

2次元水循環流れにおける空気巻き込みに関する検討

日本大学生産工学部 正会員 落合 実, 遠藤茂勝, 和田 明

1. まえがき

水槽内に水噴流が流入した場合, 側壁, 終端面や自由水面への衝突そして水槽を一巡する循環流れとなる. また局所的な流速変動や水面動揺の程度によって水面から空気が巻き込まれたり, 自励的なスロッシング現象などが生じることが知られている. 本研究ではそれらの現象の発生メカニズムを捉える一連のとして, 巻き込み現象に着目し, 2次元矩形断面水槽における循環流れの流動特性と空気巻き込みの関連を検討する. 本文では空気巻き込み発生限界における循環流れ特性を流速測定結果を基に検討する. また, これらの現象を数値解析で捉えるための乱流モデルを用いた数値計算手法を検討する.

2. 実験装置および方法

実験はヘッドタンク方式を用いて実験水(水道水)を供給する. 実験水槽はアクリル製水槽で, 実験水槽の形状概略と本文で用いる記号および座標系を図-1に示す. 実験条件は予め行ったスロッシング発生限界の結果から, 流入流量 Q を155~290 l/min, 15 l/min毎, 水深は比較的水深が大きいケースを選定した. 流速測定ではPTVシステムを用いて, 水槽中央: $Y/L=0$ における X - Z 断面の瞬間ベクトルを測定する. また, 空気巻き込み状況は水槽側面からの目視によって行い, 本実験条件では $Q=185$ l/min以上で空気巻き込みが確認された. 本文では流入口において水槽中央床面を原点とし, 流下方向: X , 幅方向: Y および鉛直方向: Z , それぞれの流速を u , v および w とする.

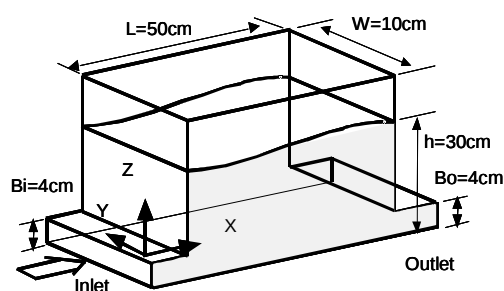


図-1 試験水槽概略

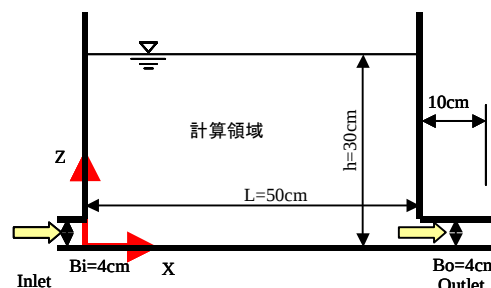


図-2 計算領域概略

3. 数値解析方法および条件

本計算では2次元の連続式, N-S方程式を用い, κ - ε 乱流モデルで解析を行う. 組織の空間離散は2次の差分スキームを用いるが壁面近傍では4種のスキームで比較検討し, 最適なスキームを適応する. 計算領域は試験水槽と同じ領域であるが図-2に示すように流出長を10cmとしている. また, 流出口では自由流出, 水面を固定とし, 壁面境界はNon Slip, Free Slip, その中間のHalf Slipそして対数壁法則; Wall Lowの4条件で比較して, 最適な条件を適応する.

4. 結果および考察

(1) 流速ベクトル分布

図-3は平均流速ベクトルの計算結果と実験結果の一例を示す. 実験結果はサンプリング周期1/30sec, 60sec間の平均流速結果である. 計算は壁面近傍をPatankerスキーム, 壁面Non-slip条件である. 流入した噴流が背面に衝突して上昇し, 水面で逆向き流れとなり水槽長手方向に一巡する循環流れが両図で示されている.

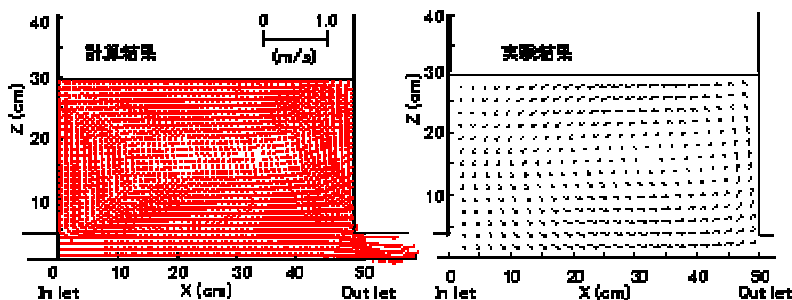


図-3 流速ベクトル結果 ($Q=185$ l/min, $h=30$ cm)

また平均的に実験結果の流速が小さく, 特に底面近傍の主流部の流れが実験では明確になっていない. これはPTV計測における非定常な粒子の存在によるもので検討が必要である. しかしそれら底面部は計算結果が再現しており, 他の領域や循環流の中心位置などは実験結果と計算結果でよく一致している. 計算手法の妥当性が確認される.

キーワード: 空気混入 循環流 PTV

連絡先 千葉県習志野市泉町1丁目2番1号 Tel. 047(474)2452 Fax. 047(474)2449

(2) 平均流速分布

図-4 は水面近傍; $Z/L=0.56$ の実測平均流速であり, 流下距離; X と流入流量; Q をパラメータとしている. 空気巻き込みは $Q>185\text{l/min}$, X/L 0.2~0.4 で目視観測されている. それらの条件では鉛直下向き流速が比較的大きくなってるのが特徴的な流速変化は認められない. X/L 0.7 程度で流下方向と逆向きの最大流れ, X/L 0.2~0.3 で鉛直下向きの最大流速, X/L 0.6 程度で鉛直方向流速がゼロとなっている. 図-5 は図-4 と同様条件における数値計算結果を示す. 計算結果は実験値よりも平均的に若干大きな数値となっているが実験結果の傾向とほぼ同様となっている.

(3) 流速変動量

空気巻き込みには比較的低周期の流速変動が起因するものと考えられるので, 観測された流速時系列値を変動波と仮定し, 波別解析(外海波浪の $1/10$ 最大波; $H_{1/10}$, 有義波; $H_{1/3}$ の取り扱い)を行う. 図-6 は空気巻き込みが確認された $Q=185\text{l/min}$ における流下方向流速; $U_{1/10}$ と鉛直方向流速; $V_{1/10}$ を示す. $U_{1/10}$ は底面, 水面, 水槽端壁面付近で比較的大きな値となり, 特に空気巻き込みが確認された約 $X/L=0.3$ 付近で若干大きくなっている. $V_{1/10}$ は水槽端壁面の底部と水面部が比較的大きく, そして巻き込みが確認された水面近傍で若干大きい. 図-7 は水面近傍 $Z/L=0.56$ の $U_{1/10}$ と $V_{1/10}$ を示し, 流下距離; X と流入流量; Q をパラメータとしている. 空気巻き込みが確認された条件($Q>185\text{l/min}$, X/L 0.2~0.4)に着目すると流下方向, 鉛直方向流速とも, それらの条件で若干大きい値を示している. 図-8 は図-7 と同様に水面近傍 $Z/L=0.56$ の $U_{1/3}$ と $V_{1/3}$ を示す. 図は空気巻き込み確認条件において図-7 とほぼ同様の傾向を示している.

5. まとめ

以上のように本論では矩形容器内に噴流を流入させたときに生じる循環流れと空気巻き込み現象について, 流況は実験と数値計算で明らかにし, その流況と発生状況の関連そして流速の波別解析で流速変動を評価して空気巻き込み条件との関連を述べた. 今後は周期特性を検討したい.

参考文献 1) D. R. Boyle and M. W. Golay, Journal of Fluids Engineering, 1983, Vol.105.

2) 落合他: 第 51, 52, 53, 54, 55 回土木学会年講 他

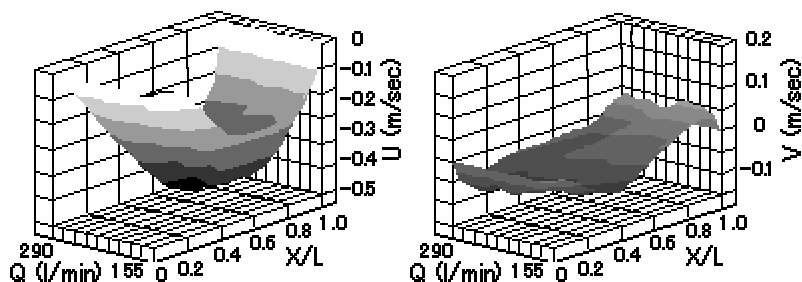


図-4 平均流速: 実測結果 ($Z/L=0.56$, $Q=185\sim 290\text{l/min}$)

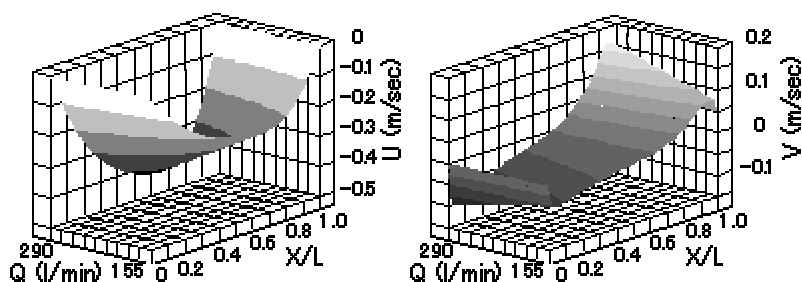


図-5 平均流速: 計算結果 ($Z/L=0.56$, $Q=185\sim 290\text{l/min}$)

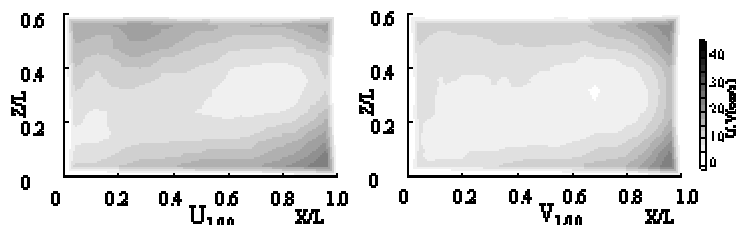


図-6 流速変動量; $U_{1/10}$, $V_{1/10}$ ($Q=185\text{l/min}$)

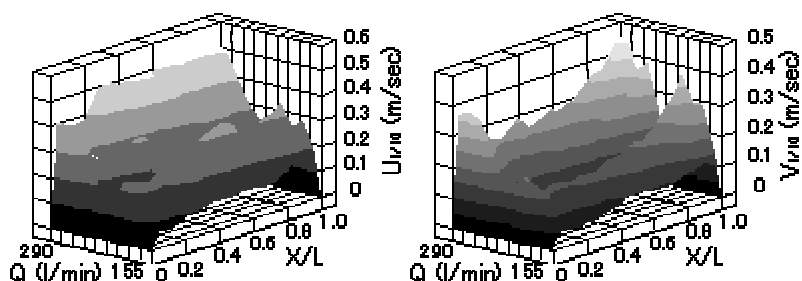


図-7 流速変動量: $U_{1/10}$, $V_{1/10}$ ($Z/L=0.56$, $Q=185\sim 290\text{l/min}$)

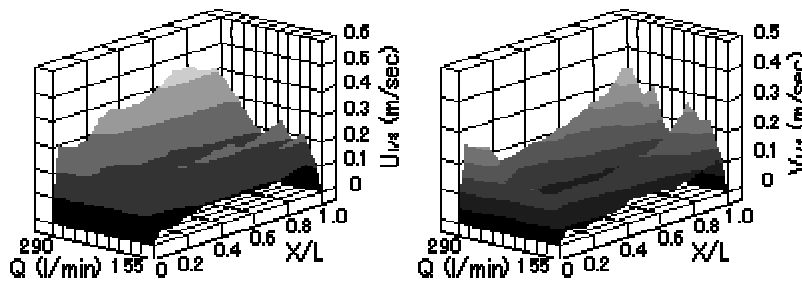


図-8 流速変動量: $U_{1/3}$, $V_{1/3}$ ($Z/L=0.56$, $Q=185\sim 290\text{l/min}$)