

2019 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境
研究期間：2019 年度
課題番号：19195001
研究課題名（和文）：都市域内を対象とした流れ場および汚染物質拡散予測に関する研究
研究課題名（英文）：Study of pollutant dispersion prediction in flow field of urban area
研究代表者：佐々木 亮治
交付決定額（当該年度）： 0 円

1. 研究の目的

都市域において拡散物質の予測は、環境保全あるいは危険物質の拡散予測など様々な実務の場面で用いられつつある。しかしながら、拡散物質の予測は検証の方法が難しく、まだ十分な検証データが得られている状況にはなく、風洞実験や数値流体解析での応用が期待されているものの、普及していない状況が実情と考えられる。例えば、環境アセスメントでは、大小様々な規模の建物が数多く存在し、逆流など風が単純に流下しないような複雑な流れ場においても、汚染物質の濃度の推定においては実際の風況にそぐわないプルームモデルが使われているが、行政もそれを容認している。都市域における屋外拡散実験結果と風洞実験結果あるいは数値流体解析結果を比較した例としては、大場ら、北林、Schatzmann、道岡らの研究が挙げられるものの数は多くない。

2. 研究の方法

本研究では、今までに、無毒性、無臭の拡散物質である PMCH を用いて、2013 年度に比較的狭い領域（東京工芸大学周辺）を対象とした野外拡散実験、2014 年度に広域の領域（厚木市街）を対象とした野外拡散実験を実施してきた。比較的狭い領域を対象とした野外拡散実験では、上空風を超音波風速計により測定し、地上付近に比較的高密度に超音波風速計を配した観測を行った。一方、広域の野外拡散実験においては、上空風は超音波風速計とドップラーライダーを用いて境界条件となる風速の鉛直分布を測定し、地上では広範囲に超音波風速計を配した観測を行った。2018 年度までに、これらの野外拡散実験を対象とした風洞実験あるいは数値流体解析を実施し、風洞実験および数値流体解析の精度検証を行ってきた。また 2018 年度には、立方体ブロックを並べた街区モデルを対象とした拡散風洞実験を行った。さらに風洞実験を模擬した数値流体解析を行い、風速場と濃度場について両者を比較検討した。なお数値流体解析では、3 種類の異なる流入変動風を用いた LES 解析を行い、気流作成方法の違いが及ぼす影響についても検討を行った。その結果、建物に囲われた場所における平均風速や風速変動の標準偏差等の統計値は、流入変動風の作成方法によらず風洞実験と概ね一致することを確認した。

2019 年度は、3 種類の異なる流入変動風の風速変動成分について更なる精度検証を実施し、特にパワースペクトル密度について検討を進めてきた。

3. 研究成果

解析の対象は、2018 年度と同じ図 1 に示す都市街区モデルとした。このモデルでは、風洞内に一辺 0.06m の立方体ブロックを等間隔（幅：0.06m）に 9 行×9 列（計 81 個）配置している。なおブロックの最初の一行目は、図 1 に示す流入面から 4H（H=0.06m：ブロック高さ）後方とした。風速の測定には Split-Film-Probe を用い、測定範囲は図 1 の赤枠で示す範囲内とした。風速のサンプリング周波数は 1000 Hz、測定時間は 120 秒間とした。

流れ場の LES 解析条件を、表 1 に示す。流入境界条件は、表 2 に示す 3 種類の流入変動風（風洞再現型、準周期型、乱数発生型）とした。図 2 に流入境界として与えた流入変動風および風洞実験の(a)主流方向平均風速、(b)乱流エネルギー、(c)シアストレス、(d)パワースペクトル密度の分布を示す。(d)の図中に示す黒い点線は、 $2/3$ 乗を表している。無次元化に用いた基準高さは Z_{ref} (=0.3m)、基準風速は高さ Z_{ref} における平均風速 U_{ref} とした。また、パワースペクトル密度は $Z/H=1$ の高さで算出した。

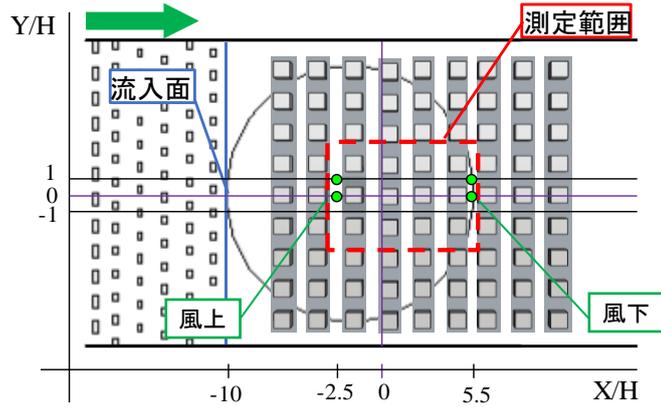


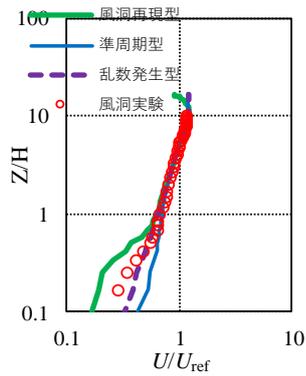
図1 測定点図

表1 解析条件

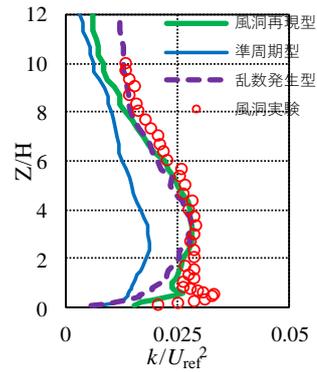
SGS モデル	WALE モデル
流入境界条件	表2に示す変動風
上面, 側面境界条件	Slip 条件
床面, 壁面境界条件	Spalding 則
対流項の離散化手法	FilteredLinear

表2 流入変動風

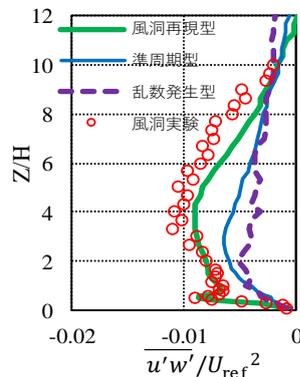
風洞再現型	風洞のラフネス等を再現した LES 解析値
準周期型	片岡ら ¹⁾ の手法で作成
乱数発生型	野田ら ²⁾ の手法で作成



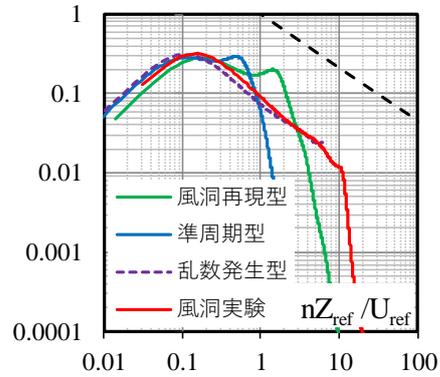
(a) 平均風速



(b) 乱流エネルギー



(c) シヤストレス



(d) パワースペクトル密度

図2 流入気流の比較

図 2(a)より、平均風速は、 $Z/H=1\sim 10$ の範囲では、どの流入変動風も実験気流と一致することが分かる。ただし、 $Z/H=1$ 以下の床面近傍では、実験気流と LES 解析で差異がある。図 2(b)の乱流エネルギーに関しては、風洞再現型と乱数発生型が実験気流と一致している。乱数発生型が実験気流と一致する理由は、実験気流の風速変動 3 成分の標準偏差をターゲットとして発生させているためである。しかし、準周期型は実験気流と比べて全体的に値が低くなる。図 2(c)のシアストレスを見ると、風洞再現型は実験気流をよく再現している。しかし、準周期型と乱数発生型の値は実験気流より低くなる。図 2(d)のパワースペクトル密度では、スペクトルピーク周波数はどの流入変動風も風洞実験と一致している。ただし、準周期型のスペクトルの高周波側の減衰が風洞再現型に比べて低周波側に寄っている。これは、準周期型の生成時の格子解像度が風洞再現型に比べて低いとみられる。

図 3 に道路上 ($Y/H=1$)、図 4 に建物背面 ($Y/H=0$) における風洞実験と LES 解析の主流方向風速変動の標準偏差の鉛直分布を示す。それぞれの図において、図 1 に示す(a)風上 ($X/H=-2.5$) と (b)風下 ($X/H=5.5$) の位置での鉛直分布を示している。道路上風上 (図 3(a)) では、風洞再現型と準周期型は、風洞実験と比べて少し値が大きくなる傾向にある。乱数発生型は風洞実験と比べて値がかなり大きい。一方、風下側 (図 3 (b)) では風洞再現型と準周期型の差異は小さくなり、風洞実験と概ね一致している。乱数発生型の値が大きい傾向は変わらないが、風洞実験との差異は小さくなる。

建物背面 (図 4) では、(a)風上と(b)風下で LES 解析間に差異がほとんどなく、風洞実験と概ね同様の傾向を示している。ただし、街区内の高さにおいて LES 解析は風洞実験よりやや小さい値を示している。

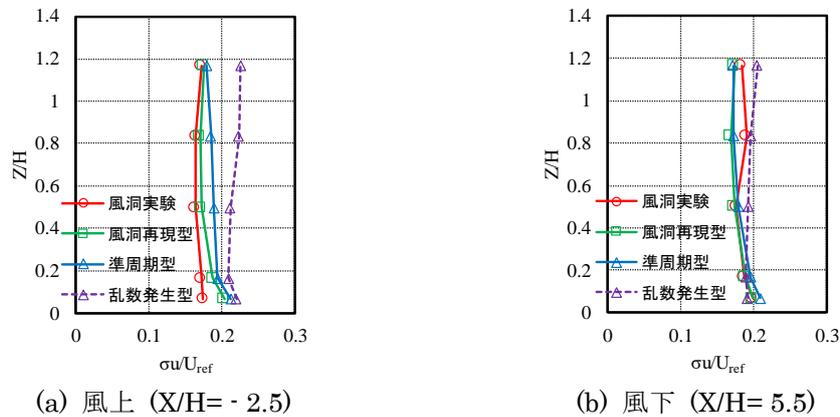


図 3 道路上 ($Y/H=1$) の主流方向の標準偏差

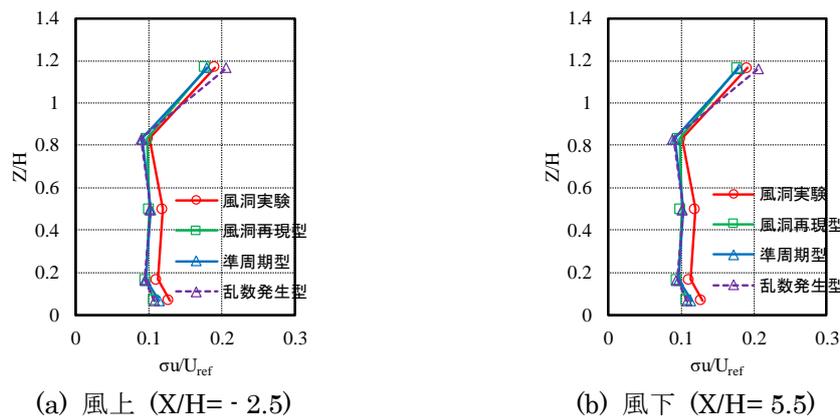


図 4 道路上 ($Y/H=1$) の主流方向の標準偏差

図5に道路上、図6に建物背面のパワースペクトル密度を示す。位置は図3および図4と同じである。なお、パワースペクトル密度は、高さ $Z/H=0.16$ で算出した。道路上(図5)におけるLES解析間の差異は小さい。風洞実験とLES解析のスペクトル密度の形状は概ね一致しているが、スペクトルピークの位置が異なっている。一方、建物背面(図6)では風洞実験とLES解析はよく一致している。ただし、LES解析は $nZ_{ref}/U_{ref}=2$ 付近からパワーが落ちており、格子解像度の不足が懸念される。このことは、建物背面でLES解析の主流方向の風速変動の標準偏差が、風洞実験に比べてやや小さくなる要因の一つとして考えられる。以上の検討より、建物背面など周囲を建物に囲われた場所では、建物群によって生成される乱れの影響が支配的になるため、流入変動風の違いによる影響は小さくなると考えられる。

2019年度は、LES解析による街区モデル内の風速変動のパワースペクトル密度を算出し風洞実験と比較した。生成方法および流入境界で性質が異なる3種類の流入変動風を用いても、LES解析による街区モデル内のパワースペクトル密度には大きな差異は見られなかった。LES解析を風洞実験と比較すると、道路上ではスペクトルピークの位置が異なっていた。一方、建物背面では、LES解析の高周波成分の減衰を除けば、風洞実験のスペクトル形状とよく一致した。

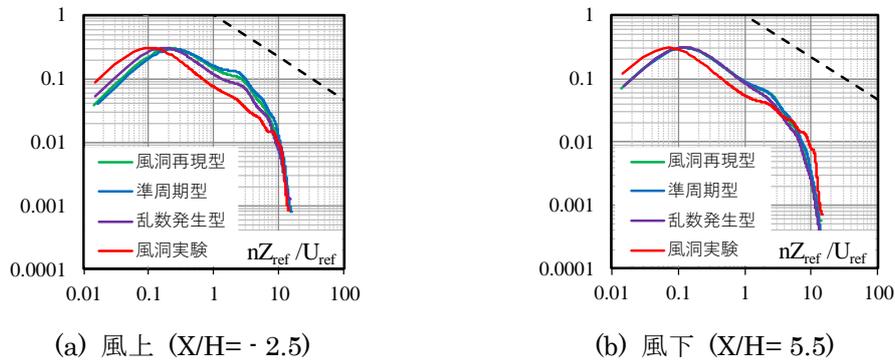


図5 道路上($Y/H=1, Z/H=0.16$)のスペクトル密度

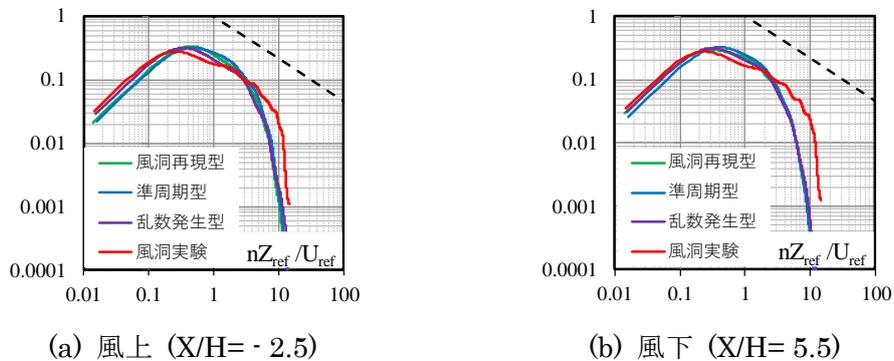


図6 建物背面 ($Y/H=0, Z/H=0.16$) のパワースペクトル密度

参考文献

- 1) 片岡ら：流入変動風を用いた三次元角周りの気流解析, 日本建築学会構造系論文集, 523, pp.71-77, 1999.9.
- 2) Noda, H et.al, Turbulent Boundary Layer Generated using Stochastic Method for Inflow Conditions of LES, International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics (2018) 10(2), pp.146-148

4. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

なし

[学会発表] (計 2 件)

1. 立花卓巳, 佐々木亮治, 下瀬健一, 白澤多一, 中山悟, 宮下康一, 義江龍一郎: 作成方法の異なる流入変動風による拡散場の再現精度, 日本風工学会年次研究発表会・梗概集, 2019, pp.181-182
2. 立花卓巳, 岸田岳士, 佐々木亮治, 野田博, 宮下康一, 義江龍一郎: 作成方法の異なる LES 流入変動風が都市街区モデル内の風速変動成分に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019, pp.657-658

[図書] (計 0 件)

なし

[その他, 産業財産権, ホームページ等]

なし

5. 研究組織

(1) 研究代表者 佐々木 亮治 株式会社風工学研究所

(2) 研究分担者

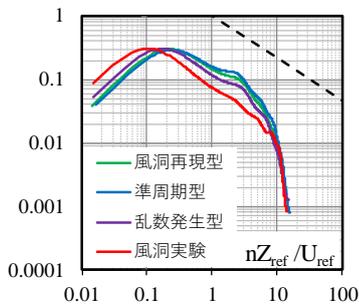
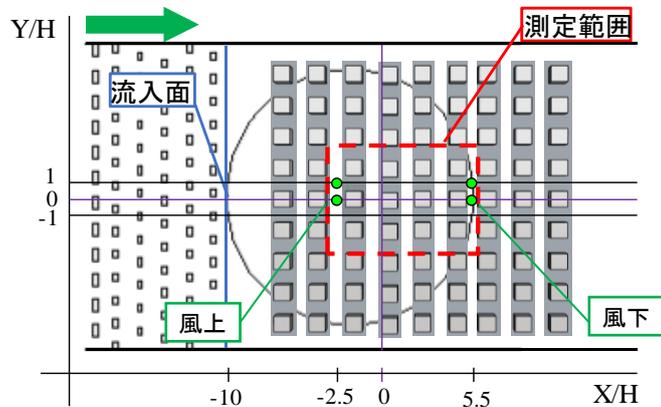
1. 玄 英麗 東京工芸大学建築学科 助教
2. 野田 博 近畿大学建築学部建築学科 教授
3. 白澤 多一 大妻女子大学社会情報学部 准教授
4. 岸田 岳士 電力中央研究所
5. 中山 悟 株式会社東芝インフラシステムズ
6. 宮下 康一 株式会社風工学研究所
7. 勝村 章 株式会社風工学研究所
8. 赤星 明紀 株式会社風工学研究所
9. 大坪 和広 株式会社風工学研究所
10. 立花 卓巳 株式会社風工学研究所

6. 要約 (Abstract)

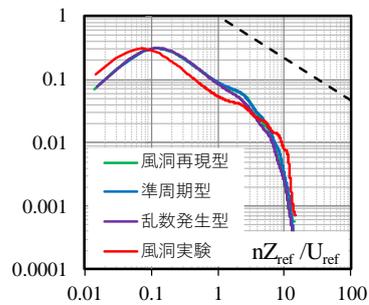
研究課題名 都市域内を対象とした流れ場および汚染物質拡散予測に関する研究
 研究代表者名 佐々木亮治(株式会社風工学研究所)
 内容・図

本研究では、2018年度までに、障害物のない流れ場と都市街区モデル内を対象とし、異なる流入変動風を用いて流れ場を LES 解析し、それぞれ風洞実験結果と比較した。流入変動風としては、風洞再現型、準周期型、乱数発生型の3種類を用いた。2019年度は、風速の変動成分について検討を進めるため、パワースペクトル密度に着目した。

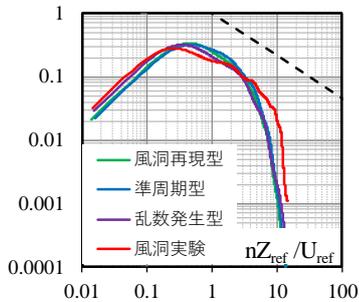
都市街区モデルの風上、風下位置において、道路上と建物背面の位置のパワースペクトル密度を求めた。なお対象とする高さは $Z/H=0.16$ とした (H : ブロック高さ 0.06m)。道路上における LES 解析間のパワースペクトル密度の差異は小さい。風洞実験と LES 解析のスペクトル密度の形状は概ね一致しているが、スペクトルピークの位置が異なっている。一方、建物背面では風洞実験と LES 解析はよく一致している。ただし、LES 解析は $nZ_{\text{ref}}/U_{\text{ref}}=2$ 付近からパワーが落ちており、格子解像度の不足が懸念される。このことは、建物背面で LES 解析の主流方向の風速変動の標準偏差が、風洞実験に比べてやや小さくなる要因の一つとして考えられる。以上の結果より、周囲を建物に囲われた場所では、建物群によって生成される乱れの影響が支配的になるため、流入変動風の違いによる影響は小さくなると思われる。



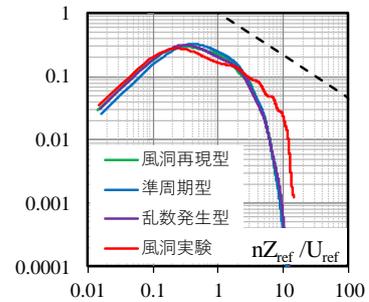
風上 道路上 ($X/H = -2.5, Y/H = 1$)



風下 道路上 ($X/H = 5.5, Y/H = 1$)



風上 建物背面 ($X/H = -2.5, Y/H = 0$)



風下 建物背面 ($X/H = 5.5, Y/H = 0$)