

弯曲部における塩水楔の挙動について

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄 正員 大久保賢治
 京都大学大学院 学生員 菅沼史典

1.はじめに 従来、弯曲水路で行なわれた密度流実験^{1),2),3)}では、塩水楔などの河口密度流を対象としたものはない。本研究では、180°の弯曲部を有する水路での交換密度流、定常塩水楔の実験を通して、フロントの進行や楔遊上距離及び界面形状について検討した。

2.実験条件 実験水路は幅5cmのアクリル樹脂製で、中心曲率半径 $R_c=15$ cmの弯曲部の上、下流に長さ50cmの直線部があり、隔壁をへて上下流の貯水槽(60×30cm)に接続している。交換密度流実験では水深4~8cm、密度差0.001~0.021の範囲で、定常塩水楔実験は水深6.65cmで一定とし、密度差0.003~0.012の範囲で実施し、後者の実験では楔先端での上層内部Froude数は $Fr_0=0.3\sim0.5$ 程度であった。

3.フロントの進行特性と楔の遊上距離 交換密度流でのフロントの進行距離 L/H (H は水深)を無次元時間 T/T_0 ($T_0=\sqrt{H/g}$, g は有効重力)に対してプロットしたのが図-1である。図中の破線は直線水路で Y_{ih} が得た初速 Co に関する結果で、 Re -約2000~10000の本実験結果では幾分進行速度に波が生じているものの、弯曲の明確な影響は認められない。さらにKeulegan⁴⁾は直線水路での定常塩水楔の遊上距離 L_0 について、 $L_0/H \propto Fr_0^{1/2}$ なる関係を実験式として提案している。楔先端が弯曲水路内にあると、先端部左右両岸に偏差を生じるが(図-3)、平均的な遊上距離に対して整理すると、図-2のようになる。 $Re=2890\sim5860$ の範囲では、実験値のばらつきを考慮すると、弯曲部でも L_0/H と Fr_0 との指数関係に著しい変化は見られない。

4.塩水楔の形態 交換密度流のフロント、定常塩水楔の先端部いずれにおいても、左右両岸に偏差 $\bar{d}$ を生じるが、特に顕著な後者の場合に、その流程変化を示したものが図-3,4である。図4で、 $\bar{d}$ はいくつかのケースで測定したものを平均したもので、 L は楔内岸先端の遊上距離である。弯曲下流側では直線部で偏差が生じ、次第に増大する。弯

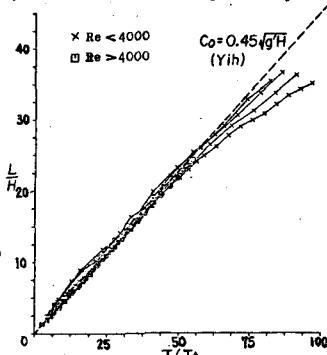


図-1

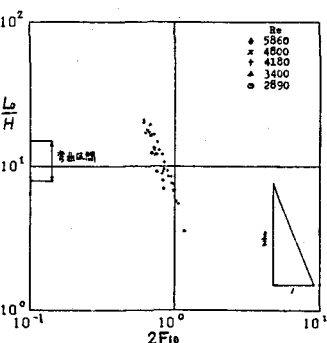


図-2

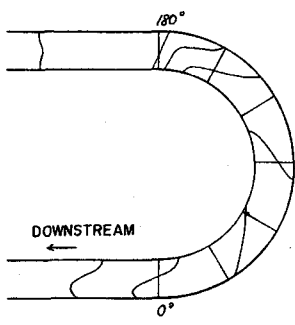


図-3

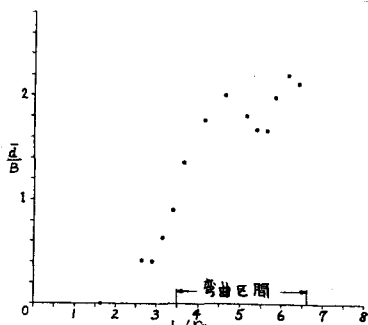


図-4

Yoshio MURAMOTO Kenji ŌKUBO Fuminori SUGANUMA

曲部中央付近でやや減少が見られるものの、 150° 付近で偏差が最大となり、ほぼ水路幅の2倍の値をもつ。その後急激に減少し、彎曲部上流端ではほとんど0となる。このような先端形状の変化は上層流の特性、特に2次流の発達過程と密接に関連していると思われるが、先端底面付近の流れを色素で可視化したのが写真-1である。破線で楔先端位置を示す。上層流の底面から楔上面にかけて、内岸向きの流れが観察されるが、本実験では、こうした流況と偏差との物理的な関連が把握し切れず、偏差の定量的な扱いも、水路スケールの影響を含めて、今後の課題である。つぎに、図-5に全水深で無次元化した界面形状を示す。界面の可視化は、北村の実験⁵⁾で用いられたアルカリ発色法と、通常の下層を着色する方法とを併用した。外岸では混合層が極めて薄く、淡塩水境界が明瞭であるのに対し、内岸では混合層が厚く、発色域が広いために界面高さの決定が非常に困難であった。従って読み取りの誤差が大きいと思われるが、Chikwendu¹⁾に従って内外岸界面高さの差 Δh を上層内部Froude数 F_i に対してプロットしたのが図-6(a),(b)である。ただし、(b)は楔の極く先端付近について、(a)は楔のその他の部分について示した。図中の直線は2流体の圧力平衡関係から次式で与えられる理論値である。

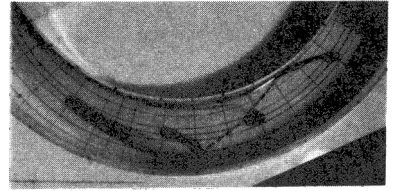
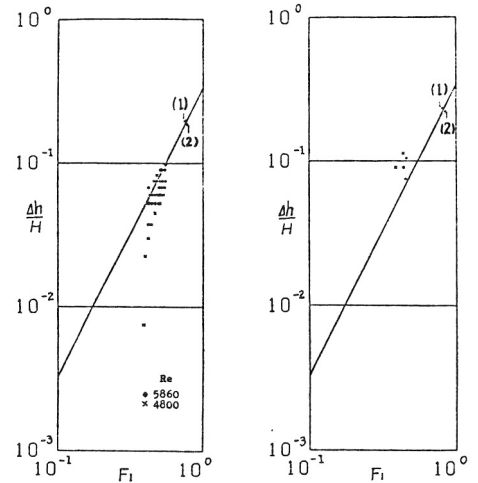


写真-1

図-5は3つのグラフで、それぞれ異なるFroude数 F_i を示している。縦軸は h_s/H (0.0 to 0.5)で、横軸は角度 θ (0 to 180度)である。実線は内岸界面位置、破線は外岸界面位置を示す。

- 上段: $F_i = 0.397$
- 中段: $F_i = 0.362$
- 下段: $F_i = 0.339$

図-5



(a) 図-6 (b)

$\Delta h/H = (\ln r_2/r_1) \cdot F_i^2 \dots (1), \Delta h/H = (B/r_c) \cdot F_i^2 \dots (2)$
 (ここに、 r_1, r_2, r_c は、各々水路内岸、外岸、中心線の曲率半径である)
 (a)では全体に理論値が実験値より大きくなっているのに対し、(b)ではその逆の傾向が見られる。(a)の傾向は、一つには(1)(2)式を導く際下層流速を無視したことに依ろうが、(b)の結果を見ると、楔先端付近の傾向は単なる圧力平衡関係では説明し切れない。従って前述のように、流況及びその楔への影響の、より正確な把握が重要となろう。

5. おわりに 現地河川の彎曲あるいは蛇行部では、横断面形が複雑で、かつ河川流量によって断面形が変化する。従って本実験の結果とはかなり異なる形態をとる可能性がある。相似律の点でも、装置の制約で密度差を十分大きくとれなかったことや、 r_c の値の相違と楔先端偏差の関係等が問題として残る。また計画の便から、大型水路での実験が望まれる。〈参考文献〉 1) L.N.Chikwendu: La Houille Blanche, 1966 2) L.N.Chikwendu: IAHR, 1967

3) Macagno & Alonso: IAHR, 1971 4) Estuary and coastline hydrodynamics, 1966 5) 北村等: 昭和55年度京大卒業論文