

ブロッキング特性確認試験結果速報

飯島 秀俊, 佐藤 衛, 渡辺 光則, 永井 伸治 (JAXA)
板橋 幸広 (JAST), 西島 寛典, 木村 毅 (ISE)

Preliminary report of the blockage data in JAXA 1m × 1m Supersonic Wind Tunnel

Hidetoshi IJIMA, Mamoru SATO, Mitsunori WATANABE, Shinji NAGAI (JAXA)
Yukihiro ITABASHI (JAST), Hironori NISHIJIMA, Takeshi KIMURA (ISE)

Key Words: blockage, supersonic wind tunnel, start, unstart, second throat

概 要

JAXA 1m × 1m 超音速風洞における風洞始動限界を, 異なるブロッキング比の円盤および正方形板模型を用いて調べた. また, その妥当性を確認するために, 他風洞の結果と比較した. さらに, 澱み点圧力, 第2スロート幅および模型位置を変化させ, 風洞始動性への影響を調べた. その結果, それら2種類の模型について, マッハ数毎の風洞始動限界ブロッキング比を把握することができた. また, 他風洞との比較では, 風洞始動限界は低マッハ数域では概ね一致するが, 高マッハ数域では他風洞より風洞始動限界が低いことがわかった. さらに, 澱み点圧力を高くしても風洞始動性は変わらない, 第2スロート幅を拡大すると, 高マッハ数域では風洞始動限界が高くなる, 模型位置は非対称の位置に設置すると風洞始動限界が低くなる, という結果についても把握することができた.

1. はじめに

超音速風洞において, 模型の大きさ, すなわちブロッキング比が過大である場合, 風洞が始動しないことがある. 具体的には, 風洞起動時に衝撃波が模型を通過せず, 模型周りの気流が超音速流に静定しないことである. 風洞の不始動は, ユーザの試験設計に大きく影響するため, 予め, 風洞始動限界ブロッキング比を把握する必要がある⁽¹⁾. JAXA 1m × 1m 超音速風洞 (以下, SWT1) では, 経験的に風洞始動限界ブロッキング比の予測および不始動時の対処を行ってきた. しかし, 模型形状による影響もあり, 推測が難しい.

そこで, 風洞測定部 (1m × 1m) に対するブロッキング比が3, 4, 5, 6%の円盤, 正方形板模型を用いて, 風洞始動限界を系統的に調べた. また, その妥当性を確認するために, 他風洞における Czysz⁽²⁾ の結果と比較した.

さらに, 風洞始動性に影響があると予測される澱み点圧力, 第2スロート幅, 模型位置の各パラメータを変化させ, 効果を確認した.

2. 試験方法

2.1 模型

図1の模型概要図に示されるように, 円盤と正方形板模型を使用した. この模型は, 図2のように気流に対し垂直に設置された. 抵抗係数は1.25と推測され, 風洞始動に最も不利な形状で風洞始動性を確認した. 表1に示されるように, 風洞測定部断面積に対する模型の閉塞面積のブロッキング比が, 3, 4, 5, 6%の模型を使用した. 以降, “3%円盤模型” のように呼称する.

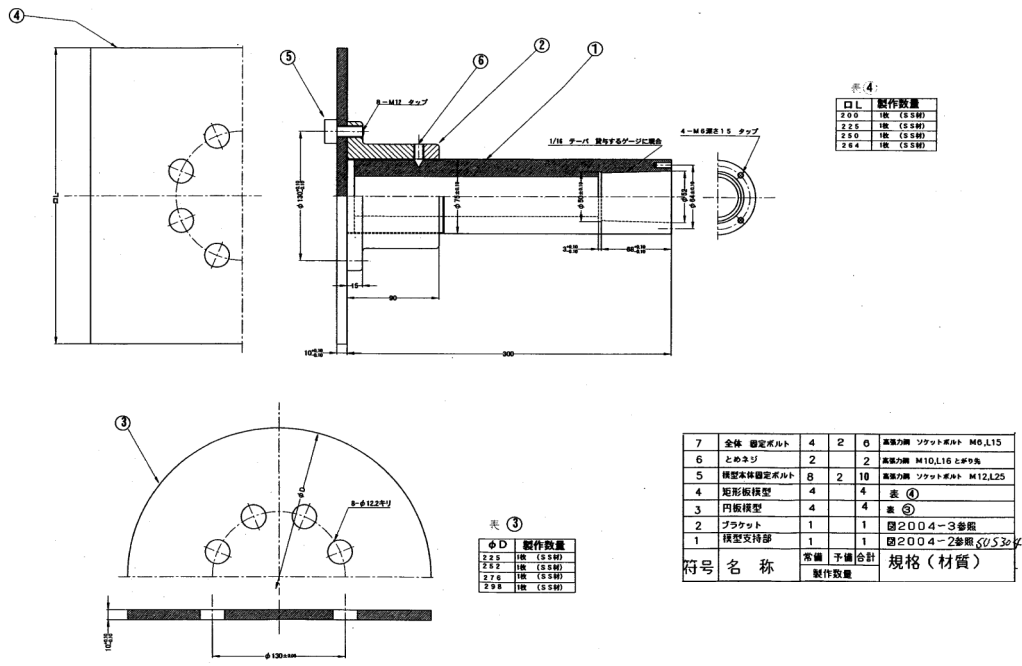


図 1 模型概要図

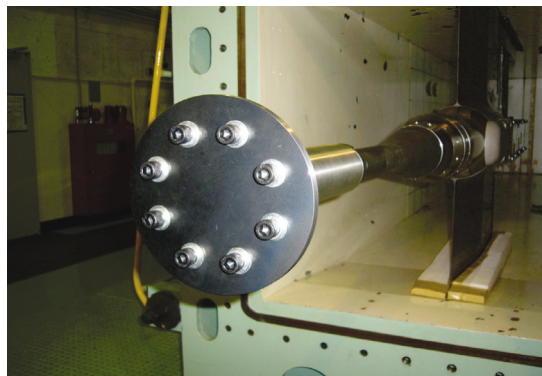


図 2 模型取付け状況 (円盤)

表 1 測定部断面積に対するブロックage比

ブロックage比 (対測定部断面積) [%]	円盤	正方形板
	直径 [mm]	1 辺 [mm]
3.0	195	173
4.0	225	200
5.0	252	225
6.0	276	245

表 2 境界層を除くブロックage比

ブロックage比 (対測定部断面積) [%]	境界層を除くブロックage比 [%]	
	1.4 ≤ Mach < 2.5 境界層厚さ 60mm	2.5 ≤ Mach < 4.0 境界層厚さ 80mm
3.0	3.8	4.2
4.0	5.1	5.5
5.0	6.3	6.9
6.0	7.6	8.3

2.2 試験条件

本試験は、風洞の一様流マッハ数は1.4から4.0、それに対応する澱み点圧力が150kPaから1270kPaで実施した。澱み点圧力は、それぞれのマッハ数で2割増加させることができる。第2スロート幅は各マッハ数に対し、設定幅が決められているが、変化させることも可能である。模型迎角は、常時ゼロとし、模型位置を非対称位置とする場合を除き、シュリーレン窓中心位置に設置した。不始動は、シュリーレン画像での衝撃波の模型通過により判断した。

2.3 境界層厚さを除くブロックage比の定義

実測値⁽³⁾より、低マッハ数域 ($1.4 \leq \text{Mach} < 2.5$)、高マッハ数域 ($2.5 \leq \text{Mach} \leq 4.0$) の境界層厚さをそれぞれ60mm、80mmとすると、境界層を除くブロックage比は表2で表される。対測定部断面積のブロックage比よりも2割から4割程度大きな値となる。Czysz は、境界層厚さを除くブロックage比を用いて、風洞始動限界を検討している⁽²⁾。

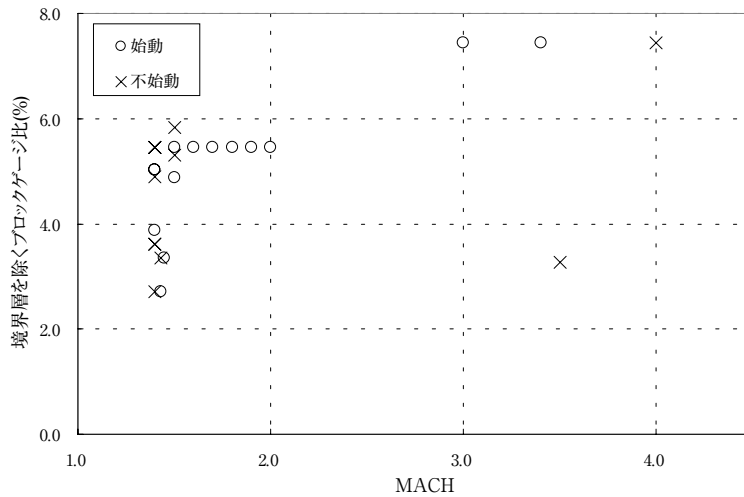
3. 過去の不始動データ

図3はSWT1における過去の始動および不始動の結果である。各マッハ数に対する境界層を除くブロックage比の関係を示す。それぞれのプロットは、SWT1で過去に不始動となった模型形状から得られたものである。低マッハ数域では、1.4付近で不始動となりやすいことがわかるが、模型形状によりブロックage比が2.1から4.5とばらつきを生じている。高マッハ数域では、マッハ数4.0でブロックage比5.2において不始動が確認されるが、データが不足している。

4. 試験結果

4.1 風洞不始動の例

図4の①から③は、風洞不始動としたシュリーレン画像の例であり、垂直または斜めの起動衝撃波が模型を通過していない。②、③は、高マッハ数域において模型前後に激しく振動する斜め衝撃波が見られた。②は模型を非対称位置に設置（下壁に接近させる）した。



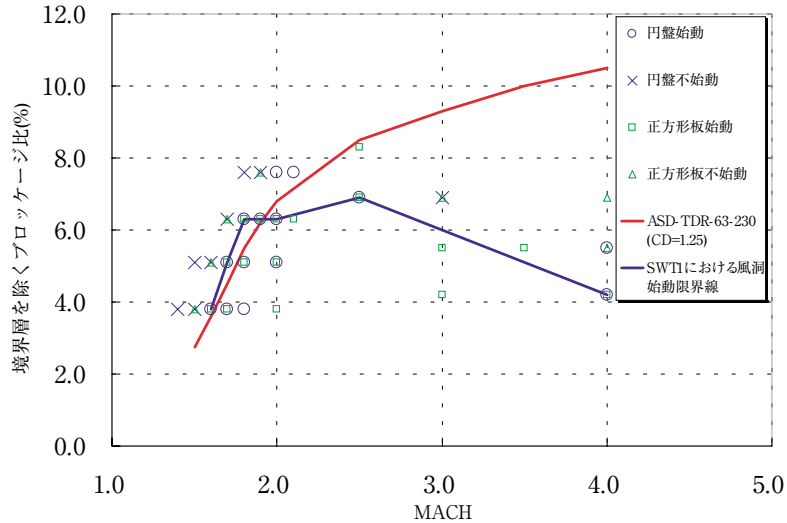


図5 風洞始動限界及び Czynsz の結果との比較

表 3

		澱み点圧力 ノミナル値→2割増	第2スロート幅 770mm (M3.0相当)→800mm (M2.5相当)	模型中心位置 窓中心→320mm 下げる	模型中心位置を 窓中心から320mm下→160mm上げる
円盤	MACH 1.5 ブロックage比 3.0%	× → ×			
	MACH 3.0 ブロックage比 5.0%		× → ○		
正方形	MACH 1.9 ブロックage比 5.0%			○ → ×	
	MACH 3.0 ブロックage比 5.0%	× → ×	× → ○		
	MACH 3.5 ブロックage比 4.0%				× → ○

4.2 SWT1 における風洞始動限界

図5は SWT1 における風洞始動限界及び Czynsz の結果との比較である。マッハ数に対する境界層を除くブロックage比が示される。赤の実線は Czynsz の結果を示す。今回の模型の抵抗係数を 1.25 と考え、抵抗係数 1.25 の模型を用いた Czynsz の結果と比較した。○, □はそれぞれ、円盤、正方形板模型の始動を示し、×, △は、それぞれの模型の不始動を示す。また、円盤、正方形板模型の両者が共に始動した点を繋いだ線を、SWT1 における風洞始動限界線とし、青の実線で示した。円盤、正方形板模型では風洞始動性について違いはみられなかった。Czynsz の結果と比較すると、低マッハ数域では概ね一致するが、高マッハ数域では SWT1 の方が、風洞始動限界が低かった。

4.3 パラメータの効果

表3に澱み点圧力、第2スロート幅、模型位置を風洞

始動限界付近において変化させたときの結果を示す。マッハ数 1.5 の 3.0 %円盤模型およびマッハ数 3.0 の 5.0 %正方形板模型で、澱み点圧力をノミナル値から2割増加させたが、どちらも効果がなかった。また、マッハ数 3.0 の 5.0 %円盤模型および 5.0 %正方形板模型は、第2スロート幅を 770mm (Mach 3.0 相当) から 800mm (Mach 2.5 相当) に増加させると、不始動から始動へと変化した。さらに、マッハ数 1.9 の 5 %正方形板模型は、模型中心位置を窓中心から、320mm に下げると、始動から不始動へ変化した。またマッハ数 3.5 の 4 %正方形板模型は、320mm 下げた位置から 160mm 上げると、不始動から始動へと変化した。

すなわち、今回の試験では澱み点圧力の効果は認められず、第2スロート幅、模型位置の影響が認められた。さらに、風洞始動性への影響がある要因として、模型の濡れ面積、風洞拡散胴のシール性等が考えられる。

5. 結論

本研究では、円盤、正方形板模型の2つの模型を用い、SWT1における風洞始動限界を調べ、Czyszの結果と比較した。また、模型ブロックage比、模型形状、澱み点圧力、第2スロート幅、模型位置を変化させ、風洞始動性への影響を調べた。その結果、以下のような結論を得た。

- (1) SWT1におけるマッハ数毎の風洞始動限界ブロックage比を確認した。Czyszの結果と比べて、低マッハ数では、概ね一致しているが、高マッハ数においては現状では風洞始動限界が低い。
- (2) 今回の試験模型では、模型形状の違いによる風洞始動性への影響はみられなかった。
- (3) 今回の試験では、低マッハ数域、高マッハ数域共に、澱み点圧力の効果は見られなかった。

- (4) 高マッハ数域で、第2スロート幅を広げると風洞始動限界が高くなる。
- (5) 模型を非対称位置に設置すると風洞始動限界が低くなる。

参考文献

- [1] Pope, A. and Goin, K.; High-speed Wind Tunnel Testing, 1965, John Wiley & Sons, Inc., pp.416
- [2] Czysz A. Paul; Correlation of Wind Tunnel Blockage Data, ASD-TDR-63-230
- [3] 渡辺光則 他; 1m × 1m 超音速風洞測定部境界層測定試験, 第72回風洞研究会議論文集, JAXA-SP-04-013, pp.6-13