

II-132 2次元噴流場に見い出される大規模渦運動(Puff現象)について

京都大学工学部 正員 祢津家久
京都大学工学部 正員 中川博次

1. まえがき

各種の廃棄物を環境水によって効果的に処理できる multi-diffuser の合理的な水工設計法の確立を目指して、著者らは図・1 に示すように2次元ノズルが2本平行に設置された双対噴流に関する実験的研究を行い、multi-diffuser の基本的特性である噴流群相互の干渉効果に関して検討を行っている。¹⁾ この研究の中で、potential core 端付近に大規模な渦運動の存在が認められ、Crow⁵⁾ が円形噴流で発見した coherent な乱流構造すなわち puff 現象であるという確証を得たので以下で報告する。

2. 実験装置 および計測方法

拡散水槽は長さ126 cm、幅17 cm、深さ82 cmの両側面アクリル張りの越流型水槽であり、ノズル幅は $B=0.4$ cm で水槽の長さ方向(y 方向)に移動できる構造となっている。噴出流速比 U_{0a}/U_{0b} を $0/40$ cm/s, $40/40$ cm/s 及び $80/40$ cm/s, ノズル中心間隔比 L/B を 3.3 , 6.7 及び 12.1 の各種類に変えたが、以下の報告は $L/B=6.7$ の結果である。

速度変動 $u(t)$ はセンサー部 0.35 mm の1成分ホットフィルムで計測された。

なお、実験装置や平均流速特性に関する詳細は文献¹⁾ で報告されている。

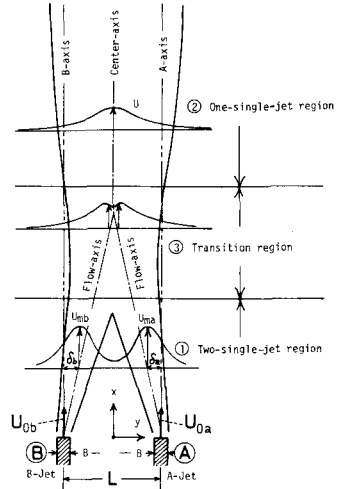
3. 実験結果 およびその考察

(1) 鉛直軸上の乱れ強度分布 図・2は図・1に示した鉛直軸(A軸, B軸)に沿う乱れ強度 u/U を示している。単独噴流の u/U は x/B の増加に従って $x/B \approx 5$ の potential core 端付近から急増し、 $x/B \approx 10$ で $u/U \approx 0.3$ の最大値を示したのち減少し、 $x/B \approx 20$ でほぼ一定値に達して self-preservation が成立している。双対噴流では流軸位置(最大流速を示す位置、図・1を参照)がA, B軸からずれるために u/U は単独噴流より大きくなるが、¹⁾ $x/B \approx 20$

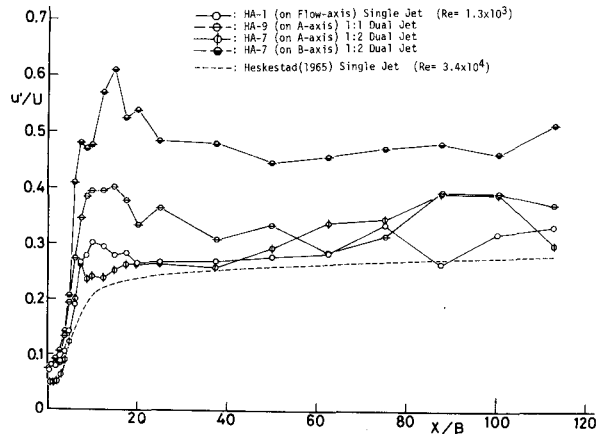
ではほぼ一定値に達してやはり self-preservation が成立する。しかし、 $x/B \leq 20$ では、単独噴流と同様な u/U の増幅現象が見られる。

ところで、近年ノズル近傍には大規模スケールの渦輪の発生及び崩壊がほぼ規則的に生じているとの報告があり、²⁾ いわゆる puff 現象が乱流の coherent な構造を示す事例として注目されている。 $x/B \approx 10$ 付近の乱れ強度の増幅はこの puff 現象の存在によるものと考えられる。

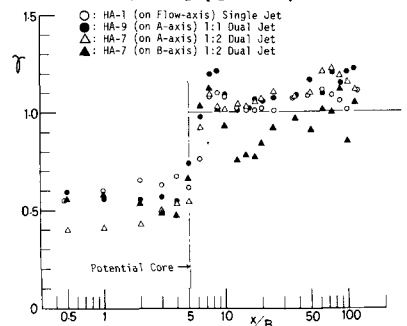
(2) 間欠特性 coherent な構造の特徴は顕著な間欠性をもつ点であり、これを間欠因子 γ で表示したものが図・3である。 γ の値は $\gamma = 28/F$, $F = \overline{u^2}/u^4$ という簡便法から概算されたが、それでも



図・1 双対噴流場の説明図



図・2 鉛直軸上の乱れ強度分布



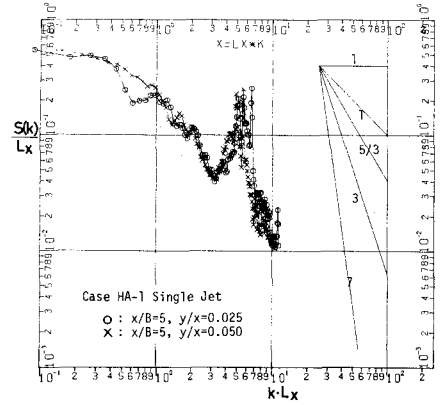
図・3 間欠因子 γ の特性

定性的には同定性を十分表わしている。^{1),3)} $x/B \geq 10$ では $\delta \approx 1$ となり完全乱流といえるが(1:2の双対噴流のB軸は流軸から大きくずれるためB軸上には環境水による bulges 運動が現われ、 $\delta \leq 1$ となる), $x/B \leq 5$ では $\delta \approx 0.5$ であり, 乱流と非乱流とが交互にほぼ同じ比率で発生・移流されるものと推測される。

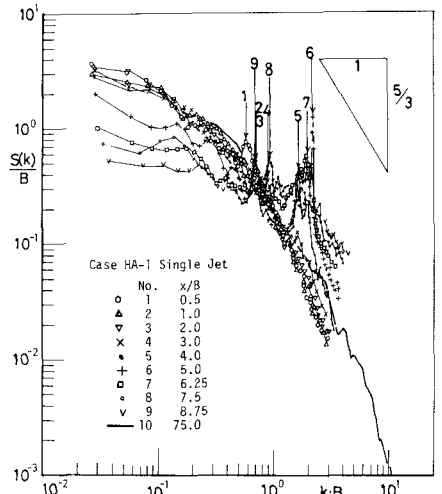
(3) 波数スペクトル分布 データ数4096個でF・F・T法から U の波数スペクトル $S(k)$ を求め, その一例が図・4に示される。図から明らかに $k \cdot L_x \approx (5 \sim 6)$ [ここで, L_x は平均渦スケールで $L_x = (\pi/2) \cdot S(k=0)$ で与えられる] に卓越スペクトル部が見られ, 周期的な puff 現象を捕えていると考えられる。このことを検討するために, 単独噴流の流軸に沿うスペクトル分布 $S(k)$ の変化特性を示したものが図・5である。図には, $x/B = 75$ で得られた完全乱流の結果も比較のため併示した。¹⁾ $x/B = 0.5$ のノズルのごく近傍では $x/B = 75$ の結果と比較して高波数部の寄与が小さく, 層流的といえるが, $k \cdot B \approx 0.6$ に卓越部が見られる。 x/B の増加に伴って矢印で示された卓越部は発達すると同時に高波数側へと移行し, $x/B \approx 5$ の potential core 端付近で最も発達・増幅される。一方, $x/B > 5$ ではこの卓越部は低波数側へと減衰し, 次第に十分に発達した乱流部での結果に近づくようである。すなわち, x/B が増加すると, puff 運動の発生・発達・崩壊過程で生じた高波数部での卓越部は次第に消滅し, 確かに $x/B \geq 20$ では L_x によってほぼ普遍特性表示されることが示された。¹⁾

(4) Puff 現象とその平均渦スケール 図・6は鉛直軸上での平均渦スケール L_x の変化特性を示したものである。 $x/B \geq 10$ では L_x は拡散幅(半値半幅) b にほぼ比例して増加するが, puff 運動の発生・発達区間と考えられる $x/B \leq 5$ では $L_x/B \approx 5$ とほぼ一定であり, この運動の崩壊すなわち十分に発達した乱流への遷移区間と考えられる $5 \leq x/B \leq 10$ では平均渦スケールも減少している。ところで, Crow⁵⁾は,²⁾円形噴流Dの potential core 端に Strouhal 数 $St \approx 0.3$, 波長 $\lambda/D = 2.38$, 移流速度 $U_c = 0.7 U_0$ の卓越した puff 運動が存在し, この下流では puff 運動は崩壊してランダムな乱流となると結論づけた。図・7は図・5の卓越波数を $St = k \cdot B / 2\pi$ の Strouhal 数で表示したものであり, 確かに potential core 端付近では $St \approx 0.3$ となり, Crow⁵⁾の結果と一致する。また, 彼らの L_x は $(\lambda/U_c) \cdot U_0 = 3.4 D$ となり, 図・6 とほぼ同程度の値となる。

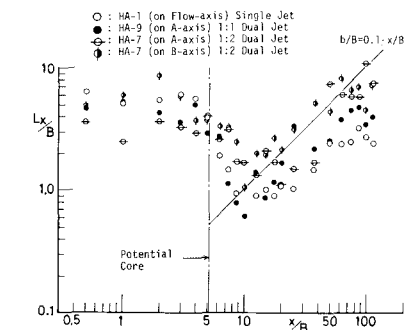
4. おとがき 2次元噴流の potential core 端には coherent な構造をもつ puff 現象が存在すると思われるが, 本実験の Reynolds 数は 1300 と小さく, 高 Re 数でも puff 現象が存在するのかさらに検討したい。
参考文献 1) 中川 S (1979), 防衛研報 2) Crow et al. (1971), JFM, 48, 547
3) Hestekstad, G (1965), ASME, Appl. Mech., 1.



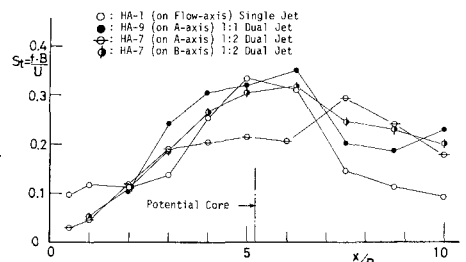
図・4 スペクトル分布の一例 ($x/B=5$)



図・5 流軸に沿うスペクトル分布特性



図・6 平均渦スケール L_x



図・7 Strouhal 数 St の変化特性