

## 審査の結果の要旨

### 論文題目

信頼性理論を用いた横風に対する鉄道車両の耐風性能評価に関する研究  
(Assessment of crosswind resistant performance of train cars using reliability theory)

氏名 南雲 洋介

横風による車両の転覆防止や転覆時の被害軽減を目的として、強風時には速度規制や運転中止といった運転規制が行われる。運転規制の風速基準値を低くすれば、列車運行の安全性を高めることができるが、運転規制の頻度が高くなり、輸送サービスの安定性が低下する。そのため、強風時の運転規制では、必要な安全性を確保しつつ運転規制時間を極力短くするために、風速基準値を合理的に定めることが重要である。

運転規制の風速基準値の設定においては、車両の転覆に対する耐力が車両にはたらく外力である空気力、超過遠心力、左右振動慣性力を上回る状態を担保する必要がある。空気力の推定にあたり、特に重要なのが空気力係数と風速の評価である。現状では、空気力係数を導出するための気流条件は統一されておらず、日本では自然風を模擬した乱流、欧州では一様流を用いている。しかし、車両まわりの気流特性は走行速度に応じて時々刻々と変化しているため、実車両にはたらく空気力を精度よく推定するためには、走行速度に応じた空気力係数の評価が必要である。また風速については、鉄道沿線の風速計で観測された瞬間風速を用いて車両にはたらく瞬間空気力を推定する必要がある。しかし、鉄道車両における瞬間風速と瞬間空気力の関係は、これまでに実測により検証されておらず、瞬間空気力と瞬間風速の関係を明らかにする必要がある。さらに、運転規制における耐力と外力は、風下側の車輪/レール接触点まわりのローリングモーメントのつり合いにより評価されるが、既往手法では耐力と外力が確定値として取り扱われており、安全率には経験的に定めた値が採用されている。しかし、実際の車両に作用する力は不確かさを有するため、不確かさを考慮して外力が耐力を上回る破壊確率を導出し、それに基づき安全率を適切に設定する必要がある。

そこで、本研究では、まず走行中の鉄道車両の空気力係数を評価する新しい手法を提案し、一様流中の空気力係数から乱流中の空気力係数を推定することを可能にする。次に、瞬間空気力を精度よく評価可能な瞬間風速の平均化時間を提案するとともに、瞬間空気力および車両に作用する各種力の確率分布を求める。最後に、信頼性理論を用いて耐力と外力の不確かさを考慮した横風に対する鉄道車両の耐風性能評価を行うと共に、軌道条件や走行速度によらず一定の安全性指標が得られる評価式を提案する。

第1章では、本研究の背景と目的について述べると共に、現行の運転規制手法および既

往研究における問題点を整理し、本研究で解決すべき課題を設定した。

第2章では、まず一様流中および乱流中で風洞実験を実施し、風洞内の気流、車両の空気力係数および車体まわりの風圧を測定した。次に、一様流中の横力係数から乱流中のそれを予測するモデルを構築するために、気流の違いによる背面圧の変化を考慮した新しいモデルを提案し、乱流中の横力係数を精度よく予測することを可能にした。最後に、提案モデルを用いて走行車両にはたらく横力の予測を行い、車両の転覆限界風速を評価した。その結果、日本の在来線の速度域（0～120km/h）においては、一様流中の横力係数では転覆限界風速を過小評価（安全側の評価）、乱流中の横力係数では転覆限界風速を過大評価（危険側の評価）することを明らかにした。

第3章では、まず実物大車両模型を用いた空気力・風向風速の測定データを用いて、瞬間空気力と瞬間風速の関係を調べ、気象学や風工学の分野で一般的に用いた3秒平均を採用した場合に、実測空気力と推定空気力の平均値が一致し、空気力推定値の不確かさは10%程度であることを明らかにした。また空気力以外の車両の転覆に関わる重力、超過遠心力および左右振動慣性力の不確かさについては、実測データに基づき、それぞれの不確かさを平均値と標準偏差として定量化した。重力については、実車両の検査データをもとに静止輪重のアンバランスを考慮した。超過遠心力については、実軌道の検査データをもとにカントの設定値と実測値との誤差を考慮した。左右振動慣性力については、実車両の走行試験データをもとに左右振動加速度の標準偏差を走行速度の関数として定式化した。

第4章では、まず第3章で定量化したそれぞれの力の不確かさに基づき、既往の転覆限界風速の評価式に基づく運転規制の安全性指標を評価し、既往の運転規制では軌道条件や走行速度により安全性指標が変動することを明らかにした。次に、許容安全性指標を設定してコードキャリブレーションを行い、部分係数を用いた転覆限界風速の評価式を提案した。提案評価式に基づく運転規制の安全性を評価した結果、軌道条件や走行速度によらずに一定の安全性指標が得られることを示した。最後に、提案評価式に基づく運転規制の1年あたりの安全性指標を評価し、走行速度の頻度分布、風向角の頻度分布、運転規制区間内の安全性指標の変動および運転規制への遭遇頻度を考慮することにより、複数路線で1年あたりの安全性指標の値はいずれの路線でも5以上の値となることを明らかにした。

第5章では、第2章から第4章で得られた研究成果をまとめ、本研究の有用性を示すとともに、本研究の結論を述べている。

以上のように、本研究から得られた成果は、横風に対する鉄道車両の耐風性能評価の理論基盤を与え、鉄道の輸送障害の低減および輸送サービスの安定性の向上に貢献するものである。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。