

高架橋を含む道路における大気質の測定と CFD 解析

Observation and CFD Analysis of Air Quality along Roads with Viaducts

○高倉 悠太郎 (大阪大学) 中川 雅也 (大阪大学)
松尾 智仁 (大阪大学) 嶋寺 光 (大阪大学)
近藤 明 (大阪大学)

Yutaro TAKAKURA*1 Masaya NAKAGAWA*1 Tomohito MATSUO*1

Hikari SHIMADERA*1 Akira KONDO*1

*1 Osaka University

In order to accurately evaluate roadside air pollution, it is necessary to take into account chemical reactions and radiations. Some CFD models have been proposed, but few has been validated by comparing to measurements. In this study, the accuracy of the model was evaluated by comparing roadside air pollution measurements and the simulation. Some of the characteristics of roadside air pollution such as high concentration of NO_x due to the vehicles and low O₃ concentration due to NO tightening were successfully reproduced. However, due to the insufficient resolution of the geometrical model, the flow field was not reproduced accurately, and therefore the concentration distribution of pollutants had some errors between the measured and calculated results.

はじめに

近年、都市部の沿道大気質は改善しているが、いまだ局所的な大気汚染は存在している¹⁾。また、交通量の多い幹線道路では渋滞緩和のため高架橋が建設されており、道路周辺の建物や高架橋は道路周辺の流れを複雑にするため、沿道大気質の予測を困難にする²⁾。そのため、高架橋を含み汚染物質が高濃度で確認されている国道43号線を本研究の対象地域とした。街区スケールにおける大気質を正確に評価するためには、流れに加えて化学反応、放射計算を考慮する必要がある。そして、複数地点での測定による化学反応、放射計算を考慮したCFDモデルの検証はあまり行われていない。そこで本研究では、CFDモデルの精度検証を目的として、沿道で複数地点での大気質の測定実験とCFDシミュレーションの比較を行った。

1. 測定実験

1.1 実験目的

本実験は、沿道大気質を評価するCFDモデルを検証するための測定データを得ることを目的としている。そこで、大気汚染物質の簡易センサーを用いて4地点での同時測定を行うことで、道路近傍での汚染物質濃度分布を測定した。加えて、道路における汚染物質の発生量および汚染物質の輸送を支配する都市気象を把握するため、交通量、温度、湿度、風速、風向の測定を行った。

1.2 実験条件

2021年6月15日の7時から20時にかけて、大阪市淀川区にある出来島小学校付近の国道43号線周辺の4地点(国道沿道2点、国道に面しない地点2点)でNO、NO₂、O_x(本測定においては、O₃とNO₂の和)、PM_{2.5}の濃度、交通量(国道高架下の道路のみ)、風速・風向(地点Aのみ)の測定を行った。また、出来島小学校には自動車排出ガス測定局(自排局)が設置されており、NO、NO₂、O₃、PM_{2.5}などが測定されている。Fig.1に本実験の測定地点を示す。

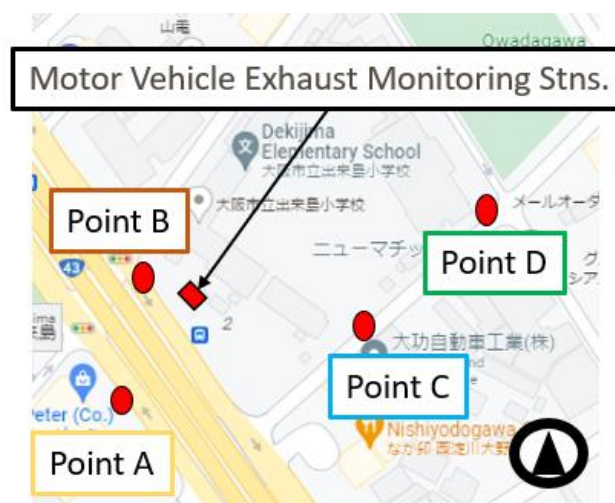


Fig.1 Measurement points

2. CFD モデル

2.1 モデル概要

本研究での CFD 計算の流れとして、まず計算対象となる形状データを作成した。次に、気象モデル WRF、大気質モデル CMAQ を用いて算出した風速、風向、気温、放射量、汚染物質濃度の結果を境界条件として使用した。また、交通量と排出係数³⁾から算出した排出量も CFD モデルに入力した。CFD モデルでは、温熱気流計算や放射計算、汚染物質の輸送、化学反応による各汚染物質の濃度変化、気流計算が行われ、温熱気流場、濃度場が算出される。

2.2 計算条件

計算領域は測定実験を行った周辺とし、Fig.2, 3 に示すように x, y, z 方向に 640m, 550m, 50m、解析領域は測定地点を概ね中心として x, y, z 方向に 240m, 150m, 20m である。排出量の発生エリアは地上道路、高架橋道路でそれぞれ西側、東側の 4 か所ある。計算期間は測定期間に助走期間の 1 時間を加えた 2021 年 6 月 15 日 6 時から 20 時とした。

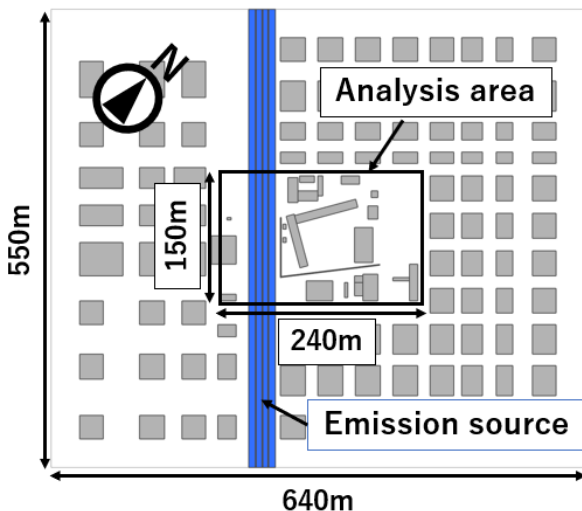


Fig.2 Calculation area (x-y)

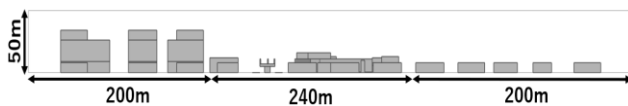


Fig.3 Calculation area (x-z)

3. 結果

3.1 測定結果

風速・風向は高さ 1m 程度で測定したため、建物の影響を大きく受けており、近傍の気象官署の測定値とは異なる傾向を示した。交通量測定での自動車の種類は、2 輪、軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車、普通貨物車、特殊車、バス、パッカー車の 9 種類とした。地点 A, B とともに朝の 8 時、9 時に交通量が多くなっていた。これは通勤で国道 43 号線を利用する人が多いためだと

考えられる。また、地点 A の 19 時に交通量が多くなっていたのは、乗用車の割合が大きい大阪方面から兵庫方面に帰宅する人が多いからだと考えられる。高架道路の交通量は測定できなかったため、交通センサスのデータ⁴⁾をそのまますべて高架橋の交通量として扱った。交通量から算出した排出量は、大型車の排出量が小型車の排出量よりも非常に多いため大型車の交通量に大きく依存する結果となった。大気汚染物質濃度の時間変動を Fig.4 に示す。NO は沿道で高くなる傾向が見られ、道路に対して自排局と同じ側で測定した地点 B では自排局と濃度がおおむね一致したが、道路の反対側に設置した地点 A ではやや異なるパターンが見られた。NO で 13~15 時頃に濃度が減少しているのは、14 時頃から風速が大きくなっていったため汚染物質が拡散したからだと考えられる。NO₂ は自排局の濃度と異なる結果となり、センサーの故障が疑われた。また、O_x については測定結果と自排局でおおむね一致が見られた。さらに、NO 濃度が午後には低下しているのは、午前には O₃ の濃度が低いので NO のタイトレーションが起こりにくいが、午後には O₃ の濃度が大きくなっておりタイトレーションが支配的になっているためだと考えられる。

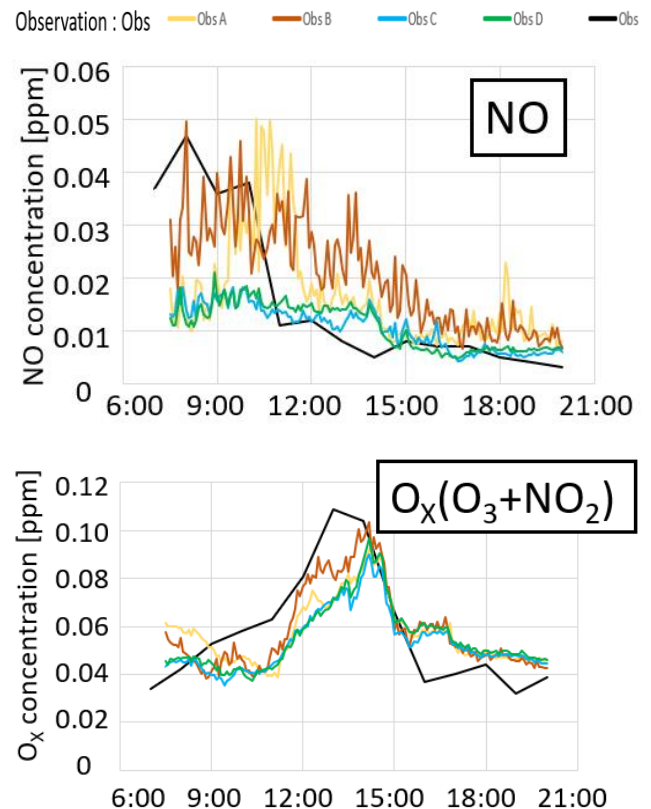


Fig.4 Time variation of NO and O_x concentration

3.2 計算結果

Fig.5 に 8 時, 14 時における自排局がある地点にあたる $y=77\text{m}$ の国道 43 号線に着目した風速・風向を示す。西側は風速が大きく道路に沿った風向であり, 東側は風速が小さく高架橋の横に渦が形成された。高架橋によって道路の東西で流れのパターンに違いが生まれた。8 時, 14 時における $y=77\text{m}$ の大気汚染物質濃度分布を Fig.6 に示す。NO, NO₂ は東向き風の影響で国道 43 号線の東側の方が西側より濃度が高くなっている。また, NO, NO₂ は自動車から排出されるため道路近傍で濃度が高く, 高架橋上は交通量の多いことに加え防音壁に囲まれているため特に高濃度となっている。地上道路から排出された NO, NO₂ は国道 43 号線東側の測定地点 B 周辺に達し, 高架橋道路から排出された NO, NO₂ は自排局に達している。O₃ 濃度は NO 濃度が高い地点で低くなっている。これは, 排出された NO のタイトレーションにより O₃ 濃度が減少していると考えられる。

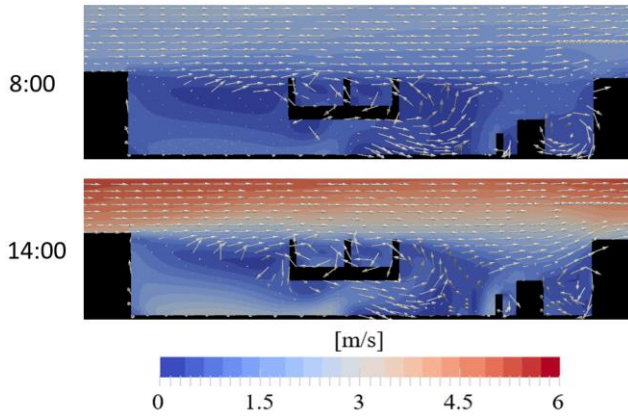


Fig.5 Wind speed and direction (x-z)

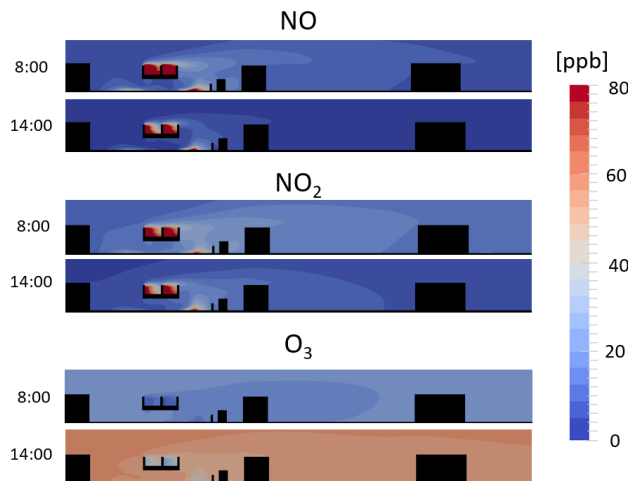


Fig.6 Concentration distribution of air pollutants (x-z)

3.3 測定と CFD 計算の比較

地点 A での風速・風向を Fig.7 に示す。風速は昼頃から大きくなっており, 夕方にピークを迎える傾向が測定と計算のどちらでも見られた。風向については測定と計算でおおむね一致した。この地点の風向は, 近くの建物や解析領域外の建物の影響を受けるので偶然の一致の可能性も考えられる。

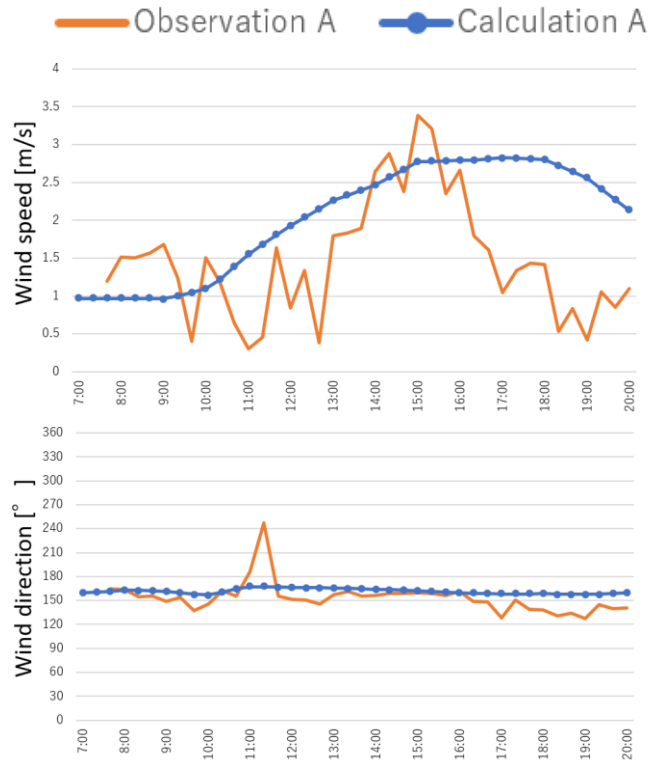


Fig.7 Comparison of measurements and calculations of wind speed and direction at point A

Fig.8 に大気汚染物質濃度を示す。NO, NO₂ について, 測定結果では, 地点 AB の方が地点 CD より高濃度であったが, 計算結果では, 地点 B は地点 CD より高濃度で, 地点 A は地点 CD より低い濃度となった。これは計算では, 地点 A 付近の風速が大きいため汚染物質が拡散されたためだと考えられる。また, どの地点においても計算では濃度を過小評価していた。これは汚染物質の排出源を国道 43 号線のみを設定しているため側道などの排出を無視したためだと考えられる。O_x については他の汚染物質に比べると比較的, 測定結果と計算結果で一致が見られた。しかし, 全体的にみると, 汚染物質濃度の測定結果と計算結果はあまり一致しなかった。

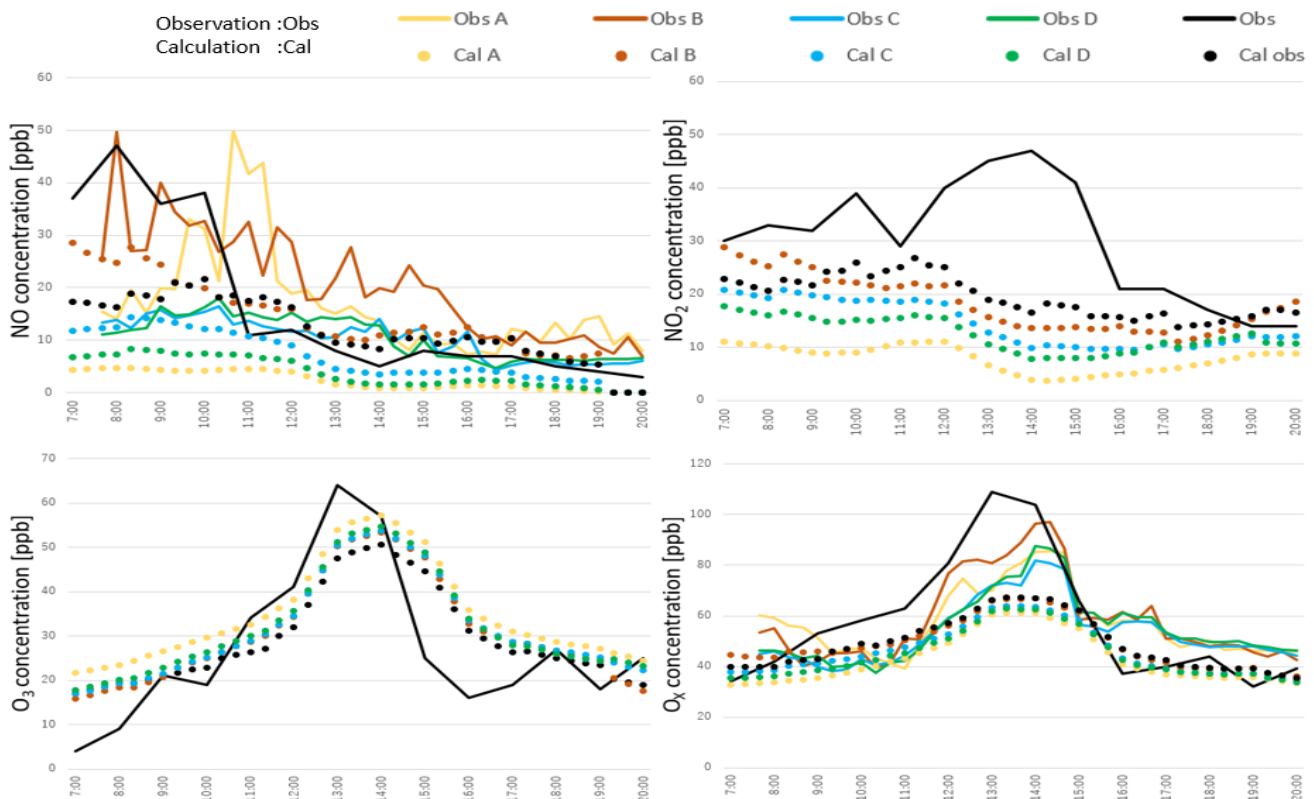


Fig.8 Comparison of measurements and calculations of air pollutants

前述したように汚染物質濃度の測定結果と計算結果があまり一致していないので、本研究で使用したCFDモデルが精度よく再現したと述べるのは難しい結果となった。しかし、高架橋を含む道路では、高架橋や周辺建物によって道路内に複雑な流れ場が形成され、道路近傍の渦により局所的な高濃度が発生することや、防音壁により高架橋道路およびその風下に高濃度が発生することといった高架橋を含む道路の特徴は再現された。また、自動車排ガス由来のNOは空気中のO₃と反応しNO₂を生成する現象は計算でうまく再現できた。これらのような定性的な傾向は捉えることができたと考えられる。そこで、本研究でうまく再現計算が出来なかった原因として、今回の形状モデルが考えられる。今回の形状モデルは対象領域の複雑な形状を正確に再現したとは言い難く、そのため流れ場の再現が十分でなかった。特に、国道43号線を横切る向きの風速が大きく、そのため地点Aでの濃度が低くなった。また、地点A付近では周辺の建物や高架橋による渦が形成されず汚染物質の滞留が見られなかった。今後は、実際の流れ場が再現されるような形状モデルを作成し、精度よく再現計算を行うことを課題とする。

4. まとめ

本研究では、化学反応と放射計算を考慮したCFDモデルの精度検証を目的として、高架橋を含む道路において簡易センサーを用いた測定実験とCFDシミュレーション

を実施した。

本研究の結論を以下にまとめる。

- 測定実験では自動車排ガスの寄与が大きい汚染物質は国道43号線沿いで濃度が高くなる傾向となった。
- CFDシミュレーションでは高架橋が流れ場に影響を与える様子やNOのタイトレーションなどが再現された。
- 形状モデルの再現が不十分であり、流れ場がうまく再現できなかったことで汚染物質濃度の測定結果と計算結果に誤差が生じた。

参考文献

- 1) Shima M, Adachi M, Indoor nitrogen dioxide in homes along trunk roads with heavy traffic, Occup, Vol.55, pp.428-433, 1998
- 2) C.F. Zhang, M Wen, J.R. Zeng, G.L. Zhang, H.P. Fang, Y. Li, Modeling the impact of the viaduct on particles dispersion from vehicle exhaust in street canyons, Technological Sciences, Vol.55, pp.48-55, 2021
- 3) 一般財団法人日本自動車研究所, 「自動車排出量推計業務(2010年版)」報告書, 2013
- 4) 大阪府都市整備部交通道路室, 全国道路・街路交通情勢調査表(交通センサス), <https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/30327/00000000/cyosahyou.PDF>