

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月23日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560228

研究課題名（和文） 高速走行体の地震時走行安定性向上技術に関する基礎研究

研究課題名（英文） Basic Study on Technology to Improve Running Stability of High-Speed-Moving Vehicle Subjected to Earthquake

研究代表者

新谷 篤彦（SHINTANI ATSUHIKO）

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90295725

研究成果の概要（和文）：

高速走行体の比較的簡単なモデルに基づく大規模地震時の動的挙動解析を行い、地震時走行安定性を向上させるシステム構築のための基礎研究を行った。1車体、2台車、4輪軸からなる1車両全体のモデリングを行い、走行安全性として、動的効果を取り込んだ転覆の危険性を用いた。走行安全性における地震の特性の影響、走行安定性の向上のための非線形支持構造の改良について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

Dynamic behavior of high-speed-moving vehicle subjected to huge earthquake was analyzed based on relatively simple model. Basic study was investigated to construct the system in which running stability of the vehicle subjected to earthquake was improved. One vehicle body which consists of one body, two trucks, and four wheel sets was modeled. Dangerousness of rollover of the vehicle considering dynamic effect was used. The effect of the characteristics of the earthquake on the running stability, and the nonlinear support structure to improve the running stability were investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御、交通工学・国土計画、地震、減災、耐震

## 1. 研究開始当初の背景

世界的動向として、経済効率の追求は益々加速し、それに伴ってあらゆる物資や人の輸送速度は高速化する傾向にある。一方、近年巨大地震が多発するとともに、地球温暖化の影響により台風やハリケーンの規模も巨大

化しつつあり、地震外力や風荷重が巨大化しつつある。従って、超高速走行体が巨大外力を受けることにより、脱線、転覆する危険性が増大しつつあると言え、甚大な被害の発生が懸念されている。事実、新潟県中越地震では走行中の新幹線が脱線を起こし、大きな被

害が発生した。

このような社会状況の中、このような事故を未然に防ぐためには、高速走行体の地震を受ける時の動的な作用を加味したより高精度な挙動解析と安定性解析が不可欠である。

従来の高速走行体の安定性に関わる研究は、20年以上前の転覆危険率の検討程度しかなく、この研究では、地震力は検討されているが、準静的な解析であり、動的な作用についてはあまり検討されていない。また、58自由度系の複雑な車両モデルで正弦波加振時の車両の振動挙動について検討がされているが、このような自由度の大き過ぎるモデルはパラメータによる影響が複雑になりすぎ、挙動の特徴を把握することが難しい。そのため申請者の提案する、比較的簡単なモデルに基づく大規模地震時の動的挙動解析は必要不可欠であるといえる。

## 2. 研究の目的

日本では近年、阪神大震災や新潟県中越地震などの大きな地震が多発している。新幹線などの車両が高速走行中に大規模地震を受けると大きな被害が予想される。そのような被害を未然に防ぐためには、高速走行体の地震時の挙動を調べ、地震時走行安定性の向上が緊急の課題である。そのため、本申請では

- (1) 走行体と走行路の基礎的挙動解析
- (2) 水平・上下地震の連成効果の影響
- (3) 高機能非線形支持構造の基礎技術の開発の3点に的を絞り、研究を行う。

## 3. 研究の方法

本研究は3ヵ年で行った。

### (1) [平成 22 年度] 走行体と走行路の基礎的挙動解析

最初に1車両全体の走行体のモデリングを行った。これにより、ローリング、ヨーイング、ピッチングなどの運動が明確になり、比較的精密なモデルが作られることとなった。さらに、静的な効果だけでなく、慣性力、地震力など動的効果を取り入れた転倒判定基準を用いた。その判定基準をもとに転倒の可能性などを、シミュレーションにより検討した。また、直線軌道、曲線軌道走行時の転倒危険性の変化と走行速度、非線形支持構造等のパラメータの影響についても検討した。

### (2) [平成 23 年度] 水平・上下地震の連成効果の影響

入力地震波の特性による走行体の挙動の違いを調べた。また、実際の地震においては水平方向だけでなく、上下方向の影響も大きい。さらに上下方向、水平方向の地震は車両のダイナミクスと連成し、複雑な振動を引き起こす。そのため上下振動、水平振動の相互

作用について検討した。

### (3) [平成 24 年度] 高機能非線形支持構造の基礎技術の開発

非線形支持構造(動ストッパ)の有無により転覆の危険性がどのように変わるかを検討した。さらに転倒に対する安全性を向上させる高機能非線形支持構造の開発のための基礎技術を構築した。

## 4. 研究成果

### (1) 1車両のモデル化

#### ① 車両モデル

本研究における車両の解析モデルを図1、図2に示す。図1は曲線軌道上における車両を正面から見た車両モデル(y-z断面)、図2は直線軌道上における車両を上面から見た車両モデル(x-y断面)を示している。

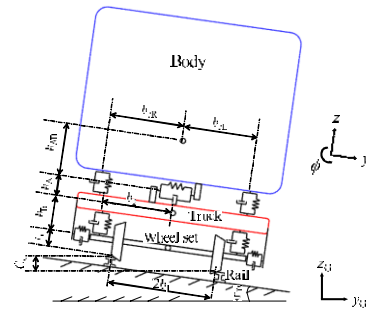


図1 1車両の解析モデル化(y-z平面)

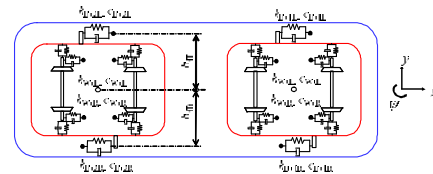


図2 1車両の解析モデル化(x-y平面)

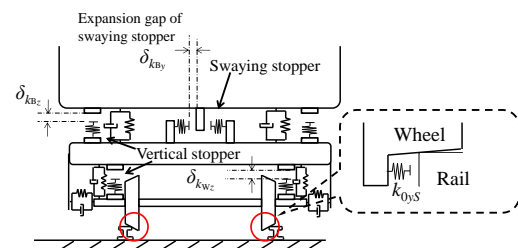


図3 ストッパのモデル

車両モデルは1つの車体、2つの台車、4つの輪軸からなり、編成車両のような連結器は持たない1車両について考える。車体と台車、台車と輪軸は左右及び鉛直、前後方向において、ばねとダンパで接続され、レールは地面と一体とする。また車体等は十分に剛であると仮定してモデル化している。車両モデルの諸元は新幹線(200系)を想定した諸元を

用いる。

また、地震時には、解析モデルの各ばねの相対変位が大きくなり、ストッパに衝突することが考えられる。そこでストッパの影響を考慮するため図3に示すばねのうち一部のばねを非線形ばねとしてモデル化する。また、車輪のフランジ部とレールの衝突により生じる力についても非線形ばねでモデル化する。ただし、ストッパの破壊は考慮しない。また、車輪-レール間に働く力はクリープ力として考慮する。

## ② 乗客モデル

乗客モデルは、左右及び鉛直方向にそれぞれ1自由度で振動する計2自由度系で考える。鉛直方向のモデル化は、既存研究で実際の鉄道車両の座席を用いて実験を行いモデル化された諸元を引用する。

左右方向のモデル化は、加振実験を行い、着座時の乗客の左右方向の固有振動数及び減衰比を決定し、モデル化する。

以上より車体、台車、輪軸、乗客の運動方程式はラグランジュの運動方程式が得られる。

## (2) 転覆危険率の導入とその計算

### ① 転覆危険率

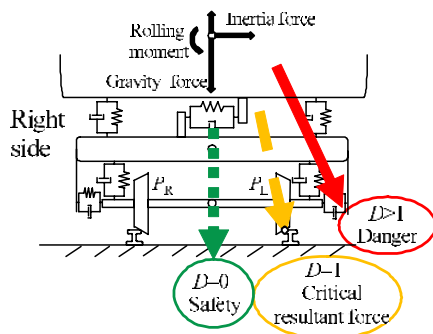


図4 車体、台車、輪軸に働く力とモーメント

車両が転覆する危険性を表す指標として転覆危険率  $D$  を導入する。転覆危険率は、図4に示すように重力、遠心力、慣性力など車両に働くすべての外力の合力の作用線がどこを通るかで転覆の危険性を評価する指標である。本研究ではこの転覆危険率を同等の輪重減少率から求める。さらに1車両全体に対する転覆危険率は各軸で求めた転覆危険率の平均値で表す。

### ② 直線軌道と曲線軌道の違い

図5に直線軌道走行時と曲線軌道走行時の地震の最大加速度と転覆危険率の関係を示す。入力地震波は新潟県中越地震の際に長岡支所で観測された地震波を用いる。走行速度は255 km/h、曲率半径は2500 m カントは200

mmとした。加速度が大きいくほど危険率は大きくなる。500 Gal 位から急激に大きくなるのはストッパが効きはじめるためである。また、遠心力などのため、曲線軌道走行時の方が危険率が高いことがわかる。

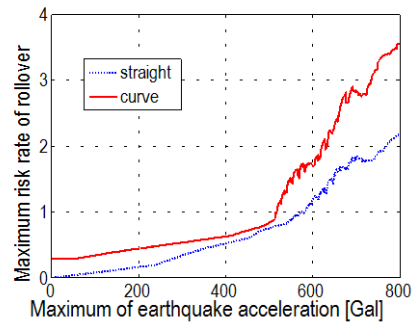


図5 転覆危険率における地震加速度の影響

### ③ 乗客の動特性の影響

乗客の動特性が転覆危険率に及ぼす影響について考える。直線軌道上で、速度200 km/hで走行中の車両が地震動を受ける場合の転覆危険率を図6に示す。この時、車両内の乗客は100人とし、その分布状況は左右前後に対称な8箇所に均等であると仮定する。

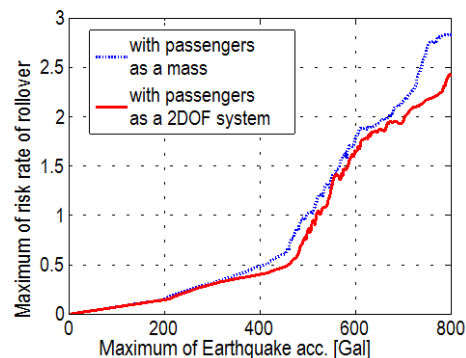


図6 転覆危険率における乗客の特性の影響

乗客の動特性を考慮することで最大転覆危険率が小さくなっていることが分かる。特にストッパに衝突するような地震加速度を受ける時、乗客の動特性により車体の振動挙動に違いが生じる。

### ④ 乗客数の影響

直線軌道上で走行速度200 km/h時に地震動を受ける場合を考える。車体質量に対する乗客質量の割合を変化させ、解析を行った。図7に解析結果を示す。

車体質量に対する乗客質量の割合が大きくなるほど、乗客の動特性が車両の転覆に

及ぼす影響が大きくなっていることが分かる。

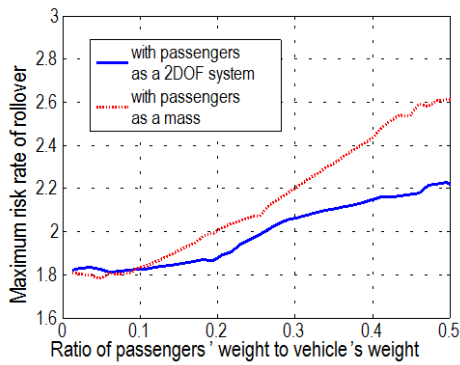
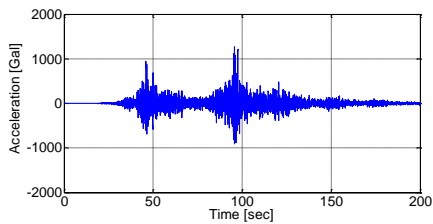


図7 転覆危険率における乗客数の影響

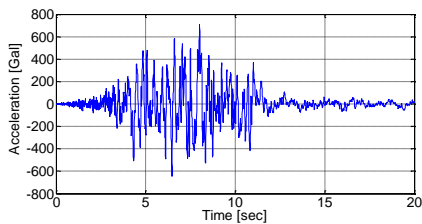
今後更に車両の軽量化が進むことが考えられるため、乗客の影響が大きくなると言え、乗客の動特性を考慮した振動解析の重要性が高まると考えられる。

### (3) 地震特性の影響

ここでは前述の新潟県中越地震と東北地方太平洋沖地震の築館で観測された地震波を用いる。入力地震波を図8に示す。これらの応答スペクトルを図9に示す。

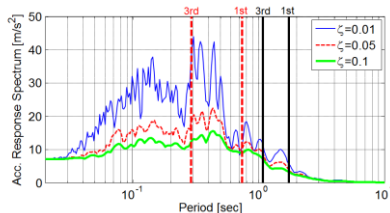


(a) 新潟県中越地震

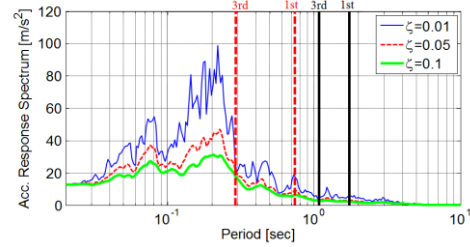


(b) 東北地方太平洋沖地震

図8 入力地震波(東西方向)



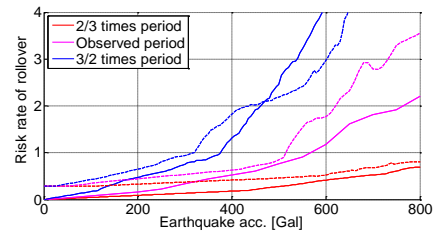
(a) 新潟県中越地震



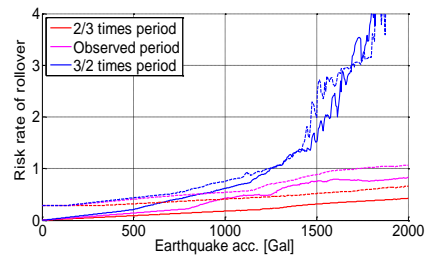
(b) 東北地方太平洋沖地震

図9 入力地震波の応答スペクトル

これらの地震波を時間軸方向に伸縮させることにより長周期地震波(時間軸方向に3/2倍に引き伸ばしたもの)と短周期地震波(時間軸方向に2/3倍に縮めたもの)を用いて転覆危険率を計算したものを図10に示す。周期が長いほど転覆危険率は大きくなることわかる。



(a) 新潟県中越地震



(b) 東北地方太平洋沖地震

図10 地震加速度と卓越周期の転覆危険率への影響(実線:直線軌道,破線:曲線軌道)

また、水平方向地震動と上下方向地震動は位相差(時間差)によっては転覆危険率をより大きくすることがあることが分かった。

### (4) 非線形支持構造の影響

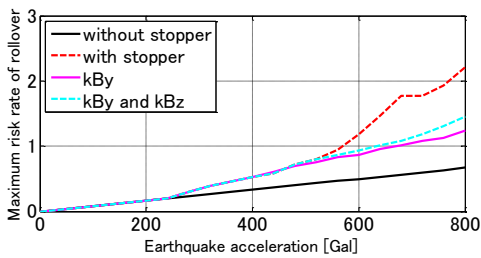
建築限界を侵さないように車両の相対変位を抑制するために車体台車間、台車輪軸間に非線形支持構造(動ストップ)が取り付けられている。ここでは特に、車体台車間の左右動ストップ、車体台車間の上下動ストップ、台車輪軸間の上下動ストップに注目する。動ストップの復元力特性の一例を図11に示す。

相対変位が大きくなるとばね定数が大きくなり、より大きな復元力が働く。

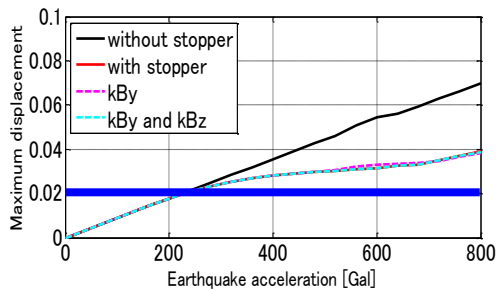


図 11 車体台車間の左右動ストップの復元力特性

これらの動ストップについて、動ストップを考慮した場合、一部考慮した場合、考慮しない場合の転覆危険率を図 12 に示す。動ストップを考慮しない場合は図 11 の復元力特性が最初の傾きのままであると考える。



(a) 最大加速度と転覆危険率



(b) 最大加速度と車体台車間の左右動ストップの変位

図 12 転覆危険率におけるストップの影響

動ストップを考慮すると動ストップが効き始めた 250 Gal 程度から転覆危険率が大きくなっていくのが分かる。このことから、転覆危険率を減らすような動ストップを検討する。

図 13 に復元力特性を折れ線近似とした最

初のものとして 3 種類の 2 次関数で与えたものの動ストップ特性を示す。

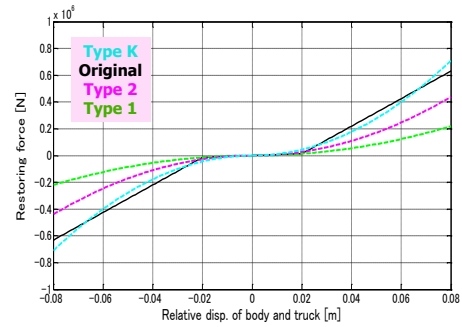
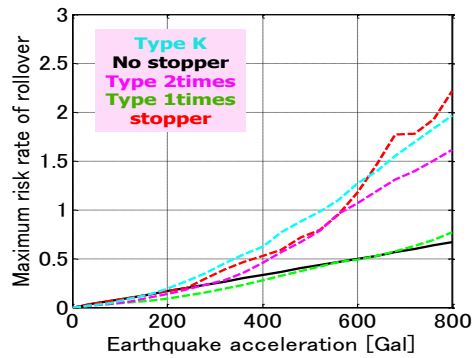
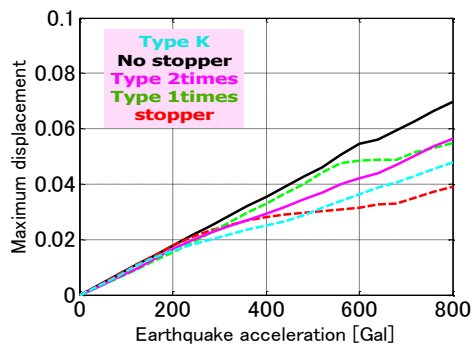


図 13 動ストップの検討

このストップを用いたときの転覆危険率と車体台車間の左右動ストップの変位を図 14 に示す。動ストップの復元力特性をうまく選ぶと転覆危険率も動ストップの変位もともに減らせる可能性があることが分かった。



(a) 最大加速度と転覆危険率



(b) 最大加速度と車体台車間の左右動ストップの変位

図 14 動ストップと転覆危険率および動ストップの変位

### (5) 結言

比較的簡単なモデルに基づき高速走行体の地震時安定性を検討した。地震の特性により転覆危険率がどのように変化するか、どの

ような非線形支持構造が転覆危険率を減らすかについて基礎的な知見が得られた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① A. Shintani, T. Ito and Y. Iwasaki: Basic Study on the Seismic Response of the High-Speed-Moving Vehicle Considering Passengers' Dynamics, Management, Manufacturing and Materials Engineering, Advanced Materials Research, 査読有, Vols. 452-453, pp.1200-1204, 2012.  
[doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.452-453.1200]

[学会発表] (計 8 件)

① 藤井雄斗, 新谷篤彦, 伊藤智博, 中川智皓: 高速走行体の地震応答におけるストッパの影響, 日本機械学会関西支部第 88 期定時総会講演会 講演論文集, 大阪, No.134-1, p.8-17, 2013 年 3 月 17 日.

② A. Shintani, T. Ito, C. Nakagawa and Y. Iwasaki: Dynamic Response of High-Speed-Moving Vehicle Subjected to Seismic Excitation Considering Passengers' Dynamics, Proc. of 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), Lisbon, Portugal, USB Proceedings, 3860, 8 pages, 2012 年 9 月 24 日.

③ 藤井雄斗, 新谷篤彦, 伊藤智博, 中川智皓: 高速走行体の応答挙動における地震動の影響, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集 (DVD-ROM), 金沢, No.12-1, S102013, 5 pages, 2012 年 9 月 10 日.

④ 藤井雄斗, 新谷篤彦, 伊藤智博, 中川智皓: 入力地震動の特性を考慮した高速走行体の応答挙動に関する基礎検討, 日本機械学会 関西学生会学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 大阪, p.16-12, 2012 年 3 月 15 日.

⑤ A. Shintani, T. Ito and Y. Iwasaki: Basic Study on the Seismic Response of the High-Speed-Moving Vehicle Considering Passengers' Dynamics, Proc. of 2011 International Conference on Mechanical Science and Engineering (ICMSE2011) Zhengzhou, China, 2011 年 12 月 9 日.

⑥ 岩崎雄大, 新谷篤彦, 伊藤智博: 乗客の

動特性を考慮した高速走行車両の地震応答挙動に関する検討, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集 (DVD-ROM), 東京, No.11-1, G100042, 4 pages, 2011 年 9 月 13 日.

⑦ 岩崎雄大, 新谷篤彦, 伊藤智博: 曲線軌道走行時の高速走行車両の地震応答挙動に関する検討, 日本機械学会関西支部第 86 期定時総会講演会 講演論文集, 京都, No.114-1, p.9-22, 2011 年 3 月 20 日.

⑧ 岩崎雄大, 新谷篤彦, 伊藤智博: 乗客の影響を考慮した高速走行車両の地震応答挙動に関する検討, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, 名古屋, No.10-1, Vol.7, pp.399-400, 2010 年 9 月 6 日.

[その他]

市民への講演など

新谷篤彦, 伊藤智博: 地震時の高速走行体の安全性, 大阪府立大学 花(さくら)まつりサイエンスカフェ, 2011 年 4 月 3 日.

伊藤智博: 高速走行体の地震時安全性, 第 66 回 大阪府立大学 テクノラボツアー「安全, 安心, 快適」を実現するための技術・研究一, 大阪, 2010 年 12 月 17 日.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

新谷 篤彦 (SHINTANI ATSUHIKO)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 90295725

##### (2) 研究分担者

伊藤 智博 (ITO TOMOHIRO)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 60347507