

1615 鉄道車両の地震に対する走行安全性向上策の検討

学 [機] ○関口 勇太 (明星大学大学院) [機] 宮本 昌幸 (明星大学)

Study on the Running Safety Countermeasure of Railway Vehicles in Earthquake

○Yuuta Sekiguchi (Meisei University graduate school)

Masayuki Miyamoto (Meisei University)

The vibration table test by 1/8 model rolling stock was carried out in order to grasp the effect of derailment prevention guard and overrun inhibition countermeasure in earthquake occurrence for the behavior of stop rolling stock.

The following two experiments were carried out : (1)Experiment which installs the anti-derailing guard .(2)Experiment which fixes a L shaped rolling stock guide under the car truck axle box .

The model rolling stock was set on the track of vibrating table which was excited with sine wave , and by changing frequency, amplitude, experiments were carried out. As the result, though the prevention guard was not effective for the case in which the overturn was generated in the large amplitude area, but effective for the case in which the derailment was generated in the smaller amplitude area. And, the rolling stock guide was effective in many cases.

Keywords:: Railway Vehicle, Scale Model Experiment, Earthquake, overrun inhibition countermeasure

1. はじめに

鉄道の安全については、長らく脱線防止の観点に主眼を置いた研究がなされてきた。その結果鉄道は他の乗り物と較べて格段に安全な乗り物となった。しかし、事故を完全に無くすのは難しく、ある程度の確率のもとに事故は実際起きている。阪神・淡路大震災では、運転中あるいは留置中の多数の車両が脱線した。

このような走行中、もしくは停止中の鉄道車両が地震に遭遇した時の走行安全性に関しては、計算機シミュレーション¹⁾、実際の車両を用いた定置加振実験²⁾、模型車両を用いた定置加振実験^{3) 4)}などの研究が行われてきた。

また、事故が起きたときに被害を拡大させないという視点も重要であるとの指摘がされ、ガードレールや防護柵の有効性が示された⁵⁾。

しかし、脱線、転覆事故後の事故形態を分析し、被害の拡大を抑止する観点からの研究は広がりを見せなかったが、2004年10月の中越地震による上越新幹線脱線事故⁶⁾を契機に、具体的問題としてJR各社が取り組みはじめた⁷⁾。

そこで、本研究では地上側脱線防止装置(脱線防止ガード)および車両側逸脱防止装置(L型車両ガード)の有無が、地震時の車両運動にどのように影響するかを、模型車両を用いた定置正弦波加振実験で調べる。

2. 実験装置

2.1 実験概要

図1に示す半車両模型を、左右方向正弦波加振のできる振動台に取り付けたレール上に設置し、停止状態で加振両振幅、加振振動数を変化させての実験を行った。安全、脱線、転覆の評価は目視で行った。模型車両の挙動は高速度カメラで撮影した。これらの実験結果から、脱線防止ガードの有無による脱線限界、転覆限界の変化と、L型車両ガードを取り付けたときにL型車両ガード

が効果を発揮するかどうかを調べた。

2.2 模型車両

模型車両は標準軌の車両の縮尺1/8で、1台車・半車体の半車両とした。模型車両の概略構成および諸元を図1、表1に示す。

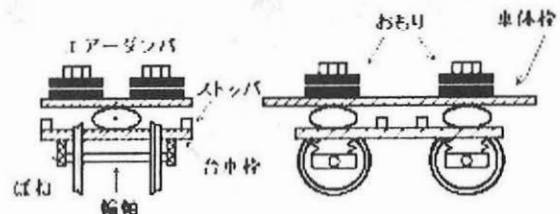


Fig.1 Experiment vehicle

2.3 振動台概要

振動台は、往復すべりコクランク機構の内製のもので、停車中の模型車両に対して、左右方向への正弦波振動を与えることができる。振動数はモータ回転数をインバータ制御することで変更できる。加振両振幅は偏心円板と連接棒の取り付け位置により10~200mmの範囲を10mm間隔で変更できる。積載台の位置はレーザ式変位計で測定し、振動数を求めた。また、加振両振幅100mm以上の大振幅域では、きれいな正弦波を得る為に偏心円板にバランスウェイトを取り付けて調整している。実験装置の構成を図2に示す。

2.4 脱線防止・逸脱防止対策概要

2.4.1 脱線防止ガード

脱線防止ガードは、左右レール間に逆L型をしたガードをレール近傍に設置して、車両の脱線を反対車輪のフランジバック側をガードに当てることで防止する装置で

Table 1 Parameter of experiment vehicle

ゲージ	184	mm
全長	500	mm
全幅	432	mm
車両重心高さ	140	mm
軸距	320	mm
バックゲージ	174	mm
車輪径	109	mm
車輪幅	16	mm
車体・台車間上下ストップ間隔	23	mm
車体質量	22.3	kg
台車枠質量	6.85	kg
車軸質量	2.721	kg
車両総質量	34.6	kg
車体ローリング慣性モーメント	0.458	kg・m ²
台車枠ローリング慣性モーメント	0.13	kg・m ²
車軸ローリング慣性モーメント	0.023	kg・m ²
車体ローリング固有振動数	1.18	Hz
エアダンパローリングばね定数	25	N・m/rad
エアダンパローリング減衰係数	1.15	Nm・s/rad

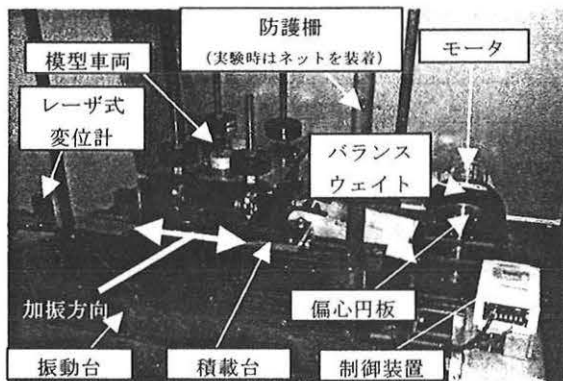
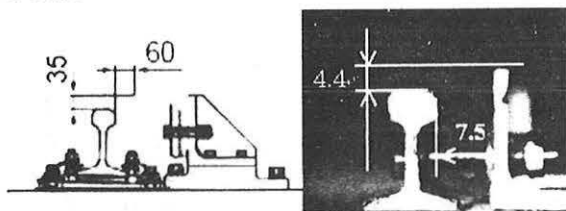


Fig.2 Photo of Experimental Equipment

ある。現在、在来線で用いられている脱線防止ガードのレールとガードとの左右間隔は 85mm である。また、新幹線の平板スラブ用・枠形スラブ用として JR グループで検討が行われている脱線防止ガードの位置関係を図 3 左に示す⁸⁾。今回はこの値の 1/8 の図 3 に記入した寸法とした。



Real scale experiment model
Fig. 3 Anti-derailing guard

2.4.2 脱線防止車上ガード (L 型車両ガード)

L 型車両ガードについて、台車軸箱下に逆 L 型をした車両ガード機構を設置し、車両が脱線した場合にガード機構により一定以上車輪が横方向に移動することを防止する。参考とした L 型ガードは JR 東で検討中のもので^{7) 9)}、その縮尺 1/8 の値と本実験での値の比較を表 2 に示す。

Table 2 Parameter of L shaped rolling stock guide

単位	mm	実際の 1/8	模型
レール高さ		22	19
L型左右はなれ量A		31	29
L型落下時かかり量B		10	5
ガード接触までの横移動量		33	32

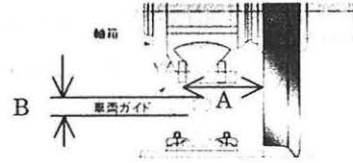


Fig.4 L shaped rolling stock guide

本実験ではレール高さが低いために、車輪落下時の L 型ガードのレールへのかかり量 B は小さくなる。その場合でも、レール頭部側面部まではかかる 5mm になるように取り付け位置を調整した。

左右位置に関して、車輪がレール上の中立位置にある状態から、輪軸が左右に移動して脱線しガードがレールに接触するまでの横移動量は実際の縮尺値 33mm に近い 32mm とした。

ガードのレール方向長さは、模型の軸ばね取り付けボルトをガードの取り付けに流用する関係で、実際の縮尺値より大きい 80mm となっている。

3. 実験結果

3.1 脱線防止ガード

脱線防止ガードの無い場合と在る場合それぞれについて、加振両振幅 100~180mm 間を 10mm 間隔で加振実験を行った結果を図 6、図 7 に示す。

まず、図 6 の脱線防止ガードの無い場合を見ていく。各振幅における脱線の発生限界を調べるために、加振振動数を上げていき、脱線の発生した最低の振動数付近を重点的に実験を行った結果が△印の脱線である。脱線は両振幅が 100~180mm まで全ての振幅でおきている。

各振幅における転覆の発生限界を調べるために、転覆の発生した最低の振動数付近を重点的に実験を行った結果が×印の転覆である。転覆は両振幅が 140mm まででは起きず、150~180mm の大きな両振幅で起きている。

各振幅における安全の限界を調べるために、脱線や転覆に至らなかった最大の振動数付近を重点的に実験を行った結果が●印の安全である。

次に、図 7 の脱線防止ガードの在る場合を見ていく。脱線防止ガード在りの場合の現象のばらつきを把握するために、ない場合よりも振動数の広い範囲で実験を行った。

脱線と安全が混在する振動数領域は加振両振幅が増大するほど低下していく傾向は、脱線防止ガードのない図 6 と同様であるが、その振動数はガード無より増加して安全領域が広がっている。

転覆が生じるのは両振幅 160mm 以上である。転覆と安全が混在する振動数領域は脱線の場合より広く、両振幅 160mm の場合には 1.0~1.6Hz 程度に広まっている。また、両振幅 160 以上では転覆と脱線が混在する振動数領域が在る。この振動数領域は転覆と安全が混在する振動数領域より高い。

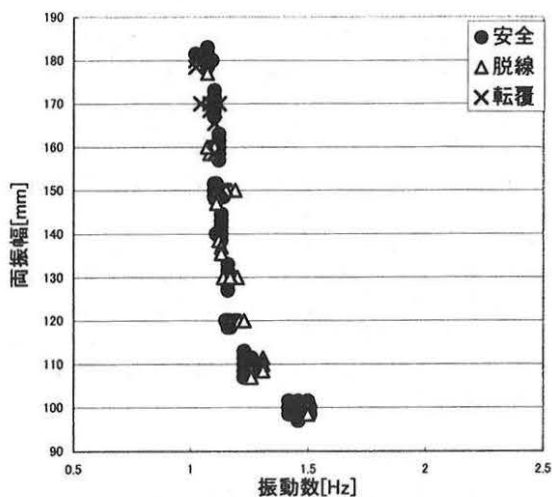


Fig.5 Experimental result without anti-derailment guard

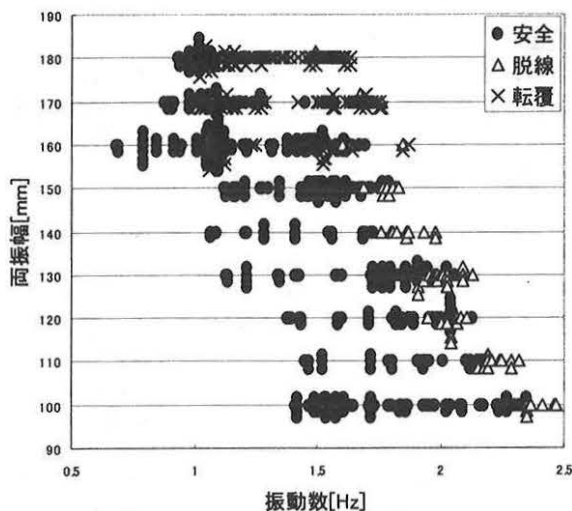


Fig. 6 Experimental result with anti-derailment guard

脱線防止レールの有無での比較を解りやすくするために、図5、図6より加振両振幅と加振振動数の関係を求めたものを図7に示す。

図7の各グラフは、図5、図6において、脱線、転覆の発生した最低の振動数を繋いだ曲線（脱線限界曲線、転覆限界曲線）を示す。点線は「ガードなし」、実線は「ガードあり」を表わす。

脱線防止ガードの有無による各限界曲線を比較する。脱線限界曲線は、ガード有は加振両振幅 100mm で約 1Hz 程度、加振両振幅 180mm で約 0.5Hz 程度高振動数域に移動している。

転覆限界曲線は、ガードなしで加振両振幅 140～150mm で生じていた転覆が、ガードありでは生じなくなり効果が認められた。しかし、加振両振幅 160mm 以上では、ガードの有無による差は無く脱線防止ガードは転覆を抑える効果がない。

高速度カメラで撮影した結果、図7のaの領域（脱線防止ガードなしで脱線、脱線防止ガードありで安全）では、脱線防止ガードが車輪のフランジを押さえることで脱線を防いだ。図7のbの領域（脱線防止ガードありでも脱線）では、車輪が衝撃ではねてしまい脱線防止ガードの高さを超えてしまって脱線した。

図7のcの領域（脱線防止ガード有無にかかわらず転覆）では、フランジが脱線防止ガードや走行レールよりも大きく跳ね上がってしまい、反対側レールの脱線防止ガードがフランジを抑えることもできず転覆した。

このことから正弦波加振の場合、脱線防止ガードは、左右方向への動きを主体として発生する脱線に対しては防ぐ効果があるが、車両がロール方向に回転することで発生する転覆に対してはフランジが脱線防止ガードに接触しないため効果が少ないことが分かった。

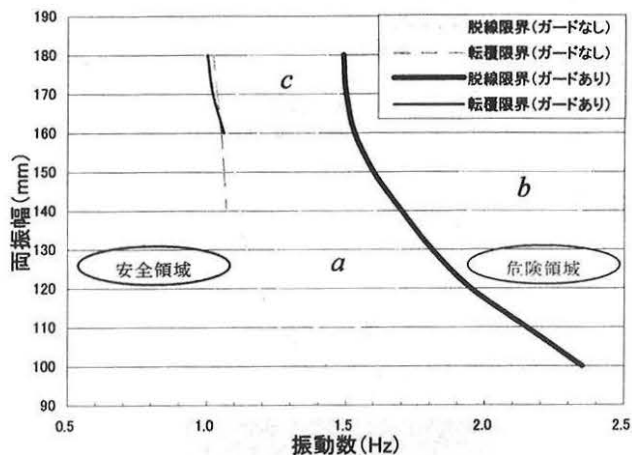


Fig.7 Experimental result with anti-derailment guard

3.2 L型車両ガード

L型車両ガード設置時に、加振両振幅 50～130mm 間を 10mm 間隔で加振実験を行った結果を図8に示す。

以後、逸脱とはレールを外から挟み込む位置にあるガードが、レールを越えて左右レール間に入り込む状態を言う。この状態になると比較的小さな力でも車両は軌間距離程度の横移動をすることが予想される。

表2に示したガードがレールに接触するまでの横移動量 32mm と輪軸の横移動量の関係で以下の3ケースが考えられる。

- (1) 脱線したが輪軸の動きが 32mm より小さく、接触も逸脱も生じない場合。
- (2) 脱線して輪軸の動きが 32mm に達し、ガードがレールに接触して戻され逸脱が生じない場合。
- (3) 脱線して輪軸の動きが 32mm を越えて、ガードがレールに接触せずに飛び越えて、あるいは接触するがレールを飛び越えて、逸脱する場合。

両振幅 90～130mm の範囲では、上記(1)のケースで、脱線後にガードがレールに接触するほどの車両の横移動はなかった。

両振幅 50～80mm の範囲では、前述の場合より脱線限界振動数が上がってくる。そのため、脱線後の輪軸の速度が大きくなりケース(2)が生じる。これらの振幅での脱線した総数 42 回の内 1 回を除く 41 回が、脱線後ガードがレールに接触することで、車両の横移動を防いだ。(図9参照)。その際、振動数が増加するに伴いガードがレールに接触する回数も増えるが、多くても接触は 2 回までで、その後は輪軸の軌道に対する動きは無くなる。

1 回のみ発生したケース(3)は両振幅 80mm, 1.89Hz の場合(△印)で、レール右側に脱線した後に突然跳ね上がり、レールを飛び越え、逸脱防止ガードが機能しなかった(図10参照)。

L型車両ガードの実験は加振両振幅 50～130mm で行

った。脱線防止ガードでの実験で行った 130mm を超えるより大きな加振振幅の場合には、転覆が生じてくるので、脱線防止ガードの効果が限定的になったと同様に、L 型車両ガイドの効果が減じることが予想される。

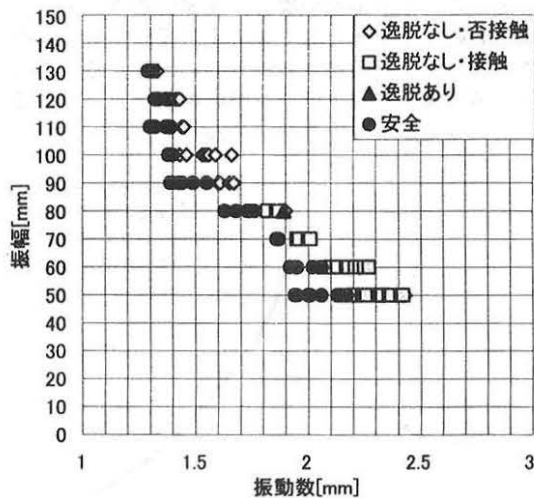


Fig.8 The Result of provision for guide

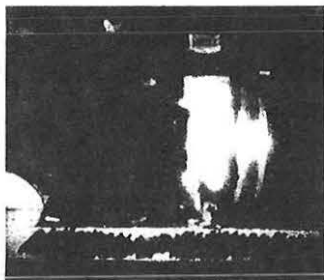


Fig.9 The Result of provision for guide

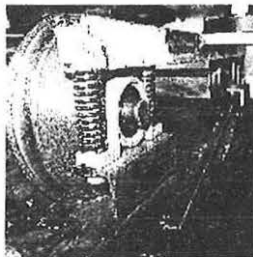


Fig.10 The Result of provision for guide

4. まとめ

4.1 脱線防止ガード

・脱線限界曲線は、ガード有が無より、実験を行った加振両振幅 100~180mm での全領域で約 0.5~1Hz 程度、高振動数域に移動して、安全領域が増す。

・転覆限界曲線は、ガードなしで加振両振幅 140~150mm で生じていた転覆が、ガードありでは生じなくなり効果が認められた。しかし、加振両振幅 160mm 以上では、ガードの有無による差は無く脱線防止ガードは転覆を抑える効果がない。

4.2 L 型車両ガイド

加振全振幅 50~130mm の加振実験を行った。

・両振幅 90~130mm の範囲では、脱線後にガードがレ

ールに接触するほどの車両の横移動はなかった。

・両振幅 50~80mm の範囲では、脱線限界振動数が上がってくる。そのため、脱線後の輪軸の速度が大きくなり、脱線した総数 42 回の内 1 回を除く 41 回が、脱線後ガードがレールに接触することで、車両の横移動を防いだ。

・42 回中 1 回のみだったが、レール右側に脱線した後に突然跳ね上がり、レールを飛び越え、逸脱防止ガードが機能しなかった場合があった。

・脱線防止ガードでの実験で行った 130mm を超えるより大きな加振振幅の場合には、転覆が生じてくるので、脱線防止ガードの効果が限定的になったと同様に、L 型車両ガイドの効果が減じることが予想される。今後の検討が必要な課題である。

謝辞

これらの実験は 2006、2008 年度卒業研究で行われたものをベースとしており、担当学生、佐野将弘氏、竹中智明氏、清水敬太氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宮本岳史、曾我部正道、下村隆行、西山幸夫、松本信之、松尾雅樹：実車両加振実験による大変位車両シミュレーションの検証（鉄道総研報告、特集論文 2003.9 Vol.17 No.9 p39-44）
- 2) 宮本岳史、石田弘明、松尾雅樹：地震時の鉄道車両の挙動解析（日本機学会論文集（C 編）64 巻 626 号 1998.10 p236-243）
- 3) 中村行秀：鉄道車両の地震に対する走行安全性の研究（車輪形状の影響）（J-RAIL' 04 2004.12 p535-538）
- 4) 香山義人：鉄道車両の地震に対する走行安全性の研究（転覆の形態と加振条件との関係）（J-RAIL' 05 2005.12 p297-298）
- 5) 宮本昌幸、香山義人：鉄道車両の脱線時の安全性の研究（鉄道版防護策の可能性）（J-RAIL' 04 2004.12 p531-534）
- 6) 国土交通省運輸安全委員会ホームページ
鉄道事故調査報告書、上越新幹線（最終報告）
- 7) 浅野浩二、加藤博之：車両逸脱防止ガイド機構の開発（JREA 2007 年度 2006.3 Vol.50 No.11 pp32886-32887）
- 8) 鉄道総合研究所ホームページ、研究・開発、主要な研究テーマ（2006 年度）、安全性信頼性、新幹線の地震時の脱線対策
- 9) 鉄道総合研究所ホームページ、研究・開発、主要な研究テーマ（2005 年度）、安全性信頼性、新幹線の地震時の脱線対策