

在来線車両の空気力係数に関する風洞試験結果

種本 勝二* 鈴木 実*
 斎藤 寛之** 井門 敦志*

Results of Wind Tunnel Tests for Aerodynamic Coefficients of Railway Vehicles

Katsuji TANEMOTO Minoru SUZUKI
 Hiroyuki SAITOU Atsushi IDO

This report presents the summary tables of aerodynamic force coefficients for meter-gauge railway vehicles obtained by a series of wind tunnel tests using 1/40 scale models in order to provide reference data for safety analysis of train operation under strong winds. The wind tunnel tests were performed for combinations of 5 vehicle models and 7 infrastructure models using a turbulent boundary layer generated artificially on the test section floor to reproduce natural wind conditions.

キーワード：空気力係数，風洞試験，車両形状，線路構造物形状，風向角

1. はじめに

車両の空力特性は，特に高速で走行する新幹線車両において重要な検討項目であり，風洞試験等により詳しく調べられている。一方，在来線車両においても，横風を受ける車両に働く空気力の特性は強風時の走行安全性に直接影響するため重要な検討項目である。鉄道総研では，在来線の代表的な車両形状と線路構造物形状の種々の組み合わせを対象として，自然風を模擬した乱流状態の横風下での車両の空気力特性を風洞試験により調査し，強風時の走行安全性を検討するための基礎データとして活用している。それらの空気力特性に関する風洞試験結果については，関連する総研報告¹⁾等で部分的には発表してきたが，全体を体系化した形で公表する機会はいまだなかつた。近年，リスク分析などの新しい安全性評価の考え方が導入され，強風時の安全性評価に関しても，様々な条件下での定量的な分析が試みられるようになってきている。そこで本稿では，それらの分析に必要となる空力特性に関する基礎データを提供するため，在来線車両の空気力係数に関する風洞試験結果を一覧表の形で報告する。

2. 風洞試験概要

2.1 車両形状

在来線の代表的な車両形状においては，車両幅は形式

によらずほぼ同じで，車両底面から屋根上までの高さは2階建車両とそれ以外とに大別される。そこで，車両断面形状の中で空気力係数に最も影響を及ぼす屋根形状に着目し，車両高さとの組み合わせから図1に示す5形式の車両形状を選定した。模型の縮尺は1/40であり，対象車両の諸元を表1に示す。

表1 車両諸元（カッコ内は縮尺1/40の模型諸元）

	記号	24系	285系	103系	485系	コキ5000
車両長さ (m)	L	20.8(0.520)	21.2(0.531)	19.5(0.488)	20(0.5000)	17.5(0.438)
車両高さ (m)	h	3.08(0.077)	3.92(0.098)	2.62(0.066)	2.47(0.062)	3.05(0.076)
車両幅 (m)	B	2.90(0.073)	2.90(0.073)	2.80(0.070)	2.95(0.074)	2.30(0.058)
車両側面積 (m ²)	S _A	1.60(0.040)	2.08(0.052)	1.28(0.032)	1.24(0.031)	1.33(0.033)
車両中心高さ (m)	h _c	2.55(0.064)	1.96(0.049)	2.36(0.059)	2.24(0.056)	1.93(0.048)
R.L～屋根上面 (m)	Th	4.09(0.102)	4.07(0.102)	3.68(0.092)	3.48(0.087)	3.45(0.086)
R.L～車両底面 (m)	Tb	1.01(0.025)	0.16(0.004)	1.04(0.026)	1.10(0.003)	0.40(0.010)

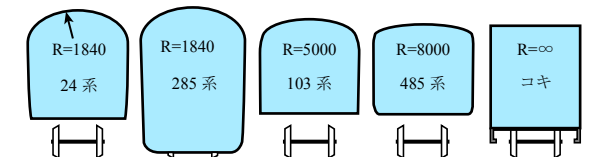


図1 車両断面形状（5形式）

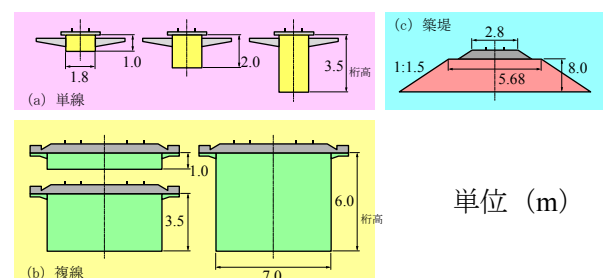


図2 線路構造物形状（7種類）

* 環境工学研究部 車両空力特性研究室

** 環境工学研究部 熱・空気流動研究室

2.2 線路構造物形状

車両に働く空気力は車両形状だけでなく、線路構造物形状にも依存する。在来線の明かり区間の代表的な線路構造物形状は、橋梁、高架橋、築堤に大別される。そこで、線路構造物形状の中で橋梁と高架橋について、空気力係数に最も影響の大きい桁高に着目し、3種類(1m, 2m, 3.5m)の桁高の単線橋梁(無道床)と、3種類(1m, 3.5m, 6m)の桁高の箱桁高架橋、さらに高さ8mの築堤の合計7種類の形状を選定した(図2)。

2.3 風洞気流(乱流境界層)

以前の横風風洞試験では、風洞気流は主に一様流が用いられてきた。しかし、一般に自然風は空間的、時間的に変動する乱流であることから、車両に働く空気力を精度良く求めるためには、この自然風の特徴を持つ気流を風洞内に再現する必要がある。自然風の鉛直分布と乱れ強さは、日本建築学会建築物荷重指針・同解説²⁾で、地表面の状況により五つの地表粗度区分に応じた標準値が示されている。平均風速は、鉛直勾配を示す「ベキ指数： α 」が大きくなると地表面付近の風速は小さくなる。乱れの強さ I は、地形などの影響を受ける地表付近では大きく、地表からの高さとともに小さくなる。用いた乱流境界層は、測定部の入口より下流16,800mmの床面に設置されているターンテーブル中心から上流側へ5,000mm、床面から高さ1,800mm(設定高さ Z_0)に設置したピット管で測定した設定風速 U_0 を基準とした。今回、市街地を想定した乱流境界層ベキ指数 α は1/4(0.26)、風洞床面から500mm(実寸換算20m)高さの平均風速比 (U/U_0) は0.7、乱れの強さ I_u (流れ方向の標準偏差 σ_u /設定風速 U_0)は0.17とした(図3)。

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^\alpha, I_u = \frac{\sigma_u}{U_0} \quad \dots\dots(1)$$

U : 風速(m/s), U_0 : 設定風速(m/s), Z : 地表高さ(m), Z_0 : 設定高さ(m), I_u : 乱れの強さ, σ_u : 流れ方向の標準偏差

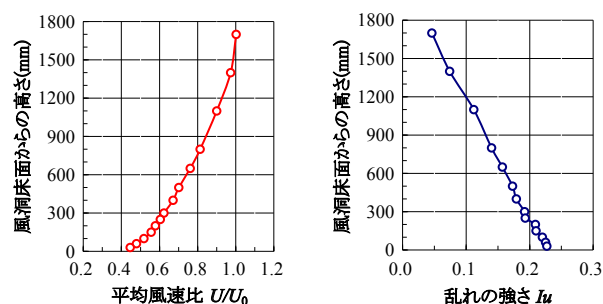


図3 乱流境界層の風洞気流特性

2.4 車両に働く空気力の測定

空気力を測定する車両模型と線路構造物模型は密閉型ターンテーブル上に設置した。中間車の空気力を測定する場合、中間車両一両を風洞中心に設置し、その両側に

ダミー車両、車両の下方には橋梁等の線路構造物模型を風洞壁まで設置して二次元流れを再現した。車両と橋梁模型は一体で回転して風向角を設定し、車両に対する風向角は $\beta = 30, 50, 70, 90$ (真横)度の4段階について行った。試験風速は20, 25, 30m/sの3段階で空気力を測定した。流れの相似則に関するパラメータであるレイノルズ数 $Re(=Uh/\nu)$ は、空気の動粘性係数 $\nu=1.5 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ とすると、実車の場合、車両高さ $h=4\text{m}$ 、強風時の風速 $U=30\text{m/s}$ とすると $Re=8 \times 10^6$ となる。風洞試験では車両高さ $h=0.1\text{m}$ とすると $Re=2 \times 10^5$ となる。風洞試験におけるレイノルズ数は実車の場合のレイノルズ数に比べ桁小さいが、車両のように角張っている物体の場合レイノルズ数の影響は小さく、また、風洞試験を行った範囲では、レイノルズ数の影響が小さいこと、すなわち空気力係数に差がないことが確認できたため、本報告では30m/sの風洞試験結果を示す。風洞断面積に対する模型の閉塞率は、車両形状や橋梁及び高架橋の桁高の組み合わせで異なるが、桁高1~6mの橋梁及び高架橋の場合は約4~8%、高さ8mの築堤の場合は約10%である。

車両の転覆に影響のある空気力は横力 S 、揚力 L 、ローリングモーメント M であり、その中でも最も影響が大きい空気力は横力 S である。車両に働く空気力は測定車両模型に内蔵した6分力天秤(日章電機製LMC-6522-38/Z80)で車両1両分に働く空気力を測定した。車両に働く空気力は車両に固定した座標系で表し、空気力係数(C_S : 横力係数, C_L : 揚力係数, C_M : ローリングモーメント係数)は図4のように定義する。乱流境界層の試験では、平均風速は床面からの高さ方向に変化するため、模型の設置高さが重要となり、空気力係数を算出する基準風速 U を明確にしておく必要がある。空気力係数の算出にあたって、基準風速 U は、模型のない場合(接近流)の地表面からの車両中心高さの風速値とした。乱流境界層の平均風速分布と線路構造物及び車両模型の高

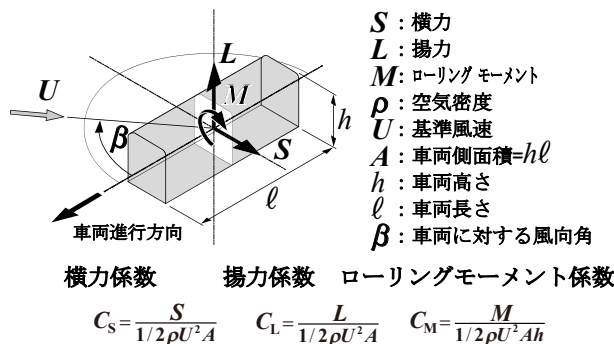


図4 車両に作用する空気力と座標系

表2 基準高さ H (実寸換算: 単位 m)

構造物	車両形状	24系	285系	103系	485系	コキ50000
単線橋梁	R.L.からの高さ	2.55	2.16	2.36	2.24	2.31
	床面からの高さ	24.11	23.72	23.92	23.80	23.87
複線高架橋	R.L.からの高さ	2.55	2.16	2.36	2.24	2.31
	床面からの高さ	22.75	22.36	22.56	22.44	22.51
築堤	R.L.からの高さ	2.55	2.16	2.36	2.24	2.31
	床面からの高さ	11.27	10.88	11.08	10.96	11.03

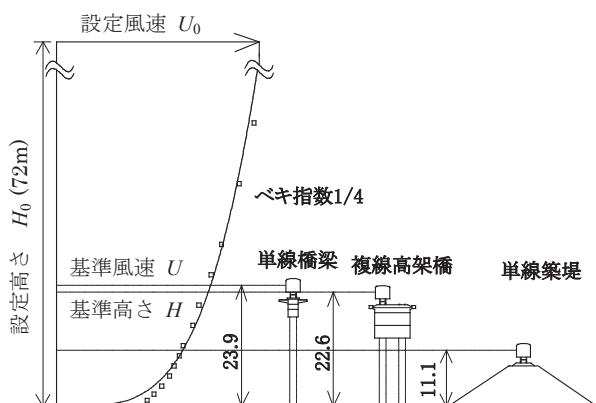


図5 乱流境界層と基準高さHの例(実寸換算:単位m)

表3 風速比(基準風速U/設定風速U0)

	24系	285系	103系	485系	コキ50000
単線橋梁	0.742	0.738	0.740	0.739	0.740
複線高架橋	0.729	0.725	0.727	0.725	0.726
単線築堤	0.616	0.612	0.614	0.613	0.614

この関係の一例を図5に示す。車両と線路構造物の組み合わせた条件に対する基準高さHを表2に、基準風速Uと設定風速U0の比の風速比を表3に示す。

3. 空気力係数の算出

表4~6に示す空気力係数は、風洞試験における設定風速U0を用いた空気力係数(表中I)と、車両と線路構造物を組み合わせ、それぞれの条件における基準高

さH(表2)の基準風速Uを用いた空気力係数(表中II)、それぞれに対する値である。

車両形状についてみると、横力係数C3はコキ、485系、103系、24系、285系の順で小さくなり、屋根形状が丸い方が横力係数の小さくなる傾向が見られた。また、風向角90度(真横の風)の場合、先頭車よりも中間車の方が横力係数は大きい傾向を示した。

4. おわりに

本報告の目的は、強風時の安全性評価で必要となる空気特性の基礎データを提供することであり、内容の主体は空気力係数の一覧表となっている。この結果を用いて、車両力学解析⁴⁾を実施することで、強風下での車両の走行安全性の検討が可能となる。

なお、本報告で提示した結果は、車両が地面に対して静止した状態で実施した風洞試験によるものである。その際、車両が走行する効果は、風洞の気流を、上流における相対風速と合わせるにより取り扱っている。一方、実際の鉄道では、車両が地面に対して相対的に移動しているが、この点は風洞試験とは異なっている。この違いは、少なくとも、中間車両や平地の条件では大きな影響を及ぼすことはないと考えられるが、他の条件等も対象として、影響を明らかにするため、現在、風洞測定部内で車両模型を走行させる装置を用いた研究を進めている。

表4 横力係数一覧表(I:設定風速U0, II:基準風速U)

線路構造物	桁高(m)	風向角β(度)	24系車両				285系車両				103系車両				485系車両				コキ50000			
			後尾車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		後尾車		中間車	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II		
単線橋梁	1	90	0.55	1.01	0.65	1.17	0.52	0.95	0.55	1.01	0.71	1.29	0.79	1.44	0.79	1.44	0.83	1.52	0.93	1.70	0.99	1.81
		70	0.58	1.05	0.58	1.05	0.54	0.99	0.50	0.92	0.69	1.27	0.73	1.33	0.79	1.44	0.77	1.41	0.91	1.66	0.90	1.64
		50	0.50	0.90	0.44	0.80	0.45	0.83	0.37	0.68	0.57	1.04	0.51	0.93	0.63	1.16	0.54	0.99	0.69	1.26	0.60	1.10
		30	0.29	0.53	0.21	0.38	0.26	0.47	0.18	0.32	0.33	0.61	0.24	0.44	0.35	0.63	0.27	0.49	0.37	0.68	0.29	0.52
	2	90	0.60	1.09	0.67	1.21	0.54	0.98	0.57	1.04	0.83	1.52	0.92	1.68	0.86	1.57	0.91	1.66	0.99	1.82	1.08	1.98
		70	0.63	1.14	0.60	1.10	0.57	1.04	0.53	0.97	0.79	1.44	0.78	1.42	0.87	1.60	0.82	1.50	0.98	1.79	0.95	1.73
		50	0.53	0.97	0.46	0.84	0.48	0.87	0.37	0.69	0.63	1.15	0.55	1.00	0.69	1.26	0.59	1.08	0.74	1.36	0.63	1.15
		30	0.31	0.57	0.22	0.40	0.27	0.49	0.17	0.31	0.36	0.65	0.26	0.47	0.38	0.69	0.27	0.49	0.39	0.72	0.29	0.54
	3.5	90	0.61	1.11	0.70	1.28	0.54	0.99	0.57	1.05	0.91	1.66	1.00	1.83	0.91	1.67	0.93	1.71	1.07	1.95	1.14	2.07
		70	0.61	1.11	0.62	1.12	0.55	1.01	0.52	0.96	0.86	1.57	0.87	1.58	0.91	1.67	0.84	1.54	1.04	1.90	1.03	1.88
		50	0.53	0.96	0.45	0.82	0.48	0.88	0.37	0.68	0.65	1.19	0.59	1.08	0.71	1.29	0.56	1.03	0.80	1.46	0.68	1.24
		30	0.31	0.56	0.22	0.40	0.28	0.51	0.17	0.32	0.38	0.69	0.28	0.50	0.39	0.71	0.28	0.50	0.43	0.79	0.32	0.59
複線高架橋	1	90	0.55	1.03	0.61	1.04	0.49	0.94	0.52	0.99	0.71	1.35	0.78	1.47	0.75	1.43	0.77	1.47	0.91	1.72	0.96	1.83
		70	0.56	1.06	0.56	1.06	0.51	0.96	0.51	0.98	0.67	1.28	0.71	1.34	0.75	1.42	0.74	1.40	0.86	1.63	0.87	1.64
		50	0.47	0.89	0.43	0.82	0.46	0.87	0.36	0.69	0.56	1.06	0.50	0.94	0.61	1.15	0.52	0.98	0.68	1.28	0.57	1.09
		30	0.29	0.54	0.20	0.38	0.27	0.51	0.15	0.29	0.34	0.65	0.24	0.45	0.35	0.67	0.23	0.44	0.37	0.70	0.26	0.49
	3.5	90	0.56	1.06	0.64	1.21	0.48	0.91	0.53	1.02	0.86	1.62	0.94	1.78	0.83	1.58	0.89	1.69	1.01	1.92	1.08	2.04
		70	0.56	1.06	0.58	1.10	0.51	0.98	0.51	0.97	0.81	1.53	0.84	1.59	0.85	1.61	0.80	1.52	1.00	1.90	1.00	1.90
		50	0.48	0.90	0.45	0.84	0.48	0.91	0.37	0.70	0.63	1.20	0.55	1.05	0.66	1.25	0.54	1.02	0.75	1.41	0.65	1.23
		30	0.29	0.54	0.21	0.40	0.27	0.51	0.16	0.31	0.35	0.66	0.24	0.46	0.36	0.68	0.24	0.45	0.39	0.74	0.28	0.54
	6	90	0.55	1.03	0.63	1.19	0.46	0.88	0.51	0.97	0.91	1.72	0.99	1.88	0.88	1.68	0.93	1.76	1.03	1.96	1.12	2.12
		70	0.54	1.01	0.57	1.07	0.48	0.92	0.47	0.90	0.87	1.65	0.88	1.67	0.90	1.71	0.83	1.59	1.02	1.94	1.04	1.98
		50	0.46	0.87	0.42	0.79	0.45	0.85	0.35	0.67	0.66	1.26	0.57	1.09	0.69	1.32	0.54	1.04	0.79	1.50	0.71	1.35
		30	0.27	0.52	0.20	0.38	0.25	0.48	0.16	0.30	0.36	0.68	0.27	0.50	0.37	0.71	0.24	0.46	0.42	0.79	0.30	0.58
築堤	8	90	0.37	0.97	0.42	1.10	0.32	0.84	0.35	0.94	0.62	1.66	0.64	1.71	0.58	1.54	0.59	1.58	0.70	1.87	0.72	1.92
		70	0.35	0.91	0.38	1.00	0.30	0.81	0.28	0.75	0.58	1.54	0.58	1.54	0.56	1.50	0.53	1.40	0.64	1.71	0.65	1.72
		50	0.34	0.89	0.29	0.77	0.32	0.85	0.21	0.55	0.54	1.43	0.41	1.09	0.54	1.44	0.36	0.97	0.63	1.67	0.46	1.23
		30	0.23	0.60	0.15	0.39	0.22	0.59	0.10	0.27	0.32	0.85	0.19	0.52	0.33	0.88	0.18	0.47	0.38	1.01	0.23	0.60

表5 揚力係数一覧表 (I: 設定風速 U_0 , II: 基準風速 U)

線路 構造 物	桁高 (m)	風向角 β (度)	24系車両				285系車両				103系車両				485系車両				コキ50000			
			後尾車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		後尾車		中間車	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
単線橋梁	1	90	0.37	0.68	0.26	0.48	0.18	0.34	0.19	0.36	0.40	0.72	0.41	0.74	0.45	0.82	0.45	0.82	0.14	0.26	0.15	0.28
		70	0.38	0.68	0.26	0.47	0.19	0.34	0.23	0.42	0.41	0.75	0.44	0.80	0.45	0.83	0.45	0.82	0.17	0.30	0.19	0.36
		50	0.33	0.59	0.23	0.41	0.17	0.31	0.18	0.32	0.34	0.62	0.32	0.57	0.36	0.66	0.38	0.70	0.21	0.38	0.24	0.44
		30	0.19	0.34	0.10	0.19	0.10	0.19	0.08	0.14	0.17	0.31	0.14	0.25	0.19	0.35	0.19	0.35	0.11	0.20	0.11	0.20
	2	90	0.43	0.78	0.33	0.59	0.22	0.40	0.23	0.43	0.47	0.85	0.46	0.83	0.48	0.87	0.48	0.88	0.18	0.33	0.19	0.34
		70	0.43	0.79	0.31	0.57	0.23	0.42	0.26	0.47	0.49	0.90	0.48	0.88	0.50	0.92	0.49	0.90	0.19	0.34	0.22	0.41
		50	0.37	0.67	0.27	0.49	0.20	0.36	0.20	0.37	0.42	0.76	0.37	0.68	0.41	0.74	0.42	0.77	0.24	0.43	0.28	0.51
		30	0.20	0.37	0.12	0.22	0.11	0.20	0.09	0.16	0.20	0.36	0.16	0.30	0.22	0.40	0.20	0.37	0.13	0.23	0.13	0.24
	3.5	90	0.48	0.87	0.43	0.78	0.24	0.45	0.26	0.48	0.46	0.84	0.43	0.78	0.57	1.05	0.52	0.95	0.23	0.42	0.20	0.36
		70	0.47	0.86	0.38	0.70	0.25	0.46	0.27	0.49	0.50	0.92	0.48	0.88	0.58	1.06	0.55	1.00	0.20	0.37	0.25	0.45
		50	0.41	0.74	0.30	0.55	0.22	0.40	0.21	0.38	0.45	0.83	0.41	0.75	0.49	0.89	0.47	0.86	0.27	0.50	0.33	0.59
		30	0.22	0.41	0.14	0.26	0.12	0.23	0.09	0.17	0.23	0.42	0.18	0.33	0.26	0.48	0.23	0.43	0.16	0.30	0.15	0.28
複線高架橋	1	90	0.40	0.74	0.31	0.58	0.22	0.43	0.25	0.47	0.47	0.89	0.51	0.96	0.47	0.90	0.43	0.82	0.22	0.42	0.24	0.45
		70	0.40	0.75	0.32	0.61	0.23	0.43	0.31	0.59	0.49	0.93	0.54	1.02	0.48	0.90	0.45	0.86	0.24	0.45	0.30	0.57
		50	0.35	0.66	0.28	0.52	0.22	0.42	0.23	0.45	0.42	0.79	0.39	0.74	0.41	0.78	0.40	0.76	0.28	0.52	0.30	0.57
		30	0.23	0.43	0.13	0.24	0.15	0.28	0.10	0.19	0.23	0.44	0.17	0.32	0.24	0.46	0.19	0.37	0.17	0.32	0.13	0.26
	3.5	90	0.38	0.72	0.33	0.62	0.23	0.43	0.25	0.48	0.38	0.72	0.40	0.75	0.45	0.85	0.44	0.83	0.20	0.37	0.22	0.43
		70	0.39	0.74	0.33	0.62	0.24	0.46	0.30	0.56	0.44	0.84	0.49	0.93	0.46	0.88	0.48	0.91	0.21	0.40	0.26	0.49
		50	0.36	0.68	0.30	0.56	0.24	0.46	0.25	0.49	0.45	0.85	0.41	0.77	0.44	0.84	0.43	0.82	0.26	0.49	0.34	0.64
		30	0.24	0.45	0.14	0.27	0.16	0.30	0.12	0.22	0.25	0.48	0.19	0.35	0.25	0.48	0.22	0.41	0.18	0.35	0.16	0.30
	6	90	0.36	0.68	0.33	0.62	0.22	0.43	0.25	0.47	0.31	0.59	0.32	0.61	0.41	0.78	0.38	0.72	0.15	0.29	0.16	0.30
		70	0.38	0.71	0.33	0.61	0.24	0.45	0.27	0.51	0.35	0.67	0.42	0.79	0.41	0.77	0.46	0.87	0.16	0.31	0.20	0.38
		50	0.36	0.69	0.28	0.53	0.23	0.44	0.25	0.48	0.43	0.82	0.39	0.74	0.43	0.82	0.45	0.86	0.20	0.38	0.32	0.61
		30	0.24	0.45	0.14	0.27	0.15	0.29	0.12	0.22	0.27	0.51	0.20	0.39	0.27	0.51	0.24	0.45	0.18	0.34	0.17	0.32
築堤	8	90	0.28	0.73	0.27	0.71	0.15	0.41	0.22	0.58	0.28	0.75	0.21	0.56	0.32	0.84	0.25	0.68	0.19	0.49	0.15	0.39
		70	0.28	0.73	0.25	0.66	0.14	0.38	0.17	0.45	0.24	0.62	0.21	0.57	0.26	0.70	0.25	0.66	0.14	0.37	0.16	0.44
		50	0.28	0.72	0.21	0.55	0.15	0.40	0.16	0.43	0.29	0.77	0.22	0.59	0.30	0.80	0.26	0.69	0.16	0.42	0.18	0.48
		30	0.20	0.53	0.13	0.35	0.13	0.36	0.09	0.25	0.23	0.60	0.15	0.39	0.25	0.66	0.17	0.45	0.15	0.41	0.12	0.31

表6 ローリングモーメント係数一覧表 (I: 設定風速 U_0 , II: 基準風速 U)

線路 構造 物	桁高 (m)	風向角 β (度)	24系車両				285系車両				103系車両				485系車両				コキ50000			
			後尾車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		後尾車		中間車	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
単線橋梁	1	90	-0.12	-0.22	-0.13	-0.23	-0.03	-0.06	-0.04	-0.07	-0.11	-0.21	-0.14	-0.25	-0.07	-0.12	-0.11	-0.20	-0.10	-0.19	-0.11	-0.20
		70	-0.12	-0.22	-0.11	-0.19	-0.04	-0.06	-0.03	-0.06	-0.11	-0.20	-0.13	-0.23	-0.06	-0.11	-0.11	-0.19	-0.10	-0.18	-0.10	-0.18
		50	-0.11	-0.19	-0.08	-0.15	-0.03	-0.05	-0.02	-0.05	-0.09	-0.17	-0.09	-0.17	-0.06	-0.11	-0.08	-0.14	-0.06	-0.11	-0.05	-0.10
		30	-0.06	-0.10	-0.04	-0.08	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02	-0.05	-0.10	-0.05	-0.09	-0.03	-0.05	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06	-0.02	-0.04
	2	90	-0.14	-0.25	-0.14	-0.25	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.13	-0.24	-0.16	-0.29	-0.09	-0.16	-0.14	-0.25	-0.12	-0.21	-0.13	-0.23
		70	-0.14	-0.26	-0.13	-0.23	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.12	-0.22	-0.13	-0.24	-0.08	-0.15	-0.12	-0.22	-0.11	-0.20	-0.11	-0.20
		50	-0.12	-0.22	-0.10	-0.18	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.10	-0.18	-0.10	-0.18	-0.07	-0.13	-0.09	-0.17	-0.07	-0.13	-0.06	-0.11
		30	-0.07	-0.13	-0.05	-0.09	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04	-0.06	-0.02	-0.05
	3.5	90	-0.14	-0.25	-0.13	-0.24	-0.05	-0.09	-0.05	-0.09	-0.15	-0.27	-0.18	-0.32	-0.08	-0.15	-0.14	-0.25	-0.14	-0.25	-0.15	-0.27
		70	-0.14	-0.25	-0.12	-0.21	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.13	-0.24	-0.15	-0.28	-0.08	-0.14	-0.12	-0.23	-0.14	-0.25	-0.13	-0.24
		50	-0.12	-0.22	-0.09	-0.16	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.10	-0.18	-0.11	-0.20	-0.07	-0.13	-0.09	-0.16	-0.09	-0.17	-0.08	-0.14
		30	-0.07	-0.12	-0.04	-0.08	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.05	-0.09	-0.04	-0.07	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06
複線高架橋	1	90	-0.11	-0.21	-0.11	-0.21	-0.03	-0.06	-0.03	-0.06	-0.09	-0.17	-0.11	-0.21	-0.06	-0.11	-0.10	-0.18	-0.11	-0.20	-0.11	-0.20
		70	-0.11	-0.21	-0.10	-0.19	-0.03	-0.06	-0.03	-0.05	-0.08	-0.16	-0.10	-0.19	-0.06	-0.11	-0.09	-0.17	-0.10	-0.20	-0.10	-0.18
		50	-0.09	-0.17	-0.08	-0.15	-0.03	-0.05	-0.02	-0.04	-0.07	-0.13	-0.07	-0.14	-0.05	-0.09	-0.07	-0.12	-0.07	-0.12	-0.05	-0.10
		30	-0.05	-0.10	-0.04	-0.07	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.02	-0.04
	3.5	90	-0.13	-0.24	-0.13	-0.25	-0.04	-0.08	-0.04	-0.09	-0.13	-0.24	-0.15	-0.29	-0.09	-0.17	-0.13	-0.25	-0.13	-0.25	-0.14	-0.26
		70	-0.13	-0.24	-0.12	-0.22	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.12	-0.22	-0.13	-0.25	-0.09	-0.17	-0.11	-0.22	-0.13	-0.25	-0.13	-0.24
		50	-0.10	-0.20	-0.09	-0.17	-0.04	-0.07	-0.03	-0.05	-0.09	-0.17	-0.09	-0.17	-0.07	-0.13	-0.08	-0.14	-0.09	-0.17	-0.06	-0.12
		30	-0.06	-0.11	-0.04	-0.08	-0.02	-0.04	-0.01	-0.02	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.04	-0.08	-0.04	-0.03	-0.06	-0.03
	6	90	-0.15	-0.28	-0.16	-0.30	-0.05	-0.09	-0.06	-0.11	-0.15	-0.28	-0.17	-0.32	-0.12	-0.22	-0.16	-0.31	-0.14	-0.26	-0.15	-0.28
		70	-0.14	-0.27	-0.14	-0.26	-0.04	-0.09	-0.05	-0.09	-0.14	-0.26	-0.15	-0.28	-0.12	-0.22	-0.14	-0.27	-0.14	-0.26	-0.14	-0.27
		50	-0.12	-0.22	-0.11	-0.20	-0.04	-0.07	-0.03	-0.07	-0.10	-0.19	-0.10	-0.18	-0.08	-0.16	-0.09	-0.18	-0.10	-0.19	-0.08	-0.15
		30	-0.06	-0.12	-0.05	-0.10	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	-0.05	-0.10	-0.05	-0.09	-0.05	-0.10	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06
築堤	8	90	-0.09	-0.25	-0.09	-0.24	-0.03	-0.09	-0.04	-0.11	-0.10	-0.27	-0.12	-0.31	-0.08	-0.21	-0.10	-0.26	-0.10	-0.26	-0.10	-0.27
		70	-0.09	-0.24	-0.08	-0.22	-0.03	-0.09	-0.03	-0.09	-0.09	-0.25	-0.10	-0.28	-0.07	-0.19	-0.09	-0.23	-0.09	-0.25	-0.10	-0.25
		50	-0.08	-0.22	-0.07	-0.18	-0.03	-0.09	-0.02	-0.06	-0.08	-0.23	-0.07	-0.20	-0.07	-0.17	-0.06	-0.16	-0.09	-0.24	-0.07	-0.17
		30	-0.05	-0.14	-0.04	-0.11	-0.02	-0.06	-0.01	-0.04	-0.05	-0.13	-0.04	-0.10	-0.04	-0.10	-0.03	-0.08	-0.04	-0.12	-0.03	-0.17

文 献

- 1) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 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.17-22, 2004
- 2) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 20

■ 訂正とお詫び

本報告の図、表に誤りがありました。お詫び申し上げますとともに、以下のように訂正箇所を赤字で示し訂正させていただきます。また、表の修正に伴い本文中の用語を一部正誤表のように訂正させていただきます。

訂正箇所 47 ページ 表 1

表 1 車両諸元 (カッコ内は縮尺 1/40 の模型諸元)

	記号	24 系	二階建		103 系	485 系	コキ 50000
			285 系先頭	215 系中間			
車体長さ (m)	l	20.8(0.520)	21.2(0.531)	19.5(0.488)	19.5(0.488)	20.0(0.500)	18.9(0.473)
車体高さ (m)	h	3.08(0.077)	3.88(0.097)	3.92(0.098)	2.64(0.066)	2.48(0.062)	2.88(0.072)
車体幅 (m)	B	2.92(0.073)	2.92(0.073)	2.92(0.073)	2.80(0.070)	2.96(0.074)	2.44(0.061)
車体側面積 (m ²)	S_A	64.0(0.040)	83.2(0.052)	76.8(0.048)	51.2(0.032)	49.6(0.031)	54.4(0.034)
車体中心高さ (m)	h_c	2.56(0.064)	2.16(0.054)	2.16(0.054)	2.36(0.059)	2.24(0.056)	2.32(0.058)
R.L. ~ 屋根上面 (m)	T_h	4.08(0.102)	4.12(0.103)	4.12(0.103)	3.68(0.092)	3.48(0.087)	3.52(0.088)
R.L. ~ 車体底面 (m)	T_b	1.00(0.025)	0.24(0.006)	0.20(0.005)	1.04(0.026)	1.00(0.025)	0.64(0.016)

※実物寸法と模型寸法の換算には数値の丸め誤差を伴う場合があります

訂正箇所 48 ページ 図 4

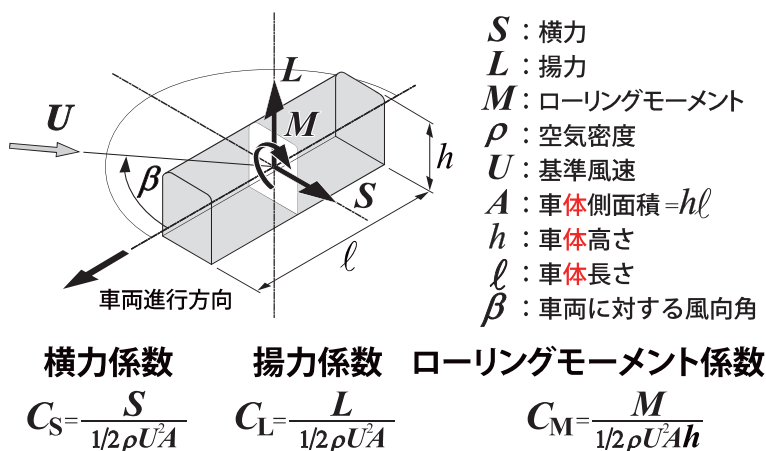


図 4 車両に作用する空気力と座標系

訂正箇所 48 ページ 表 2

表 2 基準高さ H (実寸換算：単位 m)

車両形状 構造物		24 系	二階建		103 系	485 系	コキ 50000
			285 系先頭	215 系中間			
単線橋梁	R.L. からの高さ	2.56	2.16	2.16	2.36	2.24	2.32
	床面からの高さ	24.16	23.76	23.76	23.96	23.84	23.92
複線高架橋	R.L. からの高さ	2.56	2.16	2.16	2.36	2.24	2.32
	床面からの高さ	22.76	22.36	22.36	22.56	22.44	22.52
築堤	R.L. からの高さ	2.56	2.16	2.16	2.36	2.24	2.32
	床面からの高さ	11.28	10.88	10.88	11.08	10.96	11.04

訂正箇所 49 ページ 図 5

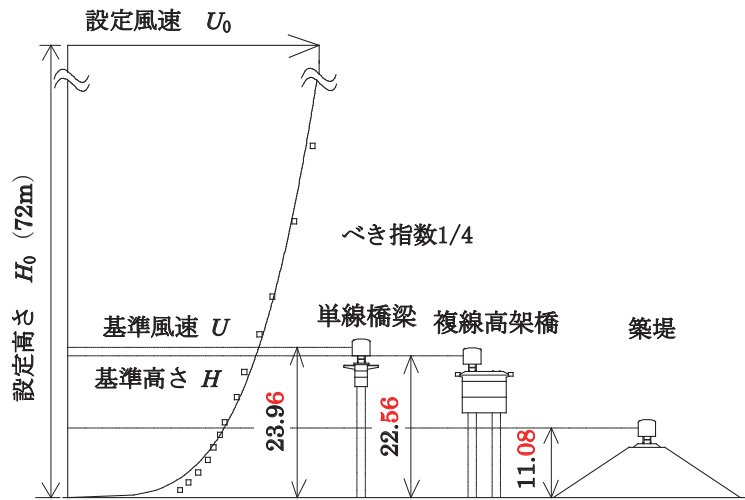


図 5 乱流境界層と基準高さ H の例 (実寸換算：単位 m)

訂正箇所 49 ページ 表 3

表 3 風速比 (基準風速 U / 設定風速 U_0)

	24 系	二階建		103 系	485 系	コキ 50000
		285 系先頭	215 系中間			
単線橋梁	0.742	0.738	0.738	0.740	0.739	0.740
複線高架橋	0.728	0.724	0.724	0.726	0.725	0.726
単線築堤	0.616	0.612	0.612	0.614	0.613	0.614

表 4 横力係数一覧表 (I : 設定風速 U_0 , II : 基準風速 U)

線路構造物	桁高 (m)	風向角 β (度)	24 系車両				二階建車両				103 系車両				485 系車両				コキ 50000			
			後尾車		中間車		285 系先頭車		215 系中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		後尾車		中間車	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
車線橋梁	1	90	0.55	1.01	0.65	1.17	0.52	0.95	0.55	1.01	0.71	1.29	0.79	1.44	0.79	1.44	0.83	1.52	0.93	1.70	0.99	1.81
		70	0.58	1.05	0.58	1.05	0.54	0.99	0.50	0.92	0.69	1.27	0.73	1.33	0.79	1.44	0.77	1.41	0.91	1.66	0.90	1.64
		50	0.50	0.90	0.44	0.80	0.45	0.83	0.37	0.68	0.57	1.04	0.51	0.93	0.63	1.16	0.54	0.99	0.69	1.26	0.60	1.10
		30	0.29	0.53	0.21	0.38	0.26	0.47	0.18	0.32	0.33	0.61	0.24	0.44	0.35	0.63	0.27	0.49	0.37	0.68	0.29	0.52
	2	90	0.60	1.09	0.67	1.21	0.54	0.98	0.57	1.04	0.83	1.52	0.92	1.68	0.86	1.57	0.91	1.66	0.99	1.82	1.08	1.98
		70	0.63	1.14	0.60	1.10	0.57	1.04	0.53	0.97	0.79	1.44	0.78	1.42	0.87	1.60	0.82	1.50	0.98	1.79	0.95	1.73
		50	0.53	0.97	0.46	0.84	0.48	0.87	0.37	0.69	0.63	1.15	0.55	1.00	0.69	1.26	0.59	1.08	0.74	1.36	0.63	1.15
		30	0.31	0.57	0.22	0.40	0.27	0.49	0.17	0.31	0.36	0.65	0.26	0.47	0.38	0.69	0.27	0.49	0.39	0.72	0.29	0.54
	3.5	90	0.61	1.11	0.70	1.28	0.54	0.99	0.57	1.05	0.91	1.66	1.00	1.83	0.91	1.67	0.93	1.71	1.07	1.95	1.14	2.07
		70	0.61	1.11	0.62	1.12	0.55	1.01	0.52	0.96	0.86	1.57	0.87	1.58	0.91	1.67	0.84	1.54	1.04	1.90	1.03	1.88
		50	0.53	0.96	0.45	0.82	0.48	0.88	0.37	0.68	0.65	1.19	0.59	1.08	0.71	1.29	0.56	1.03	0.80	1.46	0.68	1.24
		30	0.31	0.56	0.22	0.40	0.28	0.51	0.17	0.32	0.38	0.69	0.28	0.50	0.39	0.71	0.28	0.50	0.43	0.79	0.32	0.59
複線高架橋	1	90	0.55	1.03	0.61	1.14	0.49	0.94	0.52	0.99	0.71	1.35	0.78	1.47	0.75	1.43	0.77	1.47	0.91	1.72	0.96	1.83
		70	0.56	1.06	0.56	1.06	0.51	0.96	0.51	0.98	0.67	1.28	0.71	1.34	0.75	1.42	0.74	1.40	0.86	1.63	0.87	1.64
		50	0.47	0.89	0.43	0.82	0.46	0.87	0.36	0.69	0.56	1.06	0.50	0.94	0.61	1.15	0.52	0.98	0.68	1.28	0.57	1.09
		30	0.29	0.54	0.20	0.38	0.27	0.51	0.15	0.29	0.34	0.65	0.24	0.45	0.35	0.67	0.23	0.44	0.37	0.70	0.26	0.49
	3.5	90	0.56	1.06	0.64	1.21	0.48	0.91	0.53	1.02	0.86	1.62	0.94	1.78	0.83	1.58	0.89	1.69	1.01	1.92	1.08	2.04
		70	0.56	1.06	0.58	1.10	0.51	0.98	0.51	0.97	0.81	1.53	0.84	1.59	0.85	1.61	0.80	1.52	1.00	1.90	1.00	1.90
		50	0.48	0.90	0.45	0.84	0.48	0.91	0.37	0.70	0.63	1.20	0.55	1.05	0.66	1.25	0.54	1.02	0.75	1.41	0.65	1.23
		30	0.29	0.54	0.21	0.40	0.27	0.51	0.16	0.31	0.35	0.66	0.24	0.46	0.36	0.68	0.24	0.45	0.39	0.74	0.28	0.54
	6	90	0.55	1.03	0.63	1.19	0.46	0.88	0.51	0.97	0.91	1.72	0.99	1.88	0.88	1.68	0.93	1.76	1.03	1.96	1.12	2.12
		70	0.54	1.01	0.57	1.07	0.48	0.92	0.47	0.90	0.87	1.65	0.88	1.67	0.90	1.71	0.83	1.59	1.02	1.94	1.04	1.98
		50	0.46	0.87	0.42	0.79	0.45	0.85	0.35	0.67	0.66	1.26	0.57	1.09	0.69	1.32	0.54	1.04	0.79	1.50	0.71	1.35
		30	0.27	0.52	0.20	0.38	0.25	0.48	0.16	0.30	0.36	0.68	0.27	0.50	0.37	0.71	0.24	0.46	0.42	0.79	0.30	0.58
築堤	8	90	0.37	0.97	0.42	1.10	0.32	0.84	0.35	0.94	0.62	1.66	0.64	1.71	0.58	1.54	0.59	1.58	0.70	1.87	0.72	1.92
		70	0.35	0.91	0.38	1.00	0.30	0.81	0.28	0.75	0.58	1.54	0.58	1.54	0.56	1.50	0.53	1.40	0.64	1.71	0.65	1.72
		50	0.34	0.89	0.29	0.77	0.32	0.85	0.21	0.55	0.54	1.43	0.41	1.09	0.54	1.44	0.36	0.97	0.63	1.67	0.46	1.23
		30	0.23	0.60	0.15	0.39	0.22	0.59	0.10	0.27	0.32	0.85	0.19	0.52	0.33	0.88	0.18	0.47	0.38	1.01	0.23	0.60

表 6 ローリングモーメント係数一覧表 (I : 設定風速 U_0 , II : 基準風速 U)

線路構造物	桁高 (m)	風向角 β (度)	24 系車両				二階建車両				103 系車両				485 系車両				コキ 50000			
			後尾車		中間車		285 系先頭車		215 系中間車		先頭車		中間車		先頭車		中間車		後尾車		中間車	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
車線橋梁	1	90	-0.12	-0.22	-0.13	-0.23	-0.03	-0.06	-0.04	-0.07	-0.11	-0.21	-0.14	-0.25	-0.07	-0.12	-0.11	-0.20	-0.10	-0.19	-0.11	-0.20
		70	-0.12	-0.22	-0.11	-0.19	-0.04	-0.06	-0.03	-0.06	-0.11	-0.20	-0.13	-0.23	-0.06	-0.11	-0.11	-0.19	-0.10	-0.18	-0.10	-0.18
		50	-0.11	-0.19	-0.08	-0.15	-0.03	-0.05	-0.02	-0.05	-0.09	-0.17	-0.09	-0.17	-0.06	-0.11	-0.08	-0.14	-0.06	-0.11	-0.05	-0.10
		30	-0.06	-0.10	-0.04	-0.08	-0.01	-0.03	-0.01	-0.02	-0.05	-0.10	-0.05	-0.09	-0.03	-0.05	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06	-0.02	-0.04
	2	90	-0.14	-0.25	-0.14	-0.25	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.13	-0.24	-0.16	-0.29	-0.09	-0.16	-0.14	-0.25	-0.12	-0.21	-0.13	-0.23
		70	-0.14	-0.26	-0.13	-0.23	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.12	-0.22	-0.13	-0.24	-0.08	-0.15	-0.12	-0.22	-0.11	-0.20	-0.11	-0.20
		50	-0.12	-0.22	-0.10	-0.18	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.10	-0.18	-0.10	-0.18	-0.07	-0.13	-0.09	-0.17	-0.07	-0.13	-0.06	-0.11
		30	-0.07	-0.13	-0.05	-0.09	-0.02	-0.03	-0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.04	-0.06	-0.02	-0.05
	3.5	90	-0.14	-0.25	-0.13	-0.24	-0.05	-0.09	-0.05	-0.09	-0.15	-0.27	-0.18	-0.32	-0.08	-0.15	-0.14	-0.25	-0.14	-0.25	-0.15	-0.27
		70	-0.14	-0.25	-0.12	-0.21	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.13	-0.24	-0.15	-0.28	-0.08	-0.14	-0.12	-0.23	-0.14	-0.25	-0.13	-0.24
		50	-0.12	-0.22	-0.09	-0.16	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.10	-0.18	-0.11	-0.20	-0.07	-0.13	-0.09	-0.16	-0.09	-0.17	-0.08	-0.14
		30	-0.07	-0.12	-0.04	-0.08	-0.02	-0.04	-0.02	-0.03	-0.06	-0.11	-0.05	-0.09	-0.04	-0.07	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06
複線高架橋	1	90	-0.11	-0.21	-0.11	-0.21	-0.03	-0.06	-0.03	-0.06	-0.09	-0.17	-0.11	-0.21	-0.06	-0.11	-0.10	-0.18	-0.11	-0.20	-0.11	-0.20
		70	-0.11	-0.21	-0.10	-0.19	-0.03	-0.06	-0.03	-0.05	-0.08	-0.16	-0.10	-0.19	-0.06	-0.11	-0.09	-0.17	-0.10	-0.20	-0.10	-0.18
		50	-0.09	-0.17	-0.08	-0.15	-0.03	-0.05	-0.02	-0.04	-0.07	-0.13	-0.07	-0.14	-0.05	-0.09	-0.07	-0.12	-0.07	-0.12	-0.05	-0.10
		30	-0.05	-0.10	-0.04	-0.07	-0.02	-0.03	-0.01	-0.02	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.04	-0.07	-0.03	-0.06	-0.02	-0.04
	3.5	90	-0.13	-0.24	-0.13	-0.25	-0.04	-0.08	-0.04	-0.09	-0.13	-0.24	-0.15	-0.29	-0.09	-0.17	-0.13	-0.25	-0.13	-0.25	-0.14	-0.26
		70	-0.13	-0.24	-0.12	-0.22	-0.04	-0.08	-0.04	-0.08	-0.12	-0.22	-0.13	-0.25	-0.09	-0.17	-0.11	-0.22	-0.13	-0.25	-0.13	-0.24
		50	-0.10	-0.20	-0.09	-0.17	-0.04	-0.07	-0.03	-0.05	-0.09	-0.17	-0.09	-0.17	-0.07	-0.13	-0.08	-0.14	-0.09	-0.17	-0.06	-0.12
		30	-0.06	-0.11	-0.04	-0.08	-0.02	-0.04	-0.01	-0.03	-0.05	-0.09	-0.04	-0.08	-0.04	-0.07	-0.04	-0.08	-0.03	-0.06	-0.03	-0.05
	6	90	-0.15	-0.28	-0.16	-0.30	-0.05	-0.09	-0.06	-0.11	-0.15	-0.28	-0.17	-0.32	-0.12	-0.22	-0.16	-0.31	-0.14	-0.26	-0.15	-0.28
		70	-0.14	-0.27	-0.14	-0.26	-0.04	-0.09	-0.05	-0.09	-0.14	-0.26	-0.15	-0.28	-0.12	-0.22	-0.14	-0.27	-0.14	-0.26	-0.14	-0.27
		50	-0.12	-0.22	-0.11	-0.20	-0.04	-0.07	-0.03	-0.07	-0.10	-0.19	-0.10	-0.18	-0.08	-0.16	-0.09	-0.18	-0.10	-0.19	-0.08	-0.15
		30	-0.06	-0.12	-0.05	-0.10	-0.02															

本文正誤表

箇所	誤	正
47 ページ左下から 1 行目	車両幅	車体幅
47 ページ右 1 行目	車両底面	車体底面
47 ページ右 4 行目	車両高さ	車体高さ
48 ページ左 29 行目	設定風速 U_0	風速 U
48 ページ左 30 行目	$I_u = \sigma_u / U_0$	$I_u = \sigma_u / U$
48 ページ右下から 2 行目	車両中心高さ	車体中心高さ