7 環境予測のための風洞実験における可視化の応用例

(三菱重工 長崎研究所) 大串公男, 前田英毅
(" ") 岡本汎貴, 井手靖雄

Visualization of Diffusion Phenomena In Wind Tunnel Experiment for Atmospheric Environmental Prediction

by Kimio Ogushi, Hideki Maeda, Hiroki Okamoto, Yasuo Ide

Abstract: Wind tunnel experiments are frequently carried out as a useful method for atmospheric environmental prediction.

Specially gas diffusion in the complex terrain and around ground structures entails the model experiment.

This paper describes simulation of field meteorological condition in the wind tunnel and examples of diffusion phenomena clarified with use of flow and diffusion visualization. Meteorological factors reproduced are atmospheric stability and wind direction fluctuation, the simulation technique of which is now under technical development in our institute.

1. まえがき

大気環境を予測する際に対象となる物質は、排煙・放射性ガス・悪臭・粒子等種々ある。これらの物質の大気拡散が複雑な地形及び構造物の影響を受ける時の拡散予測には風洞実験が重要な役目をもっている。特に最近では長期間（1時間～年間）における環境濃度予測と大気安定度を考慮した実験研究がとり上げられ、これをシミュレートするための拡散モデル及び風洞実験技術の開発が進められている。

このような背景のもとに風洞実験で拡散現象をシミュレートするには、実地の排ガス条件、地形条件、気象条件等を風洞にいかによく再現するかが重要となる。中でも実地での気象条件の変化は様々であり、このパラメータとしては大気安定度、風向、風速等々あり、これを風洞に再現するには特殊な条件を設定する風洞と拡散現象を把握する技法が課題となる。最近の実験では、気象条件の再現は大気安定度変化と風向変化を対象とした風洞実験に取り組んでおり、この条件を設定する風洞を設置している。一方、拡散現象把握の方法としては拡散ガスの拡散濃度計測（定量値把握）と拡散ガス挙動の可視化による観測（定性把握）の2つの方法が採られている。気象条件を再現した実験では、拡散濃度計測だけでは十分な現象把握ができにくい面があり、可視化による観測の必要性が高まる状況にある。又、種々の模型縮尺に応じた排ガス条件と地形条件での現象把握にも同様なことがいえる。このため、多種にわたる実験条件の中でどのようにして可視化を行うかが焦点となる。本稿では気象条件を再現した実験で現象把握を行った以下の2題について応用事例を紹介する。

(1) 大気安定度を考慮した気流条件での可視化

〔平板面上における拡散煙の鉛直断面可視化〕

(2) 風向変化を考慮した気流条件での可視化

〔地形模型表面における拡散ガスの接地状況の可視化〕

2. 大気安定度を考慮した気流条件での可視化

2-1. “中立”条件にて(二次元模型を越える排ガスの流れ)

“中立”条件は風洞気流に鉛直方

向への温位勾配がない大気の成層状態である。中立条件の風洞気流は送風機によって発生した風を、測定室に導くことによって得られる方法である。

この項での可視化の目的は、レーザーをガスサンプリング断面と同一断面に照射して得た可視化拡散現象と、ガスサンプリングによって得た濃度分布からの現象を比較し、可視化結果の適用性検討のために行ったものである。

Fig 1 に模型と排出源の配置状況を示す。Fig 2 に煙を可視するための光源及び撮影法を示す。

風洞風速は3%, 煙は排出源から1.5%の速度で吐出させた。

煙は流動パラフィンを加熱し白煙化したものを用い、照明用光源として出力4Wのアルゴンレーザーをシリンダリカルレンズで厚さ4mmのシート状にし、煙の鉛直断面に照射した。

これにより、風下方向への煙の挙動断面が観察できることになる。同様にし煙の水平断面及び直角断面の観察も可能となる。

実験では排出源の出口から風下方向への鉛直断面を観察した。

可視化した煙の挙動は約30秒間ビデオに集録し、画像の積算処理を行った。

Fig 3 がビデオ集録の積算処理結果

Fig 1 Schematic of Model

Fig 2 Schematic of Observation Equipment

Fig 3 Image Processing Result

であり、擬似カラーにより白煙濃度の度合を区分している。

Fig 4 は Fig 3 と同じ画像を等輝度処理した結果である。煙からの反射光により風路床面と模型表面に高輝度が出ているが現象把握には支障のない程度である。

Fig 5 は Fig 1 の模型後端部 (P 点) から煙源方向 (Z 方向) へ輝度を検出し、最大輝度で無次元化した分布を示している。

拡散ガスの濃度計測した定量濃度も同様に無次元化し比較した。この結果において測定した断面では模型後流による巻込みが生じている個所であり、 $Z/H < 1.5$ の分布形状にこの傾向を両者とも見ることができる。又、拡散現象の評価の一つである拡散幅 (分布形の 1σ) を比較すると若干画像処理の方が狭く出ているが概略の傾向を把握するには充分と考えられる。しかしながら、拡散幅を定量値として得るにはハードの面から今後解決を要する課題が含まれている。

Fig 4 Concentration Contour

Fig 5 Vertical Concentration Profiles

2-2. “不安定”条件にて (不安定成層気流での排ガスの拡散)

“不安定”条件は鉛直方向への温位勾配がある大気の成層状態である。この項での可視化の目的は、温位勾配がある風洞気流に対し、照明光の熱の影響を防止するためにレーザを使い、不安定成層気流発生源となる熱源近傍の流れを把握するために行ったものである。

この気流を作るために Fig 6 の風洞を用いた。この風洞は吸入式風洞の構造であり、図右側に空気を吸込むファンがある。気流の作成は前流側で床面を

Fig 6 Schematic of Wind Tunnel

ドライアイスで冷却し, 空間部を加熱 (容量 56 kW) することにより安定な温度分布を形成し, 後流側で床面を加熱 (容量 23 kW) した。この方法で上層が安定で下層が不安定な温度分布を発達させた。Fig 7 に温度分布の例を示す。風下距離 (X) が -170 mm では鉛直方向に温度が高くなり安定な流れが形成されるが, 床面を加熱した $X > 100$ mm 以遠の距離では下層部に不安定な流れが形成していることが見られる。

Fig 8 (a) に不安定条件での可視結果, Fig 8 (b) に中立条件での可視結果の擬似カラー写真を示す。可視煙は床面に煙源をおき気流方向に 0.1 % の速度で排出した。

風洞風速は中立時, 不安定時共に 0.6 % である。又, 照明方法, 発煙方法, 撮影方法は前述の中立時 (前項 2-1) と同じである。

この可視結果によって不安定条件になると鉛直方向拡散幅が拡大しているのが観察された。この傾向は, 鉛直方向の定量濃度測定でも同様な拡散現象が確認された。

Fig 7 Temperature ($T_h - T_c$)

3: 風向変化を考慮した実験

風向変化を風洞内に再現する一つの方法として次の実験手法を採用している。

すなわち, 現地風向変動の出現頻度を実測データから求め, その頻度分布に合わせて模型を回転させる手法である。この実験での可視化の目的は, 風向変化によって, 地形・構造物からの流れが, 模型表面の排ガス接地濃度に及ぼす影響を迅速に把握するために行ったものである。

地形・構造物のない平坦地の場合であれば, 排ガス接地濃度は風向変化幅に依り, ほぼ比例して変化する。

しかし, 地形・構造物があると接地濃度の平面分布形と高濃度の発生位置は様々となり, 風向変化のない実験結果からは予測しにくい実地の流れに対応した拡散結果が得られる。

Fig 8 Image Processing Result

Fig 9 Wind Tunnel

使用する模型は円形状に製作し風路に設置する。(Fig 9)

模型の回転駆動は風路床面下部に設置したモータと駆動機構にて行われ、計算機によって風向変化の条件に従い回転するようにモータが制御される。

模型回転速度は、上方気流への影響が出ないように極微速 ($0.03 \text{ deg/sec} \sim 0.4 \text{ deg/sec}$ 程度) に設定する。

Fig 10(a) は風向変化のあるときの実験途中の可視化写真, Fig 10(b) は風向変化のない (模型は回転しない) ときの可視化写真である。

Fig 10(a) Discoloration Experiment
(With Variation of Wind)

Fig 10(b) Discoloration Experiment
(Without Variation of Wind)

この可視化は、模型表面に指葉 (ブロムチモールブルー) を塗布し煙源からはアンモニアガスを排出させ、この指示葉にアンモニアガスが接触すると青変することを利用したものであり、従来から行っている方法である。

上記のような可視化結果からは種々の環境変化時 (例えば、地形形状変化、構造物配置変化、これに伴う風向変化) の汚染領域の変化を青変した領域の変化で定性的にとらえることができる。

しかしながら、青変した領域内での環境変化の程度は把握困難である。

これを得るため前項 2-1 と同様に画像処理した例を Fig 11 に示す。

Fig 11 の右方に風に対し直角断面の輝度レベルの変化分布を示している。建屋模型、道路の塗装色によるレベル変化も表われているが、青変領域のみの分布を抽出して定量濃度の傾向と比較すると、Fig 12 に示すように概略似ていることがわかる。

このようにして、従来からの簡単な可視化法ではあるが、排ガスを接地濃度の拡散状況を簡単に入手できるものとして有効である。

画像処理による定量評価にいたるには本手法においては指示葉濃度、散布濃度の均一化、起伏の大きい複雑地形への指示葉の散布方法等幾多の問題を生じるのは事実である。

Fig 11 Image Processing Result

Fig 12 Lateral Concentration Profiles

4. むすび

本稿では大気環境予測のために取組んだ種々の研究課題の中から成果の一部を当講演用として抜粋し紹介した。

環境予測の風洞実験は、社会的要請に応じ過去20年来、関係省庁、民間各社からの委託及び共同研究、当社独自の研究を数多く着手し、時代と共に実験技術の開発を行ってきた。これまで可視化は、定性的に、早期にデータを入手できるものとして、又、社会的に理解を得るための手段として採用してきた。

最近では、可視化データから数値評価のできる画像処理、流動解析の技術と併せ、実験対象に応じ、時間対効果の割合で優位性のある方法を実施している状況である。

風洞実験技術の開発・進展には、適用対象に応じ、現象解明に必要な幅広い可視化技術の応用が望まれる。

又、環境予測技術が高度化していく社会へ適用されるためにも、理解しやすく、かつ現象解明に最適な可視化技術は不可欠と思われる。

関係各位からの御意見を期待します。

参考文献

- 大場他；不安定温度成層流中のガス拡散風洞実験，第25回大気汚染学会 昭59 P17
井手他；重合法による風向変動の拡散風洞再現，第26回大気汚染学会 昭60 P4