

数値流体解析と流跡線パフモデルによる沿道大気質予測の検討

エヌエス環境 (株) 正会員 ○江頭 優
同上 増谷 望, 西尾 耕一, 小平 光夫

1. 背景と目的

道路沿道の大気質予測には、有風時プルーム・無風時パフモデルが主に使われており、拡散実験により、道路構造（高架・盛土・遮音壁など）を考慮した拡散パラメータが与えられている¹⁾。プルームモデルは、地形にかかわらず直線的な風の流れを仮定していることから、自動車排ガスが山を越えずに谷部に集中するような現象を計算できるような、複雑地形に対応した大気質予測手法が必要とされている。

本研究は、道路沿道の大気質予測を行う際に、簡易な計算により、地形による気流の変化の影響を考慮し予測精度の向上を図ることを目的としている。

2. 検討する方法

地形による気流の変化を考慮するために、数値流体解析 (CFD) による風速場に基づき、煙源からの流跡線を全 16 方位について作成した(例：図-1)。CFD は、標準 $k-\varepsilon$ モデルによる RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 式を用いた²⁾。作成した流跡線に沿ってパフ(煙塊)を移流拡散させるパフモデル³⁾(以下、流跡線パフモデル)について、プルームモデルと比較した。

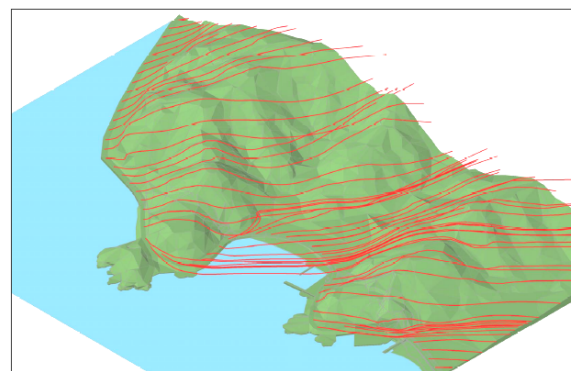


図-1 CFD に基づく流跡線計算例

3. 流跡線パフモデルの計算方法

CFD により得られた風速ベクトル場 $\mathbf{U}(\mathbf{X})$ ($\mathbf{X}$ は解析領域内の任意点) より、時刻 t のパフ中心座標 $\mathbf{P}(t) = [P_x(t), P_y(t), P_z(t)]$ は、 $\mathbf{P}(t + \Delta t) = \mathbf{U}(\mathbf{P}(t)) \cdot \Delta t + \mathbf{P}(t)$ で与える ($\mathbf{P}(t=0)$ は煙源位置)。予測点 (x, y, z) [m] の濃度 C [ppm_v or mg/m³] は、以下の式で、パフ中心座標 $\mathbf{P}(t)$ からの濃度を数値積分して求める。プルームモデルと比べ、数値積分に $n=10^2 \sim 10^3$ 倍程度の計算が必要だが、その代わりに、風向・風速が一様でない条件でも計算が可能であり、近年のコンピュータ能力向上により十分実用できる。

$$C(Q, u) = \frac{u_0}{u} \cdot Q \cdot C(1, u_0), \quad C(1, u_0) = \int_0^\infty f_x(t) \cdot f_y(t) \cdot f_z(t) dt \cong \sum_{t=0}^{n\Delta t} f_x(t) \cdot f_y(t) \cdot f_z(t) \Delta t$$

$$f_x(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x - P_x(t))^2}{2\sigma_x^2}\right), \quad f_y(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left(-\frac{(y - P_y(t))^2}{2\sigma_y^2}\right),$$

$$f_z(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \left\{ \exp\left(-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}.$$

ここで、 Q は汚染物質排出量 [ml/s or mg/s]、 u は基準点風速 [m/s]、 u_0 は CFD 計算時の基準点風速 [m/s]、 H は予測点付近のパフ中心地上高 [m] とする。 x には時刻 t の流跡線長を与える。正規分布の確率密度関数 f_x, f_y, f_z の標準偏差(拡散幅) $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ [m] は、プルームモデルの拡散幅¹⁾に基づいた。なお、 $\sigma_x = \sigma_y$ を仮定した。

4. 拡散幅の調整

プルームモデルは、 x 方向の拡散 f_x を考慮しないのに対し、流跡線パフモデルは f_x を含むため、道路と直角風では道路端で濃度が低めに、平行風では高めになる。ここでは、プルームモデルとの差の 2 乗値を小さくす

るように試行錯誤により水平方向初期拡散幅に補正係数 $a (=0.87)$ を設定した(図-2, 図-3)。鉛直方向拡散幅は、プルームモデルの拡散幅¹⁾をそのまま用いた。

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_{y0} + 0.46(x - \sigma_{y0})^{0.81}, \quad \sigma_{y0} = a \cdot W/2 \quad \text{ここで、} W \text{ は車道幅員(m)、補正係数 } a=0.87$$

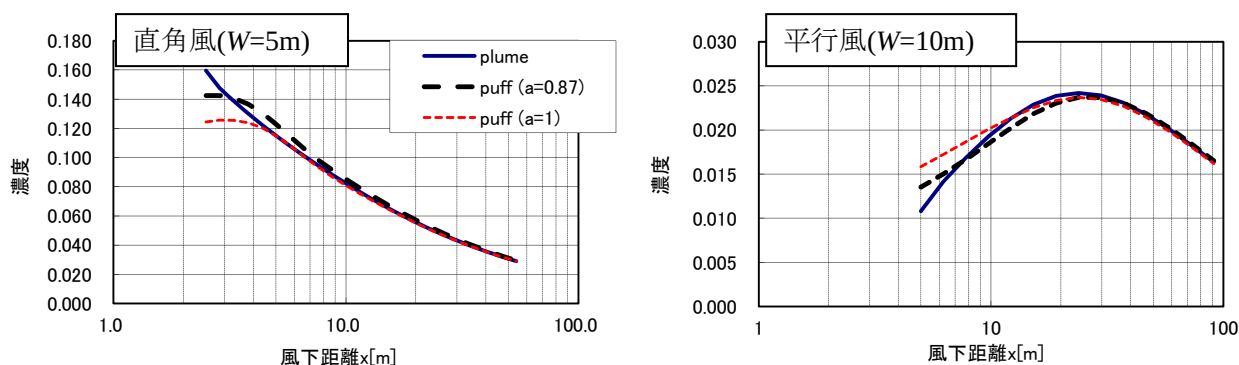


図-2 プルームモデル(plume)と流跡線パフモデル(puff($a=0.87$), puff($a=1$))の比較

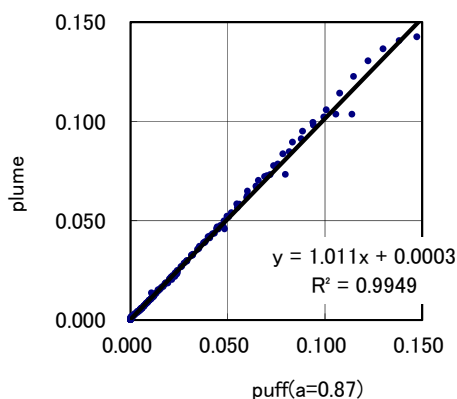


図-3 plume と puff($a=0.87$)の相関

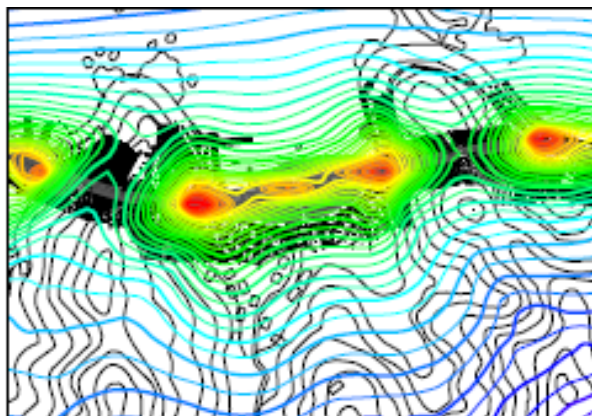


図-4 複雑地形への CFD と流跡線パフモデル適用例

5. まとめと今後の課題

- (1) 流跡線パフモデルは、プルームモデルの拡散幅¹⁾を使用でき、水平方向の初期拡散幅を調整することにより、平坦地形において、プルームモデルと概ね整合した計算ができる(図-3)。
- (2) 複雑地形においても、CFD による風速場を用いた流跡線パフモデルを適用すれば、地形による気流の変化の影響を考慮した年平均濃度が簡易に計算できる(図-4)。
- (3) 補正係数 a によりプルームモデルと比較し調整したが、拡散実験と比較検討すれば改善が見込まれる。
- (4) トンネル部からの大気質予測手法¹⁾は、プルームモデルに基づく噴流モデルおよび等価排出強度モデルが用いられている。CFD による風速場を用いた流跡線パフモデルを適用すれば、地形を考慮したトンネル部からの大気質予測計算ができると考えられる。
- (5) 複雑な地形では、乱流のため平坦地よりも拡散が大きいと考えられる。地上付近に発生源がある道路では、平坦地の拡散幅を流跡線パフモデルに用いると、濃度が実際よりもやや大きめに計算されることが考えられる。
- (6) 接地逆転層(地上付近の温度成層)が生成する状況では、風の流れが谷部に集中しやすいことから、温度成層を考慮した CFD による風速場計算について今後検討する。

参考文献

- 1) (財)道路環境研究所編：“道路環境影響評価の技術手法” 2007 改訂版, 2007 年 9 月
- 2) 日本建築学会：“市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック”, 2007 年 7 月
- 3) 岡本眞一他：“パフモデルによる京浜地区の SO_2 濃度の推定”, 天気 Vol.23, No.3, pp.157-161, 1976 年 3 月