

平成 28 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：室内環境

研究期間：平成 28 年度

課題番号：153005

研究課題名（和文）： 密集市街地における街区気流構造の把握及びウインドキャッチャーによる通風改善に関する研究

研究課題名（英文）： Research on ventilation improvement by densely urban area of city blocks airflow structure grasp and wind catcher

研究代表者：遠藤 智行

交付決定額（当該年度）：160,000円

※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させ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

建築物の室内において、快適性や消費エネルギーの観点から機械式空調設備よりも自然通風を求める居住者が多いが、都市部では周辺建物の高密化による自然風の減衰などが原因となり、通風の活用が困難な現状がある。このような問題に対して前年度は、GISを用いて抽出する範囲や位置によって値が変動しにくい地域の平均的なグロス建蔽率の算出を行い、風洞実験から既往研究で多く用いられている均等整列モデルと実街区の比較を8風向における最大風圧係数差 $\Delta C_p\text{-max}[-]$ で評価した。その結果、密集度が同一であっても街区内の建物配置が比較的均等整列に近い準整列街区と、ランダムな建物配置である非整列街区では、風環境が異なることが明確となった。しかし、この時に用いたグロス建蔽率に関してはGISを用いて偏差の少ない平均的なグロス建蔽率の算出を行ったが、準整列街区と非整列街区の分類は主観的な見た目の印象による評価に留まっており、論理性に乏しい手法であった。また、実街区内の通風性能が低下した条件に対する有効な促進デバイスの提案には至っていない。本年度は、三段階の研究構成をもって、前述の課題点を解決する。第一段階として前年度の成果報告書に記した手法を用いて抽出した実街区のグロス建蔽率30%,40%,50%における全建物角度のヒストグラム分析を実施し、抽出した実街区を密集度ごとに準整列街区、非整列街区と分類し、比較用の実街区として検討対象に設定した。第二段階は抽出した実街区を風洞実験で再現し、後に実施するCFD解析の実現象再現を確認するためのデータ取得および実街区内の中心建物に作用する風環境を最大風圧係数差 $\Delta C_p\text{-max}$ および最小風圧係数差 $\Delta C_p\text{-min}$ を指標として評価した。第三段階では、風洞実験を再現したCFD解析を実施し、シミュレーションの計算精度を実験値と比較した後に、実験の結果から期待される通風性能が低い街区形状、密集度、風向の条件を対象に通風を促進するとされているウインドキャッチャー（WC）を設置した際の通風改善量を明確にし、その有効性を評価することを主たる目的として定めた。

2. 研究の方法

2-1. GIS を用いた密集度別の実街区分類

街区の風通しレベルを評価する指標として周辺建物の密集度（グロス建蔽率）が多く用いられるが、この値は抽出する位置や範囲により変動する課題点が残る。そこで、前年度の成果報告書に示す GIS を用いた手法により、ばらつきを抑制した、地域における平均的なグロス建蔽率の算出を実施した結果を図 1 に示す。この時、測定対象建物を街区内のほぼ中央かつ、後に実施する風洞実験で用いる圧力測定模型のサイズに近い実在建物の上に設定していることから、測定対象の建物が真北方位と直交・平行とは限らない。



図 1 実街区分類

2-2. 建物角度による街区分類

都市部における風環境は、対象街区内の建物配置により決定されることから、実街区分類が必要と考えられる。勝又ら¹⁾は日照・採光・換気・通風等の環境工学の観点から街区分類し調査対象を決定しているが、明確な定義づけはなく、特徴的な街区を任意に選択している。池谷ら²⁾は実在都市の複雑な平面配置を議論するためには、平面配列の多様性を考慮した配列でのデータ収集が欠かせない点を指摘したうえで、建物模型の角度をランダムに変更した条件で風洞実験を行っている。その結果、密集度が低い街区条件では建物角度が風環境に与える影響が大きい傾向を報告している。本報では、街区内の建物角度

のばらつきが重要な要素であると考え、GISを用いて対象街区内の全ての建物角度を算出した後、図2に示すヒストグラム分析で算出した偏差の多少により、比較的整列配置に近い街区を準整列実街区、街区内の建物角度のばらつきが多い街区を非整列実街区として分類することにより、密集度が同一である条件で建物配置が風環境に与える影響を把握することを目的とした。手法としては、商用ソフトウェア ArcGIS の「ポリゴン主角度の計算」コマンドを用いて、各建物データにおける最長辺の角度を -90° から 90° の範囲で自動的に求めた。しかし、図3に示す通り、同一の建物角度でありながら最長辺の位置により算出角度がマイナス値となる場合が発生してしまう。そのため、データ整理の際にマイナス値のケースには 90° を加算し、 0° から 90° の範囲でヒストグラム分析を実行することにより、同一角度の建物をまとめて評価する操作を行っている。

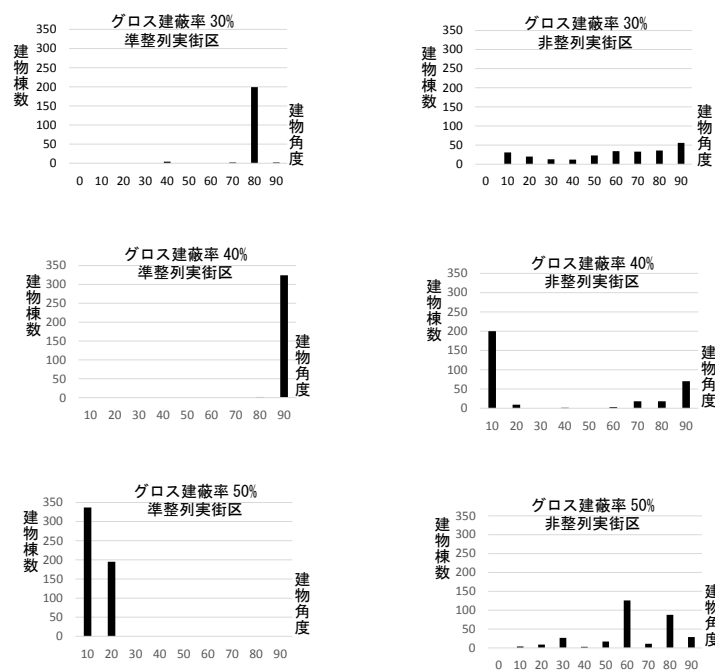


図2 街区内建物角度 ヒストグラム分析結果

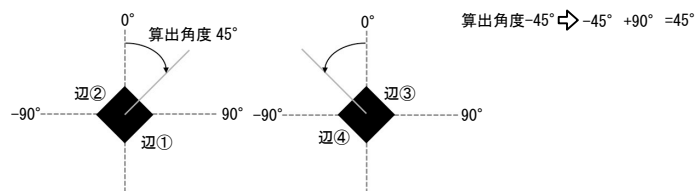


図3 同一角度の建物に対する処理方法

2-3. 風洞実験の装置および実験条件

実験は東京工芸大学厚木キャンパスのエッフェル型風洞装置を用いた。アプローチフローは、実街区の再現範囲が測定対象模型付近の平均高さ (30mm) の 10~25 倍以上かつ、最高測定点高さ (24mm) の 20 倍以上であれば、接近流が一樣流であっても実現現象との相似性が比較的良好³⁾ であることから、図 4 に示すように、単独建物の条件にて極力 1/4 乗則に従う分布設定に努めたうえで測定を実施した。また本報では、建物配置と密集度の影響に着目するため建物屋根形状は陸屋根として、モデルを単純化して測定を実施した。図 5 に示す圧力測定孔が設けられた対象建物模型を再現した街区のほぼ中央に設置し、多点圧力計 (MelonTechno 製 32CH MICRO PRESSURE UNIT MODEL MP-32) を用いて壁面風圧を測定し、基準動圧で除することで風圧係数 $C_p[-]$ の算出を行った。

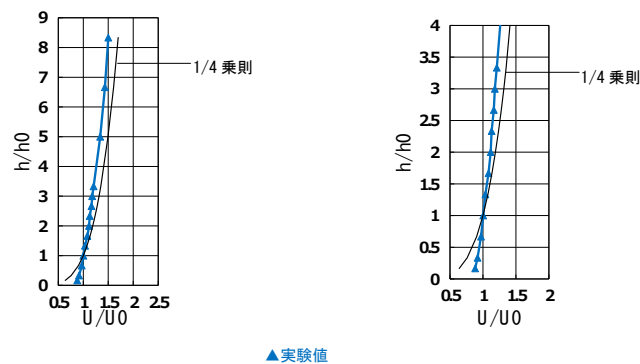


図 4 アプローチフロー (単独建物)

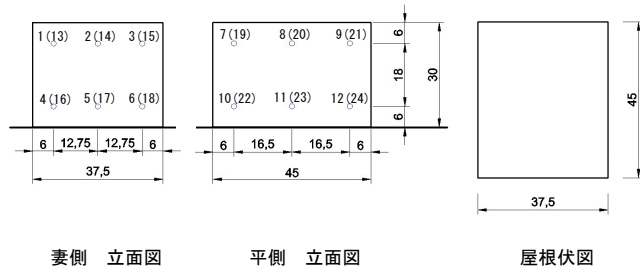


図 5 1/200 縮尺 測定対象模型 詳細図面 [寸法 : mm]

2-4. 風洞実験ケース

図 1 に示す 6 つの実街区を検討対象として設定し、GIS から抽出した 1/200 縮尺で大判印刷した地図データの上に対象街区内の建物をスタイロフォームで再現し、各 8 風向、全 48 ケースの風圧係数 $C_p[-]$ 測定を実施した。本実験ではターンテーブルの円周上にある建物については、はみ出している面積と再現する面積を極力一致させることにより、算出したグロス建蔽率の変動が少なくなるように配慮している。また、GIS データには建物階数

の情報も含まれているが、水平方向の密集度および、街区形状が与える影響を把握する目的から建物高さの再現は行わず全て一律とした。

2-5. 風洞実験の結果

各街区における通風性能を評価するために、図 6 に示すショートサーキット経路、対角線経路、対面経路の 3 つの通風経路 (a,b,c) を設定し、均等整列配置の街区条件も含めたそれぞれの経路における最大風圧係数差 $\Delta C_p\text{-max}[-]$ および最少風圧係数 $\Delta C_p\text{-min}[-]$ を算出した比較結果を図 7 に示す。グロス建蔽率 30% の条件は、風向や開口位置に関わらず $\Delta C_p\text{-max}[-]$ が相対的に高い値を示しているが、グロス建蔽率 40% および 50% の条件では、 $C_p[-]$ の低下と同時に、同一風向で比較すると通風経路による差が大きくないことが分かる。また、特徴的なケースとしてグロス建蔽率 50% の非整列実街区の風向 S のケースについては、3 つの通風経路において $\Delta C_p\text{-max}[-]$ の値が突出して高いことが分かる。主な要因としては、測定対象建物の風上側 (風向 S) に通気輪道を形成する大通りが二本あり、アプローチフローが他の建物の影響を受けずに衝突し、壁面に高い風圧力が作用したと推察される。次に、最小風圧係数差 $\Delta C_p\text{-min}[-]$ による比較を行ったところ、予想に反して各街区形状、密集度、通風経路に関係なく、総じて値が低いことが分かる。これは、外部風が活用しやすいとされている低密集度の郊外型街区であっても、設置する開口部の位置により通風が望めない設計に成り得ることを意味している。

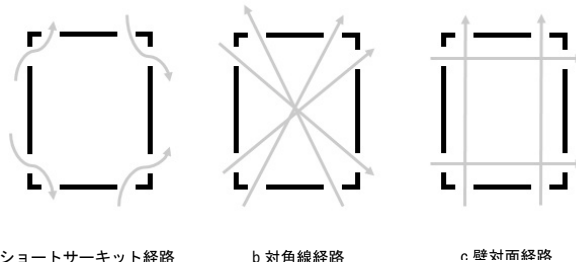


図 6 通風経路平面概念図 (1F・2F 共通)

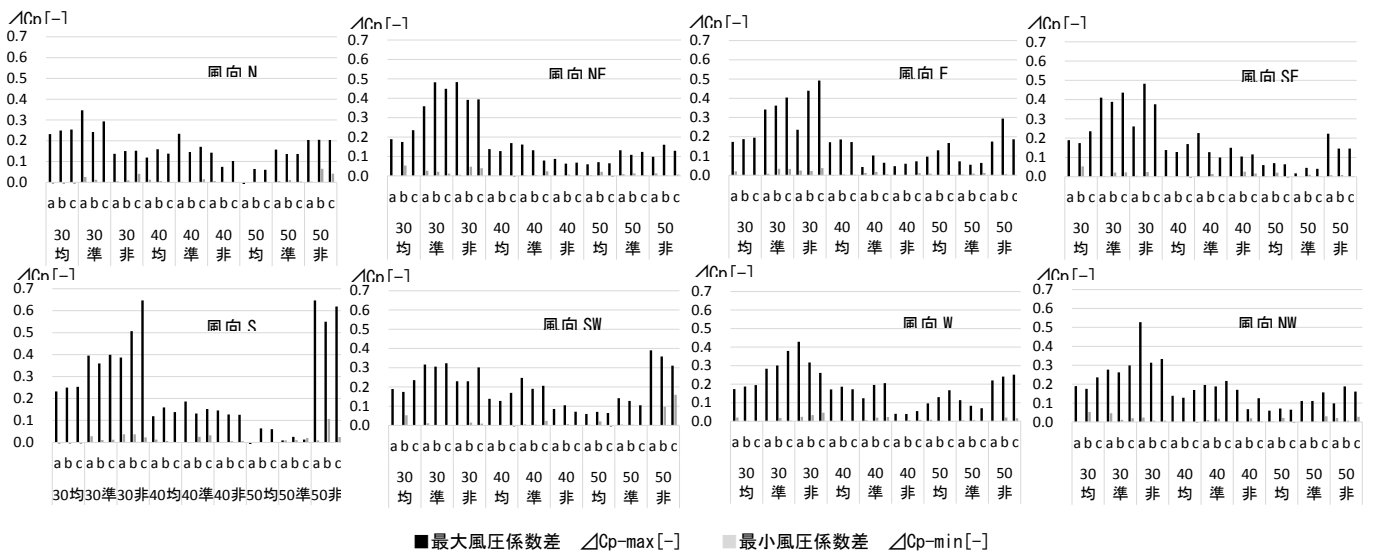


図 7 風圧係数差 $\Delta C_p[-]$ による比較

2-6. CFD 解析条件

風洞実験のみでは把握が困難である事象の解析を行うために、表 1 に示す条件にて CFD 解析を実行した。計算に用いたメッシュについては図 8 に一例を示す通り、地面および建物の 3D モデリングデータをインポートし、流体領域にオートメッシュを実行して作製している。

表 1 解析の設定

CFD ソフトウェア	STAR-CCM+ 9.06.009
Inlet	風洞実験 1/4乗則
Outlet	自由流出 (ゼロ勾配)
Symmetry	Free slip
Wall	一般対数則に基づく壁関数
乱流モデル	sst-k ωモデル
差分スキーム	2次精度風上差分
計算アルゴリズム	SIMPLE法

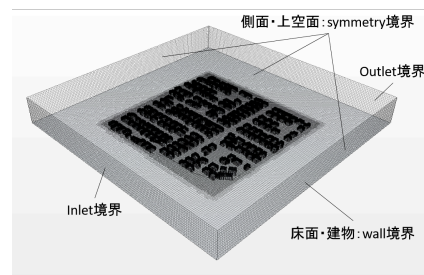


図 8 解析用メッシュ一例

図 8 解析用メッシュ一例

2-7. 計算精度確認の解析ケース

風洞実験値と CFD 解析の対応を確認するために、風洞を模擬した計算メッシュを用いて表 2 上段に示すケースの解析を行った。均等整列配置は同一形状の建物を規則的に並べた疑似的街区であり、配列図については前年度の成果報告書を参照されたい。

2-8. 通風性能改善のケーススタディ

準整列実街区の gross 建蔽率 30% の条件において、風洞実験の結果から $\Delta C_p\text{-max}[-]$ の値が 0.3 を下回り、通風性能が低いと判断した 4 ケースを表 2 下段に示す。これらのケースには、通風促進デバイスのひとつであるウィンドキャッチャー (WC) を開口部に設置した条件でシミュレーションを実行し、その改善効果を明らかにする。

表 2 解析ケース

精 度 確 認	均等整列配置			準整列実街区	非整列実街区
	gross 建蔽率30%	gross 建蔽率40%	gross 建蔽率50%	gross 建蔽率30%	gross 建蔽率30%
	3風向			8風向	
WC	準整列実街区 gross 建蔽率30%				
	風向と通風経路	風向N b経路	風向W a経路	風向NW a経路	風向NW b経路
	Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4

2-9. 計算精度確認

CFD 解析の精度を確認するために、風圧係数 $C_p[-]$ 比較結果の一例を図 9 に示す。均等整列配置のグロス建蔽率 30%については、全 72 ケースにおいて実験値と良好な対応を確認したが、40%,50%のケースでは対応が悪化していた。実街区のケースでも、グロス建蔽率 30%の準整列街区は概ね対応した結果であったが、30%の非整列実街区の条件については CFD の再現精度が不十分であったことから、これらのケースにおける計算精度の改善に関しては次報まで課題とする。

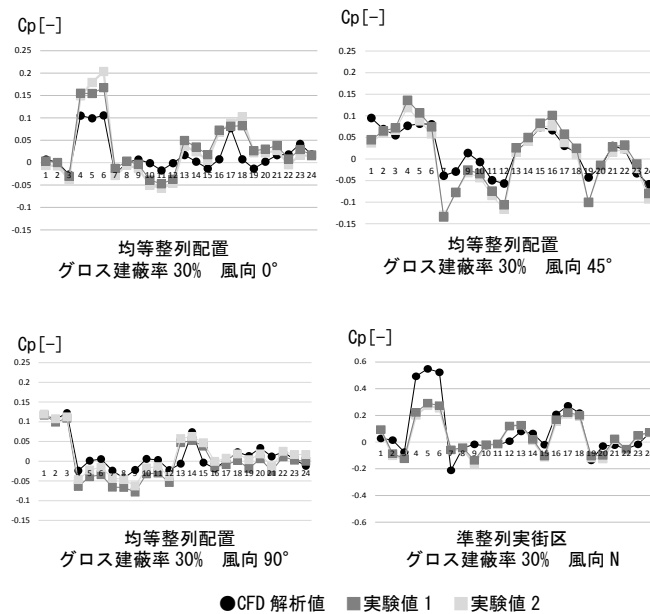
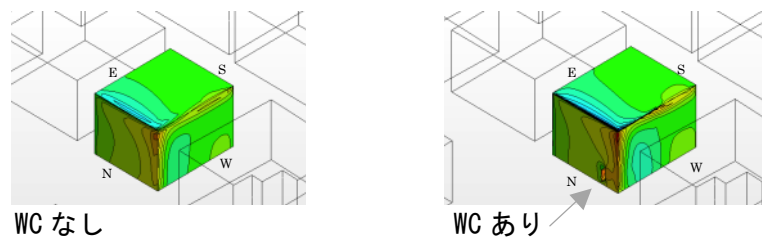


図 9 風洞実験値と CFD 解析の風圧係数 $C_p[-]$ 比較

2-10. 実街区におけるウィンドキャッチャーの有効性確認

長さ 500mm、高さ 1200mm の WC を、相対的に通風性能が低い 4 ケース（表 2 下段）に対して付設し、シミュレーションを実行した。WC ありとなしの風圧係数分布一例を図 10 に、各ケースの $\Delta C_p[-]$ 改善量および流入開口と風向の関係を表 3 に示す。Case 1 のように WC と風向が平行の場合、その改善量は 13% のみに留まる。しかし、Case 2,3,4 のように風向と WC の角度が 45° 以上の条件では、WC が建物隣棟間を流れる気流を受け止めることにより、50%~90%の範囲で $\Delta C_p[-]$ の値が上昇していることを確認した。



Case 3 (風向 NW a 経路)

図 10 WC 有無の比較 風圧係数分布一例

表 3 WC による $\Delta C_p[-]$ 改善量

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
改善量	13%	64%	90%	50%
流入開口と風向の関係	平行	直交	45°	45°

3. 研究成果

本年度は GIS 解析、風洞実験、CFD 解析を実施した結果、以下に示す知見を得た。

1) GIS を用いた全建物角度の算出から、街区の分類を建物配置角度のばらつきで整理することで、再現性をもつ街区形状の評価手法を確立した。

2) 分類した実街区のほぼ中央に設置した風洞模型に作用する風圧係数 $C_p[-]$ 測定を実施し、一般的な 3 つの通風経路における最大風圧係数差 $\Delta C_p\text{-max}[-]$ を算出した結果、グロス建蔽率 30%では通風経路と風向の影響に関わらず相対的に高い値を示したのに対し、グロス建蔽率 40%以上となる場合、その値のほとんどが半減している傾向を確認した。

3) 6 ケースの実街区における 3 つの通風経路、8 風向の最小風圧係数差 $\Delta C_p\text{-min}[-]$ を算出した結果、全てのケースの値が非常に小さいことから、通風を利用しやすいとされている低密度の街区であっても、開口部の設置位置により、ほとんど通風が望めないことが判明した。

4) 通風性能が低い街区形状、通風経路、風向の 4 ケースの条件に対し、通風促進デバイスのひとつである WC を付設したところ、風向と WC の角度が 45° 以上の条件では 50%~90%の範囲で $\Delta C_p[-]$ が上昇し、実街区条件における WC の有効性が確認された。

【参考文献】

- 1) 勝又ら：密集市街地の街区性能評価に関する研究（その 1）類型密集市街地における冬季の日照・採光性能と居住者意識，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），2011.8
- 2) 池谷ら：平面配列のランダム性、及び濃度境界層，粗度周辺気流がバルクスカラー係数に与える影響 直方体粗度群の床面バルクスカラー係数に関する風洞実験その 2
- 3) 日本建築センター：実務者のための建築物風洞実験ガイドブック，pp95-96，1994. 6

4. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

滝澤 正玄, 倉渕 隆, 鳴海 大典: 周辺建物の影響を考慮した住宅通風性能評価手法に関する研究 その2: 密集度が異なる街区を対象とした通風性能と促進デバイスの有効性に関する評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2017.3

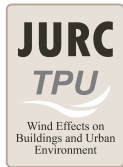
5. 研究組織

(1) 研究代表者

遠藤 智行 関東学院大学 建築・環境学部 准教授

(2) 研究分担者

1. 野中 俊宏 (株式会社 LIXIL・企画推進室・博士 (工学))
2. 田中 英 (関東学院大学・工学研究科・大学院生)
3. 滝澤 正玄 (横浜国立大学・環境情報学府・大学院生)
4. 平野 葵 (東京理科大学・工学研究科・大学院生)
5. 水谷 国男 (東京工芸大学・工学部・教授)
6. 倉渕 隆 (東京理科大学・工学部・教授)
7. 鳴海 大典 (横浜国立大学・環境情報研究院・准教授)
8. 塚本 健二 (佐藤工業株式会社・建築研究部・博士 (工学))



東京工芸大学・風工学研究拠点・研究集会（2017年3月4日）のご案内

密集市街地における街区気流構造の把握及び ウインドキャッチャーによる通風改善に関する研究集会

日本の住宅では古来通風性能が重視されてきていますが、密集市街地など都市域の立地条件で通風を活用するのは大変困難です。このような条件でも、通風を活用したいとする要望に応えるため、隣棟との間の隙間を流れる気流を上手く利用して通風性能を高める工夫にウインドキャッチャーがあります。ウインドキャッチャーについては、これまで国内外で様々な研究が行われてきていますが、その原理は建物の外壁に沿って流れる気流に対し、遮風板を設けることにより遮風板前後に位置する開口部に作用する風圧力を変化させるものです。通風はそもそも開口部に作用する風圧力の差を換気の駆動力とするものですから、事前に風圧力の正確な予測ができれば、住宅の通風性能の事前評価や設計改善、ウインドキャッチャーの効果確認が可能となります。

今回の研究集会では、定量的に密度や建物状況を分類化した街区について風洞実験や流れの数値シミュレーションを用いて検討を重ねることで、実街区における通風性能の評価に流れの数値シミュレーション技術がどの程度活用できるのか、どのような乱流モデルやメッシングの適用が望ましいのか、また街区建物内の状況が住宅の通風性能にどのような影響を及ぼすかなど、明らかになった事実について情報共有し、今後の都市域住宅における通風性能の向上方法について議論を深めたいと思います。それぞれの研究で得られた技術・情報の共有を行うことで、今後の密集市街地における自然風の有効活用についての具体的な設計手法についての議論を深めたいと考え、研究集会を開催いたすことになりました。皆様の積極的な参加と、活発な議論を心よりお待ちしております。

と き： 2017年3月4日（土）15:45～16:45

ところ： 東京理科大学 森戸記念館

東京都新宿区神楽坂 4-2-2

東京メトロ東西線／有楽町線／南北線／都営地下鉄大江戸線・飯田橋駅

B3 出口から徒歩 5 分

JR 線・飯田橋駅 西口改札から徒歩 6 分

<http://www.tus.ac.jp/info/access/kagcamp.html>

問合先： 東京工芸大学 工学部建築学科 准教授 張 偉榮

電話：046-242-9548 E-mail：w.zhang@arch.t-kougei.ac.jp

東京工芸大学風工学研究拠点 研究集会
密集市街地における街区気流構造の把握及び
ウインドキャッチャーによる通風改善に関する
研究集会

プログラム

15:45-15:50

開会挨拶, 趣旨説明

遠藤 智行 (関東学院大学 准教授)

15:50-16:05

密集市街地における街区気流構造の把握及びウインドキャッチャーによる通風改善に関する研究

滝澤 正玄 (横浜国立大学)

16:05-16:20

粒子画像流速測定法 (PIV) による通風時建物内外気流の測定・分析法について

千葉 和希 (関東学院大学)

16:20-16:35

風洞実験と CFD 解析による市街地汚染物質濃度の予想

立花 卓巳 (東京工芸大学)

16:25-16:45

討論およびまとめ

風工学研究拠点 研究集会

密集市街地における街区気流構造の把握及び
ウィンドキャッチャーによる通風改善に関する研究

横浜国立大学大学院 環境情報学府 環境イノベーションマネジメント専攻
噴海研究室 博士課程後期二年
(横浜市 環境創造局)

滝澤正玄

共同研究者：東京理科大学 梶原 直典、 関西学院大学 高橋 謙、 豊行

1. 研究の背景

換気

冷暖房効率の向上
↓
高气密な住宅
めまい 吐き気
頭痛 呼吸困難
シックハウス症候群

2003年
建築基準法
24時間換気義務化
↓
電力問題・環境問題
停電時・災害時

通風

クーラー病
冷え性
↓
快適性 電力消費
冷房への依存

→

自然通風

1. 研究の背景

自然風の減衰

東京・横浜・大阪
密集市街地

極端に狭い縦横間隔

隙間 43cm

風以外の流入

騒音・排気ガス

視線・プライバシー

風向予測が困難

防犯性

5. 通風促進デバイス

壁対面	換気塔
0.0	0.4
0.0	0.2
0.0	0.1
0.0	0.1
0.0	0.1

ウィンドキャッチャーなし

ウィンドキャッチャーあり

(2) 10階層化設置時の10階層層のみの

4. 既往研究との比較

均等整列配置

引用：高橋直典ら All2008

同一形状
等間隔

建築予定地の密集度（グロス建築率）

↓

おおよその通風量予測が可能

実街区（任意位置）

グロス建築率は、
同じ街区内であっても

抽出する位置や範囲により
変動してしまう可能性あり

5. 研究の目的

→

実街区条件における、通風促進デバイスのポテンシャルを明らかにする。

6. 研究の方法

6.1 GIS解析

- ・ 建築率の変動 (位置、範囲)
- ・ 街区形状の分類 (角度)

↓

- ・ 自治体からデータ入手
- ・ グロス建築率の算出
- ・ 建群角度の算出
- ・ 街道角度の算出

6.2 風洞実験

- ・ 分類した街区を対象

↓

- ・ 街区ごとの風環境を把握
- ・ 計算精度確保用データ

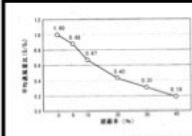
6.3 CFD解析

- ・ 性能が低下したケース

↓

- ・ 実験が困難な検討
- ・ 建物高辺の汚れ確認
- ・ W/Cの収容量を算出


6.1 GIS解析 (密集度)



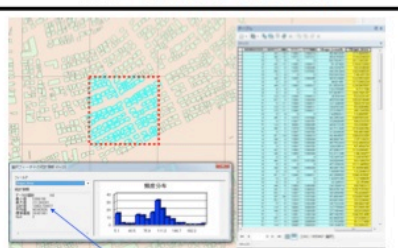
一般の設計者 既知情報
グロス建築率 変動

↓

通風量 予測精度 低下



6.1 GIS解析 (密集度)



12862.7[m]
建物面積 総合計[m]


グロス建築率[%] = $\frac{\text{建物面積 総合計[m]}}{\text{街区面積 } 180[m] \times 180[m]} \times 100 = 39.7\%$ ← 本当に??

32400[m]

6.1 GIS解析 (密集度)

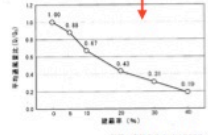
100m幅 北向き 縦向き /150	North Up (地区無回転)	街道直交 (地区回転)	抽出する場所によって、最大で5.6%の差を確認
Case A	36.9%	34.0%	↓ 抽出する場所によって、最大で5.6%の差を確認 ↓
Case B	38.5%	35.2%	
Case C	36.3%	37.5%	

6.1 GIS解析 (密集度)




最大で8.5%の差を確認

予測精度の原因となる

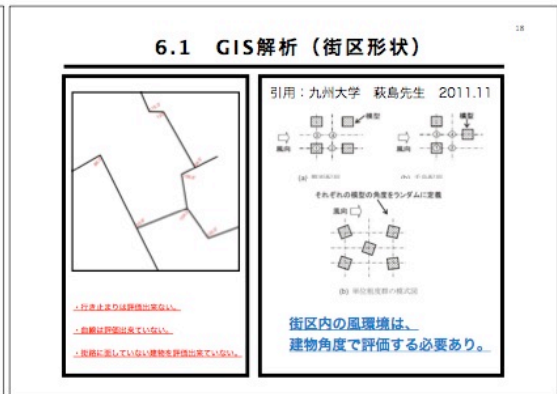
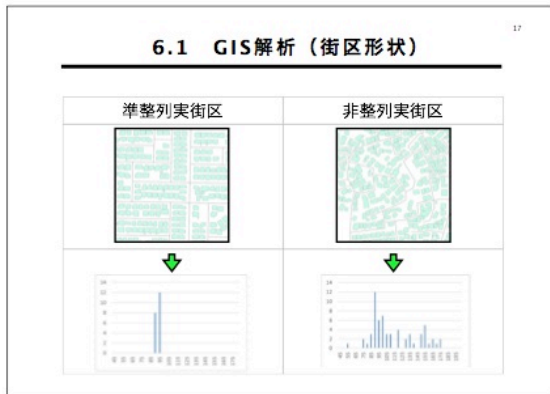
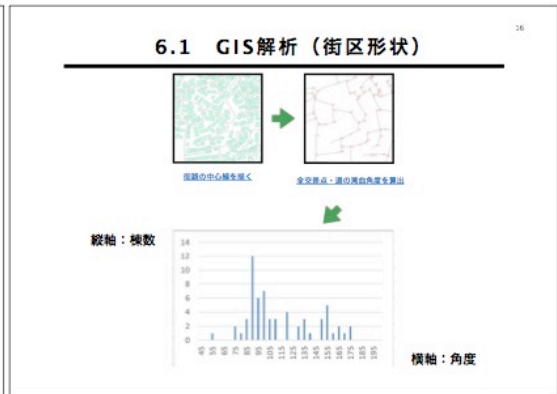
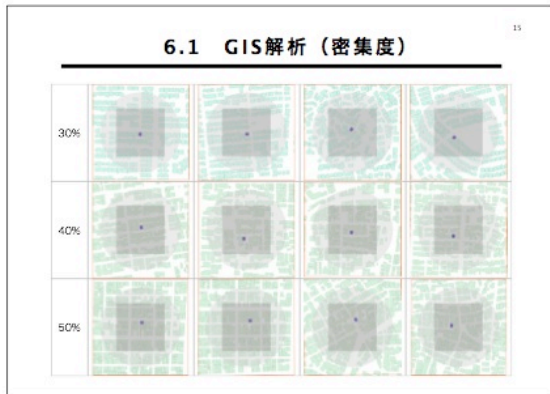
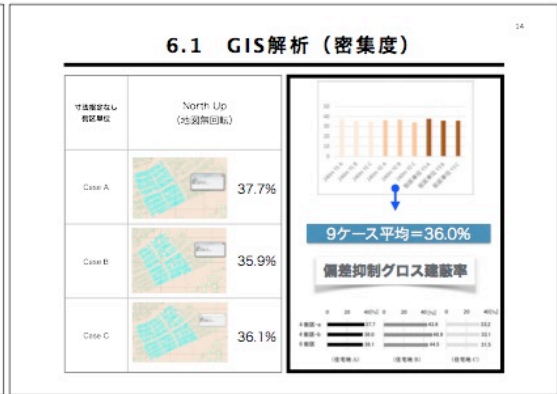
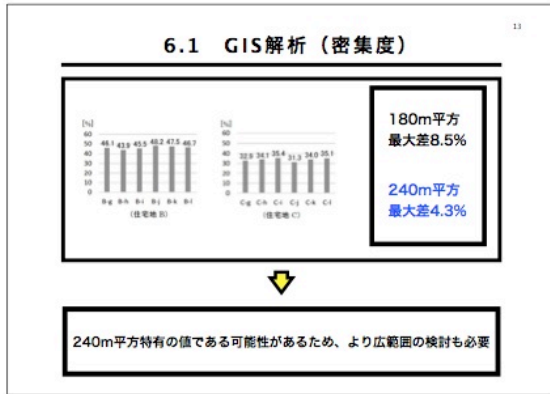


引用 | 森林国土庁 A11.2006



6.1 GIS解析 (密集度)

240m幅 北向き 縦向き /1200	North Up (地区無回転)	街道直交 (地区回転)	抽出する場所によって、最大で5.6%の差を確認
Case A	37.3%	36.5%	↓ 180m平方 最大差5.6% (6ケース平均36.4%) ↓ 240m平方 最大差3.4% (6ケース平均35.8%)
Case B	35.6%	36.7%	
Case C	34.7%	33.9%	



6.1 GIS解析 (建物角度)

ポリゴンの主角度の計算 (Calculate Polygon Main Angle)

ポリゴンの主角度は、配向が類似する隣接同士の中で最も長いコリネーション角です。この角度は真北からの度 (10進) 単位で、指定したフィールドに格納されます。

→ 矩形建物であれば、どの辺を取得してもマイナス値に+90°すれば、回帰値が可能。

6.1 GIS解析 (建物角度)

グロス建蔽率30%

6.1 GIS解析 (建物角度)

グロス建蔽率40%

6.1 GIS解析 (建物角度)

グロス建蔽率50%

6.1 GIS解析

建群タイプ	建群タイプA		建群タイプB	
	Type A	Type B	Type A	Type B
グロス建蔽率 30%				
グロス建蔽率 40%				
グロス建蔽率 50%				

6.2 風洞実験

抽出したGISデータを大形プリント → 建物形状の切り抜き → スタイルの切り抜き → 風洞実験 → 結果の可視化

6.2 風洞実験

25

通風・換気量 $Q[m^3/s] = \alpha A \text{合} \times \text{外部風速} V[m/s] \times \sqrt{\Delta C_p[-]}$

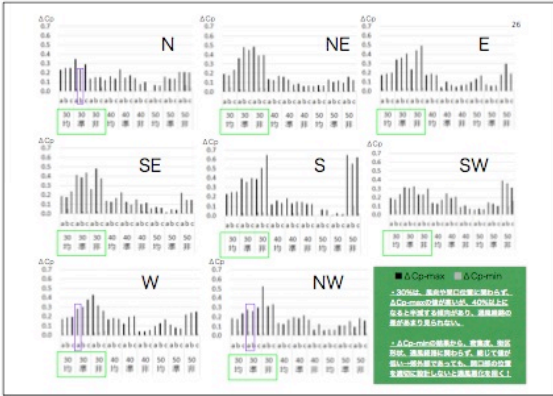
比較する通風経路 比較する数値=圧力差

風向：北

東 西 南

北

ピンク = $\Delta C_p\text{-max}$
ブルー = $\Delta C_p\text{-min}$



6.3 CFD解析

27

■ $\Delta C_p\text{-max}$ ■ $\Delta C_p\text{-min}$

CFDでWCによる改善効果を算出

標準：1.5倍、2.0倍、3.0倍、4.0倍

改善効果

WC改善

標準：1.5倍、2.0倍、3.0倍、4.0倍

改善効果

グロス30% 標準別実街区
 $\Delta C_p\text{-max}$ が0.3を下回る、4ケース

6.3 CFD解析 (精度確認)

28

24の圧力測定孔に作用する風圧力を比較

グロス建築率30%のみ 実現象再現を確認

○ 圧力測定孔番号 () 裏面測定孔番号

● CFD解析値 ■ 実験値1 ■ 実験値2

6.3 CFD解析 (ケーススタディ)

29

風向 N

改善量 113%

6.3 CFD解析 (ケーススタディ)

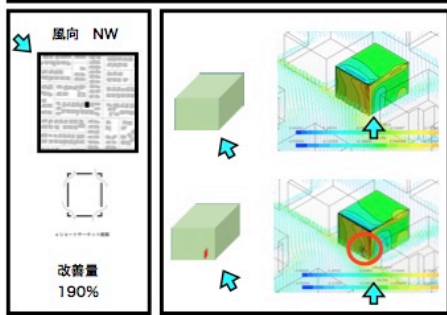
30

風向 W

改善量 164%

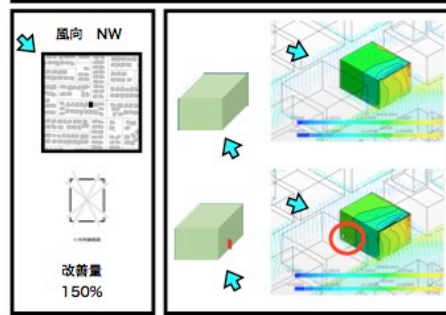
6.3 CFD解析（ケーススタディ）

31



6.3 CFD解析（ケーススタディ）

32



7. 結論

- 1) GISを用いて、密度度、道路角度、建物角度を要素別に分類する街区評価手法を確立した。
- 2) 一般的な3つの通風経路における最大風圧係数を算出した結果、グロス建築率30%では、高向と通風経路に問わず相対的に高い値を示したのに対し、40%以上になると、その値がほとんど半減している傾向を確認した。
- 3) 全ケースの最小風圧係数を算出した結果、全ての値が非常に小さいことから、低密度の街区であっても、開口位置により通風が望めないことが判明した。
- 4) 通風性能が低いケースに対し、通風促進デバイスであるWCを付設した結果、風向45度以上の場合、150%~190%の改善が確認できた。

8. 今後の課題

33

- 1) グロス建築率40%,50%におけるCFD解析精度の向上
- 2) ウィンドキャッチャーのみならず、実街区における換気量のポテンシャルの検証
- 3) 密度度と街区形状別の実街区が1カ所ずつであったため、同条件でありながら別の住宅地を対象とした風向き実験を実施し、風向きを明らかにする。

発表は以上となります。

ご清聴、ありがとうございました。

横浜国立大学大学院 環境情報学府 環境イノベーションマネジメント専攻
 鳴海研究室 博士課程後期2年
 滝澤正玄

粒子画像流速測定法(PIV)による通風時 建物内外の気流の測定・分析法について

関東学院大学建築・環境学部建築・環境学科
○千葉和希
遠藤智行

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

研究背景・目的

PIV手法は実際の流れ場を撮影することにより
その流れ場における速度ベクトルの取得が可能

↓

しかし撮影の規模や流速により撮影が
困難となる場合がある

↓

風速の設定が自由な風洞でPIV測定を行うことで
建物内外の気流場の撮影を試みる

撮影条件、解析条件を変化させることで
気流場の傾向を掴むことができるかを検討する

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験概要

風洞実験概要

場所: 東京工芸大学厚木キャンパス
名称: 乱流境界層風洞
測定断面: 幅0.9m高さ0.9m
最大風速: 10m/s
吹走距離: 15m
実験気流速度: 3m/s
期間: 2016年11月21日(月)～2016年11月25日(金)

11月	21日	搬入・設置
	22日	100fps・側面気流
	23日	100fps・500fps・側面気流
	24日	100fps・500fps・室内気流
	25日	撤収・搬出

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験概要

風洞実験配置平面図

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験概要

使用対象建物: 直方体モデル建物
詳細: アクリル製の厚さ10mm
前後に対称開口部

黒の厚紙でレーザー照射面を覆う
開口部の有無は厚紙を貼ることで行なう

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験概要

ハイスピードカメラ

詳細

形式: k-III

撮影速度 (fps):
100000, 50000, 25000, 10000, 5000, 4000, 3000,
2000, 1000, 500, 80, 200, 100

最短露光時間: 1/1,00,000秒

画像出力フォーマット: BMO, AVI, JPEG, RAW

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験概要

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

高出力レーザー



アングルユニット

詳細

型式: G2000
出力: 2W
入力電圧: 100V
サイズ: 92mm×246mm×84mm
光学系種別: 直接シート光学系

2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 7

実験概要

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

スモーク発生器



詳細

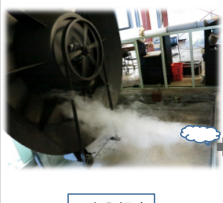
到達距離: 3m (無風時)
電源: AC100V 50/60Hz
スモーク能力: 10~31m³
使用液: 専用液
液消費量: 0.3~1L/時 (可変)
消費電力: 200~400W
外形寸法: 2296L×213W×172H

2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 8


実験概要

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

スモーク発煙時



1台発煙時

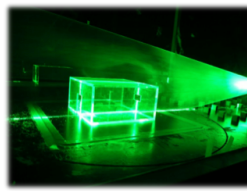


2台発煙時

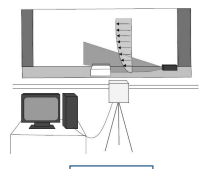
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 9

実験概要

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University



実験の様子



実験概念図

2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 10

検討パターン

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

フレームレート(fps)

撮影箇所

発煙状態

計算方法

500fps

100fps

建物周辺気流性状

室内気流性状

1台

2台

直接相互関係法

全画像変形法

2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 11

計算方法について

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

直接相互関係法

気流場を可視化した際の実際の速度ベクトルの算出を行う。解析領域内のトレーサ粒子の動きを速度ベクトルや流線として表示をするため、誤ベクトルが発生し易い。

全画像変形法

実際の気流場を可視化した際、近傍値をとり平滑化を行うため実際の気流場そのものではない速度ベクトルの算出を行う。

2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4 12

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

検討パターン

フレーム数 ⇒ 100fps 500fps

撮影箇所 ⇒ 建物周辺気流性状 室内気流性状

発煙状態 ⇒ 1台 2台

計算方法 ⇒ 直接相互相関法 全画像変形法

13

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

直接相互相関法による解析

気流向き ←

瞬間速度ベクトル図 平均流線図

14

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

全画像変形法による解析 (瞬間流線図)

気流向き ←

15

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

気流向き ←

16

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

全画像変形法による瞬間速度ベクトル図

気流向き ←

17

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4

実験結果 Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

検討パターン

フレーム数 ⇒ 100fps 500fps

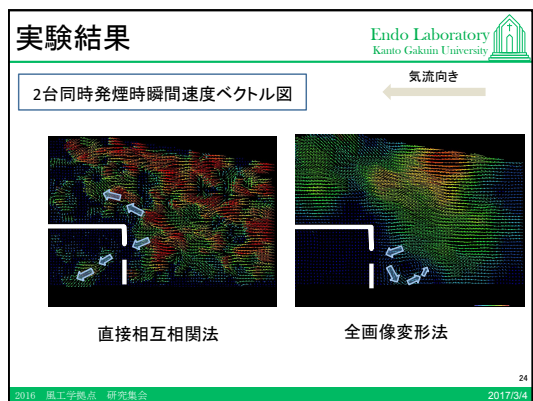
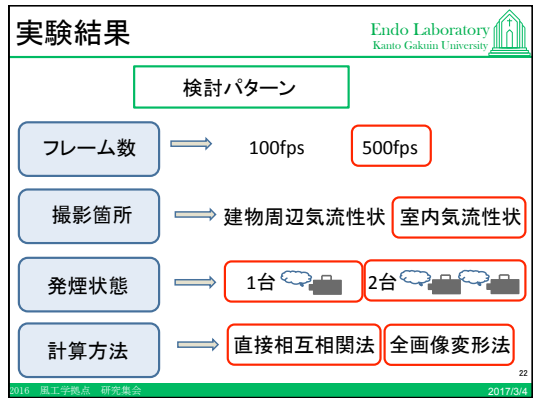
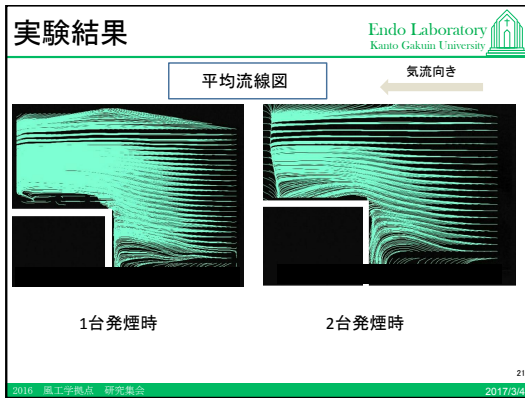
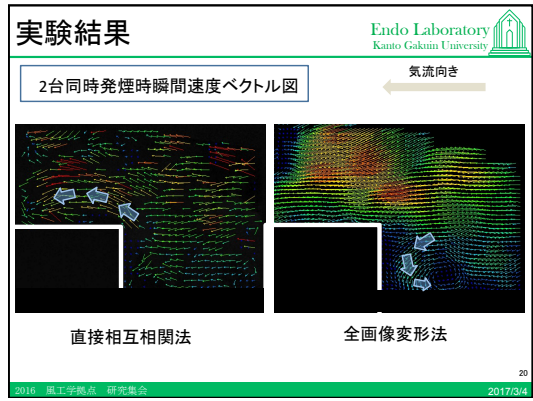
撮影箇所 ⇒ 建物周辺気流性状 室内気流性状

発煙状態 ⇒ 1台 2台

計算方法 ⇒ 直接相互相関法 全画像変形法

18

2016 風工学拠点 研究集会 2017/3/4



実験結果

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

平均流線図

気流向き

1台発煙時 2台同時発煙時

25
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4

考察

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

スモークが撮影対象物に到達するまでに拡散しすぎて薄れてしまうことからスモークの撮影がうまく行えない事がある

フレーム数において暗さが足りないため500fps以上のフレーム数では撮影が行えないためより詳細な結果を得るためには粒子濃度を変化させなければならない

トレーサの発生方法を変える事がより詳細な解析を行なう事を可能にできるのではないだろうか

26
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4

まとめ

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

本研究ではPIVを用いて建物周辺気流性状および室内気流性状について、トレーサの発煙方法・フレーム数・計算方法についての検討を行った

フレーム数とトレーサの発煙方法においては撮影後に解析が困難となる場合があるが、統計処理を行なうことで一様な気流場の把握を行なう事が可能である事が判明した

引き続きPIVで撮影・計算・処理の手法を検討していく必要がある

27
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

ご清聴ありがとうございました

28
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4

実験概要

Endo Laboratory
Kanto Gakuin University

各測定caseの設定条件

測定対象領域	600nm × 400nm
画像サイズ	640px × 480px
撮影時間	10sec
撮影間隔	10s
検査領域	30px × 30px

実験機器の概要

Camera	イスピードCDカメラ=Ⅲ	640px × 480px (100 fps)
Laser	DPGL-2W	LD 激励 Nd:YAG / TVO 波長532nm 出力2W 0~30kHz で変調可能な連続光
Software	カメラ制御 PIV解析	ソフトウエア Fbw Expert ver1.2.13

29
2016 風工学拠点 研究会 2017/3/4

風洞実験とCFD解析による都市域の汚染物質濃度の予測に関する研究

東京工芸大学大学院 工学研究科
建築学専攻 建築環境計画研究室
立花 卓巳

はじめに

■ 概要

- ・ 屋外拡散実験概要
- ・ 風洞実験概要
- ・ LES解析概要

■ 結果

- ・ 拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・ 汚染物質の拡散状況と実験結果との比較
 - ・ 1/10スケールモデルと実験結果の比較
- ・ 実験結果とCFD解析結果および解析結果の比較

■ まとめ

1

2

はじめに

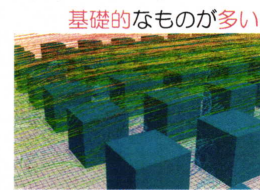
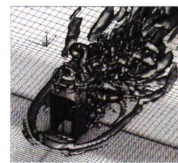
- 都市域における放射性物質や化学物質など有害危険物質の拡散問題は社会的関心を集めている。
- 都市域における大気汚染の環境アセスメントにおいても、汚染物質の拡散をより精度良く予測評価できる手法の必要性が今後高まると考えられる。
- 汚染物質拡散の予測・評価を行う手段
 - 風洞実験やCFD解析

3

はじめに

■ 汚染物質の拡散に関する研究は...

- 単体角柱周辺
- 整形に並べられた都市街区モデルなど



基礎的なものが多い

- 環境アセスメント等の実務に応用するまでに至っていない

4

はじめに

- なぜ環境アセスメント等の実務に応用されていないのか？

既往の研究では...

- 実在都市を対象とした風洞実験、CFD解析の結果を屋外実測と比較した例が極めて少ない
 - あまり良い一致も得られていない
- 三者を比較検討した例は見られない
- 実在都市を対象とした拡散風洞実験で濃度に関する相似則を確認した例も見られない

5

はじめに

■ 本研究の目的

- 拡散風洞実験における相似則の確認
- 拡散風洞実験およびCFD解析による結果を屋外拡散実測結果との比較検討により予測精度の把握



6

はじめに

■ 概要

- ・屋外拡散実測概要
- ・風洞実験概要
- ・CFD解析概要

■ 結果

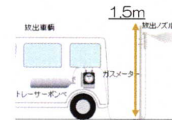
- ・拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響
 - ・トレーサーガス排出量と基準風速が無次元濃度に及ぼす影響
- ・実測結果と風洞実験結果および解析結果の比較

■ まとめ

7

屋外拡散実測概要

- ・実測期間 : 二日間
- ・実測場所 : 東京工芸大学
- ・気象条件 : 降水なし
- ・風向 : ほぼ南 (180±8度)
- ・大気安定度 : 中立
- ・トレーサーガス : PMCH (C₇F₁₄)
- ・トレーサーガス濃度 : 200ppm
- ・トレーサーガス排出量 : 流量5L/min



トレーサーガス
排イメージ



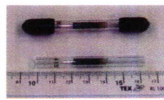
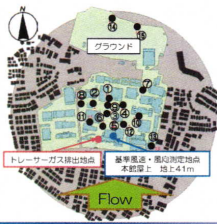
トレーサーガス
排出地点

8

屋外拡散実測概要

■ 測定点と捕集方法

- 測定点は①～⑮の計15点
- 濃度測定は1回を30分として2日間で計18回
- PMCH(C₇F₁₄)の吸着捕集を地上約3mで実施
後日、加熱脱着させガスクロマトグラフ装置を用いて分析



9

はじめに

■ 概要

- ・屋外拡散実測概要
- ・風洞実験概要
- ・LES解析概要

■ 結果

- ・拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響
 - ・トレーサーガス排出量と基準風速が無次元濃度に及ぼす影響
- ・実測結果と風洞実験結果および解析結果の比較

■ まとめ

10

風洞実験概要

■ 実験模型

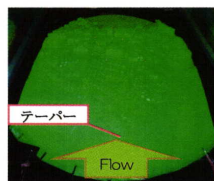
- 排出地点および測定点を含む半径300mの範囲を再現
- 測定点は屋外実測と同様に15点

■ 実験気流と風向

- 実験風向
 - 屋外実測に合わせて180度(南)
- 実験気流
 - 地表面粗度区分IV相当

■ 濃度測定

- 高速酸化水素測定器
- 濃度100%エチレン (C₂H₄)
- 直径6mmの排出口から排出
- サンプリング周波数1000Hz
- 測定時間4分間



11

はじめに

■ 概要

- ・屋外拡散実測概要
- ・風洞実験概要
- ・CFD解析概要

■ 結果

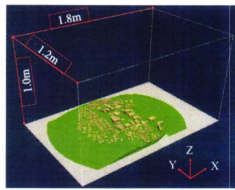
- ・拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響
 - ・トレーサーガス排出量と基準風速が無次元濃度に及ぼす影響
- ・実測結果と風洞実験結果および解析結果の比較

■ まとめ

12

CFD解析概要

- Large Eddy Simulation (LES)
 - 解析領域
 - 実験を行った風洞と同様
 - 地形や建物のモデル化
 - 風洞実験の模型作成時と同様のCADデータを使用
 - 流入境界
 - 片岡らの手法を用いて作成した流入変動風

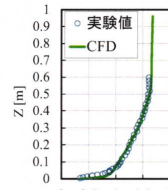


SGS model	WALEモデル
流入境界	準周期境界によるLES計算値
上面・側面境界	Slip条件
流出境界	ノイマン型
壁面・地表面境界	壁関数(Spalding則)
対流項の離散化スキーム	limitedLinear
ガス排出条件	排出速度・0.088 m/s (150cc/min)

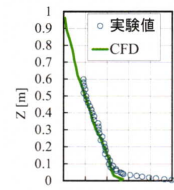
13

流入変動風と風洞実験気流の比較

- 平均風速 $\langle u \rangle$ と乱れの強さ I_u は風洞実験気流と良く対応している。



平均風速 $\langle u \rangle$

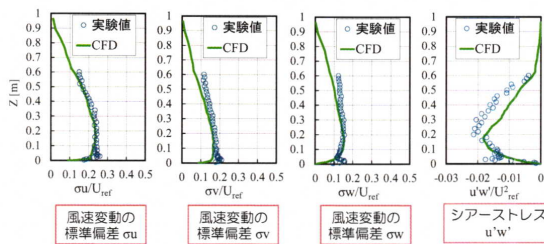


乱れの強さ I_u

14

流入変動風と風洞実験気流の比較

- 風速変動の標準偏差とシアーストレスも風洞実験における流入気流を概ね再現している。



風速変動の標準偏差 σ_u

風速変動の標準偏差 σ_v

風速変動の標準偏差 σ_w

シアーストレス $u'w'$

15

はじめに

概要

- ・屋外拡散実験概要
- ・風洞実験概要
- ・CFD解析概要

結果

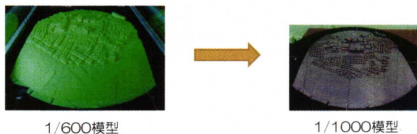
- ・拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響
 - ・異なるケースの山位置と高さなどが無次元濃度に及ぼす影響
- ・実験結果と風洞実験結果および解析結果の比較

まとめ

16

拡散風洞実験による相似則の確認

- 模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響

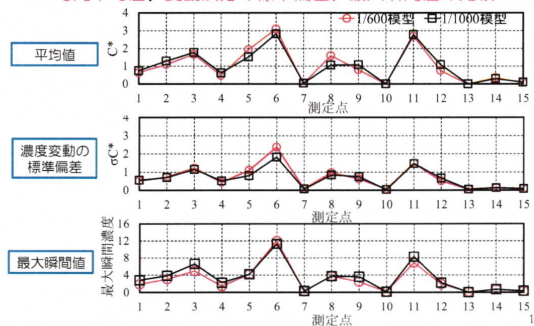


- 両模型は幾何学的相似
- ただしレーザーガスの排出口の直径は6mm
- 排出量は150cc/min

17

拡散風洞実験による相似則の確認

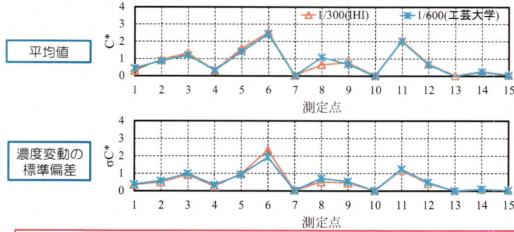
- 縮尺率1/600と1/1000模型による無次元濃度の時間平均値、変動成分の標準偏差、最大瞬間値の比較



18

拡散風洞実験による相似則の確認

- 縮尺率1/300 (IHI) と1/600模型 (工芸大学) による無次元濃度の時間平均値、変動成分の標準偏差の比較



したがって、縮尺率1/300~1/1000の範囲で無次元濃度の時間平均値、変動成分の標準偏差、最大瞬間値は縮尺率にほとんど依存しない

はじめに

概要

- 屋外拡散実験概要
- 風洞実験概要
- 相似則の確認

結果

- 拡散風洞実験における相似則の確認
 - 相似則は風洞実験結果に依存する
 - トレーサーガス排出量と基準風速が無次元濃度に及ぼす影響
 - 風洞実験と屋外拡散実験結果および解析結果の比較

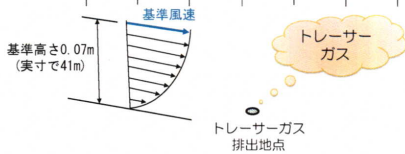
まとめ

拡散実験における相似則の確認

トレーサーガス排出量と基準風速が無次元濃度に及ぼす影響 (縮尺率1/600の模型を用いて調査)

- 基準風速を4段階、トレーサーガスの排出量を4段階変え計16ケースの風洞実験を実施

基準風速 [m/s]	1			2			4			8						
排出量 [cc/min]	75	150	300	600	75	150	300	600	75	150	300	600	75	150	300	600
排出口の吹出速度 [m/s]	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354
排出速度比	0.022	0.044	0.088	0.177	0.011	0.022	0.044	0.088	0.007	0.015	0.029	0.059	0.006	0.011	0.022	0.044



拡散実験における相似則の確認

下表に排出速度を基準風速で除した排出速度比を示す

基準風速 [m/s]	1			2			4			8						
排出量 [cc/min]	75	150	300	600	75	150	300	600	75	150	300	600	75	150	300	600
排出口の吹出速度 [m/s]	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354	0.044	0.088	0.177	0.354
排出速度比	0.022	0.044	0.088	0.177	0.011	0.022	0.044	0.088	0.007	0.015	0.029	0.059	0.006	0.011	0.022	0.044

実測時の

- トレーサーガスの排出速度は0.003m/s
- 基準風速との排出速度比は0.001のオーダー

基準風速 (本館屋上41m)

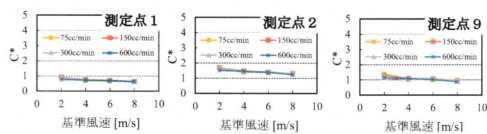


- 排出速度比を屋外拡散実験と風洞実験で一致させるには
 - 風洞実験でトレーサーガス排出量を非常に低い1cc/minのオーダーにしなければならない。

16ケースの実験結果をもとに排出速度比の相似則を緩和できる条件を見出す。

拡散風洞実験における相似則の確認

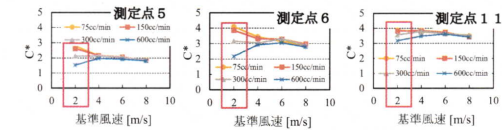
- 排出地点から遠い測定点



- 基準風速とトレーサーガス排出量に変化しても、無次元濃度はほぼ一定。

拡散風洞実験における相似則の確認

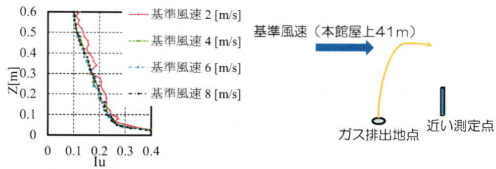
- 排出地点から近い測定点



- 基準風速と排出量の変化に伴い、無次元濃度にばらつきが見られる。
- 特に基準風速2m/sではその差が顕著

拡散風洞実験における相似則の確認

- なぜ基準風速2m/sで無次元無次元濃度に大きなばらつきがあるのか？
 - 高い排出量では、ガスが上方に拡散してしまう
 - 無次元ハイナンバーである乱れの強さが変化している



以上、基準風速2m/sでは排出速度比の相似則を緩和することは出来ず、また無次元ハイナンバーである乱れの強さも変化してしまうため、実験は基準風速4m/s以上で行うべきである

はじめに

概要

- ・ 屋外拡散実験概要
- ・ 風洞実験概要
- ・ CFD解析概要

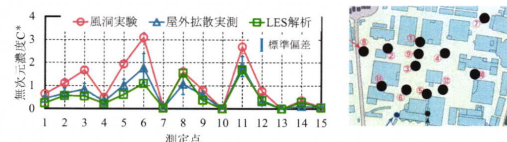
結果

- ・ 拡散風洞実験における相似則の確認
 - ・ 無次元ハイナンバーが無次元濃度にばらつきを生じさせる
 - ・ テーバーガス排出量と基準風速が無次元ハイナンバーにばらつきを生じさせる
- ・ 実測結果と風洞実験結果および解析結果の比較

まとめ

屋外拡散実測と風洞実験およびLES解析の比較

屋外拡散実測結果：基準風向が 180 ± 8 度かつ大気安定度が中立とみなせる9回の実測結果を抽出してプロットしている



風洞実験の無次元濃度は屋外実測、LES解析に比べて全体的に高めの値を示している点が多い

↓

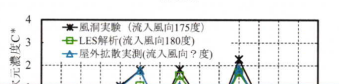
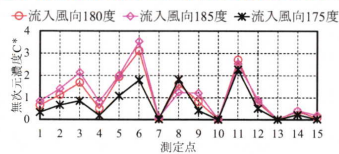
微小な風向角の差異がキャンパス内の濃度に大きな影響を及ぼしている可能性

屋外拡散実測と風洞実験およびLES解析の比較

- 本館屋上の基準点における平均風向は...
 - 屋外拡散実測...183度
 - LES解析...177度
 - 風洞実験...190度程度 (小旗を用いて確認)



屋外拡散実測と風洞実験およびLES解析の比較

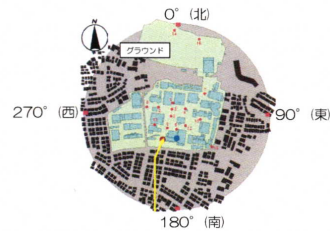


流入風向180度(南)と185度(南東寄り)では、無次元濃度に大きな差は無い。
175度(南東寄り)になると無次元濃度はかなり低くなり
流入風向175度の風洞実験結果は、屋外拡散実測、LES解析の結果と良く対応する。さらに風洞実験で小旗を用いて流入風向175度における基準風向を確認したところ、180度付近を示した。

屋外拡散実測と風洞実験およびLES解析の比較

流入風向180度の風洞実験で高い無次元濃度の値を示す理由として...

- 風洞実験では、流入風がテーバーや近隣住宅を通過してキャンパス内に到達するまでに、風向角がプラスの方向(南東寄り)にずれ、キャンパス内にガスが入りやすくなっていると考えられる。



まとめ

■ 拡散風洞実験における相似則の確認

□ 模型縮尺率が無次元濃度に及ぼす影響

- 1/300~1/1000の範囲で無次元濃度の時間平均値、変動成分の標準偏差、最大瞬間値は模型縮尺率に依存しない。

□ 基準風速とトレーサガス排出量が無次元濃度に及ぼす影響

- 基準風速4m/s以上では、無次元濃度は基準風速とトレーサガス排出量にほとんど依存しない。
- 基準風速2m/sでは排出速度比の相似則を緩和することはできず、また無次元/パイナンバーである乱れの強さも変化してしまう。したがって、実験は4m/sで行うべきである。

■ 屋外拡散実測、風洞実験、LES解析の比較

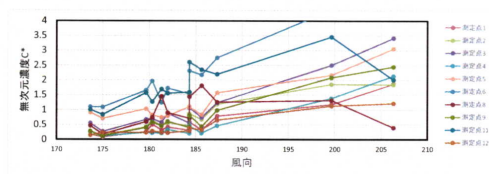
- 風洞実験結果は微かに風向角が変化してしまったことにより、全体的に無次元濃度が高めの値となった。しかしながら、同じCADモデルを用いているLES解析ではこのような傾向は見られなかった。今後は風洞実験とLES解析の差異を詳しく検討していく必要がある。

fin

31

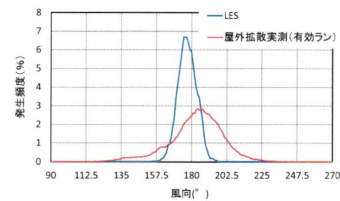
32

屋外実測による風向変化に伴う無次元濃度の変化

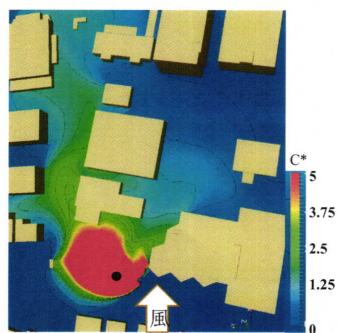


33

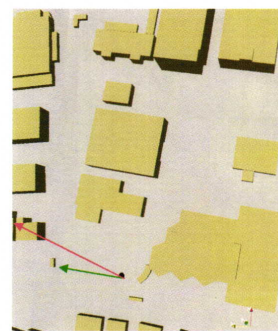
LES解析と屋外実測の風向変動の頻度分布



34

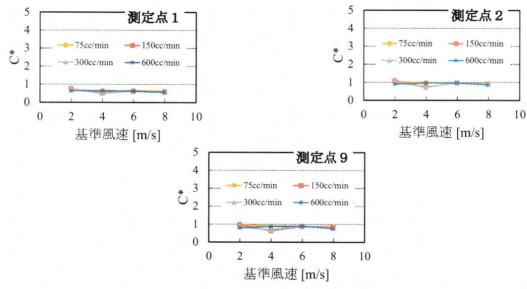


35

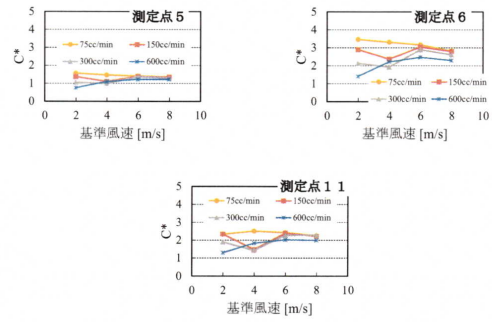


36

排出地点から遠い測定点



排出地点から遠い測定点



風洞実験や数値流体解析の評価時間の検討①

今回の検討の評価時間

野外観測の1RUN	30分間
風洞実験の統計時間	240(sec)
数値流体解析の統計時間	60(sec)

相似則

$$\left(\frac{tU}{D}\right)_{\text{実スケール}} = \left(\frac{tU}{D}\right)_{\text{風洞実験}} = \left(\frac{tU}{D}\right)_{\text{LES}}$$

- Uは等しいと仮定(5m/sec)
- DCFD=D実スケール / 600
- ⇒CFDの1(sec)は10分間に相当

今回のCFDの統計時間4(sec)は40分間に相当⇒これで十分か?

