

吸音ホイールカバーによるタイヤ道路騒音の防止技術に関する研究

(第2報) シミュレーションによる吸音方式の基礎的検討

環境研究領域 ※田中 丈晴、坂本 一朗、坂本 行、
(鳥取大学) 西村 正治、後藤 知伸、廣津 誠、
(横浜ゴム (株)) 桂 直之

1. まえがき

タイヤ道路騒音は、騒音規制強化によって、相対的に顕在化傾向にあり、環境騒音改善の面から騒音防止技術の開発が求められている。経年劣化はあるものの道路舗装の改善対策やタイヤの溝及び構造の改良は、有効な対策であるが後者のタイヤ対策では、走行時の安全性・燃費性能の低下への懸念も指摘されている。これらの性能とトレードオフとならない新しいタイヤ騒音防止技術の開発は、民間の自主開発に期待出来ず、また、今後の自動車単体騒音の規制強化を検討する上でも重要な課題である。本研究では、タイヤ道路騒音の一層の低減を図るための新技術として、吸音効果を有する装置（以下、「吸音ホイールカバー」）をタイヤホイール部に付加することにより、走行時のタイヤ放射音の低減を図ることを目的としている。

このような低減手法に関しては、実験段階で騒音低減効果がある程度得られることの報告例はあるが、その低減メカニズムや騒音低減効果、実用上の技術課題等は、ほとんど明らかにされていない。¹⁾

本報では、タイヤから放射される騒音の低減効果と吸音ホイールカバーの音響的条件との関係を明らかにするため、数値音響によるシミュレーション手法を用いて検討を行った。これらの概要について述べる。

2. 吸音ホイールカバーの考え方

吸音ホイールカバーによるタイヤ放射音の低減の考え方を図1に示す。一般には、タイヤ走行時に放射される騒音は、主に、タイヤと路面の接地部及びその前後から騒音が放射される。その放射指向性や周波数特性は、タイヤの溝パターン及び構造、材料の他、走行速度、駆動力の作用状況により異なってくる。ここでは、タイヤの回転方向に対して、概ね法線方向に放射される騒音を主として低減すること

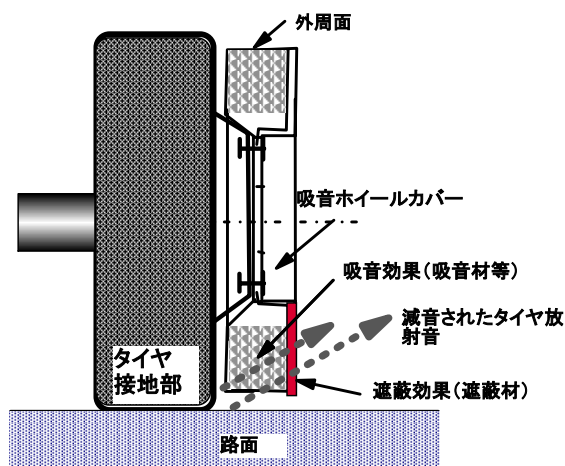


図1 吸音ホイールカバーによる騒音低減

を目的とした。

図1に示すように、タイヤ接地部から放射された直達音と路面による反射音とを吸音ホイールカバーの外周部の吸音材で吸音し、同カバー外側の遮蔽材で遮蔽効果を与えて、タイヤ放射音を低減する方法である。本研究では、走行時のタイヤ騒音が乗用車よりも大きく、かつ、ホイール形状が凸であるため、吸音ホイールカバーの装着が比較的容易であるトラック用タイヤを検討対象とした。特に大型トラックバス用タイヤでの検討が望ましいが、実験に関する制約や騒音低減のメカニズム及び減音特性が検証出来れば、タイヤサイズに関せず適用可能であると考えられるので、2トン積載の小型トラック用タイヤを検討対象とした。タイヤサイズは、205/65/R16 109/107L である。

本試験タイヤの縦たわみ及び横たわみ特性から、負荷時（10kN負荷）のたわみ量を求め、吸音ホイールカバーに許容される寸法条件を算出した。安全面を考慮し、現行の標準ホイールよりも外側に出ない条件で検討した結果、吸音ホイールカバーは、タイヤ外側に、最大幅26.6mm、上下方向は、タイヤ外径（675.6mm：無負荷時）より半径で22.6mm小さい形

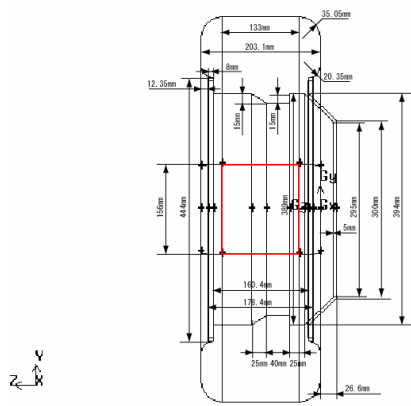


図2 タイヤシミュレーションモデルの作成

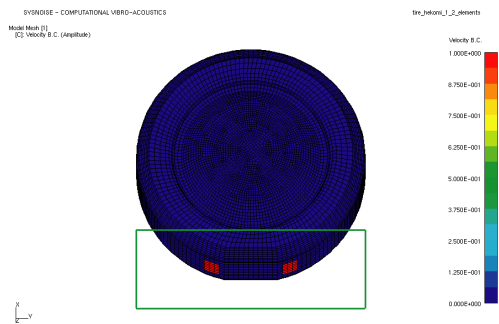


図3 粒子速度音源の設定

状までが許容されることが確認できた。

3. タイヤ放射音のシミュレーション

タイヤ放射音のシミュレーションは、LMS社の数値音響解析ソフトウェア（*SYSNOISE*）を使用した。波動方程式を適当な境界条件の下で解を得るものであるが、解析領域の境界部分だけのモデル化で済むことから、境界要素法による解析を行った。²⁾

図2に、検討対象のタイヤ及びホイールに関して、メッシュジェネレータソフトを用いて作成したモデルのZY平面での寸法を示す。また、走行時タイヤの音源は、図3に示すように、タイヤ接地面の前・後方に設定し、境界条件として、全周波数において振幅が一定 ($u=1$)、音源面積が約 $0.0067(\text{m}^2)$ の粒子速度音源を仮定した。また、図4に示すタイヤ

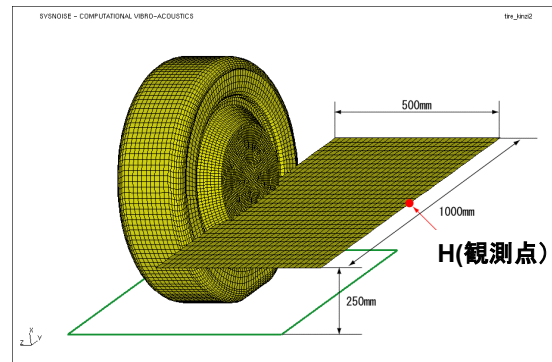


図4 境界要素（要素数：約15000）と観測点

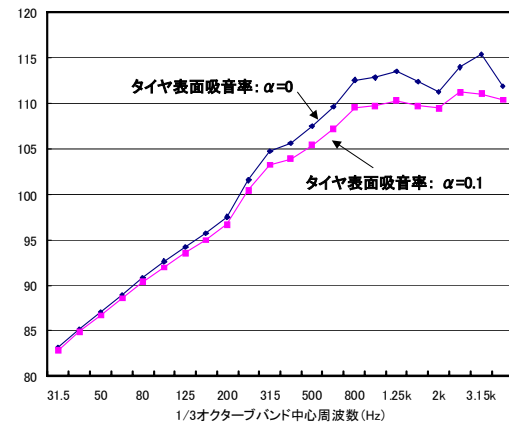


図6. タイヤ表面インピーダンスを考慮した場合の音圧レベル変化（観測点：H）

放射音の観測面の点Hを基準に、解析結果に対する路面（完全反射面と仮定）及びタイヤ表面インピーダンスの影響を検討した。

図5 (a) (b)に、観測点Hでの路面反射の影響に関する解析結果を示す。路面条件を設定しない場合のモデルは、路面条件ありのモデルより各周波数での音圧レベルが約6dB程度低く、路面による反射音の影響が認められる。

図6に、タイヤ表面インピーダンスを考慮し、タイヤ表面吸音率 $\alpha=0.1$ と設定した場合と $\alpha=0$ とした場合の各音圧の1/3オクターブバンド周波数分析結果を比較した。315Hz付近から周波数が増加するに
したが、 $\alpha=0.1$ とした方が、バンド別音圧レベル

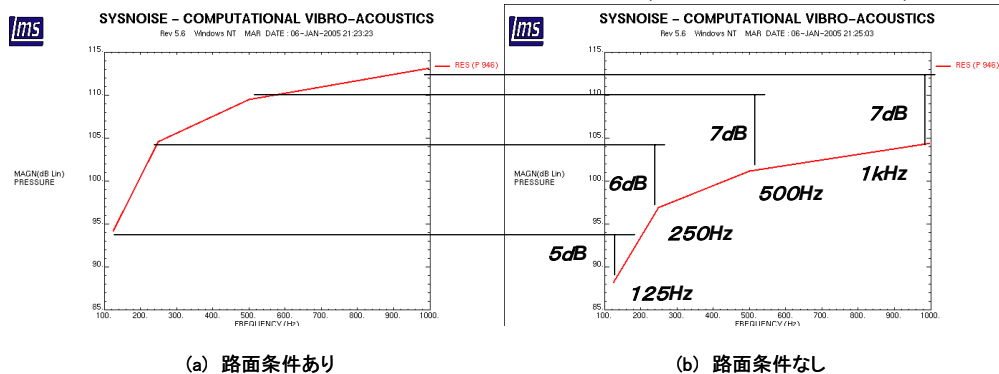


図5. 路面条件（完全反射面）設定の有無による音圧レベル変化（観測点：H）

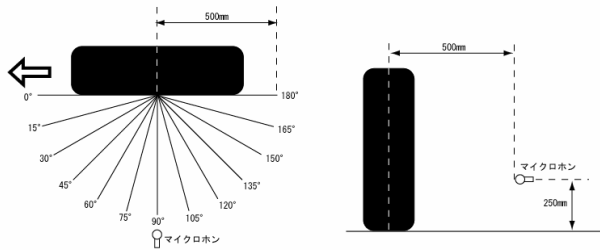


図7. タイヤ放射音の測定位置

が低くなり最大約4dB程度までの減少が認められる。なお、タイヤ吸音率 $\alpha=0.1$ は、タイヤ表面インピーダンスの実測結果のばらつきが大きいため、平均した結果から、モデル化したものである。

次に、これらのタイヤ放射音のシミュレーションモデルの妥当性を検証した。図7に、タイヤ放射音の測定位置を、図8に、室内台上で40km/hの一定速度でローラ側から駆動させた場合のタイヤ放射音の実測値とシミュレーションによる計算値を比較した。実測値では、速度条件や曲率を有するローラ面での反射等の影響により指向性が変化することが考えられるため、厳密な検証は困難であるが、結果から125Hzの場合を除けば、計算値は、実測値の示す指向性の特徴を基本的によく表しており、シミュレーションモデルは、概ね妥当なものと考えられる。

本シミュレーションでは、この測定位置を基準にして、吸音ホイールカバーの境界条件と放射音の減音効果との関係を考察した。

吸音ホイールカバーによる減音量の限界を概ね推定するため、以下の二つの理想的な境界条件を設定した。

- ① ホイールカバー外周面での境界で、全周波数において吸音率 $\alpha=1$ （全て吸音）である条件
- ② ホイールカバー外周面での境界で、全周波数において音圧 $P=0$ （空気振動が存在しても音が発生

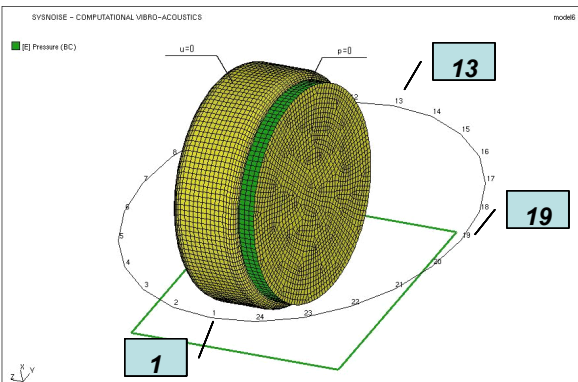
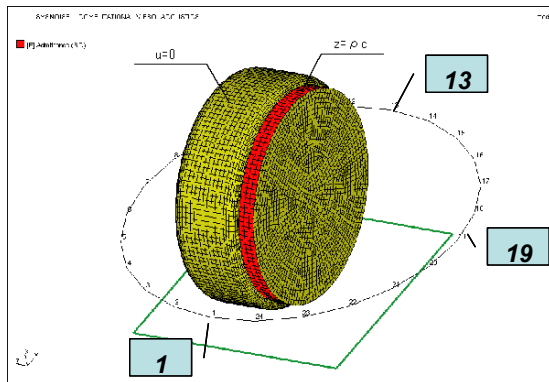


図9. 吸音ホイールカバーの境界条件（左： ρC 境界（図中赤色）、右：ソフト境界（図中緑色））と放射音の計算位置

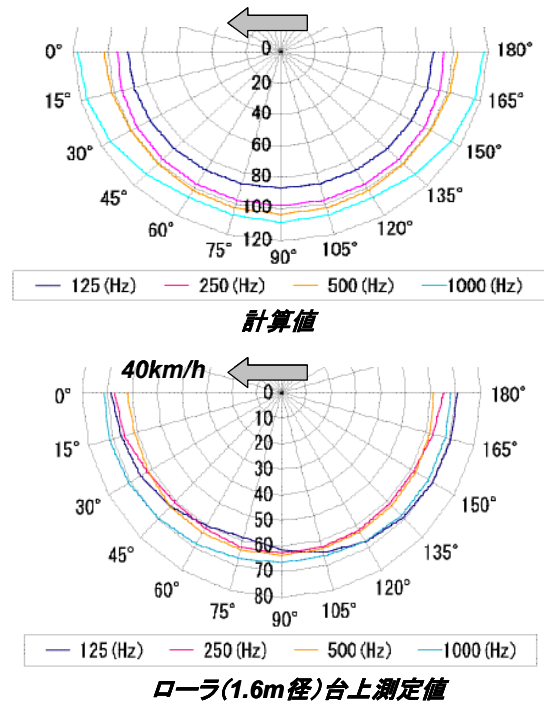


図8. 計算値と実測値との比較

しない) である条件

前者は、単位面積音響インピーダンスを z 、空気密度を ρ 、音速を c とすると、 $z = \rho c$ で表され「 ρc 境界」とする。後者は、 $z = 0$ で表され、一般には、これは、共鳴管やアクティブ制御等で近似的に実現可能な「ソフト境界」と呼ばれている。³⁾

図9に、これらの吸音ホイールカバーの境界条件を含むタイヤのシミュレーションモデルと放射音の計算位置を示す。（数値は、タイヤの前方、後方、90度側方の測定点番号）

4. シミュレーション結果と考察

路面条件とタイヤ表面インピーダンス（ $\alpha \approx 0.1$ ）を考慮し、上記の境界条件に関してシミュレーション計算を行った。吸音ホイールカバーによる減音量を算出した結果を図10、11に示す。図10から、

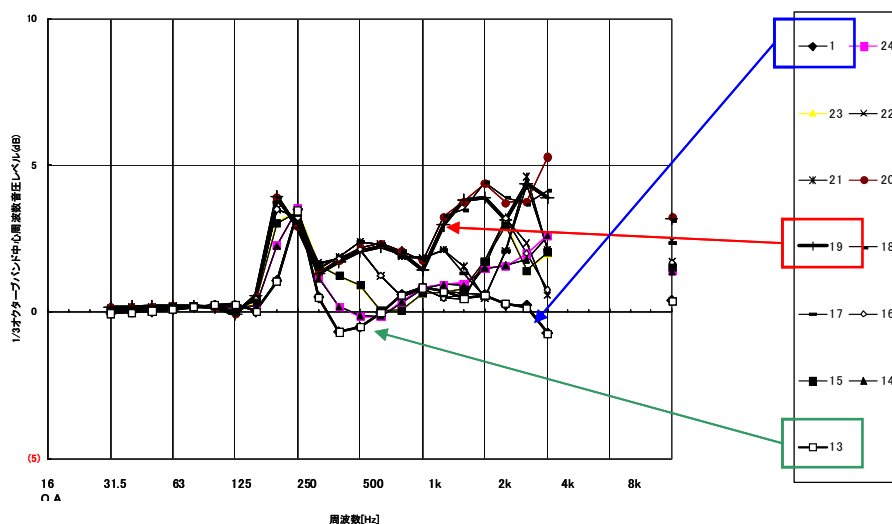


図10. 吸音ホイールカバー
外周面を ρC 境界とした場合
の減音量

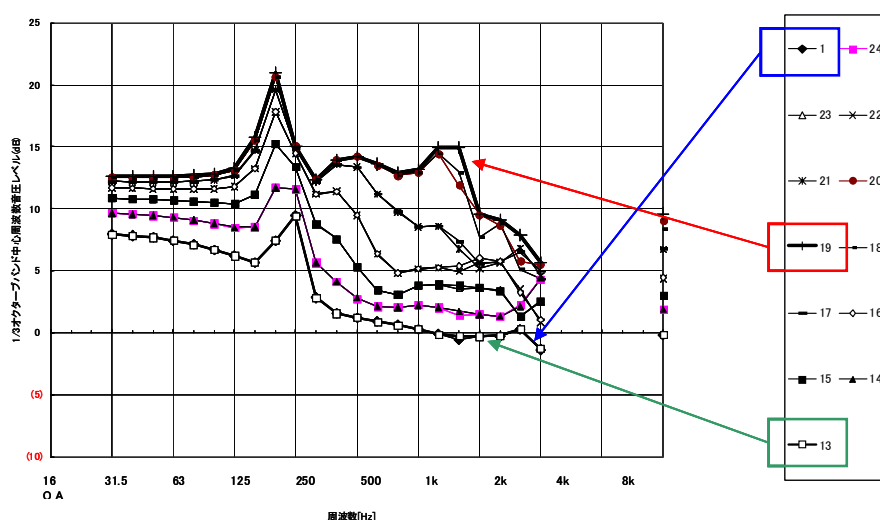


図11. 吸音ホイールカバー
外周面をソフト境界とした
場合の減音量

ρC 境界条件では、200Hz～250Hz付近の帯域では、周波数に関係なく4dB程度の減音効果が得られているが、それ以上の帯域においては、90度側方 (No. 19) では同程度の減音効果が得られるが、タイヤ前方 (No. 1) 及び後方 (No. 13) では、減音効果は小さい。図11のソフト境界条件では、計算対象の全ての帯域で大幅な減音効果が得られている。とくに、90度側方 (No. 19) で減音効果が最も大きく約13dB～20dB程を示し、タイヤ前方 (No. 1) 及び後方 (No. 13) では、1kHz以上の帯域では減音効果が殆ど得られていない。これらの結果から、前者では、広帯域で吸音率の高い吸音材を用いれば、広い周波数範囲で減音効果が期待出来るが、減音量が数dB程度であること、また、後者では、大幅な減音効果が期待出来るが、共鳴管やアクティブ制御等でソフト境界を実現できる周波数範囲に依存すること、また、両境界条件ともに、タイヤ接地点90度側方での減音効果は最も大きく、タイヤ前方、後方では、減音効果が小さ

いことが明らかとなった。

5. まとめ

数値音響解析ソフトウェアSYSNOISEを用いて、タイヤ放射音のシミュレーションを行った。計算値と実測値とを比較し、シミュレーションモデルの妥当性を検証し、さらに、吸音ホイールカバー外周面に理想的な境界条件を設定し、減音量の限界と減音特性を把握した。これにより、吸音ホイールカバーの基本的な設計指針を得ることが出来た。今後、引き続きシミュレーションの精度向上を図るとともに、模型実験等により減音効果に関して検証を行う予定である。

参考文献

- 1) H10年度環境保全研究成果ダイジェスト集, 環境庁企画調整局, pp112-117
- 2) 石川, 技術報告(2) 振動騒音の最適化, (社) 自動車技術会, pp169-172
- 3) 大西他「アクティブソフトエッジ遮音壁の開発-第1報-」音講論 (1997年9月), pp739-740