

費用関数法を用いた非定常場の推定

(Estimation of unsteady flow field using cost function method)

指導教官 近藤明准教授・共生環境評価領域

08E07025 久保芳樹 (Yoshiki Kubo)

Abstract:

It is necessary to grasp flow fields because of energy saving. CFD (Computational Fluid Dynamics) and measurements have been used for estimating flow fields. But CFD has inevitably errors accompanied by discretization and numerical calculation, and measurements include some errors involving their methods. The cost function method to correct measurements using governing equations was proposed and applied to unsteady flow with vortexes. This method reproduced more exact unsteady flow than CFD and measurement.

Keywords: Cost function, Computational Fluid Dynamics, measurement, unsteady flow

1. はじめに

従来から用いられてきた室内空間の把握方法として、数値解析(CFD: Computational Fluid Dynamics)と測定による2つの方法がある。数値解析では、モデル近似による誤差や離散化による数値誤差などが存在し、測定では、使用する機器でのデータ誤差や人為的な誤差が存在する。そこで本研究では、測定値を流れ場の支配方程式を用いて補間・修正することにより室内全体の空気分布のより正確な把握を可能にする手法である費用関数法を用いる。

2. 費用関数法

支配方程式: $f_k(\xi_i, \eta_j) = 0$ のときに、

ξ_i : 独立変数、 $i=1,2$ (空間座標) $i=4$ (時間)

η_j : 従属変数、 $j=1,2$ (速度成分 u, v) $j=3$ (圧力 p)

f_k : 支配方程式、 $k=1,2$ (NS 方程式の u, v 成分) $k=3$ (連続式) として、

最適化対象として考慮する従属変数に関連した全ての支配方程式の残差の二乗および測定値の修正量

の二乗の和を費用関数とおくと、 $CF = \int \left\{ \sum_k \alpha_k \beta_k f_k^2(\xi_i, \eta_j) + \sum_j \alpha_j \beta_j C_{ij} (\eta_j - \eta_{j,obs})^2 \right\} d\xi$ と表す

ことができる。

ここで、

精度係数 C_{ij} : 測定点毎の測定点の精度に応じて測定値修正量の項の寄与を調整するために係数、

等価係数 β_j, β_k : 次元の異なる費用関数各項への寄与を同等に評価するための係数、

重み係数 α_j, α_k : 等価係数により同等に評価される各項の寄与を目的に応じて主観的に操作するための係数

$d\xi$ は対象領域全体にわたる全ての ξ に関する積分を、添え字 obs は測定値を表している。費用関数を最小化するために、 η_j で偏微分して0とおき、反復計算により解いて最適解を求める。

3. 数値解析

本研究では、室内空気のような比較的低流速の乱流場に対して数値解析を行ったので、非圧縮性

流れが仮定できるので、乱流モデルとして標準 $k-\varepsilon$ モデルを、解法としては高速かつ安定的に計算が行える SIMPLE を、また移流項の差分法としてべき乗法を用いる。

4. 非定常流れ場への適用

非定常場流れ場は、図 1 に示す実験用風洞（断面積 $1,800\text{mm}\times 1,800\text{mm}$ ）に、高さ 300mm 、幅 10mm の平板を風洞の奥行きに方向一杯に設置し、 50cm/s の一様流を流入させたときの平板後方の周期定常流であるカルマン渦を対象流れ場とした。対象としている流れ場に図 2 に示す計算メッシュ（ 54×42 ）を適用する。測定結果は 90 枚の画像をサンプリングにより得て、間欠部を内挿により補間して、時間ステップ $1/60\text{sec}$ の 180 枚の連続画像とした。

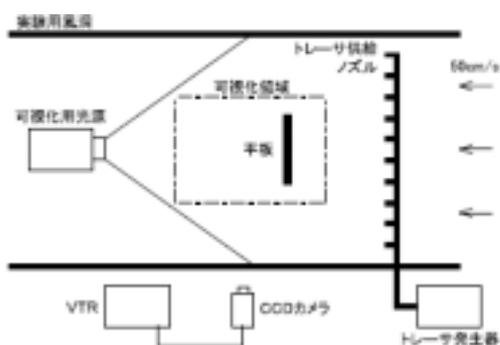


図 1 実験の概要図

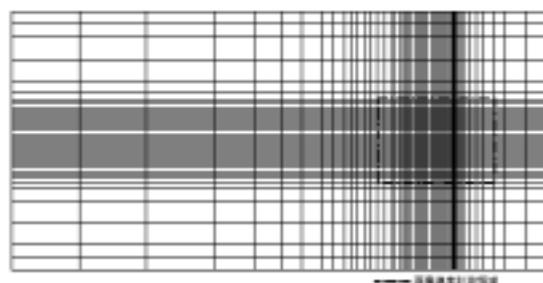


図 2 数値解析と融合で用いた計算メッシュ

4. 結果

$t=1.0[\text{sec}]$ の測定結果、数値解析、融合結果を図 3、図 4、図 5 に示す。

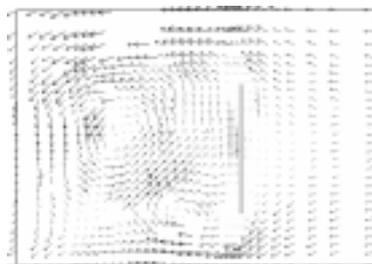


図 3 測定結果

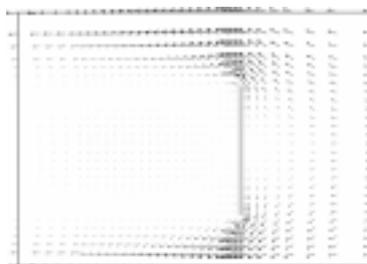


図 4 数値解析

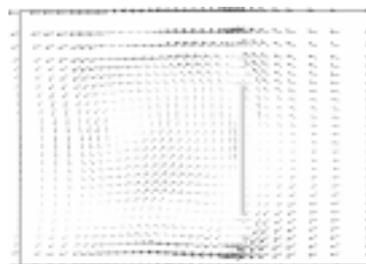


図 5 融合結果

測定値に存在する欠測が、空間的にも時系列的にも、滑らかに補間されていることが分かる。費用関数法を用いることで、速度をより正確に推定することができる。

今後の課題としては、費用関数法と四次元同化法や内挿補間法といった手法と推定精度を比較などが必要である。

参考文献

- 1) 塩田卓, 費用関数法を用いた測定値と数値解析の融合による室内空気分布の把握手法に関する研究. 大阪大学学位論文.2000
- 2) 塩田卓, 加賀昭和, 近藤明, 山口克人, 井上義雄. 観測値と流体基礎方程式を融合した室内空気環境の把握. 空気調和・衛生工学会論文集 Vol.79,pp.29-36,2000