

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360194

研究課題名(和文) 鉄道沿線の強風リスクと列車の横風対策における評価手法の開発と実測による検証

研究課題名(英文) Development of evaluation method of side wind risks and countermeasures for railway system and its verification by field tests

研究代表者

石原 孟 (ISHIHARA, Takeshi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20323511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円、(間接経費) 4,350,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず鉄道沿線の建物と植物の影響を予測できる一般化キャノピーモデルを開発すると共に、風洞実験と現地観測により、その精度を明らかにした。次に、数値竜巻発生装置を開発し、竜巻に伴う強風特性を明らかにすると共に、竜巻の中心付近に瞬間風速が大きくなっていることを明らかにした。最後に、数値流体解析および現地観測データを利用した鉄道沿線における強風予測手法を提案し、複数地点における最大風速の記録と比較することにより、予測手法の精度を検証すると共に、徐行運転と防風フェンス等の横風対策の効果を定量的に評価した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a generalized canopy model is proposed by the combination of a fluid force model to consider the drag forces caused by buildings and trees. The proposed canopy model is verified by wind tunnel tests and the onsite measurement. Turbulent flow fields of a tornado-like vortex are then investigated by using numerical tornado simulator and the gust is found to be very large near the center of the tornado-like vortex. Finally, a prediction method for strong gust based on onsite measurement and CFD is proposed, and predicted maximum gust shows good agreement with measurement. The proposed method is applied to the regulation of train operation and shows that the frequency of the regulation of the train operation decreases when the train speed is reduced and the wind fence is installed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：構造工学 地震工学 維持管理工学 風工学

1. 研究開始当初の背景

わが国では 1872 年に鉄道の運行が開始されて以来、強風による脱線あるいは転覆事故が 30 件発生していることからわかるように、鉄道の安全運行にとって強風は大きな問題である。強風による事故や遅延を低減させるために鉄道事業者は防風柵の設置、沿線風速計の増設および徐行運転などの対策を行ってきたが、その効果を定量的に評価できていないのが現状である。

従来、鉄道運行管理のための風速計は経験的に強風が発生しやすい地点に設置されてきたが、風速計設置地点以外でも強風が発生する可能性があるため、気流解析等により強風発生地点を面的に把握することが求められている。しかし、これまでの気流解析では鉄道沿線の地形の効果は考慮できるが、都市域における建物や植生等の影響を考慮できないという問題がある。

また、列車の運行規制を決定する際には、列車に作用する空気力を評価し、転覆限界風速を設定する必要があるが、列車に作用する空気力は列車の形状のみならず、線路構造物などの影響を受けるため、これらを考慮した空気力を評価することが必要である。さらに、列車を固定した従来の風洞実験から走行中の列車の空気力係数をどこまで正確に推定できるかについても不明な点が残されている。

これまでに、強風による列車の脱線・転覆事故の多くは竜巻などの突風によるものであったが、竜巻などの突風に伴う 3 次元流れ場の詳細構造については不明な点が多い。また、竜巻などの突風は非定常性の強い現象であるため、非定常な風による列車の空気力特性の解明は不可欠である。

2. 研究の目的

鉄道の強風による事故や遅延を低減させるために、鉄道事業者は防風柵の設置や、沿線風速計の増設などの横風対策を行ってきたが、その効果を定量的に評価できていないのが現状である。

本研究ではまず、一般化キャノピーモデルを開発し、風観測と気流解析を融合することにより、鉄道沿線の建物や植生の影響を考慮した強風発生頻度を定量的に評価する手法を確立する。次に、走行中の列車に作用する空気力の発生メカニズムを列車の移動効果を考慮した数値流体解析により解明し、列車の空気力係数のモデル化を行う。さらに、数値竜巻発生装置を作成し、数値シミュレーションにより竜巻内の 3 次元流れ場の構造を明らかにするとともに、竜巻などの突風時の列車に作用する非定常空気力を解明する。最後に、本研究で提案した予測手法を用いて、鉄道沿線における強風リスクおよび防風柵や徐行運転などの対策を講じた場合の効果を定量的に評価できる強風リスク予測システムを開発し、実測により精度検証を行う。これら

の成果に基づき、鉄道横風対策ガイドラインを作成する。

3. 研究の方法

本研究では、突風や列車の走行が空気力に与える影響及び防風柵の設置による防風対策の効果を定量的に評価できる鉄道沿線強風リスク評価手法を開発し、以下に示す研究を行う。

(1) 一般化キャノピーモデルの開発と走行中の列車に作用する空気力のメカニズム解明

鉄道沿線の風は、周辺地形だけではなく、近隣建物や植生などの影響を受けるため、鉄道沿線の建物・植生の影響を統一的に評価できるモデルが必要となる。本研究ではまず、植生や建物による抗力を統一して表現可能な流体力モデルの定式化を行うと共に、従来解析困難であった高占有率の流れ場にも適用可能な乱流モデルを提案し、任意占有率を有するキャノピー内外の流れ場を解析できる一般化キャノピーモデルを構築する。次に、構築した一般化キャノピーモデルを鉄道沿線強風予測に適用できるように、国土交通省提供の土地利用データおよび建物に関する電子地図データからキャノピーモデルのパラメータを求める手法を開発する。最後に占有率の低い植物から占有率の高い市街地における風速場を予測し、風洞実験及び実測の結果と比較することにより、その予測精度を検証する。

列車の転覆限界風速を正確に評価するためには、列車に作用する空気力を高精度に評価する必要があるが、従来の転覆限界風速の評価に必要な列車の空気力係数は一様流または乱流中の風洞実験により求めてきた。しかし、列車の走行速度が低い場合には、列車との相対風速は乱流に近いが、列車の速度が増えるにつれて、相対風速は一様流に近くなる。実際、列車に作用する空気力を正確に評価するためには、乱流と一様流中に得られた空気力を組み合わせる必要がある。本研究では、停止及び走行する列車を対象に、数値流体解析及び風洞実験を実施し、乱流と一様流中における静止列車に作用する空気力を評価すると共に、空気力の組み合わせの妥当性を走行する列車から求められた空気力により検証する。

(2) 竜巻に伴う 3 次元風速場と竜巻等の突風時の列車に作用する空気力の特性の解明

列車の脱線・転覆事故の多くは竜巻などの突風によるものである。竜巻などの突風は風速の鉛直成分が大きくなるなど通常の強風と異なる性質を持っているため、突風時における鉄道の安全性を考える際には、竜巻に伴う突風の 3 次元流れ場の性質を明らかにするとともに、突風時に列車に作用する空気力を

正確に評価することが必要である。

本研究では竜巻の数値流体解析を実施し、竜巻の移動に伴う3次元流れ場の特性を明らかにする。そこで、まず竜巻の室内実験を模擬する数値竜巻発生装置を開発し、竜巻を支配するパラメータを変化させることにより、竜巻に伴う強風特性とその発生メカニズムを明らかにする。このように数値流体解析により得られた風速と圧力場と、既往の室内実験と現場観測と比較することにより、その精度を明らかにする。

竜巻などの突風は非正常性が強く、突風時に列車に作用する空気力は通常の強風と異なる性質を示す可能性がある。本研究では数値竜巻発生装置を用いて、大きさと強さの異なる竜巻を発生させると共に、竜巻を移動させることにより列車に作用する非正常空気力を求め、竜巻などの突風時の空気力の発生メカニズムを明らかにする。

(3) 鉄道沿線強風リスク評価手法の検証と鉄道横風対策ガイドラインの作成

本研究では、これまでに開発されてきた鉄道沿線の強風リスク及び横風対策評価手法を1つのシステムにまとめ、実際の鉄道沿線における強風予測を行い、複数地点での風速記録と比較することにより、その予測手法の精度を検証すると共に、これまでに提案された各種横風対策の効果を定量的に評価する。また、本研究で提案した一般化キャノピーモデルに基づく鉄道沿線の強風発生頻度の評価手法、モデル化した空気力による列車の転覆限界風速の評価手法、鉄道沿線における強風リスク及び防風柵などの横風対策の評価手法、風洞実験と数値流体解析による列車に作用する空気力の評価手法をまとめ、鉄道横風対策ガイドラインを作成する。

4. 研究成果

(1) 一般化キャノピーモデルの開発と走行中の列車に作用する空気力のメカニズム解明

本研究では、まず鉄道沿線の建物と植物の影響を予測できる一般化キャノピーモデルを開発すると共に、走行中の列車に作用する空気力の発生メカニズムを解明し、鉄道沿線の強風リスク評価手法を確立した。

鉄道沿線の風は、周辺地形だけではなく、近隣建物や植生などの影響を受けるため、鉄道沿線の建物・植生の影響を統一的に評価できるモデルが必要となる。本研究ではまず、植生や建物による抗力を統一して表現可能な流体力モデルの定式化を行うと共に、従来解析困難であった高占有率の流れ場にも適用可能な乱流モデルを提案し、任意占有率を有するキャノピー内外の流れ場を解析できる一般化キャノピーモデルを構築した。次に、構築した一般化キャノピーモデルを鉄道沿線強風予測に適用できるように、国土交通省

提供の土地利用データおよび建物に関する電子地図データからキャノピーモデルのパラメータを求める手法を開発し、最後に占有率の低い植物から占有率の高い市街地における風速場を予測し、風洞実験及び実測の結果と比較することにより、その予測精度を検証した。

列車の転覆限界風速を正確に評価するためには、列車に作用する空気力を高精度に評価する必要があるが、従来の転覆限界風速の評価に必要な列車の空気力係数は一様流または乱流中の風洞実験により求めてきた。しかし、列車の走行速度が低い場合には、列車との相対風速は乱流に近いが、列車の速度が増すにつれて、相対風速は一様流に近くなる。実際、列車に作用する空気力を正確に評価するためには、乱流と一様流中に得られた空気力を組み合わせる必要がある。本研究では、停止及び走行する列車を対象に、数値流体解析及び風洞実験を実施し、乱流と一様流中における静止列車に作用する空気力の評価と共に、空気力の組み合わせの妥当性を走行する列車から求められた空気力により検証した。

(2) 竜巻に伴う3次元風速場と竜巻等の突風時の列車に作用する空気力の特性の解明

本研究では竜巻の数値流体解析を実施し、竜巻の移動に伴う3次元流れ場の特性を明らかにした。

まず竜巻の室内実験を模擬する数値竜巻発生装置を開発し、竜巻を支配するパラメータを変化させることにより、竜巻に伴う強風特性とその発生メカニズムを明らかにし、数値流体解析により得られた風速と圧力場と、既往の室内実験と現場観測と比較することにより、その精度を明らかにすることができた。

竜巻などの突風は非正常性が強く、突風時に列車に作用する空気力は通常の強風と異なる性質を示す可能性がある。本研究では数値竜巻発生装置を用いて、大きさと強さの異なる竜巻を発生させると共に、竜巻を移動させることにより構造物に作用する非正常空気力を求め、竜巻などの突風時の空気力の発生メカニズムを明らかにすることができた。

(3) 鉄道沿線強風リスク評価手法の検証と鉄道横風対策ガイドラインの作成

これまでに開発されてきた鉄道沿線の強風リスク及び横風対策評価手法を1つのシステムにまとめ、実際の鉄道沿線における強風予測を行い、複数地点での風速記録と比較することにより、その予測手法の精度を検証すると共に、これまでに提案された各種横風対策の効果を定量的に評価した。

また、本研究で提案した一般化キャノピーモデルに基づく鉄道沿線の強風発生頻度の評価手法、モデル化した空気力による列車の

転覆限界風速の評価手法、鉄道沿線における強風リスク及び防風柵などの横風対策の評価手法、風洞実験と数値流体解析による列車に作用する空気力の評価手法をまとめ、鉄道横風対策ガイドラインを作成した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

榎木 康太、石原 孟、一般化キャノピーモデルの提案と都市域における風況予測への応用、土木学会論文集A 1 (構造・地震工学) 査読有、Vol.68, No.1、2011年、pp.28-47

三須弥生、石原孟、風観測と数値流体解析を利用した運転規制区間内の強風発生頻度の予測、日本風工学会論文集、査読有、Vol.37, No.1、2012年、pp.11-24

石原孟、長坂陽介、劉震卿、LES モデルを用いた数値流体解析による竜巻状渦内の乱流場の解明、第22回風工学シンポジウム論文集、査読有、Vol.22、2012年、pp.1-6

三須弥生、石原孟、走行速度を考慮した鉄道車両の空気力係数の推定、日本風工学会論文集、査読有、Vol.37、No.3、2012年、pp.117-123

Z.Liu and T. Ishihara, Effects of the swirl ratio on the turbulent flow fields of tornado-like vortices by using LES turbulent model、BBA7、査読有、BBA7、2012

Z. Q. Liu and T. Ishihara, LES modeling of the effects of ground roughness and translation on tornado-like vortices、査読有、2013年

Z.Liu and T. Ishihara, Numerical study of tornado-induced aerodynamic forces for a gable-roof building by using LES model、EACWE6、査読有、2013

石原孟、福王翔、風力発電設備動解析における三次元風速場の修正カルマンモデルの提案、第35回風力エネルギー利用シンポジウム論文集、査読無、Vol.35、pp.385-388、2013.

〔学会発表〕(計1件)

石原 孟、山口 敦、老川 進、モンテカルロシミュレーションとMCP法を用いた混合気候における極値風速の予測、第33回風力エネルギー利用シンポジウム、2011年11月30日、科学技術館サイエンスホール

〔図書〕(計1件)

石原孟(共著) 風を知り風と付き合う -耐風設計入門-、社団法人 日本鋼構造協会、2011〔産業財産権〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

石原 孟 (ISHIHARA TAKESHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：20323511

(2)研究分担者

山口 敦 (YAMAGUCHI ATSUSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：00376500