

マルチボディダイナミクスを用いた新交通車両の走行安全性に関する研究

日大生産工(院) ○佐藤 陽輔 日大生産工 綱島 均
坂井 卓爾

1. 緒 言

大量型の鉄道と少量型のバスとの中間的な需要に対応できる新交通システムが実用化され、国内で多数導入されてきた。新交通車両の左右方向の案内に用いられる方式は、案内レールに拘束されないステアリング方式と案内レールに拘束される1軸ボギー方式の2種類に大別することができる。国内の標準型新交通車両にはステアリング方式が主に採用されてきたが、最近、1軸ボギー台車の採用が報告されている^①。新交通車両を対象とした研究としては台車方式の検討、また運動解析として走行安定性、乗り心地評価に関する研究等がある。日本は地震大国であり、地震時の構造物の耐震性^②については多くの議論がなされているが、車両の挙動に関しては鉄道車両や自動車に対する検討^③はあるが、ゴムタイヤ方式で走行する新交通車両を対象とした検討は十分なされていない。また、近年では構造物や車両単体のみでの検討だけではなく橋梁-車両連成系による地震応答特性等の検討がなされている。

本研究では実車両を対象とした詳細な検討及び大きな変形を取り扱うために、マルチボディダイナミクスDADS(Dynamic Analysis and Design System)を用いてステアリング方式、1軸ボギー方式の車両モデル及び高架軌道モデルを構築し、地面走行時の車両挙動、転倒危険性の検討および高架軌道上における地震時の新交通車両の車両挙動解析を行った。

2. 車両-軌道モデルの構築

2.1 車両モデル

本研究の対象とした車両モデルは国内で用いられている標準型新交通車両とし、ステアリング方式と1軸ボギー方式の2つの案内方式を対象とした。

ステアリング方式は軌道に対する相対的な横変位を案内輪によって検出し、その検出量に応じて走行輪を操舵する方式であり、車両が軌道に拘束されない非拘束式の案内方式である。車両の姿勢を制御するのに必要な横力は、主に走行輪が横滑りによって発生するコ

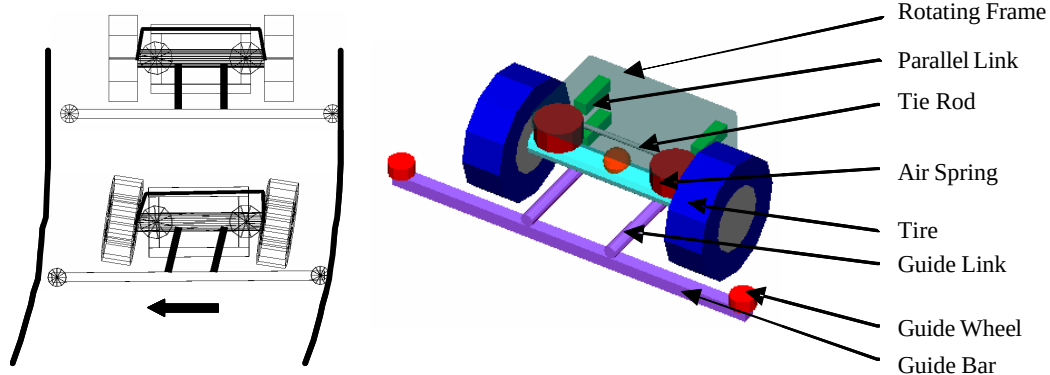


図1 1軸ボギー方式モデル

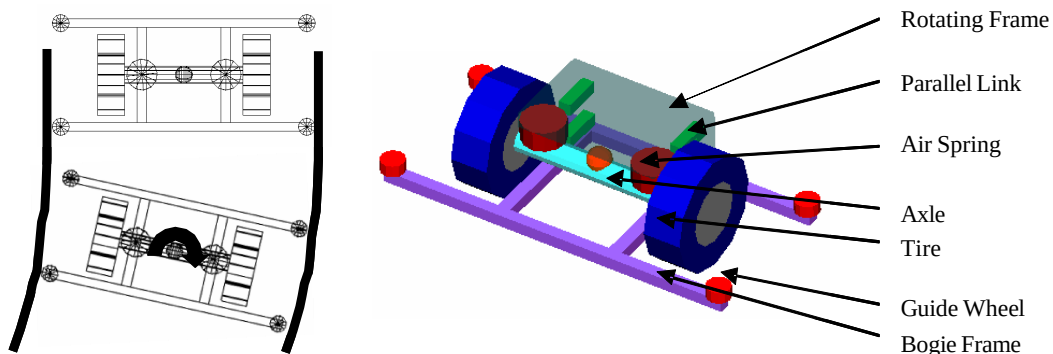


図2 ステアリング方式モデル

Safety Analysis of Automated Guideway Transit Vehicle by Multibody Dynamics

Yosuke SATO, Hitoshi TSUNASHIMA and Takuji SAKAI

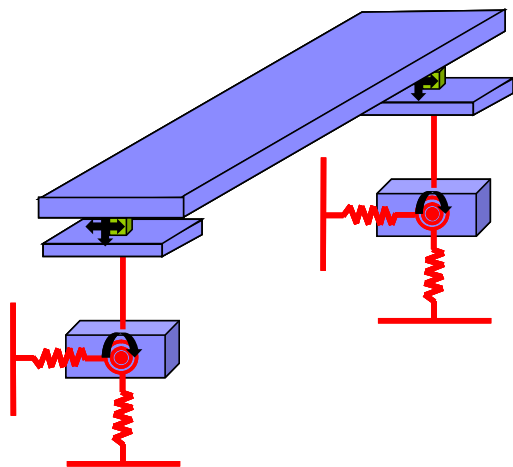


図3 高架軌道モデル

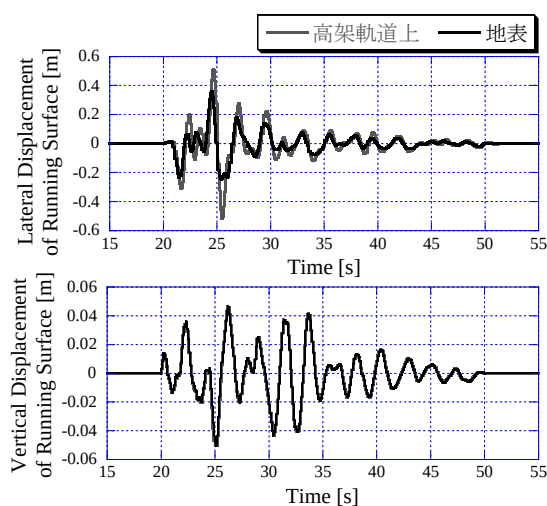


図4 軌道の変位

ーナリングフォースに依存している。

一方、1軸ボギー方式は、走行輪の前後に設けられた4つの案内輪により軌道に拘束されて走行する方式であり、車両の案内に必要な横力は主に案内輪が直接発生する。

車両モデルの作成においては、車両を構成するための車体、案内輪、フレーム、旋回枠、平行リンク、走行輪、車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、各剛体間を適切なジョイントで結合し、ばね、ダンパー、アクチュエータ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。構築した各車両モデルを図1、図2に示す。また、弾性体や部材についてはばね要素を用いることにより表現した。

2.2 高架軌道モデル

次に高架軌道を考慮した検討では高架軌道一車両連成系として解析を行うのに際して、基礎段階として地震時に最も重要なモードであると考えられる同位相で一体となって振動するモード（1次モード）を検討する。そこで今回構築した高架軌道モデルは1径間とし、

3個の剛体と並進ばねダンパ要素及び回転ばねダンパ要素を用いて構築した。また、軌道諸元は実際のデータ及び耐震設計書⁹⁾より高さ12[m]、幅7.5[m]、地盤ばねの水平ばね 1.425×10^6 [kN・m/rad]、回転ばね 1.760×10^7 [kN・m/rad]、減衰比は10[%]としている。構築した高架軌道モデルの概略図を図3に示す。その時、地震波を左右・上下方向に対して地面に入力し、地面を直接加振することで地震を表現した。この時の地面の変位及び高架軌道上の変位を図4に示す。地震波の左右変位に関しては地面の変位に比べて高架軌道上の値が大きくなっていることが分かるが、上下変位はほぼ変わらない。

3. 地表軌道走行時のシミュレーション

3.1 地震走行時の検討

構築した各案内方式の車両モデルと地震波を用いて地震時走行シミュレーションを行った。その時のモデル図を図5に示す。入力となる地震波は、前章の図4に示す地面の変位を入力した。また、軌道は直線軌道で地表に設置されているものとし、車両の走行速度は営業最高速度である60[km/h]とした。車両条件は空車時とした。1軸ボギー方式とステアリング方式の車体及び前位台車の左右加速度、ヨーレイト、タイヤの横滑り角、左前案内輪荷重の時刻歴応答を図6に示す。図6より車体の左右加速度の最大値に関してはステアリング方式に比べ、1軸ボギー方式の方が大きい。ヨーレイト及び横滑り角に関してはステアリング方式の方が1軸ボギー方式よりも大きい値がでている。また、案内輪荷重においては1軸ボギー方式の方がステアリング方式よりも大きいことがわかる。以上のことから地震時においてステアリング方式ではヨー運動が大きく、1軸ボギー方式では案内輪にかかる荷重が大きいことがわかった。

3.2 転倒限界の検討

新交通車両の地震時の転倒限界について検討し、各

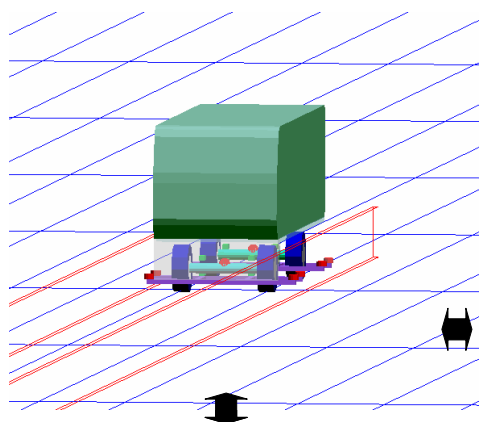


図5 地表軌道走行モデル

案内方式及び鉄道車両(J-Rail)⁴⁾との比較を行った。ここでは、構築した車両モデルに周波数と振幅の異なる正弦波を軌道に入力し転倒限界の検討を行った。

シミュレーション条件としては前節までと同様に空車時を想定し、60[km/h]一定で走行させ、軌道に正弦波を入力し計算を行った。図7に各周波数に対する限界振幅を示す。転倒限界線より上の範囲では車両が転

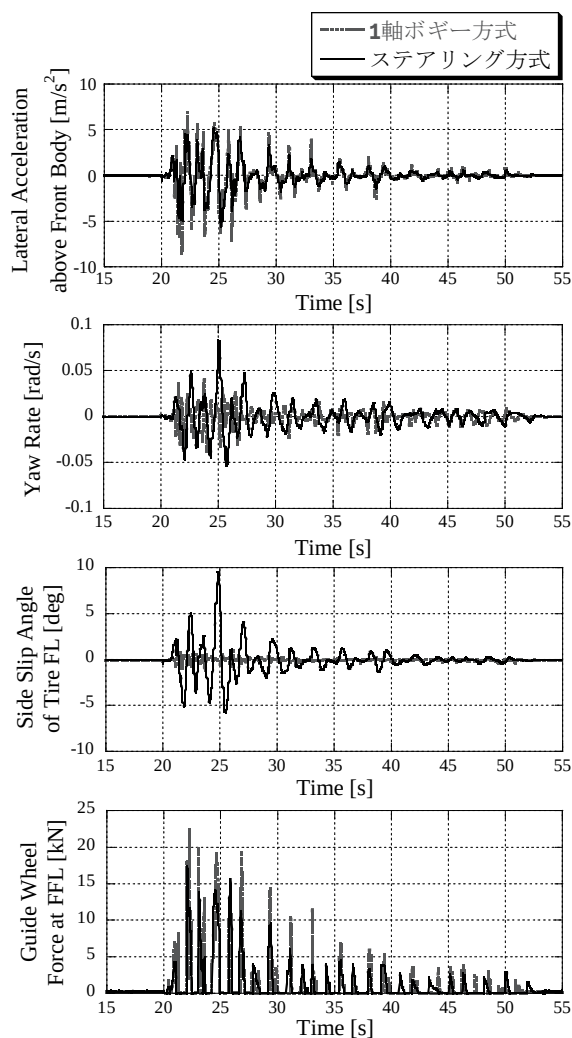


図6 地震時走行シミュレーション結果

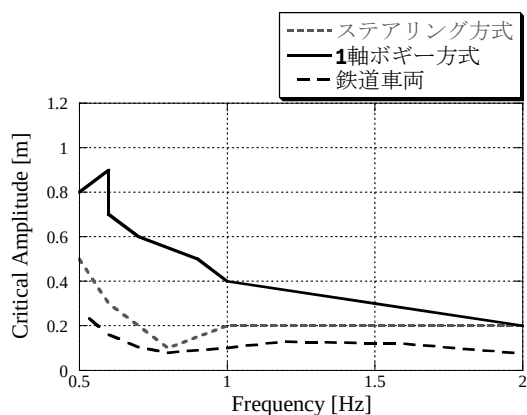


図7 正弦波加振による転倒限界

倒状態となり、転倒限界線より下の範囲では転倒はせず安定状態へと復帰する。図7より、低周波数域では比較的大きい振幅であっても転倒に至らないが、周波数が大きくなるにつれて転倒限界振幅が小さくなることがわかる。また、鉄道車両に比べ新交通車両は転倒限界線が高いことがわかる。一方、新交通車両ではステアリング方式に比べ、1軸ボギー方式の方が転倒限界が高くなっている。

4. 高架軌道上停車時のシミュレーション

構築した各案内方式の車両モデルと地面、高架軌道モデルを用いて、地表停車時および高架軌道停車時における地震時の新交通車両の挙動を計算し比較を行った。高架軌道停車時のモデル図を図8に示す。

4.1 地表停車時の挙動

入力となる地震波は、3章の図4に示す地面の変位を入力した。ただし、軌道は地表に設置されているものとし、高架軌道の振動特性は考慮していない。また、車両状態は停車時とし、車両条件は空車状態とした。ステアリング方式と1軸ボギー方式の車体及び前位台車の左右加速度、ロール角、左前案内輪荷重の時刻歴応答を図9(灰色線)に示す。図9より車体の左右加速度の最大値に関してはステアリング方式より1軸ボギー方式の方が若干大きい、ほとんど差異はないと考えられる。ロール角に関しても両方式とも大きな違いはないが、案内輪荷重においては1軸ボギー方式の方がステアリング方式よりも大きいことがわかる。

4.2 高架軌道停車時の挙動

本検討では高架軌道の上に車両を配置し、地面を加振

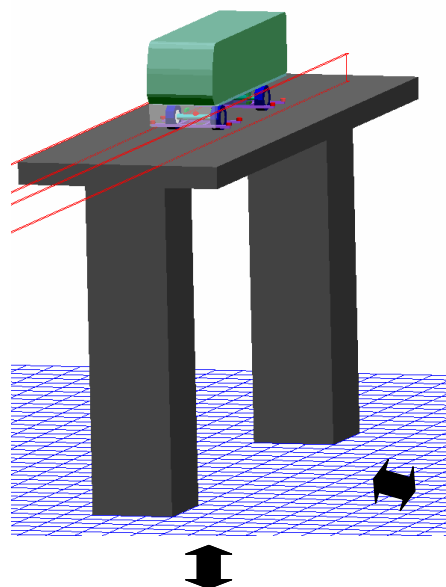
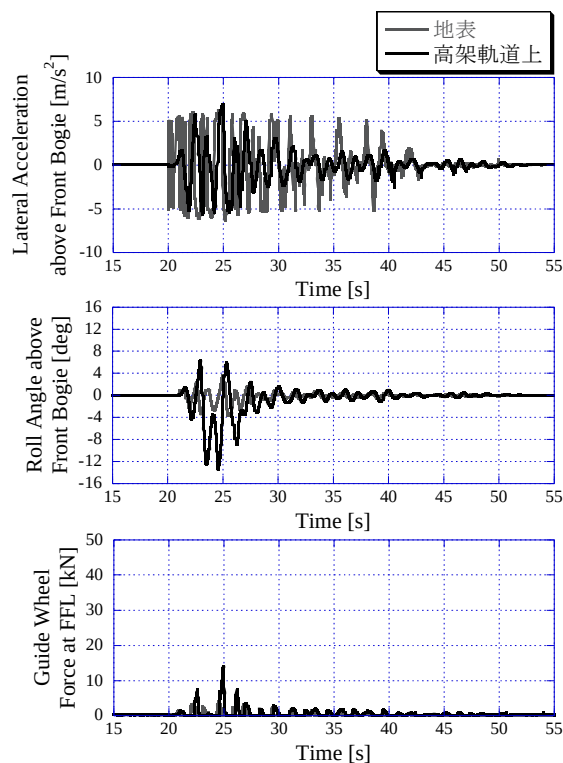
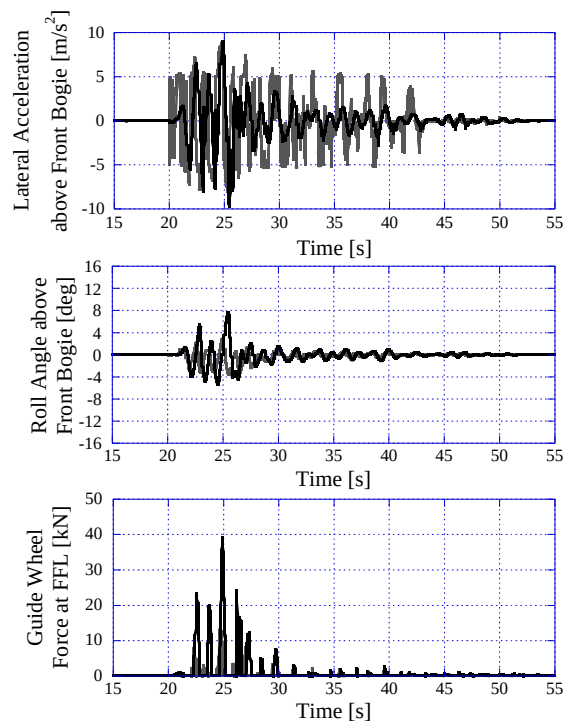


図8 高架軌道上停車モデル



(a) ステアリング方式



(b) 1軸ボギー方式

図9 地震停車時シミュレーション結果

することで高架軌道停車時の地震状態を模擬した。高架軌道上での変位は図4に示したとおりである。シミュレーション条件においては地面停車時と同様に車両状態は停車時、車両条件は空車状態とした。

1軸ボギー方式とステアリング方式の高架軌道停車時の車体及び前位台車の左右加速度、ロール角、左前案内輪荷重の時刻歴応答を図9(黒線)に示す。図9より車体の左右加速度の最大値に関してはステアリング方式に比べ、1軸ボギー方式の方が大きい。ロール角においてはステアリング方式の方が1軸ボギー方式よりも大きくなっている。また、案内輪荷重においては1軸ボギー方式の方がステアリング方式よりも非常に大きな値を示している。

また、地表停車時と高架軌道停車時において比較してみると、図9より各案内方式ともに横加速度においては地表停車時の方が高架軌道停車時よりも高周波成分の振動を多く含むが、最大値は高架軌道停車時の方が大きい。また、ロール角においても高架軌道時の方が大きくなっている。案内輪荷重において、特に1軸ボギー方式では高架軌道停車時の方が地表停車時よりも非常に大きな値を示していることがわかる。以上より、両案内方式とも高架軌道上では地表よりも影響が大きいことがわかった。また、1軸ボギー方式はステアリング方式に比べ、軌道に拘束される方式のため高架軌道の影響が大きいと考えられる。

5. 結論

地震時における新交通車両の運動特性を検討するために、マルチボディダイナミクスソフトを用いて各案内方式の詳細な車両モデルを構築した。そして、地震時の走行シミュレーションを行い、各案内方式の地震時における車両挙動の差異を明らかにした。次に、同モデルを用いて転倒危険性を検討した結果、鉄道車両に比べ新交通車両の転倒限界線が高いことがわかった。また、地表と高架軌道上での車両挙動の比較を行った。

今後は高架軌道走行時における地震時の車両挙動を検討するとともに、ねじれ等高次のモードを考慮した高架軌道モデルを構築することで車両が軌道に与える影響についても検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 網島、國瀬、片桐、1軸ボギー台車方式を用いた新交通車両の運動特性(第1報、基本的な運動特性の検討)、日本機械学会論文集C、67-653(2000)、pp.209-216
- 2) 土木学会、地震工学委員会、橋の動的耐震設計(2003.3)、109-169
- 3) 亀田・室野ほか、橋梁一車両連成系による道路橋の地震応答特性、土木学会論文集、No.626(1999.7)、93-106
- 4) 宮元・松本・下村ほか、正弦波大変位振幅の実台車加振実験、鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、03-51(2003.12)、433-436