

II-221 塩水楔の制御とその効果に関する検討

東京電機大学 建設工学科 正員 有田正光

(1) 緒論

周囲水中に密度差を持つ流体が侵入して行く場合に密度カレントもしくは密度楔の二つの流動形態が観察される。密度カレントはその長さが短く先端の形状が鈍い為、先端部に掛かる形状抵抗と浮力に基づく侵入力が釣り合っているのに対して密度楔は極めて長く、その密度界面に掛かる界面せん断力と浮力効果にもとずく侵入力が釣り合っている。

著者等¹⁾は先に密度フロントの先端への接近流速の流速分布の差異による密度フロントの先端形状についての解析を摂動法を使用して行なった。その結果、密度差のある流体の先端部への接近流速の持つ運動量が一樣流の持つ運動量に比較して僅かでも欠損があれば密度流れは最終的に密度楔となり、逆に僅かでも過剰があれば流れは最終的に密度フロントとなることを明らかにした。さらに著者等はこの知見に基づいて、流れの境界層を制御することによって境界層中に運動量の超過を作りだし、本来密度楔となる現象を密度フロントに変化させる方法のいくつかを提案した¹⁾。写真-1は著者等により提案された方法の一例を示すものである。同写真は水路底部に突起物を設け底面付近の流れの運動量を超過とすることにより密度フロントを発生させる方法を示しているものであり、以下にこれを単に「突起物法」と呼ぶこととする。なお写真において淡水は左から右に流れている。

長い密度楔を短い密度フロントに変化させる技術は工学上応用範囲が広く（河口部における塩水楔の遡上防止工、鉱山の排気、建物の中の空気浄化、流出油の拡散防止工—その他）、極めて重要な技術となり得る。本論文においては写真1に示す「突起物法」により、塩水楔を具体例として同手法の効果を定量的に見積ろうとするものである。

(2) 塩水楔を念頭においた「突起物法」の効果の定量的評価と結論

塩水楔の流れの中に高さ： Δh の突起物を水路底に設置した場合の流れの場の模式図を図-1に示す。図中において①断面＝突起物の上流側の断面、②断面＝突起物の設置地点の断面、③断面＝密度フロントの頭部よりも若干、下流側に採った断面—である。同図において、 H_0 、 U_0 ＝①断面の水深と流速； H 、 U ＝②断面の水深と流速； h ＝③断面の塩水層の高さから突起物の高さを差し引いたもの； ρ_f ＝淡水の密度； ρ_s ＝塩水の密度； $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$ —である。

以下に塩水楔中に突起物をおいた場合の塩水楔の長さの抑制効果についての検討を行なう。

水中に挿入された突起物によって塩水楔の長さがどの程度短くなるかを見積る為には先ず塩水楔の界面形

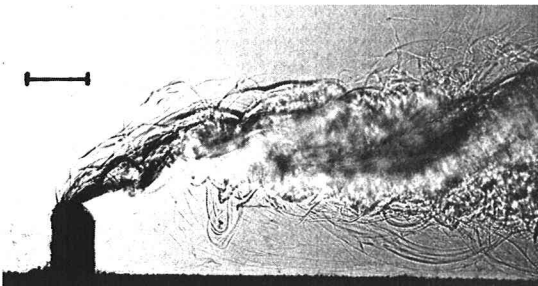


写真-1 「突起物法」による密度フロントの発生
(Shadowgraph 法による可視化¹⁾、 $\rightarrow$ の長さは2cm)

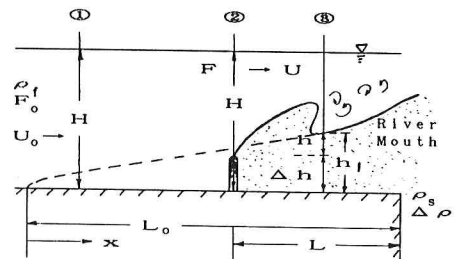


図-1 突起物法の模式図

状及び長さを計算する必要がある。ここではその為のモデルとして著者等^{2), 3), 4)}により提案されているモデルを使用する事とする。本報においては計算例として Mississippi 川の塩水楔を念頭におくこととし、 Re 数 ($=U_0 H_0 / \nu$, ν は流体の動粘性係数) $=10^8$ で、 F_0 数 ($=U_0 / \sqrt{(\Delta \rho / \rho_i) g H_0} = 0.1, 0.2, 0.3$ の場合についての計算を行なった。その結果を図-2に示す。同図において縦軸は塩水楔の界面の高さ: h_1 を水深 H_0 で無次元化した形で示し、横軸は塩水楔の先端から採られた距離: x を塩水楔の全長: L_0 で無次元化された形で示してある。また同図中に無次元化された塩水楔の全長: L_0/H_0 を示してある。

塩水楔の長さを与える突起物の影響を評価する為の計算手順を表-1に与える。表-1に従って説明を加えると次の通りとなる。①突起物の高さ: $\Delta h/H$ を与える。②②断面における密度フルード数: $F (=U / \sqrt{(\Delta \rho / \rho_i) g H})$ を $F^2 = F_0^2 / (1-m)^3$ より定める。③ Benjamin⁵⁾によって得られている、密度フロントの頭部の混合が無視しうる場合の解である次式を使用して $n = h/H$ の値を求める。

$$F^2 = n(1-n)(2-n)/(1+n) \quad \text{式(1)}$$

④以上の計算結果より遡上を阻止される塩水楔の高さ: $p = (h + \Delta h) / H_0$ が $p = n(1-m) + m$ を計算する事によって求まる。⑤塩水楔の厚さが遡上を阻止される塩水楔の高さ: p より小さい部分の塩水楔の侵入が突起物によって侵入を阻止されると考えると図-2を使用して短くなった塩水楔の長さ: L/L_0 が求められる。

以上に述べた方法によって今回行なった $Re = 10^8$ で、 F_0 数 ($=U_0 / \sqrt{(\Delta \rho / \rho_i) g H_0} = 0.1, 0.2, 0.3$ のそれぞれのケースにおける、突起物が存在する場合の L/L_0 のそれぞれの値を表-2に示す。表-2に示す計算例は Re 数が 10^8 の場合であるので個々の河川についてはそれぞれ別途計算が必要となることは言うまでもない。計算例に示すように比較的小さな突起物でも塩水楔の遡上長さを著しく短くしうるものであることが分かった。

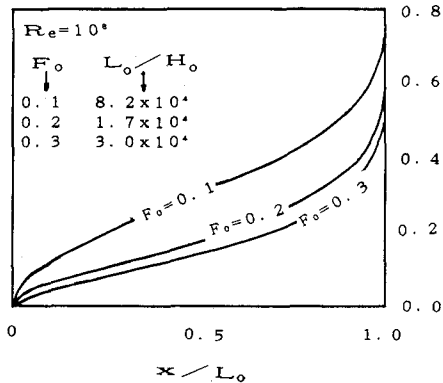


図-2 塩水楔の界面形状
($Re = 10^8$)

- 計算手順
- ① $m = \Delta h / H_0$: 与える
 - ↓
 - ② $F^2 = F_0^2 / (1-m)^3$: 計算
 - ↓
 - ③ $n = h / H$: 式(1)より
 - ↓
 - ④ $p = (h + \Delta h) / H_0 = n(1-m) + m$: 計算
 - ↓
 - ⑤ L/L_0 : 図-2より

表-1 突起物の
高さの効果の計算手順

F_0 $\Delta h/H_0$	0.1	0.2	0.3
0.1	0.91	0.61	0.40
0.2	0.72	0.33	0.11
0.3	0.54	0.11	0.02

表-2 突起物の高さの
効果の計算例: $Re = 10^8$
場合(表中は L/L_0 の値)

参考文献

- 1) Jirka, G.H. and Arita, M. : Density Currents or Density Wedges: Boundary Layer Influence and Control Methods, Jour. of Fluid Mech., 印刷中
- 2) 有田正光・G.H.Jirka : 二層流の連行及び界面抵抗係数, 第31回水理講演会論文集, pp.479-484, 1987.
- 3) 有田正光・G.H.Jirka : 塩水楔の二層界面の連行と界面抵抗係数, 土木学会論文報告集, 投稿中, 1987.
- 4) 有田正光・G.H.Jirka : 塩水楔の流れの諸量の予測モデル, 土木学会論文報告集, 投稿中, 1987.
- 5) Benjamin, T.B. : Gravity Currents and Related Phenomena, Jour. of Fluid Mech., Vol.31, pp.209-248, 1968.