

東京電機大学 理工学部 建設工学科 正員 有田正光
 東京大学 工学部 土木工学科 正員 玉井信行

1. はじめに

発電所から放出された表層放出温排水は傾斜海浜を持つ放出場に放出される事が多い。この様な場に放出された温排水は海底勾配の影響を強く受けてその布設効果が遊減する。その様な布設効果の遊減に関する研究は拡散範囲予測の上で重要である。本報告は斜面勾配が布設効果に与える効果についての実験的検討結果について述べるものである。なお問題を簡単化する為に鉛直二次元水路を使用して実験を行う事とした。

2. 実験方法

本実験に使用した水槽は長さ10m, 幅10cm, 高さ1mのものであり、上流端に幅10cmの放水口が、下流端に排水ゲートが設けられており、水位を自由に調節できる。斜面勾配は放水口から長さ4m区間に一定値を設定した。本実験は密度噴流と均質噴流の場合に分け勾配I (H/LX100:ここにLは流軸方向にと、Lは長さ、Hは放出口より距離しにおける水面から底面までの高さ、である) が ∞ , 24%, 10%の3種類について行う事とした。図-1は放出場の模式図である。

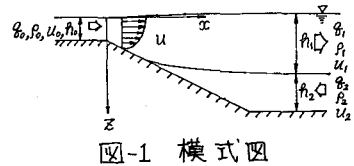


図-1 模式図

3. 均質噴流

(3.1) 単位幅流量 温度密度噴流はいわゆる進行現象により、布設され温度が低下してゆく。ここでは斜面勾配が布設に与える影響について考察する為に均質噴流の場合についての実験を行い、その結果より温度密度噴流の布設効果について類推してゆく事にする。図-2は斜面勾配の変化に伴う布設水量の変化を示す実験結果である。同図で q は単位幅流量、 h_0 は放出水深であり、 q_0 は放出口から $x=1cm$ の値である事を示している。以下、勾配の変化に伴う布設率の変化について述べる。 $I=\infty$ の場合、その布設率は $(x/h_0)^{0.85}$ で増加してゆく。この事と平均流速の遊減に関する実験結果より進行係数は0.05と導かれた。一方 $I=24\%$ の場合、 $x/h_0 \le 10$ の範囲では布設率の増加割合について差異は認められない。しかしながら $x \ge 10$ 程度で布設率はピークをもち、それより遠方では減少してゆく。

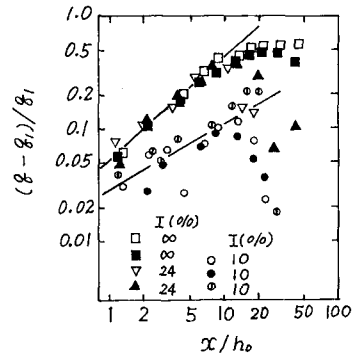


図-2 単位幅流量

この事は図-3に示す様な渦が斜面の存在により発生しているという事に原因していると考えられる。この渦の存在はJetに対して $x/h_0 < 10$ で正の進行を与え、 $x/h_0 > 10$ で負の進行を与える事になる。この事により、上下層間の混合が遊むが、水深が限られているため布設のための補給されるべき周囲水が早い事により、軸方向の温度低下は $I=\infty$ の場合より小さくなるであろう。さらに $I=10\%$ の場合は布設率そのものが大きく減少すると共に前述の渦により、鉛直方向に十分混合される

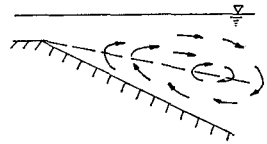


図-3 渦

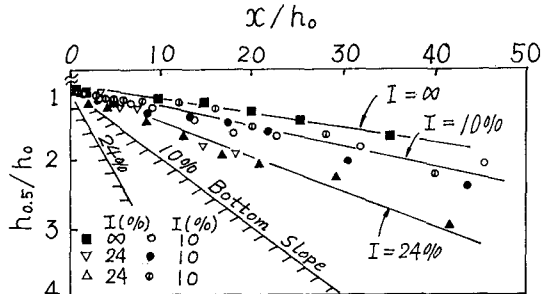


図-4 噴流厚

事が分る。従、温噴流の場合、 $I=24\%$ の場合よりもさらに温度低下が小さいと予想される。

(3b) 噴流厚 斜面の存在による噴流厚の変化について以下述べる。ここで噴流厚を $u/u_0=0.5$ (u は任意の点の流速, u_0 は軸上最大流速) となる点までの水深と定義し、 $h_{0.5}$ と記述する事とする。図-4は噴流厚に関する実験結果である。同図より勾配10%の場合よりも24%の場合の方が明らかに噴流厚が大きい。これは図-3に示すような連行現象とそれに伴う噴流下面と斜面の間に生ずる強い渦により、下層部が生じ上層が低下する為であると考えられる。これにより、上層平均流速は $I=0\%$ の場合よりも小さくなる。一方 $I=10\%$ の場合、噴流厚は $I=0\%$ の場合よりも小さくなるが $I=24\%$ の場合よりは小さい。これは斜面の影響を受けている為である。このように噴流厚は斜面勾配の影響を受けて大きく変化する。この様な点についての知見はNear-Field における温噴流の拡散予測を行う上で重要な因子となりうるものである。

4. 密度噴流

前節において均質噴流の場合の実験結果より密度噴流の布設過程に斜面勾配が大きな影響を与える事を述べた。ここではその様な異なる布設過程の後、最終的に定まる躍層厚に関する検討を行う。

(4a) 躍層厚の理論的試算 密度噴流の最終的な躍層厚は、図-1に示される様な放出場を考えると、上下層に対して立てられた運動方程式より導かれる。ここで $\rho_0 \approx \rho_1$, $u_0 \rightarrow 0$, $I=0$ の条件を課すると躍層厚を与える式は簡単となり式(1)で与えられる。

$$\left(\frac{h_1}{h_0}\right)^3 - (1 + 2Fro^2)\left(\frac{h_1}{h_0}\right) + 2Q^2Fro^2 = 0 \quad \text{----- (1)}$$

式(1)で、 h_1/h_0 : 放出口水深と内部跳水後の水深の比, $Q = q_1/\rho_0$: 放出流量と内部跳水後の流量の比で布設倍率, $Fro = u_0/\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1} g h_0}$

: 放出密度Froude数, である。式(1)より十分下層水からの布設が得られる場合の内部跳水終了後の最大布設倍率, および最終的躍層厚はそれぞれ $h_{max} = (1 + 2Fro^2)^{3/4} \cdot Fro$, $h_1/h_0 = \sqrt{(1 + 2Fro^2)/3}$ となり、そのときの密度Froude数は1となる。また下層水による連行布設がない場合の式(1)の解は $h_1/h_0 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8Fro} - 1)$ となる。

(4b) 実験結果との比較 上記の理論は半無限水深の場合について求められたものであるがここでは斜面上で行われた実験との比較を行う事とした。

図-5は10%勾配の場合で下層水の補給を行わないときの最終的躍層厚について理論と実験結果との比較を行ったものである(ここでいう最終的躍層厚 h_{max} は染料による可視化によって求められたものである)。同図より実験結果は理論と比較的一致していると言える。なお図-5で仮放出Froude数において実験値が大きい値を示すのは躍層下面と斜面の間に発生する渦により、染料面が下がり躍層厚を過大に評価している為であると考えられた。

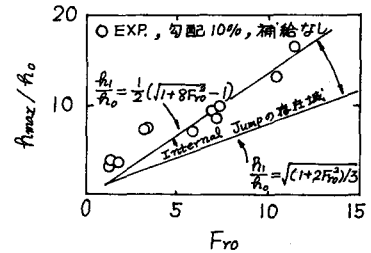


図-5 最終的躍層厚

5. 結論

①斜面上に温排水を放出する場合、その勾配の程度に応じて鉛直連行による布設が抑制されるが、10%程度になるとその効果は著しくなる。②躍層下面と斜面の間に発生する連行渦により、下層部が生じ、界面が低下する。しかも斜面の勾配が小さくなると、斜面的影響を強く受ける様になる。③温度噴流は斜面勾配の影響を受け流動するが最終的躍層厚はその影響を受けない。

謝辞

本研究の過程において東京電機大学小野久彦教授より種々の激励を頂いた。また実験に当り、東京電機大学58年度卒業生、小泉氏、斎藤浩の両氏の熱心な助力があり、此事を記し感謝の意を表わします。

参考文献: 玉井信行, 密度流の水理, 新体系土木工学, 土木学会編, 技報堂出版, 1980