

I-A 167

2次元オープンキャビティ内の乱流流れ有限要素解析

日本大学短期大学部 正会員 畑中 勝守

電力中央研究所 正会員 田中 寛好

日本大学短期大学部 正会員 堀田 新太郎

1. まえがき

飛砂防止工の一つとして、近年、飛砂を捕捉するためのトレンチトラップを設ける工法が注目されている（図1参照）[1]。この工法では、飛砂集積効率を決定する要因としてトレンチのアスペクト比（B/H、図2）が支配的であることが経験的に知られていたが、そのアスペクト比を決定するための実験的検討が十分になされていなかった。そこで本研究では、飛砂防止用トレンチのアスペクト比を決定するためのトレンチ周辺の風の流れの実験を実施した。その結果、トレンチ内で発達するセルの大きさから、アスペクト比B/Hが4～6程度が集積効果の高いアスペクト比であることが分かった。本報告は、これら一連の実験に対応する数値解析として、トレンチトラップを2次元のオープンキャビティに置き換えた数値解析を行い、それらの結果と実験結果を比較検討したものを報告するものである。本研究で用いた数値解析手法は、空間・時間方向離散化として3段階 Taylor Galerkin 法[2]を、乱流解析手法として標準 k-ε モデルに対する改良を施した加藤・Launder[3]の方法を用いた。

2. 基礎方程式

流れ場を非定常等方性乱流と仮定し、取り扱う流体を非圧縮粘性流体と仮定するとき、次の Reynolds 平均された Navier-Stokes 方程式と連続式が基礎方程式となる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\frac{1}{\text{Re}} + \nu_t \right) \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

ここに、それぞれの変数は無次元化されている。また k および ε の式は次のようになる。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\frac{1}{\text{Re}} + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\frac{1}{\text{Re}} + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \quad (5)$$

ここに、G は乱流エネルギーの生産項であり、加藤・Launder の方法[3]により次式を用いる。

$$G = \nu_t S \Omega, \quad S = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)^2}, \quad \Omega = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (6)$$

また、 $C_\mu, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ は標準 k-ε モデルの定数であり、本解析ではそれぞれ、0.09, 1.44, 1.92, 1.0, 1.3 の標準値[4]を用いた。また、それぞれの方程式に対する境界条件は、解析領域が壁からある距離だけ離れていると仮定し、解析領域の壁近傍領域で log-law が成立するという、壁法則によるスリップ条件[4]

を採用した．また初期条件は，計算の目標となるレイノルズ数よりも一桁小さいレイノルズ数を用いた層流計算の結果を速度と圧力の初期条件として与えた．基礎方程式の離散化には有限要素法を基にした3段階 Taylor Galerkin 法[2]を採用した．基礎方程式の離散化手順ならびに離散化された有限要素方程式は，紙面の都合上割愛する．

3. 解析結果と考察

数値解析の解析領域概要を図2に示す．実験のレイノルズ数が $7 \times 10^4 \sim 2 \times 10^5$ であったことから，数値解析のレイノルズ数は 10^5 とした．実験を行ったトレンチのアスペクト比のうち， $B/H=4, 6$ の2ケースに対する解析結果と実験結果の流れのプロファイル（風速ベクトルの大きさの絶対値）の比較を図3,4に示す．トレンチ上部の主流の風速分布は，数値解析・実験結果とも良い一致を示しているが，数値解析により得られたトレンチ内のセルの大きさは，実験結果のそれより大きくなっている．これはトレンチの高さが実験では20cmと低く，風速測定したトレンチ内の渦の状態は3次元性が非常に顕著であった為であると考えられる．

4. おわりに

飛砂捕捉のためのトレンチトラップ内の乱流解析を行い実験結果と比較した．数値解析結果は実験結果と定性的に良い一致を示したが，トレンチ内の渦の大きさや強さが実験と数値解析ではあまり良い一致を示さなかったことから，今後は3次元に拡張した乱流解析を行う必要があることが分かった．

参考文献

- [1] K.Horikawa, S.Hotta, S.Kubota and K.Katori, "Field Measurement of Blown Sand Transport Rate by Trench Trap", Coastal Eng. in Japan, 27, pp.213-232 (1984)
- [2] C.B.Jiang, K.Hatanaka, M.Kawahara and K.Kashiyama, "A Three-Step Finite Element Method for Convection Dominated Incompressible Flow", Computational Fluid Dynamics Journal Vol.1 No.4, pp. 447 -- 466 (1993)
- [3] M.Kato and B.E.Lauder, "The Modeling of Turbulent Flow Around Stationary and Vibrating Square Cylinders", Proc. of 9th Symposium on Turbulent Shear Flows, Kyoto, 10-4 (1993)
- [4] B.E.Lauder and D.B.Spalding, "The Numerical Computation of Turbulent Flow", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.3, pp.269-289 (1974)

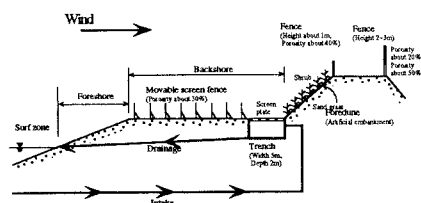


図1 飛砂捕捉用トレンチトラップの概念図

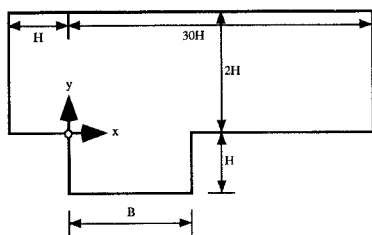


図2 数値解析領域概念図

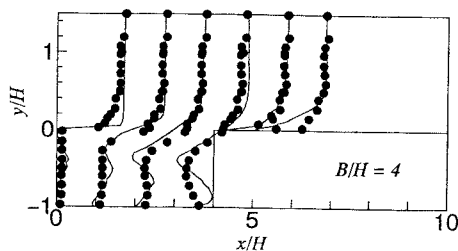


図3 流速プロファイルの比較

($B/H=4$, ●:実験, line:数値解析)

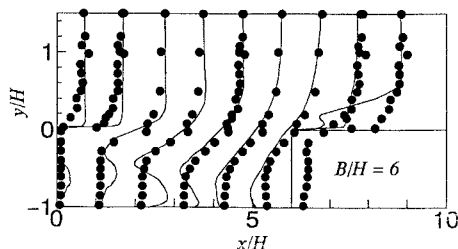


図4 流速プロファイルの比較

($B/H=6$, ●:実験, line:数値解析)