

化学反応モデルを組み込んだ CFD モデルを用いたストリートキャニオン内の大気質の解析 Analysis of Air Quality in Street Canyon by Using Chemistry-Coupled CFD Model

学生会員 ○澤田 真吾 (大阪大学)

正会員 松尾 智仁 (大阪大学)

正会員 嶋寺 光 (大阪大学)

正会員 近藤 明 (大阪大学)

Shingo SAWADA*¹ Tomohito MATSUO*¹ Hikari SHIMADERA*¹ Akira KONDO*¹

*¹ Osaka University

In urban area, roadside air pollution still exists. In order to evaluate the roadside air pollution, it is required to consider both chemical reaction and shape of buildings. In this study, a CFD model coupled with a chemical reaction model was used to simulate roadside air quality in an idealized street canyon. A set of air quality simulations using the chemistry-coupled CFD model with different aspect ratio (building height) and wind speed was conducted to evaluate their influence on air quality in the street canyon. The results showed that the NO_x concentration in the canyon is higher than the NO_x concentration in the air quality model CMAQ. In addition, as wind speed decreased, NO_x concentration in the street canyon increased.

はじめに

都市部では、沿道大気汚染がいまだ存在している。わが国では、高度経済成長期に大気汚染が顕著になり、さらに自動車が普及したため複合的な大気汚染が生じた。これに対し、環境基準の設定など公害防止対策が施され、工場からの排出規制による窒素酸化物排出量は大幅に改善された。しかし、道路沿道では自動車排ガス由来の窒素酸化物 (NO_x) や粒子状物質 (PM) による大気汚染がいまだに存在している¹⁾。

大気汚染に関する研究で広く使用されている化学反応を含む大気質モデルの多くは、メソスケール領域に適応しているため、格子解像度が1~数十 km と粗く、沿道大気汚染を評価することが出来ない。一方、数値流体力学 (CFD) モデルでは、高い空間分解能で都市ブロック規模の気流と大気濃度シミュレーションを行うことができる。しかし、従来の CFD モデルの多くは化学反応を考慮していない。

本研究では、ストリートキャニオン内における NO_x やオゾン (O₃) といった汚染物質の動態をシミュレーションするために、CFD ツールボックス OpenFOAM²⁾ に化学反応モデル CBM-IV を組み込んだモデルを開発した。ストリートキャニオンを対象にアスペクト比、風速、汚染物質の排出強度を変更して、大気汚染濃度に与える影響を評価した。

1. 計算条件

1.1 計算領域

計算領域は、Fig.1 に示すように x, y, z 方向に 1000 m,

200 m, 800 m とした。また、解析領域は、計算領域中央の x, y, z 方向に 80 m, 80 m, 80 m の範囲とした。総要素数は約 52 万である。1つの建物は幅 40 m, 奥行き 200 m, 高さを 40 m とした。建物は計算領域内に 8 つ配置し、建物の間に南北方向に幅 40 m の道路を配置した。また、道路の中央 20 m を車道とし、その両側 10 m を歩道とした。汚染物質は、車道の地上から高さ 1.5 m までの空間に排出されるとした。実際の計算は、y = 100 m のところに対称境界条件を設置し、片側だけの計算を実施した。

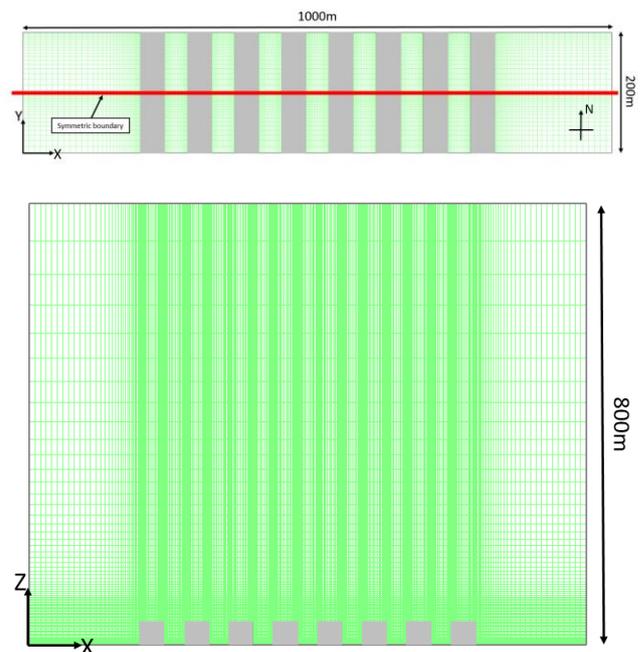


Fig.1 Calculation area

1.2 計算条件

風速の境界条件は、式(1)に示すべき乗則を用いて決定した。風向は東向きに固定した。

$$V = V_R(Z/Z_R)^{\frac{1}{n}} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 V (m/s), V_R (m/s) はそれぞれ地上からの高さ Z (m), Z_R (m) における風速を表し、 n は大気安定度によって変化する。ここでは、 $Z_R = 10$ m, $n = 0.25$ とした。 V_R については後述する。

排出量は、JATOP の排出インベントリデータベース³⁾ から大阪府梅新南交差点周辺の2010年7月～8月の時間別排出量から算定した。道路におけるNOx排出強度の時系列変化をFig.2に示す。

汚染物質の側面境界濃度は、大気質モデルCMAQの計算結果⁴⁾をもとに、2010年7月1日～2010年8月31日の期間のCMAQの鉛直第1層の1時間値の平均値から算定した。NO, NO₂, O₃ 濃度の時間平均値の時系列変化をFig.3に示す。側面境界濃度は鉛直方向に一様とした。また、排出量、側面境界濃度には午前9時のものを使用した。

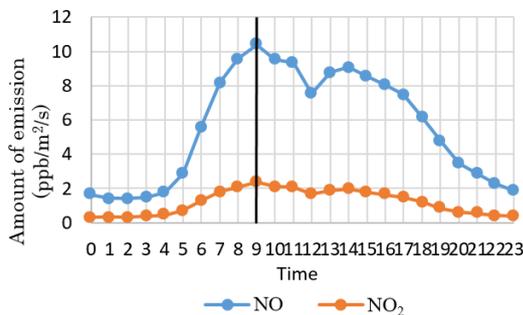


Fig.2 Averaged NO and NO₂ emissions from road in July and August, 2010 at Umeshin-minami cross section

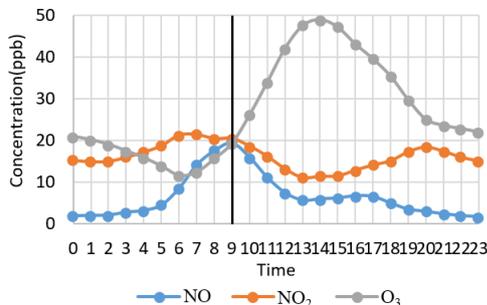


Fig.3 Average concentration of side boundary per hour

1.3 計算ケース

各計算 Case の概要を Table1 に示す。変更点以外は Base Case と同じものを用いるとする。解析では、各 Case を 2 つの Group に分けてアスペクト比を変更した場合と風速

を変化した場合について比較を行う。Group1 を Base Case と Case1-4, Group2 を Base Case と Case5-8 とする。

Table1 Overview of cases

Case name	Aspect ratio (AR)	Reference Velocity (V_R)
Base Case	1.00	3.0 m/s
Case1	0.50	3.0 m/s
Case2	0.75	3.0 m/s
Case3	1.50	3.0 m/s
Case4	2.00	3.0 m/s
Case5	1.00	2.0 m/s
Case6	1.00	2.5 m/s
Case7	1.00	3.5 m/s
Case8	1.00	4.0 m/s

2. 結果と考察

今回の検証では、対象領域は南北方向で対称であるので、対称境界を用いて南側半分だけを計算した。これから示す図は $y=100$ m (計算領域の中心) の断面図である。

2.1 アスペクト比の違い (Group1)

まずはじめに Base Case, Case1, Case4 の全体的な流れ場を Fig.4 に示す。すべてのケースで 1 番西側の建物で剥離が起きていることがわかる。また建物高さが高くなるにつれて再付着の位置が東側に移動していることもわかる。次に Group1 の 4 つ目のキャニオンでの風向、風速を Fig.5 に示す。Case4 以外ではキャニオン内に時計回りの渦が 1 つずつできていることがわかる。Case4 の時は、渦はできているがほとんど風は吹いていない。これは Fig.4 で示したように剥離した風が 4 つ目のキャニオンで再付着しているためキャニオン内では風がほとんど吹いていないからであると考えられる。

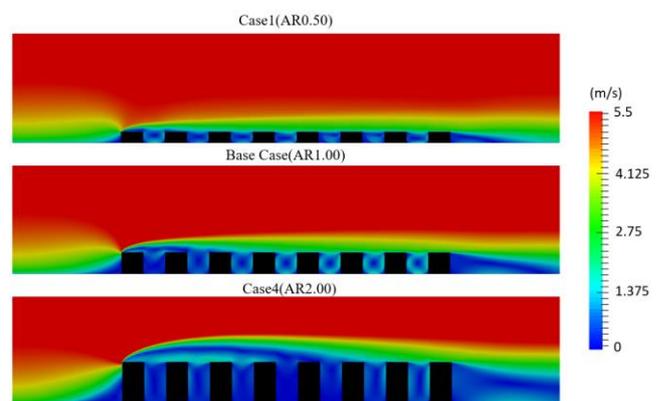


Fig.5 Behavior of reattachment in Case4

次に Group1 の NO, NO₂, O₃ の濃度の鉛直プロファイルを示す。鉛直プロファイルは4つ目のキャニオンの建物に最も近いメッシュ (Fig.6) で取得した。キャニオンの西側の鉛直プロファイルを Fig.7 にキャニオンの東側の鉛直プロファイルを Fig.8 に示す。すべてのケースにおいて、キャニオン内の O₃ 濃度はキャニオン外部よりも低くなっている。これは、道路からの排出により NO が豊富なキャニオン内においては、式 (2) に示すタイトレーション効果によって O₃ が消費されるためであると考えられる。また、Case4 の道路の中央で NO 濃度が非常に高くなっているのは、Case4 ではキャニオン内に空気が滞留しており、道路の中心から排出される汚染物質が除去されないためである。

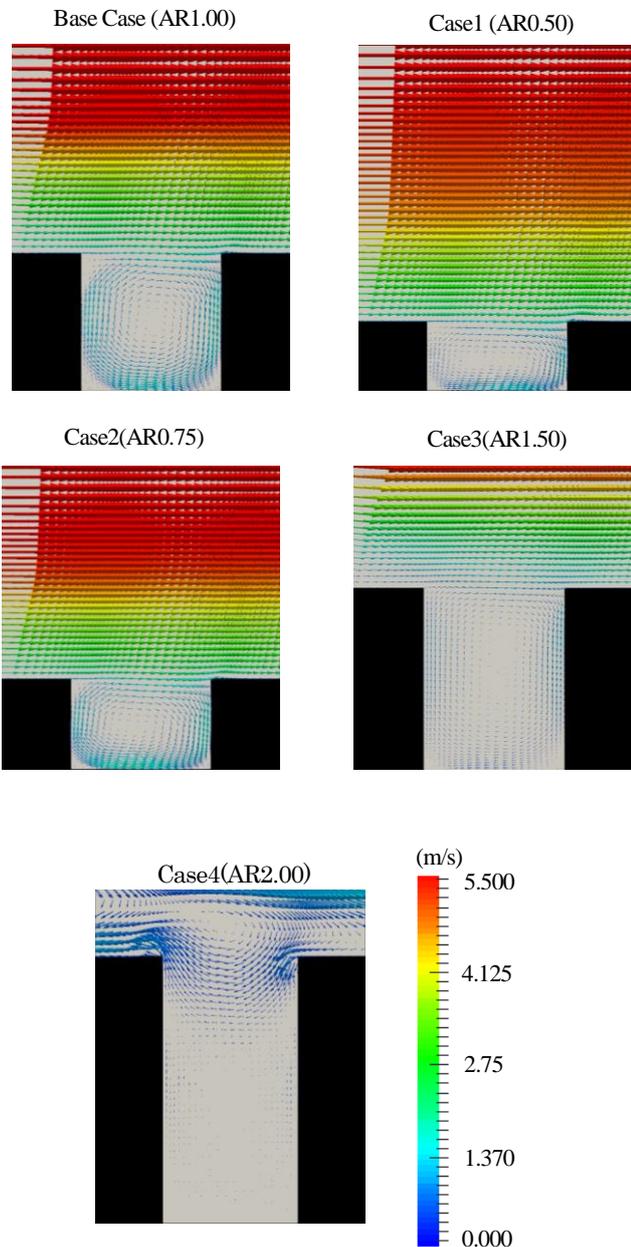
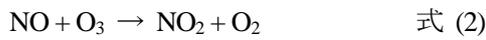


Fig.4 Wind direction and wind speed in Group1

2.2 風速の違い (Group2)

流れ場については、風速が変化しただけで Base Case の場合とほぼ同様となった。次に Group2 の NO, NO₂, O₃ の濃度の鉛直プロファイルを示す。キャニオンの西側の鉛直プロファイルを Fig.9 にキャニオンの東側の鉛直プロファイルを Fig.10 に示す。Fig.9 より風速が増すにつれてキャニオン内の風速が速くなり、効率よく NO_x をキャニオンの外へ追い出せたため、キャニオン内の NO_x 濃度は小さくなったと考えられる。Group2 でも Group1 と同様にすべてのケース、すべての観測点においてタイトレーション効果によって NO 濃度が高いところで O₃ 濃度が低くなっている。

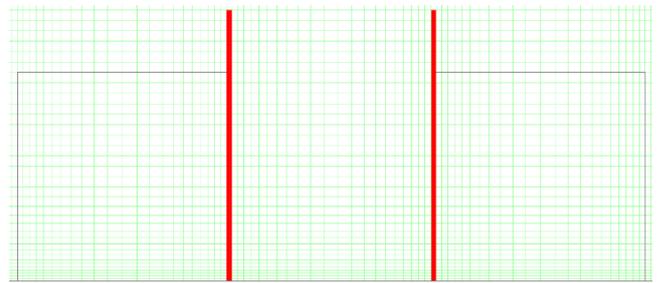


Fig.6 Position where vertical profile was acquired (red line)

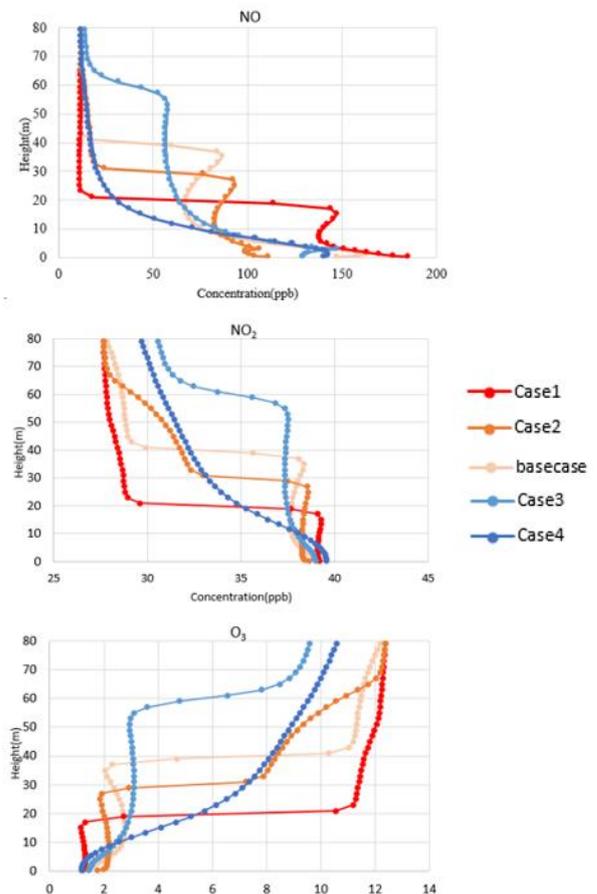


Fig.7 Vertical profiles of concentrations of pollutants on the west side of street canyon in Group1

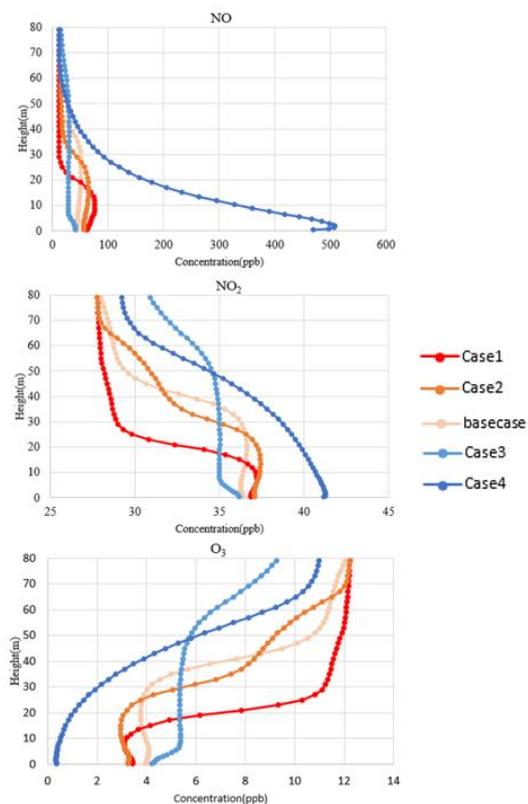


Fig.8 Vertical profiles of concentrations of pollutants on the east side of street canyon in Group1

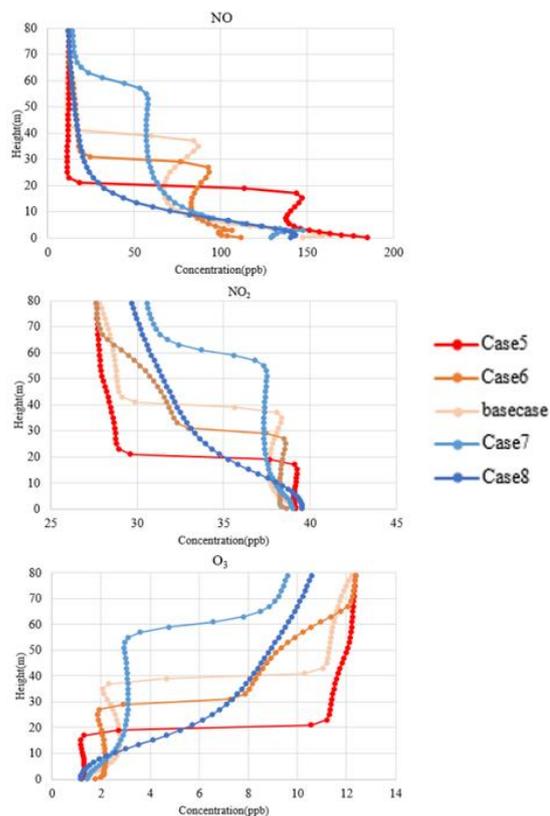


Fig.10 Vertical profiles of concentrations of pollutants on the east side of street canyon in Group2

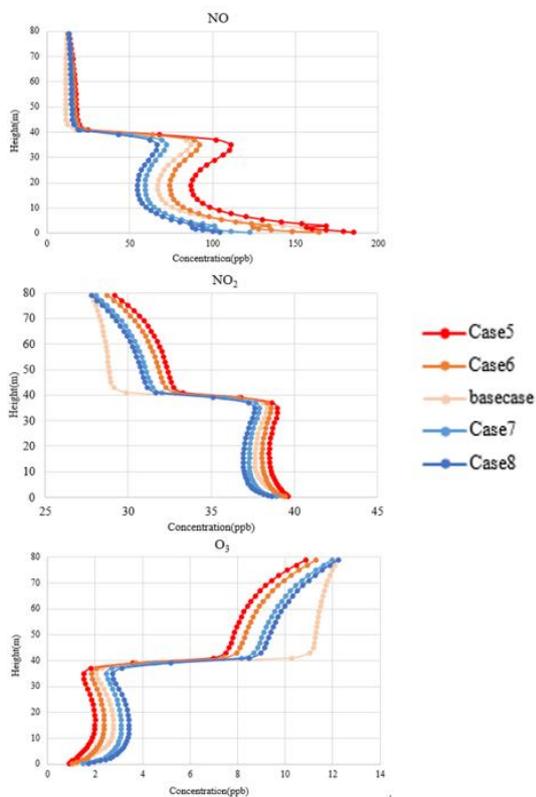


Fig.9 Vertical profiles of concentrations of pollutants on the west side of street canyon in Group2

3. 結論

本研究では、道路沿道の大気質を詳細に評価するため、一般の大気質モデルよりも高い空間分解能を扱うことのできるCFDモデルに化学反応モデルを組み込んだ。また、アスペクト比（建物高さ）、風速を変化させて、それらがストリートキャニオン内の大気汚染に与える影響を評価した。

- 大気質モデルのNO_x濃度よりもキャニオン内のNO_x濃度のほうが高くなった。
- 風速が小さいほど、キャニオン内のNO濃度は増加した。
- 再付着が起こるところではキャニオン内にO₃が供給されないため、タイトレーションが起こらずNO_xがたまり続けた。

参考文献

- 1) Zbigniew Bagiński: Traffic air quality index, Science of the Total Environment 505,606-614,2015.
- 2) The OpenFOAM Foundation: <https://openfoam.org/>
- 3) (一財)石油エネルギー技術センター, JATOP 技術報告書「自動車排出量推計」JPEC-2011AQ-02-06, 2011.
- 4) 嶋寺 光, 深水 健吾, 松尾 智仁, 近藤 明: 大気質モデルによるオゾン濃度再現性の水平格子解像度依存性, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, P131, 2017.