

# 風洞実験による様々な車両断面形状に対する横力係数の評価

環境工学研究部 車両空力特性研究室  
副主任研究員 乙部 達志

## 1. 目的

横風を受ける車両に働く空気力の低減対策としては、ハード面からとソフト面からの対策がある。ハード面からは車両形状による対策や防風柵の設置などが考えられ、ソフト面からは運転規制などが考えられる。鉄道車両断面には様々な形状があることから、横風を受けた時に各鉄道車両が受ける空気力の大きさも様々である。車両の転覆に影響を与える空気力としては横力の役割が大きい。そこで、ハード面からの車両形状による対策として、車両横断面形状の違いによる横力の違いをみる事を目的に風洞実験を行った。

## 2. 風洞実験

### 2.1. 実験概要

風洞実験は、鉄道総合技術研究所内の小型低騒音風洞の密閉型測定部(高さ 600mm, 横幅 720mm, 長さ 3800mm)を用いて、風洞気流は一樣流の条件下で行った。図 1 に測定部内に設置した模型の概要を載せる。

供試体である縮尺 1/40 の車両を模擬した模型(車両形模型)は、測定車両 1 つと測定車両と同じ断面形状を持つダミー車両 2 つからなる。測定車両の両長手方向に密閉型測定部外側までダミー車両を設置し、密閉型測定部外側でダミー車両を支持した。また、測定車両を密閉型測定部外側から 3 分力検出器(日章電機株式会社製, LMC-3891) 2 台を用いて支持した。ダミー車両にあたる風は、3 分力検出器に作用せず、測定車両にかかる横力のみ測定出来るようにした。車両形模型設置状況を図 2 に載せる。

試験風速  $u$  は 10, 20m/s であり、代表長さ  $L$  を車両形模型の鉛直方向高さ 75mm, 動粘性係数を  $\nu=1.5\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$  とすると、レイノルズ数 ( $=uL/\nu$ ) は  $5.0\times 10^4$ ,  $1.0\times 10^5$  である。

### 2.2. 車両形模型及び地面板条件

車両形模型(図 3 参照)は、車両の屋根部と肩部(屋根部と側面を滑らかにつなぐ曲面部分, 図 4 参照)に相当する部分の曲率半径をパラメータにして 15 種類あり、肩部がない模型(3 種類)と肩部がある模型(12 種類)に大別される。また、15 種類の内 2 種類の車両形模型(詳細は 3.2 節)に対しては歩み板(検修員が歩くために屋根に付いている板)を設置した条件でも実験を行った。さらに、全ての車両形模型に対して、車両形模型の下部から鉛直方向下側 25mm の位置に地面を模擬した板(以下、地面板とよぶ)を設置した条件(以下、地面板ありの条件とよぶ)と地面板を設置していない条件(以下、地面板なしの条件とよぶ)で実験を行った(図 1 は地面板ありの設置図)。

車両形模型屋根部の曲率半径  $R$  が  $\alpha$  mm に対し、肩部のない車両形模型を  $R\alpha$  とよび、肩部の曲率半径  $s$  が  $\beta$  mm の車両形模型を  $R\alpha s\beta$  とよぶ。全車両形模型の名称は表 1 の通りである。表 1 には、実際の車両に対応する形式を黄色で示した。

図 3 に全ての車両形模型の概形を載せ、車両形模型の例として、図 4 に R46s18.9 の車両横断面形状を示す。

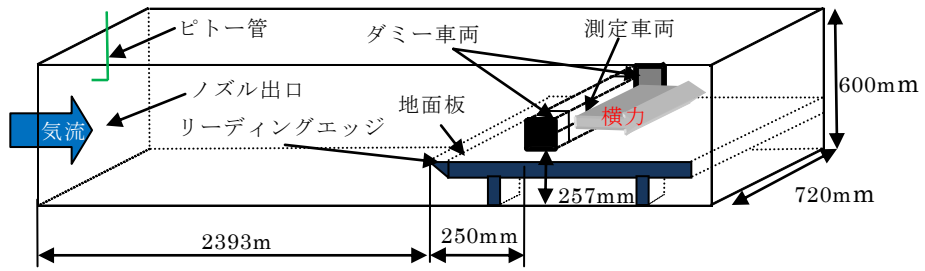


図 1 設置図

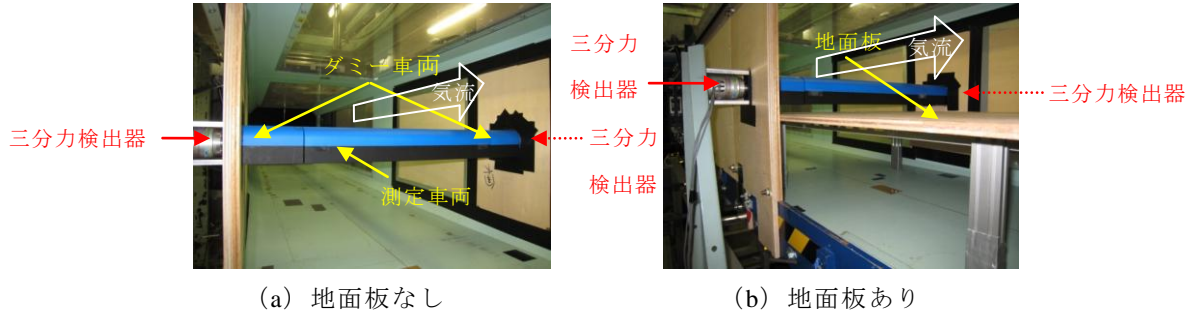


図 2 車両形模型設置状況

		→R 屋根部曲率半径					
		35(1400)	40(1600)	46(1840)	125(5000)	200(8000)	∞
↓s 肩部曲率半径	なし	R35	R40				R∞, コキ50000系
	6.25(250)				103系		
	6.3(252)		R40s6.3	R46s6.3	R125s6.3	R200s6.3	
	10(400)					485系	
	12.5(500)			24系			
	12.6(504)			R46s12.6	R125s12.6	R200s12.6	
	15(600)			285系			
	18.9(756)		R40s18.9	R46s18.9	R125s18.9	R200s18.9	
	26(1040)					R200s26	

表 1 車両形模型と実際の車両の関係 (表の数字は 1/40 縮尺寸法と括弧内は実寸法[mm])

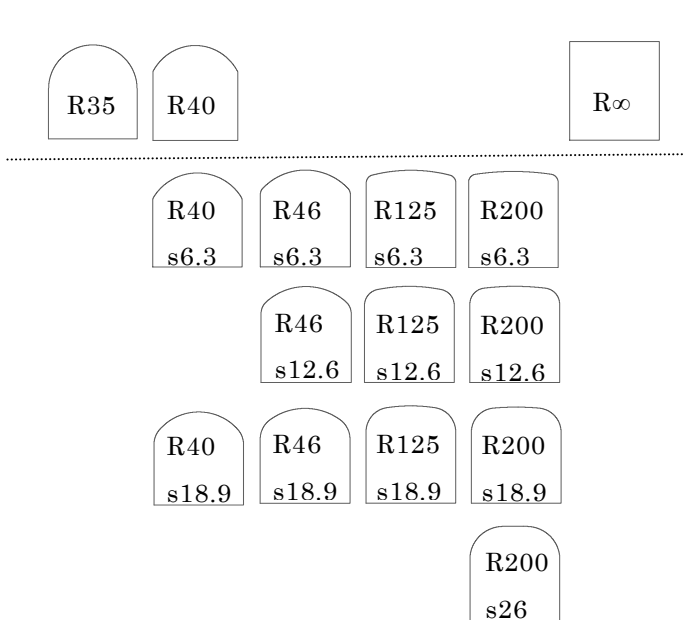


図 3 全車両形模型 (15 種類)

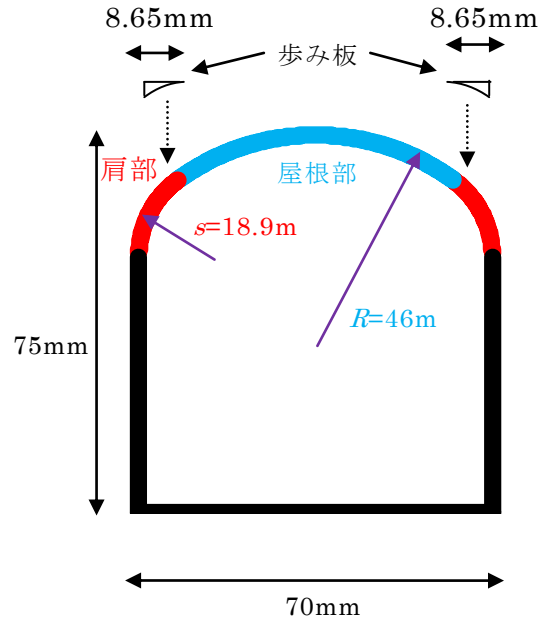


図 4 車両形模型 (R46s18.9)

測定車両の寸法は鉛直方向高さ 75mm, 横幅 70mm, 長さ 487.5mm であり, ダミー車両の寸法は鉛直方向高さ 75mm, 横幅 70mm, 長さ 133.5mm である.

以下, 屋根部の曲率半径  $R$  や肩部の曲率半径  $s$  のいずれかにのみ注目することもあるので, 例えば屋根部の曲率半径  $R$  が 46mm の車両形模型 (R46s6.3, R46s12.6, R46s18.9) を  $R_{46}$ , 肩部の

曲率半径  $s$  が 6.3mm の車両形模型 (R40s6.3, R46s6.3, R125s6.3, R200s6.3) を  $s_{6.3}$  等と曲率半径を添え字で書くことにする。

### 2.3. 横力係数の算出

横力係数を算出するために用いた横力、動圧は時間平均値を用い、平均化時間は 30 秒である。3 分力検出器で収録した横力を  $F$ 、動圧を  $Q$ 、車両形模型の風上側面積を  $A$  ( $=0.4875 \times 0.075[\text{m}^2]$ ) とすると、横力係数は  $C_s = F/(QA)$  ( $=F/(\rho u^2 A/2)$ ) で与えられる。ただし、 $\rho$  は空気密度である。

### 3. 横力係数の結果

今回の実験の閉塞率は、地面板なしの条件で 12.5% (地面板ありの条件で 16.4%) と大きいですが、横力係数の値そのものではなく傾向をみる事を目的としているので、閉塞率に対する補正は行わなかった。

以下図 5, 図 6 に、歩み板を付けていない場合の結果を示す。図 5 は断面形状に対する横力係数の大小関係, 図 6 は地面板なしの条件に対する  $R$  及び  $s$  に対する横力係数の傾向を表す。試験風速 10, 20m/s の結果がほぼ同じであったので, 試験風速のより高い 20m/s の時の結果を述べる。

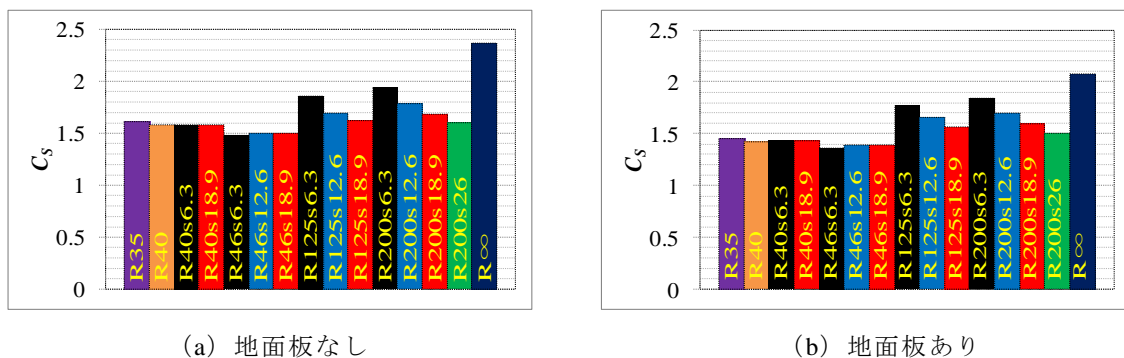


図 5 横力係数 (風速 20m/s)

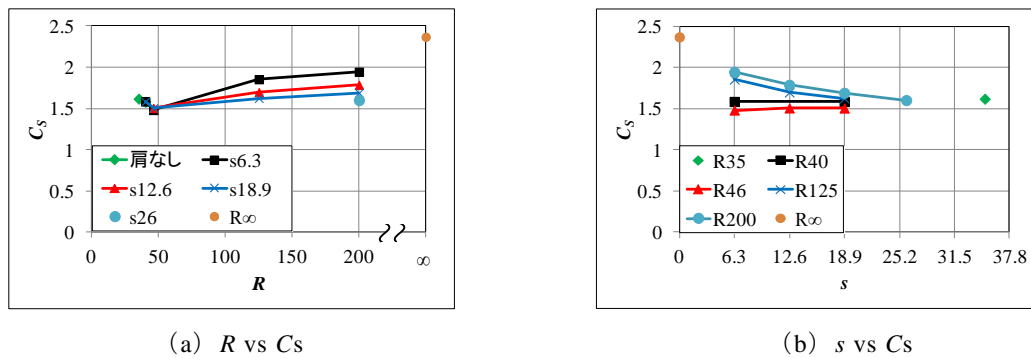


図 6 横力係数 (風速 20m/s, 地面板なし)

#### 3.1. 歩み板を付けていない場合

図 5 (a), 図 6 (a) を見ると,  $R \geq 46$  に対して, 肩部の曲率半径  $s$  が同じ車両形模型では, 屋根部の曲率半径  $R$  が大きくなるほど横力係数は大きくなった。一方  $R_{40}$ ,  $R_{46}$  (24 系, 285 系の  $R$ ) を比較すると, 肩部の曲率半径  $s$  が同じ車両形模型では, 屋根部の曲率半径  $R$  が小さい  $R_{40}$  の方が  $R_{46}$  (24 系, 285 系の  $R$ ) よりも横力係数はやや大きくなった。また,  $s_{6.3}$ ,  $s_{12.6}$ ,  $s_{18.9}$  それぞれに対して屋根部の曲率半径  $R$  を大きくしていくと,  $R_{\infty}$  の横力係数の値に近付いていく。

図 5 (a), 図 6 (b) を見ると,  $R_{125}$  (103 系の  $R$ ),  $R_{200}$  (485 系の  $R$ ) に対して, 屋根部の曲率半径  $R$  が同じ車両形模型では, 肩部の曲率半径  $s$  が大きくなるほど横力係数は小さくなった。一方,  $R_{40}$ ,  $R_{46}$  (24 系, 285 系の  $R$ ) を比較すると, 肩部の曲率半径  $s$  に依らず横力係数はほぼ同じ

値であった。即ち、103系や485系では肩部の曲率半径  $s$  を大きくすれば横力係数は小さくなるが、24系や285系では肩部の曲率半径を変えても横力係数にあまり影響はないといえるであろう。また、 $R_{46}$  (24系, 285系の  $R$ )、 $R_{125}$  (103系の  $R$ )、 $R_{200}$  (485系の  $R$ ) それぞれに対して肩部の曲率半径  $s$  を大きく (車両形模型の横幅が70mmなので  $s$  は最大でも35mm) していくと、 $R_{35}$  の横力係数の値に近づいていく。

屋根部の曲率半径にのみ注目して単純に考えると、 $R_{35}$ 、 $R_{40}$ の方が $R_{46}$  (24系, 285系の  $R$ ) よりも丸みがあるので、横力係数は小さくなると思われたが、 $R_{35}$ 、 $R_{40}$ の方が $R_{46}$  (24系, 285系の  $R$ ) よりも横力係数は大きくなった。従って、単に屋根部の曲率半径  $R$  を小さくし、丸みを増せば横力係数が小さくなるわけではなく、 $R=46$  周辺に横力係数を最小とする形状があり、その  $R$  は24系車両, 285系車両に相当する。

以上の傾向は地面板の有無に関わらず同じ傾向であったが、地面板ありの条件では、地面板なしの条件と比べ全ての車両形模型で横力係数が小さくなった。

また、本実験とは試験条件が異なるが、文献<sup>(1)</sup>に24系, 285系, 103系, 485系, コキ50000系の横力係数が載せられており、これらの車両に近い形状の本実験の車両形模型とは横力係数の値も異なるが、 $R$ 、 $s$ の変化に対する横力係数の大小関係の傾向は一致している。

### 3.2. 歩み板を付けた場合

$R_{46s6.3}$  と  $R_{125s6.3}$  に対して歩み板を設置した。歩み板は、図4のような形状で供試体上流側と下流側に設置した。その結果、歩み板を設置しない時よりも横力係数は大きくなり、歩み板を設置した時の横力係数と歩み板を設置しない時の横力係数の比は、 $R_{46s6.3}$  に対して地面板なしで1.16倍、地面板ありで1.29倍、 $R_{125s6.3}$  に対して地面板なしで1.15倍、地面板ありで1.07倍となった。また、文献<sup>(2)</sup>によると風向角90度で $R_{1840}$  (縮尺1/40では $R=46$ )、 $R_{5000}$  (縮尺1/40では $R=125$ ) に対し、歩み板を設置した時の横力係数は設置しない時の横力係数のそれぞれ約1.2倍、約1.15倍程度となっており、歩み板を設置すると本実験と同様に横力係数は増加する傾向であることが分かる。

## 4. まとめと今後の課題

鉄道総合技術研究所内の小型低騒音風洞にて15種類の車両形模型に対して風洞実験を行った。屋根部の曲率半径だけでなく、肩部の曲率半径も横力係数に影響があることが分かった。また、屋根の丸みを増す程横力係数が小さくなるわけではなく、実験を行った条件では、屋根部の曲率半径  $R=46$  周辺に横力係数を最小とする形状があり、その  $R$  は24系車両, 285系車両に相当する。さらに、2種類の車両形模型に歩み板を設置すると横力係数は大きくなった。

今後の課題として、実際の現象により合っている風洞気流 (乱流) 下での実験や高架橋、盛土などがある場合の実験が挙げられる。

## 参考文献

- (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 (2013), pp. 47-50.
- (2) 森山淳, 土井賢一, 堀岡健司, “転覆限界風速向上を目指した車両開発のための風洞試験”, 第18回鉄道技術・政策連合シンポジウム (J-RAIL2011), Vol. 18 (2011), pp. 373-376.