

### 浅水域における噴流の組織的流動特性に関する研究

東京電機大学大学院 学生会員 ○川西 謙太  
東京電機大学研究生 奈良 直季  
東京電機大学 正会員 有田 正光

#### 1. はじめに

現地における噴流の問題は原子力発電所から海域への温排水の放流や浅水域への河川水の流出といった現象に見られ、環境水理学上の重要な研究課題となっている。近年、水平二次元性が強い浅水域に放流される噴流は平面渦の形成と流軸の蛇行を伴うこと、つまり、水平二次元的なスケールの大きな乱れが流動現象を支配するような組織的な流動構造を持っていることが報告されている(以下、二次元コヒーレント噴流：2DCS 噴流という)<sup>1),2)</sup>。この2DCS 噴流は組織的流動構造を持たず噴流内に形成される乱れが不規則かつ三次元的な噴流(以下、三次元噴流：3DS 噴流という)とは大きく流動メカニズムが異なるものである。

従来、検討対象とされてきた噴流は、一般には3DS 噴流であり、2DCS 噴流については、現地の浅水域では頻繁に出現すると考えられるものの、その発生条件や流動メカニズムの詳細については殆ど未解明のままである。本研究は精度の高い拡がり予測を可能とするために、2DCS 噴流の発生条件や流動メカニズムを明らかにし、また、その拡がりの物理的メカニズムに関連する知見を得ることを目的として実施する。

#### 2. 実験装置・実験要領

本研究に使用した実験装置を図-1に示す。同図に示すように、貯水槽、定水位水槽、放流用水槽、平面水槽などで構成され、また平面水層の底面には100x200cmの目盛り付きの亚克力板を、平面水槽側面には噴流の水平連行流量を補給するための分散管を設置している。

本研究で検討した実験の条件を表-1に示す。同表に示すように、放流口幅  $B=1.0\text{cm}$ 、放出流速  $U_0=60\text{cm/s}$  とした。また、水深は  $H=1.0\text{cm}$  ( $H/B=1$ )、 $2.0\text{cm}$  ( $H/B=2$ )、 $4.0\text{cm}$  ( $H/B=4$ ) と変化させ、流れ場の水平二次元性の程度を変化させた。なお、本報では紙面の都合により表-1に示す均質噴流のケースのみについて取り扱うこととし、水平二次元性の変化が組織的流動の特性(特に平面渦の発生の挙動)、流軸の蛇行の規模、拡がり幅に与える影響について実験的に検討し、報告する。また、座標は放流口から流軸方向に  $x$  軸をとり、それに直交する方向を  $y$  軸とした(図-1参照)。

#### 3. 実験結果と考察

##### (1) 組織的流動特性が噴流の拡がりに及ぼす影響

写真-1は  $H/B=1$  (CASE NH1)、 $H/B=2$  (CASE NH2)、 $H/B=4$  (CASE NH4) の流況の可視化写真である。同写真より、最も水平二次元性の強い  $H/B=1$  のケースでは明瞭な平面渦の発生や流軸の蛇行といった組織的な流動が顕著に表れている。逆に最も水平二次元性の弱い  $H/B=4$  のケースでは明瞭な平面渦の発生や流軸の蛇行のような組織的な流動は生じていないことが分かる。

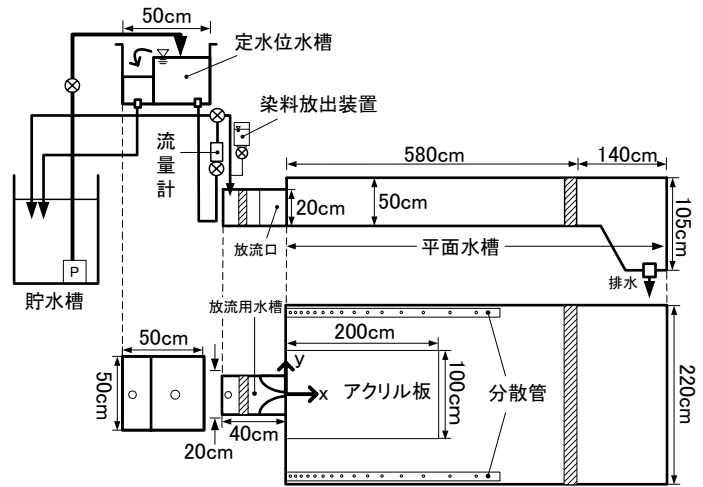


図-1 実験装置

表-1 実験条件

RUN	放出流速 $U_0$ (cm/s)	放流口幅 $B$ (cm)	水深 $H$ (cm)	$H/B$
CASE NH1	60	1.0	1.0	1.0
CASE NH2			2.0	2.0
CASE NH4			4.0	4.0

また、 $H/B=2$  のケースは  $H/B=1$  と  $H/B=4$  の中間的な挙動を示していることが確認される。

図-2は写真-1に示される可視化された噴流の中心軸から噴流外縁迄の距離  $be$  (拡がり幅) と流下方向距離  $x$  との関係を示している。同図より拡がり幅  $be$  は  $H/B$  が大きくなる程、増加していることが分かる。また、そのとき、写真-1を見ると組織的流動特性が弱化していることが分かるが、以下にその原因について考察する。図-3は水平二次元性が最も強く、組織的流動が顕著となる  $H/B=1$  における流動の様子を模式的に示したものである。本報では同図に示すように、噴流の流軸と直交する方向に軸を持つ水深スケールの縦渦が発生すると考えている。この縦渦のサイズは水深が大きくなる程増加し、それにより流体塊の流軸方向の拡散がもたらされる。なお、図中の実線で示す縦渦は水深が浅いときにスケールの小さい縦渦が形成されることを表し、また、破線で示す縦渦は水深が深いためにスケールの大きな縦渦が形成されることを示している。このような縦渦による流軸方向の拡散に加えて流軸の蛇行による水平方向の拡散が相まり、水深が増加すると拡がり幅が増加する原因となっていると考える(図-2参照)。写真-1の可視化写真より、水深が大きく  $H/B$  が大きいケースほど噴流全体および噴流と周囲水との境界が不鮮明となっているが、これは以上の考察の妥当性を裏付けていると考える。

##### (2) 平面渦の成長・合体・すり抜け・分離・発散

本報では1秒間隔で撮影した噴流の可視化写真より調べた平面渦の挙動について論ずる。流動過程で発生する平面渦は流下と共に成長・合体・すり抜け・分離・

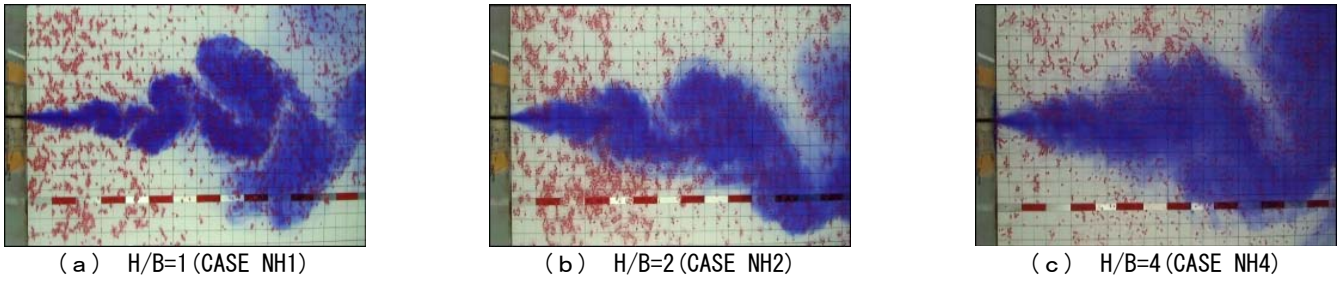


写真-1 流況の可視化

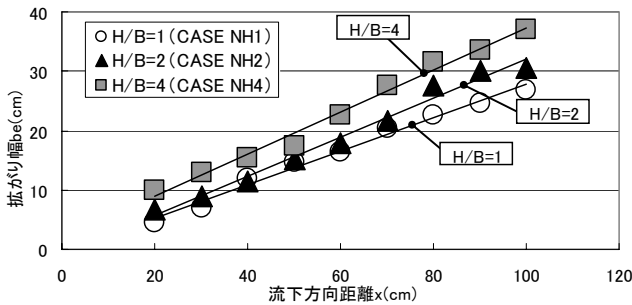


図-2 流下方向 x と噴流外縁幅 be

発散などの様々な組織的挙動を示すが、図-4 は CASE NH1, CASE NH2, CASE NH4 の平面渦の挙動を追跡した結果を示している。同図中の横軸は経過時間 t(s), 縦軸は流下方向距離 x(cm)である。同図より、最も水平二次元性が強い CASE NH1 では平面渦の成長・合体・すり抜け・分離といった組織的な流動が顕著に表れている。一方、CASE NH1→CASE NH2→CASE NH4 と水平二次元性が弱くなる程、平面渦の発生と合体数の減少、平面渦の流下速度の低下や発生地点の下流側への移動といった特徴が観察され、組織的流動に特有の現象が弱化することが明らかである。

4. まとめ

本研究は近年になって Jirka 等<sup>1),2)</sup>によって着目された浅水域の 2DCS 噴流を実験的に再現した上で、流れの可視化により、発生条件、組織的流動の特徴を明らかにしようとしたものである。実験的検討の結果、以下の諸点が明らかになった。

平面二次元性が弱い程 (H/B が大きい程)、拡がり幅は大きくなり、また、噴流水塊が全体的に希釈されることが明らかになった。この原因は組織的流動により蛇行する流軸と直交する方向に水深サイズの縦渦が発生し、それによって噴流が流軸方向に拡散されることが原因であると考えた。

平面二次元性が強い程、スケールの大きな平面渦の発生数が増加するとともに、その合体・すり抜け・分離といった組織的な流動特性が活発になるなど 2DCS 噴流の特徴が顕著になることが明らかになった。

今後、流れの可視化や高精度の流速測定に基づき、より詳細に組織的流動の特性を明らかにする予定である。また、密度流効果が組織的流動の特性に与える影響についての検討は残された課題である。

参考文献

- 1) G.H.Jirka : Large scale flow structures and mixing processes in shallow flows, J.Hydraulic Res., vol. 39,pp.567-573,2001.
- 2) T.Dracos, M.Giger, G.H.Jirka : Plane turbulent jets in a bounded fluid layer, J.Fluid Mech., vol.241, pp. 587-614,1992.

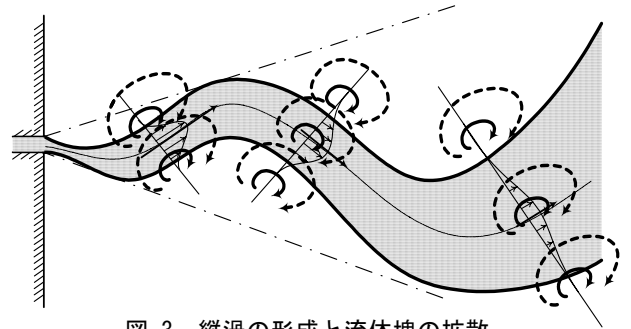


図-3 縦渦の形成と流体塊の拡散

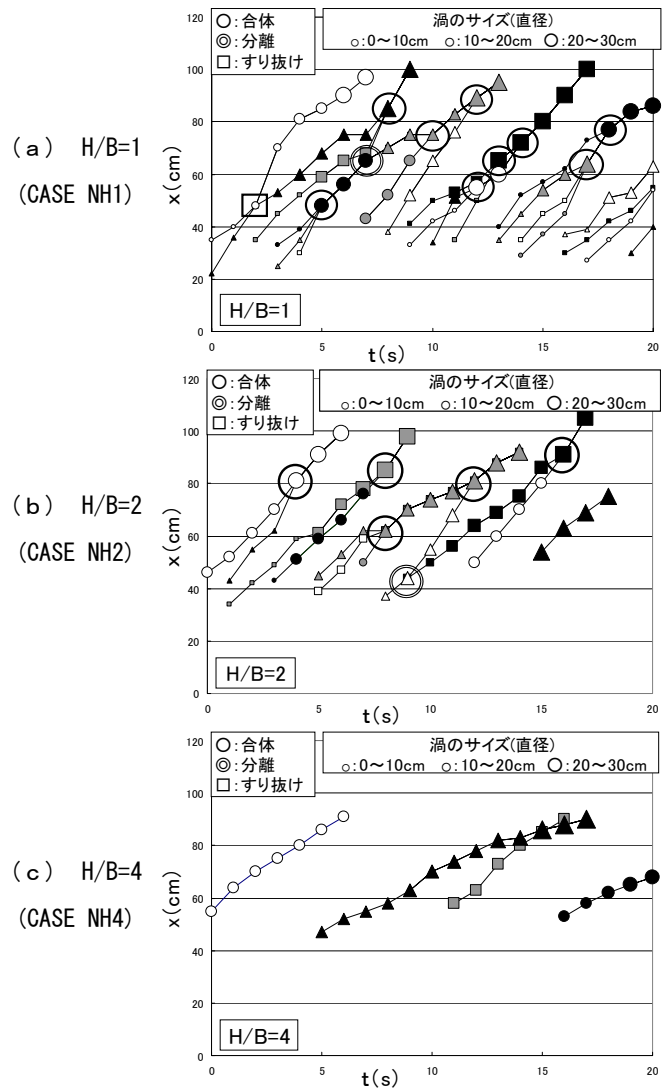


図-4 平面渦の形成・合体・すり抜け・分離の挙動