39 交差管内の流れの可視化 — 剥離渦の変化 —

福山大学工学部 梅田 眞三郎[○]
ミシガン大学 Wen-Jei Yang

Flow Visualization in Two Intersecting Ducts — Vortex Deformation —

Shinzaburo UMEDA* and Wen-Jei YANG**

Experiments are performed to investigate the vortex formation in and near the intersecting region. The particle tracing method using potato starch is applied to observe streamlines. Both the symmetric and asymmetric flows between the different confluent and branching angles are investigated. Flow rates are also varied to determine their effects on flow behavior. The vortex formation is found to be different due to a change in the intersecting angle. It is also disclosed that the fluid control in the intersecting ducts with the confluent angle of 60° and the branching angle of 30° is easier than those with other angles.

1. まえがき

前報¹⁾で交差角度の違いによる2次流の発生状況を明らかにした。このような流況特性を持つ交差管内の流れを可視化するにあたって考え出された片栗粉を用いた新しいトレーサ²⁾は、交差管内の複雑な流況を適確にとらえることを可能にした。

本研究では、この注入トレーサ法を用いて、合・分流角度の交差角及び上流側水位の違いによる交差部背後に生じる剥離渦の変化を調べた。

2. 実験方法

前報¹⁾での実験条件で注入トレーサ法を用いて剥離渦の可視化を行った。さらに、同じ交差長と正方形断面での合流及び分流角度（それぞれ θ_c と θ_b ）を 30° 、 60° 及び 90° の3通りの組合せができる交差管を製作し、流れの可視化を行った。この場合も下流側水位 $H_2 = 2.5\text{cm}$ と一定にし、上流側水位は 11.0cm と 40.5cm の水位を左右で対称及び非対称にして実験を

* Fukuyama University, Gakuen-chow, Fukuyama, Hiroshima, 729-02 Japan

** University of Michigan, G.G. Brown, Ann Arbor, Michigan, 48109-2125 U.S.A.

行った。また左側の上流側への水の供給を止めて、その上流端を栓で閉じた場合も行った。

3. 実験結果と考察

3.1 合・分流角度が同じ場合

まず、交差角が 30° の場合には、上流側水位が対称の場合にも交差部背後の片方に剝離渦の形成がみられ、流れが非対称となっているのがわかる。交差角が 30° のような鋭角の場合には、交差部内の流速も大きく、わずかな流れの乱れなどが影響し、交差部背後の流れが非対称となっていると思われる。上流側水位を非対称にした場合には、当然ながら交差部背後には非対称な剝離渦が生じ、上流側水位の低い管路側にはっきりとした剝離渦がみられる。

上流側の左側水槽への水の供給を止めた場合の結果については、流れが片方からだけになるため、水を供給した右側の管路の交差部背後には、鮮明な剝離渦が生じている。また左側の上流端を閉じた場合には、左側の上流管路内が密閉室となり、交差部周辺の減圧に伴って右の上流側水位の低下がみられる。すなわち、交差部での流速の変化が大きく、交差管路内の流量が増大していると思われる。

次に、交差角が 60° の上流側水位が対称の場合には、 30° の場合と違ってほぼ対称な剝離渦がみられる。また渦の大きさを比較すると、上流側水位の変化の割にはその大きさにほとんど差はみられない。一方、図-1に示すような上流側水位を非対称にした場合には、明らかに左右の剝離渦の大きさは変化している。また、上流側の左側水槽への水の供給を止めた場合の流況の結果は、交差角が 30° のものと同様であった。

最後に 90° の場合については、対称水位のものに対しては、剝離渦の大きさの変化がわずかにみられる。水位の低い $H_r = H_l = 11.0\text{cm}$ の方が水位の高い $H_r = H_l = 40.5\text{cm}$ のものに比べ、剝離渦がやや大きくなっている。これは、上流側水位が高くなるとラム効果により交差部での圧力が大きくなり、交差部下流側への流向がやや外壁側に变化していることによると思われる。一方、上流側水位が非対称の場合は、他の交差角と同様剝離渦が非対称となっている。特にこの 90° の場合には、高い方の水位の右側管路での剝離渦が他の交差角のものに比べて最も大きくなり、逆に左側の剝離渦は、水位差が大きくなるにつれてかなり扁平な形となっている。このため右側上流管よりの流れが交差部を過ぎて左側へ大き

Fig.1 Flow pattern in the intersecting region with $\theta = 60^\circ$, $H_r = 40.5$, $H_l = 11.5$ and $H_2 = 2.5\text{cm}$ (exposure: F5.6, 1/60s).

く流れ込んでいるのがみられる。また片方の上流側の水の供給を止めた場合の結果は、前述の交差角が 60° のものと同様となっている。

3. 2 合・分流角度が異なる場合

合流及び分流角度の異なる3つの交差角を組合せた6通りの交差管内の流れを調べた。

(1) $\theta_c = 30^\circ$ と $\theta_b = 60^\circ$ の場合：上流側での管路の流れが速いが、交差部を過ぎてからの分流角度が 60° と広がるため、剥離渦の形成がみられる。上流側水位が対称の場合には、水位の上昇に対してはほとんど剥離渦の形の変化はみられない。一方、片方の上流端を閉じた場合には、水位の上昇に伴って右側下流側への流れ込む量が多くなり、剥離渦の形が小さくなっている。

(2) $\theta_c = 30^\circ$ と $\theta_b = 90^\circ$ の場合：前述の(1)の場合と比べ、交差部下流側の流向が交差角の影響を受けて、外壁側へ向いている。また上流端を閉じた場合の左の下流側には、前述の場合と違って、小さいながらも剥離渦がはっきりとみられる。

(3) $\theta_c = 60^\circ$ と $\theta_b = 30^\circ$ の場合：交差管全体での流れが非常に滑らかに感じられる。交差部背後にできる剥離渦については、対称水位の場合を比較すると、水位の高い場合の渦が長くなっている。また非対称水位の場合には、水位の高い管路からの流れが水位の低い管路へ流れ込み、その下流側にはほとんど渦はみられない(図-2)。一方、片方の上流端を閉じた場合には、いずれの水位に対してもほとんどがその下流側管路へ流れ込んでいるのが特徴的である。

(4) $\theta_c = 60^\circ$ と $\theta_b = 90^\circ$ の場合：交差部後半での遠心力の影響が大きく現れ、剥離渦の長さが前述の(1)のものに比べ短くなっている。また剥離渦の形は、(1)の場合とよく似ている。

(5) $\theta_c = 90^\circ$ と $\theta_b = 30^\circ$ の場合：上流側水位が対称の場合には、(3)の場合とほぼ同様の剥離渦が生じている。しかしながら非対称水位差が大きい場合には、水位の高い管路の流れが水位の低い上流側管路に流れ込んでいくという大変興味ある現象がみられた(図-3)。この原因としては、遠心力の影響を受け、内壁側の流れが交差部中央でのエッジ部に当たることによるものと思われる。

(6) $\theta_c = 90^\circ$ と $\theta_b = 60^\circ$ の場合：分流角を広げた

Fig.2 Flow pattern in the intersecting region
with $\theta_c = 60^\circ$, $\theta_b = 30^\circ$, $H_r = 40.5$, $H_l = 11.5$
and $H_2 = 2.5$ cm (exposure: F2.8, 1/125s).

ことにより、前述のような特異な流れは見られずに、(3)の場合と非常によく似た流況を示している。ただし、流れの速さは、(3)の場合の方が速くなっている。

その他に $60^\circ \rightarrow 90^\circ$ が $30^\circ \rightarrow 60^\circ$ の場合に、また $90^\circ \rightarrow 60^\circ$ が $60^\circ \rightarrow 30^\circ$ の場合において、いずれも合・分流角度の差が 30° ということも影響し、比較的似た流況を示している。

4. 結論

片栗粉を用いた新しいトレーサ法による交差管内の流線の可視化により、交差部から発生する2次流による剥離渦の変化を明らかにすることができ、次のような結論を得た。

(1) 交差角の違いにより遠心力の影響を受け、交差部の流線の曲率が異なっている。またその流線は、非対称水位の場合交差部上流側付近から水位の低い側にも分かれている。

(2) 合・分流角度が同じ 30° の場合には、上流側水位が対称の場合でも管内の流れは非対称となり易い。

(3) 上流側水位が非対称の場合には、水位差が大きくなるにつれて剥離渦も非対称となる。その場合、合・分流角度が 30° の場合には、水位の低い片方だけに剥離渦が生じる。しかしその角度が大きくなるにつれて、左右に大きさの異なった剥離渦が生じ、合・分流角度が 90° の水位差が大きい場合には、水位の低い方の管路の剥離渦は扁平な形となる。

(4) 合・分流角度の組合せにより流況は当然ながら異なるが、それぞれの角度差が同じ場合には比較的よく似た流況を示すことがわかった。

(5) 合流角が 90° で分流角が 30° の非対称水位差が大きい場合には、水位の低い上流側管路への逆流が生じるという興味ある現象を発見することができた。

(6) 合流角が 60° で分流角が 30° の非対称水位の場合には、片方の下流端への流量制御が容易と思われる。

<参考文献>

- 1) 梅田眞三郎、Wen-Jei YANG、交差管内の流れの可視化 — 2次流 — 、可視化情報、14-Suppl., No.1(1994)
- 2) Umeda, S. and Yang, W.-J., Flow Visualization Methods in Intersecting Ducts, Jour. of Flow Visualization and Image Processing, Vol.1, No.3(1993), pp.159-170.

Fig.3 Flow pattern in the intersecting region with $\theta_c=90^\circ$, $\theta_b=30^\circ$, $H_r=40.5$, $H_l=11.5$ and $H_2=2.5\text{cm}$ (exposure: F2.8, 1/125s).