

京都大学大学院 正 員 楠津家久

京都大学大学院 学生員 ○中山忠暢

京都大学大学院 学生員 井上理恵

1. はじめに 実際の河川では通常流水上に風が吹いており、底面シアと水面シアの混在する流れになっている。このような流れ場では両者を線形的に加えることは不可能であり、両者の相互作用が発生する。また、どちらが卓越しているかを判定することは界面を通しての気体輸送特性との関連性を評価する上でも非常に重要である。本研究では空気流及び水流が共存する流れ場を対象として、その乱流構造に関する解明を行ったものである。

2. 実験方法および水理条件 本実験は全長16m、幅40cm、高さ50cmの風洞付き水路を用いて行った。計測部は水路側壁と底面下方が光学ガラス製となっており、流れが十分に発達している水路上流端から約9mの地点を計測部とした。表-1に水理条件を示す。 H は水深、 $U_{a,max}$ は空気層での最大風速、 U_{*a} は空気層での風速分布に対数則を適用して求めた摩擦速度、 U_{*b} は水層の底面での摩擦速度、フルード数は $Fr = U_m / (gH)^{0.5}$ である。全てのケースについて水深 H は4cmに固定し、風速・流速を数段階に変化させた。このような流れに対して、500mWの4ビーム後方散乱型2成分レーザ流速計(Dantec社製)を用いて水側及び空気側の水路中央断面における計測を行った。

3. 実験結果および考察 図-1は反流なしのケースに対して風速を数段階に変化させた場合の水流の主流速分布を U_{*b} 及び動粘性係数 ν で無次元化して表示したものである。ここで y^+ は底面からの距離である。

Eloubaïdy & Plate (1972)¹⁾は主流速について静水上に風が吹いた場合にも(水面近傍を除いて)底面からは対数則が成立することを指摘しているが、図より風速が小さい場合(水面が穏やかな場合)には層流的な分布を示し、ある程度風速が大きくなるとはじめて対数則が成立することがわかる。図-2は水流上に風が吹いた場合の水流の主流速分布である。図より底面近傍では対数則が成立することがわかる。また、水面近傍での急増特性は風速の増加とともに顕著になるが流速の増加とともに減少し、水流と空気流の相対流速が大きな影響を及ぼしている。図-3は水流の乱れ強度の鉛直成分 ν' を水面からの距離 $y'=H-y$ に対して表示したものである。これより、図-2と同様に、水流と空気流の相対流速が大きいほど ν' は水面近傍で増加する特性が見られる。また、図には流れのみ及び風のみを吹かせた場合の乱れエネルギーを線形に加えた場合($\nu' = (\nu'^2_{water} + \nu'^2_{wind})^{0.5}$)の曲線を点線で併示した。これより ν' が大きくなると若干ずれてくるが、 $\nu' / U_{*b} < 2.0$ ではほぼ一致することがわかる。ただし、 ν'_{water} は普遍的に表示できるものの $2\nu'_{wind}$ は風速の増加とともに減少する³⁾ため、鶴谷(1987)⁴⁾のような普遍的表示は不可能であると考えられる。実測値と図-3での線形解の比を水深平均したのが図-4である。同図より、 $U_{*a} / U_{*b} = 3 \sim 4$ を境にしてそれよりも大きく

表-1 水理条件

	$U_{a,max}$ (m/s)	Q (l/s)	Fr	U_{*a} (cm/s)	U_{*b} (cm/s)
w1f0	1.49	0.0	0.01	5.34	0.05
w2f0	4.39	0.0	0.09	21.37	0.43
w3f0	8.41	0.0	0.15	37.99	0.58
w0f1	0.00	3.2	0.32	0.00	1.22
w1f1	1.49	3.2	0.32	4.52	1.25
w2f1	4.39	3.2	0.32	18.45	1.20
w3f1	8.41	3.2	0.33	40.20	1.22
w0f2	0.00	8.0	0.80	0.00	2.53
w1f2	1.49	8.0	0.81	3.20	2.57
w2f2	4.39	8.0	0.83	13.66	2.61
w3f2	8.41	8.0	0.95	38.57	2.61
w0f3	0.00	15.0	1.50	0.00	4.64
w1f3	1.49	15.0	1.57	1.82	4.67
w2f3	4.39	15.0	1.58	12.49	4.77
w3f3	8.41	15.0	1.63	32.19	4.93

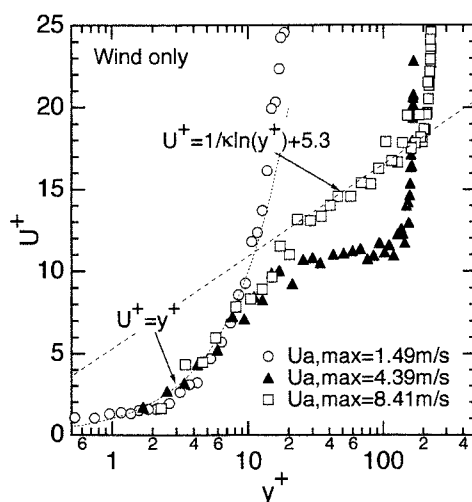


図-1 主流速分布(風のみ)

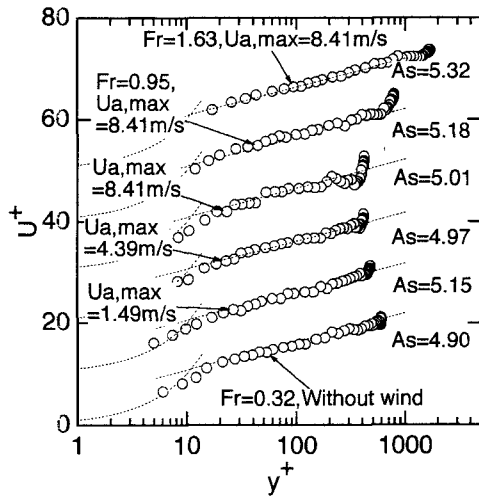


図-2 主流速分布(流れ+風)

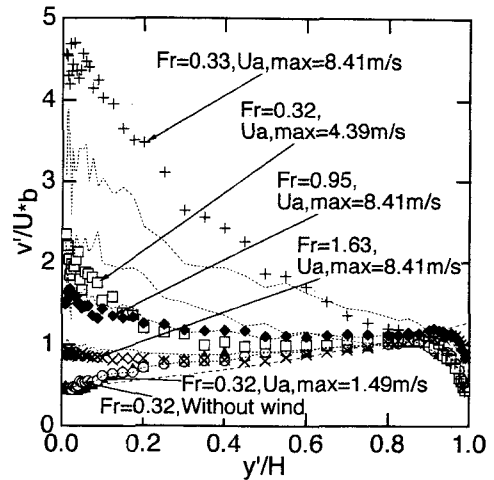


図-3 乱れ強度 v/U_* の分布

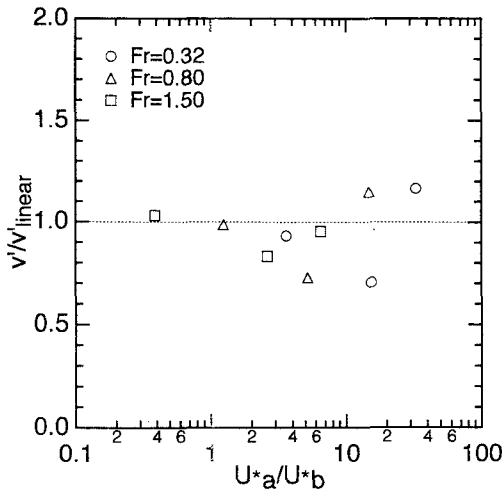


図-4 実測値と線形解の比

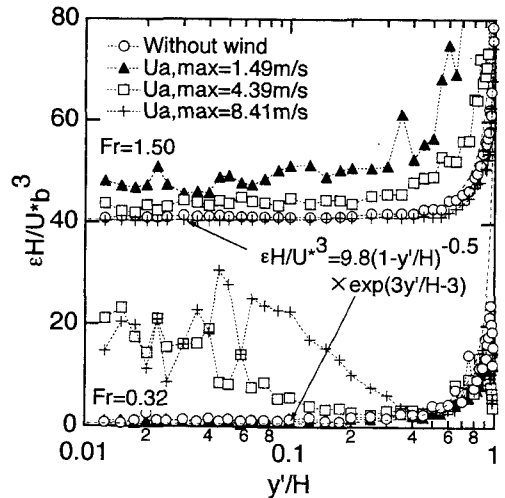


図-5 逸散率 $\varepsilon H/U_*^3$ の分布

なると1からはずれ、非線形性が増加することがわかる。これより、流れ・風が共存する場合においてこのような非線形性を考慮して乱れを予測することが今後必要であると考えられる。図-5は水流の主流速変動成分のスペクトルに対する $-5/3$ 乗則から求めた、水面近傍での逸散率 ε の分布である。図にはNezu & Nakagawa (1993)²⁾による半経験式も併示した。 $Fr=1.50$ の場合の値は40だけ上方に平行移動して表示した。図より、 $Fr=0.32$ の常流の場合には風速の増加とともに逸散率は増加するが、 $Fr=1.50$ の射流の場合には逆に減少していくことがわかる。以上より、空気流及び水流が共存する流れ場での乱流構造を評価する場合、両者の摩擦速度、あるいはEloubaity & Plate (1972)¹⁾が指摘している断面摩擦速度等を考慮する必要があると考えられる。

4. おわりに 本研究は水流・空気流が共存する流れ場を対象として、水流の乱流構造について考察を行ったものである。

参考文献

- 1) Eloubaity, A.F. and Plate, E.J. : *J. Hydraulics Div.*, ASCE, Vol.98, pp153-170, 1972.
- 2) Nezu, I. and Nakagawa, H. : "Turbulence in Open-Channel Flows", IAHR-Monograph, Balkema, 1993.
- 3) 橋津家久, 中山忠暢 : 水工論文集, Vol.43, pp.407-412, 1999.
- 4) 鶴谷広一 : 運輸省港湾技研学位論文, 1987.