

論文の内容の要旨

論文題目 鉄道車両の乗り上がり脱線に対する安全性の実用的評価手法とその応用

氏 名 高井 秀之

1. 背景

交通機関としての鉄道の特徴は「安全・大量・高速・正確」であり、これらの中で大量・高速・正確の優先順位は路線毎の使命や性格により異なるが、安全は常に最優先とされてきた。しかし、鉄道関係者の努力にもかかわらず各種の事故の発生は避けがたく、鉄道の安全関係技術開発は事故発生を契機とする原因調査と再発防止対策の繰り返しであった。

1963年11月に発生した東海道本線鶴見事故後に設置された「東海道本線鶴見列車事故技術調査委員会」と、それに続く「脱線事故技術調査委員会」によって現車試験を含む種々の検討がなされた結果、車両・軌道両面からの競合脱線防止対策が確立され、直ちに実施された。これらの対策が功を奏し、競合脱線は激減した。

1987年の国鉄のJR移行頃から、側線用分岐器を分岐側から通過する際の乗り上がり脱線が頻発した。共通する特徴は、乗り上がり位置はトングレーール通過後50～100cm、新形式の通勤車両が多い、車輪転削直後が多いなどであった。

1997年には、当時の鉄道に関する技術基準であった「普通鉄道構造規則」及び「新幹線鉄道構造規則」における曲線部の線形諸元に関する考え方を体系的に整理するため、鉄道総合技術研究所を事務局とする「曲線部の線形諸元に関する検討委員会」が設置された。

この委員会での検討が終盤に差し掛かっていた2000年3月に、帝都高速度交通営団（現在の東京地下鉄）の日比谷線中目黒駅構内で列車脱線衝突事故が発生した。この事故を受けて当時の運輸省に「事故調査検討会」が設置され、詳細な調査や脱線箇所での走行試験の結果を踏まえて、同年10月に報告書が公表された。その中で、車両の静止輪重管理や軌道の平面性管理などの5項目の緊急脱線防止対策が示され、直ちに運輸省から全鉄道事業者に指導された。

一方、曲線諸元委員会では、日比谷線事故の発生状況を踏まえて、急曲線・低速時の乗り上がり脱線のメカニズムの解明と曲線線形諸元の整理がされ、2002年3月に報告書が取りまとめられた。その内容は、技術基準の性能規定化に伴って2002年3月に施行された「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」に取り込まれた。

2. 目的

脱線は様々な原因によって発生するが、その中でも急曲線・低速走行時の乗り上がり脱線は、車両あるいは軌道の損傷や保守不良、あるいは乗務員や指令員の取扱誤りではなく、車輪／レールを用いる鉄道システムの存立原理に関わるものである。すなわち、車輪フランジとレールとの幾何学的な接触状態に基づくガイド機能と、鉄道の駆動力の根源である車輪／レール間の摩擦力とのバランスが一定の範囲から外れた場合に発生する現象である。

本研究の目的は、これまでに発生した脱線事故の原因調査の及び理論的分析により、急曲線・低速走行時の乗り上がり脱線に対する安全性の実用的評価手法を提案するとともに、走行安全性から見た緩和曲線部のカントてい減倍率の要件について明らかにすることである。

3. 内容

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、本研究に取り組んだ動機、既往の研究、本研究の構成について示すとともに、本研究で使用する用語の定義および説明を示した。

第2章では、最初に鉄道車両の脱線形態として軌間内脱線、滑り上がり脱線、跳び上がり脱線、乗り上がり脱線の4種類があることを述べ、その中から乗り上がり脱線の代表的な例として競合脱線、側線用分岐器脱線、急曲線乗り上がり脱線を取り上げて、それぞれの脱線の特徴、原因及び脱線防止対策について考察した。

競合脱線は、旧国鉄において1952～78年に124件発生した。1963年の東海道本線鶴見事故を契機とする調査委員会によって事故原因が分析され、競合脱線防止対策が確立されたことにより競合脱線は激減した。

側線用分岐器は、旧国鉄において駅構内や車両基地で使用することを目的として設計された簡易型の分岐器である。国鉄のJR移行頃から、この分岐器を分岐側から通過する際の脱線事故が頻発した。脱線の原因は側線用分岐器の持つ構造的な軌道変位と、新型式車両の軌道平面性への追従性の低下と推定された。この形態の脱線は、分岐器トングレール先端への脱線防止ガードの設置により終息した。

急曲線乗り上がり脱線の代表例は、2000年3月に発生した営団地下鉄日比谷線脱線事故である。この脱線は、出口側緩和曲線の軌道の構造的平面性と車両走行特性との不整合に起因するもので、この形式の脱線の要因分析と脱線防止対策が本論文の中心課題である。

第3章では、輪重推定式、横圧推定式及び限界脱線係数算定式を構成し、急曲線における乗り

上がり脱線に関する総合安全性指標として推定脱線係数比を導出した過程を記した。

輪重推定式では、遠心力、軌道面のねじれ及び空気ばねのねじれを考慮した。

横圧推定式では、内軌側の車輪とレールとの摩擦により発生する横圧を、内軌側輪重横圧比を時刻歴シミュレーション及び実測データに基づいて車輪踏面形状別に設定した。また、遠心力・空気ばねのねじれによる横圧、軌道狂い及び継目衝撃による横圧を定量的に求める式を示した。

限界脱線係数は、従来から用いられているナダルの式を用いて、等価摩擦係数及びアタック角の設定方法を示した。

これらを統合して、推定脱線係数と限界脱線係数の比である推定脱線係数比を乗り上がり脱線に関する総合的かつ実用的な安全性の評価手法とすることを提案した。さらに、車両・軌道の各種パラメータを変更して、推定脱線係数比に対する影響度の試算例を示した。

第4章では、急曲線乗り上がり脱線との関連が深い緩和曲線のカントてい減倍率について、車両走行レーション、軌道の実測データ及び輪重横圧推定式により緩和曲線を通過中の車両走行特性を確認した。さらに、推定脱線係数比算定式により、乗り上がり脱線防止のために緩和曲線部のカントてい減倍率に求められる要件について示した。

また、推定脱線係数算定式が一定となる曲線半径とカントてい減倍率の組み合わせを示し、乗り上がり脱線に対して一定の安全性の余裕を得るためには、従来行われている設定カントに一定の倍率をかける緩和曲線長の算定方法では不十分であることを示した。

第5章では、本研究の実務への適用の例として、営団地下鉄日比谷線事故以降に導入された脱線防止対策を示した。

また、乗り上がり脱線の防止のために考慮すべき車両諸元の選定に関する検討事項として、軌道の軸重制限、軌道狂い進み限度、風による転ぶく限界及び軸ばねたわみ限度を考慮した車両設計上の「ねらい値」の考え方を示した。

実施された脱線防止対策の効果を検証するために、1987年の国鉄からJR移行後の筆者が関与した脱線事故の分析、2001年以降に運輸安全委員会が調査した脱線事故について分析した結果、近年は明らかな軌道保守不良などを除いて、本論文が対象とする急曲線・乗り上がり脱線については発生が十分に抑制されていることを確認した。

脱線事故防止対策の実線区での適用状況の例として、大都市通勤線区の2線区における曲線半径、設定カント、カントてい減倍率及び推定脱線係数比を示した。ほとんどの曲線は推定脱線係数比1.2以上で、少数の1.2未満の曲線は脱線防止ガードが敷設済みであった。これらの曲線について曲線半径と推定脱線係数比の関係をみると高い正の相関があり、乗り上がり脱線に対する安全性を高めるためには曲線半径を大きくすることが極めて重要であることを示した。

第6章では、各章をまとめて本研究の結論を示した。

この種の脱線に対する安全性をさらに高めるためには、今後の課題として以下の点について明らかにするために研究を継続する必要がある。

一つは、推定脱線係数比算定式の中で最も感度が高く、かつ定量的な評価が困難なパラメータ

である車輪／レール間の摩擦係数の推定精度を向上することである。この数値は、晴雨、湿度、摩耗形状、車輪転削、レール削正などの環境の変化によって大きく変動する。これらの中で影響度の大きい要因を特定し、摩擦係数の推定精度を向上することが望まれる。

もう一つは、車両・軌道の設計・保守に関する技術基準の整備である。走行安全性の確保が不確実な領域では、脱線防止ガードを敷設することを前提とすれば、実用上はほぼ確実に乗り上がり脱線を防止できる水準に達していると考ええる。このような知見を実際に脱線事故防止につなげるためには、何らかの形で公表された技術基準として整備し、技術者の共通認識とすることが必要である。

以上のように、本研究は鉄道車両が急曲線を低速で通過する際の乗り上がり脱線に対して、推定脱線係数と限界脱線係数との比である推定脱線係数比により一定の安全性評価を可能とし、また、この種の脱線との関連が深い緩和曲線のカントでい減倍率に求められる要件を明らかにしたものである。