

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560250

研究課題名(和文)低周波空力音の発生メカニズムとその低減装置に関する研究

研究課題名(英文) Study on the generating mechanism and prevention equipment of low frequency self-excited sound by air flow

研究代表者

長嶺 拓夫 (NAGAMINE, Takuo)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00323379

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：車が窓を開放して走行すると、室内に低周波騒音が発生することがある。車外の空気流れと内部空間が干渉して共鳴を起こすためである。この現象の発生メカニズムを実車と実験室内の小型装置で検討した。実験室では可視化を行い流れ場の観察を行なった。この結果より、渦が空間内に入り込むことにより室内空間に圧力変動を引き起こしていることを明らかにした。防止方法として渦を室内に入れないことが重要となるため、渦を外側に放出することにより発生の防止を試みた。装置としては、バッフルプレートを設置し、空気の流れを変えて、渦を外部に放出するものとした。このバッフルプレートの形状および取付け位置について検討を行った。

研究成果の概要(英文)：Self-excited sound caused by flow is observed in the vehicle cabin, when the vehicle runs with an open window. This phenomenon is called wind-throb. In this study, we measure the sound pressure at the vehicle cabin and the Helmholtz resonator in laboratory. We also explore the possibility of suppression of self-excited sound generated by fluid resonant oscillation. We tried to prevention of wind-throb by using of a baffle plate. A baffle plate is set inside of the vehicle's cabin. Accordingly, in this study the baffle plate prevents from occurring wind-throb. As equipment, a baffle plate is installed, the flow of air is changed, and vortices are emitted outside. The form and the attachment position of this baffle plate were examined.

研究分野：機械力学

キーワード：自励音 ウインドスロップ 空力騒音 低周波

1. 研究開始当初の背景

乗用車を走行中に窓を開放すると、速度や走行条件により車内に大きな低周波騒音が発生する。その騒音は非常に大きく耳などを強く圧迫し、車内の人間に不快感を強くあたえるものである。同様な現象は、自動車のサンルーフの開閉時においても発生していた。しかしながらサンルーフについては、その低周波騒音を防止するための方策がとられていた。その方法とはディフレクタを開口部前端に設置してその騒音を防止するものであった。しかしながら車の側面の窓については特に防止するための装置などは設置されていなかった。

2. 研究の目的

近年の乗用車は、エアコン性能の向上および普及により窓を開放して走行することは、以前よりは少なくなっている。しかしながら窓を開放して走ることは無くなった訳ではない。このため、窓を開放した状態であっても心地よく走行できるようにすることは、重要であると考えている。

また、このような空気流れと、空間やくぼみが干渉することによる低周波騒音は乗用車のみならず航空機などにも発生している。一例を挙げると、航空機が着陸する際に車輪を格納庫から出すこのとき、航空機のまわりの空気流れが、車輪の格納庫と共鳴を起こし低周波騒音が発生することもしられている。このように車のみならず空気流れと空間が干渉する場所においては同様な現象は起こり得ることが分かる。

このような理由から、窓を開放した状態で車内に低周波騒音が発生させない方法およびその防止装置を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

実車による実験は1ボックスタイプの乗用車を用いて行った。図1に示すように、左側後方の窓ガラスを300 mm下げた状態で走行した。そのとき、低周波騒音計のマイクロホンを用いて車内の音圧を計測した。車の速度は、車載の速度計により計測を行った。実験においては、風の風速が結果に影響を与えることが考えられるが、走行時に風速を同時に計測することはできなかったため、本研究では車速を用いて結果をまとめている。また、走行条件(風速、道路脇の壁、他の走行車両)により計測される音圧は変動する。本研究の目的はスロップ音の低減であるため、複数の計測データの内、大きな音圧値を採用している。

ウインドスロップ音の低減

ヘルムホルツ共鳴が発生していると考えられるため、この共鳴を低減する方法を検討した。キャビティトーンは渦がキャビティの開放部をながれ下流の壁面に衝突すること

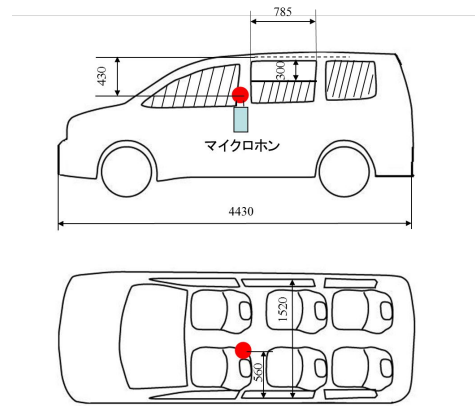


図1 実車における計測

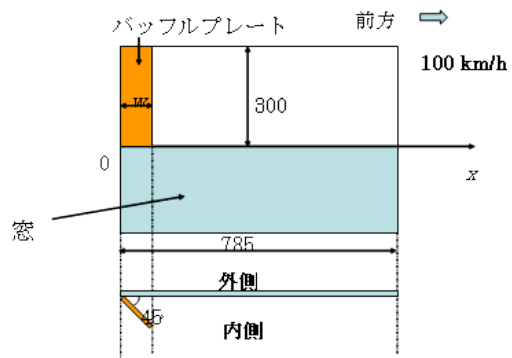


図2 バッフルプレート取付け

により音が発生する。この音の振動数が車内の固有振動数と近づくことにより、共鳴が起り大きな音が発生していると考えられるため、渦に対して対策をとることを考えた。ディフレクタを用いると開放した窓においてもウインドスロップ音が低減されるが、十分にスロップ音の発生を抑えることはできていなかった。本研究では、室内にバッフルプレート(じゃま板)を設置することにより、室内に流れ込む空気の流れの向きを変えることによりウインドスロップの発生防止を試みた。図2に実験装置の概略を示している。幅 w のじゃま板を窓の内側(室内)に進行方向から 45° 傾けて設置している。幅 w は 100 mm、200 mm および 300 mm の3通りで実験を行った。次に、幅 w は 100 mm に固定して、取付け位置 x を前側にずらして設置した。車速は最も大きな音圧が発生する 100 km/h で実験を行っている。

何も取付けていない場合の音圧とその周波数解析結果は 2.1 Pa の音圧で 13.5 Hz の振動数の低周波音が発生することが分かった。じゃま板の幅 w を変えた場合の音圧の計測とその周波数解析を行なった。じゃま板の幅 w が 100 mm ではほとんど音圧の低減は見られなかった。幅 w が 200 mm、300 mm と大きくなるに従い発生する低周波音の音圧が小さくなるのが観測された。したがって、大き

な幅で取付けることによりウインドスロブを防止することができる。この幅 w が 100 mm では防止効果がみられなかった。この幅 w が 100 mm のじゃま板を用いて取付け位置を変えて実験を行った。その結果、取付け位置 $x = 0$ mm では音圧の低減は見られない。しかし、取付け位置を前方に移すことにより低減効果が現れ $x = 0$ mm では音圧のピークが消えた。このことから、幅 w が小さい場合でも取付け位置を前方に移動することによりウインドスロブ音を低減することが可能であることが分かった。

室内小型装置での実験
ウインドスロブは乗用車の室内の空間が空気の流れに対してヘルムホルツ共鳴を起こしているものである。したがってその防止方法としては、ヘルムホルツ共鳴を防止することができる方法であれば実車においても適用ができる可能性があると考えられる。実車においては、多くの実験データを取ることは難しいため実験室でヘルムホルツ共鳴器を用いてその共鳴を防止する方法のメカニズムを検討する。

室内小型装置での実験

ウインドスロブは乗用車の室内の空間が空気の流れに対してヘルムホルツ共鳴を起こしているものである。したがってその防止方法としては、ヘルムホルツ共鳴を防止することができる方法であれば実車においても適用ができる可能性があると考えられる。実車においては、多くの実験データを取ることは難しいため実験室でヘルムホルツ共鳴器を用いてその共鳴を防止する方法のメカニズムを検討する。

小型実験装置

乗用車のモデルとして、製作した小型共鳴器を図 3 に示す。ヘルムホルツ共鳴器は高さ 600 mm、直径 250 mm、厚さ 10 mm のアクリル製の円筒を用い、開口部は縦 25 mm、横 50 mm の長方形である。固有振動数は 59 Hz である。風速と共鳴音

この実験では、ヘルムホルツ共鳴がある一定の流速以上の時に発生し、その周波数が共鳴器の固有振動数付近で起きていることを調べる。図 3 で示した実験装置の概略図よりコンプレッサからの空気をレギュレータに通して一定の圧力に調整した後、小型の風洞を用いて整流し、ヘルムホルツ共鳴器の開口部に向けて空気を水平に流した。そのときの風速を開口部の先端で熱線風速計により計測した。また、共鳴器の振動は開口部の近くで低周波騒音計を用いて計測し周波数解析した。この時使用した風洞の内径は高さ 10 mm、横 60 mm である。風速を 1 m/s ~ 16 m/s まで変化させ時の周波数と音圧の関係を示したグラフを図 4 に示す。風速 6 m/s から共鳴が始まり、風速を上げ一定以上の速度に

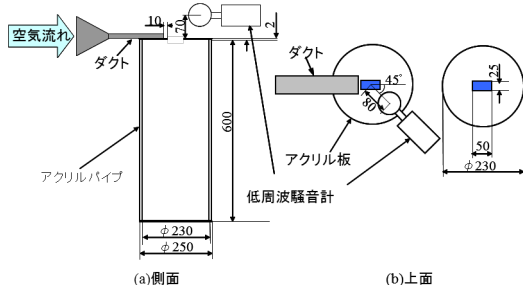


図 3 小型共鳴装置

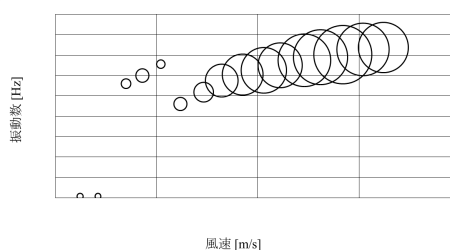


図 4 風速により発生する共鳴音

なると大きな振動するが、ある速度に達すると音圧が下がっていくことがわかる。固有振動数より 10 Hz ほど大きいところで大きく振動しているのは風が吹くことで開口部の空気が押し流され開口端補正が 0.8 ではなく小さくなったためだと考えられる。

振動発生時の空気の流れの可視化

この実験では、流れ場を可視化した。図 3 で示した実験装置の共鳴器にスモークジェネレータで発生させた煙を開口部から注入し、充満させる。また、開口部に上方からライトを当て、開口部に風を送り、振動させる。その時の開口部付近の煙の様子をカメラで撮影する。この時、風速は 12 m/s で実験を行った。この時の振動波形を同時に計測した。また、可視化した映像からの観察より内部の空気が外部に出でるときと、外の空気が渦を巻いて内部に入っているときがあることがわかる。周波数解析結果から分かった周波数と動画から計測した周波数が一致したことから、ヘルムホルツ共鳴は外部の空気が渦を巻いて共鳴器内に入るため起きるといえる。空気の流入出による共鳴器内の圧力差により空気の流入出を繰り返し振動が生じることがわかった。

バッフルプレートを用いた振動低減

この実験では、バッフルプレートの幅、角度、設置位置を変化させ、その時の振動の低減効果の変化を調べた。バッフルプレートのパラメータとして、設置位置 x 、幅 w 、角度 θ を用いた。実験方法は同様に風速 12 m/s で行い、開口部の内部にバッフルプレートを設置し、バッフルプレートの幅、角度、設置位置を変化させる。

バッフルプレート幅の効果

バッフルプレートの角度は 30°、設置位置は 40 mm に固定し、幅を 5 mm、10 mm、20 mm と変化させた。幅を大きくするにつれて振動が低減されていることが分かる。また、ある程度の大きさを超えるとその効果はほとんど変わらない。

取付け角度の効果

バッフルプレート設置位置は 40 mm、幅は実験で最も効果があった 20 mm に固定し、角度を 30°、60°、90°、120° と変化させた。実験結果から、幅が 20 mm であるにも関わらず、120° の時はほとんど低減効果が見られない。また、90° の時もあまり低減効果が見られないこのことからバッフルプレートは

鈍角よりも鋭角の方が良い。また、幅が20 mmでは、鋭角である場合、低減効果の考察が十分にできないため、5 mmとして角度を15°、30°、60°に変化させて実験を行った。実験結果から、15°の時は30°、60°に比べ低減効果が見られない。このことから、より鋭い角度にすれば効果が見られる訳でなく適切な角度があるといえる。

鈍角よりも鋭角の方が効果的であることは120°の時の結果と30°の時の様子の画像を観察することから分かった。バッフルプレートの幅は20 mm、設置位置40 mmである。実験の可視化データから120°の時は、渦を巻いて内部に空気が入っていることが分かるが、30°の時は、渦を巻いて空気が内部に入っていない。このことから鋭角の場合は渦がバッフルプレートに当たることなく内部に入ってしまうが鋭角の時は渦がバッフルプレートに当たり、空気が内部に入らないため振動が発生しないということが分かる。

設置位置の効果

バッフルプレートの幅は、小さな変化が分かるように5 mmに固定した。また、角度は30°で固定し、設置位置を10 mm、20 mm、30 mm、40 mm、50 mmと変化させる。

実験結果から10 mmから40 mmを見ると開口部の後方に設置するにつれて、音圧が下がっていることがわかる。しかし、50 mmの様に後方に設置し過ぎると音圧が上がっている。このことから、設置位置にも適切な位置があるということがわかる。

以上の実験結果を踏まえ、共鳴器の内部にバッフルプレートを設置する方法がウインドスロップの低減に有効かを考察する。

角度30°、20 mmのバッフルプレートを位置40 mmに設置した時と、角度30°、幅5 mmのバッフルプレートを位置40 mm設置した時バッフルプレートなしの波形とを比べどちらも、小さくなっていることがわかる。

バッフルプレートが20 mmの時は十分な大きさがあるため、可視化画像から渦が内部に入っていないことがわかる。一方、5 mmの時は、十分な大きさがないため、内部に空気が入っているがバッフルプレートを付けていないものと渦が逆向きであることが分かる。この二つに共通していることは、外部の空気が内部に大きく入っていないことだ。

以上の結果よりウインドスロップの低減に最も重要なことは、外部の空気流れにより発生した渦を内部に入れらないことである。小さいものでも発生した渦に対して適切な角度と位置に設置し、最大限の効果を発揮すればウインドスロップを防止することができることが明らかとなった。

4. 研究成果

自動車におけるウインドスロップについて計測を行い、その特性を調べた。さらに、ウインドスロップ音を低減するじゃま板を室内に取付けその効果について検討をして

いる。この方法により車速が1000 km/hでもウインドスロップを防止することができることを明らかにした。また、この方法でヘルムホルツ共鳴器の共鳴を防止することができることを実験により明らかにした。

ウインドスロップと同様のメカニズムであるヘルムホルツ共鳴器の自励音の防止方法について実験を行い、自励音を防止することが可能であることを明らかにした。その時の流れ場の可視化を行い渦の挙動を観察し、渦をじゃま板により共鳴器の内部に流れ込まないようにすることが自励音の防止に効果があることを明らかにした。

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3件)

(1)長嶺拓夫, 森博輝, 麻生剛史, 佐藤勇一, ヘルムホルツ共鳴器から発生する自励音の防止方法, 日本機械学会機械力学・計測制御部門, Dynamics & Design Conference 2013, USB 論文集, 査読無, No. 13-18, 358, pp.1-10, (2013)

(2)長嶺拓夫, 森博輝, 堀内一平, 佐藤勇一, ウインドスロップの防止方法に関する研究, 関東支部第19期総会講演会講演論文集, 査読無, pp.167-168 (2013).

(3)長嶺拓夫, 森博輝, 山中亨, 佐藤勇一, ウインドスロップの発生防止に関する研究, 日本機械学会機械力学・計測制御部門, Dynamics & Design Conference 2012, USB 論文集, 査読無, No.12-12, 511, pp.1-7, (2012)

〔学会発表〕(計3件)

(1)長嶺拓夫, 森博輝, 麻生剛史, 佐藤勇一, ヘルムホルツ共鳴器から発生する自励音の防止方法, 日本機械学会機械力学・計測制御部門, Dynamics & Design Conference 2013, (2013.8.26), 九州産業大学(福岡県・福岡市).

(2)長嶺拓夫, 森博輝, 堀内一平, 佐藤勇一, ウインドスロップの防止方法に関する研究, 関東支部第19期総会講演会, (2013.3.15), 首都大学東京(東京都・八王子市).

(3)長嶺拓夫, 森博輝, 山中亨, 佐藤勇一, ウインドスロップの発生防止に関する研究, 日本機械学会機械力学・計測制御部門, Dynamics & Design Conference 2012, (2012.9.18), 慶応大学(神奈川県・横浜市).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長嶺拓夫 (NAGAMINE, Takuo)
埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：00323379

(2) 研究分担者

佐藤勇一 (SATO, Yuichi)
埼玉大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：30134828

(3) 研究分担者

森博輝 (MORI, Hiroki)
九州大学・工学研究院・准教授
研究者番号：50451737