

平成 25 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：H25 年度～ H25 年度 [平成 25 年度で終了]

課題番号：132008

研究課題名（和文）：不安定乱流境界層内の建物周りのガス拡散・熱拡散に関する風洞実験と数値流体解析

研究課題名（英文）：Wind tunnel experiment and numerical simulation of gas and thermal dispersion around a building in non-isothermal turbulent boundary layer

研究代表者：白澤多一

交付決定額（当該年度）：480,000 円

※平成 25 年度で終了となる研究課題は最終成果報告書となりますので、下記項目について詳細な報告をお願いします。

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用していただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

近年、ヒートアイランド対策や大気汚染対策の一つとして市街地の風通しの確保の重要性が広く認識されており、強風による環境障害にとどまらず、弱風域における通風確保が非常に重要な命題となってきている。数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)に基づくシミュレーション技術は、実際の市街地を対象とした風環境の予測・評価に利用可能な段階に到達しており、ビル風（高層建物周辺の強風）の環境アセスメント等に用いられるようになってきた。近年ではヒートアイランド現象や大気汚染など、弱風領域で深刻となる問題の検討にも CFD を活用していくことが期待されている。しかし、実務で一般的に用いられるアンサンブル平均操作に基づく $k-\epsilon$ 系のモデルでは、建物後流や市街地内部の弱風域における風速の予測精度が悪くことが明らかとなっている。そのため、計算負荷は大きいものの、アンサンブル平均操作を伴わない Large Eddy Simulation (LES) の必要性も高まっていくものと予想される。こうした弱風域では、温度変化に伴う浮力の影響も相対的に大きくなる。熱を連成させた非等温 LES の研究には、田村らの研究等が挙げられるが、風工学の分野では未だ極めて少なく、実験との比較による検証もあまり行われていない。そもそも温度成層風洞を有する研究施設が少ないこともあって、CFD を検証するための信頼性の高い非等温風洞実験データが不足しているという側面もある。

そこで本研究では CFD の検証に資する信頼性の高いデータを取得し、結果をデータベースとしてまとめ web で公開することを目的とする。またこれまで風速の測定には Split-Film-Probe を用いてきたが、この種の遅い流れの測定には PIV (Particle Image Velocimetry) も適していると考えられる。PIV による風速測定も行い、Split-Film-Probe による測定結果と比較することで、PIV の測定精度を明らかにする。さらに非等温 LES の場合、風速変動だけではなく温度変動も有する流入変動風を生成することが必要となる。今回実施する風洞実験を対象に流入変動風生成法を検討することにも取り組む。

2. 研究の方法

本研究は風洞実験と数値流体解析の 2 つの手法を用い、研究課題に取り組んだ。

2. 1 不安定乱流境界層中に建つ単体建物後流域におけるガス拡散・熱拡散に関するデータベースの作成

建物周りの非等温流れ場を対象に風洞実験を行い、CFD の解析結果を検証するために必要な実験データ（平均風速・平均温度・平均濃度だけでなく、変動成分まで含めた各種乱流統計量）を取得する。

2. 2 建物周りの流れ場を対象とした PIV 測定方法の検討

PIV を温度成層風洞での風速測定に活用していけるよう実験方法の確立を目標に、まず上記風洞実験結果との比較により測定精度の検証を行う。

2. 3 非等温 LES 実施のための風速・温度変動を有する流入変動風の生成

今回実施する風洞実験を対象に準周期境界条件に基づく流入変動風の作成方法と風洞を再現し、流入変動風を生成する方法の 2 つについて検討を行なう。

3. 研究成果

3. 1 不安定乱流境界層中に建つ単体建物後流域におけるガス拡散・熱拡散に関するデータベースの作成

東京工芸大学所有の温度成層風洞を用い、図1に示す建物後流域におけるガス拡散・熱拡散の性状の風洞実験を行なった。図2に平均風速ベクトルの鉛直分布、図3に平均温度の鉛直分布、図4に平均濃度の鉛直分布を測定結果の例として示す。平均風速、平均温度、平均濃度だけでなく、ヒートフラックス、濃度フラックスなど CFD 検証用のデータを取得できた。時系列データも保存しているので、RANS はもちろんのこと LES などの非定常現象を捉えた解析データとの比較検討にも有効であると考えられる。

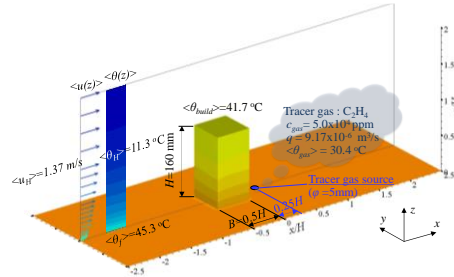


図1 不安定乱流境界層（床面加熱、冷気流）に建つ建物周りの風速、温度、濃度の測定

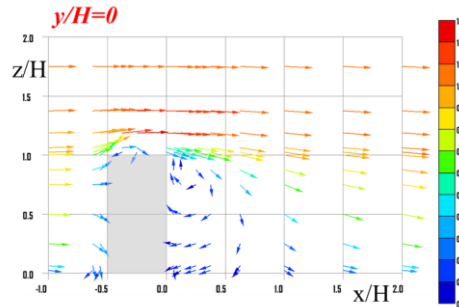


図2 平均風速ベクトルの鉛直分布

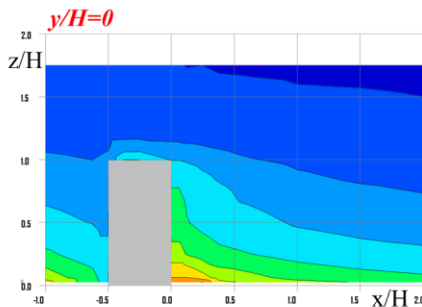


図3 平均温度の鉛直分布

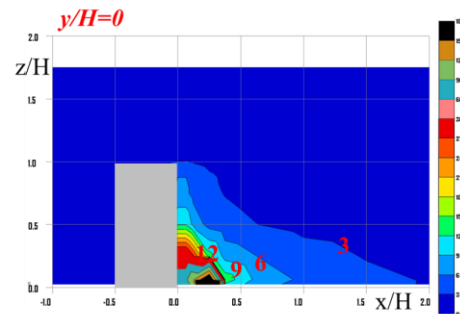


図4 平均濃度の鉛直分布

3. 2 建物周りの流れ場を対象としたPIV測定方法の検討

Split-Film-Probe (SFP)を用い、測定を行なった建物周りの流れ場を対象とし、PIVの測定精度の確認、および測定時間の短縮を目的とした実験研究の検討を行った。PIVとSFPによる平均風速の測定結果はよく一致した。実験方法としては、粒子画像は薄く濃淡がはっきりしていることが望ましく、カメラのしぼりは煙の濃度によって適切なしぼりが変わるため実験ごとに検討する必要がある。また今回、パラメータの値を変更し比較した撮影スピードと検査領域・探査領域については、探査領域が小さすぎると同じ粒子画像でも、良い測定結果が得られなかった。また200Fpsの方が500FpsよりもSFPとよく一致することがわかった。これは繰り返し回数の少ない200Fpsの測定でもSFPとよく一致する精度の高い測定ができているということである。ただしスモークジェネレータの設置位置が及ぼす影響に関しては改めて検討していく必要がある。

3. 3 風速・温度変動を有する流入変動風を生成

先に実施した不安定乱流境界層中に建つ単体建物周りの風洞実験の流入風を対象に、準周期境界型、風洞再現型の2つのLES解析を行い、非等温の流入風を作成した。準周期境界型、風洞再現型ともに乱流統計量の鉛直分布は風洞実験結果をかなり良く再現しているが、パワースペクトル密度を風洞実験結果と比較すると、準周期境界型では低周波成分が風洞と異なる結果となった(図4)。計算負荷は風洞再現型に比べ、準周期境界型のほうがかなり低いいため、検討対象とする現象を考慮したうえで適切な手法を選択する必要があることが示唆された。

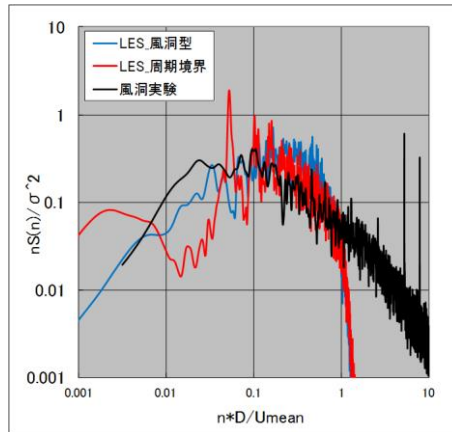


図4 パワースペクトル密度の比較

本研究成果は2014年2月28日に東京工芸大学中野キャンパスにて開催した「安定乱流境界層内の建物周りのガス拡散・熱拡散に関する風洞実験と数値解析に関する研究集会」にて報告し、得られた結果について議論した。

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)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[その他]

研究集会資料「安定乱流境界層内の建物周りのガス拡散・熱拡散に関する風洞実験と数値解析に関する研究集会」2月28日実施

実験データはホームページで今後データの整理を行なった上で、公開を予定している。

5. 研究組織

(1) 研究代表者

白澤 多一 (大妻女子大学・社会情報学部)

(2) 研究分担者

義江 龍一郎 (東京工芸大学・工学部・建築学科)
野田 博 (近畿大学・建築学部・建築学科)
岡田 玲 (東京工芸大学・風工学研究センターGCOE)
並木 慎一 (株式会社東芝)
荻島 真治 (株式会社東芝)
中山 悟 (株式会社東芝)
宮下 康一 (株式会社風工学研究所)
勝村 章 (株式会社風工学研究所)
佐々木 亮治 (株式会社風工学研究所)
岸田 岳士 (株式会社風工学研究所)
大風 翼 (東北大学)
富永 禎秀 (新潟工科大学)
中尾 圭佑 (電力中央研究所)
菊本 英紀 (東京大学)
池谷 直樹 (九州大学)
今野 雅 (株式会社OCAEL)

田端 侑一（大林組）
三浦 翔（東京工芸大学・大学院生）
田辺 剛志（東京工芸大学・大学院生）
宮里 龍太郎（東京工芸大学・大学院生）