

## 5 事故防止対策

### 5.1 脱線に対する安全対策の検討

#### 5.1.1 乗り上がり脱線に対する余裕度の考え方

今回の脱線に対する調査の結果を踏まえ、同種事故の再発防止対策を策定するためには、脱線の発生に影響を及ぼしたと考えられる各因子について、実現可能性を考慮しながら、脱線に対する余裕を確保する方法を検討することが必要である。また、その対策の効果を分析するためには、対策の前後における脱線に対する余裕度を推定することが必要である。

このような観点から検討を進めた結果、今回、乗り上がり脱線に対する余裕に関する新たな評価指標として、「3.8.2 輪重横圧推定式の概要及び解析結果」において述べた推定脱線係数比を用いることとした。

推定脱線係数比は次式により求められ、この値が1以上であれば、脱線に対し一定水準の余裕が確保されていると考えられる。

$$\text{推定脱線係数比} = \frac{\text{限界脱線係数}}{\text{輪重横圧推定式に基づく脱線係数(推定脱線係数)}}$$

乗り上がり脱線に対する余裕は、車両や軌道の条件によって異なるが、この手法によれば、車両の諸元（軸ばね定数、枕ばね定数、フランジ角度等）や軌道の条件（軌間、曲線部のカント量等）に応じて、脱線に対する余裕度を推定することが可能となる。

なお、乗り上がり脱線の発生のプロセスを分析すると、大きく2つの段階に分けることができる。

急曲線を走行中に外軌側車輪の踏面がレール頭頂面から浮き上がり、フランジの傾斜部分でフランジ角度によりレールと接触する。

さらにフランジとレールの接触点が徐々にフランジ先端部に向けて移動し、最終的にレール上に乗り上がり、脱輪する。

今回の調査において主に問題としてきたのは の段階であり、ここで述べた限界脱線係数についても を想定している。実際には、 の段階にも相応の余裕があり、推定脱線係数比が1を下回ったからといって、直ちに脱線が発生するものではない。

の余裕については、現時点においては、様々な研究の結果においても未解明な部分が多く、定量的な検討を行うことは難しい。このため、今後に向けて、今回行ったような に関わる余裕の評価法をさらに発展させると同時に、 についても具体的な研究に取り組むことが必要であり、それらを総合して、脱線に対する新たな安全性評価指標を確立することは、取り組むべき重要な研究テーマであると考えられる。

## 5.1.2 具体的な安全対策の提言

今回の事故調査を通じて得られた脱線の発生要因に関する様々な検討結果から、今回の事例のような急曲線における低速域での乗り上がり脱線による事故の再発防止を図るためには、以下に掲げる具体的な対策に取り組むことが効果的であると考えられる。このため、これらの対策の確実な実現に向けた施策が採られることが必要である。

### (1) 静止輪重の管理

今回の調査検討の結果から、車両の静止輪重のアンバランスが乗り上がり脱線の発生に大きな影響を与えることが明らかとなった。

現在、静止輪重の管理は、ごく限られた鉄道事業者において、独自の社内規則に基づき行われているものの、ほとんどの鉄道事業者においては、静止輪重を直接測定し、調整を行う方法による管理は行われていない。

このため、脱線に対する安全性を向上させるためには、静止輪重の管理を行い、アンバランスを改善することが必要であると考えられる。また、全国の鉄道事業者から抽出して行った静止輪重の実態調査の結果や、すでに静止輪重の管理を実施している鉄道事業者の実績等を勘案すると、静止輪重を管理する上での努力目標値は10%とすることが適当であると考えられる。

鉄道事業者によっては、現在、空気ばね高さや軸箱・台車間の寸法管理により間接的に静止輪重の管理を行っているところもあるが、この方法による管理の精度は必ずしも十分とは言えないものと考えられ、静止輪重の管理は、実測により行うことが必要であると考えられる。

また、車両の製造時において、静止輪重のアンバランスを無くしておくことは、脱線に対する安全性を高めるのみならず、使用過程時における輪重管理を容易にすることにもつながる。このため、鉄道車両メーカーは、鉄道事業者との協力の下、車両の設計にあたっては、供用後も静止輪重のバランスの変動が生じにくく、また、仮に変動した場合にも輪重の調整が容易となるよう配慮するとともに、製造時には、使用過程における静止輪重の変動の幅を考慮した上で、輪重の管理を徹底することが必要である。

なお、静止輪重の管理は、これまでほとんど行われた実績がないことに鑑みれば、測定・管理の手法が十分確立されている状況にあるとは言い難い。このため、本対策が採られた後においても、各社における静止輪重管理の実施状況や達成実績等の分析を行い、継続的に研究に取り組むことが必要である。

また、この検討結果は、貨物鉄道についても基本的には当てはまるが、貨物鉄道は、旅客鉄道に比べ特殊な構造の台車が多いことや積み荷のバランスについて考慮する必要があること等の特殊性を有しており、対策の実施を図るためには、これらの特殊性を踏まえた検討が必要である。

## (2) 軌道の平面性等の管理

今回の調査検討の結果から、軌道の平面性狂いが大きい場合は、脱線の発生に対して大きな影響を与えることが明らかとなった。

現在、鉄道事業者によっては、軌道の軌間、水準、通り及び高低は管理しているものの、平面性については軌道保守の管理項目に含めていないところがあるが、今後はそのような鉄道事業者においても、脱線に対する余裕を確保する観点から、平面性の管理を行うことが必要であると考えられる。

平面性の管理を行っている鉄道事業者では、概ね表 5.1-1 のような管理基準値を設けている。管理基準値は、対象とする線区を走行する車両の特性を考慮して決められてきた経緯があり、例えば、旧国鉄・JR 在来線では、二軸ボギー車に比べて軌道面のねじれに対する追従性が劣るとされた二軸貨車（軸距 4.6m）を基本として、5m の基準長が採用された。また、平面性の測定方法についても、軌道検測車を用いているところや、手動の検測装置を用いているところなど、鉄道事業者により異なっており、このため、用いられている管理基準値も一律とはなっていない。

このようなことから、今後新たに平面性の管理を行う鉄道事業者は、表 5.1-1 に示した管理基準値を参考とし、使用している車両の特性や測定装置の確保の容易さ等、各社の実状を勘案して管理基準値を定めることが適当であると考えられる。

なお、急曲線部における効果的な軌道狂いの管理手法のあり方については、今後さらに検討を継続する必要がある。

表 5.1-1 平面性狂いの管理基準値の現状  
(緩和曲線部における構造的な軌道面のねじれを含む)

基準長	動的平面性狂い	静的平面性狂い	備考
5.0m	23mm	18mm	JR 系
2.5m	18mm (注)	14mm	公営地下鉄
2.0m	15mm (注)	12mm	大手民鉄の一部

注) 5m 基準長の管理基準値に基づき換算したもの。実際には規定されていない。

## (3) レール研削における断面形状

今回の調査検討の結果から、脱線した箇所を外軌の断面形状は、レールの研削により、乗り上がり脱線に対する車輪上昇量の余裕に影響を与える結果となっていたと考えられる。また、この外軌の断面形状が、外軌側車輪の横圧の増大にも影響を与えた可能性が考えられる。

レールの断面形状が脱線の発生に与える影響を極力少なくするためには、急曲線部において外軌の研削を行う際に、今回の事例に見られるような、レールのゲージコーナー部の上側を斜めに研削することは避け、可能な限り新品のレールの断面形状に近づくよう、研削断面

形状の設計を行うことが必要である。

なお、研削によるレールの延命効果等を考慮しつつ、脱線の発生に対して影響を及ぼさない、新たな断面形状や研削方法については、引き続き取り組むべき重要な研究テーマであると考えられる。

#### (4) 車輪のフランジ角度の変更

車輪のフランジ角度約 60 度を 65 度～70 度に変更することは、脱線に対する限界を高めることにつながる。これまで述べてきた他の対策は、保守管理等を通じて、元々あるべき脱線に対する余裕を極力損ねないようにすることを目的としているが、本対策は、現在、フランジ角度が約 60 度である鉄道にとっては、新たに大きな余裕を獲得することができる極めて効果的な対策である。また、現在においても、日比谷線に乗り入れを行っている A 社では、フランジ角度 70 度の円錐踏面の車輪を採用しており、JR においても、フランジ角度が 65 度の修正円弧踏面の車輪の採用を進めているなど、多くの実績がある。

フランジ角度の変更にあたっては、以下に述べるような諸点を確認することが必要であり、対応の可否については、各鉄道事業者における検討が必要であるが、得られる効果の大きさに鑑み、各社の積極的な取り組みを強く推奨する。

#### 【フランジ角度の変更に伴い確認すべき事項】

フランジ角度約 60 度の車両で運用している線路に、新たにフランジ角度の異なる車両を入線させる場合

入線試験により車輪とレールとの接触状態を確認することが有効であるが、入線試験のみでは、様々な線路・車両の状態に応じた接触状態をすべて確認することは困難であるため、一定の入線試験の他に以下の確認を行うことが必要である。

- 新たなフランジ角度の車輪のフランジ先端部が、新品の分岐器又は伸縮継目のトングレーール及び継目板に接触せず、かつ、この車輪が分岐器等を円滑に通過できることを図面上で確認する。
- 実際の軌道において、上記の点について実地に確認する（レールの摩耗が進んでいる部分に車輪ゲージを当て、確認する方法が考えられる）。

フランジ角度を変更した車両の使用過程

- 車両については、車輪（特にフランジ部分）の摩耗限度を、レールとの関係を考慮して、脱線のおそれがないよう適切に設定し、この限度を超えないように車輪の転削を実施する。
- 軌道については、車輪が摩耗限度に至ったことを想定し、フランジ先端部が分岐器又は伸縮継目のトングレーール及び継目板に接触しないように管理する（摩耗限度に至った状態を模した車輪ゲージを該当部分に当て、確認する方法が考えられる）。

## (5) 脱線防止ガードの設置基準

(1)～(4)の各対策は、これらを講じることにより、脱線に対する余裕度の向上を図ることが可能であるが、この余裕度の大きさは、走行する車両や軌道の条件により様々であると考えられる。

このため、脱線防止ガードの設置の必要性を判断するためには、各線区の曲線ごとに脱線に対する余裕度を推定し、その結果に基づき、余裕が少ないと考えられる箇所を対象に設置を進めることが適当である。

脱線防止ガードについては、今回の事故に対する緊急措置として、半径 200m 以下の曲線に設置することとされたが、このような基本的な考え方に基づき、さらに追加すべき脱線防止ガードについて、以下の設置基準を策定した。

### 【脱線防止ガードの設置基準】

1. 脱線防止ガードは、推定脱線係数比の算定結果が 1.2 を下回る曲線に設置する。なお、円曲線中では推定脱線係数比が 1.2 以上であり、曲線出口側の緩和曲線中に限り 1.2 を下回る曲線については、当該緩和曲線部のみに脱線防止ガードを設置することで差し支えないものとする。

推定脱線係数比の算定結果による脱線防止ガードの設置の必要性の判断は、以下の考えに基づいている。

#### ( 推定脱線係数比 )

1.0 未満	低速域における脱線に対する余裕度が小さいことから、脱線防止ガードの設置が必要と考えられる領域
1.0 以上 1.2 未満	低速域における脱線に対する余裕度は大きいですが、諸条件の不確実性を見込んで、脱線防止ガードを設置する領域
1.2 以上	低速域における脱線に対する余裕度が十分大きいことから、脱線防止ガードの設置が必ずしも必要ではないと考えられる領域

2. 推定脱線係数比は、低速域での走行を想定し、走行速度 10km/h での算定結果を用いる。また、内軌側車輪の横圧輪重比は 0.55 のモデルを適用する。なお、同一線区を異なる諸元の車両が走行する場合には、各車両について推定脱線係数比の算定を行い、最も低い算定結果を用いる。

3. 推定脱線係数比の算定式は、今回の検討結果をもとに、様々な車両・軌道への適用性に配慮して定式化したものであり、一般の場合に適用できると考えているが、台車が特定の構造（操舵台車、揺れまくらつり方式の台車等）であるなどの事情によっては、推定脱線係数の計算結果が若干大きくなる可能性が考えられる。このため、鉄道事業者において、推定脱線係数の計算結果が実状と合致しないと判断される場合には、脱線係数の実測結果等に基づき、脱線防止ガードの設置に関する別途の対応策を検討することが

できるものとし、この場合、運輸省は、その対応策の妥当性について確認を行うものとする。

### 5.1.3 今後の輪重・横圧測定試験のあり方

これまで鉄道事業者においては、新形式車両の導入、新線開業、スピードアップ等に際して、輪重・横圧測定試験を実施し、安全性の確認を行ってきている。これらの試験においては、予定している運転速度を前提に、先頭車両第1軸を中心に測定が行われている。

しかし、事故後に行った現地走行試験等の結果、既に述べたように、急曲線に続く緩和曲線部を低速で走行した場合に、軸重が小さい軸において高い脱線係数が観測されることが明らかとなった。このため、今後、輪重・横圧測定試験を実施する場合には、このことも考慮して、試験の具体的実施方法を検討する必要があると考えられる。

脱線係数の測定値を評価する際は、今後も評価の簡便さに照らし、従来からの目安値である0.8(フランジ角度が約60度の場合)や1.1(同70度の場合)を用いることが適当と考えられる。しかしながら、測定結果がこれらの値を上回り、より精緻な評価方法が必要とされる場合もあるものと考えられ、その場合の評価方法については、「5.2.2(6) 乗り上がり脱線に対する新たな安全評価手法の確立」で述べる新たな安全評価指標が確立されるまでの間は、限界脱線係数(推定脱線係数比における限界脱線係数の算定方法により求めたもの)と測定された脱線係数との比(限界脱線係数を測定された脱線係数で除した値)を求め、1.2を目安値として評価することが適当である。

### 5.1.4 当該箇所における徐行解除の考え方

事故調査検討会は、第1回検討会(3月8日開催)において、脱線が発生した箇所における運行速度を15km/h以下とすることを営団に対する緊急措置の一つとして決定し、現在もこの措置は継続されている。

当該箇所における安全対策については、事故発生後直ちに脱線防止ガードの設置が行われ、またその後も、営団は、車両の静止輪重の管理や車輪のフランジ角度の変更(現在、順次変更を進めている)など一定の対策に取り組んでいる。これらの一般的な対策により、脱線に対する余裕度は確保されるものと考えられるが、当該箇所の線路については、現に脱線が発生していることに鑑みれば、これらに加えて他の安全向上策にも極力取り組むべきであると考えられる。

徐行の解除を行うにあたっては、これら一連の安全対策が完了した段階で、試験車両により車上側から脱線係数の測定を行うとともに、営業列車についても地上側より脱線係数の測定を行い、対策の効果を確認することが適当であると考えられる。