

高レイノルズ数流れによる循環流への $K-\varepsilon$ 乱流モデルの適用性について

日本大学 学生会員 ○上杉 知久
日本大学 正会員 落合 実
日本大学 フェロー 遠藤 茂勝
日本大学 非会員 和田 明

1. はじめに

貯水槽等に水噴流が流入した場合、側壁や自由水面等へ衝突することによって水槽を一巡する循環流れとなり自由水面では局所的に水面の高さが若干変化する現象が生じ、また水面動揺や流速変化などの諸条件によっては、水槽内に局所のおよび瞬間的に気泡混入現象が発生する。そこで本研究では気泡混入が生じない流れ場の条件を見出すため気泡混入発生限界時の流れ場を対象とし、水槽内に高速な流れが流入する場合の $K-\varepsilon$ 乱流モデルの適用性を検討する。一般に数値解析において低レイノルズ数型 $K-\varepsilon$ 乱流モデルは、多方面で高い信頼性を得ている。そしてこれらの乱流モデルに水面動揺を考慮すると複雑な数式やアルゴリズムが必要となる。そのため水面動揺が小さい場合には水平な一様面として取扱う場合が多い。本報告では一様水面とした場合の適用性を検討するもので、特に水面の高さの取り扱いを数種類変化させた数値実験を行い LDV システムを用いた実験結果と比較検討することにより検証する。

2. 数値解析方法および条件

本研究では3次元の流れ場を対象とし、一般的な低レイノルズ数型 $K-\varepsilon$ 乱流モデルを用いることとする。基礎式は連続式と N-S 運動方程式とし、それらを中心差分スキームで離散化し、 K と ε の輸送方程式を用いて計算する。本研究では、水面が一様な流れ場において既に確認されている解析コードを水面高さが一部異なった流れ場に適用させるために高さの違う様々の固定水面を仮定して、実現現象を再現しようとするものである。

Fig-1 に本研究で対象とする流れ場の概略を示す。Fig-2 は本実験における水面の局所的な変化を示すもので、平均的に約 1cm 程度高い領域が存在することが確認される。そこで実現現象のように一部高い水面を有する形状に模擬した計算領域を仮定し計算する。Fig-3 および Table-1 にそれぞれ計算領域と計算条件を示す。

3. 解析結果および考察

水槽内の循環流れにおいて3次元性が顕著な流入口に近い $X/L=0.20$ における $Y/L=0.12$ および $Y/L=0.20$ の鉛直流速分布を示す。図は流下方向の平均流速 U および W を流入噴流の断面平均流速 U_0 で無次元化し計算結果と実験キーワード 噴流, 循環流, $K-\varepsilon$ 乱流モデル

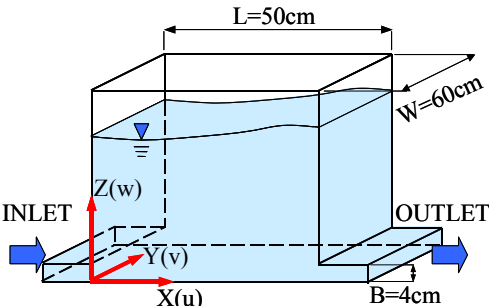


Fig-1 解析対象流れ場

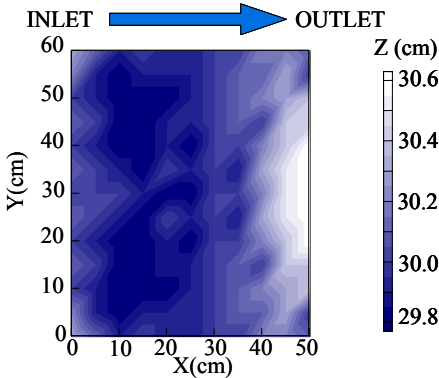


Fig-2 平均水面高さ測定結果

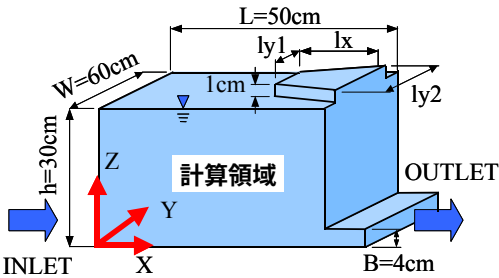


Fig-3 計算領域

Table-1 計算条件

流入条件		計算条件 (水面高さ)			
乱れの運動エネルギー: K	0.0064m/s	lx(cm)	ly1(cm)	ly2(cm)	
エネルギー散逸率: ε	0.0031m/s	Case0	0	0	0
動粘性係数: ν	6.85×10^{-6} m/s	Case1	15	20	20
計算基本条件		Case2	15	30	30
壁側面	Nonslip	Case3	15	40	40
壁底面	Freeslip	Case4	15	50	50
計算時間	60sec	Case5	15	60	60
計算時間間隔	$\Delta t=1/500$ sec	Case6	15	10	40
計算格子幅	$\Delta x=\Delta y=\Delta z=1$ cm	Case7	15	20	50
スタガード格子		Case8	15	30	60

値を同時に示している。

側壁面に近い Fig-4(a)において比較的水面の凸部の幅 $ly1$ および $ly2$ が大きい Case4, Case5 では半水深以上で負方向の流速が最大約 20% ほど小さくなることが示されている。(b)においては Case6~8 による流速分布の違いはほとんど認められない。これらの計算結果は噴流の主流部では実験値を十分表現しているがそれ以上の領域では Case0 と比較して最大約 20%ほど差が認められる。

$Y/L=0.20$ の Fig-5 においては凸部の幅 $ly1$, $ly2$ が大きくなるに伴い半水深以上において負方向の流速が小さくなることが示されている。図における計算結果は噴流主流部で実験結果を良く再現しており、またそれ以上の領域でも Case0 が最も実験値を表現することが認められる。また本報告には載せていないが Case6~8 による流速分布の違いはほとんど認めなかった。

$Y/L=0.12$ の鉛直方向流速を示した Fig-6 において凸部の幅 $ly1$, $ly2$ が大きくなると噴流主流部以上では負方向の流速が小さくなることを示している。また計算結果は噴流の主流部では実験値とよく一致しているがそれ以上の領域では Case0 と比較して最大約 10%ほど差が認められる。

$Y/L=0.20$ の鉛直方向流速を示した Fig-7 の計算結果では凸部の幅の違いによる流速分布の変化は Fig-6 とほぼ同様の傾向を示している。また Case0 の計算結果は実験結果を良く再現している。

以上のことから Case0 の計算結果は $Y/L=0.20$ において実験値を表現することができ固定一様水面とした計算手法の適応性が認められる。側壁に近い断面では各 Case とも噴流主流部以上において十分に実験値を表現しているとはいいがたいが、水面を一様とした Case0 の結果は、3 次元性の強い水槽側壁近くで約 20%程度の差があるものの水槽全体の流速をある程度再現できることを確認した。

4. まとめ

本研究では、噴流が流入する矩形水槽内の 3 次元循環流れを対象に $K-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて流動計算を行った。3 次元性の強い一部の領域については実験値と計算結果に最大約 20%程度の違いが見られるものの、他の領域については水面を一様としたもので再現できることが確認された。側壁面近傍において 3 次元性の強い流れの要因は実験における流入流速条件が関係しているのではないかと考えられる。実現象における流れの 3 次元性の要因を実験的に解明し、その結果を計算に反映させる必要がある。そこで今後は流入入口上流部の流れを数値計算で再現して、その結果を対象流れ場の流入流速条件として計算し再検討する予定である。

参考文献

- 1) 落合 実ほか：日本大学生産工学部第 35 回学術講演会(土木部会)
- 2) 合田ほか：第 57, 58 回土木学会年次講演会
- 3) 大宮 司ほか：乱流の数値流体力学モデルと計算法

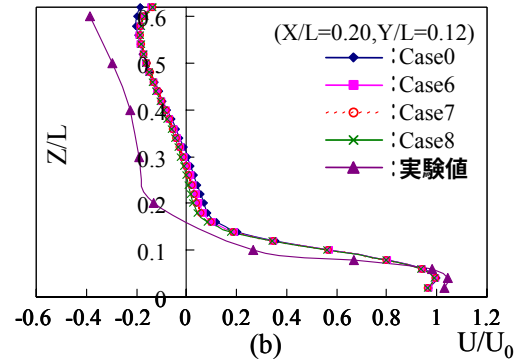
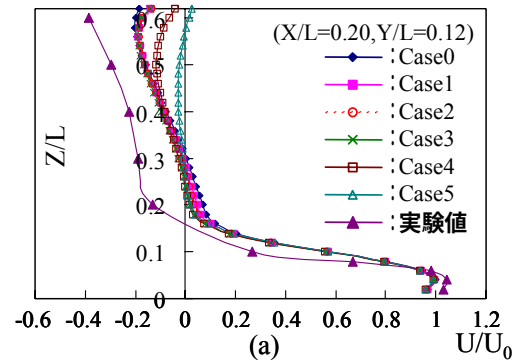


Fig-4 鉛直流速分布($U/U_0, X/L=0.20, Y/L=0.12$)

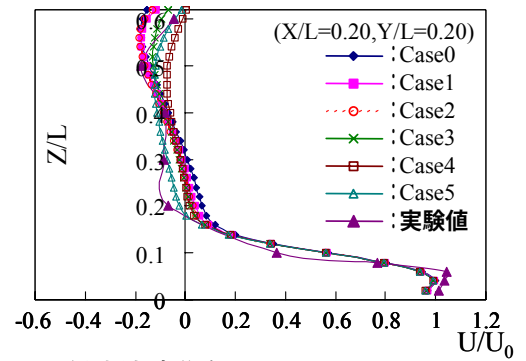


Fig-5 鉛直流速分布($U/U_0, X/L=0.20, Y/L=0.20$)

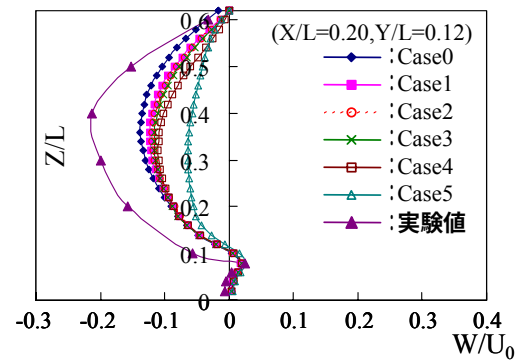


Fig-6 鉛直流速分布($W/U_0, X/L=0.20, Y/L=0.12$)

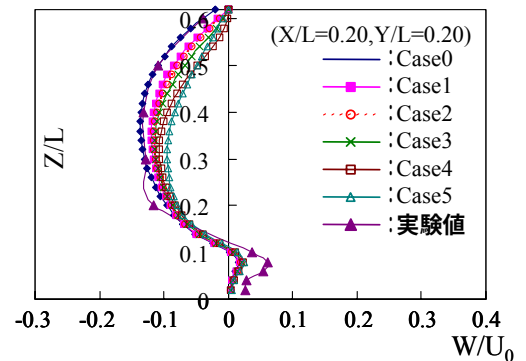


Fig-7 鉛直流速分布($W/U_0, X/L=0.20, Y/L=0.20$)