

空気力係数算出方法の違いによる転覆限界風速の差異

乙部 達志* 鈴木 実* 野口 雄平*
 金元 啓幸** 中出 孝次*** 中野 宏章***

Differences in Critical Wind Speed of Overtuning Due to Differences in Aerodynamic Force Coefficient Evaluation Methods

Tatsushi OTOBE Minoru SUZUKI Yuhei NOGUCHI
 Hiroyuki KANEMOTO Koji NAKADE Hiroaki NAKANO

Two methods can be considered for a desk-based safety evaluation of a new type of vehicles in strong winds: one method is based on a list of aerodynamic force coefficients from previous studies, and the other method is based on Computational Fluid Dynamics (CFD). However, the differences between the results of each method and wind tunnel test results are not clear. Therefore, the overturning limit wind speeds calculated from the results of three methods were compared.

キーワード：風洞試験，準用，数値計算，LES，RANS，空気力係数，転覆限界風速

1. はじめに

強風時の風転覆安全性評価に使用される空気力係数は、既往の研究により5車種7線路構造物に対する一覧表が示されている¹⁾。例えばある車両（対象車両と呼ぶ）の強風時風転覆安全性評価を行う場合、この一覧表の中から対象車両と車体断面形状の似た車両を選択し、その空気力係数を準用することで、対象車両の空気力係数とすることが考えられる。また、数値計算（以下、数値シミュレーションと書くこともある）によって空気力係数を算出することもできる。しかし、類似形状車両からの準用や数値計算を行った後に、対象車両に対する風洞試験を行って精緻な空気力係数を求めたケースがこれまでに無いため、類似形状車両からの準用結果および数値計算結果と精緻な風洞試験結果との差異は明らかになっていない。そこで、風洞試験、類似形状車両からの準用および数値計算の3手法から得られた空気力係数と転覆限界風速の差異を調査したので報告する。

2. 風洞試験方法

2.1 風洞設備

風洞試験は、鉄道総研所有の大型低騒音風洞密閉型測定部で実施した。密閉型測定部の大きさは幅5m、高さ3m、長さ20mで、密閉型測定部上流端より16.8m下流

の床面にターンテーブル（中心）が設置されている。このターンテーブル上に模型を設置し、空気力を測定する。また、自然風を模擬するために、ターンテーブルの上流側にバリア、スパイア、ラフネスブロックを設置し、乱流境界層（べき指数0.26）を生成する²⁾。

座標系は、密閉型測定部上流端の床面の幅方向中心を原点とし、主流方向をX、幅方向をY、鉛直上方向をZとする右手系の直交座標系である。密閉型測定部を図1、ターンテーブル中心上の乱流境界層の時間平均風速分布を図2に示す。また、風洞風速を制御するピトー管をX=11.8m、Y=1.504m、Z=1.8mの位置に設置し、このピトー管による風速指示値を試験風速 U_0 と呼ぶ。

2.2 空気力係数の算出法

風転覆安全性評価に必要な空気力は、横力 S 、揚力 L 、ローリングモーメント M （以下、単にモーメントと呼ぶ）であり、それぞれの正の方向を図3に示す。また、乱流境界層分布と車両、線路構造物の関係を図4に示す。空気力の座標軸は、風向角 β を変化させた際にも同

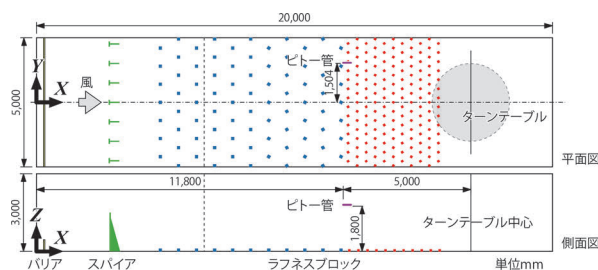


図1 密閉型測定部内の乱流境界層生成装置の配置（べき指数0.26）

* 環境工学研究部 車両空力特性研究室
 ** 鉄道力学研究部 車両力学研究室
 *** 鉄道力学研究部 計算力学研究室

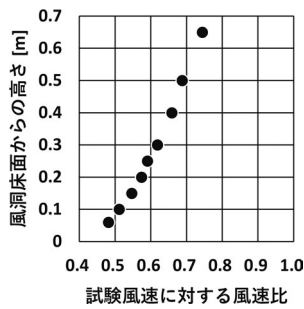


図2 乱流境界層の平均風速分布

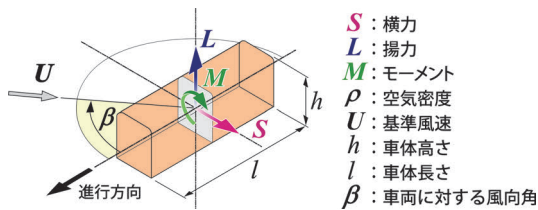


図3 車両模型に働く空気力

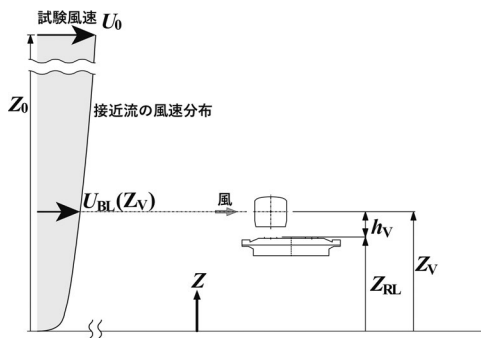


図4 乱流境界層分布と車両、線路構造物の関係

時に変化する車体に固定した軸（車体軸）である。

空気力係数（横力係数 C_s 、揚力係数 C_L 、モーメント係数 C_M ）を以下の式(1)~(3)で算出した。

$$\text{横力係数: } C_s = \frac{S}{\frac{1}{2} \rho (U_{BL}(Z_V))^2 A} \quad (1)$$

$$\text{揚力係数: } C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho (U_{BL}(Z_V))^2 A} \quad (2)$$

$$\text{モーメント係数: } C_M = \frac{M}{\frac{1}{2} \rho (U_{BL}(Z_V))^2 A h} \quad (3)$$

上式の通り空気力係数は、平均空気力を平均動圧と、車体高さ h × 車体長さ l で表す車体側面積 A （投影面積ではない）で除した値で、モーメント係数については代表長さとして車体高さ h で更に除した値である。平均空

気力は、サンプリング周波数 100Hz、収録時間 42 秒のデータから求められた値である。また、平均動圧は、空気力係数算出の基準位置における風速の平均値 $U_{BL}(Z_V)$ を用いて算出された値である。 $U_{BL}(Z_V)$ は、風洞の計測システムで収録された試験風速 U_0 の平均値に「試験風速 U_0 と車体中心高さ Z_V における風速の比」（図2）を乗じた値である。モーメント中心は車体高さの 1/2（車体中心）にあり、モーメント係数は風上側から風下側に転倒する向きが正である。空気力係数を算出する際に用いた車両模型（縮尺 1/40）の写真を図5に、諸元を表1に示す。

空気力係数の内、転覆に最も影響の大きいものは横力係数であるが、揚力係数とモーメント係数の影響も加味した風下レール周りのモーメント係数 C_{M_lec} は、

$$C_{M_lec} = \frac{C_s h_V}{h} + \frac{C_L l_R}{2h} + C_M \quad (4)$$

で求められる。式(4)中の l_R （車輪とレールの接触点間距離）は 0.0280m、 h （車体高さ）および h_V （R.L. 車体中心高さ）は表1で定義した通りである。

2.3 風洞試験模型

風洞試験に用いた車両模型は、通勤型（2車種）およ

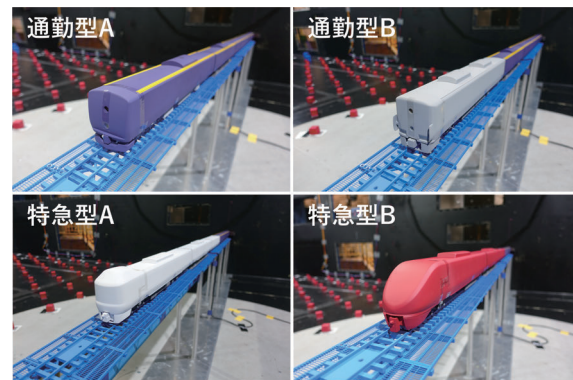


図5 車両模型

表1 空気力係数の算出に用いた値（模型寸法）

（屋根部曲率半径 R [mm]、肩部曲率半径 s [mm]は実寸）

項目	車体代表長さ (車体高さ)	車体代表面積 (車体高さ×車体長さ)	R.L.車体中心高さ	
記号	h	A	h_V	
単位	[m]	[m ²]	[m]	
既往研究	103系 (R5000, s250)	先頭車 中間車	0.0656 0.0320	0.0590
	485系 (R8000, s400)	先頭車 中間車	0.0615 0.0308	0.0559
本研究	通勤型A (R5000, s350)	先頭車 中間車	0.0666 0.0325	0.0572
	通勤型B (R5000, s350)	先頭車 中間車	0.0672 0.0328	0.0573
	特急型A (R8000, s1000)	先頭車 中間車	0.0642 0.0331	0.0559
	特急型B (R8000, s1000)	先頭車 中間車	0.0642 0.0331	0.0559

び特急型（2車種）車両を模擬したものであり、実物車両の屋根部曲率半径 R および肩部曲率半径 s は通勤型が $R=5000\text{mm}$ および $s=350\text{mm}$ 、特急型が $R=8000\text{mm}$ および $s=1000\text{mm}$ である。既往研究¹⁾の通勤型の103系は $R=5000\text{mm}$ および $s=250\text{mm}$ 、特急型の485系は $R=8000\text{mm}$ および $s=400\text{mm}$ である（いずれも実寸）。通勤型Aには、作業員が歩くための歩み板が屋根部と肩部の境界付近に設置されている。通勤型Bの先頭部には、転落防止幌が設置されている。特急型Aの先頭部は鈍頭形で先頭部同士を連結できる貫通型、特急型Bの先頭部は流線形の非貫通型である。

風洞試験に用いた構造物形状は、複線高架橋、単線橋りょうおよび盛土である。各構造物の名称は既往研究¹⁾にならい、有道床のものを高架橋、無道床のものを橋りょうと呼んでいる。複線高架橋および単線橋りょうのR.L.桁高（桁下面からレールまでの高さ）は、既往研究¹⁾の3種類とR.L.桁高1mである。また、盛土高さ（平坦部から道床下部までの高さ）は、既往研究¹⁾の8mを含む5種類（1.2, 2, 5, 8, 11m）である（図6）。2.2節で述べたように、空気力係数を算出する時の平均動圧は、車体中心高さ Z_V を基準位置としているため、同じ試験風速であっても、盛土高さごとに基準位置における風速の平均値 $U_{BL}(Z_V)$ が異なることに注意されたい。

図7のように、構造物の中心がターンテーブル中心に一致するよう固定し、測定車を図1のX軸上に設置した。また、構造物模型は風向角90度の時に密閉型測定部の幅と同じ5m分設置し、風向角90度以外では密閉型測定部の側壁面もしくは下流側端部まで延長して設置した。車両模型は、先頭車の条件では下流方向（風向角90度では図1のY軸正の方向）のみ構造物端まで延長して設置し、中間車の条件では上流方向および下流方向に構造物端まで延長して設置した。

以降、本報告書で記述される寸法（表1を除く）は、特に示さない限り模型寸法ではなく実物大寸法である。

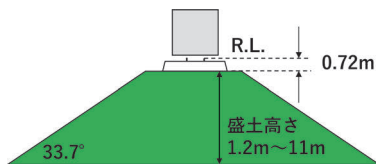


図6 盛土高さの定義

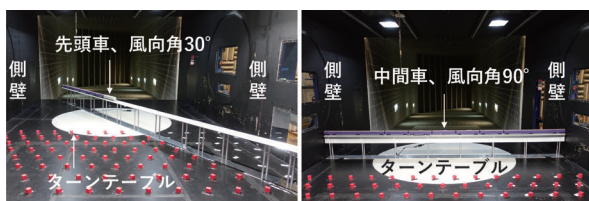


図7 模型設置状況（複線高架橋）

3. 転覆限界風速算出の実施条件

風洞試験、類似形状車両からの準用および数値計算によって空気力係数を算出し、それを用いて転覆限界風速を算出した条件を表2に示す。表2中の「風」は風洞試験、「準」は類似形状車両からの準用、「L」はLES、「R」はRANSのことを意味する。LESおよびRANSは数値計算の手法名で、詳細は5章で述べる。

4. 類似形状車両からの準用と風洞試験の比較

4.1 空気力係数の概略評価手法

おおよその空気力係数を求める（概略評価する）ことを考えれば、一覧表の中から、屋根部曲率半径 R が $R=5000\text{mm}$ の通勤型は103系、 $R=8000\text{mm}$ の特急型は485系の空気力係数をそのまま用いる方法が考えられる。そこで、本報告では通勤型Aおよび通勤型B、特急型A、特急型Bの空気力係数を既往の103系、485系に対する風洞試験結果から準用する。通勤型の概略評価フローを図8に示す。特急型の概略評価は、図8中の103系を485系に読み替えて実施する。

4.2 風洞試験結果との比較

風洞試験では試験風速 $20 \cdot 25 \cdot 30\text{m/s}$ で空気力を測定したが、本報告では最も試験風速が大きい 30m/s の結果を示す。また、風向角は $90 \cdot 70 \cdot 50 \cdot 30$ 度で風洞試験を実施した。

類似形状車両から準用して求めた $C_{M,lec}$ を同じ条件で

表2 転覆限界風速算出条件

構造物形状	通勤型A	通勤型B	特急型A	特急型B
複線高架橋	R.L.桁高1m	風, L	-	-
	R.L.桁高1.72m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R
	R.L.桁高4.22m	-	-	風, 準
	R.L.桁高6.72m	風, 準	風, 準, L, R	風, 準, L, R
単線橋りょう	R.L.桁高1m	風, L	風, L	風, L
	R.L.桁高1.36m	風, 準, L	準	-
	R.L.桁高2.36m	風, 準	-	-
盛土	R.L.桁高3.86m	風, 準	風, 準, L	風, 準, L
	高さ1.2m	風, 準	風, 準	風, 準
	高さ2m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R
	高さ5m	風, 準	風, 準, L	風, 準
	高さ8m	風, 準	風, 準, R	風, 準, L, R
高さ11m	風, 準	準	風, 準	準



図8 概略評価フロー（通勤型の場合）

の通勤型車両および特急型車両の $C_{M,lee}$ で除した $C_{M,lee}$ 比 (準用/風洞試験) を複線高架橋を例として図9に示す。表2の風洞試験および類似形状車両からの準用の両方を実施している全条件 (緑, 橙, 青, 黄) で比較したところ, $C_{M,lee}$ 比 (準用/風洞試験) は 0.85~1.28 であった。また, C_s 比 (準用/風洞試験) も確認してみたところ, 0.81~1.21 であった。

類似形状車両からの準用で得られた空気力係数から算出された転覆限界風速と風洞試験結果から算出された転覆限界風速の比較は, 6章で述べる。

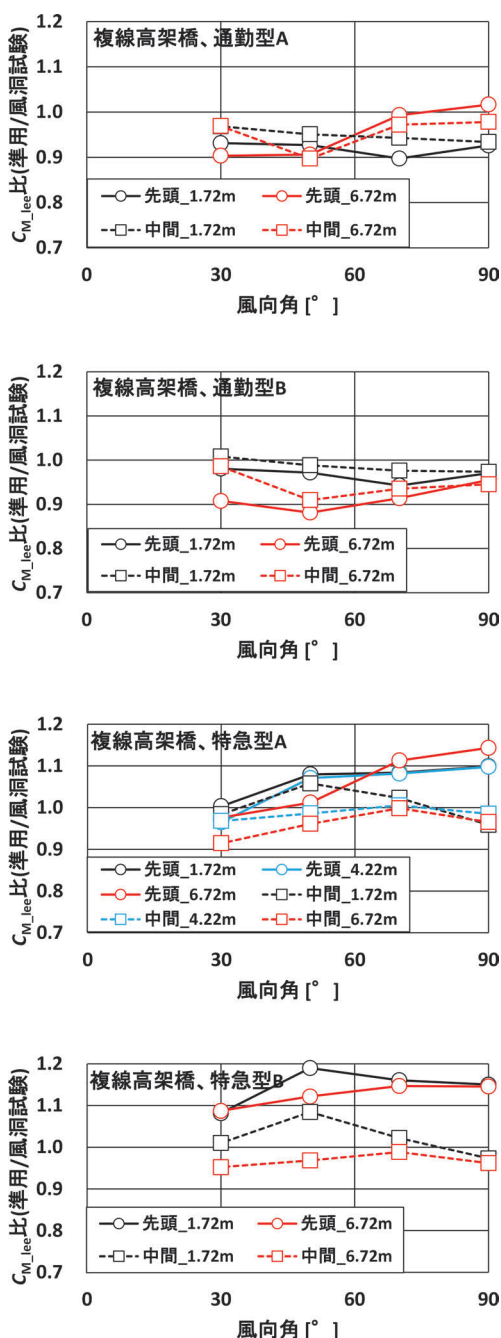


図9 $C_{M,lee}$ 比 (準用 vs 風洞試験)

5. 数値計算 (数値シミュレーション)

本研究では, 2種類の数値シミュレーションを実施した。以下に各数値シミュレーションの解析方法を述べる。

5.1 LESによる解析方法

解析には鉄道総研で開発した「空気流シミュレータ」を用いた³⁾。これは直交格子法に基づく有限差分法流体解析プログラムである。

図10に計算モデルの概要を示す。計算領域は, 流れ方向 (x) に 15.5m, 幅方向 (y) に 5m, 鉛直方向 (z) に 3m とした。 y および z 方向の寸法は風洞試験を実施した大型低騒音風洞密閉型測定部と等しくした。車両モデル (1/40 スケール) は, 先頭車両及び中間車両の2両とダミーの3両目からなり, 3両目の車体断面形状を計算領域端まで延長した (図11)。風洞試験と異なり, ここでは2両目を中間車両と呼び, 計算コスト低減のため, 先頭車と中間車の空気力係数を同時に計算したことに注意が必要である。地上構造物モデルのレール方向長さは, 計算領域の全域とした。ただし, 風向角 30 度の計算ケースのみ, 下流側の車両モデルおよび地上構造物モデルの延長は, 回転中心から 3m までとした。車両モデル及び地上構造物モデルを回転させることで風向角を設定した。計算領域の流入境界面には自然風を模擬した乱流分布を逐次与えた。ここで与える乱流は, 別途実施した風洞試験と同様の乱流境界層生成装置を用いて生成した乱流境界層の計算結果である⁴⁾。なお, 風洞試験の試験風速に相当する流速は 30m/s とした。計算格子は不等間隔直交格子とし, 先頭車両及び中間車両付近で最密になるように滑らかに粗密を設定した。最小格子間隔を 2mm とした。総格子点数は約 6 億点である。

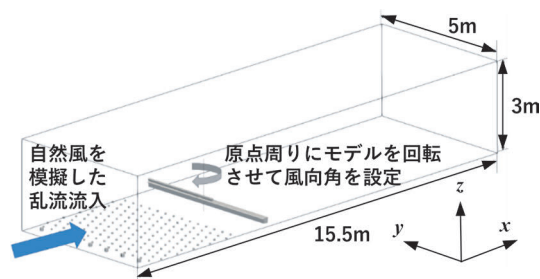


図10 計算モデルの概要

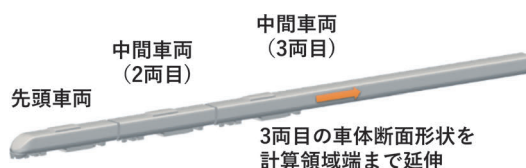


図11 車両モデル

解析における基礎式は非圧縮性流体に対するナビエ・ストークスの式とした。乱流解析方法はラージ・エディ・シミュレーション (LES) とした。空間差分は二次精度中心差分法、時間発展は三次精度のアダムス・バッシュフォース法を用いた。時間進行における時間刻み幅は 6.7×10^{-6} s とした。速度と圧力のカップリングはフラクショナル・ステップ法を用いた。境界条件は、流入境界では上述の自然風を模擬した乱流境界層の速度分布、流出境界では対流流出条件、計算領域の床面では速度ゼロに固定、側面および天井面ではスリップ境界条件とした。物体表現方法は、計算格子セル単位で流体と固体を区別するボクセル法とし、物体表面は速度ゼロに固定した。

空気力係数は、評価時間を短縮する近似手法 (文献 5 で有効性を確認) を用い、評価時間 (1.0s) における空気力の時間平均値と別途実施した乱流境界層のみの計算結果における車両位置の車両長手方向の一次元速度分布の時空間平均値を用いて算出した。1 形状 1 風向角の計算ケースを実施するための計算時間は、鉄道総研のスーパーコンピュータ (Cray XC50) の 3600 並列計算において約 12 時間であった。

5.2 RANS による解析方法

解析における基礎式はレイノルズ平均された非圧縮性流体のナビエ・ストークスの式 (RANS) である。乱流モデルは、過去に実施した横風風洞試験を模擬するシミュレーション⁴⁾ で用いた $k\omega$ -SST モデルとした。速度と圧力のカップリングには SIMPLE 法を、対流項の空間離散化には QUICK スキーム (実質的には二次精度風上差分法) を用いた。なお、ソルバーには Ansys Fluent ver. 17.1 を用いた。計算は、風洞試験の模型縮尺 1/40、試験風速 30m/s と同程度のレイノルズ数で実施した。

図 12 に中間車両および先頭車両を対象とした解析領域を示す。本解析では、風洞試験とは異なり、解析格子は同一として、入口境界の気流の向きを変えることで、風向角が異なる条件の解析を実施し、格子生成に要する手間を削減した。そのため、解析領域の側面 (面の法線がレール方向) には周期境界を課し、地上構造物は解析領域全幅に渡って存在する。解析領域のレール方向の長

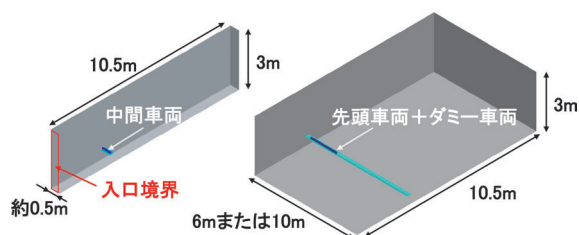


図 12 解析領域 (複線高架橋, R.L. 桁高 1.72m)

さは、中間車両を対象とする解析では、中間車両 1 両 + 車間を合わせた長さ約 0.5m とし、先頭車両を対象とする解析では、6m (複線高架橋 R.L. 桁高 1.72m, 盛土高さ 2m) または 10m (複線高架橋 R.L. 桁高 6.72m, 盛土高さ 8m) とした。先頭車両を対象とする解析において、先頭車両に隣接する車両 (ダミー車両) の長さは、模型寸法で約 1m (約 2 両分) とし、ダミー車両で生じた伴流が、周期境界を通じて先頭車両周辺の流れ場に影響を及ぼすことがないように、解析領域のレール方向長さは十分に広くした。解析領域の高さは、風洞試験に合わせて 3m とし、まくらぎ方向の長さは 10.5m (車両風上 3m, 風下 7.5m) とした。

境界条件に関して、入口境界で速度固定、出口境界で圧力固定、計算領域の天井は対称境界 (スリップ境界) とした。車両および地上構造物の表面は壁境界 (粗さ 0) とし、計算領域の床面は、後述する速度分布を維持させるため、粗さの影響を含んだ壁境界とした。

計算領域入口で与える速度分布の作成に関して、レール方向だけでなく、まくらぎ方向にも周期境界を課した空の解析領域を別途設定し、これに対して圧力勾配をかけることで、完全に発達した乱流境界層を生成した。その際、床面には粗さ (0.05m に設定) の影響を含んだ壁境界条件を課し、風洞試験と同程度の風速が得られるよう圧力勾配を調整した。また、空の解析領域にかかる圧力勾配の向きを変えることで、風向角が異なる場合の乱流境界層を生成した。

車両周りの解析格子は、主にテトラ要素 (四面体) とプリズム要素 (三角柱) で生成した。車両表面の格子幅は 0.5mm から 1.5mm とし、車両表面に発達する薄い境界層を解像するために、車両床下を除き、境界層格子 (プリズム要素) を生成した。境界層格子の高さは最小で 0.05mm とし、10 層生成した。

台車や排障器などの細部は、模型形状を忠実に再現すると格子数が増大するため、形状を適宜簡略化し、格子数を抑えた。ダミー車両の断面形状は一樣とし、中間車両の断面形状に合わせた。

車種や地上構造物によって異なるが、中間車両の場合に、総格子数は 3400 万から 5400 万要素、先頭車両の場合に、5900 万から 8600 万要素となった (5.1 節の LES よりも 1 桁以上少ない)。1 形状 1 風向角の計算ケースを実施するための計算時間は、鉄道総研のスーパーコンピュータ (Cray XC50) の 504 並列計算において先頭車で約 6 時間、中間車で約 4 時間であった。

5.3 数値計算と風洞試験の比較

LES および RANS による数値計算から得られた C_{M_le} を同じ条件の風洞試験から得られた C_{M_le} で除した C_{M_le} 比 (LES/風洞試験) および C_{M_le} 比 (RANS/風洞試

験)を複線高架橋を例として図13および図14に示す。

表2の風洞試験およびLESの両方を実施している全条件(桃, 緑, 黄)で比較したところ, $C_{M_{lee}}$ 比(LES/風洞試験)は0.98~1.58であった。また, C_s 比(LES/風洞試験)も確認してみたところ, 0.90~1.59であった。

次に, 表2の風洞試験およびRANSの両方を実施している全条件(橙, 黄)で比較したところ, $C_{M_{lee}}$ 比(RANS/風洞試験)は0.67~0.98であった。また, C_s 比(RANS/風洞試験)も確認してみたところ, 0.69~1.03であった。

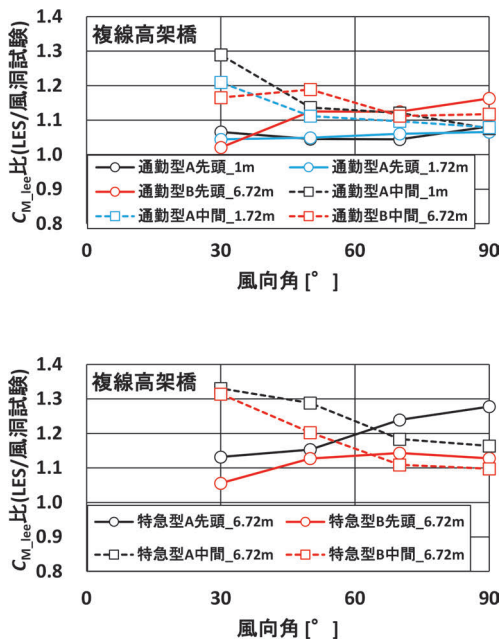


図13 $C_{M_{lee}}$ 比(LES vs 風洞試験)

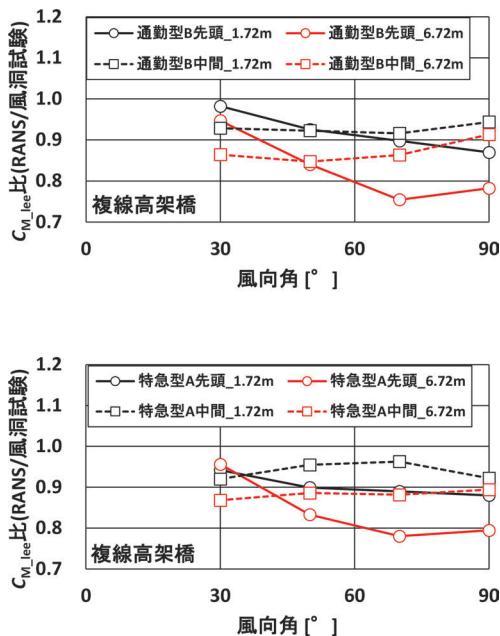


図14 $C_{M_{lee}}$ 比(RANS vs 風洞試験)

6. 3手法による転覆限界風速の比較

本章では, 風洞試験, 類似形状車両からの準用および数値計算(LES, RANS)により算出された空気力係数から転覆限界風速を算出し, 比較する。転覆限界風速は, 3つの空気力係数(C_s, C_L, C_M)と車両諸元を用いて総研詳細式⁶⁾により算出した。本報告では, 直線区間を走行する状態で列車速度を5km/h刻みとし, 通勤型では0~110km/h, 特急型では0~130km/hで算出した。転覆限界風速の評価高さは, 車体中心高さ(図4の Z_V)である)。通勤型Aの車両諸元は通勤型Bの車両諸元と同じとした。従って, もし通勤型Aと通勤型Bの空気力係数が同じであれば, 転覆限界風速も同じとなる。一方, 特急型Aと特急型Bの車両諸元は異なるため, 特急型Aと特急型Bの空気力係数が同じであっても, 転覆限界風速は異なる。

「類似形状車両からの準用および数値計算(LES, RANS)結果から算出された転覆限界風速」から「風洞試験結果から算出された転覆限界風速」を引いた差を図15, 差の絶対値の平均値を図16に示す。ただし, 転覆限界風速が大きい値における差異の情報はあまり重要でないと考えられるため, 風洞試験結果から算出された転覆限界風速が30m/s未満となる条件で整理した結果を示す。図15は箱ひげ図と呼ばれるグラフである。箱ひげ図は, 平均値(図中の×印)や四分位数(25%点(箱の上辺), 50%点(箱の中の線), 75%点(箱の下辺))を示している。図15, 16から, 以下のことが分かる。

- ・本研究の条件内では, LESは風洞試験よりも転覆限界風速を小さく(安全側), RANSは風洞試験よりも転覆限界風速を大きく見積もる傾向にある。
- ・差の絶対値の平均値に着目すると, 複線高架橋上の通勤型では, 類似形状車両からの準用よりも数値シミュレーション(LES, RANS)の方が風洞試験による転覆限界風速の算出値に若干近い(風洞試験結果とLESの転覆限界風速の差の絶対値は1.5m/s)。
- ・平均値に着目すると, 複線高架橋上の特急型および単線橋りょう, 盛土の条件では, 数値シミュレーション(LES, RANS)よりも類似形状車両からの準用の方が風洞試験による転覆限界風速の算出値に近い(風洞試験結果と類似形状車両からの準用の転覆限界風速の差の絶対値の平均値は最大で2.0m/s)。

以上より, 例えばR5000やR8000の新型車両等の強風時風転覆安全性評価を行う場合, まず既往研究の一覧表より空気力係数を準用し, 転覆限界風速を算出することが適当であると考えられる。ここで算出された転覆限界風速の値を見て, 余裕が小さい場合など, 詳細な検討を行う必要があると判断された場合は, 風洞試験を実施することが望ましいと考えられる。また, R5000やR8000以外の

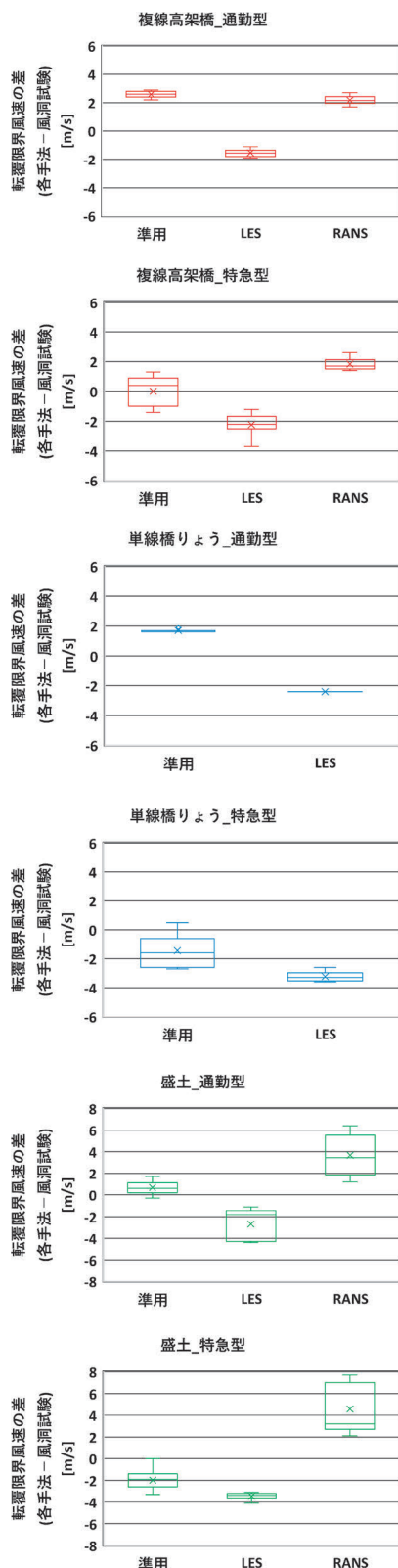


図 15 空気力係数算出方法の違いによる転覆限界風速の差（風洞試験での転覆限界風速が 30m/s 未満の条件）

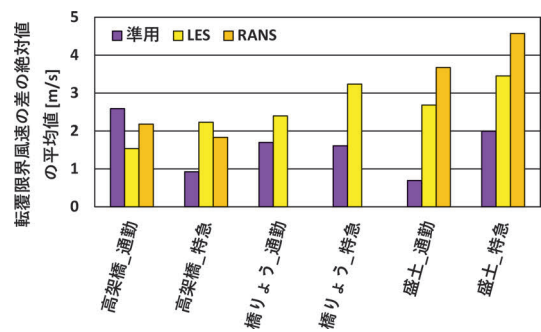


図 16 空気力係数算出方法の違いによる転覆限界風速の差の絶対値の平均値（風洞試験結果での転覆限界風速が 30m/s 未満の条件）

新型車両等の強風時風転覆安全性評価を行う場合は、LES や RANS により計算された空気力係数を用いて転覆限界風速を算出することが考えられる。差の絶対値の平均値に着目すると、その差異は LES で 3.5m/s、RANS で 4.6m/s 以内であると考えられる（図 16）。ただし、本報告で検討した条件における差異であることに注意されたい。

7. まとめ

風洞試験、類似形状車両からの準用および数値計算といった、空気力係数評価方法の違いによる転覆限界風速の差異を調査した。その結果、風洞試験結果から算出された転覆限界風速との差の絶対値の平均値に着目すると、本報告で検討した条件においては、準用で 2.6m/s、LES で 3.5m/s、RANS で 4.6m/s 以内であった。

文献

- 1) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 井門敦志: 在来線車両の空気力係数に関する風洞試験結果, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, pp.47-50, 2013
- 2) 鈴木実, 種本勝二, 斎藤寛之, 今井俊昭: 自然風を模擬した車両に働く空気力に関する風洞試験法, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.47-52, 2003
- 3) 中出孝次, 光用剛: 複雑形状に対応した空気流・空力音シミュレーション, RRR, Vol.72, No.12, pp.22-25, 2015
- 4) 野口雄平, 中出孝次: 横風空力特性に関する風洞試験を模擬した数値シミュレーション, 鉄道総研報告, Vol.31, No.9, pp.11-16, 2017
- 5) Nakade, K., Noguchi, Y. and Kikuchi, K., "Fluctuating aerodynamic force on railway vehicle under crosswind using large-eddy simulation," 8 th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 2016.
- 6) 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

■ 2023年1月号の訂正

調査報告の図中、表中および本文中に誤りがありました。
以下のように訂正させて頂き、お詫び申し上げます。

【訂正箇所①】

p.39 左段19行目

【誤】 1.2, 2, . . .

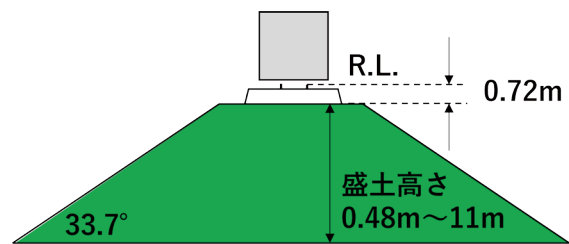
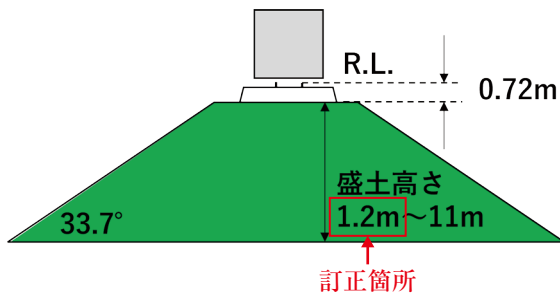
【正】 0.48, 2, . . .

【訂正箇所②】

p.39 図6中の一部表記

【誤】 1.2m

【正】 0.48m



【訂正箇所③】

p.39 表2中の一部表記

【誤】 高さ1.2m

【正】 高さ0.48m

構造物形状		通勤型A	通勤型B	特急型A	特急型B
複線高架橋	R.L.桁高1m	風, L	-	-	-
	R.L.桁高1.72m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R	風, 準
	R.L.桁高4.22m	-	-	風, 準	-
	R.L.桁高6.72m	風, 準	風, 準, L, R	風, 準, L, R	風, 準, L
単線橋りょう	R.L.桁高1m	風, L	風, L	風, L	風, L
	R.L.桁高1.36m	風, 準, L	準	-	-
	R.L.桁高2.36m	風, 準	-	-	-
盛土	R.L.桁高3.86m	風, 準	風, 準, L	風, 準, L	風, 準, L
	高さ1.2m	風, 準	風, 準	風, 準	準
	高さ2m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R	風, 準
	高さ5m	風, 準, L	風, 準, L	風, 準, R	風, 準
	高さ8m	風, 準	風, 準, R	風, 準, L, R	風, 準, L
高さ11m	風, 準	準	風, 準	準	

訂正箇所

構造物形状		通勤型A	通勤型B	特急型A	特急型B
複線高架橋	R.L.桁高1m	風, L	-	-	-
	R.L.桁高1.72m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R	風, 準
	R.L.桁高4.22m	-	-	風, 準	-
	R.L.桁高6.72m	風, 準	風, 準, L, R	風, 準, L, R	風, 準, L
単線橋りょう	R.L.桁高1m	風, L	風, L	風, L	風, L
	R.L.桁高1.36m	風, 準, L	準	-	-
	R.L.桁高2.36m	風, 準	-	-	-
盛土	R.L.桁高3.86m	風, 準	風, 準, L	風, 準, L	風, 準, L
	高さ0.48m	風, 準	風, 準	風, 準	準
	高さ2m	風, 準, L	風, 準, R	風, 準, R	風, 準
	高さ5m	風, 準, L	風, 準, L	風, 準, R	風, 準
	高さ8m	風, 準	風, 準, R	風, 準, L, R	風, 準, L
高さ11m	風, 準	準	風, 準	準	

【訂正箇所④】

p.39 図8中の一部表記

【誤】 □ = 1.2, 2, . . .

【正】 □ = 0.48, 2, . . .



訂正箇所



【訂正箇所⑤】

p.40 左段7行目

【誤】 0.81~1.21

【正】 0.81~1.19

【訂正箇所⑥】

p.42 右段下から8行目

【誤】 2.0m/s

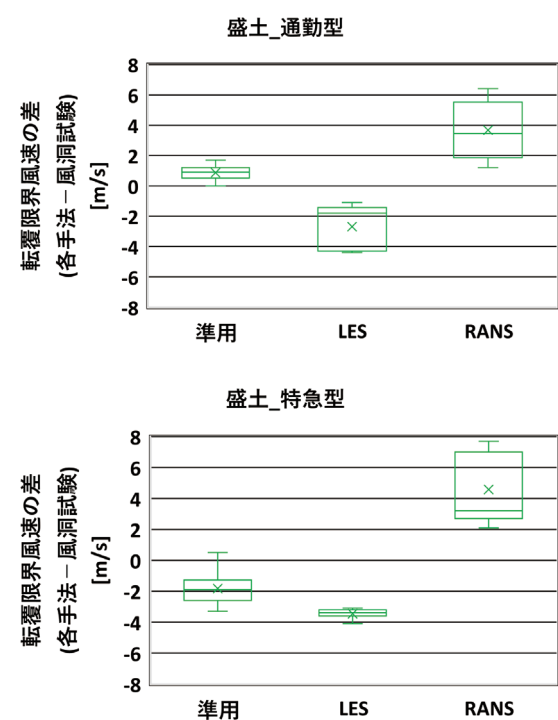
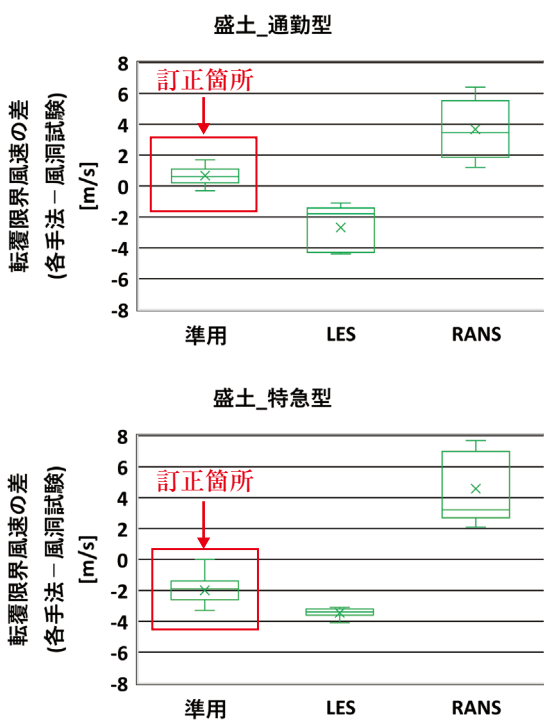
【正】 1.9m/s

【訂正箇所⑦】

p.43 図15中 下2つのグラフ（盛土_通勤型および盛土_特急型の準用の値）

【誤】

【正】



【訂正箇所⑧】

p.43 図16中 盛土_通勤および盛土_特急の準用の値

【誤】

【正】

