Flow Theory, Vol. 1, p. 9, Academic Press, 1966.

- 3) 保原 充, 中島時冬, 渡辺静意, 馬場範夫: 湧出流中の尖頭物体まわりの超音速流, 日本航空宇宙学会第4回流体力学講演集, 1972.

4) M. D. Van Dyke: First and Second-Order Theory of Supersonic Flow Past Bodies, Journal of the Aeronautical Sciences, Vol. 18, No. 3, p.p. 161-178, 1951.

斜め網による流れの偏向とその応用*

The Deflection of Flow Passing through an Oblique Wire Gauze and its Application

伊 藤 光**
Akira Ito

Abstract

The angle of deflection of a flow passing through an oblique wire gauze was studied theoretically and experimentally. The deflections of flow were measured for five kinds of wire gauzes having different degrees of solidity at setting angles of 30 to 75 degrees, and these measured values were between 80 and 90% of the theoretical value. An application to divergent nozzles was also described, where flow observation and velocity-distribution measurement were carried out for a model divergent nozzle equipped with two oblique wire gauzes.

1. ま え が き

流れに対して斜めに網を置くと、網の抵抗によって流れの方向が変わり、その結果、網を通過する流路の断面積が拡大される。このような流れ方を利用して、拡がり比が大きく、しかも筒の出口での流速が均一な拡散筒（ディフューザ）を作ることができる。

斜め網の抵抗と、網を通る流れの方向の変化については、SIMMONS および COWDREY¹⁾, DRYDEN および SCHUBAUER²⁾, TAYLOR および BATCHELOR³⁾ などの実験的、または実験を主とした研究がある。本報告では、網の代わりに吹出しを置いて、網の抵抗係数と流れの方向変化量との関係を理論的に求め、実験の結果と比較した。また模型の拡散筒によって、流れの模様を観察し、筒出口における流速分布を測定した。

2. 斜め網の抵抗

第1図は、平行な壁をもつ筒の出口を斜めにして、この出口の位置に網を置いたときの気流の写真で、白線は、筒の上下壁の中央断面内に流した軽油蒸気の煙

第1図 斜め網を通る流れの模様 ($\alpha=30^\circ$)

i: 筒入口の位置, S: 金網 (40 mesh) の位置

第2図 斜め網による流れの偏向

S: 網の位置

の作る流線である。これらの流線から見て、気流は網を通るとき一様に方向を変え、その後もほぼ平行を保つことがわかる。写真は第2図に示す流入角 α が 30° のときの例であるが、 α を変えたときも、流出後の流れが平行を保つことは全く同様であった。そこで予備実験として、流出後の流れに平行な壁をもつ筒を置いたときと、置かないときの両方の場合について、網の前後での静圧の差 Δp を測って比較してみたが、両者の間に差が見られなかった。以下に述べる測定は、網の後流部に筒を置かない状態で行なったものである。

実験に使用した筒の流路は幅 200 mm, 高さ 100 mm で、筒入口の手前で一様かつ乱れの少ない流れを得るために、ターボ送風機から送った空気流を鎮静筒、ハ

* 昭和 49 年 4 月 5 日, 日本航空宇宙学会講演会第 5 回年会で発表

** 明治大学工学部, 昭和 49 年 7 月 9 日原稿受理

 第3図 垂直網の抵抗係数 ($\alpha=90^\circ$)

第4図 斜め網の抵抗係数 (40 mesh の金網の場合)

第1表 実験に使用した正四角目の織金網

網の種類 (mesh)	素線の直径 $d(\text{mm})$	閉塞率 σ
20	0.243	0.378
30	0.250	0.491
40	0.220	0.577
60	0.139	0.524
80	0.115	0.582

ニカムおよび布網によって整流した。また筒入口部の周壁に幅 1 mm の隙間を設け、境界層内の空気をこの隙間から排出して、筒入口の位置から新しく層流境界層が発達するように試みた。なお筒入口の直後で総圧および静圧を測って筒内の流速を求め、またこの静圧と筒外の静圧との差から上述の Δp を求めた。

いま第2図の流路で、筒内の流速を u 、空気密度を ρ としたとき、

$$\Delta p / \left(\frac{1}{2} \rho u^2 \right) = \kappa_\alpha \quad (1)$$

で与えられる κ_α を斜め網の抵抗係数と呼び、 $\alpha=90^\circ$ のときの κ_α を κ_n と書き、これを垂直網の抵抗係数と呼ぶことにする。

実験には、すべて不銹鋼製の正四角目の織金網を使った。第1表にこれらの網の種類、素線の直径 d および閉塞率 σ を示し、第3図に各網の κ_n についての測定値を示す。

第1表の金網を、網の素線が筒の壁に平行となるように置いて、 $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ および 90° のときの

κ_α を測定した。第4図はその一例で、40 mesh の網の κ_α である。この図を例にとり、 κ_α と κ_n との関係を調べてみる。

第2図において

$$u_{n1} = u \sin \alpha \quad (2)$$

である。第4図中の3本の破線は、 u_{n1} が 2, 3 および 4 m/sec のときの α と u との関係を示す。いま $u_{n1} = 2$ m/sec の破線上で、 κ_α と κ_n との比 κ_α/κ_n をそれぞれの α について求め、同様にして他の u_{n1} について求めた κ_α/κ_n とともに第5図に記入すると、図

 第5図 α と κ_α/κ_n との関係
 実線で示す曲線: $\kappa_\alpha/\kappa_n = \sin^2 \alpha$

中の 40 mesh の曲線のように、ほとんど完全に

$$\kappa_a/\kappa_n = \sin^2 \alpha \quad (3)$$

の曲線上に乗ってくる。この関係は第1表中の他の金網についても、第5図のように全く同様である。

つぎに第2図において、 u の網に対する接線方向の分速度 u_{t1} が網の抵抗に影響を及ぼさないと仮定する。すなわち、抵抗は u_{n1} だけによって決まるものと考えると、

$$\frac{1}{2} \rho u^2 \kappa_a = \Delta p = \frac{1}{2} \rho u_{n1}^2 \kappa_n \quad (4)$$

となり、これに(2)式を代入すると、(4)式は(3)式と一致することになる。(3)式は実験によって得られた関係であるから、(3)および(4)式の一致は、 u_{t1} が網の抵抗に影響を及ぼさないことを示している。すなわち、流れに対し傾いて置かれた線や円柱などについての cross-flow の考え方が、上述の金網についても成立することになる。

3. 流出角を求める計算法

第2図において β を流出角、 $\beta - \alpha$ を偏向角とする。つぎに、網を吹出しによって置き換える TAYLOR の考え方^{5), 6)} を適用して β を計算する。

いま第6図(a)のように、実験で示す平行流路の出口に流入角 α の網を置く。前述したように、斜め網の抵抗は κ_n と u_{n1} によって決まり、抵抗に対する u_{t1} の影響が見られなかった。そこで、網を通過するときにおこる流れの偏向も κ_n と u_{n1} の作用によるものと考え、図の2点鎖線で示すように網に垂直の流路を

第6図 吹出しによる流れの偏向

(a): 偏向の模様, (b): A部の拡大図, S: 網の位置

想定して、網の代わりに κ_n と同じ効果を与える吹出し q を配置し、吹出しによる見かけの流速の増大を使って β を求めてみる。

q を単位長さ当りの吹出しの強さとしたとき、吹出し面の下流での流速 u_{n2} は

$$u_{n2} = u_{n1} + q \quad (5)$$

となる。いま第6図(b)のように、 q を孤立した微小の吹出しの配列と考え、吹出しの前後にわたってベルヌーイの式を適用すると、吹出し面前後での静圧の差は

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho \left[(u_{n1} + q)^2 - u_{n1}^2 \right] = \rho q \left(u_{n1} + \frac{1}{2} q \right) \quad (6)$$

となる。この静圧差を

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \frac{1}{2} \rho u_{n1}^2 \kappa_n$$

と等置すると、

$$q/u_{n1} = \sqrt{1 + \kappa_n} - 1 \quad (7)$$

を得る。

ここで、 u_{t1} は網の抵抗に影響がないから、吹出し面の前後で u_t が変わらないものと考え

$$u_{t1} = u_{t2}$$

とすると、

$$\frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{u_{n2}}{u_{n1}} = \frac{u_{n1} + q}{u_{n1}} = 1 + \frac{q}{u_{n1}}$$

これに(7)式を代入して

$$\tan \beta / \tan \alpha = \sqrt{1 + \kappa_n} \quad (8)$$

が導かれる。

4. 流出角についての実験

第1図のように、網を通過した後も流れはほとんど平行を保つ。そこで $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ および 75° の筒について、網の中央付近の直後に1本の気流糸を置き、糸の方向を測って β を求めた。各網について u を変え、 κ_n の値が約1から約9までの範囲にわたる測定を行なった。

第7図は、上の実験から求めた $\tan \beta / \tan \alpha$ を $1 + \kappa_n$ に対して記入したものである。図中の a は(8)式の与える直線で、実験値は計算値のほぼ0.8ないし0.9倍の間に集中している。そこで η を修正係数とし、

$$\tan \beta / \tan \alpha = \eta \sqrt{1 + \kappa_n} \quad (9)$$

を使うことにする。図中の b および c は、それぞれ $\eta = 0.9$ および 0.8 に相当する直線である。

TAYLOR および BATCHELOR²⁾ は、実験式として

$$(\pi/2 - \alpha)/(\pi/2 - \beta) = \sqrt{1 + \kappa_n}/1.1$$

を導いているが、この式は第7図の b にほぼ近い値を与える。なおこの式は、 κ_n が約5までの範囲の網に

第7図 網の抵抗係数と流出角との関係

 第8図 網の抵抗係数と偏向角との関係 ($\alpha=30^\circ$)

ついての実験から、 $\pi/2-\alpha$ および $\pi/2-\beta$ の値が小さい条件のもとに導かれた関係である。

斜め網を流路の拡大用として使うとき利用度が高いのは、 α が 30° 近くの場合である。第8図は $\alpha=30^\circ$ のときの $\beta-\alpha$ を示したもので、実験値は、(9)式で $\eta=0.9$ としたときに対応する曲線にほぼ沿っている。

5. 模型の拡散筒による実験

斜め網の応用の一例として、2箇所に網を使い、流れの方向が元のまま流路幅だけが拡大されるように、第9図に示す拡散筒を試作した。筒入口での流速を 4.0 m/sec に保つとき、設計諸元は第2表のようになる。

網 S_1 に対し $u_{n1}=2.0 \text{ m/sec}$ のとき、第3図によって $\kappa_n=5.0$ となることがわかる。また網 S_2 では $u_{n1}=1.3 \text{ m/sec}$ で、このような低速度における κ_n の測定は誤差が大きいため、 $\kappa_n=\kappa_\alpha/\sin^2\alpha$ の関係を使い、第10図の矢印に示すように $\alpha=90^\circ$ の曲線の延長部分上の点として $\kappa_n=4.0$ を求めた。

第2表 拡散筒の設計諸元

網	mesh	α	β	$u_{n1} \text{ (m/sec)}$	κ_n
S_1	40	30°	51°	2.0	5.0
S_2	30	29°	50°	1.3	4.0

第9図 模型の拡散筒

S_1 : 40 mesh の網, S_2 : 30 mesh の網
 寸法の単位: mm

 第10図 低速度における κ_n の求め方
 (30 mesh の金網)

第11図 2箇所に斜め網を使った拡散筒
 S_1 : 40 mesh の網, S_2 : 30 mesh の網

第12図 筒出口での流速分布

第11図は、筒の平行壁間のほぼ中央断面内における流れの模様で、図中の流線から見て、網を通った流れはほぼ平行を保つことがわかる。また筒出口で測定した流速の分布は、第12図のように、境界層の範囲を除けばほとんど一様である。

6. む す び

(1) 斜め網の抵抗を測定して、抵抗係数は流速の網への垂直方向の分速度によって決められ、接線方向の分速度に影響されない結果を得た。

(2) 上の結果をもとにして、斜め網による流れの偏向角について計算式を導いた。閉塞率を異にする5種の金網について求めた実験値は、計算値よりもやや小さな偏向角を示した。

(3) 斜め網の応用の一例として、2箇所に網を使った模型拡散筒を作り、網を通過した流れが平行で、また流速が均一なことを確かめた。

この研究にあたり、終始御指導をいただいた明治大学工学部機械工学科の山名正夫教授、および、網の抵抗について貴重な助言を与えられた東京大学工学部航空学科の中口博教授に深甚の謝意を捧げる。

記 号

- d : 網の素線の直径
 - p : 静圧
 - q : 単位長さ当たりの吹出しの強さ
 - u : 筒内の流速
 - u_n : u の網 (吹出し面) に対する垂直方向の分速度
 - u_t : u の網 (吹出し面) に対する接線方向の分速度
 - α : 流入角
 - κ_n : 垂直網の抵抗係数
 - κ_α : 斜め網の抵抗係数
 - ρ : 空気密度
 - σ : 網の閉塞率
 - β : 流出角
 - $\beta - \alpha$: 偏向角
 - η : 実験による修正係数
- 添字
- 1: 網または吹出し面の upstream 側を示す
 - 2: 網または吹出し面の downstream 側を示す

文 献

- 1) SIMMONS, L. F. G. and COWDREY, C. F.: Measurements of the Aerodynamic Forces Acting on Porous Screens, ARC R & M 2276, (1945/8).
- 2) DRYDEN, H. L. and SCHUBAUER, G. B.: National Bureau of Standards Measurements of Lateral Force on Gauzes of Round Wires, 文献 3) 中に付録として記載されている。
- 3) TAYLOR, G. I. and BATCHELOR, G. K.: The Effect of Wire Gauze on Small Disturbances in a Uniform Stream, Quart. J. Mech. & Appl. Math., Vol. 2, (1949).
- 4) HOERNER, S. F.: Fluid-Dynamic Drag, Published by the Author, 1958, p. 3-11.
- 5) TAYLOR, G. I.: Air Resistance of a Flat Plate of Very Porous Material, ARC R & M 2236, (1944/1).
- 6) 伊藤 光: 網の抵抗による流路の拡大, 日本航空宇宙学会誌, 22巻 247号 (1974/8), 373~377頁。