

建物近傍の平均濃度予測に関する風洞実験

正会員 老川進*
正会員 石原孟**
正会員 嶋田健司*
正会員 野津剛*

風洞実験、拡散、ガス濃度予測、建物、悪臭防止法

1. はじめに

一般に大気環境アセスメントにおけるガス濃度予測には正規型解析モデル(Gaussian Plume Model)が用いられている。建物近傍の濃度予測においてもこの式に改良した拡散パラメータを適用したHuberら¹⁾の研究が知られている。平成11年に改正された悪臭防止法第2号規制基準における建物近傍の濃度算定式もそれに準じている。しかし建物近傍の濃度予測については不明な点が多い。本報告はトレーサガス拡散風洞実験を行い、建物近傍における既往の予測式の評価と建物近傍拡散の性状について検討した。

2. 風洞実験概要 測定部が2.4m^H × 2.6m^W × 15.0m^Lの風洞に高さH=8cmの直方体(奥行きL=8cm)を設置し幅Wを変化させた(W/H=2~6)。建物風下壁端にはトレーサガス排出口を設け(内径0.4cm)エタンガスを排出し(排出源高さhs=8~16cm)、炭化水素計により分析した(サンプリング時間60秒)。気流は縮尺1/400とし(べき指数0.2,軒高の流れ方向乱流強度17%)、建物高さの風速をU_H=5.0m/sに設定した(排出速度比V/U_H=0.5,V:排出速度)。測定したガス濃度CはU_Hとトレーサガス排出量Qにより無次元化した濃度C* (=CU_H²/Q)で整理した(Huberの実験データ(V/U_s=1.5)との比較時には高さhsの風速U_sを使用)。表1に実験ケースの一覧を示す。

3. 予測式による濃度評価

3.1 濃度分布におよぼす建物の影響 図1には、排出源高さhs/H=1.5における流れの中心軸上の鉛直断面および地表面の濃度分布を示す。鉛直断面の高濃度域は排出源高さから多少下方に出現し非対称な分布を示している。図2には建物の有無による地表濃度の差異を示した。地表最大濃度は建物有り()で風下8Hに、建物無し()で25H付近に現れている。図中には合わせてHuberの実験値を示した(, 印)。建物がある場合は本実験とHuberの結果がおおむね一致している。

3.2 拡散パラメータ 表2に本報告で検討した拡散パラメータ¹⁾²⁾³⁾を示す。いずれの評価式も鉛直方向の拡散パラメータσ_zは同じであるが横方向の拡散パラメータσ_yの取り扱いが異なる。Huber(1976)のσ_yは平坦地の値と等価である。他の式のσ_yは第1項に建物の初期拡散の効果が、第2項に距離減衰の効果が考慮されている。Huber(1984)のσ_yは建物が高い時は幅Wが、低い時にはHが組入れられている。ISC(1979)のhwは建物水平面積(W × L)の等価円の直径である。悪臭防止法のσ_yはISC(1979)のhw/H>5に相当する値を用いている(あるいはHuber(1984)のsquat)。また3H以内の近傍にはσ_yとσ_zとも一定値を用いている。これらのσ_yとσ_zを(1)式の無次元化した正規型拡散式に代入

$$C^*(x, 0, z; He) = \frac{CU_H H^2}{Q} = \frac{H^2}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

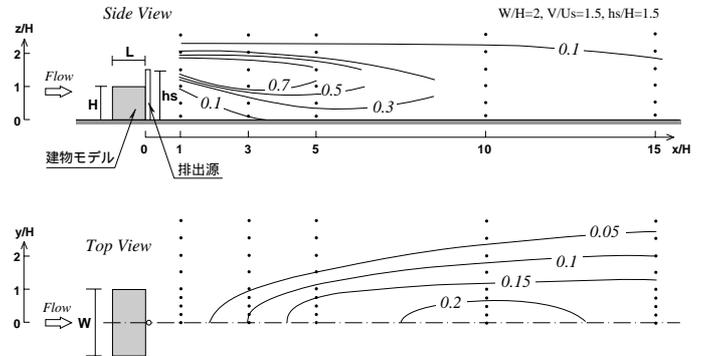


図1 垂直断面および地表面濃度分布 (W/H=2, V/U_s=1.5, hs/H=1.5)

表1 実験一覧表

	U (m/s)	V/U	hs/H	W/H
Huber (1976)	2.34	1.5	1.5	2.0
Huber (1976)	2.34	1.5	1.5	(建物無)
case1	2.5	1.5	1.5	2.0
case2	2.5	1.5	1.5	(建物無)
case3	5.0	0.5	1.0~2.0	2.0
case4	5.0	0.5	1.0~2.0	4.0
case5	5.0	0.5	1.0~2.0	6.0
case6	5.0	0.5	1.0~2.0	

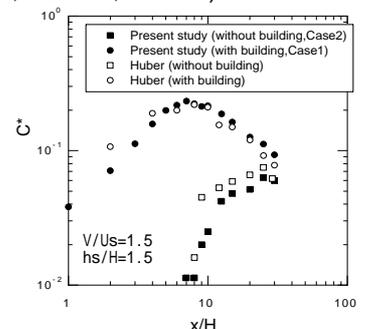


図2 建物有無による地表濃度の変化(Case 1,2; , 印はHuberの実験値)

表2 検討に用いた拡散パラメータ(風下領域x/H<10)

適用範囲x	σ _y	σ _z	
Huber(1976)	0.115H(x/H) ^{0.8}	0.7H+0.067(x-3H)	
Huber(1984)	(tall) 0.35W+0.067(x-3H)		
	(squat) 0.35H+0.067(x-3H)		
ISC(1979)	1.2 He/H (hw/H<5) 0.35hw+0.067(x-3H)	0.7H+0.067(x-3H)	
	2.5>He/H>1.2 0.35H+0.067(x-3H)		
悪臭防止法	0.35H+0.067(x-3H)	0.7H	
	x<3H	0.35H	0.7H

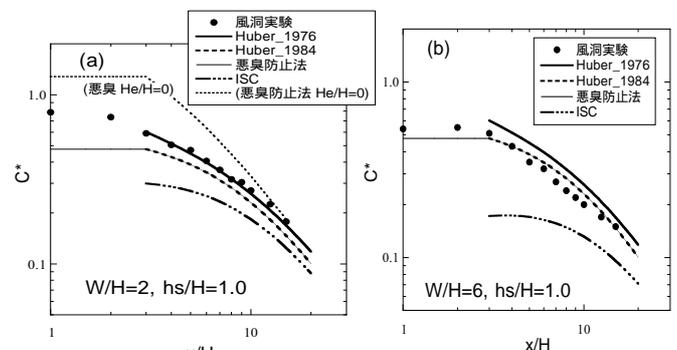


図3 濃度予測式の比較(hs/H=1.0) (a) W/H=2 (b)W/H=6

し地表濃度($z/H=1/8$)を算定した。有効煙突高さ He は、各々の方式において算定方法が異なる。本報告では He をHuberに習った値(鉛直分布でのピーク出現高さ)を採用した。

3.3 地表濃度の算定

図3には排出源高さ $hs/H=1$ における建物幅 $W/H=2$ (図3a)と $W/H=6$ (図3b)の地表濃度について比較した。図中ではHuber(1984)式による結果と悪臭防止法の $3 < x/H$ の結果は重なって表示されている。また印は本実験値を表す。建物からやや離れた $3 < x/H < 10$ の領域では、排出源の高低および W/H の変化に対してHuber(1976)式、Huber(1984)式および悪臭防止法の予測値は実験値に近い。それに比べISC(1979)の式では実験値と開きがあり、 W の効果 σ_y に表現しているにもかかわらず W/H が大であるほど差が大きい。図に表示した悪臭防止法の有効煙突高さはHuberに習い鉛直方向のピーク濃度出現高さで設定したが、図3aには悪臭防止法の算定方法による有効煙突高さ($He/H=0$)の結果を合わせて示した。悪臭防止法による $He/H=0$ を用いると実験値よりも高めの値となる。本報告では平均濃度場を対象としており、悪臭防止法の算定式の妥当性の検討は短時間の濃度評価を考慮した次の機会にゆずりたい。このように建物からやや離れた $3 < x/H < 10$ の領域ではHuber(1984)式など比較的よい予測結果を示している。ところで建物近傍($x/H < 3$)の評価式に関して既往の研究では十分に明らかにされていない。次節では今後の予測手法検討のために近傍場の拡散性状を実験により調べる。

4 建物近傍の拡散性状

4.1 排出源高さおよび建物幅の変化

図4には排出源高さ hs/H を変化させた時の地表濃度($z/H=1/8$)を示した($V/U=0.5$)。 $hs/H=1.0$ と 1.25 では建物近傍の $x/H < 3$ 以内に濃度のピークが現れている。排出源高さが増大し $hs/H=1.5$ 以上となると近傍の地表濃度が低下し建物から離れた地表にピークが形成されている。図5には排出源高さ $hs/H=1.0$ と 1.5 において建物幅比 W/H を2と6に変化させた時の地表濃度を示した。建物から離れた風下($x/H > 3$)では、 hs/H と W/H の違いによる濃度変化はそれほど大きくはない。一方、建物近傍($x/H < 3$)ではそれらの変化に濃度の違いが生じている。幅の狭い建物($W/H=2$;図5の白印)は幅広建物($W/H=6$;図5の黒印)に比べ hs/H 変化の影響が大きい。また低排出源($hs/H=1.0$)では $W/H=2$ (印)に比べ幅広 $W/H=6$ (印)になると濃度が低下しているが、高排出源($hs/H=1.5$)では、 $W/H=2$ (印)に比べ幅広 $W/H=6$ (印)になると低排出源の時とは逆に濃度が増大している。次ぎにこの現象を横方向の拡散状況で調べる。

4.2 地表面の横方向の拡散状況

図6には風下 $x/H=2$ における W/H による横方向の地表濃度分布の状況を示した。図中の無限大()の実験は2次元モデルを用いた(W =風洞幅)。低排出源($hs/H=1.0$,図6a)では、 $W/H=2$ の時の中心軸付近($y/H=0 \sim 0.5$)の濃度は $W/H=6$ に比べ高い。これは W/H が大であるほどウエイクの幅が広がるため初期拡散が大きくなり中心付近の濃度が低下するためと思われる。反対に高排出源の

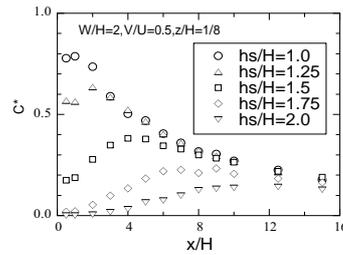


図4 hs/H 変化と地表濃度 (Case3)

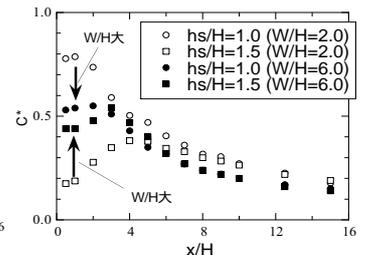


図5 W/H の変化と地表面濃度 (Case 3,5)

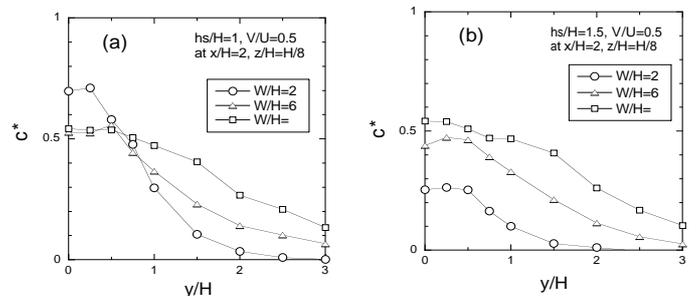


図6 横方向の地表濃度変化($x/H=2$, Case 3,5,6)
(a) $hs/H=1.0$ (b) $hs/H=1.5$

場合($hs/H=1.5$,図6b)は、 $W/H=6$ の方が $W/H=2$ に比べ濃度が高くなる。これは W/H が大となるほど建物を越える流れの次元性が増し流量も建物側面からの巻き込みに比べ相対的に大きくなる。それと共にダウンドラフトも増大し上層からのガスの取り込みが増え後流濃度が増大するためと思われる。

5. まとめ

風洞に直方体の建物モデルを設置し拡散実験を行った。平均濃度場に着目し既往の濃度予測式の算定結果($3 < x/H < 10$)および近傍濃度($x/H < 3$)の拡散場の特徴について検討した。以下に結果をまとめる。

(1)建物風下 ($3 < x/H < 10$)における平均濃度予測は、Huber(1976)式およびHuber(1984)式が実験値に近い。悪臭防止法は有効煙突高さを鉛直方向のピーク濃度出現高さにすると実験値(平均濃度)に近くなる。建物幅比 W/H の影響を組み入れたISC(1979)の式は実験とのずれが生じており、建物の初期の希釈効果を過大に表現している可能性がある。

(2)風洞実験において、建物から離れた風下 ($3 < x/H < 10$)では排出源高さおよび建物幅比の差による濃度変化は小さいが、建物近傍では ($x/H < 3$)それらのパラメータによる濃度変化が大きい。すなわち建物幅比 W/H が大きくなると低排出源では地表濃度が低下傾向にあるが、高排出源では逆に増加傾向を示す。

建物近傍 ($x/H < 3$)の濃度場は、不明な点が多く適切な予測式がない。今後、こうした拡散性状を組込んだモデルの提案が望まれる。

文献

- 1) Huber.A.H. and Snyder.W.H.,3rd Symposium on Atmospheric Turbulence Diffusion and Air Quality(1976)
- 2) Huber.A.H.,Atmos. Env.Vol.18.No.11(1984)
- 3) Bowers.J.F. et al.,EPA report 450/4-79-030(1979)

* 清水建設(株)技術研究所 流体解析G
** 東京大学大学院工学系研究科 助教授

* Institute of Technology SHIMIZU CORPORATION
** Associate Prof. Department of Civil Engineering, Univ. Tokyo