

竜巻風速場モデルから導出される気圧変化率の数値解析精度

Accuracy of pressure gradient numerically derived from a tornado wind field model

*江口 譲¹, 村上 貴裕¹, 服部 康男¹, 平口 博丸¹

¹ (一財) 電力中央研究所

竜巻に伴う原子力発電所の重要施設に課される気圧変化率を求めるために、ランキン渦モデルやフジタモデル等の既知の風速場を入力条件として、有限要素法を用いて圧力の空間微分値を計算する方法を提示した。また、得られた数値解析結果の精度に対する圧力安定化法や空間微分値の計算法の影響を評価した。

キーワード：竜巻，原子力発電所，気圧，変化率，有限要素法

1. 緒言

竜巻の通過によって発生する時間的な気圧変化が原子力発電所の安全性に与える影響を評価する必要がある。この評価には、竜巻の圧力分布の勾配値が必要であるが、ランキン渦のような単純な風速場以外では運動量・質量の各保存則から導かれる圧力ポアソン方程式を解き、その勾配を計算する必要がある。

2. 評価方法

この圧力ポアソン方程式の求解に際しては全境界でノイマン境界条件（圧力勾配値）を与える必要があるが、圧力を要素内一定関数、速度（風速）を1次関数で近似する有限要素法を用いる場合は離散式自体にこの条件が組み入れられており、比較的容易に取り扱うことができる[1]。このようにして得られた圧力 p^e は各要素内で一定であるため、要素境界では圧力は不連続となる。そこで図1に示す各解法で各節点での x 方向圧力勾配 Q_B を求めて、精度を比較した。

$$\left[\bigcup_e \int_{\Omega^e} \phi_a \phi_b d\Omega \right] \{Q_B\} = \left[\bigcup_e \int_{\Omega^e} \phi_a \frac{\partial \phi_b}{\partial x} d\Omega \right] \{p_B^n\} \quad (1)$$

$$\left[\bigcup_e \int_{\Omega^e} \phi_a \phi_b d\Omega \right] \{Q_B\} = \left\{ \bigcup_e \left(\int_{\Gamma_{BC}} \phi_a p^e n_x d\Gamma - \int_{\Omega^e} \frac{\partial \phi_a}{\partial x} p^e d\Omega \right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 ϕ_a ：局所節点 a に関する1次補間関数、 B ：全体節点番号、 p_B^n ：節点 B の圧力、 p^e ：要素 e の圧力、 Ω^e ：要素 e の体積、 Γ_{BC} ：全領域の表面、 n_x ：単位法線ベクトルの x 成分、 $\mathbf{U}$ ：全体化， を表す。

3. 結果と結論

圧力安定化法を導入した有限要素法流体解析コード[2]と類似の方法を用いて、竜巻半径 $R_m=30\text{m}$ 、最大旋回風速 $V_m=85\text{m/s}$ のランキン渦(1/4 対称部分)について一辺 300m の立方体を 100^3 の有限要素で分割して数値解析を実施した。得られた最大圧力勾配を理論値 $\rho V_m^2/R_m$ と比較し（表1）、各解法の誤差特性を明らかにした。（ ρ は空気密度）

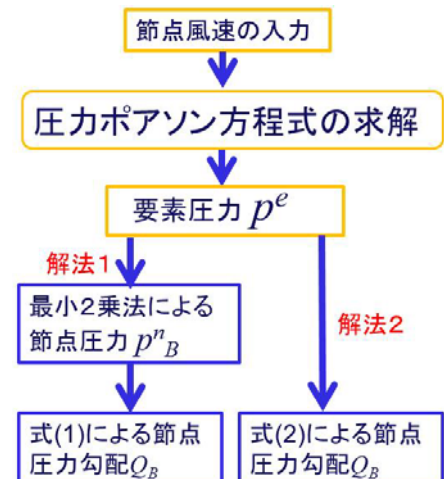


図1 圧力勾配の求め方

表1 各解法の圧力勾配の誤差

(解析値-理論値) 理論値	解法1	解法2
圧力安定化なし	-6.8%	7.9%
圧力安定化有り	-6.9%	-0.96%

参考文献 [1]Gresho, P.M. and Sani, R.L., On pressure boundary conditions for the incompressible Navier-Stokes equations, Int. J. Numer. Meth. in Fluids, 7, pp.1111–1145, 1987. [2]Eguchi, Y., A new positive-definite regularization of incompressible Navier-Stokes equations discretized with Q1/P0 finite element, *ibid.*, 41, pp.881-904, 2003.

*Yuzuru Eguchi¹, Takahiro Murakami¹, Yasuo Hattori¹ and Hiromaru Hirakuchi¹

¹Central Research Institute of Electric Power Industry