

# 淡水二層流における物体内近の流に関する一実験

東北工業大学工学部 正員 阿部至雄  
同 上 正員 今野 弘

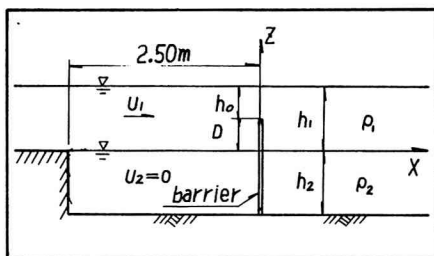
## I. まえがき

流れは、水理構造物において著しく乱れるが、水理特性の変化は、特にその背後において顕著となる。これは、本質的にタービュレンスに帰着するものであって、密度流においては、流速分布、内部波の発生さらに混合層の形成などに関与すると考えられる。

本報告は、静的に安定な密度差を有する流水中に barrier を設置した場合、上層の流れに着目し、流況を Free Jet と Jet Boundary の共存系と<sup>1,2)</sup>考え、それを実験的に実証すべく、表面流速、はく離形状、流速分布、さらに F 層塩水の到達高さなどの実験結果について考察を行なったものである。

## II. 実験

**実験装置：**実験に使用した水路は長さ 10.00 m、幅 0.40 m、高さ 0.30 m の可動二次元水路である。この水路勾配は水平で、水路上、流側には長さ 2.00 m、幅 0.40 m、高さ 0.103 m の広頂せきを設置し、その下流 2.50 m の位置に幅 0.40 m の barrier を設定した。(図-1)



**実験方法：**淡水水深は、 $h_1 = 10.0 \text{ cm}$ 、 $h_2 = 10.3 \text{ cm}$ 、淡水水温はそれぞれ平均  $t_1 = 13.1^\circ\text{C}$ 、 $t_2 = 13.8^\circ\text{C}$  で、密度差  $\Delta\rho = 0.020\%$  において、塩水面上の barrier の高さ  $D$  を 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 cm の 5 ケースの場合について下層静止、上層流動の実験を行なった。各ケースとも、流量および広頂せき端での水深は同一になるように努めた。そのときの流量の範囲は 0.42 ~ 0.44 l/sec にあった。流速は、比較的流況を乱さない測定法が望ましく、水素気泡法を採用した。(写真-1) 塩水の検出は図-2 に示した BLOCK-DIAGRAM により、barrier からの距離、および流程(X)を変えて行なった。

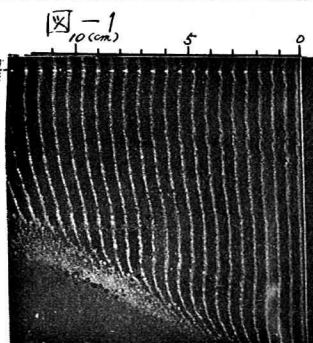


写真-1  $\left[ \begin{array}{l} \phi = 5.5 \text{ cm} \\ X = -20 \text{ cm} \\ \text{パルス: } 2.35 \text{ Hz} \\ \text{1.5 ml/l, 4.5 ml/l} \\ \text{電圧: } 800 \text{ Volts} \end{array} \right.$

## III. 実験結果および考察

本実験は、内部フルード数  $F_0 = 0.072 \sim 0.085$ 、ターリカン数  $\Theta = 0.528 \sim 0.555$  の範囲で実施しているのでせん断流に対して、全て安定である。ただし、流速は流量から求めた断面平均流速を用いた。

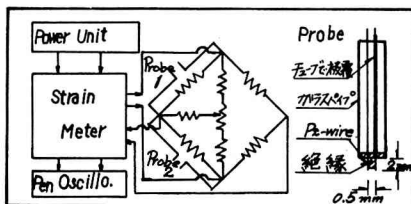


図-2 密度測定 BLOCK-DIAGRAM

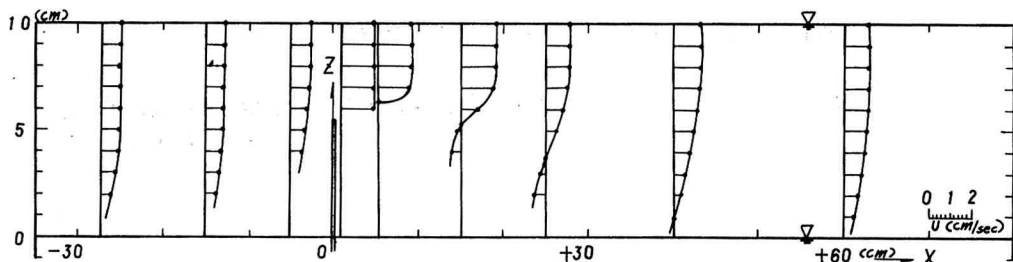


図-3 流速分布  
( $D=5.5\text{cm}$ の場合)

流速分布：図-3は、流速分布の例を  $D=5.5\text{cm}$  の場合の至流流程について示したものである。境界層の厚さは barrier の上流  $X=-100\text{cm}$  付近までは約  $2\text{cm}$  位であってわずかにあるが、そこから  $X=-30\text{cm}$  付近の間で急速に発達し、約  $6\text{cm}$  弱に達する。これは、barrier による内部境界面のセキ上げと上向きの流れが生じるためと思われる。その後、境界層は漸増するもののほぼ一定のまま barrier 直前に達するので、至流の流速はほぼ一様流速となつて barrier に接近する。また、その接近流速の大きさは、barrier 前面  $5\text{cm}$  付近から増し始め、約  $2\text{cm}$  前で急に大きくなる。他のケースにおいても、上流側の境界層の発達、および、接近流速を一様流速と考える類似の流速分布が得られている。しかし、barrier 上流側の流況、特に境界層の厚さ、および境界層の発達と  $D$  との関係、barrier 前面の上向きの流れ等については、更に、定量的な検討を重ねる必要がある。

次に、barrier 下流側においては、Jet Boundary および Free Jet と考えられるような流速分布の変化が観察される。更に、はく離点 が内部境界面に達した以後の流程をみると、その位置から境界層は再び発達し、流速分布は徐々に、上流側のそれと類似の傾向を示している。これは Jet による影響が減少していくためと考えられる。なお、写真-2 からわかるように barrier 直後においては、はく離線に沿って渦が生じ、そのため、速度変動が著しいこと、また、増水部における流速分布は、流速が極めて小さいことなどから、水素気泡法による流速の測定は困難であるので、別の方法による試みが必要である。

表面流速：図-4は、流程による表面流速の変化を示したものである。表面流

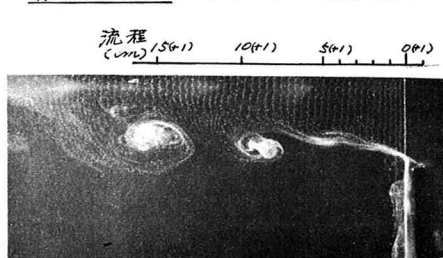


写真-2 barrier 直後の流況  
 $D=5.5\text{cm}$  ポール:  $5.2\text{Hz}$   
 $X=1\text{cm}$  パルス幅:  $4.0\text{msec}$

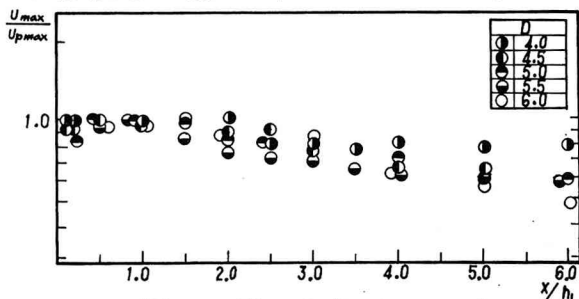


図-4 表面流速の流程による変化  
( $U_{\text{max}}$ : 表面流速  $U_{\text{pmax}}$ : はく離点での表面流速)

速は、barrier 上流においては、流程に関係なく、ほぼ一定であるが、barrier 頂付近では、その影響を受け、流水断面積が減少し、表面流速は増大する。さらに、barrier 背後のはく離最高点のところで表面流速は最大となるが、図-4 からわかるように、全体的傾向として、各々の  $D$  に対し、表面流速は barrier を越え後も変わらない領域、低減する領域、再び一定になる領域が存在する。いま、流れを Free Jet と考えた場合、前者は Potential core が、所統される Initial zone に相当し、低減領域は遷移領域に、また、後者は Determined zone に相当する領域と思われるので、Free Jet と類似した現象として取り扱うことも可能と思われるが、今後より詳細な検討を要する。

### はく離形状:

barrier より下流側においては、はく離の発生が観察される。

(写真-3)。その流程に対して、そのはく離点の位置の変化を示したのが図-5 である。

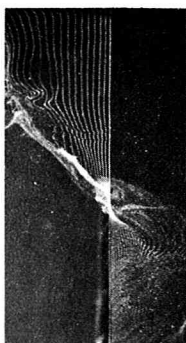


写真-3  
はく離の発生

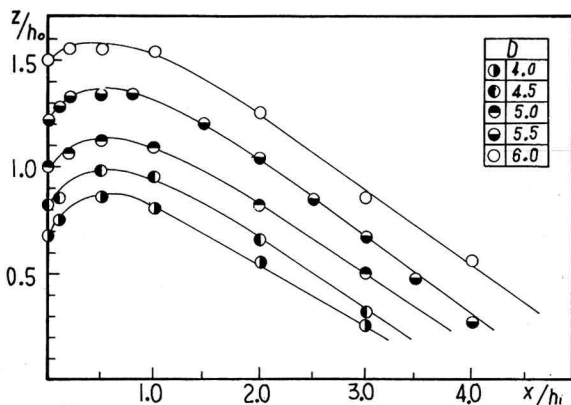


図-5 はく離点の流程における変化

はく離最高点の位置  $(x, (x-D))$  に  $x$  は barrier からの距離。

および  $(x-D)$  は barrier 頂からの高さ] は  $D$  の増大とともに減少し、barrier 頂に近づくことがわかる。これは  $h_0$  の減少による流速の増大が著しくなるためと考えられる。また、はく離点の高さは、barrier 頂より、流程とともに順次発達し、はく離最高点をすぎると、流程に比例して単調減少する傾向を示している。しかし、 $D=5.5$  cm をみると、流程 30 cm 付近で、その減少の割合が若干変化している。このことは Free Jet と Jet Boundary との関連において、その境界を決めるにあたり重要となるので今後更に検討を要する点である。

はく離点の内部境界面への到達:

図-5 より、はく離点の内部境界面 (  $Z/h_0 = 0$  ) に到達する流程  $x=l$  は  $D$  の増大とともに大きくなることがわかるが、この  $l$

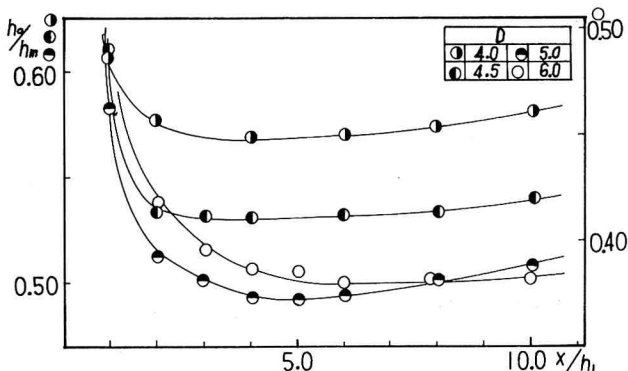


図-6  $h_m$  の流程における変化

は、A-ZONE<sup>4)</sup>を決定する上で重要なパラメータとなるものである。ここはA-zoneとはbarrier背後の上層流内に逆流部が存在し、逆勾配の塩水フサビが生じるとともに、そこでの溜動運動が顕著であるために、塩水のまき上げ、密度混合が著しい領域がある。図-6は $h_m$ (密度 $\rho$ が $\rho_0$ より大になる淡水表面からの距離)の流程による変化を示したものである。 $(h_0/h_m)$ が最小となる流程、すなわち $(h_m)_{max}$ となる流程は、図-5において $X=1$ となる流程とほぼ同一となり、この流程を境としてA-zoneと順勾配の塩水フサビが生じるB-zoneが<sup>4)</sup>形成されると考えられる。

次に、 $X/h_1 < 2.0$  における $h_0/h_m$ の急激な増大は、barrier背後20cmの間において、著しい密度混合があることを意味している。

#### IV. あとがき

実験結果および考察から得られた水理特性を列挙すると

(i) 図-3より、barrierへの接近流速およびその直後における流速分布はほぼ一様流と考えられる。

(ii) 図-3、図-4より、barrier背後の流速分布および表面流速の変化はそれぞれJet BoundaryおよびFree Jetと類似の傾向を示す。

(iii) 図-5より、はく離点の高さは初め上昇し、はく離点最高点をすぎた後は、流程 $X$ の変化に反してほぼ直線的に減少する。

(iv) 図-5、図-6より、はく離点が内部境界面と接する流程においては、内部境界面は最も下降し、その流程を境として、順勾配、逆勾配の塩水フサビが形成される。

これらの結果および流況観測から、barrier下流側の流れを

(i) barrier頂からの噴流と類似の現象とみたり、この場合、Jet BoundaryとFree Jet<sup>2)</sup>を考えると。

(ii) はく離点、が内部境界面と接した以後の流程においては、その接点を肩とした仮想点頂上からの噴流と考える。ただし、この場合、従来の研究<sup>5)</sup>と仮想点頂上端での流速分布は異なる。

と考え、今後、この結果をさらに実験を重ねて実証するとともに、理論解析も含めて進めたいと考えている。

本研究の実験および資料整理に熱心に協力された学部学生植高洋・奥友精悦、山内同雄 諸君に謝意を表します。最後に、本研究は昭和46年度文部省奨励研究費の助成を受けたことを記す。

#### 参考文献

- 1) 椿・中野：段差部における流れの特性と浮遊物の挙動について 九大工集報 443巻3号
- 2) 上田・笠口：槽り堰下流部の流れについて、26回年報、1971
- 3) 浅谷・武田：水の塩分分解における流れの可視化について 日本機械学会論文集(2部)31巻224号、1965
- 4) 内部境界面：流速が流れている物体背後の渦り、波に 関する実験、26回年報、1971
- 5) Iwasaki: COASTAL ENGINEERING, 1964
- 6) 木岡：ジェット流、水理水力学における最新進歩 土木学会中部関西支部、1967
- 7) G.N. Abramovich: the theory of Turbulent jets, THE M.I.T. PRESS, 1963