自然条件下における SUPG 内流れの予測と効率化に関する検討

京都大学大学院工学研究科 学生員 〇山岡 大樹 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通 (株)阪急電鉄(研究当時京都大学大学院生) 非会員 湯井 大貴

1. 序論

太陽放射の熱により発生する上昇流のエネルギーを 用いたソーラーアップドラフト発電(SUPG)に注目した. SUPG とは、タワー部とコレクター部から成り、コレク ター下部で太陽熱により流体を暖め上昇流を生み出し、 その上昇流がタワー内に送り込まれタワー内に設置さ れたタービンに作用することで電力を創出する装置で ある. SUPG は膨大な賦存量を持つ太陽放射を利用する 一方、発電効率が非常に悪いという短所がある.本研究 では SUPG の発電効率の改善を目的とし、実際の観測 データをもとに CFD 解析を行い、タワー内部の上昇流 速からその妥当性について検討した.また SUPG 内部 構造に変化を加え、自然風を考慮した同様の解析によ り結果の比較を行った.

2. CFD による SUPG 内部の流れ場解析

乱流モデルには標準 k-ε モデルを適用した. 解析領域 は十分大きい円柱領域に Manzanares⁽¹⁾スケールの SUPG を挿入する形で作成し,地表面及び SUPG 周辺に観測 当時の温度データを入力する形で再現した. Fig.1 に解 析領域の詳細図を示す. また熱流体解析の支配方程式 は以下の通りである.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i \overline{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u}_j}{\partial x_i} \right) \right\} + \{1 - \beta (\overline{T} - T_0)\} g_i \qquad (2)$$

$$\frac{\partial(\bar{T}\bar{u}_j)}{\partial x_j} = (\alpha + \alpha_t) \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right)$$
(3)

 β は体積膨張率[1/K]を表す.境界条件は風速 U,温度 T, 圧力 p, k, ε , 熱拡散率 α_t , 動粘性係数 ν_t の各変数に適 当な関数や値を代入することで設定した.特に SUPG の コレクター直下の壁面に地表面温度の観測データを入 力し,解析領域の側面および上部に気温の観測データ を入力した.なお SUPG 周囲の初期風速 Uは 0 m/s と 仮定した. 以上の条件で計算を行ったところ, SUPG 内部の流れ は水平面内においてほぼ等方性をもっていることが確 認できた.観測データと同じ高さの水平断面における タワー内部の上昇流速の計算結果を Fig.2 に示す.タワ ー中央部付近で観測データの 15 m/s と概ね一致する結 果を得た.



Fig.1 解析領域Fig.2 タワー内上昇流速

3. 導流壁付き SUPG 内部の流れ場解析

SUPG のコレクター下部に空気の流れを制御する導 流壁を導入することで安定した上昇流が得られること が室内実験により確認されている⁽²⁾.本研究では Fig.3 のように 2 ケースの導流壁を用意し,導流壁なしのケ ースと比較した.解析領域の条件は前項の導流壁なし のケースと同一とし,同様の定常熱流体解析を行った. その結果,カーブ型導流壁付き SUPG(以下 curve)では タワー内部において螺旋流,ストレート型導流壁付き SUPG(以下 straight)では直線流となった (Fig.4).以上の 結果から自然条件における SUPG の効率化の指標に上 昇流速を適用することは適切ではないと判断し,次項 ではタワー断面における通過流量[m³/s]で比較した.





キーワード SUPG, 上昇流, CFD, 導流壁, 通過流量相対数 連絡先〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科 tel:075-383-3217



Fig.4 2ケースのタワー内部の流線図

4. 自然条件下の SUPG 内部の流れ場解析

自然条件の設定として解析領域に対し,一方向から 一様な横風{1 m/s, 5 m/s, 10 m/s の計 3 ケース}が流入す る状態を想定し,導流壁無し, curve, straight の各ケー スで前項同様の解析を行った.ここで導流壁の枚数に ついても 4 枚または 8 枚の 2 ケース用意し,枚数の変 化による流量変化について検証することとした.なお straight については導流壁に対する横風の偏角を考慮し て,偏角 0° および 45° の 2 ケースについて解析を行 った.

Fig.5 に示すのは導流壁なし, curve(4 枚), straight(4 枚) のそれぞれのケースに横風 10 m/s が作用した場合の SUPG 内部の流れの様子である. 導流壁なしのケースで は横風がコレクター内部に流入し, タワー中心へ向か う流れを横風の下流側へと押し流している様子が捉え られた. 一方 curve, straight においては横風の上流側の コレクター内部に流入してきた横風を導流壁により遮 断し, 横風の一部をタワー内部へと送り込む様子も捉 えることができた. 下流側においても SUPG のメカニ ズム通りに外気をコレクター内部へ取り込み, タワー 内部へと向かう流れが生じている様子が捉えられた.

次に,各ケースの比較を行うため,タワー断面の相対 通過流量を算出し,その結果を Fig.6 に示す.なお,相 対通過流量とは各ケースの無風状態(0 m/s)における流 量を1 としたときの,横風が発生した場合における流 量の相対数を表す.Fig.6 によると straight において横風 の値が上昇しても通過流量相対数が安定していること から,タワー内部に安定した流体の供給が行われてい ることが確認できた.特に偏角 45°のケースにおいて 横風が生じたとき,通過流量相対数が1 を超過してい ることから横風を活用して流量を増加させることに成 功したと言える.以上より straight において SUPG の出 力が最も安定し,効率化を図ることができると考えら れる.



<u>4 校 straight</u> (偏角 45°)

Fig.5 横風が作用した場合のタワー内部の流線図



Fig.6 通過流量相対数グラフ

5. 結論

(1)CFD 解析による Manzanares の SUPG タワー内部の上 昇流速算出の結果, 観測値と解析値の値が概ね一致し たため, SUPG 内部の流れの妥当性を得られたと考えら れる.

(2)straight 型導流壁の導入により横風の影響を大幅 に軽減できることがCFD解析により確認でき,SUPG の効率向上が見込まれる.

参文献考

 Haaf, W., Friedrich, K., Mayr, G., Schlaich, J., Solar Chimneys Part I: Principle & Construction of the Pilot Plant in Manzanares, *Int.J.Solar Energy*, Vol. 2, 3-20, 1983

(2) Hadyan Hafizh – Theoretical Analysis and ExperimentalOptimization of Solar Updraft Power Generator, Dissertasion, 2015