

流れ場における水平放出プリュームの数値解析

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻 啓二
 大阪大学大学院 学生員 ○柴垣 雄一

1. まえがき ; 本研究は流れのある周囲流体中へ水平放出されたプリュームの混合拡散過程を数値解析より検討したものである。沿岸海域での下水処理水の放流を対象としており、(i)放流水の密度差が大きく、放出密度フルード数 F_{d0} が小さいこと、(ii)水深・放流管口径比 H/D が小さいこと、(iii)放出速度が周囲水流速に比較して大きいことがその特徴としてあげられる。静止水域における実験値と数値解との比較検討により数値モデルの整合性を検証したのちに、流れ場におけるプリュームの挙動と拡散能について考察した。

2. 数値解析の要点 ; 数値解析は保存則にしたがい、速度および密度の断面内分布形相似の仮定の下にプリューム軸に沿った積分モデルを展開しておこなった。プリュームの流速成分と周囲水流速成分は重ね合わせができるものとし、連行係数は流れ場のプリュームに適用可能な Hirst の提案式を用いた。また、密度と流速の拡散幅比は 1.11 と固定した。静止水域での解析については、すでに前報¹⁾で述べたように径路、希釈率ともに実験値と良好な一致を示しており、数値モデルの整合性は確認されている。

3. 初期条件の設定 ; 計算の出発点は分布形の相似が成立する形成領域の終端点とする。静止場における形成領域の長さ s_e/D は F_{d0} 数の増加にともない一定値へ漸近することが知られており、その値は 6~7 程度であることが既往の実験結果より確認されている。今回の解析における s_e/D の値は、既往の実験値と解析解との比較より $F_{d0} \geq 6.0$ については 6.5 を採用し、 $F_{d0} < 6.0$ については Abraham²⁾ の解に基づいて F_{d0} 数に応じて適宜決定した。また、流れ場において流れ方向に水平放出した場合には、 s_e/D は流れの影響をうけて長くなることが予想される。したがって流れ場における s_e/D の値は Hirst³⁾ の提案式に基づいた係数 G を静止場での s_e/D の値に乗ずることにより修正した。ここで係数 G は流速比 $K_0 = U_j/U_a$ (U_j : プリューム流速, U_a : 周囲流速) に応じて決まる係数である。

4. 連行係数 ; 連行係数に関する Hirst³⁾ の提案式は次式で示される。

$$V_e = \left(a_1 + \frac{a_2 \sin \theta}{F_d} \right) \left\{ |U_s - U_a \cos \theta| + a_3 U_a \sin \theta \right\} = \alpha (U_j + a_3 U_a \sin \theta)$$

ここに F_{d0} : 局所密度フルード数, U_s : 軸方向流速, θ : プリューム軸と底面のなす角 である。静止場における連行係数の値は噴流形態においては 0.057, プリューム形態においては 0.082 となることが知られている。それゆえ、今回の解析では $F_{d0} \geq 6.0$ については α を 0.057 から 0.082 まで変化させた。 $F_{d0} < 6.0$ については形成領域を経たのちにただちにプリューム形態をとると考え、 α は 0.082 で一定値とした。流れ場においては a_3 の値を実験結果との比較により新たに決定する必要がある。Hirst は $a_3 = 9.0$ を、また片野、河村⁴⁾は

$Q_3=20.0$ を提案している。今回の数値モデルは彼等のモデルとも若干異なるものであるの
で、適合性を新たに検証する必要がある。そこで、流速比 K_0 が10から50の範囲のプリー
ム($F_{d0}=10.0$)を対象に、 Q_3 の値が径路、希釈率、流速の適減、拡がり幅等に与える影響を検
討した。数値計算によれば、 $Q_3=20.0$ 、 $K_0=50$ の計算では、ある距離を流下後に拡がり幅が
急増大すると同時に流速が0.0となる結果となり、 $Q_3=20.0$ の採用は明らかに連行過剰に
なることが判明した。図1, 2はそれぞれプリーム径路、プリーム軸上での希釈率を
示し、 $Q_3=9.0$ とした場合の解析結果と片野らの実験結果とを比較している。図中の実線
は実験値と同条件で求めた数値解を、斜線部は解析された拡がり幅よりプリームの半幅を
示したものであり、破線は静止場($K_0=\infty$)での数値解を示す。両図ともに多少のずれはあ
るものの、今回の数値モデルは流れ場においても十分適用性があるものと判断できる。

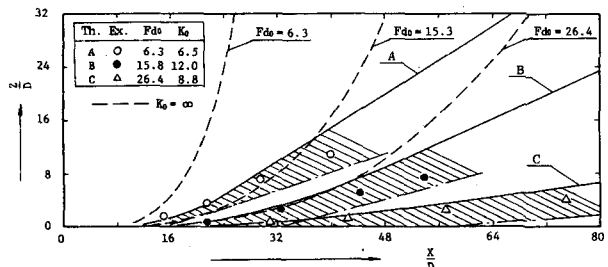


図1 流れ場でのプリーム径路

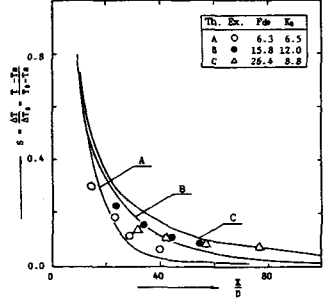


図2 流れ場での希釈率

5. 潮流場での下水処理水の放出 ; 図3, 4は下水処理水を潮流のある浅水域に放流
した場合のプリーム径路とプリーム軸上の希釈率の変化を示したものである。 F_{d0} 数
は2.64と2.04の2種でおこない、流速比 K_0 を2.3から11.6まで変化させた。また Q_3 の値は
9.0とし、 $K_0=2.9$ および2.3はそれぞれ最大潮流速時の流速比である。図3より径路は
ある距離を流下後に変曲点をもつ曲線となり、径路を支配する要因が放流流速から周囲流
速へと移り変わるのがわかる。希釈に関しては、周囲水流速が大きいほど、また F_{d0} 数が
小さいほど同水深位置における希釈効果はよくなる。周囲水流速の影響は径路が延びるこ
とと連行加入量が増大することの二面に現われており、周囲水流速がある場合の希釈は静
止水域と比較して飛躍的によくなると判断できる。

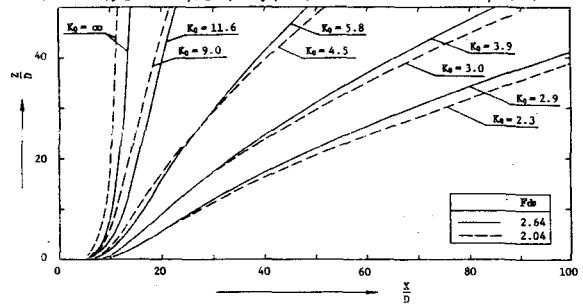


図3 潮流場でのプリーム径路

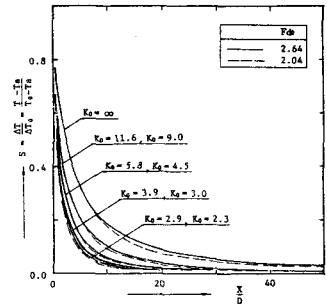


図4 潮流場での希釈率

【参考文献】 1) 室田, 中辻, 柴垣: 関西支部年講, 1982 2) Abraham, G.: Proc. ASCE HY4, 1965
3) Hirst, E.: Proc. ASCE, Vol. 98, 1972 4) 片野, 河村: 電力中央研究所報告 376012, 1977