

京都大学大学院 正 員 梶津家久
 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

水域環境の気体輸送は、風と底面シアアの相互作用による乱れの影響を受けている。そこで、本研究では風と底面のシアアのそれぞれが卓越する流れ、及び両者が共存する流れの気体輸送過程についてDOメータによる濃度計測とLDAを用いた乱流特性の計測の両面から考察を行ったものである。

2. 実験方法および水理条件

本実験で使用した水路は全長16m、幅40cm、高さ50cmの可変勾配型循環式風洞水路である。4ビーム後方散乱型2成分レーザ流速計(Dantec社製)による空気側・水側の水路中央断面における点計測とポーラロ方式DOメータ(セントラル科学社製)による溶存酸素の濃度計測を行った。表-1に水理条件を示す。

風シアー流れ(wind-tank)						表-1 水理条件								底面シアー流れ						
case	H (cm)	B/H	U _{a,max} (m/s)	U _m (cm/s)	U* _a (cm/s)	風シアー流れ(wind-open)							case	S	H (cm)	B/H	U _m (cm/s)	U* _b (cm/s)	Fr	η' (cm)
d2wa	8.0	5.0	0.94	0.0	3.84	case	H (cm)	B/H	U _{a,max} (cm/s)	U _m (cm/s)	U* _a (cm/s)	η' (cm)	d1f1	1/20000	4.0	10.0	6.8	0.437	0.10	0.052
d2wb			1.79		7.56	d2wa	0.94	0.004	3.84	0.022	d1f2	1/3000	20.2	1.222			0.32	0.043		
d2wd			3.63		17.51	d2wb	3.63	0.017	17.51	0.099	d1f3	1/600	50.2	2.533			0.80	0.055		
d2wf			5.46		28.67	d2wd	5.46	0.051	28.67	0.546	d1f4	1/200	92.9	4.639			1.50	0.075		
d2wh			8.30		50.29	d2wf	8.30	0.074	50.29	0.841	d1f5	1/120	123.5	6.056			2.00	0.079		
d3wi	20.0	2.0	11.20		107.8	d3wh	4.0	10.0	5.42	0.054	26.70	0.664	d2f1	1/20000	8.0	5.0	11.2	0.560	0.32	0.046

両シアー共存流れ									
case	S	H (cm)	B/H	U _m (cm/s)	U _b [*] (cm/s)	U _a [*] (cm/s)	U _{a,max} (m/s)	Fr	η' (cm)
w1f1 w2f1 w3f1	1/3000	4.0	10.0	20.30 20.26 20.59	1.250 1.197 1.220	4.52 18.45 40.20	1.49 4.39 8.41	0.32	0.041 0.054 0.080
w1f2 w2f2 w3f2	1/600			50.47 51.83 59.24	2.572 2.613 2.614	3.20 13.66 38.57	1.49 4.39 8.41	0.8	0.220 0.064 0.084
w1f3 w2f3 w3f3	1/200			98.27 98.64 101.84	4.671 4.772 4.926	1.82 12.49 32.19	1.49 4.39 8.41	1.5	0.431 0.350 0.342

3. 実験結果と考察

気体輸送過程を評価する指標として次式で定義される気体輸送速度 K_L (cm/s) を用いた。

$$J = K_L(C_s - C) \quad (1)$$

J は流入気体フラックス、 C は溶存酸素濃度 (mg/l)、 C_s は飽和酸素濃度 (mg/l) である。図-1に風シアー流れにおける K_L を空気側の風速分布に対数則を適用して求めた摩擦速度 U_{*a} に対して示した。水表面の形状は風速の増加とともに滑面、不完全粗面 (3次元的なさざ波)、粗面 (2次元的な発達した重力波) へと変化する¹⁾ がそれに伴って K_L の U_{*a} への依存性が $1 \sim 2 \sim 1/2$ 乗と変化する^{2), 3)} 様子が見て取れる。

図-2に底面シアー流れにおける K_L を摩擦速度 U_{*b} に対して示した。底面シアー流れでのモデルは

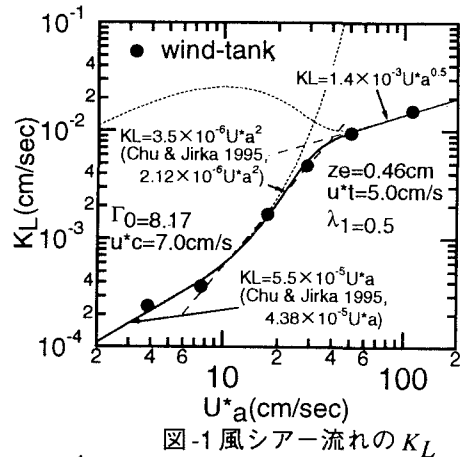


図-1 風シアー流れの K_L

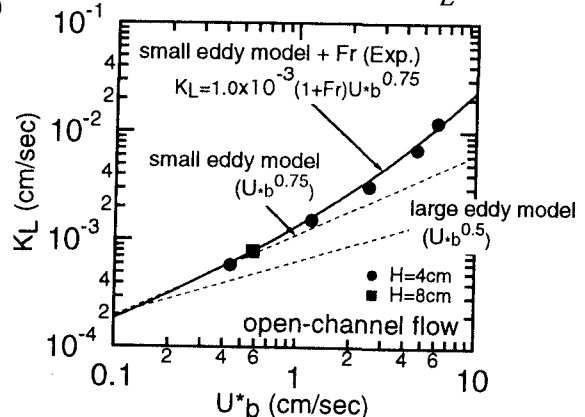


図-2 底面シアー流れの K_L

K_L が逸散率 (small eddy model) と乱れ強度 (large eddy model) にそれぞれ依存するとした2つに大きく分けられる⁴⁾。図より、今回の結果は常流でsmall eddy modelと一致し、フルード数 $Fr = U_m / (gH)^{0.5}$ が増加すると上方に逸れていく。これは射流では水面変動が顕著になるために気体の取り込みが活発化したためであると考えられる。 Fr 数の効果を考慮した式(2)を併示したが、今回の特性と良好に一致している。

$$K_L = 1.0 \times 10^{-3} (1 + Fr) U_{*b}^{0.75} \quad (2)$$

また、small eddy modelが成立するならば、 K_L は逸散率に対しても一意的な相関を持つと考えられる。そこで図-3に K_L を逸散率に対して示した。逸散率は、主流速変動成分のスペクトルに対して-5/3乗則から求めた。気体輸送には主に界面近傍の特性が大きく影響を及ぼすため、逸散率の値として界面側から水深の1割までの層での平均値を用いた。図より直接、逸散率によっても K_L がsmall eddy modelで表現できることが確認できた。

図-4は両シアー流れにおける K_L を摩擦速度 U_{*a} に対して示したものである。風速の増加に伴い水流との相対的な差が減少するために U_{*a} は減少している。図より、風速が増加に伴い K_L が高くなり、また Fr 数が大きいほど風速による差が小さくなっていく様子が見て取れる。これより、 Fr 数が大きい K_L に対しては風より底面側のシアーが支配的であると予想される。また、風速が増加すると Fr 数による差が小さくなっている。

また、水面変動の効果を見るために図-5に全ケースを水面変動強度 η' に対して示した。これより、 η' は各シアーが卓越する流れの K_L との相関は表現できるが、全ケースの K_L の特性を普遍的に表現することはできないことがわかる。これは、水面変動の周波数が風シアー流れでは風速の増加に伴い低下するが、底面シアーでは Fr 数の増加に伴い増加するという発生特性の相違による。

4. おわりに

本研究において K_L は、風シアー流れでは水面波との相関が認められ、底面シアー流れでは逸散率に依存するsmall eddy modelが Fr 数の効果を考慮すると成立した。そして、両シアー流れでは一方のシアーがある程度以上となるとその影響が卓越して一定値に漸近する特性がみられた。

<参考文献>

- 1) 欄津家久, 中山忠暢, 井上理恵: 水工学論文集, pp.413-418, Vol.43, 1999.
- 2) O'Connor, D.J. and Dobbins, W.E.: *J. of Sanitary Eng.*, ASCE, 82(SA6), pp.1115-1140, 1956.
- 3) Chu, C.R. and Jilka, G.H.: *Air-Water Gas Transfer*, pp.79-88, 1995.
- 4) Moog, D.B.: Ph.D Thesis presented to Cornell University. 1995.

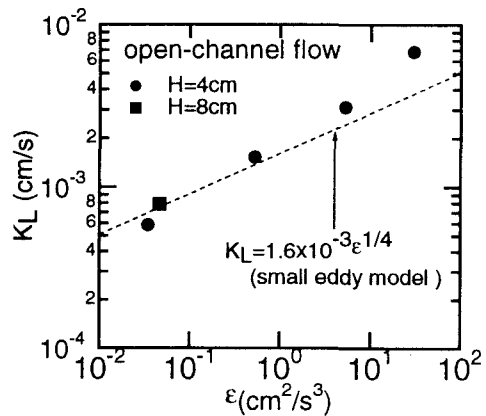


図-3 底面シアー流れの K_L と逸散率の関係

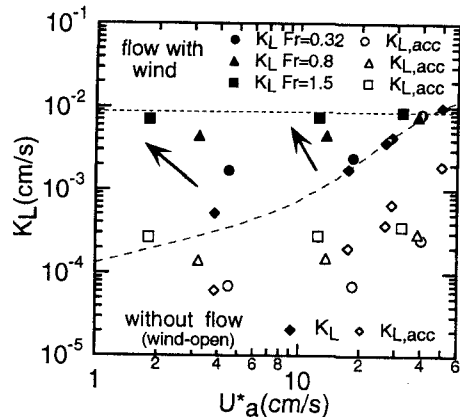


図-4 両シアー共存流れの K_L

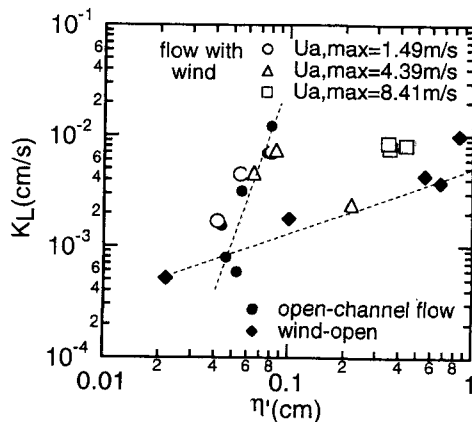


図-5 水面変動強度 η' と K_L の関係