

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月5日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560165

研究課題名（和文） 大気環境条件を満たす大規模乱流中のストリートキャニオン現象の解明

研究課題名（英文） Investigation of Street Canyon Phenomena in Large-Scale Turbulence

## 研究代表者

関下 信正 (SEKISHITA NOBUMASA)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70283489

研究成果の概要（和文）：ストリートキャニオン現象を解明するため、大気乱流風洞を用いて、ビルに挟まれた大通り上空の流れ場および加熱路面の冷却現象に関する風洞実験を行った。本研究では、測定胴断面200mmの小型風洞、および、測定胴断面700mmの大型風洞を用いた。道路幅、道路両側のビル模型の高さおよび模型配置、主流の乱れ強度（大規模乱流または格子乱流）を変化させ、煙注入法による流れ場の可視化、および、熱画像カメラによる加熱路面の温度分布の計測、速度場の計測を行った結果、以下の成果を得た。(1)建物周りの流れによって加熱路面の温度分布が大きく異なり、その主な流れは、①上流側建物屋上からの定在的なはく離流、または、乱流運動によって大きく変動するはく離流、②建物間を流れる平均流、③上流側建物背後または下流側建物前面に形成される安定した循環流、または乱流運動によって大きく変動する循環流、④乱流運動によって上流側建物背後に回り込む流れである。(2)大規模乱流中の場合、強い乱れと大きな乱流渦の作用によって加熱路面の温度分布が均一化される。一方、格子乱流中の場合、主に上述した平均的な流れによって冷却され、路面表面の温度変化が大きいの。(3)下流側建物が上流側建物よりも高い場合、下流側建物前面に安定した大規模な循環流が発生することによって、下流側建物前面がより冷却される。(4)道路幅が狭い場合、上流側建物と下流側建物間に循環流のみが定在すると同時に、上流側建物間を流れる平均流によって道路表面が冷却されるが、温度分布は道路幅が広い場合と比較してより均一的となる。一方、道路幅が広い場合、上流側建物背後で大きく変動する循環流およびはく離流、下流側建物前面の循環流によって、加熱路面が冷却される。(5)本研究によって得られたデータに基づいて、風環境を配慮した都市計画に役立つ実験データベースを構築できた。

研究成果の概要（英文）： Wind tunnel experiments of wind structure around buildings located along a heated street and cooling phenomena of the street were conducted by using atmospheric wind tunnels. The experimental parameters were a street width, the height and the arrangement of the buildings, the turbulent intensity of a cross flow. The smoke wire method for flow visualizations and a thermal camera for the thermal measurements of the street surface were employed. (1) Main flows which affect on the cooling of the street were (a) separated flows from the roof of upstream-side buildings, (b) flows between buildings located side by side, (c) circulation flows behind upstream-side buildings or in front of downstream-side buildings, (d) wake behind upstream-side buildings by turbulent motions. (2) By turbulent motions, the temperature distributions of the street were more uniform in the large-scale turbulence than in the grid turbulence. (3) In the case of downstream-side buildings which are taller than upstream-side buildings, the street surface around front of the downstream-side buildings was remarkably cooled by stable circular flows in front of down-side buildings. (4) Street temperature was more uniform on the narrow street than on the wide street. (5) The database was built up for urban planning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：乱流、せん断流、渦、熱・運動量輸送、風環境、ビル風、大気拡散、風洞実験

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や異常気象など地球規模の気象現象のみでなく、ヒートアイランド現象やストリートキャニオン現象、ゲリラ豪雨など局所的な都市特有の気象現象も近年問題となっており、後者の場合、都市部での人口集中、ビルの高層化・集密化、降雨量に対する排水施設の不備などが主な原因である。ストリートキャニオン現象は、比較的の高いビル群に挟まれた大通りの上空において、自動車やエアコンの室外機からの熱による気温上昇とともに、自動車の排気ガスなどが高濃度で停滞する現象である。

風環境を考慮した都市開発を行うには、ストリートキャニオンにおける熱・風環境を改善することができる最適な建物配置および建物形状、建物高さ、道路幅などの指針が必要である。そのためには、ストリートキャニオンでの流れ場の特性および熱環境に関する系統的な風洞実験データを蓄積し、そのデータに基づいて当該現象を十分に理解することが大切である。ただし、通常の乱流格子で形成される風洞乱流中でストリートキャニオンの実験を行った場合、格子乱流と実際の大気乱流の乱流レイノルズ数が大きく異なるため、風洞中で正確な再現実験を行うことはできない。

2. 研究の目的

我々の研究室では蒔田式乱流発生装置を所有しており、通常規模の風洞中に、大気乱流と同様な強い乱れと大きな乱流渦を誘起することができる。本研究では、この乱流発生装置で形成した大規模乱流場の乱流特性、ストリートの両側のビル模型の大きさ、形状、配列などを幅広く変化させて系統的な風洞実験を実施し、都市開発に役立つ系統的なストリートキャニオンの実験デ

ータを蓄積することを目標としている。

本研究では、上述した乱流発生装置で形成した大規模乱流場、および、格子乱流場中に、ビル模型に挟まれた加熱ストリートを設置し、乱流場およびビル模型の高さ・配置によるストリートの冷却の違いを調べ、ビルに挟まれた大通り上空の流れ場および加熱路面の冷却現象の解明を目的とした。

3. 研究の方法

本実験では、小型吹出し型風洞(幅 200 mm、高さ 200mm、長さ 1000mm)、および、大型大気乱流風洞(幅 700 mm、高さ 700mm、長さ 6000mm)を使用した。風洞縮流胴と測定胴の間に蒔田式乱流発生装置を設置した。乱流発生装置は、縦および横方向回転軸(格子間隔  $M=50\text{mm}$  または  $35\text{mm}$ )に多数の攪拌翼が取り付けられている。各回転軸は外部のステッピングモーターによって回転数 1rps で回転しながら、平均迎え角  $\alpha (=0^\circ)$  を中心にして、最大振れ角  $\pm\beta (=90^\circ)$  内をランダムに反転する。なお、格子乱流場の実験では、 $\alpha = \beta = 0^\circ$  とすることによって乱流発生装置を乱流格子として使用した。低乱れの流れ場での実験では、乱流発生装置を風洞から外して実験を行った。主流流速は  $U_\infty = 5\text{m/s}$  で、測定胴壁面近傍を除いて、平均速度分布は一様である。

風洞測定胴入口から 420mm 下流(小型風洞での実験の場合)の測定胴床面の一部をステンレス箔製(厚さ  $80\mu\text{m}$ )の加熱ストリート(スパン方向長さ 200 mm, 幅  $W_S=20, 30, 60, 80\text{mm}$ , 無風時の加熱温度  $40\pm 3^\circ\text{C}$ )とし、建物模型はストリートの幅方向両側の風上側(U)・風下側(D)に設置した。2次元建物モデル Type1, 2, 3, 4 は水平断面  $20\times 200\text{mm}^2$ , 建物高さ  $H_U=20, 40\text{mm}$ ,  $H_D=20, 40\text{mm}$  であり、3次元建物モデル Type5, 6, 7, 8 は

水平断面  $20 \times 20 \text{mm}^2$ 、スパン方向建物間隔  $20 \text{mm}$ 、 $H_U=20, 40 \text{mm}$ 、 $H_D=20, 40 \text{mm}$  の計 8 種類である。主流流速  $U_0=5.0 \text{m/s}$  とし、路面温度の計測には熱画像カメラ(温度分解能  $0.1^\circ\text{C}$ )を用い、キャニオン内の流れ場の可視化には、同条件にてスモークワイヤ法および、高速度カメラ( $500 \text{ frame/s}$ )を用いた。

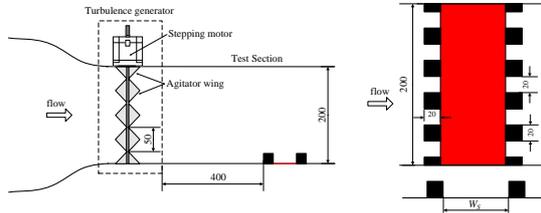
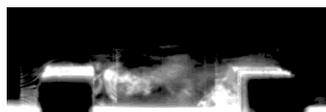
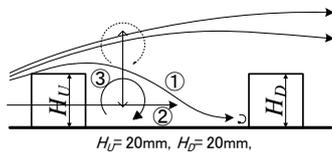


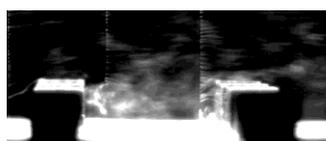
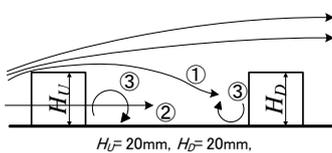
図 1 実験装置

#### 4. 研究成果

(1) 大通りの路面の温度分布は、大通り両側に設置された建物周りの流れの影響を強く受ける。その流れは、①上流側建物の屋上角部から定在的にはく離する流れである。または、そのはく離流が乱流運動によって大きく上下方向に変動する場合もある。②3次元形状の建物の場合、スパン方向に並んだ建物間を流れる平均流である。③上流側建物背後または下流側建物前面に形成される安定した循環流である。または、その循環流が乱流運動によって大きく変動する場合もある。④3次元形状の建物の場合、スパン方向に並んだ建物間を通り過ぎた流れが、乱流運動によって上流側建物背後に回り込む流れである。



Large-Scale Turbulence (Type5,  $W_s=60 \text{mm}$ )



Grid Turbulence (Type5,  $W_s=60 \text{mm}$ )

図 2 建物周りの主な流れ

(2) 大規模乱流中の場合、主流の強い乱れと大きな乱流渦の作用によって、上述した流れ①および②によって、特に、はく離流①の再付着点付近および上流側建物背後付近において、格子乱流中の路面の温度分布と比較して、加熱路面の温度分布(図 3 上図: 各実験での最小・最大温度で無次元化した局所温度)が均一化される。このような結果を、一般の風洞実験で得ることは不可能であり、これは本研究の成果である。格子乱流中の場合、上述した平均的な流れ②による路面冷却(図 3 下図:  $x/D=2.5$  におけるスパン方向温度分布)が顕著であり、建物のない場所と建物背後での温度差が大きい。

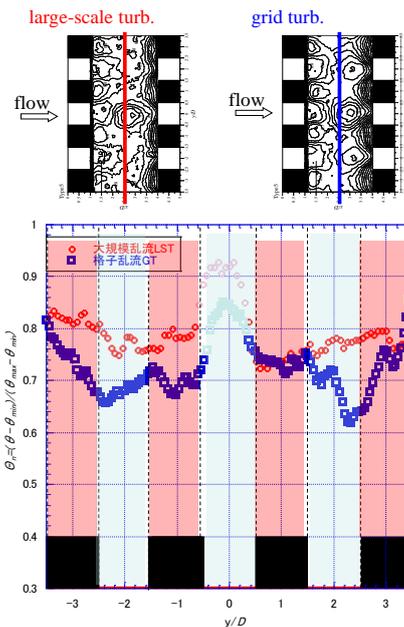


図 3 大規模乱流場と格子乱流場による加熱路面の冷却の違い (Type 5,  $W_s=60 \text{mm}$ )

(3) 建物配置の違いが路面冷却に与える影響について、下流側建物が上流側建物よりも高い場合(Type6)、上流側建物を通り過ぎた一部の流れは下流側建物の影響で下降流となるので、下流側建物前面に安定した大規模な循環流が発生することによって、下流側建物前面がより冷却される(図 4 下図:  $y/D=-0.5$  における流れ方向の無次元温度分布)。ただし、その他の場所において温度の流れ方向分布は比較的均一である。

一方、上流側と下流側の建物高さが同じ場合、上述した流れ②によってより冷却される箇所と、流れ①の作用によってあまり冷却されない箇所があり、建物背後における流れ方向の温度分布には大きな温度差が生じている。

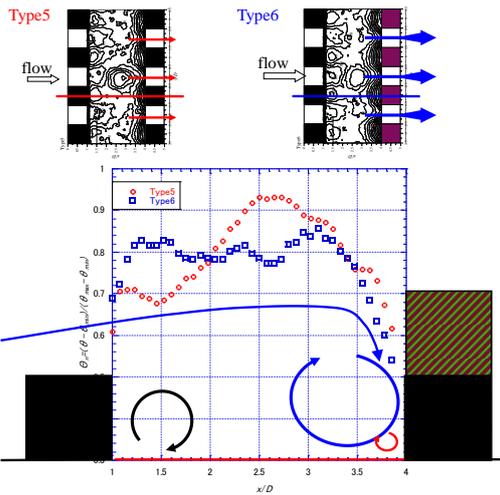


図4 建物高さが路面の冷却に及ぼす影響  
(大規模乱流場,  $W_s=60\text{mm}$ )

(4)道路幅  $W_s$  が路面の冷却に与える影響について、道路幅が広い場合、上述したはく離流①の作用によって路面上の再付着点付近の路面がより冷却される。一方、道路幅が狭い場合、特に、2次元建物では、上流側建物と下流側建物間に循環流のみが定在し、外部から冷たい外気がキャニオン内に入ってこないで、温度分布(図5)は比較的一様であるが、全体的に温度は高い。また、道路幅が狭い3次元建物の場合、上流側建物間を流れる平均流によって道路表面が冷却されるが、温度分布は道路幅が広い場合と比較してより均一的となる。

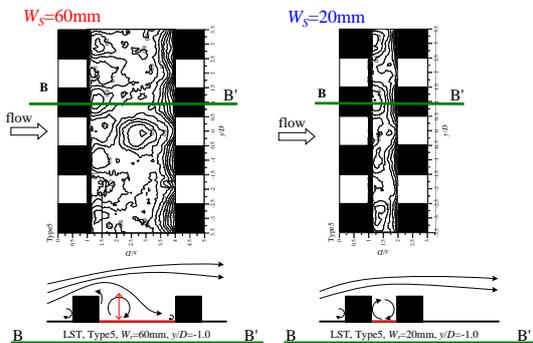


図5 路面温度に与える道路幅の影響  
(大規模乱流場, Type 5)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

① H.Kikukawa, N.Sekishita, 他 3 名, Research on the Characteristics of Heated Steed Canyons in Turbulent Wind Tunnels, Proceedings of 13th International Conference on Wind Engineering, 査読有, 2011, 電子媒体 8 pages.

② H.Kikugawa, N.Sekishita, 他 3 名, Characteristics of Flow and Temperature Field along a Heated Street Canyon in the Multiple Fan Turbulence Wind Tunnel, Proceedings of 7th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 査読有, 2012, 電子媒体.

[学会発表] (計 2 件)

① 関下信正, 早川秀一、佐久間達、ストリートキャニオンの路面冷却に関する風洞実験(大規模乱流と格子乱流中の比較)、日本機械学会東海支部第 60 期総会・講演会、豊橋技術科学大学、2011.

② 関下信正, 榊田泰弘前、ストリートキャニオンに関する風洞実験(加熱路面の温度計測およびキャニオン内に拡散する排気ガスの可視化)、日本機械学会東海支部第 62 機総会講演会、三重大学、2013.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://wind.me.tut.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

関下 信正 (SEKISHITA NOBUMASA)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・

准教授

研究者番号：70283489

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし