

論文の内容の要旨

氏名：長 船 寿 一

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：低周波音測定値に含まれる風ノイズレベル推計手法に関する研究

我が国では、戦後の経済成長期における工業化の発展に伴い、国民生活は飛躍的に豊かになった一方で、工場等から排出された重金属や有害化学物質等による環境汚染が引き金となり、深刻な公害問題が顕在化した。しかし、1970年代にかけて、大気汚染や騒音・振動、悪臭などの多くの公害対策に関する法律が整備されるとともに、発生源側の対策が進められ、現代ではその多くが沈静化している。その一方で、低周波音に関する苦情件数は、1990年代までは年間20件程度で推移していたものの、2000年代から増加に転じ、近年においては300件程度まで増加しており、環境問題として顕在化している。

道路事業に起因する低周波音は、橋梁上を通過する車両の荷重が路面の段差などにより鉛直方向の運動エネルギーとなり、励起された橋梁振動が空気に伝播することにより発生する。また、低周波音は、近隣家屋の障子や襖など建具のがたつきに伴う物的被害、人に対する不快感、集中力の低下などの心理的な影響、めまい、耳鳴り、吐き気、血圧の上昇、心拍数の上昇など生理的な影響を引き起こすとされ、社会的な問題となっている。

低周波音の屋外測定においては、風による影響を強く受けることが広く知られている。環境庁大気保全局が平成12年に提案している「低周波音の測定方法に関するマニュアル（平成12年10月）」には、「草木や木の葉がゆれる程度の風が吹いていても測定は難しく、時間や日を改め、風がない時を選んで測定することが望ましい」と記述されている。しかし、自然風は常に変動しており、屋外における測定期間中に無風状態が続くことは稀で、その対策として、低周波音計のマイクロホンに二重の防風スクリーンを装着する測定方法や、風速が小さい地表面にマイクロホンを設置する測定方法などの研究が行われているが、自然風による影響を完全に除外するまでには至っていない。

本研究では、一般に市販されている低周波音計、防風スクリーン等で構成される計測システム系が気流の中に置かれたときの風に起因する音圧レベル（風ノイズレベル）を調べるために、風洞実験およびフィールド実験を行った。その結果、風が吹いている状況でマイクロホンが出力する圧力変動の特性値は、周波数、平均風速及び乱流強度の3つのパラメータによる寄与が大きいことを明らかにした。これにより、低周波音測定と風速測定を同時に実施する方式を用いれば、風ノイズレベルを推計できるとの確信を得た。

風ノイズレベルの推計式は、風洞実験やフィールド実験を積み重ねていく過程で改良し変遷したが、最終的には、流れ場の風速と圧力の理論的な関係に基づいて、風ノイズレベルの推計式を前述の3つのパラメータの関数として提案し、推計式に含まれる係数を、地表面粗度条件が異なる複数のフィールドにおける測定データから求めた。また、このフィールド測定を効率よく実施するために、超音波風速計と低周波音計を一体化した独自の測定装置（風ノイズレベル計）を開発・製作した。風ノイズレベル推計プログラムを実装した風ノイズレベル計を用いて、低周波音が問題になっている道路橋でフィールドデータの測定を行い、測定データから目的の低周波音を判別する方法を複数検討した上で、本研究で作成した風ノイズレベル推計式が十分な精度で風ノイズレベルを推計できることを実証した。

本研究で提案する風ノイズレベル推計式と低周波音と風速の同時測定方式によって、測定された音圧レベルデータを、対象とする低周波音が風ノイズに埋没しているデータであるか否かを判別することができ、従来、風がないときに限定されていた低周波音測定が、本研究の成果によって風の有無にかかわらず測定したデータから有意な低周波音データを抽出することが可能になり、低周波音測定が大いに効率よく推進できることになった。

本研究の成果は、風力発電機が発する低周波音のように風が吹いているときに発生する低周波音の測定にも威力を発するものである。

本論文は全6章で構成されている。以下に章ごとの記述内容と研究成果を示す。

第1章「緒論」では、本研究の背景として我が国における環境問題の経緯及び低周波音問題について概説するとともに、「研究の目的」を明らかにしている。また、「本論文に関係する既往の研究」を整理したうえで、「研究の方向性」を示すとともに「論文の構成」について述べている。

第2章「風洞実験に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式の構築」では、低周波音計、防風スクリーンの計測システム系を自然風の中に設置した状態を想定した風洞実験について述べている。実験の結果風ノイズが、周波数、平均風速及び乱流強度のパラメータで説明できることを明らかにするとともに、風洞実験に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式を構築している。次に、この推計式をフィールド実験結果に当てはめたところ、1.6 Hz 以下の周波数で測定値と乖離することが明らかとなり、その理由として、風洞実験とフィールド実験では乱れの長さスケールや乱流強度の変動幅が異なることによるものと考察している。そこで、フィールド実験データに基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式の構築により、1.6 Hz 以下の周波数帯における測定値と推計値の乖離を改善できることを示している。

第3章「フィールド実験用風ノイズレベル計に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式の構築」では、地表粗度区分の異なる二種類のフィールドにおける測定データをもとに推計式の構築を行い、その作成手順を示すとともに、測定値との整合性について検討を行っている。その結果、提案するフィールド実験に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式は、測定値と強い正の相関を持ち、風洞実験に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式と比較し平均風速と乱流強度の適用範囲も改善されたことを示している。また、この章では、フィールド測定及び分析の効率化を目的として開発製作した風ノイズレベル計の概要についても述べている。風ノイズレベル計は、測定と同時に分析が行われ、1秒単位の平均風速、乱流強度及び周波数ごとの低周波音のデータが自動的に保存される。また、風ノイズレベル推計式を自在に組み込むことが可能なプログラムを実装しているため、測定中に風ノイズレベルを計算し、1秒間単位で自動保存される。さらに風ノイズレベル計は、従来の騒音測定装置と同様で、簡単に設置して測定ができる装置であることについて述べている。

第4章「流れ場の風速と圧力の理論的關係に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式の構築」では、風洞実験やフィールド実験による風ノイズレベル L_{wind} 推計式とは異なり、物理的な意味をもつ流れ場の風速と圧力の理論的關係から風ノイズ推計式を導出し、これらに必要な係数を、フィールド測定値をもとに平均風速と乱流強度の関係を統計的な回帰によって求める風ノイズレベル L_{wind} 推計式を提案している。また、提案した推計式の妥当性を検証するため、推計式を構築する過程において収集したフィールド測定値と導出した風ノイズレベル L_{wind} 推計式から計算した推計値との整合性を確認するために相関分析を行っている。その結果、自然風による影響が大きい低周波数帯の 1.0Hz, 4.0Hz 及び 16.0Hz において、相関係数が 0.8 以上で強い正の相関となり整合性が良いことを確認している。

第5章「道路橋における風ノイズレベル L_{wind} 推計式の適用性の検証」では、第4章において導出した流れ場の風速と圧力の理論的關係に基づく風ノイズレベル L_{wind} 推計式の推計精度を検証するため、道路橋と自然風による低周波音が複合するフィールドで測定を行い、道路橋から発生する低周波音を目的音とし、測定値に含まれる風ノイズの影響を評価する三つの手法を提案している。第一に、時々刻々と変化する自然風の中で、十分な測定時間が確保可能な場合には、風ノイズレベル計で測定したデータの中から、風速の小さい時間帯を抽出し分析することにより、風ノイズの影響を低減できることを示している。一方、風ノイズによる影響が含まれる測定値に対しては、S/N 比に着目する手法と音圧レベルの最小値 L_{min} に着目する二つの手法を提案し、風ノイズの影響評価を行っている。その結果、両手法ともに風ノイズの影響を評価可能であることを確認している。特に、 L_{min} に着目する手法は、より細かく影響周波数の評価を行うことが可能であることについて述べている。

第6章「結論」では、本研究の結論について述べ、本研究の意義を明確にするとともに、今後の課題と展望について述べている。