

マルチボディダイナミクスを用いた鉄道車両の運動解析

日大生産工(院) ○小松一樹

日大生産工 綱島 均

交安研 松本 陽

日大・理工 中村英夫

三菱重工(株) 山下 博

1. 諸言

鉄道などの公共交通機関は、地球環境の負荷低減やバリアフリーの観点からも、ますます重要度が増すものと考えられる。しかし、新幹線や一部幹線のように、先端設備導入と保全体制により、安定的に維持されている線区がある。一方で、設備の老朽化が進み、保全費の増大や経営コストの増大に存続すら危ぶまれる線区も少なくない。また、保全コストの増大は解決が求められている課題でもある。

近年ではプローブ技術が道路交通の分野において研究されている。プローブ情報システムは車両の持つ様々なセンサデータをリアルタイムで収集し、車や社会に提供するものである。特に車の分野ではプローブ（探索）カーと呼ばれる車両から収集した走行情報（プローブ情報）を活用し、渋滞状況の把握や所要時分などの情報を得ることで、交通管制に反映させる研究が進んでいる。

そこで本研究では、センサと情報処理機能を装備し、常時軌道推定を行い走行することのできるプローブ車両の実現を目的とする。

また、鉄道分野において、このようなプローブ技術を導入することによって、リアルタイムでの軌道の状態推定が可能となり、既存の保全形態が大幅に改善できるだけでなく強靱な輸送システム実現にも寄与できる可能性がある。

プローブ車両は、車両の挙動を元に軌道の状態を検知することによって状態推定を行う。実車に搭載する前に実車に近い状態でシステムの融合性の確認をとる必要がある。そのために、高自由度での解析が可能であるマルチボディダイナミクスを用い車輪やレールの運動や車体の挙動を解析し、車両挙動と軌道の状態の関係を把握する必要がある。実際の車両に搭載したときのことを考慮し、センサなどの取り付け位置の検討、そこから得られるデータの検討をする必要がある。

本論文では、プローブ車両の有効性を、シミュレーションにより評価するためのモデル化を行い、曲線走行シミュレーションを行った。

2. マルチボディダイナミクスによる車両モデルの構築

2.1 車両モデル

本研究では実車両を対象とした詳細な検討を取り扱うため、高自由度でモデルを構築しデータを出力させる場所を指定することができ、かつ鉄道に特化したツールであるマルチボディソフト SIMPACK を用いて車両モデルの構築を行った。対象とした車両モデルは、国内で実際に営業されている東京メトロの鉄道車両とした。構築した車両モデルは1車両とし、車体と前後台車と4本の輪軸において、それぞれ前後運動、左右運動、上下運動、ロール運動、ヨー運動、ピッチ運動の6自由度ずつ計42自由度のモデルとなっている¹⁾。車両モデルの概要図を図1に、表1に車両諸元²⁾を示す。車両

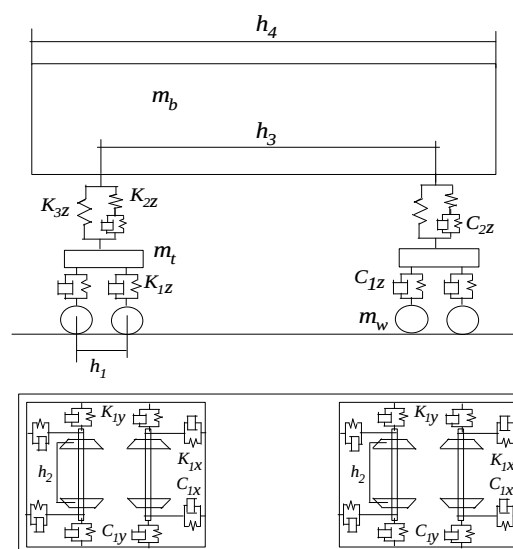


図1. 車両モデル

表1 車両諸元

Symbol	Value	Unit	Symbol	Value	Unit
h_1	1.067	(m)	k_{1z}	2.12×10^3	(kN/m)
h_2	2.1	(m)	C_{1x}, C_{1y}, C_{1z}	78.4	(ksN/m)
h_3	14	(m)	k_{2x}, k_{2z}	855	(kN/m)
h_4	20	(m)	k_{2y}	131.3	(kN/m)
m_b	25	(t)	C_{2x}	48	(ksN/m)
m_t	3.6	(t)	C_{2y}	58.8	(ksN/m)
m_w	1.5	(t)	C_{2z}	48	(ksN/m)

Dynamic Analysis of Rolling Stock by Multibody Dynamic System

Kazuki KOMATSU, Hitoshi TSUNASHIMA and Akira MATSUMOTO

Hideo NAKAMURA and Hiroshi YAMASHITA

のモデル作成については、車両を構成している車体、台車、車輪、輪軸等の剛体の重心座標、質量、慣性モーメントの定義を行い、各剛体間を適切な要素で結合し、ばね、ダンパー要素等を設定することで実際の機構と同様の動きを表現した。構築したマルチボディモデルの台車モデルを図2に示す。モデル化した台車モデルはボルスタレス方式²⁾である。代表的な地下鉄用台車である。

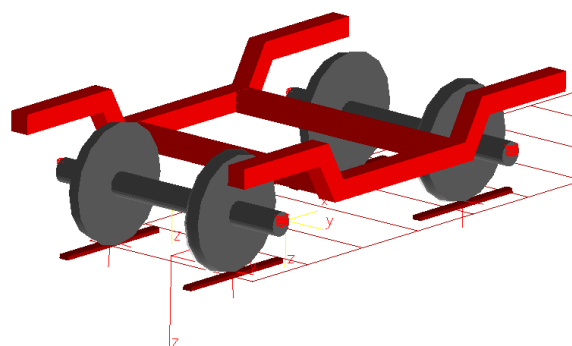


図2. 台車モデル

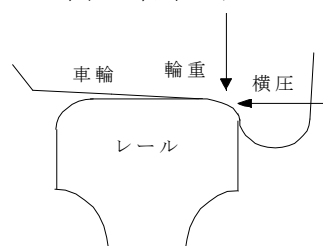


図3. 車輪とレールの接触

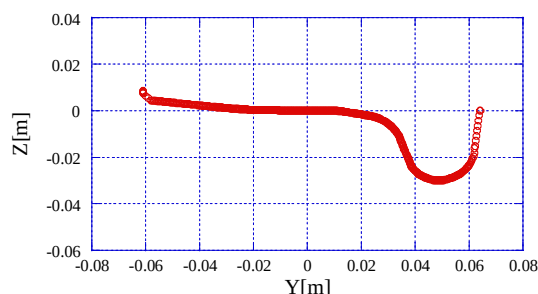


図4. 踏面形状

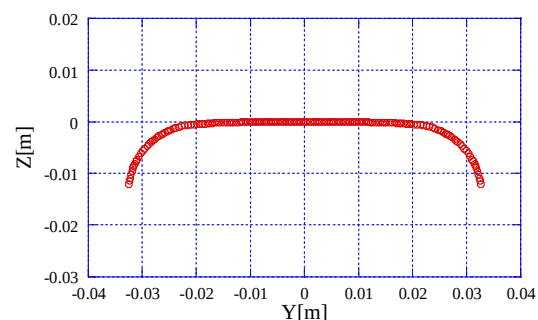


図5. レール頭頂面形状

2.2 車輪・レール形状

図3に車輪とレールの接触と輪重と横圧の力の作用する方向を示す。車輪・レール間には車輪がレールを下方方向に押す力である輪重と車輪がレールを横方向に押す力である横圧が作用している。車輪形状とレール形状が変化すると横圧と輪重は変化し、横圧を輪重で割った値である脱線係数が変わってくる。以上のことから、車輪・レール間に作用する力は鉄道車両ダイナミクスの重要な因子であり、車輪は車両の運動性能を支配する最も重要で基本的な要素である。また、車輪とレールの接触幾何学特性は非常に複雑であるので、車輪とレールのモデル化は重要である。車輪形状は営団地下鉄円弧踏面形状、レール形状は60kg レール頭頂面形状とした。それぞれの形状を図4、図5に示す。

3. シミュレーション

前章までに構築したモデルを用いて曲線通過シミュレーションを行った。曲率半径は200[m]、速度は50[km/h]とした。カントはない。

図6に前位台車の第1軸の外軌側の横圧、輪重、脱線係数を示す。直線では横圧が作用していないのがわかる。緩和曲線に入ると横圧が変化し始める。曲線部では横圧が38[kN]、輪重が72[kN]発生し、脱線係数が0.53になった。一般に脱線係数は0.8が安全限度とされているので、安全な走行であることがわかる。

4. 結言

今回は実際に営業されている路線のモデル化を行い、曲線走行シミュレーションを行い曲線走行における輪重、横圧、脱線係数の変化を確認した。今後は構築した車両モデルを連結車両にするとともに、軌道不整を生成して直線と曲線走行シミュレーションを行っていく予定である。

参考文献

- 1) 谷藤克也・石坂直弘・相馬仁, 機論, 69-686, C(2003-10), 2588-2594
- 2) 日本機械学会編, 鉄道車両のダイナミクス, pp24-27, (1994)
- 3) 社団法人日本機械学会, 車両システムのダイナミクスと制御, 株式会社養賢堂, 1999, 7-33

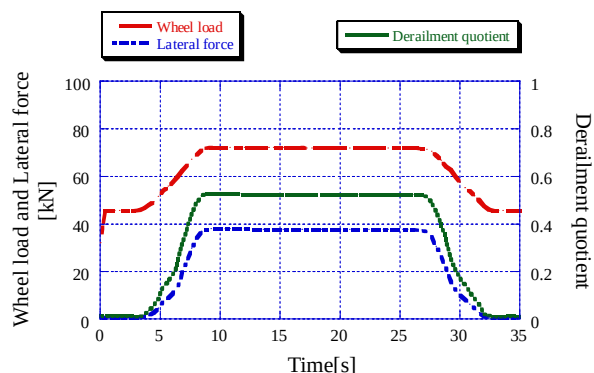


図6. 第1軸の外軌道側の輪重、横圧、脱線係数