

京都大学 工学部 正会員 末石 昌太郎, 同 住友 恒
同上 学生会員 ○松岡 謙

1. はじめに

炭塩水二層流における乱れ特性については、従前より多くの研究がある。^{<1> <2> <3> <4>}しかし、二層流界面における炭水塩水混合機構を、速度乱れまたは、濃度乱れのいずれか一方のみの特性で、把握することは、必ずしも十分とはいえない。すなわち速度・濃度乱れの同時測定、およびその解析が必要と考える。本研究は、水質混合機構の、解析の第一歩として、二層境界面における水質の乱れを中心に、若干の理論的考察と実験をおこなったもので、ここに結果の一部を報告する。

2. 基礎式の考察

速度乱れの基礎式としては、式(1)がある^{<5>}

$$\frac{\partial}{\partial t} E(K) + \frac{\partial}{\partial z} Q(K) = S(K) \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial K} \epsilon(K) + \varphi(K) - 2\nu K^2 E(K) \quad (1)$$

上式は、x方向の平均流速Uが、zのみの関数であり、(x,y)平面には均質、かつ Boussinesqの近似の仮定で導出される。なお、主流方向であるx方向の均質性が成立しないときには、式(2)を導くことができる。

$$\frac{\partial}{\partial t} E(K) + U \frac{\partial}{\partial x} E(K) + \frac{\partial}{\partial x} Q(K) + \frac{\partial}{\partial z} Q(K) = S(K) \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial K} \epsilon(K) + \varphi(K) - 2\nu K^2 E(K) \quad (2)$$

ここでQ(K)は、Q(K)中のxとzを、交換したものである。一方、濃度の乱れについて、同様の仮定のもとで、次式を求めてみた。^{<10>}

$$\frac{\partial}{\partial t} E_c(K) + U \frac{\partial}{\partial x} E_c(K) + \frac{\partial}{\partial x} Q_{xc}(K) + \frac{\partial}{\partial z} Q_{zc}(K) = S_{cc}(K) \frac{\partial C}{\partial z} + S_{cu}(K) \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial K} \epsilon_c(K) - 2DK^2 E_c(K) \quad (3)$$

$E_c(K)$ は、濃度の三次元パワースペクトル、 $S_{cc}(K)$ はz方向 Reynolds Flux の、コ・スペクトルである。

式(2)、(3)の解としては、従来、その卓越する項のみにつき、次元解析あるいは、その物理的意義の考察から、いくつかの具体的な関数形が、提示されている。それらの概形を示せば、図1となる。图中、浮力領域の濃度スペクトルについては、つぎのような解釈を試みてみた。

すなわち、Lumleyは、式(1)における浮力スペクトル $\varphi(K)$ を次元解析から、つぎのように求めている。^{<6>}

$$\varphi(K) = -C_1 N^2 \epsilon(K)^{1/3} K^{-7/3} \quad (4)$$

Nは、Brunt-Väisälä 振動数、 C_1 は定数である。これから $\epsilon(K)$ 、および浮力領域上側切断周波数 K_b は、式(5)、(6)となる。

$$\epsilon(K) = \epsilon_0 \left\{ 1 + (K_b/K)^{4/3} \right\}^{3/2} \quad (5)$$

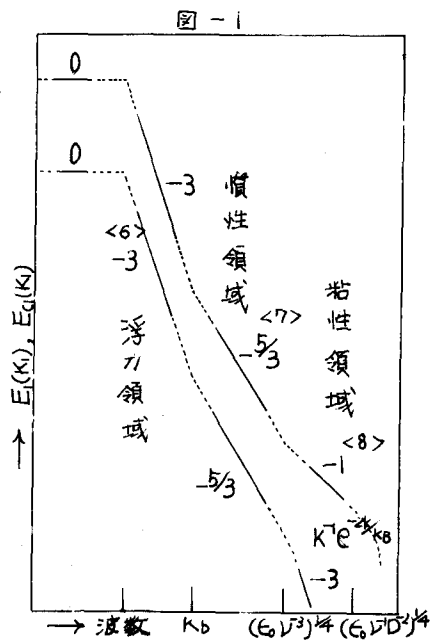
$$K_b = C_1^{3/4} N^{3/2} \epsilon_0^{-1/2} \quad (6)$$

ここで密度 ρ と、濃度Cに式(7)が成立すると考えれば、式(3)の $S_{cc}(K)$ として式(8)をえる。

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha C) \quad (7)$$

$$S_{cc}(K) = -\varphi(K) / \alpha g \quad (8)$$

したがって 式(3)中、浮力領域で卓越すると考えられる項を残した式(9)を、式(4)~(8)を考慮して解けば、式(10)をえる。



$$S_{cc}(k) \frac{\partial \epsilon}{\partial k} - \frac{\partial}{\partial k} \epsilon_c(k) = 0 \quad (9)$$

$$\epsilon_c(k) = \epsilon_0 + 2\epsilon_0 \frac{\partial}{\partial k} \left[\{1 + (K_b K)^2\}^{1/2} - 1 \right] / a q \quad (10)$$

式(5), (10)を、慣性領域で Corrsinらの導いた式(11)に代入すれば、 $K \ll K_b$ の時、式(12)をえる。

$$E_c(k) = C_2 \epsilon_c \epsilon^{-1/3} K^{-5/3} \quad (11)$$

$$E_c(k) = 2C_2 \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial k} \right)^2 K^{-3} \quad (12)$$

結果的に、浮力領域の濃度スペクトルは、基本量として、濃度勾配、波数を取ればよいことがわかる。

3 実験的検証

上記、式(3)~(12)に関連して、以下のごとく実験的検証を加えてみた。実験水路は長さ6m、幅

50cm、深さ50cmで、実験にあたり、淡水流入量と、塩水流入量を調節し塩水くさびを維持した。

速度は、Hot film流速計、濃度は白金電極による電導度計を使用した。

スペクトル計算はTukeyの方法により、Hanning window を使用した。

一例として図2~4に示す実験条件は、塩水流入量560ml/分、淡水流入量3587ml/分、塩水流入密度1.020、淡水流入密度1.001である。

図2はくさび形状、図3は $E(f)$ 、 $E_c(f)$ の、図4は $S_{cc}(f)$ の別である。流速乱れ、濃度乱れは、いずれも図1のように、

低周波側で-3乗則、高周波側で-5/3乗則を示している。なお式(12)から、 $\frac{\partial \epsilon}{\partial k}$ を評価すれば 10^{-1} ppm/cmになり、測定結果6 ppm/cmと矛盾しない。

図4に示す S_{cc} は Reynolds Flux $u'c'$ の周波数分解として水質混合に重要と考える。浮力領域においては、式(4)、(8)から、-7/3乗則が予想され、図の勾配もそれに近い。その他、濃度と速度の

ワドラー・スペクトル、位相差、及びバイ・スペクトルなども、式(3)から水質混合に本質的にかわっているものと考えられ、現在研究中である。

4 おわりに

水質混合機構の解明に、式(1)で表徴される速度乱れの研究が重要なことはもちろんであるが、速度乱れと水質乱れの相関につ

いては、妥易な取り扱いがなされているきらいがある。水質混合現象の解明には、二層境界面に限らず、速度・濃度乱れ構造を、

連立的に解を明かさなければならぬ。二層流における濃度乱れについては、既に椿らの研究もあるが、上にのべたことより、式

(2)、(3)に立脚した研究が、今後、重要であると考えている。

なお、本研究にあたり、京都大学、岩佐義朗教授・今本博建助教授より、多くの助言をえた。ここに感謝の意を表す。なお本研究は文部省試験研究705098の研究成果の一部である。

<参考文献> (1) 岩崎敏夫・阿部至夫 (1967) 第14回海論, (1969) 第16回海論, (2) 植原一郎・浜村実・橋本実喜男 (1969) 第3回IAHR, (3) 井上和也 (1967) 第22回海論, (4) 玉井信行・西村実 (1973) 第17回海論, (5) Phillips (1969) The Dynamics of the Upper Ocean, (6) Lumley (1964) J. Atmos. Sci. 91, (7) Corrsin (1951) J. Appl. Phys. 22, (8) Batchelor (1959) J. Fluid Mech. 5, (9) 今本博建 (1971) 開水路流れの乱れに関する水理学的研究, (10) 松岡康 (1973) 卒業論文

