

平成 23 年 6 月 30 日現在

機関番号：72608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760456

研究課題名（和文）市街地における騒音伝搬に及ぼす気象影響の解明と予測モデルの開発

研究課題名（英文）Study on a prediction method of meteorological effects on outdoor sound propagation in residential areas

研究代表者：横田 考俊（TAKATOSHI YOKOTA）

財団法人小林理学研究所・騒音振動研究室・研究員

研究者番号：60390738

研究成果の概要（和文）：騒音伝搬に及ぼす気象影響を考慮可能な波動音響理論に基づく予測手法について検討し、任意の都市断面構造について解析を可能とした。騒音伝搬予測の際に用いる気象データについて検討を行い、一般的に入手可能なデータを用いて予測精度を向上させる手法を提案した。数値解析結果を空間印象まで含めて可聴化する簡易手法として、ヘッドホン受聴による新たな可聴化システムを提案した。高所において鉄道騒音の年間モニタリングを行い、地上から上空への騒音伝搬では気象影響によるレベル変動が非常に小さいことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A numerical simulation method on outdoor sound propagation based on FDTD which can take into account arbitrary meteorological conditions in residential area obtained by CFD has been developed. A new hearing system of numerical simulation results has been proposed by using a 6-ch. sound reproduction system and a dummy head microphone. Sound propagation of railway noise to a receiver at about 70 m in height has been monitored throughout a year and the influence of meteorology on sound propagation from ground to a higher position has been investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：応用音響工学

科研費の分科：建築学

細目：建築環境・設備

キーワード：屋外伝搬，気象影響，FDTD，PE，可視化，可聴化

1. 研究開始当初の背景

騒音伝搬に及ぼす風や温度勾配などの気象影響については、これまで平坦地や緩やかな丘陵地を対象として検討が進められてき

ている。その結果、平坦地等については気象影響を考慮可能な音の伝搬解析手法が概ね整備され、気象条件の違いによる伝搬特性の変化について解明されつつある。しかし、環

境騒音が問題となる市街地を対象とした研究はこれまで殆どなされていない。また、近年増え続けているタワー型マンションの高層階への騒音伝搬については、気象影響による伝搬量の変化はもとより、基本的な騒音の伝搬性状についても検討事例が非常に少ない。これらの理由としては以下のことが考えられる。

- ①建物密集地域や高層ビル周辺では風の流れや温度が複雑に変化するため、それらを的確に把握することが困難であり、また騒音予測に適用するための気象のモデル化が困難である。
- ②複雑に変化する気象を考慮可能な音響伝搬解析手法が確立されていない。
- ③平坦地以外での音響伝搬について、気象影響を考慮可能な解析手法が整備されていない。
- ④音の伝搬に及ぼす気象影響について、海外、特に欧米の研究者の関心は、都市環境騒音よりも砲撃音や発破音等、市街地から離れた地域での大音圧の長距離伝搬に向けられている。また、音源および受音点はともに地上付近を対象としている。

上記①に関しては、近年の気象観測技術の発展、計算流体力学（CFD）およびコンピュータハードウェアの発達により、構造物周辺などの微気象について観測および予測が比較的簡単に行えるようになってきていると考えられる。②③については、コンピュータハードウェアの進歩により、単純な条件について定式化が進められてきている新たな数値解析手法を騒音問題に適用可能な段階にきていると考えられる。また、地形、気候、土地利用などは国/地域によりそれぞれ異なり、それに伴い騒音問題も異なることから、本問題に関しては日本独自のアプローチが不可欠であることが④より明確である。

2. 研究の目的

騒音伝搬に及ぼす気象影響に関しては、上記の通り、平坦地等において音源および受音点が共に地上に近い場合について主に検討がなされてきている。そこで本検討では、高層マンションが点在する低層住宅密集地域を想定し、騒音伝搬に及ぼす気象影響を考慮可能な予測手法の開発を主な目的とする。また予測手法の検討と平行し、地上から高所への騒音伝搬に関して、気象影響による伝搬量の変動特性を実測により明らかにする。

3. 研究の方法

近年、気象影響を考慮した音の伝搬解析について、時間領域差分法（Finite Difference Time Domain method: FDTD 法）を用いた新たな定式化が行われてきており、単純な条件について解析例が示されてきている。FDTD 法

を適用することで、これまで予測に用いられてきた PE 法（Parabolic Equation method）では考慮することができなかった以下の2点について、精度良く解析を行うことができる。

- ①音場内に複雑な障害物が存在する場合
- ②音源あるいは受音点が地表面から離れ、鉛直方向の伝搬成分が多い場合

そこで本検討では、新たな定式化手法を参考に、任意の気象条件および任意の都市断面構造について波動音響解析が可能なシステムを構築する。

また、地上から高所への騒音伝搬に及ぼす気象影響について、高所の定点において鉄道騒音の年間モニタリングを行い、日々のレベル変動について定量的に把握を行うとともに、開発した数値解析によるケーススタディを行い、そのレベル変動について考察する。

4. 研究成果

- (1) 気象影響を考慮可能な市街地を対象とした騒音伝搬予測システムの開発

任意の都市断面構造について気象影響を考慮した騒音伝搬予測を行うシステムとして、CFD による気流解析および FDTD 法による音響伝搬解析を組み合わせたシステムを開発した。システムの概要を図1および下記に示す。

- ①GIS より建物情報を抽出

任意の都市断面を考慮可能とするため、GIS 上にモデリングされた都市空間から任意の断面を設定し、CFD 解析および FDTD 解析用の形状を入力するシステムとした。

- ②任意の断面に対する CFD 解析

FDTD 解析において気象条件として設定する対象断面における風速分布を CFD 解析により求めた。なお、本検討では騒音伝搬解析を主眼としたため、CFD 解析については市販のソフトウェアを使用した。

- ③CFD 解析結果に基づく音響伝搬解析 (FDTD)

CFD により求められた任意の風速分布を考慮可能な音響伝搬解析手法として、FDTD 法に基づく音響伝搬解析を可能とし、任意に設定した音源・受音点に対して、インパルス応答を算出可能とした。

- ④インパルス応答から各種物理量の算出および可聴化

受音点で得られたインパルス応答から、各種物理量を算出し、気象影響による伝搬量の変動について定量的に検討を行うことを可能にした。図1に示すグラフは、順風時と無風時における受音点での騒音伝搬量の変化について解析した例である。また、気象影響による音の聞こえ方の変化を体感可能にするため、後述する可聴化システムを提案した。

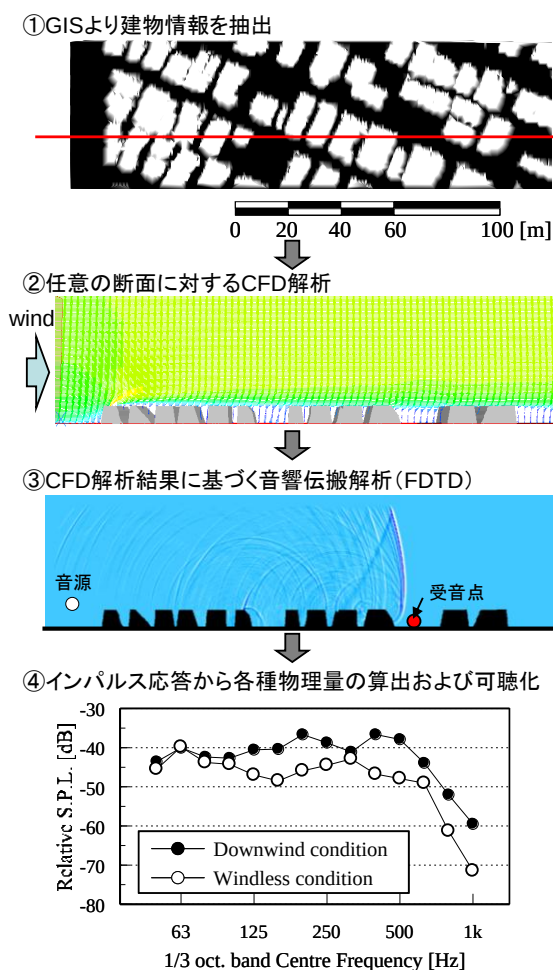


図 1 開発した解析システムの概要および計算例

今回開発した FDTD 法による伝搬解析システムは、既存の PE 法による解析に対して必要となるコンピュータ資源は圧倒的に増大するものの、上記の通り、任意の形状を有する音場において伝搬解析が可能であり、また音源および受信点の位置関係に制限がないという利点をもって、市街地等を対象として CFD で得られた任意の風速分布を考慮した音響伝搬解析が可能となった。なお、開発にあたり解析精度の検証として平坦地表面上に沿った音の伝搬について、種々の気象条件を設定して無風条件とのレベル差を既存の PE 法と比較したところ、非常に良い対応が確認された (図 2)。

開発したシステムを用いて、種々の都市断面構造について騒音伝搬のケーススタディを行った。今回の検討では、気象条件の違いによる伝搬特性の変動について、簡易予測のための一般化までは到達しなかったが、開発したシステムにより任意の断面形状・気象条件について数値解析が可能であることを示すとともに、それぞれについて伝搬特性を検討・整理することができた。

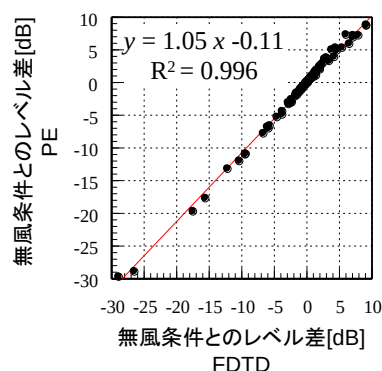


図 2 開発した解析システムと既存解析法との比較

(2) 解析結果の可聴化に関する検討

気象条件の違いによる聞こえ方の変化をシミュレーションするシステムに関する検討として、FDTD 法で得られたインパルス応答あるいはそれに任意の音源をたたみ込み積分した信号を AD 変換することにより試聴可能とした。また、これまで FDTD 法で得られた数値解析結果を音の到来方向まで含めて無響室内に再現するシステムとして提案・実践してきた数値 6ch 音場シミュレーションシステムを改良し、ヘッドホン受聴で同様の効果が得られる簡易再生システムを提案した。数値解析結果の 3 次元立体再生はこれまでは無響室内でしか行うことができなかったが、この方法を用いることでヘッドホン受聴により数値解析において想定した音場の空間印象も含めて勘弁に体感が可能になると考えられる。

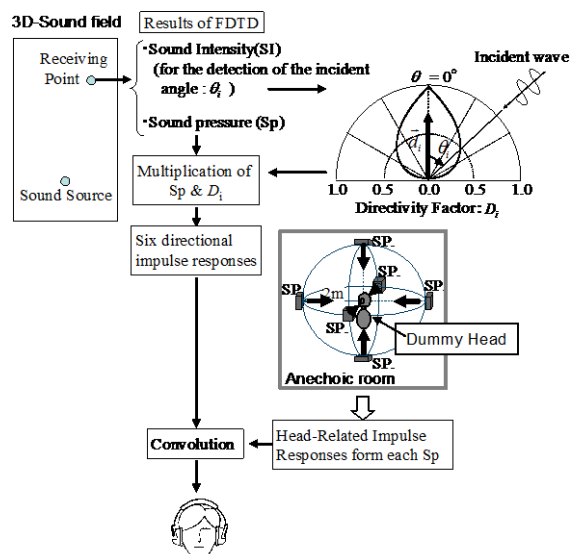


図 3 数値解析結果の 3 次元可聴化システムの提案

(3) 実用的な予測に向けた検討

上記の通り、任意の都市断面について任意の気象条件を設定して騒音の伝搬解析を行うことが可能となった。実際に騒音伝搬を予測する際には、実際の気象条件をいかに予測手法に組み込むかが重要となる。現在、日本全国について一般的に入手可能な気象データとしては、気象庁が公開しているアメダス が最も整備されていると考えられる。そこで、実用的な予測を行うための検討として、アメダスの気象データに基づく騒音伝搬予測について検討した。本検討では、アメダスで提供される 10 分平均の気象データを用いてより高精度の予測を行う方法について検討を行った。なお、アメダスに限らず、各種の気象観測データの多くは 10 分平均値で整理されていることから、下記の手法はアメダスデータに限らず一般的に適用可能な精度向上手法と考えられる。

2005 年度に実施した基礎伝搬実験のデータを再整理し、瞬時風速データと一定期間の平均値の関係について検討を行った。図 4 に 6 分間に観測された瞬時風速（0.5 s サンプリング）の頻度分布と平均値および標準偏差から求めた正規分布とを比較して示す。一定期間内に得られる瞬時風速の頻度分布は概ね正規分布に従う様子がみとれる。図 5 に 6 分間の平均風速とその期間に含まれる瞬時風速の標準偏差の関係を示す。風速と標準偏差には傾き 0.2 程度の線形的な関係を見いだすことができる。図 6 に基礎伝搬実験により得られた種々の風速条件における伝搬レベルの変化と予測結果を示す。下左図は瞬時風速のばらつきを考慮せず 6 分間の平均風速を用いて伝搬予測を行った結果、下右図は 6 分間の平均風速と図 5 で得られた標準偏差をもとに瞬時風速のばらつきを正規分布に基づき考慮して伝搬予測を行った結果である。ばらつきを考慮することで実測値との対応が良くなる様子が見てとれ、特に逆風時の長距離伝搬においてその差が顕著である。

アメダス観測所周辺（20 km 程度以内）において瞬時風速の観測を行い、10 分間平均値と瞬時風速（5 s サンプリング）について関係を確認した（図 7）。基礎伝搬実験の結果と概ね同様に、風速と標準偏差には線形的な関係がみられ、また傾きも約 0.2 程度であることが確認された。

以上のことから、アメダスなどの 10 分平均値の気象データを用いて実用的な伝搬予測を行う場合には、10 分間に生じる風速のばらつきを上記の平均風速と標準偏差の関係をもとに正規分布を仮定して設定して予測に組み込むことで、精度を高めることが可能であることが分かった。

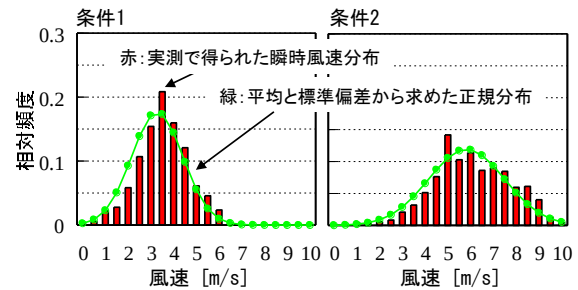


図 4 瞬時風速の頻度分布

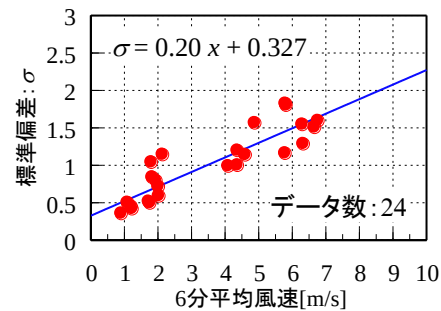


図 5 平均風速と標準偏差の関係
(基礎伝搬実験結果)

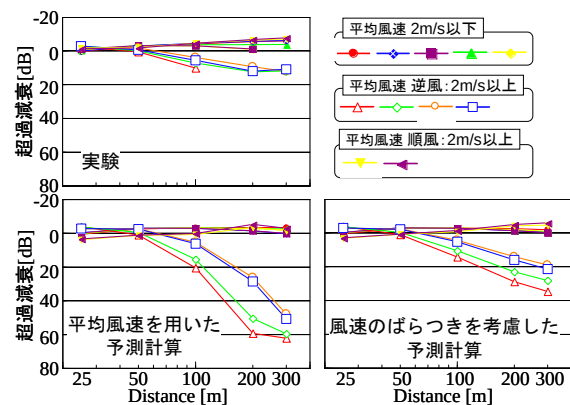


図 6 実測と予測値の比較
(下左：ばらつきを考慮しない場合、下右：
正規分布によりばらつきを考慮した場合)

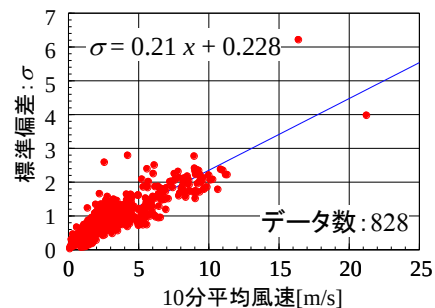


図 7 平均風速と標準偏差の関係
(アメダス観測所周辺での検討結果)

(4)地上から高所への騒音伝搬に対する年間モニタリング

鉄道騒音を対象として年間を通じた定点モニタリングを行い（軌道から水平距離約90 m、高さ約70 mの地点）、地上から高所への騒音伝搬に対する気象影響による騒音レベルの変動について検討を行った（図8）。測定期間は2010年4月14日から2011年3月31日であり、24時間騒音レベルを連続収集した。一部データ欠損はあるものの、概ね年間を通してデータを収集することができた。

夏期と冬期で気象影響による伝搬特性が大きく変化すると考えられる早朝と昼を対象としてデータ整理を行った。早朝 4:30～5:30、昼 12:00～13:00 のそれぞれ1時間について、通過した各列車の最大値（ L_{ASmax} ）を算出し、各時間帯で算術平均を求めた。なお、昼については平日と休日でダイヤが異なるため、平日のみを対象とした。また、2011年3月12日以降は臨時ダイヤでの運行となったため、分析の対象からは除外した。

まず、音源パワーの安定性を確かめるため、対象路線の上下線線路中心から6 m離れた地上点において5日間の短期調査を行った。その結果、1時間毎の L_{ASmax} の算術平均値の5日間の変動は非常に小さく標準偏差は0.7 dBであった。また、5日間の平均値は88.9 dBであった。図9に定点モニタリングで得られた1時間毎の算術平均値の日々の変化を示す。朝昼問わず1年を通じてレベルの変化が非常に小さい様子が見てとれる。年間を通じたモニタリングにおいても標準偏差は1.3 dB（早朝）および1.5 dB（昼）と非常に小さく、音源から100 m以上離れた点であっても気象による影響は小さい様子が見てとれる。これは、受音点が地上から離れていることが主な原因と考えられる。そこで、音源を地表面上に設置し、水平伝搬距離100 mの位置に受音点を地上1.2 mおよび地上70 mの高さで2点設定し、今回開発したFDTD法により順風条件と逆風条件（それぞれ風速は5 m/s）について伝搬解析を行った。その結果、受音点高さが1.2 mの場合、順風条件と逆風条件では500 Hzで22.9 dBの差が生じたのに対し、受音点高さが70 mの場合には、その差は0.5 dBと非常に小さいことが確認された。このことは、風向も考慮した風速差が10 m/sにおよぶ大きな気象条件の違いであっても高所ではほとんどその影響を受けないことを意味しており、年間を通じた種々の気象条件におけるモニタリング結果においても気象条件によらず概ね一定の値が観測された結果を裏付けるシミュレーション結果と考えられる。

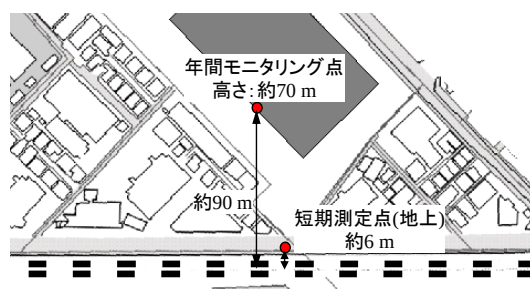


図8 測定点の概要

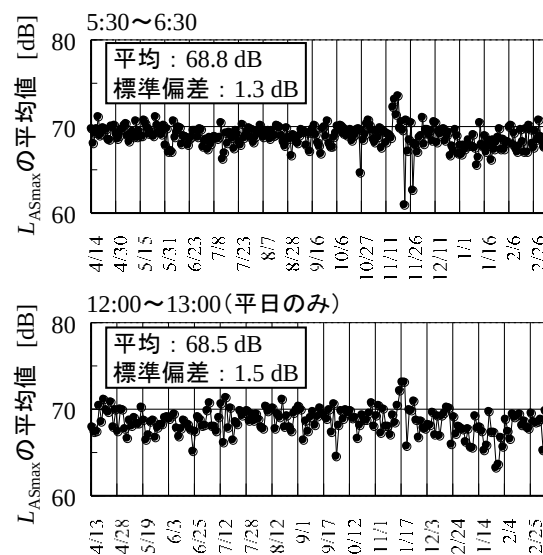


図9 騒音伝搬量の日々の変化

(5)まとめと今後の課題

任意の都市断面構造に対してCFDで得られた任意の気象条件を考慮可能なFDTD法に基づく音響伝搬解析システムを開発した。GIS上に構築された都市モデルから種々の断面構造を抽出し、上記解析システムによりケーススタディを行い、市街地における騒音伝搬に及ぼす気象影響について検討を行うとともに、予測を行う際の気象条件の設定方法について検討を行った。また、気象条件の違いによる音の聞こえ方の差異を体感するためのシステムとして、既存の数値6ch音場シミュレーションシステムを応用し、数値解析で設定した音場の空間印象まで含めて再現可能なヘッドホンによる簡易受聴システムを提案した。さらに、これまでほとんど検討されることの無かった高層階への騒音伝搬について、年間を通じたモニタリングを行いその特性を明らかにした。

今後の課題としては、市街地における騒音伝搬に対する気象影響について、より簡便な予測手法の構築に向け、今回開発した解析システムによるケーススタディ結果を系統的に整理し、その特徴を一般化することが重要と考えられる。

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 5 件)

- ① T. Yokota, K. Makino, K. Yamamoto, “Numerical study on long-range outdoor sound propagation over hard ground with surface roughness”, Proceedings of Inter-Noise 2010, No. 762, 2010, (Abstract 査読有)
- ② M. Morinaga, I. Yamamoto, H. Tsukioka, K. Makino, T. Yokota 他 7 人, “Long-term average evaluation of heavy weapon noise with considering occurrence probability of meteorological conditions”, Proceedings of Inter-Noise 2010, No. 103, 2010, (Abstract 査読有)
- ③ I. Yamamoto, M. Morinaga, H. Tsukioka, T. Yokota, 他 8 人, “Heavy weapon noise prediction model with considering terrain and meteorological effects”, Proceedings of Inter-Noise 2010, No. 345, 2010, (Abstract 査読有)

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 横田考俊, 牧野康一, 山本貢平, “緩やかな地形変化を有する地表面に沿った長距離伝搬に関する数値解析”, 日本音響学会騒音振動研究会, 2010 年 10 月 15 日, 北海道大学
- ② 大久保朝直, 横田考俊, 牧野康一, 山本貢平, “Green 関数 PE 法による屋外音響伝搬解析”, 日本音響学会騒音振動研究会, 2010 年 10 月 15 日, 北海道大学
- ③ 横田考俊, 牧野康一, 山本貢平, “屋外音響伝搬に及ぼす気象影響に関する数値解析—時間領域差分法の適用—”, 日本音響学会秋季研究発表会, 2010 年 9 月 14 日, 関西大学
- ④ 横田考俊, 牧野康一, 山本貢平, “時間領域差分法による風速勾配を考慮した屋外音響伝搬解析”, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 2010 年 9 月 28 日, 新潟大学
- ⑤ 横田考俊, 牧野康一, 山本貢平, “屋外音響伝搬に及ぼす地表面ラフネスの影響に関する数値解析”, 日本音響学会秋季研究発表会, 2009 年 9 月 15 日, 日本大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 考俊 (TAKATOSHI YOKOTA)

財団法人小林理学研究所・騒音振動研究室・研究員

研究者番号：60390738