

様 式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 27 年 9 月 24 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560163

研究課題名(和文) 接触する大変形回転体の騒音予測技術の開発とタイヤ・車両騒音低減への応用

研究課題名(英文) Prediction of noise due to largely deformed rotational objects in contact and application to tire and vehicle noise reduction

研究代表者

中島 幸雄 (Nakajima, Yukio)

工学院大学・公立大学の部局等・教授

研究者番号：10594070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000 円

研究成果の概要(和文)：接触する大変形回転体の音源は接触面付近にあるため振動計測、音響計測が困難である。一方、従来の予測技術による検討は、構造体への入力モデル、FEAモード解析、音響解析を結合した陰解法FEMを用いているので、ある周波数のみの音が予測できるだけである。今回の研究では構造・音響の連成解析を陽解法FEMで解くことによって、上記課題を解決し時間軸における騒音の予測を可能し「音の見える化」を実現できた。タイヤの回転時に横方向溝によって生じる音と気柱管共鳴音も同時に予測でき、その周波数は解析的モデルと定量的に一致した。この研究によって接触する大変形回転体の騒音予測の手法が確立され、残課題も明確になった。

研究成果の概要(英文)：The noise source of largely deformed rotational objects cannot be identified, because it is difficult to measure vibration and noise near the contact area. The current procedure of predicting the noise consists of three steps; model for input force, FEA modal analysis and acoustic analysis. Since the prediction is performed by an implicit FEA, noise is just predicted at some frequency.

The objective of this research is to solve aforementioned problems by solving acoustic/structure interaction by an explicit FEA. The noise level containing every frequency can be predicted and visualized in time domain by the proposed idea. The effect of the angle of lateral groove of a tire and the pipe resonance noise can be predicted and the prediction is in good agreement with the analytical model. The remained subject is to eliminate the unrealistic noise in the prediction caused by salient points of the FEA tire model in the circumferential direction.

研究分野：設計工学

キーワード：タイヤ騒音 音響・構造連成解析 有限要素法 ALE法

1. 研究開始当初の背景

近年の自動車低騒音化により図1に示すように定常走行時におけるタイヤ騒音の自動車騒音に対しての寄与率が増加している．欧州では2012年から最大5dBのタイヤ騒音の大幅な規制強化が開始された．日本でも同等の規制が導入される予定であるため，タイヤ騒音の低減が急務となっている．このような背景から様々な方法を用いてタイヤ騒音の研究が行われている．

タイヤ騒音の低減をするには騒音低減手法の遮音を用いるのが困難であるため，タイヤ騒音の発生メカニズムを詳細に解明し騒音低減を図らなければならない．そのためにタイヤ騒音の音源がタイヤのどの部分にあるか明確にする必要があり，その研究には実験的手法と計算力学的手法が用いられている．実験的手法はタイヤの接触面付近に測定器を近づけることが難しいためタイヤ騒音の音源を測定することが困難である．一方，計算力学的手法は接触面付近の音源を予測することができ，図2に示すようにパターン入力解析，タイヤ振動解析，タイヤ放射音解析の3つ解析を実行することでタイヤが回転している際のタイヤ騒音を予測している．しかしこの手法では1回の音響解析で1つの周波数帯だけの騒音しか予測できずタイヤ騒音の全体像を「見える化」できないという問題点がある．

2. 研究の目的

本研究では計算力学的手法で構造体と音響の連成解析を用いて1回の解析でタイヤ振動とタイヤ騒音を同時に予測する手法の開発を行う．この手法を用いてタイヤ騒音を予測できれば様々な周波数の音を時間軸で予測でき，タイヤ騒音の実時間の「見える化」することができる．「見える化」によって騒音の発生メカニズムの解明も容易になり，新たな騒音低減改良手段の創出が期待できる．

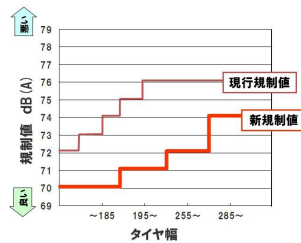
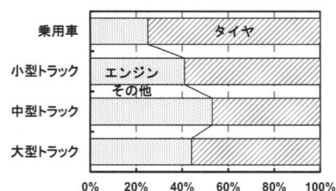


図1 定常走行時の自動車騒音へのタイヤの寄与と欧州のタイヤ騒音規制

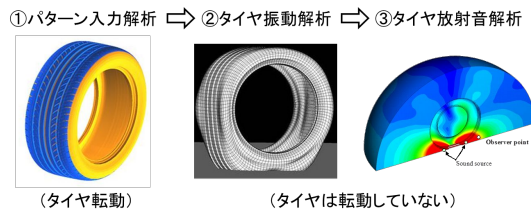


図2 力学計算的手法

3. 研究の方法

(1) タイヤ騒音予測モデルの作成

本研究ではタイヤ騒音予測モデルの開発を，タイヤの回転接触モデルの作成，ALE法を用いた構造・音響連成解析モデルの作成，計算と結果のポスト処理という3ステップで行った．

(1-1) タイヤの回転接触モデルの作成

回転接触モデルには図3で示す中実構造の簡易的なタイヤモデルと路面モデルを用いた．タイヤが路面に接触する際の接触定義はペナルティ法を用いてスレーブ面をトレッドゴムモデル，マスター面を路面モデルに設定した．回転接触モデルは図4の通りである．

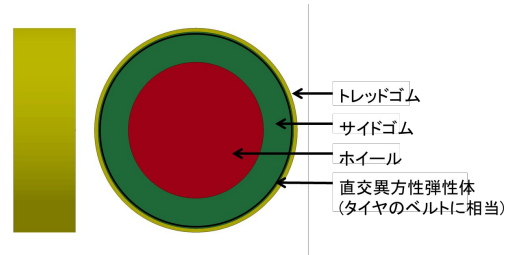


図3 タイヤモデル

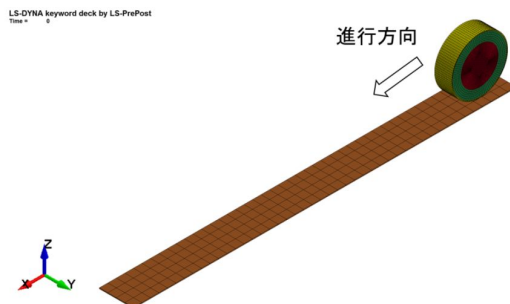


図4 タイヤと路面の回転接触モデル

(1-2) ALE 法の構造・音響連成解析モデルの作成

2.1 で述べたタイヤと路面の回転接触解析モデルに音響要素を付加して、ALE 法を用いた構造体と音響の連成解析モデルの作成をした。ALE 法とは流体/構造の連成解析などに用いられる手法で、作成した解析モデルを図 5 に示す。タイヤ表面セグメントをスレーブ面とし、音響要素全体をマスター面とした。音響要素の路面部分は完全反射条件、それ以外の空間は無限要素を定義した閉空間としている。この解析モデルを用いタイヤが転動した際に生じる振動が空气に伝搬する放射音を予測することができる。

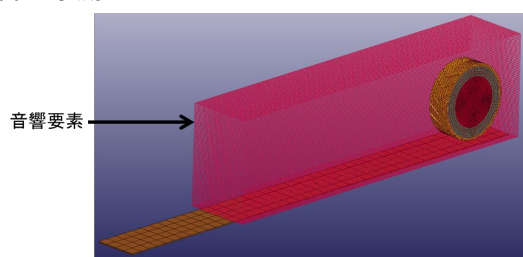


図 5 構造・音響連成解析モデル

4. 研究の成果

(1) 予測結果

図 6 は左方向に速度 60km/h で進む回転するタイヤの音響/構造連成モデルである。図 7 は計算したタイヤの音圧レベル分布の時間変化で、実時間での音の「見える化」が実現されている。図 8 は図 6 に示すタイヤの初期位置から約 2.3m 離れた要素を測定点として、その音圧の時間変化を高速フーリエ変換して周波数特性を導出したものである。音圧レベルはデシベル表示に変換した。例題として V 型溝と横方向溝の 2 種類のトレッドパターンを選び、開発した手法を用いて騒音を比較した。

図 8 において V 型溝と横方向溝の音圧に次の 3 つの違いがある。150Hz 付近で V 型溝のみ騒音低下する、850Hz 付近で V 型溝、横方向溝ともに大きなピークが存在する、900Hz 付近で横方向溝のみに小さなピークが存在する。

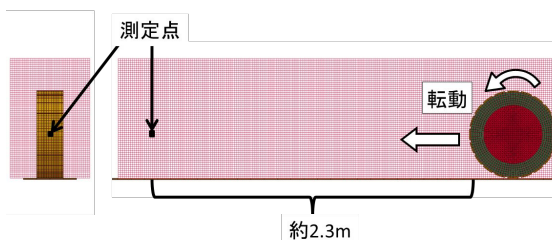


図 6 音圧測定点

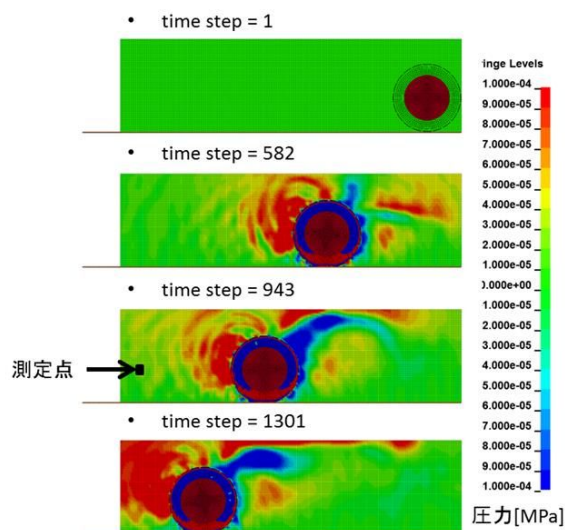


図 7 音圧分布の時間変化

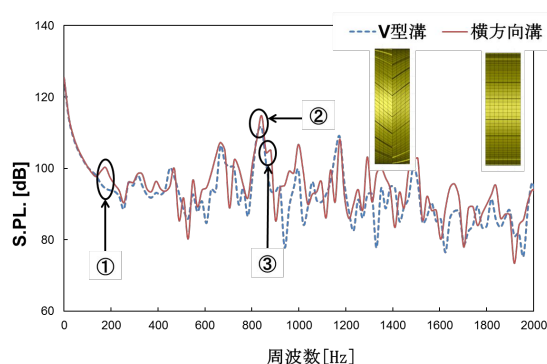


図 8 V 型溝と横方向溝付タイヤ騒音の周波数特性の比較

(2) 解析的モデルと予測モデルの比較

図 8 の 3 つの周波数帯でのタイヤ騒音について、解析的モデル[1,6]を用いて発生メカニズムを検討した。解析的モデルより と の周波数帯でのタイヤ騒音は、タイヤの溝が路面と接触する際の衝撃力によって生じるパターン加振音、路面と溝によって形成される気柱管から生じるパターン気柱管共鳴音であることが分かった。また、 の周波数帯でのタイヤ騒音は実際のタイヤでは発生しない騒音で、FEM によるタイヤのモデル化によって生じる多角形の角が路面に接触する際に生じる衝撃力に起因する騒音である。解析モデル[1]によって算出した周波数は、それぞ

れ、パターン加振音は 169[Hz]、パターン気柱管共鳴音は 880[Hz]、タイヤモデルに起因する騒音 845[Hz]であった。解析モデルと FEM のタイヤ騒音の周波数を比較すると、図 9 に示すように両者はほぼ一致した。

また、FEM で予測した の周波数帯でのタイヤ騒音は、V 型溝の方が横方向溝より小さいが、解析的タイヤ騒音の理論[6]からも同様の結果が得られている。以上より開発した予測技術の妥当性を検証できた。

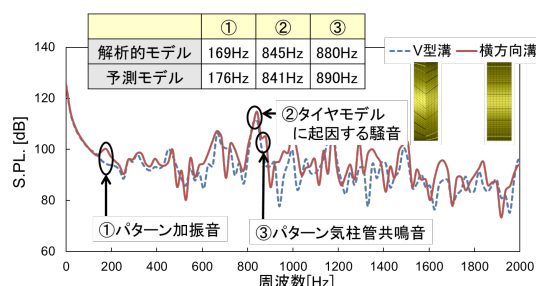


図 9 解析的モデルと予測モデルの比較

(3) 予測モデルの課題と解決法

丸いタイヤを周方向に FEM でモデル化する際に生じる角点によって、丸いタイヤでは生じない 850Hz の音がノイズとして予測結果に含まれる課題ある。解決法としてタイヤの溝に起因する音のみを抽出するために、溝付タイヤモデルの予測結果から溝なしのタイヤモデルの予測結果を差し引くことを試みた。850Hz の音圧レベルは下がったが、完璧に取り除くことができなかった。それ以外の解決法としてノイズの周波数を解析対象の周波数帯から外すために周方向のモデル分割数を増やすことが考えられるが、計算機容量の限界のためその効果を検証することは出来なかった。

また、音響モデルをタイヤの構造モデルに重ねて音響/構造の連成モデルを作成しているので、図 10 に示すようなタイヤ内部の音響要素に圧力変化が生じる問題が生じた。境界での漏れをコントロールする各種パラメータを変更したが、その影響を取り除くことは出来なかった。

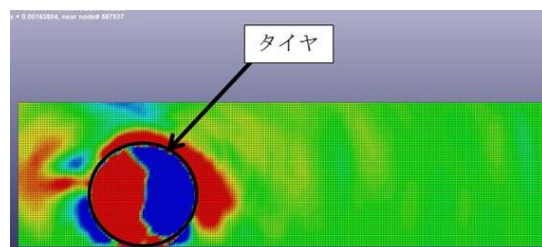


図 10 タイヤ内部の音響要素に生じる圧力変化

< 参考文献 >

- [1] 日本自動車タイヤ協会, 自動車交通と騒音, 第 7 版(2008)
- [2] 田中丈晴ほか, 音響ホログラフィ法を用いた加速時タイヤ騒音の解析, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 23-01(2001)
- [3] 坂本一朗ほか, 音響インテンシティによる実路面上とローラー上のタイヤ騒音放射特性の比較, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.3-03(2003)
- [4] 佐口隆成, 浦田幸恵, 富田達也, 加藤憲史郎, “FEM を用いたタイヤ騒音の予測,” 自動車技術会春季学術講演会, No. 40-08, pp.5-8 (2008)
- [5] 戸倉直, ALE 法に基づく流体・構造連成解析手法の工学問題への応用, 年次大会講演論文集, JSME annual meeting 2000(2), p137-138, 2000-07-31
- [6] Y.Nakajima, "Theory on Pitch Noise and Its Application", Journal of Vibration and Acoustics, Vol.125,No.3, pp.252-256(2003)

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)

K.Oouchi and Y.Nakajima, “Prediction of Exterior Noise by Considering Acoustic/Structure Interaction”, The 21st International SPACC Symposium, November, Tokyo

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島幸雄 (NAKAJIMA, Yukio)

工学院大学・グローバルエンジニアリング学部・教授

研究者番号：10594070