審査の結果の要旨

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

本研究は、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に発生した列車脱線衝突事故を踏まえて、同種の事故を未然に防止するのに必要な線路管理手法を確立するため、車両、線路、運転の状態を所与としたときの脱線発生の安全性を評価する方法論を理論的かつ実証的に開発したものである。

脱線は様々な原因によって発生するが、その中でもこの事故を特徴つける急曲線・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。特に本研究では、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逓減倍率の要件について明らかにしたものである。

本研究の内容を概説すると、以下のとおりである。

第１章の序論では、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ている。

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ている。急曲線乗り上がり脱線はの代表例は、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が、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となっている。

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ている。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、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ている。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ている。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ている。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、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ている。

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逓減倍率について、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、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逓減倍率に求められる要件について示している。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逓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ている。

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、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、風による転覆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」の考え方を示している。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移行後の論文提出者が参加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ている。また、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、カント逓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見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ている。

第６章では、各章をまとめて本研究の結論を示すとともに、今後の研究課題を整理している。

以上、述べてきたように、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、この種の脱線との関連が深い緩和曲線のカント逓減倍率に求められる要件を明らかにすることを通じて、主として線路管理面を中心に実際の鉄道走行の安全性確保に極めて大きな貢献をしたものとみなすことが出来る。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。