

フィールドデータに基づく鉄道車両の転覆限界風速に関する検証 (静止車両)

金元 啓幸* 日比野 有 (鉄道総合技術研究所)
森山 淳 (東日本旅客鉄道)

Verification of Critical Wind Speed of Overturning of Railway Vehicle Based on Field Data (Static Vehicle)
Hiroyuki Kanemoto*, Yu Hibino (Railway Technical Research Institute)
Atsushi Moriyama (East Japan Railway Company)

In order to verify the critical wind speed of overturning of a railway vehicle, we measured the wheel load and the wind at the same time at a storage track. In this report, we compared the wheel unloading ratio with the wind speed and the roll angle of the body. Moreover, we compared these values with the values of the Detailed Equation in the simulation. As a result, it was apparent that the wheel unloading ratio and the roll angle of the body related to the wind speed measured by some windmill anemometers.

キーワード：鉄道車両，輪重，横風，転覆，輪重減少率，転覆限界風速

(Keywords : railway vehicle, wheel load, crosswind, overturn, wheel unloading ratio, critical wind speed)

1. はじめに

鉄道車両の横風に対する転覆限界風速の評価は、1972年に国枝により提案された計算式⁽¹⁾ (以下、国枝式) が広く用いられている。それとともに、空気力係数や車両のばね系の影響などをより精緻に考慮した詳細式⁽²⁾が、2003年に日比野らにより提案されており、近年用いられつつある。この詳細式の妥当性を検証するため、2008年に横風による空気力に相当する横力を実物車両に負荷する試験を行った⁽³⁾。この結果、横力と輪重減少率との関係について、計算値と実測値は概ね一致し、詳細式は、転覆限界風速を評価する式として、十分な精度を有することがわかった。

これらの成果を経て、2009年12月下旬から2010年4月上旬にかけ、強風が期待される東日本旅客鉄道(株)の青森車両センター構内に実物車両を留置し、実際に吹く横風と輪重減少率等の関係を調査した。本報は、この調査結果について報告するものである。

2. 試験概要

〈2・1〉 測定場所および供試車両 測定場所は、冬期に季節風による連続した強風が期待でき、周囲に風を妨げる構造物がない場所が望まれる。また、近年の一般的な通勤車両を、数ヶ月にわたり留置できる場所が望まれる。これらの条件を満足する場所として、青森車両センター構内の東客1番線を選定した。

供試車両は、同センター内に留置してあるボルスタレス台車を装架した一般的な通勤車両の先頭車とした。供試車両の空気ばねへの給気は、留置線の近傍にあったブレーキ試験用の空気源を利用した。

〈2・2〉 測定方法 輪重・風速風向測定のための仮設状況を図1に示す。また、供試車両等の位置関係を図2に示す。図1に示すように、8車輪にかかる輪重を、レールのひずみで測定した。また、風速・風向を、図2に示すように供試車両から約5m離れた位置に、高さ約2.5m(～レール面上)で設置された3基のプロペラ式風速風向計(大

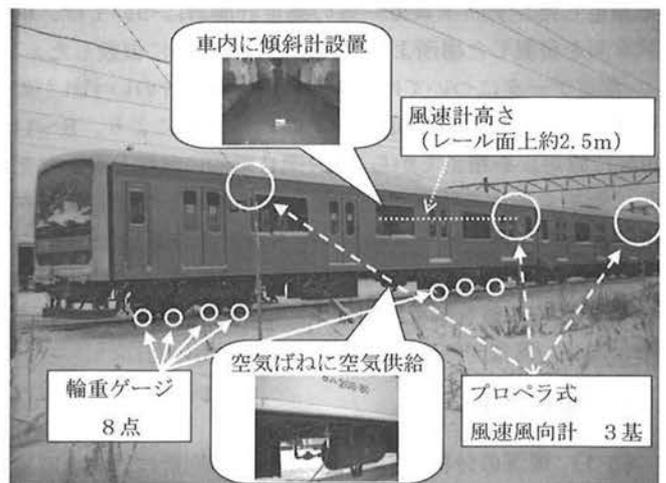


図1 仮設状況

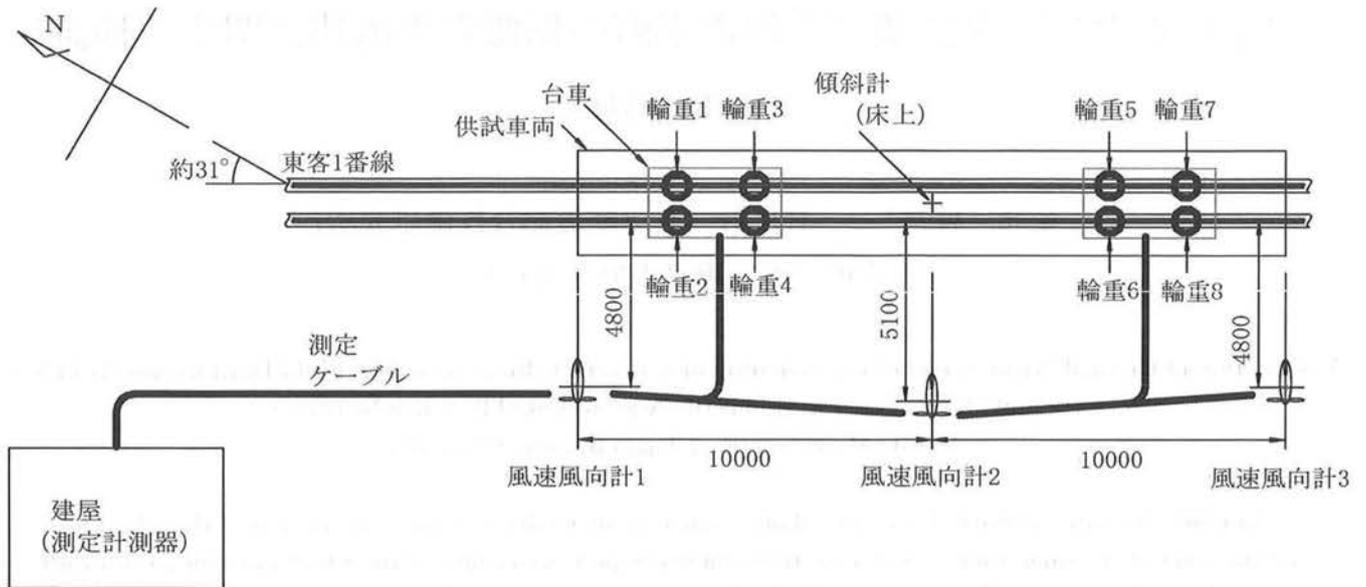


図 2 供試車両および風速風向計等の位置関係

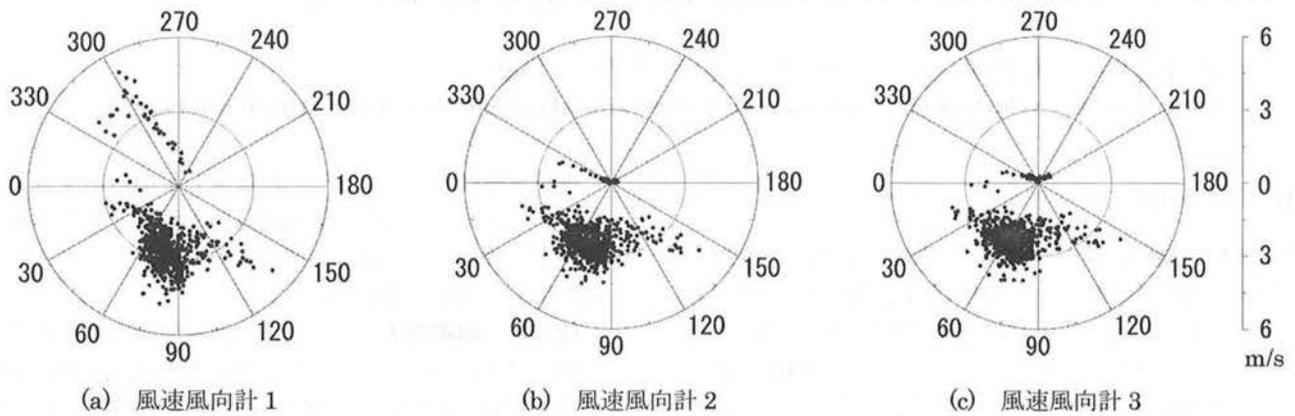


図 3 測定期間中に観測された 10 分間平均風速と風向角

田計器製作所製(30-T))で測定した。車体のロール角は、供試車両床上に設置した傾斜計(独・ザイカ製(NA2-05))で測定した。データロガー等の測定計測器については、供試車両を留置した場所より北西にある建屋内に仮設した。

測定データについては、3基の風速風向計のいずれかの風速値がある閾値(測定データの取得状況により、8~11 m/sに設定)を超えてから30分間自動的に収録した。ただし、閾値を超える強風が続く場合は、連続して測定データを収録した。測定データのサンプリング周波数は20 Hzとし、そのデータから、3.1節では10分間平均、3.2節以降は10秒間平均の値を解析に用いた。また、毎正時にもデータを収録し、異常データの有無等の確認に用いた。

3. 解析結果

〈3・1〉風況の分析 使用した風速風向計は、北を0度として、右回りに16方位(22.5°刻み)の風向角を出力するようになっていたが、本報では、車両に対する風向角がわかりやすいように、車両を留置したレール方向(運転台側)を0度とし、左周りに風向角を修正した。

図3に、全測定データから抽出した、10分間平均風速・風向角を示す。なお、各プロットの中心からの距離が風速を表す。図3(a)は風速風向計1、(b)は風速風向計2、(c)は風速風向計3である。図3(a)の風速風向計1の示す風況が、他の風速風向計の示す風況と異なる。これは、供試車両と風速風向計の位置関係および建屋の影響である。図2で示したように、風速風向計1の約30°方向にある建屋の影響で、風速風向計1の風向角15°~60°の範囲では、他の風速風向計よりも風速が小さい。また、風向角180°~330°の範囲では、風速風向計2、3は供試車両の風下となり、強風がほとんど観測されないのに対し、風速風向計1は運転台側にあるため、風を遮るものがない風向角270°~360°の範囲で、強風を観測している。風向角150°~180°の範囲は、すべての風速風向計において、風速が小さくなっている。これは、冬期には南からの風が少ないことが原因と考えられる。以上のことから、風向角60°~120°の範囲の測定データが、建屋や供試車両の影響が小さい安定した強風データであると思われる。そこで本報では、収録された測定データのうち、風向角が60°~120°となる測定デ

ータについて解析した。

(3・2) 10 秒間平均風速と輪重減少率の関係 図 4 に風速風向計 2 の 10 秒間平均風速とそのときの 10 秒間平均輪重減少率の関係を示す。なお、輪重減少率は、1 車両平均の輪重減少率とした。すなわち、風上側 4 輪 (輪重 2, 4, 6, 8) の合計値を静止輪重から減じた差を、静止輪重で除した値とした。また、静止輪重は、3 基の 10 秒間平均風速の合計が 6.0 m/s を下回るときの風上側 4 輪の輪重合計値を測定日ごとに平均した値とした。図 4 中の●が風向角 60~80°, ★が風向角 80~100°, ▲が風向角 100~120° の結果である。詳細式による計算結果を合わせて示す。詳細式に用いた空気力係数は、著者の知る限り、唯一数値が公表されている文献(4)の空気力係数のうち、風向角 75°, 90°, 105° の空気力係数を用いた。

図 4 から、実際に吹く横風と輪重減少率に相関があることがわかる。また、風向角により分布が異なることがわかる。これは、風向角による空気力係数の違いを示していると思われ、過去の風洞試験結果(6)と一致する。詳細式による

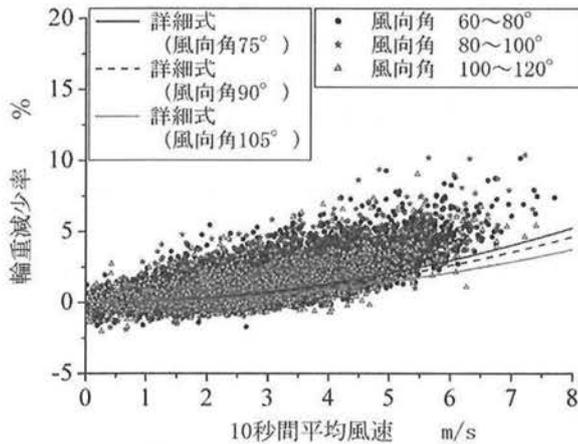


図 4 風速風向計 2 の最大瞬間風速と輪重減少率の関係

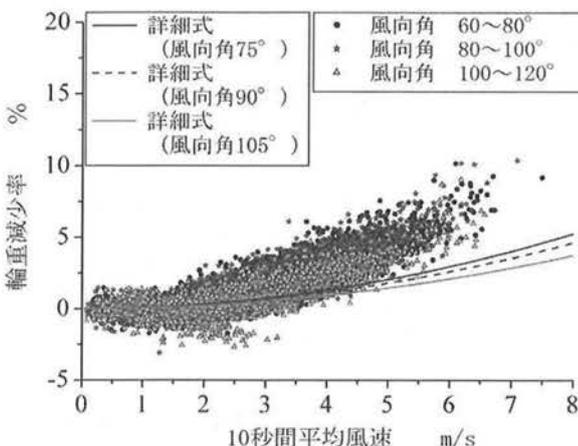


図 5 風速風向計 3 基のベクトル平均から求めた最大瞬間風速と輪重減少率の関係

計算値は、実測値と若干のずれがある。この原因として、空気力係数の誤差や車体変位のヒステリシスの影響などが考えられる。空気力係数については、文献(4)ではレールレベルから 5m の高さにおける風速を基準風速としているため、本報における計算条件では空気力係数が小さく評価されていることになる。そのため輪重減少率が小さめに計算されていると考えられる。また、車体変位のヒステリシスについては、負荷した横力をゼロに戻しても、車体変位 (左右、ロール) が元に戻らない場合があることが報告されている(3),(6)。そのため、特に車体傾斜角の実測値が、詳細式における想定よりも大きになっていると考えられる。特に、強風が吹いて収録を開始した後、風が弱くなっても 30 分間収録した測定データでは、後者の影響が大きい可能性が考えられる。文献(6)では、この車体変位の推定誤差が輪重変動の推定精度に及ぼす影響は比較的小さいとされているが、上記の理由が重なると図 4 程度のずれは生じる可能性があると考えられる。特に、用いた空気力係数が、本報の線路構造物、車体形状、風速観測位置とは異なる条件で計測されたものであることには注意が必要である。

つぎに、図 5 に、設置した風速風向計 3 基の風速・風向のベクトル平均から求めた 10 秒間平均風速と、そのときの 10 秒間平均輪重減少率の関係を示す。なお輪重減少率や詳細式による計算値については、図 4 と同様である。図 5 から、実際に吹く横風と輪重減少率に相関があることがわかる。特に、3 基のベクトル平均をとることで、プロットのばらつきが小さくなることがわかる。参考のため、図 4, 5 の各プロットから 2 次の近似曲線を求め、これを平均とした分散を求めると表 1 となる。また、風向角により分布が異なり、風向角による空気力係数の違いが見られる。このことから、複数の風速計で観測された風速を用いることで、風速と輪重減少率の関係について、相関が高まる可能性がある。ただし、10 m/s 以上の風速域での結果がないため、さらなる試験が望まれる。詳細式による計算値について、図 4 と同様、実測値と若干のずれがあり、主に前述した原因が考えられる。

以上のことから、複数の風速風向計で観測された風速を用いることで、風速と輪重減少率の相関が高まり、輪重減少率に影響する風速をより正確に測定することができると思われる。ただし、計算値と実測値のずれの原因については、今後の検討事項としたい。

(3・3) 10 秒間平均風速と車体ロール角の関係 図 6 に風速風向計 2 の 10 秒間平均風速とそのときの 10 秒間平均

表 1 図 4, 図 5 の分散値

	風向角		
	60~80°	80~100°	100~120°
図 4 の分散 V	0.709	0.771	0.644
図 5 の分散 V	0.365	0.393	0.414

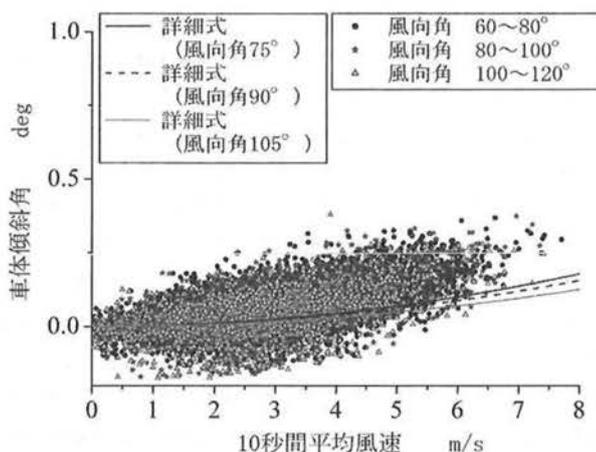


図6 風速風向計2の最大瞬間風速と車体ロール角の関係

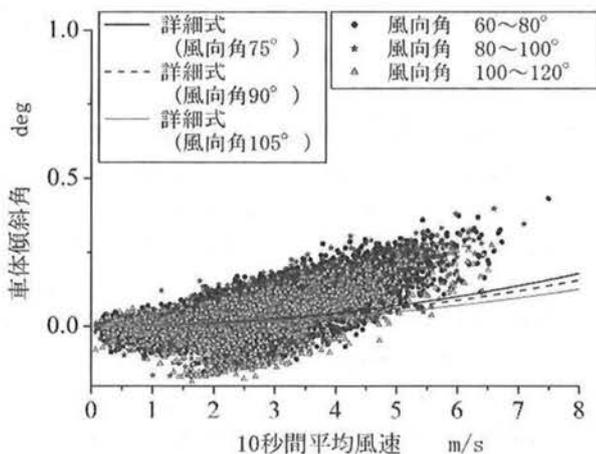


図7 風速風向計3基のベクトル平均から求めた最大瞬間風速と車体ロール角の関係

車体ロール角の関係を示す。なお、車体ロール角については、無風状態で 0.5° 程度傾いていた。そこで、3基の10秒間平均風速の合計が 6.0 m/s を下回るときの車体ロール角を測定日ごとに平均し、車体ロール角からその平均値を除いた値を用いた。それぞれのプロットおよび各線について、図4の輪重減少率が車体ロール角に置き換わった以外は、図4と同様である。また、図7に、設置した風速風向計3基の風速・風向のベクトル平均から求めた10秒間平均風速とそのときの10秒間平均輪重減少率の関係を示す。それぞれのプロットおよび各線について、図6と同様である。3基のベクトル平均をとることで、プロットのばらつきが小さくなっていることがわかる。ただし、風向角により、分布が異なる様子は見られない。これは、車体ロール角の変位が小さく、ノイズの影響を受けやすいことや、用いた風速風向計の風向角精度が低いことなどが原因と思われる。また、詳細式による計算値と実測値のずれについては、図4、5と同様、前節で述べた原因が考えられる。

以上のことから、複数の風速風向計を用いることで、車体変位、つまりは輪重減少率に影響する風速をより正確に測定することができると思われる。

4. まとめ

実際に吹く横風と輪重減少率の関係を明らかにするために、強風が期待される車両基地構内に、冬期4ヶ月間、一般的な通勤車両を留置し、輪重および風速、風向、車体ロール角を同時に測定した。本報では、これら一連の測定結果について報告した。得られた結果を以下に示す。

(1) 車体側面中央付近から約 5 m 離れたプロペラ式風速風向計で測定した10秒間平均風速と、輪重減少率を比較したところ、両者に相関があることを確認した。また、風向角により輪重減少率の大きさが異なり、その傾向は、過去の風洞試験結果と一致した。

(2) 車体側面に平行に 10 m 間隔で設置した3基のプロペラ式風速風向計で測定した風速・風向をベクトル平均し、その10秒間平均風速と輪重減少率を比較したところ、(1)と同様、両者に相関があることを確認した。特に、3基のベクトル平均をとることで、高風速域での実測値のばらつきが小さくなった。このことから、複数の風速計で観測された風速を用いることで、風速と輪重減少率の相関が高まり、輪重減少率に影響する風速をより正確に測定できる可能性があることがわかった。

(3) 1基のプロペラ式風速風向計で測定した10秒間平均風速、または3基のプロペラ式風速風向計のベクトル平均から求めた10秒間平均風速と、車体ロール角に相関があることがわかった。

(4) 詳細式による計算値と実測値に若干のずれがあった。この原因として、計算に用いた空気力係数が本試験とは異なる条件で得られたものであることや車体変位のヒステリシスの影響などを挙げた。なお、これについては今後の検討事項としたい。

最後に、本報では、10秒平均風速が 8 m/s 以下の結果を述べた。高風速域での測定および挙動解析についても今後の課題としたい。

文 献

- (1) 国枝正春：「鉄道車両の転ぶくに関する力学的理論解析」, 鉄道技術研究報告, No.793 (1972)
- (2) 日比野有・石田弘明：「車両の転覆限界風速に関する静的解析法」, 鉄道総研報告, Vol.17, No.4, pp.39-44 (2003)
- (3) 日比野有・下村隆行・谷藤克也：「鉄道車両の転覆限界風速に関する静的解析式の検証」, 日本機械学会論文集 (C編), Vol.75, No.758, pp.2605-2612 (2009)
- (4) 航空鉄道事故調査委員会：「鉄道事故調査報告書 (東日本旅客鉄道株式会社羽越線砂越駅～北余目駅間列車脱線事故)」, pp.67-74 (2008)
- (5) 種本勝二・鈴木実・斉藤寛之・今井俊昭：「強風下での車両に働く空気力と低減対策に関する風洞試験」, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, pp.11-16 (2004)
- (6) 日比野有・金元啓幸・下村隆行・谷藤克也：「横風を受けた鉄道車両の挙動に関する動的解析モデルの構築および検証」, 日本機械学会論文集 (C編), Vol.76, No.766, pp.1396-1405 (2010)