

II-207 LES を用いたバッフル周辺の流れの解析と模型実験

若築建設 正会員 ○藤村 立行
東北大学工学部 正会員 真野 明

1. 研究の目的

突堤や水制などの護岸構造物の設計に際して、流況を数値シミュレーションにより予測することは重要である。本研究では、モデル実験としてバッフルを上下対称に配置した管水路を用い、二次元数値計算による結果との比較検討を行った。数値計算にはLES(Large Eddy Simulation)を採用し、条件を変えた計算の結果から流れの変動特性に対して考察を加えた。

2. 実験の概要

実験装置は図-1のように、整水タンク、管水路、貯水タンク、調節バルブ、揚水ポンプ、ポンプホースから成り、水を循環させている。矩形断面（縦20cm、横10cm）をもつ全長4mの管水路は、透明アクリル板製であり、整水タンク同様水密構造となっている。バッフルも、同じアクリル板を用いており、管水路内に上下対称に、等間隔（40cm）4列に配置した。流量 Q は調節バルブにより調節した。ここで、 $L(=40\text{cm})$ はバッフルの間隔、 B はバッフル高さであり、Reynolds数は表-1で定義した。可視化には、トレーサー法を採用し、ビデオカメラおよびスチルカメラを用いて撮影した。

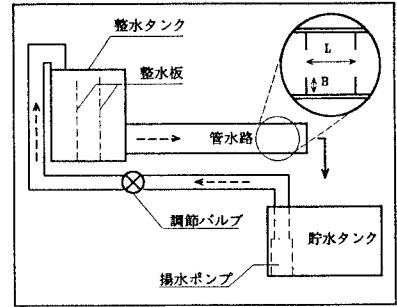


図-1 実験装置の概略図

3. LES(Smagorinski model)による数値計算

基礎方程式を表-2に示す。空間的な平均化操作（オーバーバーで表す）を行い、渦動粘性係数にずり変形速度 $\bar{S}_{ij}$ を用いることで、メッシュスケール以下のスケールの現象をモデル化している。格子配置にはMAC法、圧力緩和にはSOR法を用いた。Smagorinski定数 C_s を0.15とした。また、流入境界では流速分布を与え、流出境界では速度勾配および圧力勾配なし、壁面は滑りなしとした。

表-1 レイノルズ数の定義

$R_B \equiv \frac{\bar{U} \times B}{\nu}$	
$\bar{U}$	狭断面平均流速 (cm/s)
B	バッフル高さ (cm)
ν	動粘性係数 (cm ² /s)

4. 結果の比較および考察

図-2は、実験におけるバッフル列間の測定断面を示す。また、この各断面の管軸付近の位置における y 方向流速成分を $v1 \sim v4$ とし、この領域での流れの変動周期を $v1 \sim v4$ の変動周期で代表させた。図-3および図-4は $R_B = 6350$ での流れのスチル写真(上)および数値計算(下)による流線パターンである。このように、実験ではバッフル後方の剥離渦が大きく発達し、

表-2 Smagorinski modelの基礎式

$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\bar{\rho}}{\rho} + \frac{2}{3} K^* \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\nu + \nu_{SGS}) \bar{S}_{ij}$
$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$
$\bar{S}_{ij} = \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}$
$K^* = \frac{\nu_{SGS}^2}{0.094^2 \times (h_1 h_2)}$
$\nu_{SGS} = C_s^2 \times (h_1 h_2) \times \left(\frac{\bar{S}_{ij}^2}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$

主流を蛇行させる上下不均衡型と、著しく発達する渦が上下に存在しない上下均衡型とが繰り返すことが特徴であり、計算においても類似の流線パターンを表現できる。また、図-5、図-6はそれぞれ $R_B = 5524$ での実験および計算による $v1 \sim v4$ の時系列データをフーリエ変換したパワースペクトル図である（第3および第4バッフル列間）。ここで、実験データには補間をかけている。図のように長周期域で $v1 \sim v4$ のいずれもスペクトルピークが現れるのは、実験においては0.0161[1/s]および0.0317[1/s]、計算においては0.0330[1/s]となった。実験におけるデータの時間スパンが約68[s]であることから、0.0161の方は特性周波数とは言い難く、実験と計算による結果がほぼ合っている。次に、 L 、 $\bar{U}$ 、 B の値を変えて計算し、 $v3$ および $v4$ のパワースペクトル

ル図でのピーク周波数を f_{pred} ，そこでのスペクトル値を p とする．さらに，ストローハル数を $S_t (= \frac{f_{pred} L}{U})$ ， y 方向変位パラメータを $y^* (= p \Delta T / \bar{U}^2 / f_{pred}^2, \Delta T$ はデータの時間間隔) と定め， S_t と y^* の関係を表したのが図-7である． $0.1 < S_t < 0.15$ で大きく混合が起きることが予測される．

5. まとめ

以上より，バッフル流れの変動の特徴を LES を用いて再現が出来， S_t により混合条件が大きく異なることがわかった．

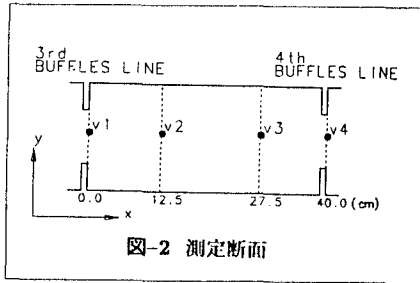


図-2 測定断面



図-3 上下不均衡型流線パターン

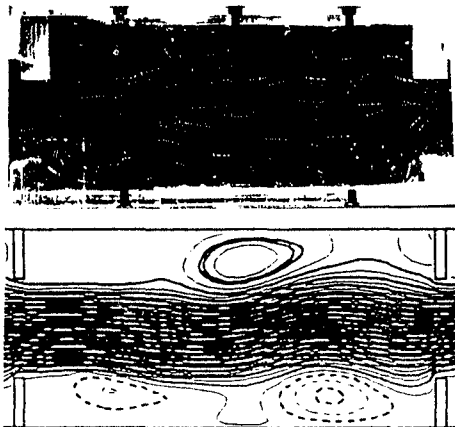


図-4 上下均衡型流線パターン

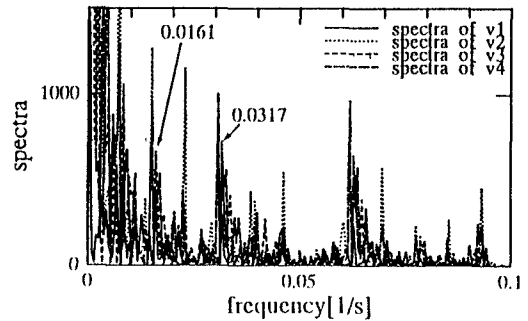


図-5 v1~v4 のパワースペクトル(実験結果)

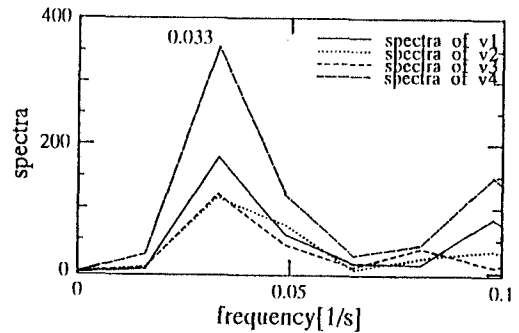


図-6 v1~v4 のパワースペクトル(計算結果)

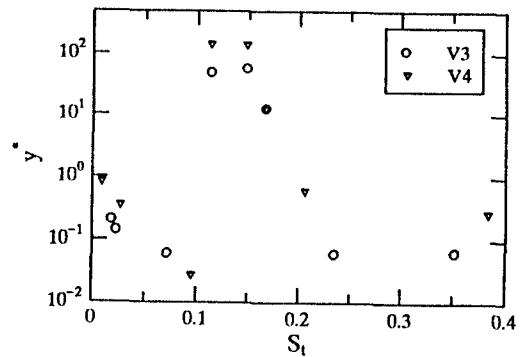


図-7 v3 および v4 の $S_t - y^*$ 図