

ロードノイズ伝播経路解析

Analysis of Road Noise Transfer Path

浦野 剛*

Tsuyoshi URANO

要 旨

音は空気伝播音および固体伝播音の両者で構成される。ロードノイズでは、路面の違いにより両者の構成比率が異なっていることが予想される。これを明らかにすることにより、効果的かつ定量的なロードノイズ対策手法の検討が可能と考えた。簡易的な空気／固体伝播音分離手法を検討したので、その手法の提案と適用事例を報告する。

ABSTRACT

Road noise is composed of air-borne and solid-borne noise. It is assumed that the ratio of air-borne and solid-borne noise in road noise depends on rough road surfaces. By making this point clear, effective countermeasures for road noise can be proposed. This paper presents the separation methods of air-borne and solid-borne noise. The proposed methods are proved to be effective through several experiments.

1. まえがき

荒れた路面を自動車で行き中に、タイヤと路面の接触に起因する室内音を広義のロードノイズと呼ぶ。このロードノイズは乗員に対して不快なばかりか、その音圧レベルや、周波数特性により疲労を促進し安全面でも問題となりうる可能性がある。

一般にロードノイズはできるだけ低いことが望ましいのだが、そのロードノイズを判定する際に、路面が異なることにより判定結果が変わってしまうことがある。例えば Fig.1 に示すように路面 B にて、開発中の車両 (i) が目標とする車両 (ii) のレベルにほぼ達していると判定していたのだが、路面 A では大幅に劣っていた。

周知のように、室内音は空気伝播音および固体伝播音から構成される。従って、路面によって車種間での音圧レベル差が異なる原因として室内音における両要素の構成比率が、路面によって異なっていることが考えられる。これが音圧レベルの差に影響を与えているのではないかという仮説をたてた。一般的には、Fig.2 に示すように、低周波域は固体伝播音、高周波域は空気伝播音が主成分であり、中周波域は両者が混合されていると考えられている。過去、ロードノイズに関する研究は多く行われているが（例えば、太田他⁽¹⁾）、両者の比率については明確にされている例は少ない。

そこで、本稿ではロードノイズ中に占める空気／固体伝播音の両者の比率を簡易的に導出する二つの実験手法を新規に考案し、適用事例を報告する。

* 栃木研究所

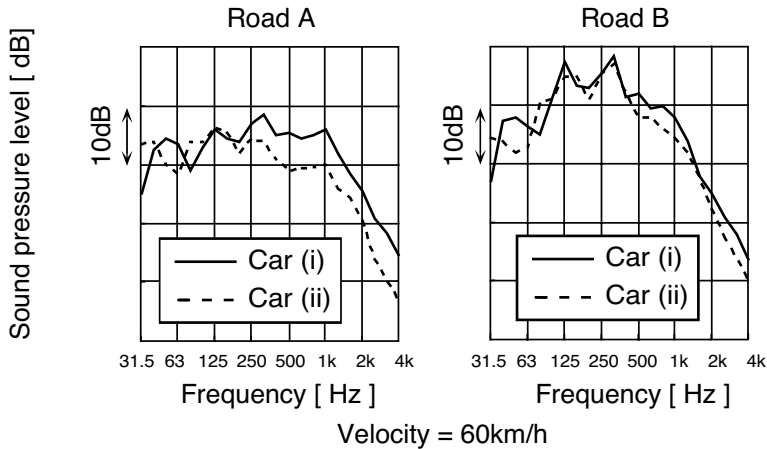


Fig.1 Comparison of road noise

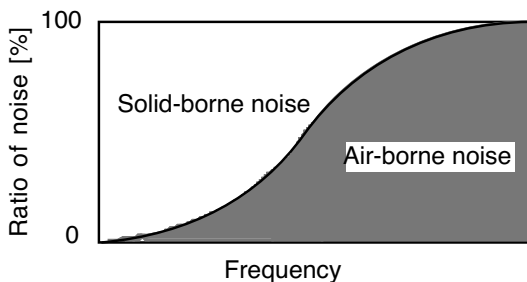


Fig.2 Ratio of air-borne and solid-borne noise

(A):Air-borne noise
(Experiment by peaker)

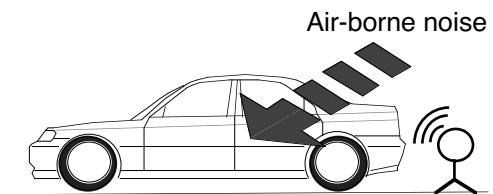


Fig.3 Measurement of air-borne noise

(B):Solid-borne noise
(Experiment in proving ground)

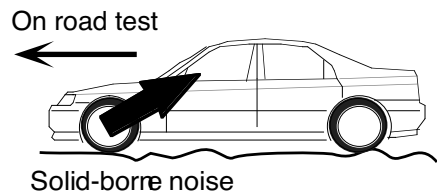


Fig.4 Measurement of solid-borne noise

2. 実験方法

2. 1. 空気／固体伝播音比率推定法…その1

この手法はある部位に防音材を付加し、その部位からの音の寄与を無くした時の室内音の変化量(感度)を、空気伝播音、固体伝播音、対象路面実走時のそれぞれについて求め、比率を推定する手法である(以下、防音材感度法と称する)。具体的には、以下の(A)～(C)3種の実験を行った。

(A) 空気伝播音成分感度測定

車室外からスピーカを鳴らし、基準状態に対し防音材追加時の室内音低減量(感度 $S1$)を測定する(Fig. 3)。今回の実験では、走行時にタイヤ近傍で音圧レベルの高い、タイヤ蹴り出し部(前、後輪)と路面脇の壁による反射音を考慮した車両側方に、無指向性スピーカを設置して実験を行った。

(B) 固体伝播音成分感度測定

テストコース内の荒れた路面を走行し、基準状態に対し防音材追加時の室内音低減量(感度 $S2$)を測定する(Fig.4)。走行時には空気伝播音成分の発生が当然予測されたが、今回使用した路面においては、上記スピーカ実験にて室内音低減効果のあった防音材適用内容の一部が、実走行では室内音低減がなされなかった。空気伝播音成

分の影響があれば室内音は低減されるはずなので、それが無かったという事は、測定誤差を考えても空気伝播音成分は無視して良いと判断した。

(C) 対象路面実走時低減量測定

空気／固体伝播音比率を求めたい対象路面にて、基準状態に対し防音材追加時の室内音低減量（S3）を測定する。

上記S1～S3を測定し、求めたい対象路面での空気／固体伝播音比率をそれぞれ a 、 b とした時に

$$S1 \cdot a + S2 \cdot b = S3 \quad \cdots (1)$$

$$a + b = 1 \quad \cdots (2)$$

式(1)、(2)を満たす a 、 b が求める解となる。防音材感度法の考え方を Fig.5 に示す。

比率推定精度を高めるため、実際にはボディ各部位毎に防音材を追加する度に、スピーカ実験と実走実験を繰り返して式(1)、(2)の連立方程式の組を増やしてやり、解を求め検討した。

2. 2. 空気・固体伝播音比率推定法・・・その2

次に、手法は対象路面惰行走行時の室内音、タイヤ放射音（空気伝播音）、サスペンション振動加速度（固体伝播音の代用）を測定し、車速勾配による音や振動加速度の変化量（感度）を基に空気／固体伝播音の比率を推定する手法を提案する（以下、車速感度法と称する）。

具体的には、

a : 空気伝播音比率

b : 固体伝播音比率

$\frac{\Delta}{\Delta v} P_{Air}$: 空気伝播音の速度微分

$\frac{\Delta}{\Delta v} P_{Solid}$: 固体伝播音の速度微分

$\frac{\Delta}{\Delta v} P_{Cabin}$: 室内音の速度微分

としたときに

$$\frac{\Delta}{\Delta v} P_{Air} \cdot a + \frac{\Delta}{\Delta v} P_{Solid} \cdot b = P_{Cabin} \quad \cdots (3)$$

$$a + b = 1 \quad \cdots (4)$$

式(3)、(4)を満たす a 、 b が求める解となる。車速感度法の考え方を、Fig.6に示す。この考え方は車速が変化したときに、室内音が車速変化に対するタイヤ放射音レベルの変化や、サスペンション振動加速度レベルの変化と、どのくらい相関を持っているかという観点に基づいている。

実際にはエンジン系ノイズの影響を避けるために惰行走行にてテストを行い、車速が低下するにつれて室内音や加速度レベルがどの様に变化していくかを測定した。但し車速が高すぎる場合には空力ノイズの影響が大きくなり、車速が低すぎる場合には車速変化に対し音圧レベルや振動加速度レベルの変化度合いが大きすぎるために、60-20 km/h でのデータを使用した。

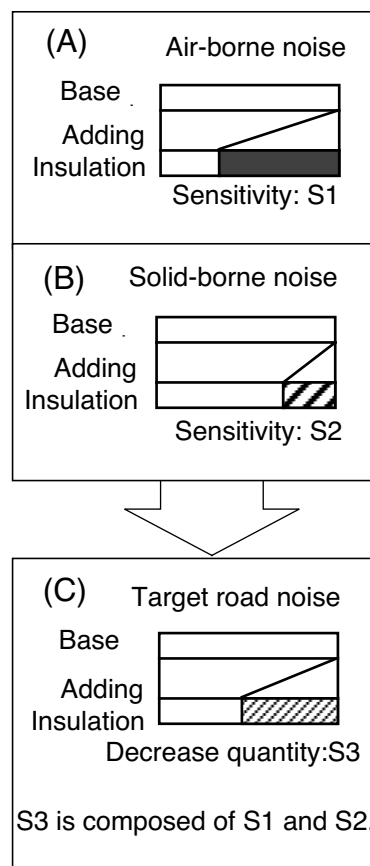


Fig.5 Method of insulation sensitivity

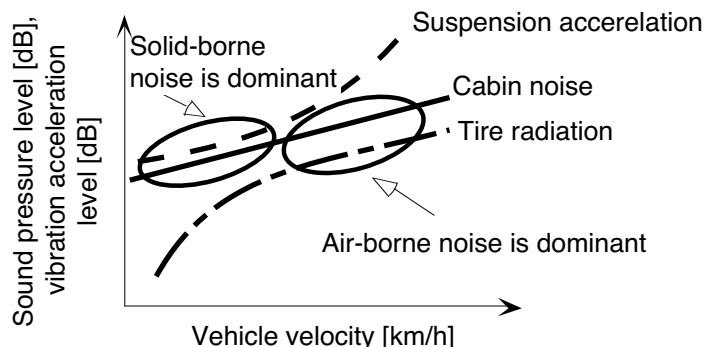


Fig.6 Method of velocity sensitivity

この手法は計測器をセットし、惰行走行を行うだけでデータの収集は完了するのでテスト時間を節約できるのが特徴である。

3. 実験結果

3. 1. 防音材感度法による空気／固体伝播音比率推定

防音材感度法による空気／固体伝播音比率推定結果をFig.7に示す。

今回の実験では800 Hz までの周波数域で防音材感度法の適用が可能であると判断した。その根拠としては、この周波数域までは各防音材適用部位ごとに導出される連立方程式からほぼ同じ空気／固体伝播音比率の解が得られ、周波数の変化に対して、空気／固体伝播音比率が極端に変化することがなかった事による。連立方程式の考え方自体は正しいから、解を求めることが可能で、かつその解が周波数ごとにほぼ一定の値をとれば、比率推定結果が正であると考えて良い。

路面Aは比較的滑らかな路面であるのだが、今回の空気／固体伝播音比率推定結果により、この手法の適用が可能な800 Hz 以下においては、空気伝播音比率が60 % 以下であることが分かった。

3. 2. 車速感度法による空気／固体伝播音比率推定

車速感度法による空気／固体伝播音比率推定結果をFig.8に示す。今回の実験では500 Hz 以上の比較的高周波域で車速感度法の適用が可能であると判断した。判断の根拠は、防音材感度法のときと同様の理由による。

周波数が高くなるにつれて、空気伝播音の比率が高くなっていく。

Insulation sensitivity method: Car(i); Road A; 60km/h

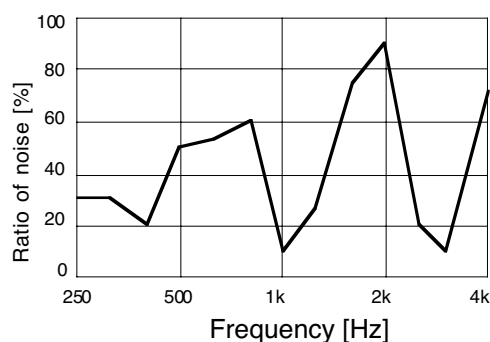


Fig.7 Estimation result of air-borne/solid-borne noise separation

Velocity sensitivity method: Car(i); Road A; 60km/h

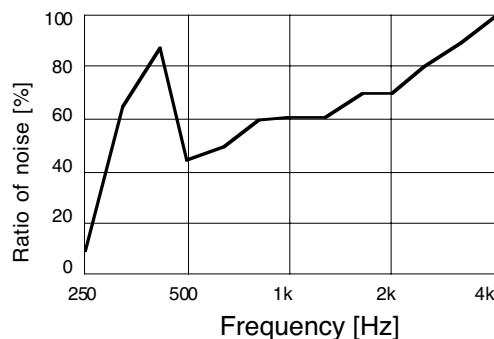


Fig.8 Estimation result of air-borne/solid-borne noise separation

3. 3. 空気／固体伝播音比率推定手法の使用法

以上3. 1. および3. 2. の結果より Table 1 に示すように、周波数に合わせた両手法を総合的に使用することで、空気・固体伝播音比率の推定が可能となる。

この両手法を使用した、路面違いによる空気／固体伝播音比率推定結果を Fig.9 に示す。

路面 B に比べ路面表面の滑らかな路面 A の方が、通常予測されるように高周波域でロードノイズに占める空気伝播音比率の高いことが確認できた。路面 A を走行する際には、透過音対策が不十分な車種に対し、高周波ロードノイズが厳しい路面であることが予測される。逆に路面 B を走行する際には、透過音対策の仕様差が現れにくい状況となっていることが考えられる。

実際に Fig.1 で示した車両 (i)、(ii) では、防音材の使用重量は車両 (i) に対して車両 (ii) が約半分であり、路面 A での二車の差が透過音対策の仕様差に準じた結果となっていることで、空気／固体伝播音の比率推定結果は納得のいくものとなっている。

Table 1 Frequency range of estimation method

周波数範囲 [Hz]	比率推定手法
～500	防音材感度法
500～800	両手法の併用
800～	車速感度法

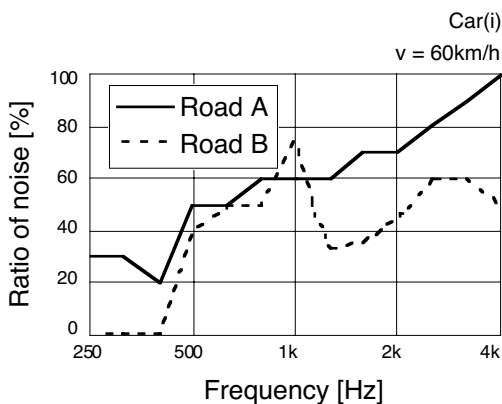


Fig.9 Estimation result of air-borne/solid-borne noise separation

3. 4. 空気・固体伝播音比率推定結果の適用事例

車両 (i) に対し路面 A での高周波域を低減することを目的として、上記手法から得られた結果を基に防音材仕様を検討した。Fig.9の結果からも分かるように路面 A では高周波域では空気伝播音の比率が高い。そのためスピーカ実験にて車両 (i)、(ii) で空気伝播音の遮断量に差が発生しているかを確認した結果の一例を Fig.10 に示す。これはフロントフロア下にスピーカを置き、ピンクノイズを発生させたときの室内音比較結果である。630 Hz 以上の周波数領域で、車両 (i) が車両 (ii) に対して大きく劣っていることが分かった。車両について空気伝播音に対する各部位の寄与率結果を Fig.11 に示す。この結果より感度 S1 が高い部位に優先的に防音材を適用した。具体的にはフロア部が弱点であり、吸／遮音材および制振材の板厚増加、もしくは新規追加を行った。

その時の実走時の室内音レベル比較を Fig.12 に示す。同じ追加防音材仕様でありながら、路面 A では 1k Hz 以上の周波数領域で約 3 dB の室内音低減が実現できたのに対し、路面 B では僅かしか低減されていない。このことは路面違いによる空気／固体伝播音比率の相違、言い換えればロードノイズ伝播経路の相違を認識しないと、路面によってはロードノイズ低減効果の少ない防音材仕様検討になりかねないことを示している。

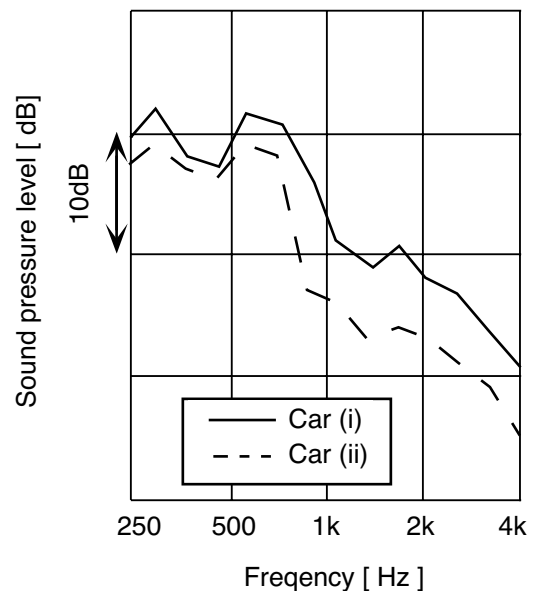


Fig.10 Cabin noise of speaker experiment (Under front/floor speaker)

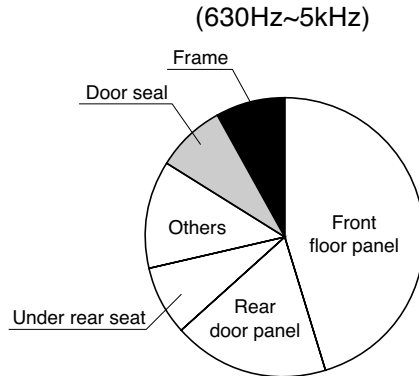


Fig.11 Contribution of air-borne noise (Car(i); Speaker experiment)

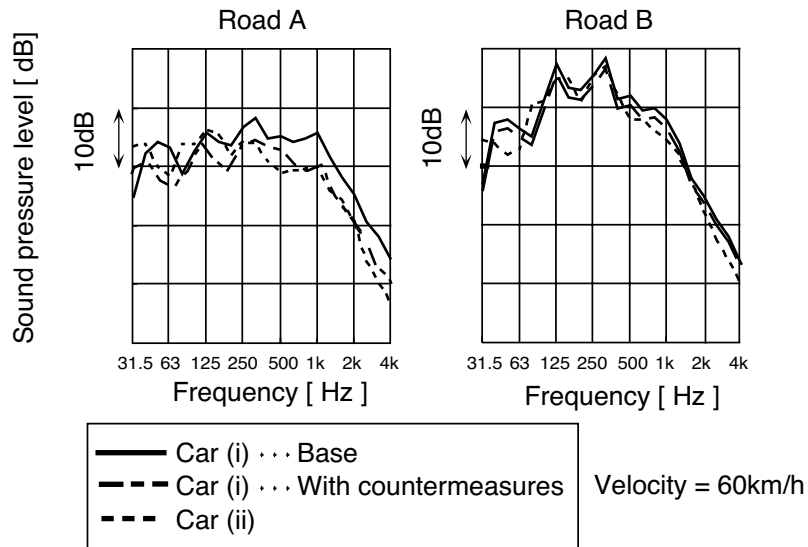


Fig. 12 Effect of insulation countermeasures

4. まとめ

- (1) 空気／固体伝播音両要素の比率を比較的容易に導出する2手法を提案し、その両手法の併用によりこれまで定量化しにくかった空気・固体伝播音の比率推定を行うことができた。
- (2) 上記手法による路面違いによる空気／固体伝播音比率推定の結果、それらが路面によって異なっている事が確認できた。さらに、車種毎に異なる防音仕様差に起因して、路面が異なると室内音圧レベル差が発生するという仮説の証明された。

参考文献

- 1) 太田孝弘 ほか、「敏感度解析によるロードノイズ低減」、自動車技術、Vol. 42, No. 12, 1988

■著 者■



浦 野 剛