

2.2 解析モデル

LRT車両の解析モデルを図2に、基本諸元を表1に示す。モデルはシミュレーション結果の比較ができるように、各TYPEとも基本的に同様とした。つまり、形式により車体/台車/輪軸の構成のみを変更することとした。

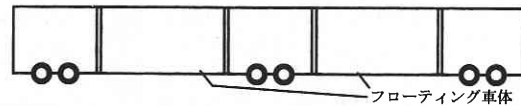
車輪とレールの接触モデルについては、Kalkerの非線形

*東京大学生産技術研究所 情報・システム大部門

クリープ力モデルを用い、FASTSIMアルゴリズムを用いた。

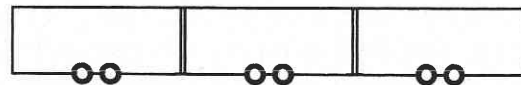
<TYPE1>

1車体1台車方式、5車体3台車連接車両



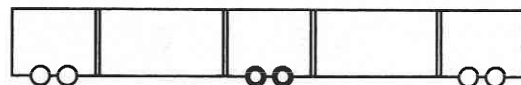
<TYPE2>

1車両1台車方式、3車体3台車連接車両



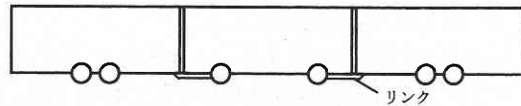
<TYPE3>

1車体1台車方式、5車体3台車連接車両



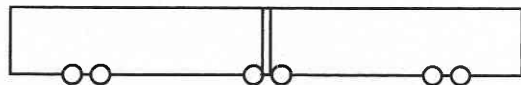
<TYPE4>

一部1軸台車方式、3車体4台車連接車両



<TYPE5>

連接台車方式、2車体3台車連接車両



◎：独立回転車輪
○：一体輪軸

図1 解析車両の形式図

また、考慮した運動の自由度は以下の通りである。

輪軸：左右、ヨーイング

台車：左右、ヨーイング、ローリング

車体：左右、ヨーイング、ローリング

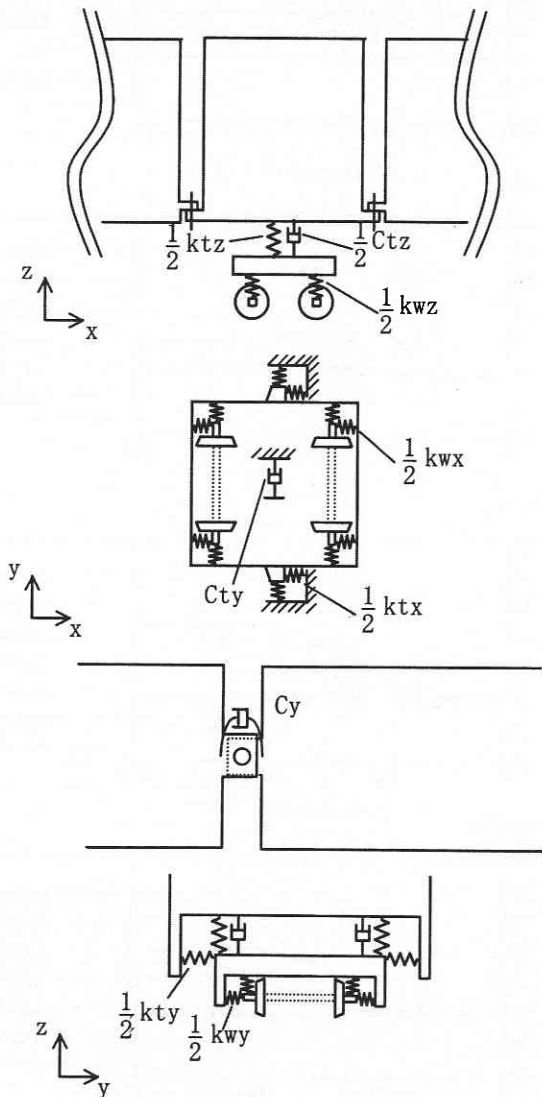


図2 解析モデル (TYPE1)
(他の TYPE も基本的に同様)

表1 解析車両の基本諸元

車両編成長	30 m
車両重量	30 ton
輪重	2.5 ton
車輪径	600 mm
車輪踏面	1/20
軌間	1435 mm
レールタイプ	50 kgN

3. シミュレーション条件

図3、表2に曲線通過シミュレーションの軌道線形と各曲線半径に対する走行速度を示す。カント量については、各曲線での最大カントを同一とした。また、カントは緩和曲線中で連続的に変化し、定常曲線で最大カントとなる。走行速度は、カント量と遠心力が釣合う速度 (均衡速度) とした。

曲線通過性能の指標には、車輪に作用する横圧を用いた。横圧は一般的に曲線通過性能の指標として用いられ、軌道破壊、車輪やレールの摩耗などに影響を与えるため、基本的に小さいほど良い。

4. シミュレーション結果と考察

図4に曲線通過シミュレーションの結果を TYPE1~5 についてそれぞれ示す。横軸は走行距離を、縦軸は各軸の外軌側車輪の横圧を示している。各軸は先頭側から Axle1, Axle2, ..., Axle6 と呼ぶ。また、横圧は曲線内向きを正方向としている。

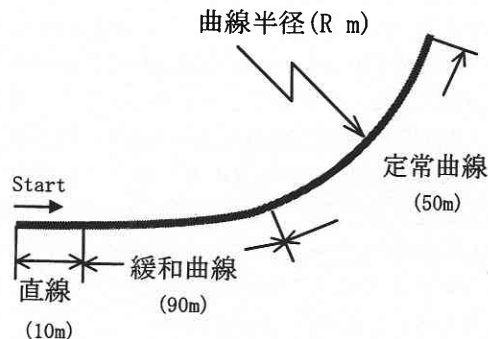


図3 曲線軌道線形

表2 曲線通過時の走行速度条件

曲線半径 (m)	走行速度 (km/h)	カント (mm)
100	25	71
200	36	71
300	44	71
400	50	71
500	56	71
600	62	71
700	67	71
800	71	71
900	76	71
1000	80	71

研 究 速 報

(a)TYPE 1では、全台車が独立回転車輪であるため、各台車の前車輪 (Axle1, 3, 5) は緩和曲線に入っても操舵が働かず、最初のフランジ接触によって、横圧が急激に増大している。各台車の後側車輪 (Axle2, 4, 6) の横圧はほぼゼロであり、操舵に対して何も作用していないことがわかる。また、各台車 (Axle1, 3, 5) の横圧の変化が類似しているが、これは次の理由によるものであると考えられる。5車体3台車の接続TYPEでは、台車付き車体間に台車のないフローティング車体が存在する。この車体は長い連結棒のような役割をし、各台車の運動が比較的自由的な構造となっている。

(b)TYPE 2では、各台車の前車輪 (Axle1, 3, 5) については、基本的に(a)TYPE 1と類似しているが、各台車の後車輪 (Axle2, 4, 6) の横圧が(a)TYPE 1に比べて若干大きくなっている。また、(a)TYPE 1とは異なり、各台車の横圧の変化に差異が生じている。これは3車体3台車の接続TYPEでは、上記5車体3台車のTYPEと異なり、それぞれの台車の運動が相互干渉する構造となっているためと考えられる。

(c)TYPE 3では、中間台車が独立回転車輪、その他は通常台車であり、Axle1, 3, 5がフランジ接触するが、Axle3は独立回転車輪であるために緩和曲線中での最初のフランジ接触が激しくなっていることがわかる。また、定常曲線中では、独立回転車輪台車の前車輪 Axle3の横圧が、通常台車の前車輪 Axle1, 5よりも小さいが、この理由については図6で述べる。また、先頭台車 (Axle1) と最後尾台車 (Axle5) の横圧の変化が類似しているが、TYPE 3は5車体3台車の方式なので(a)の結果で述べた理由によるものであると考えられる。

(d)TYPE 4では、Axle1, 2およびAxle5, 6は通常台車であり、Axle3, 4はそれぞれリンク機構を有する1軸操舵台車である。操舵機能によりAxle3, 4の横圧は他の軸よりも小さくなっていることがわかる。先頭台車 (Axle1) と最後尾台車 (Axle5) では、横圧の変化に違いがある。これは(b)の結果の所で述べた通りであると考えられる。

(e)TYPE 5では、接続部に台車を有し、通常台車のみで構成されるTYPEである。他のTYPEに比べて、横圧が高い傾向にあるが、この理由については図6で述べることにする。

図5は図4の先頭軸外軌側車輪 (Axle1) の横圧を各TYPEで比較できるようにしたグラフである。車輪独立回転台車 (TYPE 1, 2) と通常台車 (TYPE 3, 4, 5) を比較すると、自己操舵機能を有していない車輪独立回転台車では、緩和曲線中でのフランジ接触が通常台車に比べて早期であり、かつ最初の接触時には大きなアタックアングルを

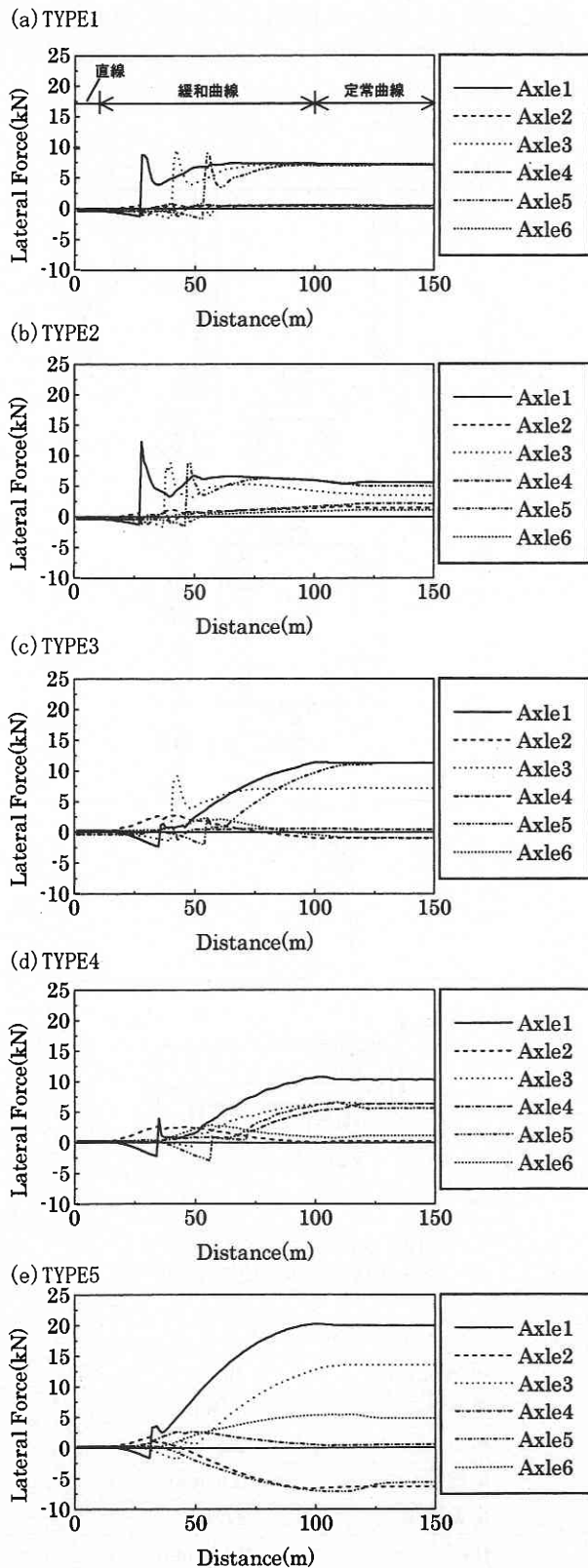


図4 解析結果 (外軌側車輪の横圧) (R=300 m, V=44 km/h)

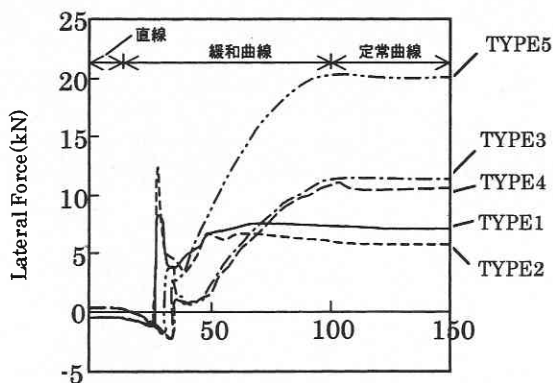


図5 先頭軸外軌側車輪の横圧比較 (R=300 m, V=44 km/h)

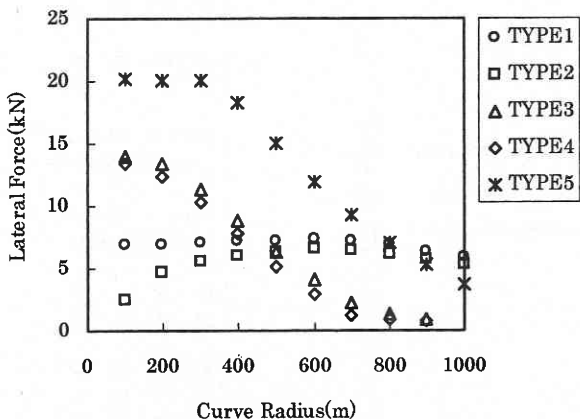


図6 先頭軸外軌側車輪の横圧比較 (定常曲線通過時)

持つため、横圧の増大が急激になっている。逆に定常曲線に入ると車輪独立回転台車の方が、通常台車に比べて横圧が小さくなっているが、これについては後述する。

図6は各曲線半径での定常曲線中の横圧を示した図である。TYPE5は他のTYPEに比して全体的に横圧が大きい傾向にあるが、これには次の理由が考えられる。TYPE3, 4は1車体1台車方式で、車体中央に台車が存在する配置になっている。つまり、台車のヨーイングに車体が連動する構造となっているため、曲線通過中では車体台車間のボギー角は小さく、車体接続部で相対角を持ち曲線通過することができる。これにより、曲線通過性能の面からは、1車体1台車方式(特に車体中央に台車を配置)が有利であると考えられる。

また、TYPE1, 2とTYPE3, 4の横圧が大小関係が曲線半径約500mで逆転する。これは、TYPE3, 4の左右車

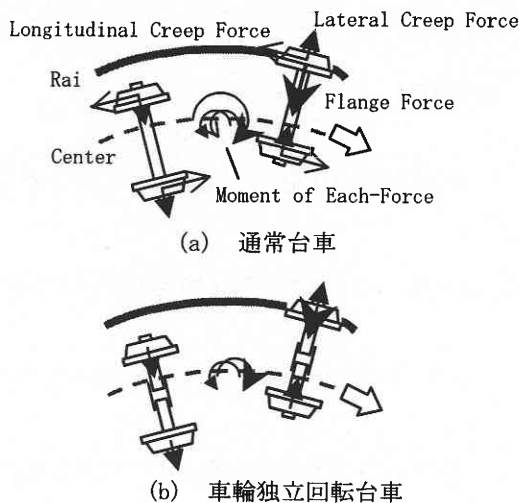


図7 小曲線通過中に車輪に作用する力 (操舵不足状態)

輪の接触半径差による縦クリープ力が曲線半径約500mを境界にして、操舵方向・反操舵方向に働くためである。つまり、図7に示すように、通常台車の前輪軸および後輪軸の縦クリープ力が横圧を増大させる方向(反操舵方向)に働く時(小曲線通過時に発生する)、その輪軸が縦クリープ力を発生しない独立回転車輪であると横圧は減少することになる⁴⁾。

5. お わ り に

LRT車両の運動特性を把握するために、LRT車両の解析ができるように改良したA'GEMを用いて、曲線通過の走行シミュレーションを行った。5種の形式のLRT車両の基本運動特性の特徴を明らかにすることができた。

今後、走行安定性と曲線旋回性能を考慮して、上記シミュレーションを用いて、走行性能に優れたLRT車両の形式について検討していきたい。

(2000年4月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 須田, 低床式LRTの意義と技術課題, 鉄道車両と技術, 3-9, 23, 5-12, レールアンドテック出版, (1997).
- 2) 里田, ヨーロッパの低床式LRTの動向, 鉄道ピクトリアル, Vol.44-7, No.593, (1994), 19-31.
- 3) R.J.Anderson, A'GEM Rail Vehicle Dynamics Software Package Users Manual, (1994).
- 4) 須田ほか, 独立回転式輪軸を用いた操舵台車の研究, 生産研究, Vol.49, No.6, (1997), 281-284.