K7-81

音速近傍流れにおける衝撃波離脱距離

Shock standoff distance at near sonic flow

越本崇仁 [1]，湯口雅也 [1]，菊池崇将 [2]

Takahito Koshimoto[1], Masaya Yuguchi[1], Takamasa Kikuchi[2]

Abstract: While the shock standoff distance at the static flow is divergent in Mach number 1.0 in theory, the shock standoff distance at the unsteady flow is not divergent in Mach 1.0. This contradiction in near sonic flow is clarified by both the numerical analysis and experiment using a ballistic range. An approximation formula that based on the past of experimental results was constructed. A numerical analysis was performed in M=1.2 for first step, then the reproduction of last year data was succeed.

1.　研究背景および目的

衝撃波は移動物体の形状に依存して，発生する場所が異なり，球などの鈍頭物体では物体から離れて存在する離脱衝撃波となる．物体と離脱衝撃波の距離は衝撃波離脱距離と呼ばれ，定常状態での衝撃波離脱距離はマッハ 1 において無限大である．物体の移動速度が変化する非定常状態の場合，物体の速度情報が離脱衝撃波へ伝わるまでに時間遅れが存在し[1]，非定常状態での衝撃波離脱距離は，マッハ 1 においても無限大に発散せず，有限の値を持つと考えられる．

本稿は, 弾道飛行装置を用いて球状飛行体を射出し，減速する物体の衝撃波離脱距離を測定した結果を報告する．同一形状で密度の異なる飛行体を用いることで飛行体の減速率を制御し，流れの非定常性を変化させた．また，数値解析を用いて定常状態での衝撃波離脱距離を求めた．衝撃波離脱距離とマッハ数の関係を比較することで，音速近傍での非定常な衝撃波離脱距離と減速する物体の飛行速度の関係性を示す.

2.　去年の結果と考察

定常状態の離脱距離データに物体の減速を考慮に加え, 非定常な離脱距離を求める. 定常状態のデータは, 数値計算と近似式を用いて求める．得られた非定常な離脱距離と実験データを比較して，物体の減速の考慮の精度を検証できる．定常状態のデータを，数値計算と実験データの定式化から求める.

去年の実験結果を Figure 1 に示す．物体の密度によって離脱距離の増加率に違いがみられた.

去年の数値計算結果を, Figure 2 に示す過去の実験結果とずれがみられ, M=1.0 で発散していない. よって, 去年の数値模擬条件の再検討が必要である.

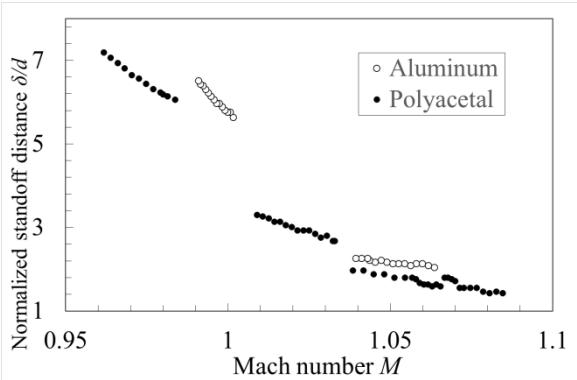


Figure 1. Last year's experimental result

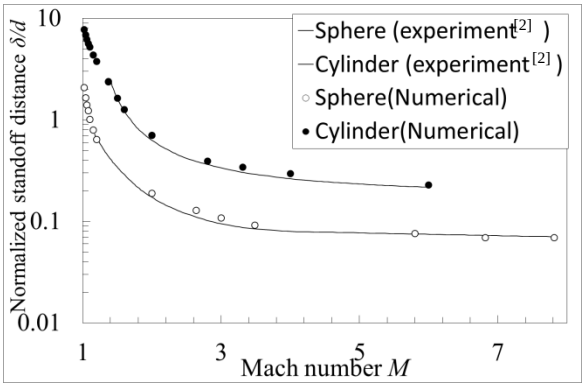


Figure 2. Consideration of standoff distance of last year

3.　近似式の構築

衝撃波離脱距離はマッハ数 M の関数となることが知られている．過去の実験結果[2] を定式化した近似式は

(1)式であり，近似結果を Figure 3 に示す．Figure 3 より，近似式が実験値とよく一致していることがわかる．

$$\frac{\delta}{d} = 5.46e^{-2.26M} + \frac{0.0185 - 0.0652M}{1 - M} \qquad (1)$$

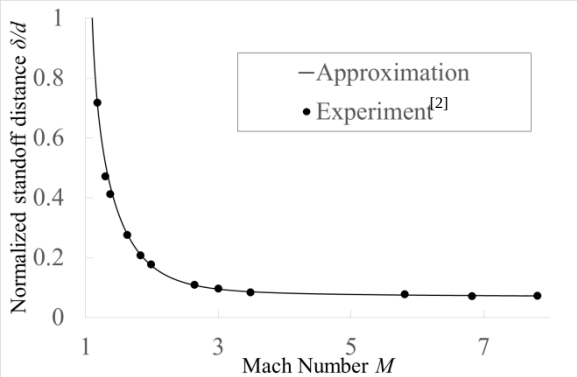


Figure 3. Approximate expression of the standoff distance

4.　数値解析

4.1.　解析条件

数値模擬に汎用数値流体解析ソフト ANSYS Fluent を使用した．計算領域を Figure 4 に，解析条件を Table 1.にそれぞれに示す．超音速の定常流れ中の球を模擬している．

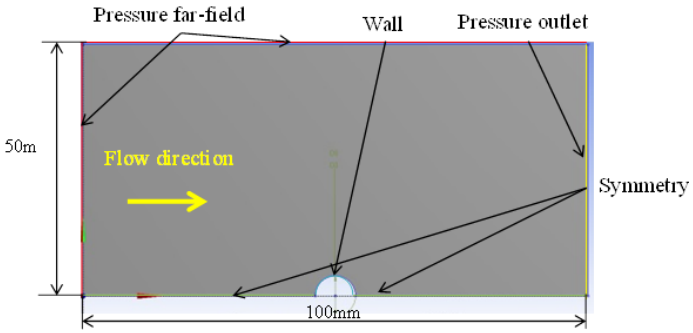


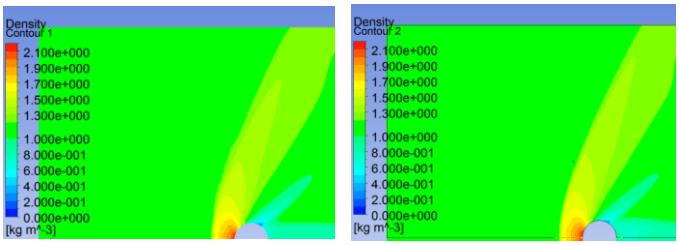
Figure 4. Calculating area and the boundary condition

Table 1. The gas condition and analysis condition

Test Gas	Air, Inviscid, Ideal-gas 101325[Pa]
Mach Number	1.2[-]
Flux Type	AUSM

4.2.　解析結果と考察

去年と今年の解析結果の密度分布と衝撃波波面での密度を Figure 5，Figure 6 にそれぞれ示す．Figure 6 のデータ取得位置は対称軸上である．Figure 5，6 より，衝撃波の形状と値は一致し，再現に成功した．今後，解析結果が実験と一致する条件を探査する予定である．



Last year's　　This year's

Figure 5. Density distribution around a sphere

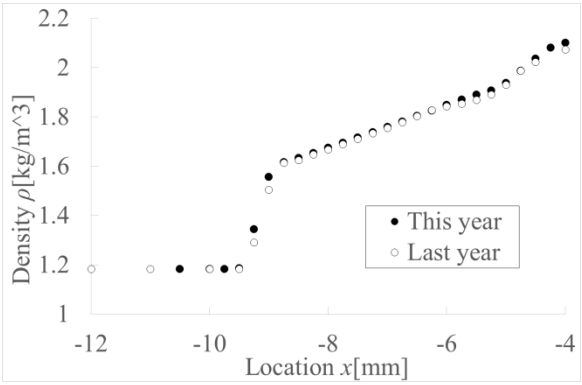


Figure 6. The difference in the density changes

5.　まとめ

過去の実験結果の定式化に成功した．数値解析の高精度化を目指した検討の前解析として，昨年度の解析結果の再現に成功した．今後，数値解析結果が実験結果と一致する数値解析条件の探査を進める予定である．

参考文献

[1] R.F. Starr, M.O. Varner :「Application of the measurement of shock detachment distance at low supersonic speeds」, AIAA Journal, Vol. 14, No. 4, pp.535-536,1967

[2] A. Roshko・H. W. Liepmann:「気体力学」,吉岡書店, pp.116-119,1960