

IV-13 高速道路トンネルの空気汚染とその拡散移動に関する研究

第1報 トンネル排気の拡散に関する Sutton 式の適用について

京都大学工学部 正員 庄司光 正員 山本剛夫 正員 西田耕之助
学生員 八木康雄

煙突排気の濃度分布について多くの研究があり、広く応用されている Sutton の式は定常状態の平均風向を仮定して風下の任意地点における濃度を求める理論式である。また、Holland は風向変動が一様とみなし得る一定範囲を積分区間として Sutton 式を積分しその範囲内の地点の平均濃度を求める式を述べた。一般に大気汚染物質の拡散移動の測定において是被検空気を長時間吸引する必要があり、この間の風向は著しく変動する。それ故 Sutton および Holland の仮定した条件が成立する場合ばかりでない。そこで Sutton の式に風向頻度の weight を考慮して長時間の平均値を求める式を誘導し、この式による計算値と実測値とを比較検討した。

理論

Sutton は連続点汚染源から平均風向の風下に距離 x 、風向と垂直な平面で水平方向に y 、鉛直方向に z の点における濃度 $X(x, y, z)$ を次式で示した。

$$X(x, y, z) = \frac{Qm \exp\left(-\frac{y^2}{C_y^2 x^{2-n}}\right)}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h_e)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h_e)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) \right\} \quad \text{①}$$

h_e ; 汚染源の有効高 m , n ; 鉛直
 Qm ; 排気ガス流量 m^3/sec , $m^2%$,
 C_y ; 鉛直方向拡散係数,
 C_z ; 水平方向拡散係数 $m^2%$

Sutton の式による値が長時間の平均値を示す場合には風向一定と云う条件が満足されねばならない。また、Holland の式は汚染源を中心とする方位角 α より $\alpha \pm \pi$ の扇形内に一様な風が吹く(風向頻度が一定)と仮定しており、このような条件を満足する区間を客観的に決定することは困難であるため扇形区域内のある一定の時間的平均濃度を求めることはできない。以上より風下の任意の地点における長時間平均濃度の推定値を求めるため Sutton の式を次の通りに積分した。

$$\bar{X} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} X(x, y, z) \cdot f(y) dy}{\int_{-\infty}^{\infty} f(y) dy} \quad \text{②}$$

ここで $f(y)$ は y 方向にたいする風向頻度で、
 の風向頻度は正規分布をすると仮定する。

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{③}$$

ここで $\bar{y}$ は測定点から x 軸(平均風向)への距離で、 σ は風向頻度の標準偏差である。

$$\text{②③式から } \bar{X} = \frac{Qm \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h_e)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h_e)^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) \right\}}{\pi C_y \bar{u} x^{1-\frac{n}{2}} (2\sigma^2 + C_y^2 x^{2-n})^{\frac{1}{2}}} \cdot \exp\left(-\frac{\bar{y}^2}{2\sigma^2 + C_y^2 x^{2-n}}\right) \quad \text{④}$$

となる。

この式で $\sigma = 0$ (風向が一定)の場合には Sutton の $X(x, y, z)$ に $y = \bar{y}$ を代入した $X(x, \bar{y}, z)$ である。また、 σ は風向頻度の実測値から推定しうる。風向頻度の分布型については適当な変換を行なって正規型に近づけて使用する。

野外実験

上記の理論式の適合性を検討するため昭和39年6月30日、午前3時より午前6時の間に京都大学教養学部グラウンドにおいて、塩化アンモニア煙をトレーサーとして地表面

付近の拡散測定を行なった。すなわち実験適した大気の安定状態とみられる夜間に大気の温度、風向風速、気温減率（地上0～40m）の測定にもとづいて15～30分間の拡散測定を行なった。トレーサの発生法はスモークテスト法に準じて行ない、発生源の風下地表（コースより50m）に置いたインピンジャー瓶（地上1～4m）を通して被検空気を吸引し、吸光度法によってアンモニア量を定量した。実験時の気温は19～20℃、湿度は83～93%で、気温減率は0.25℃/100m～1.25℃/100mで、AM5.00～6.00の主風向は北北東、平均風速は0.28 m/minで風向分布は図1に示す通りである。

トレーサの発生量25.0 mg/secであるとき風下側各地点の濃度は表1の実測値欄に示す通り0.01～1.4 mg/m³で、発生源から遠ざかるにつれて減少し、地上2 m地点の値は他よりやゝ大きい。

計算値と実測値の比較

野外実験における各条件にもとづいて前記の理論式より各地点濃度を求めた。すなわちトレーサの発生源から風下方向の平均風向軸（x軸）上で発生源からの距離x(m)、測定点からx軸までの距離dy(m)、測定点の高さz(m)、発生源の高さh_e(m)、測定時の平均風速U(m/sec)、トレーサの発生量Q(mg/sec)、測定時の風向頻度の標準偏差σを各測定点について求め、Suttonの与えた高度0～10mにおけるパラメータC_y=0.21、C_z=0.12および当日の気温減率からα=0.25として前記(4)式より計算濃度を算出した。その結果両者の値はガウシアンモデルではよく一致し、今回導出した理論式は地表面近くに発生源をもつ大気汚染物質の拡散移動を推定するに際して充分適用し得ると考えられる。

図1. 実験時の風配図

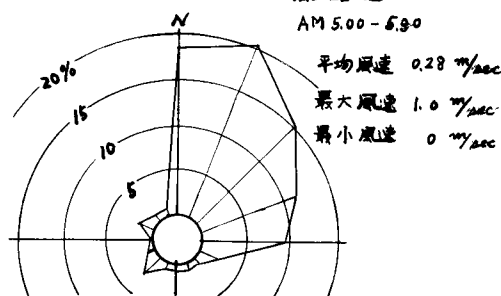


表1. 測定成績と理論値

測定時間 AM 5:00 ~ 5:30							
気 温 °C 19.4							
主 風 向 北							
平均風速 m/sec 0.28							
ソ ー ス 排 出 量 mg/sec 25.0							
地点 番号	地上 高(m)	アンモニア濃度 mg/m ³		地点 番号	地上 高(m)	アンモニア濃度 mg/m ³	
		理論値	実測値			理論値	実測値
1		0.83	0.02	1		0.36	0.07
4 - 2		0.83	0.17	8 - 2		0.36	0.29
(11.2) 3		0.77	0.23	(18) 3		0.33	0.19
4		0.0049	0.01	4		0.0021	—
1		0.37	0.24	1		0.32	—
5 - 2		0.33	1.36	9 - 2		0.29	0.22
(20.6) 3		0.16	0.05	(25) 3		0.14	0.12
4		0.037	0.01	4		0.032	0.03
1		0.30	0.24	1		0.22	0.03
6 - 2		0.27	0.09	10 - 2		0.19	0.06
(24.5) 3		0.23	0.01	(33) 3		0.17	0.05
4		0.098	—	4		0.056	0.09
1		0.15	0.41	1		0.15	—
7 - 2		0.13	1.02	11 2		0.13	0.02
(40.5) 3		0.09	0.20	(42) 3		0.093	0.01
4		0.058	—	4		0.057	0.05