

Lee波による内部界面の破壊に関する一実験

東北工業大学 正員 相原 昭洋
東北工業大学 正員 阿部 至雄

1. はじめに

密度差を有する流れの中に barrier のような水理構造物を設置した場合、その背後に生じるカルマン渦とか Leewave といった擾乱によって内部界面が破壊され密度混合が生じる。このような水理特性の変化は構造物の Hydroelastic vibration を始め、取水や浮遊物質の沈殿といった諸問題に影響をおよぼす。しかし、この種の界面破壊による密度混合の過程は、従来の剪断流によるような界面の不安定に基づくものとは、その機構は異なるものと考えられる。そこで本報告は、静的に安定な密度差を有し、かつ剪断流に対しても安定な流水中に barrier を設置した場合、その barrier 周辺における上層流の流速分布や下層水の到達高さなどに着目し、その測定結果から、Lee 波のような強制渦によって生じる密度混合について若干の考察を試みた。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水路は、長さ 10.0m、幅 0.4m、高さ 0.3m の二次元開水路で水路上游に長さ 2.0m、幅 0.4m、高さ 0.15m の広頂ゼキを設置し、その下流 2.5m の位置に barrier を設けた。図-1 にその概要を示した。

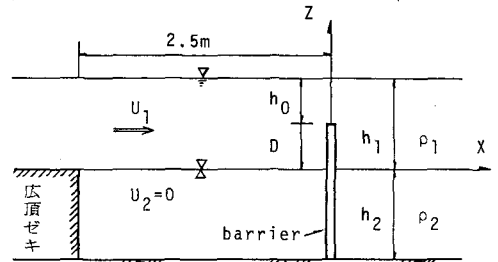


図-1 実験水路概要

表-1 実験諸元

D (cm)	流量 (cm ³ /s)	水温 °C	内部フルード数 Fri	クーリガン数 (H)
6	463	14.0	0.076	0.545
5	507	14.0	0.084	0.511
4	499	15.0	0.082	0.514

実験は、淡、塩水深を $h_1 = h_2 = 10.5\text{cm}$ とし密度差 $\Delta\rho = 0.008 \sim 0.020\text{g/cm}^3$ とし、内部境界面上より、barrier の高さ D を表-1 に示す 3 ケースについて下層静止、上層流動の実験を行った。その時の流れの状態は流量 $463\text{cm}^3/\text{sec} \sim 507\text{cm}^3/\text{sec}$ 、内部フルード数 $0.076 \sim 0.084$ 、クーリガン数 $0.511 \sim 0.514$ であるので剪断流れに対して全て安定な条件下で実施した。(表-1) 流速の測定には、水素気泡発生装置を用い 35 μm カメラで撮影したのち写真より読み取って求め、塩分の検出には、導電率計を用い、流程 X を変えて行なった。

3. 実験結果および考察

図-2 は、 $D=0\text{cm}$ すなわち barrier が無い場合の流速分布を主な流程について示した。流程 $X=0$ は barrier が設置される場所である。流程 X による場所的流速分布の変化はほとんど見られず、また、界面近傍を除き水深方向に一様な流れの場が形成されており、その境界層の厚さは高さ $2 \sim 3\text{cm}$ 程度と思われる。また、このときの内部界面はゆっくりと変動するものの、内部波の破波は生ぜず剪断流れに対して界面は安定な状態であった。

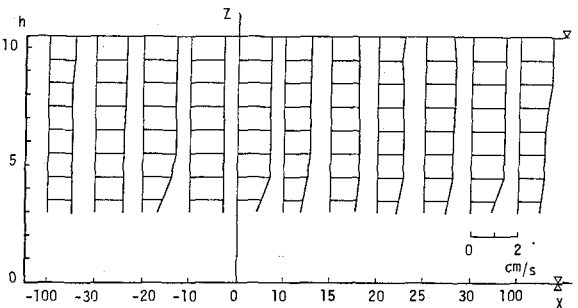


図-2 流速分布 ($D=0\text{cm}$, barrier無し)

図-3、4 に $D=6\text{cm}$ 、 $D=5\text{cm}$ の barrier を設置した場合の流速分布と塩水の到達高さを合せて示した。縦軸は内部境界面からの塩水の到達高さ h を D で除してそれぞれ表わし、横軸は流程 X を上層水深 h_1 で割った値 x

示した。

流速分布を $D=6\text{cm}$ (図-3)の場合についてみると、主流方向の流速はほぼ一様な状態で barrier に接近するが、その直前で barrier による内部界面のセキ上げや流水断面積の減少に伴ない流速は急激に加速される。後流域では表面流速はほぼ一定の速度を保つが barrier 頂の高さ($R_d=1.0$)付近には、はく離が生じ逆向きの流れが存在すると共に速度変動が著しい噴流と類似の流れが見られる。流況観察の結果(写真-1)によれば barrier 直後に Lee 波が見られ、そのため barrier 背後では乱れが大きく速度変動が激しくなると思われる。

$D=5\text{cm}$ (図-4)の流速分布をみると、 $D=6\text{cm}$ と同様のことが言えるが barrier 直前の流れの加速の程度は $D=6\text{cm}$ より緩やかである。また、後流域 $x/h_1=0.5$ 付近から流水断面積が拡がるため、 $h_1/D=1.5$ 以深での流速は減速されている。

$D=4\text{cm}$ では barrier 前面から後流域にかけての速度変動は $D=6\text{cm}$ 、 $D=5\text{cm}$ に比べてさく、表面流速も $x/h_1=0.5$ 付近より速減し始めている。また明瞭なはく離点は見られなかった。

次に、塩水の到達高さについてみると barrier 前後では大きく異なる。 $D=6\text{cm}$ (図-3)の場合、barrier 前の界面はセキ上げられて barrier 頂まで達する。しかし、界面の破壊による下層塩水の上方への放出は生じていない。他方、barrier 背後では Lee 波が生じるため界面は破壊し、塩水は上層へ巻き込まれ、その到達高さは流れを増すにつれて内部界面より離れるようになり、次第に barrier 頂より高くなる傾向が見られる。

$D=5\text{cm}$ (図-4)では、上流から barrier 直前までの界面のセキ上げは滑らかである。その後界面は barrier 頂に達する。その際 barrier 前域から barrier 背後へと下層塩水の供給が生じ、これが Lee 波による界面破壊とによって生じた密度混合と重なり、さらに $x/h_1=0.5$ 付近の流速の減速と相まって barrier 背後に塩水の滞留域が生じる。

$D=4\text{cm}$ の場合 Lee 波の規模が小さいため barrier 背後域では、塩水の到達高さは流れと共にその増減を繰り返すものの barrier 頂より下降する傾向にあり $D=6, 5\text{cm}$ のそれとは違った様相を示している。

4. あとがき

密度差を有する流水中に barrier を設置した場合の物体周辺の流れの挙動は、barrier 前面で流速は急激に加速されその後流域では噴流と類似の流れが生じる。さらに、barrier 背後には Lee 波が生じるため、それに伴い界面は破壊され下層塩水は上方へ連行され密度混合が生じる。その塩水の到達高さは D を増す程に高くなるが、barrier の高さ D との定量的な関連についてはさらに検討を加えたい。最後に、本実験を遂行するにあたり本学学生 安保明光、川村匡由、星 浩幸の諸君の協力を得たことに付記し謝意を表します。

参考文献 1) 阿部・今野：淡塩二層流における物体周辺の流れに関する一実験、昭和46年度、東北支部技術研究発表会議要録。

2) Miles, J. W.: Lee waves in a stratified flow Part 1. Thin barrier, J. Fluid Mech. Vol.32, part 3, PP541-557, 1968.

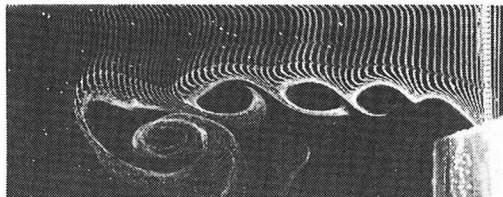


写真-1 (流れ $X=-1$, パルス中 0.05sec , 電圧 100V)

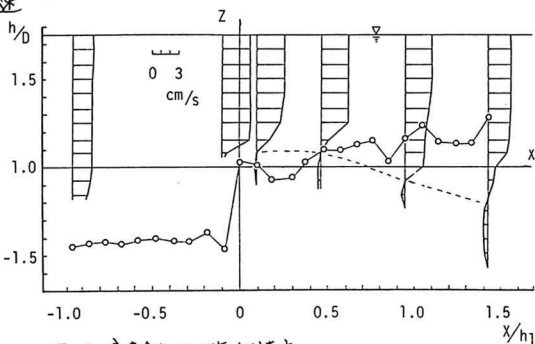


図-3 流速分布および塩水到達高さ($D=6.0\text{cm}$)

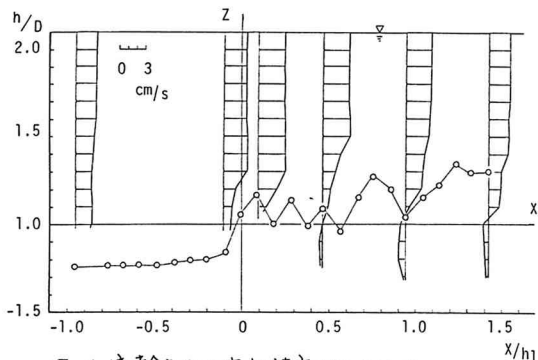


図-4 流速分布および塩水到達高さ($D=5.0\text{cm}$)