

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06343

研究課題名(和文) 風向変動がガス拡散に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Effect of wind directional fluctuation on gas dispersion

研究代表者

道岡 武信 (MICHIOKA, Takenobu)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：20371370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：我が国の環境影響評価では1時間以上平均化された濃度値が使用されている。都市キャニオンにおいてその濃度値を正確に評価するためには風洞変動など大きな風の変動を考慮した数値シミュレーションでガス拡散を評価する必要がある可能性がある。しかしながら、風向変動の有無がガス拡散に及ぼす影響は明らかにされていない。本研究では理想的な街区を対象に風向変動を考慮した数値シミュレーションを実行し、風向変動がガス拡散に及ぼす影響を検討した。その結果、本解析で対象とした理想的な街区では、1時間程度の風向変動は都市キャニオン内のガス拡散に及ぼす影響は小さいことがわかった。

研究成果の概要(英文)：In environmental impact assessment in Japan, over 1 hour averaged concentration is generally used. To estimate the concentration in an urban canyon, a numerical simulation considering a wind directional fluctuation may be needed, but the effect of wind directional fluctuation on a gas dispersion within an urban canyon is unknown. In the present study, large-eddy simulations were conducted for a gas dispersion within an idealized urban canopy considering wind directional fluctuation. The results show that the effect of wind directional fluctuation on gas dispersion within the urban canopy is small.

研究分野：流体力学

キーワード：都市街区 ガス拡散 風向変動 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

風洞実験のように一方向に定常的に風が吹いている条件下では、既存の数値シミュレーションにより大気中のガス拡散が精度良く再現できることが確認されている。しかしながら、実際の大気中には風向変動のような大きなスケールの変動が存在しており、既存の数値シミュレーション結果が実際のガス拡散を再現しているのかわからない。我が国の環境影響評価では1時間平均濃度が使用されることがあるが、風向変動がこの濃度に大きな影響を与える可能性がある。よって、風向変動の有無がガス拡散に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

風向変動を考慮した数値シミュレーションを実行し、風向変動がガス拡散に及ぼす影響を検討する。実在都市は複雑な形状をしており、風向変動がガス拡散に及ぼす影響を理論的に検討することは困難であるため、本研究では理想的な街区を対象とした。

3. 研究の方法

図1に計算領域の概略図を示す。計算領域の大きさは、主流(x)、主流直角方向(y)、鉛直方向(z)に $8.725\text{ m} \times 0.75\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ である。計算領域入口から理想的な街区を模擬したブロック群までの距離は 6.0 m であり、乱流の流入風を生成させるために、計算領域入口から 1.0 m の位置に高さ 0.6 m のスパイヤーを主流直角方向に等間隔で4本、 2.0 、 3.0 、 4.0 m の位置に高さ 2 cm の長方形ブロックを床面に配置した。街区を模擬したブロック高さおよび主流方向ブロック幅は 0.075 m (H) であり、立方体ブロックを街路幅 L で規則的に配置した。最も風上側のブロック前面位置での高さ $z/H = 8$ での風速は約 3.0 m/s である。図2に示すように、トレーサガスが(a)線源から放出される場合(解析1)、(b)街区内の点源から放出される場合(解析2)、(c)点源が建物屋根面から放出される場合(解析3)の3条件を対象とした。解析1の場合、3種類の異なるトレーサガスは、1, 3, 7列目の街路中央の床面から主流直角方向に一様な線源として放出された。解析2の場合、1, 3, 7列目の街区の中央、解析3の場合、1, 3, 7列目の建物屋根面中央から点源として異なるトレーサガスが放出された。

解析にはOpenFOAM(Ver 2.0)を用い、サブグリッドスケールモデルには標準のスマゴリンスキーモデルを用いた。空間補間には、物質拡散方程式の対流項にはQUICK補間を、その他には二次中心補間を適用した。ブロック壁面および床面には nonslip 条件を、計算領域上面には slip 条件を与え、主流直角方向の境界には周期境界条件を与えた。計算は風向変動を考慮せず一方向に風が吹く条件(Case 1)と、計算領域入口から風向の変動幅を 10° に設定した条件(Case 2)を実施した。

Case 2において、風向角の頻度分布が正規分布に従うように与えた。なお、Case 1で得られた風速およびガス濃度は風洞実験値との比較により再現精度は確認されている。

4. 研究成果

(平均風速)

図3に1, 3, 7列目の街路中央($y = 0$)における平均風速、主流・主流直角方向の乱流強度の鉛直方向分布を示す。それぞれの変数は

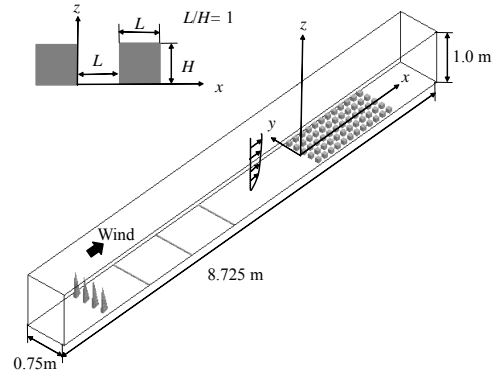


図1 計算領域

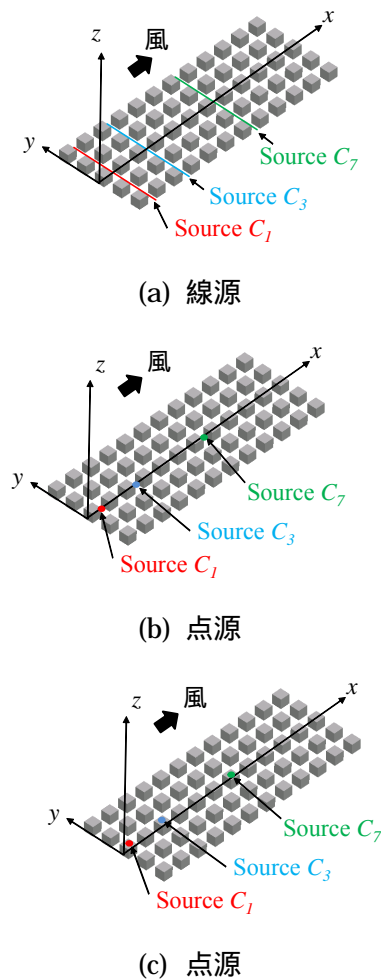


図2 煙源条件

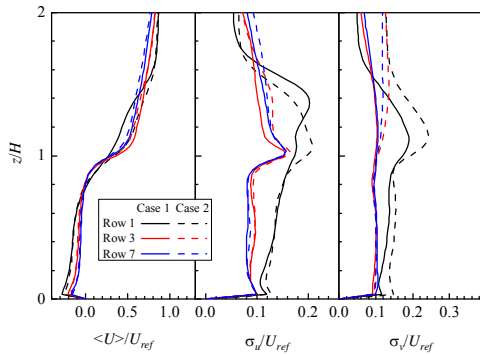


図3 平均風速、乱流強度の鉛直方向分布

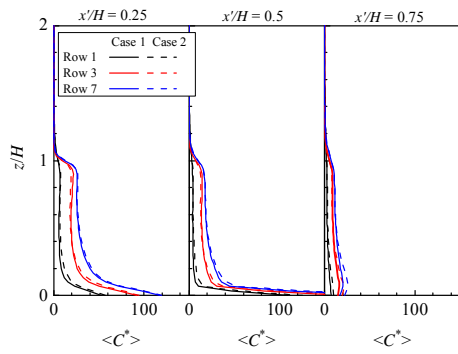


図4 平均濃度の鉛直方向分布 (解析1)

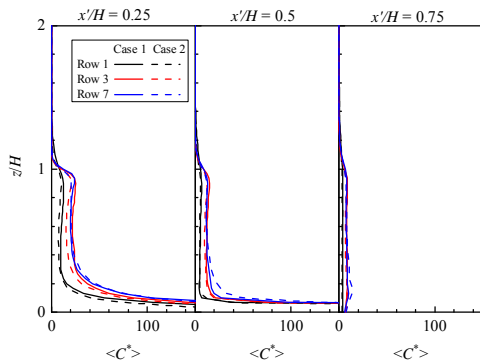


図5 平均濃度の鉛直方向分布 (解析2)

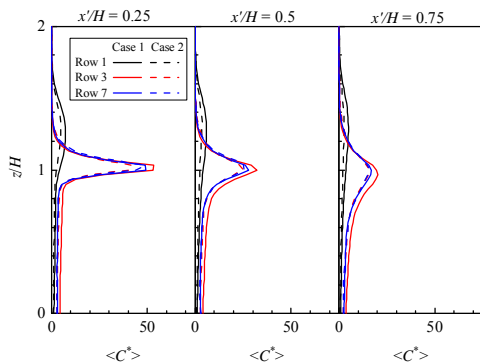


図6 平均濃度の鉛直方向分布 (解析3)

上空風速 U_{ref} で正規化されている。1 列目の街路の $1.0 < z/H < 1.6$ において、Case 1 の平均風速は Case 2 のものより小さくなっていることがわかる。これは風向変動があることにより 1 列目の建物 (ブロック) 前面からの

く離に変化が見られたためである。しかしながら、街路内 ($z/H < 1.0$) においては風向変動が平均風速に及ぼす影響は非常に小さいことがわかる。また、風下 (3, 7 列目) の街路では両ケースの風速分布にほとんど違いが見られない。

主流方向の乱流強度 σ_u は 1 列目の街区上空で、1 列目のブロック前面からのく離の変化により、ピーク位置の違いが見られるものの、街路内 ($z/H < 1.0$) ではほとんど差異がない。一方、主流直角方向の乱流強度 σ_v は、街路上空 ($z/H > 1.0$) で風向変動を考慮した Case 2 が Case 1 より大きくなるが、街路内では 1 列目の街路を除けばほとんど差異はない。つまり、風向変動のような大きな乱れは街区群の端の街路には多少影響を与えるものの、3 列目より風下ではほとんど影響がないことがわかった。

(ガス濃度)

図 4 に街路内から線源としてガスを放した場合の 1, 3, 7 列目の街路における正規化濃度の鉛直方向分布を示す。なお、 x' は街路の風上建物の風下面を基準にした主流方向距離であり、平均濃度はそれぞれの街路内放されたガスの濃度のみを表している。すべての街路において、街路風上側 ($x'/H = 0.25$) の濃度が、街路風下側 ($x'/H = 0.75$) の濃度よりも高い値を示しているが、これは街路内に循環渦が形成されているためである。図を省略するが、1 列目の街路内では、Case 2 の循環渦の中心が Case 1 に比べ、風下側にシフトする傾向にあるため、街路内の濃度分布が多少変化する。また、3, 7 列目街路では循環渦の形状もほとんど同じであるため、街路内の濃度分布もほぼ同じとなった。

図 5 に街路内から点源としてガスを放した場合の 1, 3, 7 列目の街路における平均濃度の鉛直方向分布を示す。点源放出の場合、線源放出より、街区内の流動場の変化に影響を受けやすいため、風向変動を考慮した Case 2 の平均濃度は Case 1 の平均濃度に比べ、大きな違いが観察されることが想定されたが、ほぼ濃度分布に違いがみられなかった。

図 6 に建物屋根面から点源としてガスを放した場合の 1, 3, 7 列目の街路における平均濃度の鉛直方向分布を示す。図 3 から明らかのように、Case 2 では街路上空は風向変動の影響を受け、主流直角方向の乱流強度 σ_v は大きくなる。その影響を受けて、Case 2 の平均濃度のピーク値は小さくなる傾向があるが、その差異は非常に小さい。Michioka et al. (Atmospheric Environment 2013) の 6 階建の建物屋上からガスが放されたケースでは、風向変動などの大きな乱れにより、地表面濃度が数倍程度小さくなったが、本条件ではそのような大きな違いは見られなかった。本解析では比較的低層の建物屋根面から放したためだと考えられる。

以上より、風洞変動が街区内から放出され

たガスの挙動に及ぼす影響をラージ・エディ・シミュレーションにより検討した結果、本解析で対象とした理想的な街区では、1時間程度の間の風向変動はキャニオン内のガス拡散に及ぼす影響は小さいことがわかった。

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4件)

T. Michioka, H. Takimoto, H. Ono, A. Sato, Effects of Fetch on Turbulent Flow and Pollutant Dispersion Within a Cubical Canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 査読有, 2018, (Online First)

DOI:<https://doi.org/10.1007/s10546-018-0339-5>

T. Michioka, H. Takimoto, H. Ono, A. Sato, Numerical Simulations of Dry and Wet Deposition over Simplified Terrains. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 査読有, Vol. 11, No. 4, 2017, pp. 270-282.

DOI:<https://doi.org/10.5572/ajae.2017.11.4.270>

T. Michioka, H. Takimoto, H. Ono, A. Sato, Reynolds-Number Dependence of Gas Dispersion Over a Wavy Wall. *Boundary-Layer Meteorology*, 査読有, Vol. 164, 2017, pp. 401-418.

DOI 10.1007/s10546-017-0261-2

T. Michioka, H. Takimoto, H. Ono, A. Sato, Effect of Fetch on a Mechanism for Pollutant Removal from a Two-Dimensional Street Canyon. *Boundary-Layer Meteorology*, 査読有, Vol. 160, 2016, pp. 185-199.

DOI 10.1007/s10546-016-0136-y

[学会発表](計8件)

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、街区内で発達する乱流が汚染物質放出に及ぼす影響、第31回数値流体力学シンポジウム、2017年12月13日、京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス

T. Michioka, H. Takimoto, H. Ono, A. Sato, Effect of Wind Directional Fluctuation on Gas Dispersion Within a Cubical Canopy, 9th ASIA-PACIFIC CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 5th December 2017, the University of Auckland, Auckland, New Zealand

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、都市キャノピー内の低周波数乱流変動、日本流体力学会年会 2017、2017年8月30日、東京理科大学葛飾キャンパス

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、波状壁上のガス拡散のレイノルズ数依存性、第30回数値流体力学シンポジウム、2016年12月13日、タワーホール船堀

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、単純地形上のガス拡散を対象とした Large-eddy simulation、日本流体力学会年会 2016、2016年9月26日、名古屋工業大学御器所キャンパス

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、風向変動を考慮した都市キャニオン内の

ガス拡散、第57回大気環境学会年会、2016年9月7日、北海道大学工学部

道岡武信、都市キャノピー内の拡散現象に対する都市形状および乱流境界層の影響、第25回空気のシンポジウム、2016年8月27日、九州大学筑紫キャンパス

道岡武信、瀧本浩史、小野浩己、佐藤歩、単純地形上のガス拡散に及ぼす安定温度成層の効果、第29回数値流体力学シンポジウム、2015年12月16日、九州大学筑紫キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道岡 武信 (MICHIOKA, Takenobu)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：20371370