

音響インテンシティによる実路面上とドラム上の タイヤ騒音放射特性の比較

環境研究領域	坂本 一朗	田中 丈晴	坂本 行
	緒方 正剛	村上 孝行	
横浜ゴム（株）	桂 直之	藤河 義明	

1. まえがき

自動車の交通騒音は、環境基準の達成率が依然として低く、早急な改善が社会的に要請されており、自動車単体騒音の一層の低減が求められている。そのため、騒音規制が段階的に強化され、特に加速走行騒音の強化によってエンジン等から発生する騒音は大幅に低減した。しかしその結果、相対的にタイヤ/路面騒音が大きくなり、すでに、EUではタイヤ単体騒音の規制が実施されることとなっている。タイヤ騒音の試験法としては、実車惰行法とトレーラ法があり、どちらもテストコースなどで、ISO10844で規定された路面（以下、ISO路面という）を用いることとされている。しかし、ISO路面を用いても路面によって騒音レベルにばらつきが出るという問題点が指摘されており、ISO路面の規格の改訂も検討されている。また、テストコースでの測定は路面温度や気温、風速による影響を受ける。それらの問題点を解決するために、室内の台上で測定を行うドラム法が検討された経緯がある。ドラム法による測定は、テストコースでの測定とは条件が異なるため、試験法として使用することは困難であると考えられているものの、再現性があり環境変化の影響が少ないため、研究開発や詳細なタイヤ騒音発生メカニズムの解明に多く使用されている。しかし、実際の路面上とドラム上でタイヤ騒音の発生がどの程度異なっているかについては、あまり明らかにされていない。

本研究では、テストコースのISO路面での測定とドラム上での測定とのタイヤ騒音の放射特性の違いを明らかにするために、タイヤ騒音測定用のトレーラ（以下、トレーラという）を用いて、タイヤ近傍で音

響インテンシティを測定したので、その結果について報告する。

2. 実験方法

2.1. ISO路面上における測定

ISO路面上における測定は、埼玉県熊谷市にある交通安全環境研究所自動車試験場のテストコース内に施工されたISO路面上で行った。図1に、測定に使用したトレーラ（財団法人日本自動車研究所所有）を示す。トレーラの左側の車輪に測定対象のタイヤを装着し、右側にはスリックタイヤを装着した。測定対象のタイヤには425kgの荷重がかかるようにトレーラにウエイトを載せた。このトレーラを牽引車からの騒音が測定値に影響しないように牽引車の後方に3.78mのアームを介して接続した。さらに、テストコースに幅0.6m長さ30mのカーペットを2枚敷き、測定対象以外のタイヤについては騒音をできるだけ小さくするようにカーペット上を走行させた。走行中に発生するタイヤ騒音を、タイヤの近傍に設置した3次元の音響インテンシティプロープによって測定した。



図1 測定に使用したトレーラ

● 測定点(水平方向は10cm間隔)

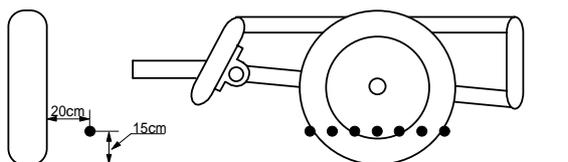


図2 音響インテンシティの測定位置



図3 テストコースでの測定状況



図4 ドラム上での測定状況

音響インテンシティの測定は、タイヤのサイドウォールから 0.20m、路面からの高さ 0.15m の位置で、タイヤと路面の接地面を中心として、タイヤ前後に 0.10m、0.20m、0.30m 離れた位置の 7 点で測定した。タイヤと測定点の位置関係を図 2 に示す。

騒音測定は、牽引車を定常 55km/h で走行させ、測定対象のタイヤが ISO 路面上を走行しているときの 2 秒間を 50ms 間隔で測定し、その平均値を求めた。

2.2. ドラム上における測定

ローラー上における測定は、当所の音響実験棟内にあるシャーシダイナモメータを用いて行った。シャーシダイナモメータは半無響室(縦 15m、横 15m、高さ 7m)内のほぼ中央位置にあり、ローラーの直径は約 1.6m、ローラーの周長 5m で、ローラー表面は ISO 路面の表面の型を取った厚さ 10mm の硬質ウレタン製のパッド(以下、ISO 模擬パッドという)が貼付されている。トレーラの左側に測定対象のタイヤを装着

表1 試験用タイヤ(A,B,C,D)の仕様

	ベルト角度	トレッド部ゴム材質(キャブトレッドコンパウンド)	
		JIS硬度	tan
タイヤA	基準値	基準値	基準値
タイヤB	基準値 + 7°	基準値	基準値
タイヤC	基準値	基準値 + 2%	基準値 + 40%
タイヤD	基準値	基準値	基準値



(a) タイヤA,B,C(共通) (b) タイヤD

図5 試験用タイヤのトレッドパターン

し、測定対象のタイヤのみをローラー上に載せ、ローラー側から 55km/h の一定の速度でタイヤを駆動させた。このときに発生するタイヤ騒音を、テストコース上での測定と同一の条件で測定した。ドラム上での測定の状況を図 4 に示す。

2.3. 測定に用いたタイヤの仕様

測定に用いたタイヤは、タイヤサイズ 215/70R16 で、タイヤのトレッドパターンはすべて同一であり、タイヤの特性に影響を与えるベルト角度、JIS 硬度および tan が異なるタイヤ 3 種類を用いた。ここでは、基準とするタイヤをタイヤ A、タイヤ A に比べてベルト角度を 7° 増加したタイヤをタイヤ B、タイヤ A に比べて JIS 硬度を 2% 及び tan を 40% 増加させたものをタイヤ C と記す。また、比較のためにタイヤ A と同じ特性を有するスリックタイヤも用いた。スリックタイヤをタイヤ D と記す。タイヤ A~D の仕様を表 1 に示す。また、測定に用いたタイヤのトレッドを図 5 に示す。

2.4. ドラムの違いによるタイヤ騒音特性の違い

路面と台上での測定では条件の異なる点がある。ここでは、異なる条件のうち測定が可能なものについて比較する。

実際の路面と、ドラム上の ISO 模擬パッドでは、表明性状は明らかに異なる。図 6 に、ISO 路面と ISO 模擬パッドの表面の写真を示す。路面は ISO で規定されたアスファルトコンクリートの路面で、ドラムの表面は硬質ウレタンである。性状を表すものとして路

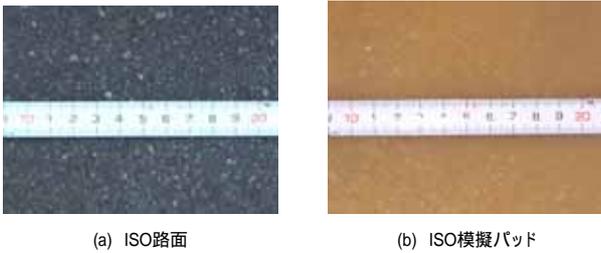


図6 ISO路面とISO模擬パッドの表面の比較

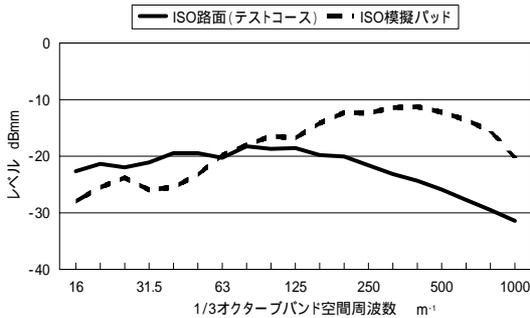


図7 ISO路面とISO模擬パッドの路面プロファイルの比較

面粗さ、TD 値、吸音率などがあるが、これらのうち測定した結果について比較する。まず乾燥時の摩擦係数(英国式ポータブルスキッドレジスタンステスターによる測定値)は、ISO路面:1.17、ISO模擬パッド:0.60で、ISO模擬パッドはISO路面に比べるとかなり滑りやすく、スリップしやすいと考えられる。図7に両者の路面プロファイルを示す。それぞれ、1mの区間の路面凹凸を測定し、1/3オクターブごとの空間周波数のレベルを示している。63m⁻¹を境に両者のレベルの大きさが逆転しており、それよりも低い空間周波数ではISO路面のレベルが高く、それ以上の空間周波数ではISO模擬パッドのレベルが高くなっており、特に、125m⁻¹以上では10dB以上高くなっている。ISO模擬パッドは、空間周波数が高いほどレベルが高くなっており、ISO路面に比べて表面のきめが細かいということがわかる。図8は両者の吸音率を比較したものである。吸音率は垂直入射吸音率を測定するインピーダンス管を路面に垂直に立てて測定した。ISO10844では、ISO路面の吸音率は400Hzから1.6kHzの範囲で0.1以下と規定されている。図8からISO模擬パッドの吸音率は1.6kHzまで0.1以下であり、また、ISO路面吸音率とほぼ同様な値となっていることがわかる。図9に、平滑面上とドラム上でのタイヤとのフットプリントを示す。正確に比較を行う

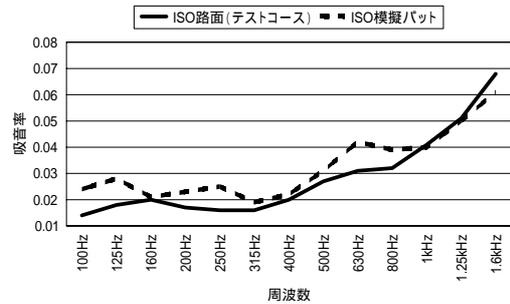


図8 ISO路面とISO模擬パッドの吸音率の比較

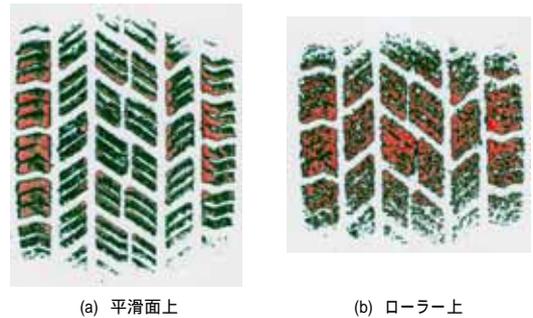


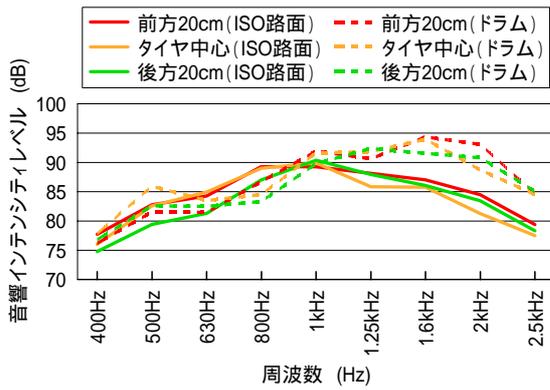
図9 平滑面上とドラム上でのフットプリントの比較

場合は、平滑面ではなくISO路面上で測定するべきであるが、接地面の形状を詳細に調べるために平滑面上で行った。図の結果は、タイヤAの場合であるが、平滑面上に比べ、ドラム上では曲率があるため接地面積が小さくなっている。前後方向の最大接地長さは、平滑面では16.7cmでドラム上では13.5cmであった。色は圧力の大きさを示しており、赤色は圧力が高く、緑色は圧力が低い。タイヤにかかる荷重が等しいので接地面での圧力は、ドラム上の方が大きくなっている。平滑面では、タイヤの外側(ショルダ部)での圧力が高いが、ドラム上では外側だけでなく中心部の圧力も高くなっている。

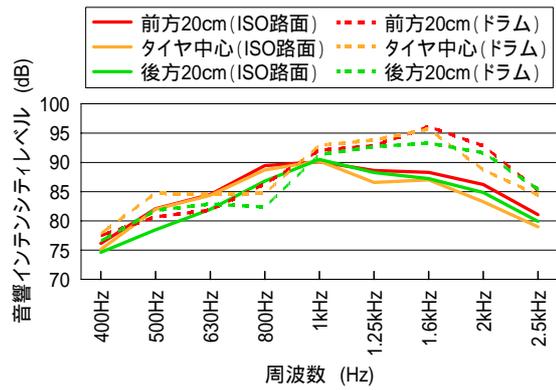
3. 実験結果

はじめに、タイヤ近傍で測定した音響インテンシティレベルの比較を行う。音響インテンシティはx、y、zの3方向の成分に分解されて解析されるため、3方向を合成した音響インテンシティレベルを求めその値を比較した。

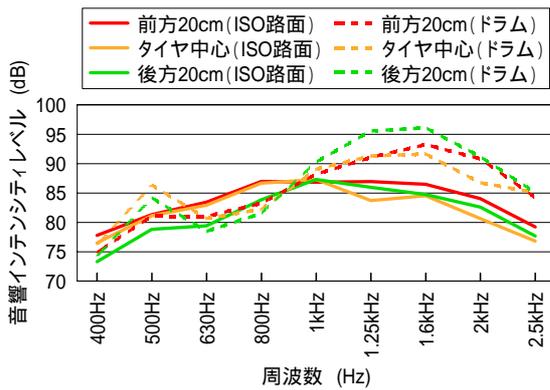
図10に、タイヤA、B、C及びDの1/3オクターブバンドが400Hzから2.5kHzの音響インテンシティレベルを示す。実線はISO路面での結果、点線はドラム上の結果である。表示した結果は、タイヤ中心とタイヤの前後20cmにおける測定位置の結果であ



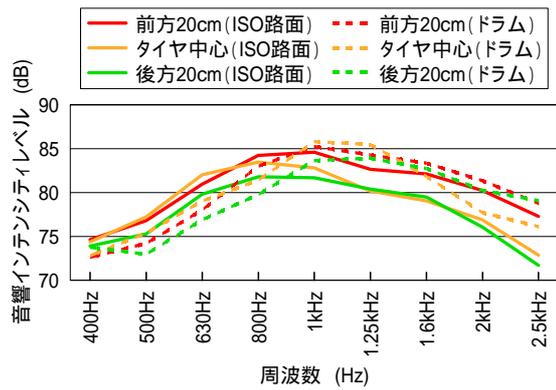
(a) タイヤA



(c) タイヤC



(b) タイヤB

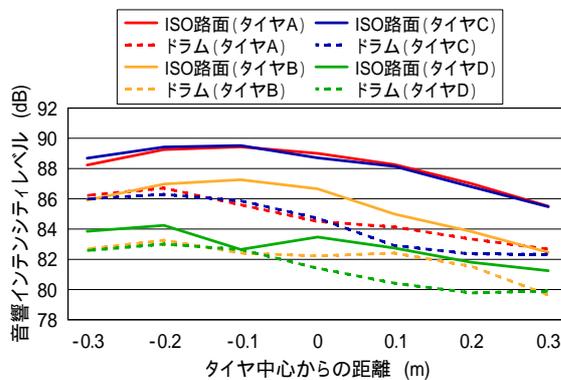


(d) タイヤD

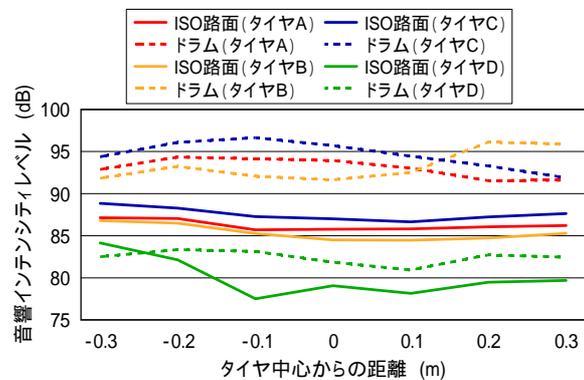
図 10 ISO 路面上とドラム上における音響インテンシティレベルの比較

る。溝を持つタイヤ A、B 及び C の結果はいずれも、1kHz 以上の周波数で、ドラム上の音響インテンシティレベルが ISO 路面上に比べて大きくなっており、測定位置や周波数によっては 5dB 以上大きくなっているものもある。また、溝のないタイヤ D の結果においても、溝を持つタイヤほど大きなレベル変化はないものの、1kHz 以上でレベルが大きくなり、800Hz 以下ではレベルが小さくなっている。図 7 の結果から、空間周波数が 63m^{-1} で ISO 路面と ISO 模擬パッ

ドの路面プロファイルのレベルが逆転しており、時速 55km/h の場合、この空間周波数による路面凹凸の加振周波数は約 960Hz になる。従って、これ以下の周波数では ISO 路面の方が加振力が大きく、これ以上の周波数では ISO 模擬パッドが貼付されているドラム上の方が加振力が大きくなり、このためタイヤ D の結果のように ISO 路面上とドラム上での騒音レベルに差が生じたと考えられる。タイヤ A、B、C では、500Hz、1.6kHz でドラム上のレベルがピークとなっ



(a) 800Hz



(b) 1.6kHz

図 11 ISO 路面上とドラム上における各測定点の音響インテンシティレベルの比較 (タイヤ A)

ているが、これは後に述べるように溝に起因すると考えられる。次に、図 10 の結果において ISO 路面上とドラム上でのレベルの差が大きい 800Hz と 1.6kHz の結果について、それぞれのタイヤの各測定点でのレベルを比較した。図 11 にその結果を示す。まず、(a) の 800Hz の結果では、すべてのタイヤで ISO 路面上でのレベルが大きくなっている。タイヤ A と C の ISO 路面上でのレベルが最も大きく、また、両者はほぼ同じ値である。タイヤ B の ISO 路面上のレベルはタイヤ A に比べると 2dB 程度小さくなっているが、各測定点での音響インテンスティレベルの変化は同様な傾向であった。タイヤ B はタイヤ A や C に比べてベルト角度が 7° 大きいいため周方向剛性が小さく、そのため騒音も小さくなっている。タイヤ D は溝がないが、各測定点でのレベルの変化の傾向は溝を有するタイヤとほぼ同様であった。従って、この周波数帯の騒音は溝ではなくタイヤのサイド部の振動に起因すると考えられ、騒音の大きさは溝がないと最も小さく、溝があると振動が増加するために騒音が大きくなり、タイヤ周方向剛性が大きくなるとさらに大きくなると考えられる。ドラム上ではすべてのタイヤで音響インテンスティのレベルが小さくなっているが、これは、路面凹凸による加振入力の違いによるものと考えられる。図 11(b) は 1.6kHz の結果である。800Hz の結果とは逆に、ドラム上のレベルが大きくなっている。特に溝があるタイヤ A、B 及び C は 5dB から 10dB 程度大きくなっており、タイヤの違いによるレベル差は 800Hz の結果ほど顕著ではない。従って、この騒音は溝に起因すると考えられる。このタイヤのピッチノイズの基本的な周波数は 530Hz ~ 540Hz で、3 次のピッチノイズは 1.6kHz の周波数帯になる。また、このタイヤの基本的なブロックは、2 本のサイブによって分割された 3 つの小ブロックで構成されているため、基本周波数帯が 1.6kHz になると考えることもできる。従って、1.6kHz の周波数帯でドラム上でのインテンスティレベルが増加したのは、ISO 路面上よりもピッチノイズが大きく発生するためであると考えられる。これに対して、タイヤ D は溝がないため、ドラム上でのレベル変化も溝があるタイヤに比べると小さくなっている。

次に、図 11 で示した周波数帯について、音響インテンスティの放射特性を表すベクトル図を比較した。ここではタイヤ A の結果について示す。

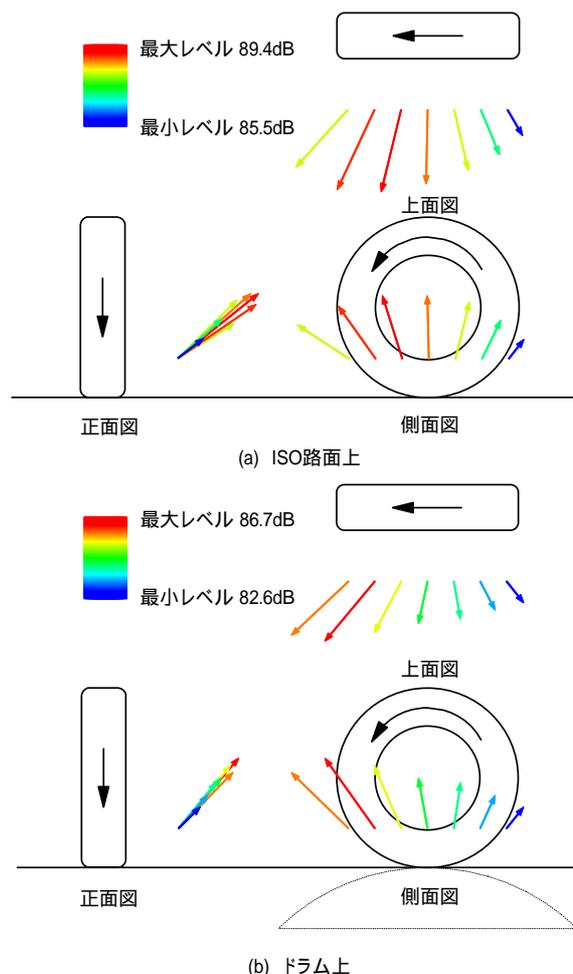


図 12 ISO 路面とドラム上における音響インテンスティベクトル線図の比較 (タイヤ A, 800Hz)

図 12 は、タイヤ A の ISO 路面とドラム上における 800Hz の音響インテンスティベクトル線図である。ISO 路面上での結果は、音響インテンスティのベクトルをタイヤ方向へ延長するとタイヤと路面の接地部に当たり、騒音がタイヤ接地面付近から発生していると考えられる。しかし、ドラム上の結果では、正面図の音響インテンスティのベクトルをタイヤ側へ延長させてもタイヤ接地面には当たらず、また、テストコース上の結果に比べると前方へ向かって放射されている。これは、ドラムは曲率があり、ISO 路面上とドラム上では騒音の反射が異なっているためにインテンスティの向きに違いが出たと考えられる。

図 13 に、タイヤ A の ISO 路面とドラム上における 1.6kHz の音響インテンスティベクトル線図を示す。図(a)の ISO 路面上での音響インテンスティベクトル線図の結果は、側面図では接地面の前後の音響インテンスティベクトルが大きく、接地面の中心でのベクトルは小さい。先にも述べたように、1.6kHz はこのタ

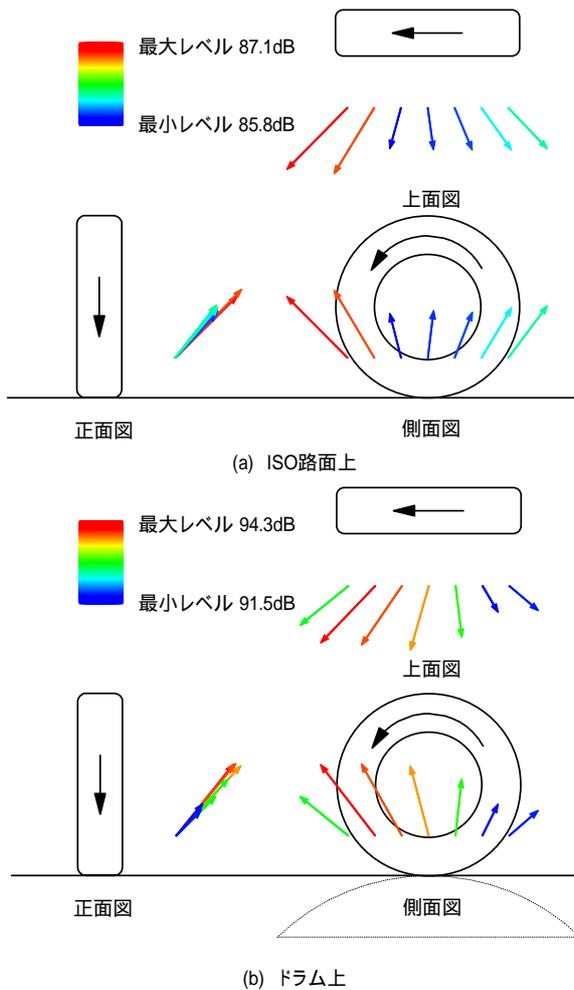


図 13 ISO 路面上とドラム上における音響インテンシティベクトル線図の比較(タイヤ A, 1.6kHz)

イヤのピッチノイズの周波数帯である。従って、ピッチノイズがタイヤの踏み込み部と蹴り出し部から大きく放射されていると考えられる。一方、図 13(b)のドラム上の結果では、接地部から騒音が発生しており、そのレベルも ISO 路面上に比べて 7dB 程度大きくなっている。ドラム上ではタイヤの接地面積が小さいため接地圧が大きくなり、また、ドラムの表面は ISO 路面に比べるとスムーズであるため、ドラム上ではピッチノイズが発生しやすい傾向にある。また、タイヤとドラムの接地部の長さが短く、さらにドラムに曲率があるため、ISO 路面上のように踏み込み部と蹴り出し部からではなく、接地部から騒音が放射されているように測定されたと考えられる。ドラム上でピッチノイズが大きく発生することは、図 10 のタイヤ A、B、C の結果において、ピッチノイズの基本周波数である 500Hz でもドラム上でのインテンシティレベルが大きくなっていることからわかる。

4. まとめ

ISO 路面上とドラム上でのタイヤ騒音放射特性の違いを調べるために、トレーを用いてタイヤ近傍で音響インテンシティを測定し、ISO 路面上とドラム上で異なる点を考慮しながら、両者の測定結果を比較した。その結果、ドラム上では、ドラムに曲率があるためタイヤ騒音の反射形態が変化し、また、路面プロファイルの違いによる加振周波数の加振力の大きさの違いなどによって、タイヤ騒音放射特性が ISO 路面上の結果に比べてかなり変化することが分かった。今回測定を行ったドラム上では、ISO 路面上に比べて 800Hz 以下の周波数帯では音響インテンシティのレベルが小さくなり、1.25kHz 以上の周波数帯域ではレベルが上昇した。また、ドラム上では ISO 路面上に比べてピッチノイズが大きく発生することが認められた。

今後は、セイフティウォークを貼付したドラムや、当所以外の直径の異なるドラム上で装用の測定を行い、ISO 路面上とドラム上でタイヤ騒音放射特性が異なる点を詳細に検討していく方針である。

参考文献

- (1) 押野康夫ほか,路面の違いによる自動車走行騒音の変化,自動車研究,Vol.13, No3, p.94-97(1991)
- (2) 富田尚隆,自動車騒音の発生源と低減対策 - タイヤ/路面騒音 -, 騒音制御, Vol.19, No.3, p.110-114(1995)
- (3) 小西 哲, タイヤ道路騒音のドラム試験法 - ミディアムテクスチャー路面(NTS-1)を用いたマイク移動法 -, 自動車技術会学術講演会前刷集 966, p.141-144(1996)
- (4) 尾崎敏夫, タイヤ道路騒音とその低減対策, 自動車研究, Vol.22, No.12, p.573-578(2000)
- (5) EU 2001/43/EC, Directive 2001/43/EC, The Official Journal(2001-8)
- (6) Ulf Sandberg and Jerzy A. Ejsmont, TYRE/ROAD NOISE REFERENCE BOOK, INFOMEX(2002)