

京都大学大学院 正 員 棚津家久

京都大学大学院 学生員 ○山本義暢

1. はじめに

開水路キャビティ流れは、剥離せん断層の発達、組織渦の発達・崩壊、あるいは逆流域、死水域の存在といった複雑な乱流場を形成し、平均流速や乱流統計量等の時間平均諸量に加え組織構造の解明が本質的に重要となる。このようなキャビティ流れにおいて棚津ら¹⁾は組織構造について定性的な分類を行っているが、その物理的評価はまだ行われていない。そこで本報では1方程式モデルのLarge Eddy Simulation(LES)を用いて数値計算を行い、自己相関および時空間相関解析の手法により、キャビティ流れの組織渦特性について評価・検討する。

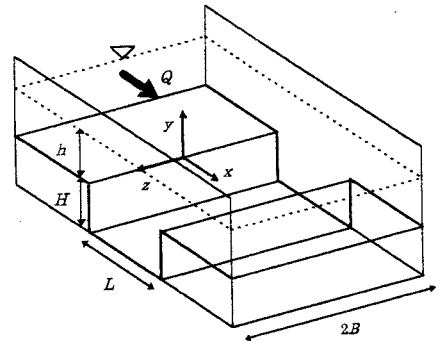


図-1 トレンチ形状と座標系

2. 計算条件および数値解析手法

本報におけるトレンチの形状及び座標系を図-1 に示す。また各ケースの水理条件を表-1 に示す。ここに Q は流量、 h は水深、 L はトレンチの流下方向長さ、 H はトレンチ高さ、 $Re = U_{\max 0} R / \nu$ はレイノルズ数、 $U_{\max 0}$ は初期断面の最大時間平均流速、 R はトレンチ上流部における径深、 $Fr = U_m / \sqrt{gh}$ はフルード数、 U_m は初期断面の断面平均流速である。また無次元時間 $T = R / U_{\max 0} = 1$ は実時間で約 0.5 秒である。格子分割は x, y, z 方向についてそれぞれ V10 は $99 \times 70 \times 50$ 、V30 は $165 \times 70 \times 50$ とした。また、基礎方程式は1方程式モデルのLES²⁾を用い、基礎方程式の離散化は空間に対して2次精度の中心差分、時間に対して2次精度のAdams-Bashforth法により行った。差分アルゴリズムはSMAC法を適用した。境界条件は、主流、横断方向に対して周期境界条件、水面において対称条件および壁面においてno-slip条件とした。

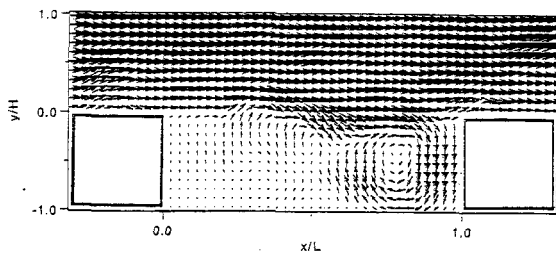
表-1 水理条件

CASE	$Q(l/s)$	$h(cm)$	$L(cm)$	L/H	Re	Fr
V10	2.5	6.6	6.6	1.0	4800	0.12
V30	2.5	6.6	19.8	3.0	4800	0.12

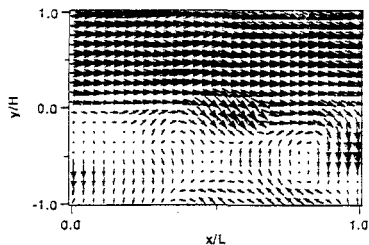
3. 解析結果および考察

計算開始から20万ステップ経過後は流れが安定に達していることを確認したので、その後の12000ステップ(無次元時間で約118)間のグリッドスケールにおける瞬間値及びアンサンブル平均による平均値を本報における諸量とした。平均流速及び乱流統計量についてはレーザー流速計(LDA)による実験結果を定性的、定量的に非常に良好に再現できた。また組織渦構造についても棚津ら¹⁾と同様の傾向が見られ、これらの組織構造はParticle Image Velocimetry(PIV)の実験結果と定性的によく一致する。その一部を図-2, 3に示す。本報ではこれらの評価を行うためにさらに自己相関及び時空間相関解析を行った。図-4に界面付近の主流速の時系列を示す。これより界面付近では流速変動がやや不規則に生じていることが分かる。図-5は変動主流速の自己相関係数である。ラグタイム $\tau = 10 \sim 15$ 付近に高い相関が見られ、これは組織構造の一連の過程における剥離渦の発生周期を示唆している。一方、図-6は変動主流速の時空間相関係数 R_{uv} のコンターである。これらは、キャビティ上流部での剥離渦がほぼ移流速度により下流側へ流下しキャビティ下流端において一部はキャビティ内部へ入り込み、一部はキャビティ外部へ放出される様子を表している。

Ichisa NEZU, Yoshinobu YAMAMOTO

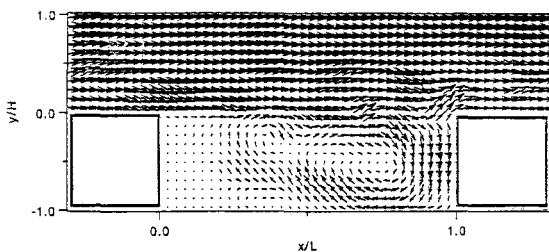


計算値 $T=3.13$

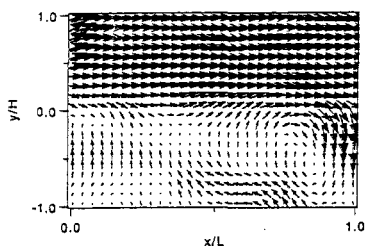


実験値(PIV) $T=6.65$

図 - 2 剥離渦と循環渦の衝突



計算値 $T=5.09$



実験値(PIV) $T=7.76$

図 - 3 循環渦のキャビティー下流端への衝突

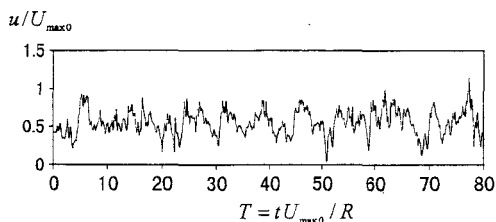


図 - 4 界面付近の主流速の時系列

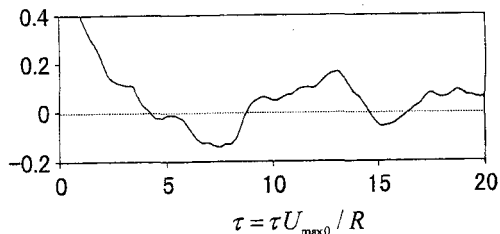


図 - 5 界面付近の変動主流速の自己相関係数

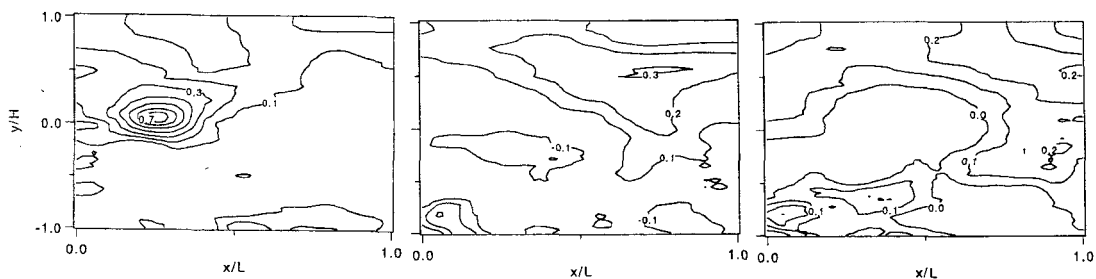


図 - 6 変動主流速の時空間相関係数 R_{uu} のコンター ($\tau=0.0, 5.9, 8.0$)

4. おわりに

本報では LES, PIV により明らかにされたキャビティー流れの組織構造について自己相関および時空間相関解析を行った。その結果、両者とも組織構造の特性をおおむね表現することができた。今後はスペクトル解析等を含めキャビティー流れの組織構造について総合的に考察していく必要があると思われる。

参考文献

- 1) 裾津・山本・鬼束：水工学論文集，第 42 巻，1998。（印刷中）
- 2) Horiuti：J. Phys. Soc. Japan, vol. 54, No.8, pp.2885-2865, 1985.