

兵庫県庁 正員 八木下 徹
神戸大学工学部 正員 松梨 俊三郎

1. はじめに

本研究では、種々提案されている乱流モデルのうち、 $K-\varepsilon$ 型2方程式モデルを鉛直噴流シミュレーション解析に適用し、そのことにより得られる情報をもとに、鉛直噴流近傍における乱流構造の可視化を行った。これらの情報の多くは実測が困難なものであるが、 $K-\varepsilon$ 型2方程式モデルを用いると容易に得られる。様々な情報が得られるが、本発表では、レイノルズ応力、乱流エネルギーの生成・消散、混合長さについて述べる。

2. 流れのパターン

図-1は二次元鉛直噴流場の水槽モデルである。噴流を開始し、10秒後の非定常状態における流線図を図-2(a)に、120秒後の定常状態に近い状態での流線図を図-2(b)に示す。噴流下流に逆流域が発達し、そのスケールは水平方向約40cm程度とあることを実験的にも確認した。

3. レイノルズ応力の分布

図-3はレイノルズ応力 $-\rho \overline{u'v'}$ の生成過程を等値分布の時間的変化によって示した。(a)、(b)、(c)はそれぞれ10秒、60秒、120秒後のものである。また、図-4は $y=3.3$ cmの水平面における分布であり、図-4(a)、(b)、(c)は図-3(a)、(b)、(c)に対応している。

定常状態に近い120秒後の(c)に注目すると、レイノルズ応力の絶対値は噴流軸付近と渦領域下端付近で大きくなっていることがわかる。したがって、これらの付近

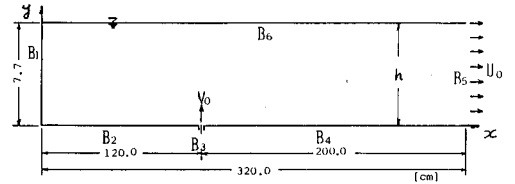


図-1 噴流水槽モデル

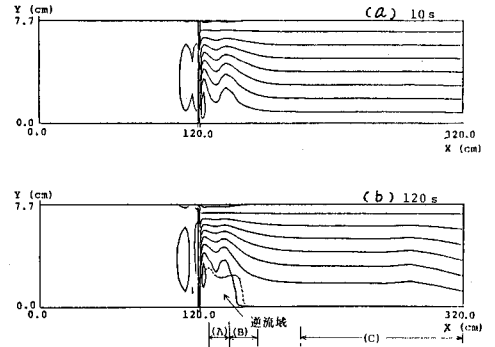


図-2 流線図

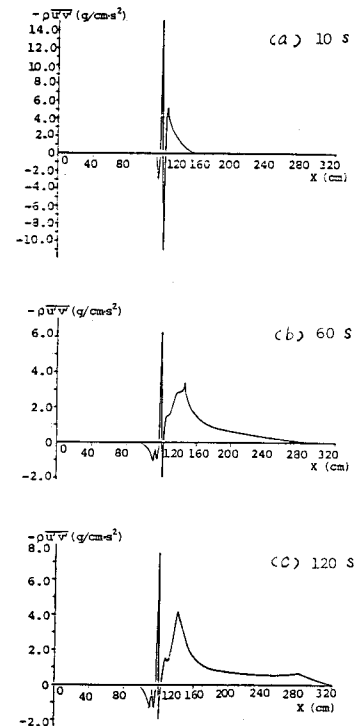


図-4 $-\rho \overline{u'v'}$ の $y=3.3$ cm 水平面分布

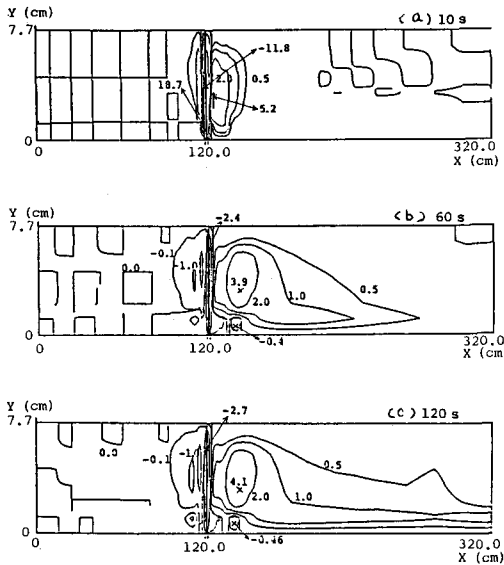


図-3 $-\rho \overline{u'v'}$ の分布 (単位) g/cm^2

ではレイノルズ応力の流れへの影響が大きいと考えられる。

図-5は鉛直断面におけるレイノルズ応力の濃化を τ をパラメータとして示した。

$X=120\text{cm}$ は噴流口のすぐ下流で、水深にわたって負の値があり、水底部で大きな値となる。 $X=126\text{cm}$ 、 133cm は図-2の(A)で、逆流域(渦領域)の内部であり、応力は水深にわたって正の値となり、 $y=h/2$ 付近で最大の値をとる。 $X=140\text{cm}$ は図-2の(B)で、渦領域の下端にあたり、水底部で再び負の値、 $y=h/2$ 付近でかなり大きい値となり、応力の流れへの寄与が卓越することがわかる。 $X=170\text{cm}$ 、 225cm は平坦部(C)で y の減少とともに応力は減少し、等流時の分布にちかづく。

4. 乱流エネルギーの生成・消散

乱流エネルギーの輸送方程式は

$$\frac{\partial \bar{K}}{\partial t} + \bar{u}_k \frac{\partial \bar{K}}{\partial x_k} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_K} \right) \frac{\partial \bar{K}}{\partial x_k} \right\}}_{\text{①}} + \underbrace{\nu_T E_p}_{\text{②}} - \underbrace{\bar{E}}_{\text{③}} \quad (1)$$

と表わされ、①項は乱流エネルギーの拡散を表わす。②項は乱れが平均流から受けとるエネルギー量を示すうち乱流エネルギーの生成項、③項は分子粘性によるエネルギー消散項である。

図-6は、②項の分布を、図-7に③-③の分布を示す。図-6より、噴流部付近では定常に近い状態よりも非定常状態の方が生成が大きいことがわかる。また、定常状態では噴流部付近で大きく、次に渦領域で大きく、平坦部領域では小さい。図-7より生成と消散の差は、噴流部付近で正負とも大きく、渦領域付近でその差は正となり、平坦部領域では零に近い。

5. 混合長

図-8に、混合長 l の分布を示す。 l は乱れの積分スケールに相当すると考えられるが、図によると l は時間とともに下流方向へ一様にひろがり、最大 $0.6 \sim 0.7\text{cm}$ で、乱流域が生成・拡大していく経緯を示している。

6. 参考文献

- 1) 柴田, 松梨: K-ε乱流モデルの鉛直噴流への適用, 土木学会第29回水理講演文集, 昭和60年2月。

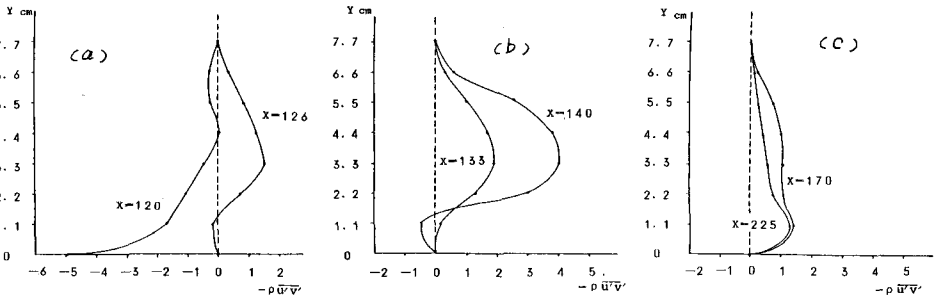


図-5 $-\rho \bar{u}'v'$ の鉛直分布 (120s)

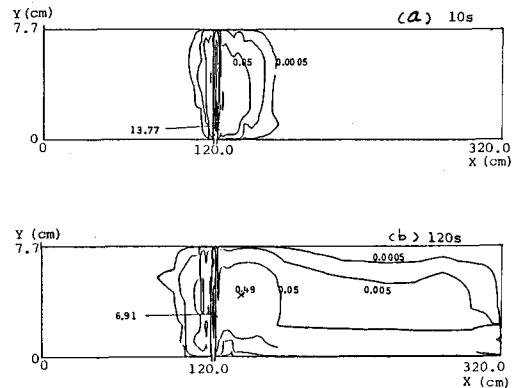


図-6 $\nu T E_p$ の分布

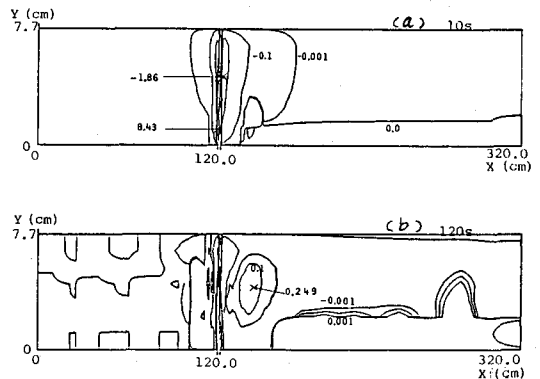


図-7 $\nu T E_p - \bar{E}$ の分布

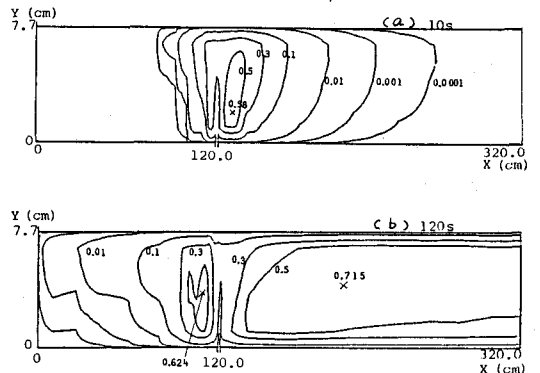


図-8 混合長の分布