

—— 模型実験による濃度分布の解析 ——

京都大学工学部 正員 医博 左司光 同 山本剛夫

“ 正員 工修 西田薫 学生員 〇上田玄雄

1. 前書き——大気汚染物の拡散を風洞実験のような濃度分布の実測結果から予測する場合、正規分布と仮定して取扱うことは従来からよく行なわれている手段である。地形或は建造物の凹凸の影響がある場合でも、拡散方程式を適当な境界条件のもとに解くことの繁雑さを考えると、正規式を適当な修正のもとに応用する事は実用面から言えば有効な手段である。本報告では、この観念に立って、拡散実験用風洞(高さ1.5m×幅2.5m×長さ5m)に設置した地形模型による汚染物の拡散についての解析結果について述べたい。

2. 解析結果の概要——均一な乱流場では汚染物は平均流速 $\bar{u}$ の方向に真直ぐに流れ、濃度分布型は近似的に正規分布と見なせる。今、 Q を煙源強度[units/T]、 $\bar{u}$ を平均流速[L/T]、 h を煙源高さ[L]とすると、濃度 C [units/L³]は次式で表わされる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

ここに x, y, z は各々、流下方向、それと直角方向、鉛直方向の距離である。凹凸のある地形上を煙が流れる場合には、重心の位置が上下方向に変化するから、ある地点の濃度分布を求めたい場合、 h の代わりにその地点における重心の位置 $l(x)$ を用いる必要がある。 $l(x)$ は地面での完全反射を仮定すれば、次の式から計算される。

$$l(x) = \sqrt{(3\mu_2 - \mu_4)/2} \quad (\mu_2 = \int_0^\infty C z^2 dz / \int_0^\infty C dz, \mu_4 = \int_0^\infty C z^4 dz / \int_0^\infty C dz) \quad (2)$$

μ_2, μ_4 は $z=0$ (地面)に関する鉛直濃度分布の2, 4次積率である。また拡がり幅を表わすパラメータである標準偏差 $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ は重心 $l(x)$ に関して取れば良い。 $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ は次式により求まる。

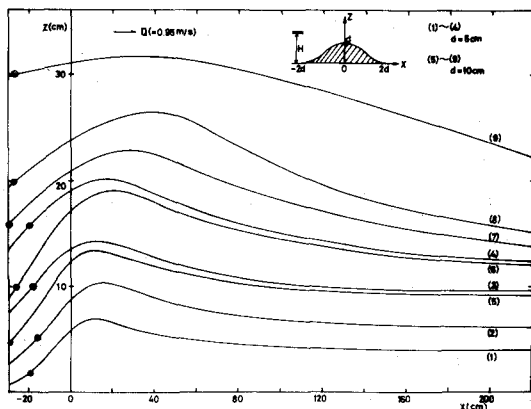
$$\sigma_y(x) = \sqrt{\int_0^x C y^2 dy / \int_0^x C dy}, \quad \sigma_z(x) = \sqrt{2(\mu_2 - l^2(x))} \quad (3)$$

図1は、単純な2次元の単一模型(正弦波状断面)2種を用いて、その前方からエタンをトレーサ

ーとして放出し(放出高さ $H=2\sim 30$ cm)、赤外線ガス分析計によって定量した鉛直濃度分布の重心の位置 $l(x)$ の軌跡を表わし、図2は $l(x)$ からの標準偏差 $\sigma_z(x)$ を表わしている。この標準偏差の形については、G.I. Taylorの乱流拡散理論から拡散の初期においては距離と共に直線的に増加し距離の増加と共に漸近的に放物線に移行することが知られているが、図2の場合には立ち上り非常に大きい。このことは次のように説明される。即ち放出直後では、トレーサガス分子はまだ模型のwake内に入っていないため、拡散係数の小さい領域での挙動を示すのに対し、ガス分子が

Fig. 1 重心軸 $l(x)$ の軌跡

(●印はガスの放出点を表わす)



いつたん wake 内に突入すると、激しい上下方向の混合作用を受け拡散が急激に増大する。このため、 $\sigma_z(x)$ が wake 内に入った奥から急に立ち上りも示すものと考えられる。この事は放出高(H)の低いもの(1)よりも高いもの(4)の方が立ち上りが遅れている状況を見てもうかがわれる。このように、鉛直方向の拡がりが増段階を経て変化することは直観的にも予想されることであるが、実際問題として、山や大きな建造物の煙の拡散に与える影響を考察するような小規模の拡散を考える場合、本実験で行なったように先ず煙の中心軸の流れのパターンをケースバイケースで推定し、これからの拡がり幅の変化と十分に吟味することが必要と思われる。この場合、障害物による wake の形は放物線的に増えることは、流体力学における混合長理論から知られているから、これに煙の中心軸が変わる奥から拡がり幅が増加するものとして取扱うならば、ある程度の等方性乱流論の修正的な適用も可能と思われるが、この奥についてはもう少し実験データを追加して検討して見たい。

図3は $1/8000$ の実地形模型を用いて、縦及び横方向のトレーサガス分子の拡散幅 $\sigma_z(x)$, $\sigma_y(x)$ を求めたものである。地形の状態は北に向ってなだらかな高度の増加のある平坦な盆地であって、南から北に向けてガスを放出した。この図から見ても分かるように、 $1/8000$ のような大縮率の模型では σ_z の σ_y にそれ程の差が見られず、ほとんど等方性に近い様子を示している。なお、この図には筆者らが以前に行なった正方形格子(メッシュサイズ $M=9\text{cm}$)による一様等方性乱流場での拡散の結果を合わせ図示してある。 σ_y , σ_z 共にこれより大きいことが分かるが、これは明らかに地形のわずかな起伏が乱れの強さに影響を与えているためであるが、格子乱流の結果に近い形を示す所から見て、G.I. Taylor の式

$$(\sigma_y, \sigma_z) = 2(\overline{v^2}, \overline{w^2}) \int_0^T \int_0^L R(\xi) d\xi dt \quad (4)$$

において、相関 $R(\xi) = \frac{v'(t)v'(t+\xi)}{\overline{v'^2}}$ 及び乱れ $\overline{v'^2}$ に地形の形状に与じた修正を加えれば、等方性乱流理論の適用も可能と思われる。

3. まとめ——以上2つの実験結果から、地上の物体の拡散に与える影響を考える場合、大縮率のものを取りか小縮率のものを扱うかによって、前者では多くの地上障害物をまとめて場所的に変化する粗度として取扱うことが出来るのに対し、後者では物体の形に応じてその乱流域の特性を一つ一つ検討することが必要であると考えられる。

【参考文献】 庄司・山本・西田・上田・奥村：昭和43年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集Ⅱ-68

Fig.2 二次元模型における標準偏差と距離との関係

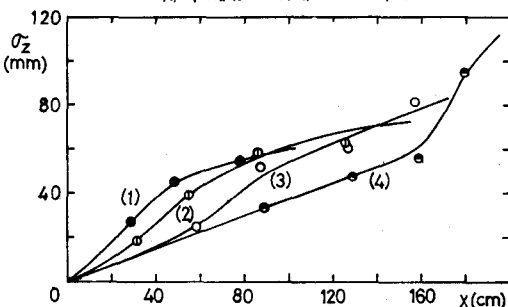


Fig.3 $1/8000$ 実地形模型の場合の標準偏差と距離の関係
● $\bar{U}=0.95\text{m/s}$ ○ $\bar{U}=6\text{m/s}$

