

論文の内容の要旨

論文題目

風観測と数値解析を融合した鉄道運行管理のための強風予測
(Strong wind prediction for railway operation
based on onsite measurement and numerical simulation)

氏名 三須 弥生

鉄道における自然災害に起因する輸送障害のうち、約三割は強風による運転規制が原因である。その軽減のためには、強風発生頻度の予測および車両の転覆耐力に基づく強風対策の定量的評価が必要である。また、強風時の輸送混乱を避けるためには、運転規制の発令と解除の時刻を事前に提示可能とする数時間先の最大瞬間風速の予報が望まれる。

強風発生頻度の予測手法として、欧州では運転規制区間を幾つかのサブ区間に分割し、各サブ区間の強風発生頻度を観測風速と数値解析により求める手法が提案されている。この手法ではサブ区間相互の風の相関を無視しているため、局所地形の影響を受ける場所では予測精度の低下が懸念される。一方車両の転覆耐力評価において、欧州では高速鉄道を対象として一様流で得られた空気力係数を用いるのに対し、日本では在来線を対象とする必要があるため、低速走行から高速走行にまで適用できる空気力係数が必要である。最大瞬間風速の予測手法として、日本および欧州では数分先予測手法が提案され運転規制に使用されているが、数時間先予報へ適用した場合、予報精度が著しく悪くなるという問題がある。

そこで本研究では、まず、サブ区間相互の風の相関を考慮した強風発生頻度予測手法を提案し、風観測データにより予測精度を検証するとともに、サブ区間長に依存しない強風発生頻度の推定手法を提案する。次に、一様流と乱流を用いた風洞試験を実施し、車両の転覆耐力に対する気流の影響を明らかにするとともに、列車速度を考慮した空気力係数の推定手法を提案し、強風発生頻度と車両の転覆耐力を考慮した強風対策評価手法を確立する。最後に、風観測と気象予報を組み合わせた数時間先の最大瞬間風速予測手法を提案し、実測および既往システムと比較することにより、最大瞬間風速の予報精度を確認する。

第一章では、本研究の背景として、これまでに発生した強風による鉄道車両の転覆事故とその対策として見直しがなされた運転規制手法や風観測手法について述べると共に、その見直しによる輸送状況とその問題点について述べている。

第二章では、鉄道沿線の強風発生頻度予測手法、車両の転覆耐力評価手法およびそれらを組み合わせた強風対策の評価手法、ならびに鉄道および風力発電における風速予測手法について既往研究のレビューを行い、これまでの知見と問題点を明らかにすると共に、前章の研究の背景を踏まえた本研究の目的を述べている。

第三章では、サブ区間相互の風の相関を考慮した強風発生頻度予測手法を提案し、風観測と数値流体解析による最大瞬間風速予測手法を組み合わせることにより、運転規制区間内の強風発生頻度を予測できる手法を確立した。局所地形の影響を受ける運転規制区間での風観測データとの比較により予測精度を検証した結果、欧州の手法では予測誤差が 200%以上と著しく過大評価する一方で、提案の手法では予測誤差が 2.0%以下と精度よく強風発生頻度を予測できることが分かった。局所地形の影響を受ける運転規制区間内のサブ区間長について、サブ区間長に依存しない強風発生頻度の推定手法を提案することにより、予測に必要なサブ区間長を推定することができ、解析時間を短縮することを可能とした。

第四章では、走行速度によって変化すると考えられる気流条件について、一様流と乱流を用いた風洞試験を実施し、得られた空気力係数から車両の転覆耐力を計算した。その結果、一様流を使った場合と乱流を使った場合の空気力係数およびそれを基に計算される転覆限界風速に、大きな差が生じることが明らかになった。そこで、空気力係数を乱流強度の関数と仮定し、気流による乱流強度の変化の割合から列車速度を考慮した空気力係数の推定手法を提案し、低速走行から高速走行における転覆限界風速の計算を可能とした。さらに、運転規制区間内の強風発生頻度と車両の転覆耐力を組み合わせることで、強風対策の効果を車両の強風遭遇頻度として定量的に評価できることを示した。風向別運転規制および防風柵の効果を検証した結果、対象区間における車両の強風遭遇頻度が風向を考慮することにより 0.16%から 0.11%に減少し、防風柵を設置することでさらに 0.08% に減少することが分かった。

第五章では、風観測と気象予報を組み合わせた平均風速予測手法に対し、変動風速予報モデルおよびピークファクターの動的特定手法を適用することにより、数時間先の最大瞬間風速の予報が可能な予測手法を提案した。さらに最大瞬間風速の観測値を用いた最大瞬間風速補正モデルの適用および予報誤差の考慮により、提案手法の予報精度の向上を行った。提案手法を用いて最大瞬間風速の予報を実施し、実測と比較し予報精度を検証した結果、数時間先予報において捕捉率 86.7%、的中率 92.9%と共に高い値となり予報精度が向上することを確認すると共に、数分先の予報についても既往の予測手法と比べて予報精度が向上することを確認し、数時間先の予報だけでなく運転規制のための数分先の予報に対しても同一のモデルが適用可能であることが分かった。

第六章は、本論文のまとめであり、これまでの結論を述べている。

本研究では、まず、サブ区間相互の風の相関を考慮した強風発生頻度予測手法を提案し、風観測データにより予報精度を検証した。その結果、相関を無視した欧州の予測手法では強風発生頻度を過大評価するのに対し、本提案手法では強風発生頻度を精度よく予測可能であることが分かった。また、サブ区間長に依存しない強風発生頻度の推定手法を提案することにより、局所地形の影響を受ける運転規制区間での解析時間の短縮が可能となった。次に、一様流と乱流を用いた風洞試験を実施し、車両の転覆耐力に対する気流の影響を明らかにした。風洞試験により得られた空気力係数から、列車速度を考慮した空気力係数の推定手法を提案し、低速走行から高速走行における転覆限界風速の計算を可能とした。さらに、強風発生頻度と車両の転覆耐力を組み合わせることで、強風対策の効果の定量的評価を可能とした。最後に、風観測と気象予報データを組み合わせた最大瞬間風速予測手法を提案し、実測および既往システムと比較しその予報精度を検証した。その結果、数時間先の予報精度の向上を確認するとともに、既往システムと同等以上の精度で数分先の予報が可能であることを確認した。