

鉄道車両脱線時の逸脱防止対策の研究

関口 勇太 (元明星大学大学院)
内野 健太 (明星大学学生)

○小泉 功太郎 (明星大学学生)
【機】宮本 昌幸 (明星大学)

Research of deviation prevention measures in the rolling stock derailment

Uta Sekiguchi (Meisei University)
Kenta Uchino (Meisei University)

○Kotaro Koizumi (Meisei University)
Masayuki Miyamoto (Meisei University)

JR companies promote the countermeasure of damage escalation prevention in derailing rolling stock. HO gauge and 5 inch gauge model rolling stock running experiments were carried out to confirm the effect of a L shaped rolling stock guide. As the results, it is effective in the case in which wheel falls in the condition in which the wheel is parallel to the rail, and ineffective in the case in which wheel falls in the condition with angle of attack to the rail.

キーワード：脱線事故，被害拡大防止，逸脱防止対策，模型実験，アタック角

Keywords：derailment accident, damage escalation prevention, deviation prevention measures, scale model experiments, attack angle

1. はじめに

鉄道の安全については、長らく「いかに事故を起こさないか」に主眼を置いて研究がなされてきた。その結果鉄道は非常に安全な乗り物となっているが、確率は低い事故は起きている。そこで「事故被害拡大防止」の観点からの研究を開始した。

脱線事故調査や比較的簡易なモデルによるシミュレーションにより、脱線後の列車を大きく左右に振らせずに、地上構造物への激突や、転覆を防ぐ、「逸脱防止レール」が成り立つことが示唆された。また、「鉄道版防護柵」の効果を確認され、自動車用剛性防護柵と同レベルの仕様で成り立ち得る見通しが得られた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

2004年10月の最大震度7の中越地震で上越新幹線が脱線した。営業中新幹線の初めての脱線であった。幸い死傷者は出なかったが、最後尾車両は対向線を支障し、大事故になる可能性もあった。この事故を踏まえ、新幹線関係鉄道事業者、鉄道総合技術研究所(鉄道総研)、鉄道・運輸機構、国土交通省により「新幹線脱線対策協議会」が設置され、今までの地震対策に加えての対策の検討、開発が行われ、JR各社で列車の逸脱防止対策が実施に移されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。そのうちのひとつのL型車両ガイドの効果確認のHOゲージ模型車両走行実験と5インチゲージ模型車両走行実験を行なったので以下に報告する。

2. HOゲージ模型車両走行実験

2.1 走行実験概略

HOゲージ模型車両を傾斜の付いた自走台の走行レールを走行させる。自走台末端に接続している平坦部には走行レールとは左右に食い違っている脱線後レールがある。この区間で強制的に車両を脱線させる。その後、脱線後レールからの車両の逸脱に対する、脱線後レールの線形とL型車両ガイドの効果の関連を調べた。脱線時の速度は1.0m/s、2.0m/sである。車両挙動は高速度カメラを用いて撮影した。

2.2 HOゲージ模型車両

模型車両は市販品の縮尺1/80、1車体・2台車の1車両のHOゲージ車両を用いた。また車体は床部のみとした。車両

長、幅、高さはそれぞれ246mm、33mm、18mmである。

2.3 実験軌道概略

実験軌道の縦断面を図1に示す。軌間は17mm、傾斜自走台部長さ5.0m、傾斜角度5°。平坦部長さは1.2mである。平坦部の脱線後レールは、図2に示す直線および曲線の2種類とした。いずれも走行レールに対して右に3mm食い違っている場合と左に3mm食い違っている場合について実験した。曲線レールの半径は610mmである。

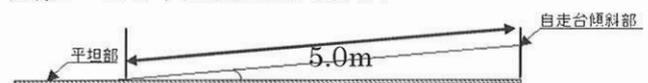


図1 実験軌道

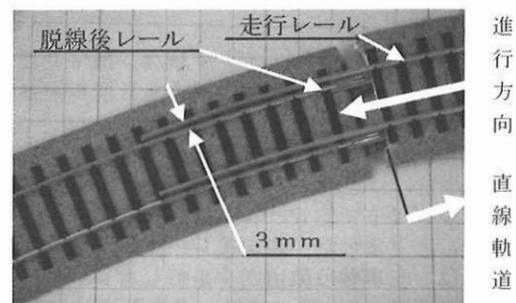
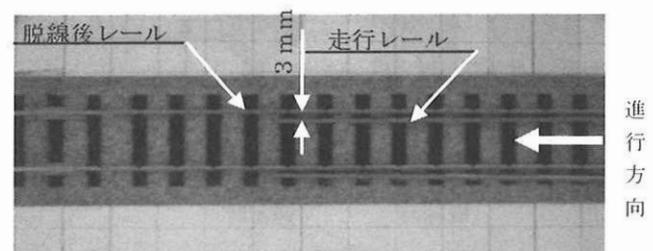


図2 脱線後レール

(上：直線：脱線後レール右の場合、下：左曲線：脱線後レール左の場合)

表 1 L型車両ガイド関連諸元 (単位:mm)

	実車両	H0 ゲージ模型		5 インチゲージ模型	
		理想縮尺値	実際	理想縮尺値	実際
レール高 a	174	2	3	16	18
L型車両ガイド高さ b	150	1.8	2.5	14	25
L型車両ガイド幅 c	170	2	5	15	25
L型車両ガイド左右はなれ量 d	248	3.1	3.5	23	22
L型車両ガイド接触までの横移動量 e	277	3.5	4	25	23
L型車両ガイド落下時のかかり量 f	80	1	1.5	7	10
L型車両ガイド奥行き g	230	2.8	3.5	21	81

2. 4 L型車両ガイド

本実験において、参考としたL型車両ガイドはJR東で新幹線に取り付けられているものである(図3)。表1に実車両の寸法、HOゲージ模型車両、3章で述べる5インチゲージ模型車両それぞれの場合の寸法を示す。各部寸法がどの部分に対応するかを図4に示す。

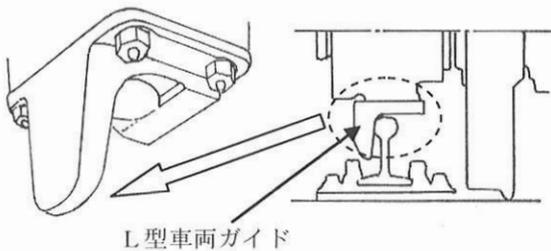


図 3 JR東新幹線で使用されているL型車両ガイド

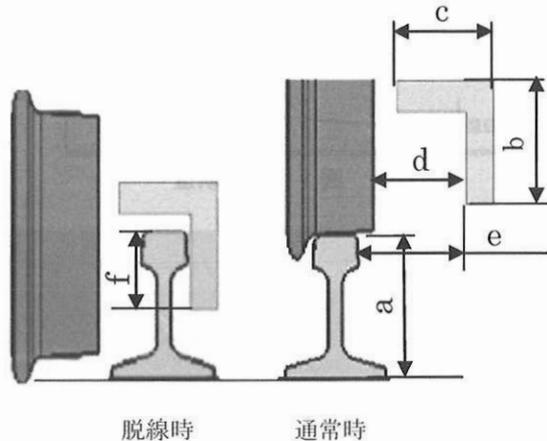


図 4 L型車両ガイド寸法

2. 5 実験結果

脱線後レールが直線の場合には速度 1m/s, 2m/s 共に、脱線後レール右, 左食い違いいずれの場合もL型車両ガイドの効果があり、車両は軌道内にとどまった。

脱線後レールが左曲線の場合で、脱線後レールが右に食い違っている場合には速度が 1m/s, 2m/s いずれの場合も、右車輪と右L型ガイドで右レールをはさみ移動するので、車両は軌道内にとどまった。脱線後レールが左に食い違っている場合には、左車輪は軌道内を走行し右レールにアタック角を持って衝突する。その結果、速度 2m/s と増加した場合には左車輪は右レールを乗り越えてしまう。その際、左L型ガイドは車輪とともに上昇するので抑止効果を発揮

しない。この現象には、右車輪が軌道外へ落下し、車両にロール角が付いていることも寄与していると考えられる。

3. 5インチゲージ模型車両走行実験

3. 1 走行実験概略

図5に示す全長約2.2mの模型車両を約20mの軌道を走らせた後に角折れ軌道部で脱線させ、L型車両ガイドの効果調べた。走行速度は事前の予備走行で、コントローラのダイヤル位置と走行速度の関係を調べ、ダイヤル位置を変化させることで、最大1.5m/sまでの速度で実験した。車両挙動測定には、4階上のベランダからのビデオ撮影、地上車両側面からのビデオ撮影と写真撮影、車体に取り付けた小型カメラでの車輪のビデオ撮影を用いた。また実験後には軌道に残されたフランジ痕の軌跡を記録した。

3. 2 模型車両

模型車両は新幹線車両(中間車両)の縮尺約1/11で、1車体・2台車の1車両とした(図5)。L型車両ガイド、車輪挙動撮影用小型ビデオカメラを取り付けた台車写真を図6に示す。

参考とした車両諸元および縮尺1/11の値、本実験での値との比較を表2に示す。軸ばねはコイルばね、まくらばねは封じ込めの空気ばねとした。車体質量は約36kgであり、台車質量は約13kgである

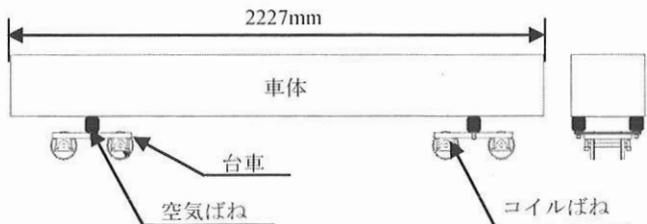


図 5 5インチゲージ模型車両

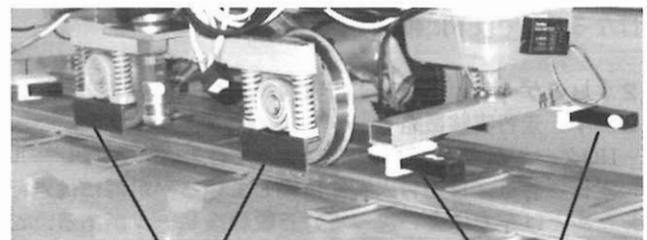


図 6 台車写真

3. 3 駆動方法

運転は無線で地上側からマニュアルで制御した。制御装置、駆動用電池は車体に搭載した。

表 2 車両諸元 (単位:mm)

	実車両	理想縮尺値	模型
車体長	24500	2227	2227
車体幅	3360	305	305
車体高	2600	236	243
左右の空気ばね間距離	2613	238	243
台車中心間距離	17500	1591	1591
台車長	3200	291	330
台車幅	2932	267	280
軸距	2500	227	230
左右の車輪外側面間距離	1610	146	149
左右の車輪内側面間距離	1360	124	117
車輪径	860	78	102
車輪幅	125	11	16
フランジ幅	43	4	4
軌間	1435	130	128

3. 4 実験軌道

実験軌道は走行軌道および試験軌道からなる。実験軌道の構成を図7に示す。走行軌道は等速まで加速する区間で、木板の上に枕木付きレールを固定した。試験軌道は脱線後の車両挙動を観察する際に、できる限り外乱要素を減らすために枕木を無くし、木板にレールを直接締結装置で固定した。また脱線を起こさせるには、今回は車輪とレールのアタック角が大きくなる角折れ軌道を用いた。角折れ軌道は、直進方向に対し15° の場合と30° の場合を実験した。走行軌道および実験軌道の角折れ軌道部の写真を図8に示す。

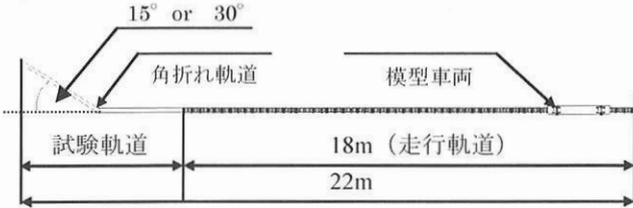


図 7 実験軌道



図 8 実験軌道写真

3. 5 逸脱防止ガイド

HOゲージ模型走行実験と同様に表1に示したL型車両ガイドを参考にした。できるだけ実車両のL型車両ガイド接触までの横移動量e, 落下時のレールとのかかり量fを合わせることに努めたが、結果としてはeはほぼ同じにできたが、fのかかり量は少し大きな値となった。また、L型車両ガイドのレール方向の長さである奥行きgは、取り付けボルト位置などの関係で、かなり長いものとなっている。

3. 6 実験結果

実験風景の写真を図9に示す。角折れ軌道角度15° の場合は脱線時の速度は0.7m/s, 1.4m/sいずれの場合も脱線せず

に走行した。

角度30° の場合は速度0.7m/sの実験を1回, 1.4m/sの実験を3回行ったが、いずれの場合も脱線した。その際に撮影した車両頭上, 車両側面のビデオ映像を図10に示す。

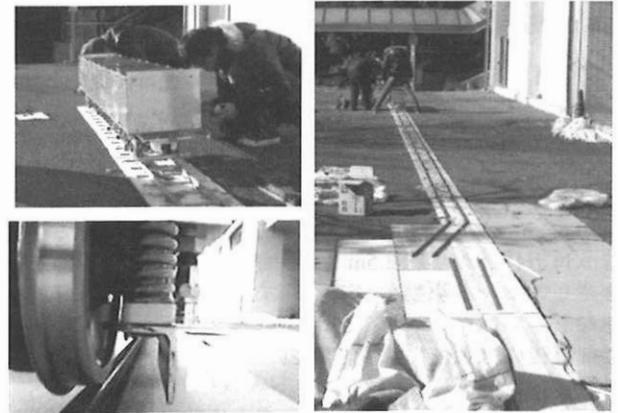
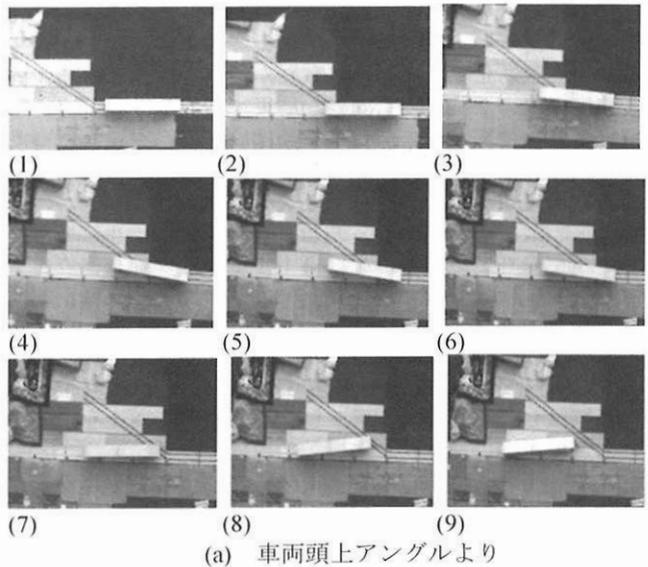
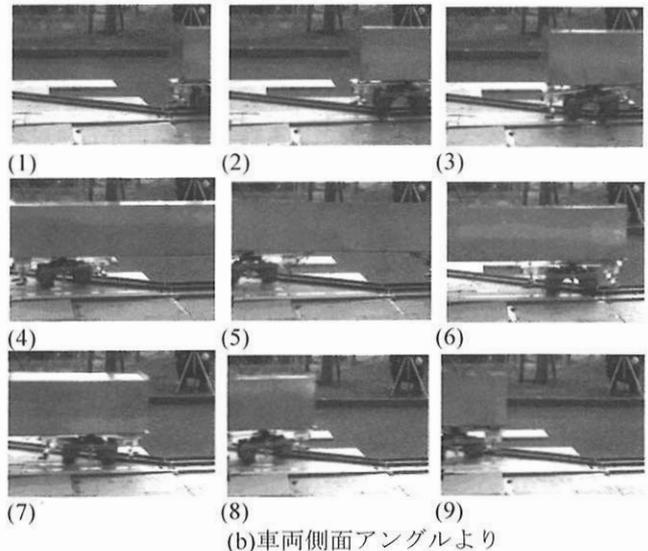


図 9 実験風景

(左上: 車両の試験準備, 右: 角折れ軌道部側からの実験軌道全景, 左下: 走行軌道走行中の車輪)



(a) 車両頭上アングルより



(b) 車両側面アングルより

図 10 角折れ軌道部通過時約2秒間のビデオカメラ映像 (上(a): 車両頭上アングルより, 下(b): 車両側面アングルより, 速度: 1.4m/s)

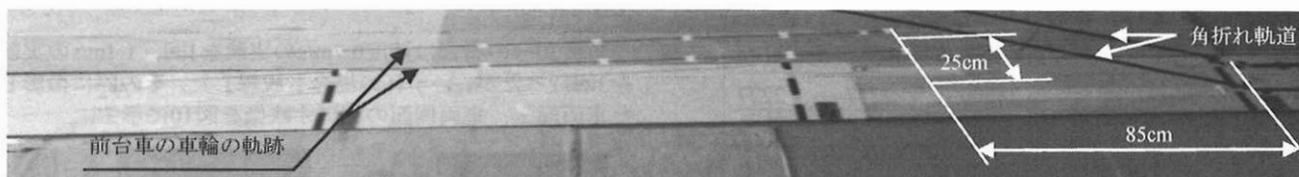


図 11 脱線後の車輪フランジ軌跡の一部 (速度 1.4m/s)

また脱線後の前台車車輪のフランジ軌跡の一部を図 11 に示す。前台車の停止位置から角折れ部方向に直線的に左右車輪フランジの軌跡があった。軌跡の始端は角折れ部から約 85cm、走行軌道中心から約 25cm 右である。軌跡の終端は角折れ部から約 2.5m で、後台車が軌道外に出たことを確認してモータ駆動を OFF にした結果の位置であり、本質的なものではない。その他、左車輪フランジの軌跡が角折れ部直後の軌道左にあり、前述の左軌跡の始端から約 20cm 付近に合流していた。

車体に取り付けた小型カメラでの車輪のビデオ撮影映像は、脱線時の衝撃で像が乱れてしまい、脱線時の車輪、L 型車両ガイド、レール相互の関連がわかる映像は撮ることはできなかった。

(1) 台車の挙動

図 10, 11 から脱線後、脱線した車輪がレールから離れてしまい、あるいはレールを乗り越えてしまい、L 型車両ガイドの逸脱防止効果が発揮されなかったことがわかる。同一速度の他の 2 試番でも同様な結果であった。

得られた情報から、前台車挙動は以下の経過をたどったと考えられる。本実験では、脱線後レールが進行方向に対して右側に角折れしている。

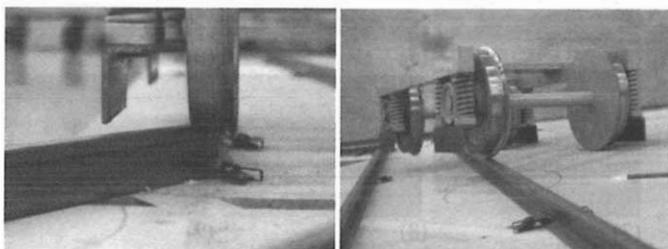
- (a) 前台車 1 軸左車輪は、角折れ部で左側レールに衝突しレールを乗り越え軌道左に落下する。その際左側ガイドはレールに接触しない。1 軸右側ガイドは、左車輪が左レールを乗り越える際に右レール頭頂面に接触するが、レール右側面に接触し車輪をレールに拘束することはなかった。
- (b) 軌道内を進んだ 1 軸右車輪は左側レールとフランジ背面が接触して左レールを乗り越える。左レール上を通過中に右側ガイドは左レールに接触しない。
- (c) 2 軸も 1 軸と同様な動きをして、左右車輪ともに軌道左に落下する。

(2) L 型車両ガイドの効果についての考察

(a) 逸脱防止効果があった場合

前報で述べた³⁾約 1/8 模型車両の、地震を想定しての振動台による定置の正弦波加振実験では、42 回の脱線した実験中、L 型車両ガイドは 41 回で効果を発揮し逸脱を防止した。

今回の HO ゲージ模型車両走行実験では、直線走行後脱線を起こさせるのに食い違いレールを用いたが、脱線後レールが直線の場合には L 型車両ガイドの効果があり、車両は軌道内にとどまった。脱線後レールが左曲線の場合で、脱線後レールが右に食い違っている場合には右車輪と右 L 型



①角折れ部車輪落下時 ②脱線後のレール乗り越え時
図 12 L 型ガイド効果が期待される状況のイメージ写真 (進行前方よりの写真)

ガイドで右レールをはさみ移動するので、車両は軌道内にとどまった。

(b) 逸脱防止効果がなかった場合

今回の HO ゲージ模型車両走行実験では、脱線後レールが左曲線で左に食い違っている場合には、左車輪は軌道内を走行し右レールにアタック角を持って衝突する。その結果、速度が高い場合には左車輪は右レールを乗り越えてしまう。その際、左 L 型ガイドは車輪とともに上昇するので抑止効果を発揮しない。

5 インチゲージ模型車両走行実験では、角折れ角度 30 度で脱線した場合に、L 型車両ガイドが効果を発揮することが期待されるのは、以下の 2 ケースである。

- ①角折れ方向の車輪のレールからの逸脱防止 (今回の実験では右車輪の右レールからの逸脱防止)。
- ②軌道内に脱線した車輪が反対レールを乗り越えることの防止 (今回の実験では右車輪の左レール乗り越え防止)。

①の場合、再現イメージ図 12(a) に示すように、車輪がレールに対してアタック角がある状態で落下する場合には、L 型車両ガイド・車輪間にレールを挟み込む状況にならず効果を発揮しない場合がある。②の場合は、車輪がレールへのアタック角を持った状態でレールに乗り上がるという前述 HO ゲージの場合と同じ状況となり、同図(b)のように、車輪の上昇と共に L 型車両ガイドも上昇し、車輪落下時に①と同様 L 型車両ガイド・車輪間にレールを挟み込む状況にならず効果を発揮しない場合がある。

4. まとめ

L 型車両ガイドの有効性、限界を検討するために、HO 模型による走行実験、5 インチゲージ模型車両による走行実験を行った。その結果、車輪がレールとほぼ平行な場合には L 型車両ガイドは有効に作用した。しかし、車輪がレールに対して角度がある状態で脱線、落下する場合には、L 型車両ガイド・車輪間にレールを挟み込む状況にならず効果を発揮しない場合がある。

5. 今後の課題

今後は軌道条件、脱線形態、逸脱防止装置形状などの組み合わせに対する逸脱防止対策効果の評価を深度化して、より安全性を増す対策の組み合わせなどの検討が必要と感ずる。検討には計算機シミュレーションも有効な手段と考える。

参考文献

- 1) 宮本昌幸: 列車形態と脱線時安全性の関連に関する研究, 研友社 Annual Report, No. 4, 2003. 5 と No. 5, 2004. 5
- 2) 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
- 3) 関口勇太, 宮本昌幸: 鉄道車両の地震に対する走行安全性向上策の検討, J-RAIL'09.2009.12, p519
- 4) JR 東日本: 安全報告書 2010
- 5) JR 東海: 新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策 (脱線・逸脱防止対策 (1) - (4)), JREA, 2010, No. 1-4