

多孔質舗装上での音波の伝搬に関する研究

村瀬正典¹・川真田智²・栗木稔³・丸山暉彦⁴

¹正会員 工修(株)ブリヂストン研究2部(〒187-8531 東京都小平市小川東町3-1-1)

²正会員 工修(株)ブリヂストン研究2部(〒187-8531 東京都小平市小川東町3-1-1)

³正会員 工修(株)ブリヂストン免震・道路資材開発部(〒横浜市戸塚区柏尾町1)

⁴正会員 工博 長岡技術科学大学 環境・建設系(〒940-21 新潟県長岡市上富岡町)

排水性舗装をはじめとした多孔質舗装材は、吸音性、通気性、排水性を持っている。そのため騒音低減メカニズムは、吸音性による騒音低減効果と、通気性によるポンピング、気柱共鳴などの発生音の抑制効果の2つに分けることができる。本報では、多孔質舗装の吸音性に注目し、実際の道路交通騒音の低減効果に対する吸音性の寄与について解明することを目的とする。検討方法は、別報で提唱しその妥当性を検証した有限要素法(FEM)の多孔質舗装の要素モデルを用いて音波の伝搬計算を行い超過減衰を評価した。その結果、一般的な排水性舗装では超過減衰は、実際に排水性舗装で確認されている騒音低減効果に比べ少ないことが確認され、その点から吸音効果より発生音の抑制効果の方が寄与率が高いことが確認された。

Key Words : Drainage Asphalt Pavement, Porous Pavement, Tire/Road Noise, Sound Propagation, Finite Element Method, Acoustic Absorption Coefficient

1. はじめに

昨今、道路交通騒音は都市部を中心に厳しい状況にあり、交通騒音の低減を目的として排水性舗装を施工する例が急速に増加しつつある。排水性舗装では、密粒度舗装に対して2~5dB程度の騒音低減効果が確認されている。排水性舗装をはじめとした多孔質舗装の低騒音効果の発現メカニズムについては、エアポンピング、気柱共鳴等の発生騒音(タイヤ/路面騒音)の抑制と吸音による超過減衰の2つのメカニズムが関与していると考えられ、両方とも多孔質構造による通気性に起因していると考えられる。

多孔質舗装材の吸音性に関して、これまでに多くの研究がなされているが¹⁾²⁾、タイヤ/路面騒音の抑制効果と、吸音性の騒音低減効果に対する寄与率等を詳細に検討した例はあまり見られない。一方、吸音特性のみで騒音低減効果を議論する傾向も一部では見られる。そこで本報では多孔質舗装材の吸音性に注目し、実際の道路交通騒音に多孔質舗装材の吸音性がどのように寄与するかという問題を検討することとした。具体的な検討手法として、別報⁴⁾で提唱し、その妥当性を確認した多孔質舗装材の有限要素法(FEM)モデルを用い、FEMによる数値計算を活用し検討を行った。

2. 多孔質舗装材上の音波の伝搬計算方法

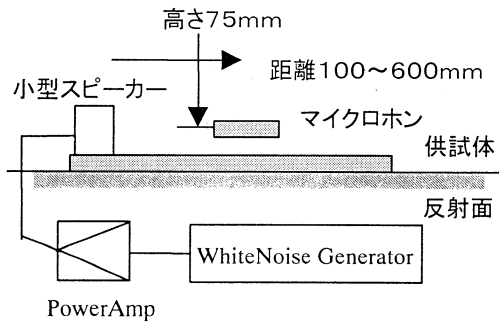
別報⁴⁾で提唱した有限要素法(FEM)の多孔質舗装の要素モデルは管内法及び現場吸音率測定法の実測結果によりその妥当性を確認したが、多孔質舗装材上の音波の伝搬に関して、音源からの音波の伝搬について計算及び実測値の比較を試み、計算の妥当性をまず検討した。表一1に示す600mm×30mmの供試体を作成し、これを用いて図一1に示す様な実験を行った。供試体を半無響音室に設置し、スピーカからホワイトノイズを発生させて音源とした。音波の伝搬はマイクロホン75mmの高さに保ち水平方向に移動して音圧を測定し周波数分析することで評価した。また、図一2に示す様な実験同様のFEMモデルを作製し、計算を行った⁴⁾。計算に用いたモデルパラメータを表一2に示す。また、モデルの音源は図一2に示す場所での粒子速度(V_p)を境界条件として与え単一周波数(純音)の面音源とし、100~2000Hzの範囲で100Hz毎に計算を行った。

表一1 供試体

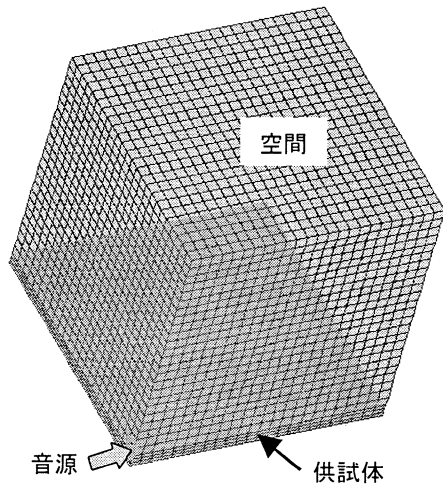
供試体	粗骨材	空隙率	備考
1	3号珪砂	0.334	粗骨材のみ
2	4号珪砂	0.274	粗骨材のみ
3	6号碎石	0.232	排水性舗装

表一２ モデルパラメータ

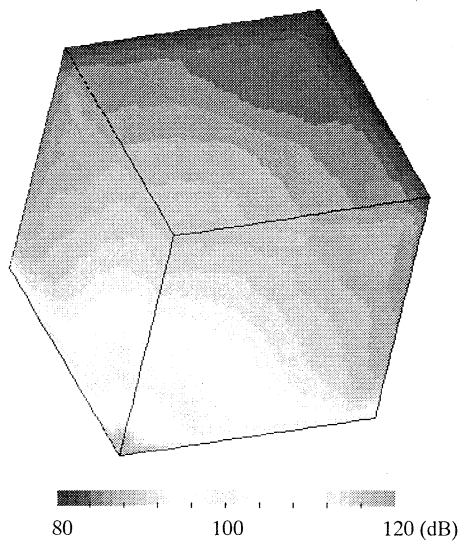
供試体	有効空隙率	伝搬抵抗 (Pa・s/m ²)	伝搬速度 (m/s)
1	0.12	2500	183
2	0.05	7000	110
3	0.07	1000	145



図一１ 実験装置

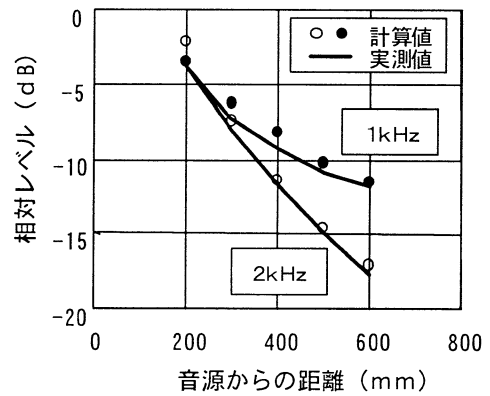


図二 FEMモデル

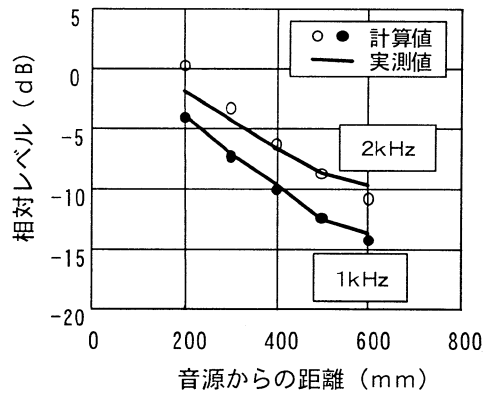


図三 FEM計算一例
(音圧分布 供試体 3, 1000Hz)

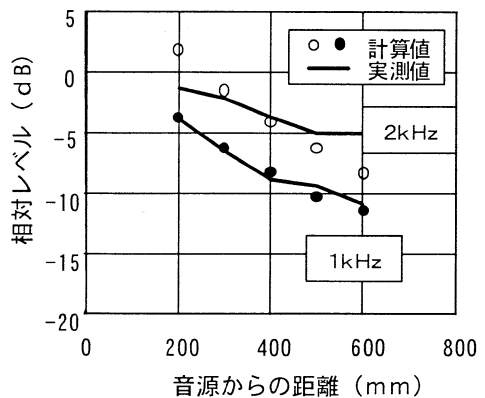
表一２のパラメータは現場吸音率測定結果及びコアサンプルでの吸音率測定結果と適合する様に求めた。表一２中の有効空隙率 η とは、舗装材内部の空隙の内、実際に音波が伝搬できる領域の全体の体積に対する比率を示すパラメータである。計算結果の一例を図一３に示す。計算結果と実験結果を合わせて図一４～６に示す。なお、実測、計算ともに音源から距離100mmの測定値に対する相対音圧レベルを示した。結果より、計算結果は実測値の傾向をよくとらえていることがわかり、音波の伝搬についても本計算方法の妥当性が確認された。



図四 計算/実測比較（供試体1）



図五 計算/実測比較（供試体2）



図六 計算/実測比較（供試体3）

3. 多孔質舗装材上の超過減衰

表－3 対象舗装材

No.	粗骨材 (最大粒径mm)	空隙率	厚さ (mm)	備考
1-A	6号碎石(13)	0.20	20	排水性舗装
1-B		0.23	30	
1-C		0.25	50	
2	7号碎石(5)	0.25	70	
3	1号珪砂(2.5)	0.25		
4	グラスウール	—	70	密度48kg/m ³

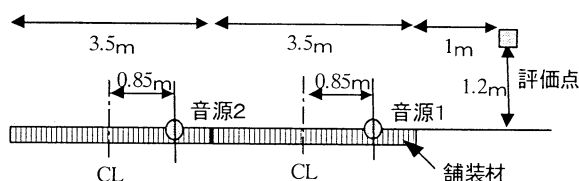
表－4 モデルパラメータ

No.	有効空隙率	伝搬抵抗 (Pa・s/m ²)	伝搬速度 (m/s)
1-A	0.03	2000	140
1-B	0.04	2000	155
1-C	0.07	2000	180
2	0.07	3000	145
3	0.06	6000	140
4	—	19000	—

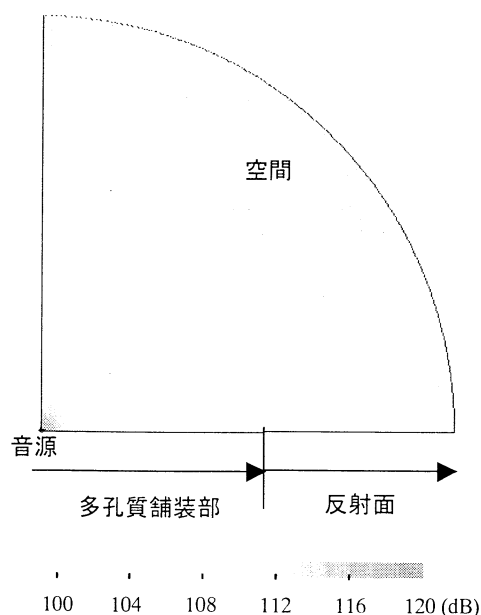
注) No. 4 (GW) はDelany-Bazleyモデルを使用

(1) 計算対象

タイヤと路面の相互作用により発生した騒音は路面上を伝搬していくが、路面の音響特性により伝搬の際に受ける減衰をここでは超過減衰とする。計算対象として図－7に示す様に、車線巾3.5mの2車線道路の2次元モデルを考え、音源は中央車線（音源1）及び外側車線の歩道側（音源2）のタイヤのみを考え車線中心から水平方向0.85m、高さ0mに配置した。なお、音源は粒子速度（ V ）を境界条件として与え単一周波数（純音）の線音源とし、100～2000Hzの範囲で100Hz毎に計算を行った。また、評価点は道路端から1m、高さ1.2mとした。検討した多孔質舗装材を表－3に示す。比較のため、代表的な繊維系吸音材料であるグラスウール（GW）についても計算を行った。計算結果の一例を図－8（供試体1-A, 20mm, 1kHz）に示す。なお、計算に用いた多孔質舗装材のモデルパラメータはコアサンプルの垂直入射吸音率実測値に適合するもの（表－4）を使用した。



図－7 計算対象（断面）



図－8 FEM計算結果一例
(音圧分布, 供試体1-A, 20mm, 1kHz)

(2) 評価方法及び結果

実際の道路環境に近い形で評価を行うため、FEMにより計算された評価点の各周波数の音圧に対して道路交通騒音のスペクトルに対応した周波数重みを導入してオーバーオール値（補正騒音レベル）を求め、舗装材を完全反射面にした場合（密粒舗装に相当）と多孔質舗装材の補正騒音レベルの差を評価値（超過減衰量）とした。なお、使用した周波数重みは日本音響学会ASJ Model 1998の通常舗装、速度区分なしのパワースペクトルの形状を採用した。なお、超過減衰量は音源1のみの場合は1車線道路を、音源1＋音源2（パワー和）の場合は2車線道路を、音源2のみの場合は2車線で中央車線走行時を示す。

(3) 計算結果1（空隙率と超過減衰）

材料No. 1-A, B, Cの計算結果より空隙率と超過減衰量の関係を図－9に示す。また、図－10, 11に垂直入射吸音率（計算値）及び評価点でのスペクトルを示す。超過減衰量は空隙率に比例して増加することがわかる。また、スペクトルでみると吸音率のピークに対応した周波数で騒音レベルが急激に低下し（ディップ）、このディップの深さが吸音率のピーク値に対応していることがわかる。

(4) 計算結果2（舗装厚さと超過減衰）

材料No. 1-A, B, Cの計算結果から舗装厚さと超過減衰量の関係を図－12に、垂直入射吸音率（計算値）及び評価点でのスペクトルを図－13, 14に

示す。超過減衰量は舗装厚30mmで最大値となりその後減少する傾向にあることがわかる。ただし、この傾向は伝搬距離の短い音源1の場合には確認されない。(3)同様に吸音率のピークに対応した周波数付近でディップが発生し、ディップの深さが吸音率のピーク値に対応していることがわかる。

(5) 計算結果3 (最大粒径と超過減衰)

材料No.1~3 (空隙率0.25) の計算結果から最大粒径と超過減衰量の関係を図-15, 16に示す。また、図-17, 18に垂直入射吸音率 (計算値) 及び評価点でのスペクトルを示す。舗装厚30mmでは最大粒径5mmで超過減衰量は最大値をとるが、この傾向は舗装厚50mmでは顕著ではなく吸音率の周波数特性に左右されていることがスペクトルからみてとれる。超過減衰は吸音率の周波数特性という形で最大粒径の影響を受けていると言える。

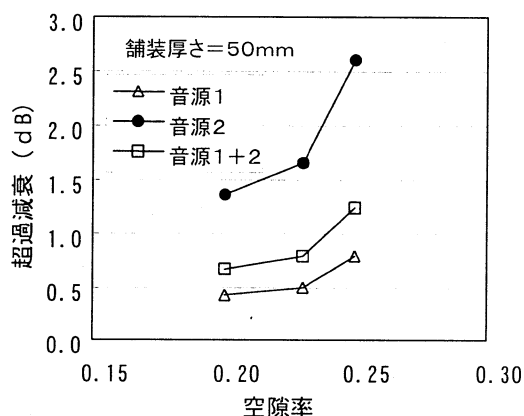


図-9 空隙率と超過減衰 (舗装厚50mm)

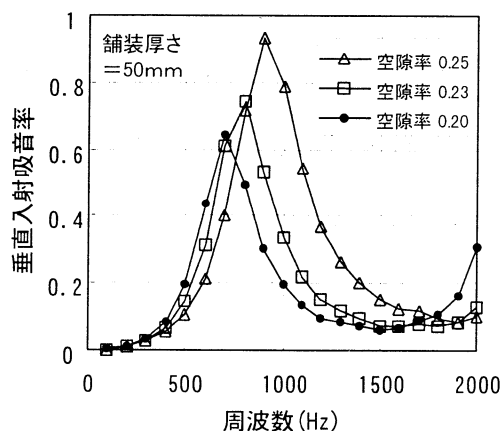


図-10 垂直入射吸音率 (舗装厚50mm)

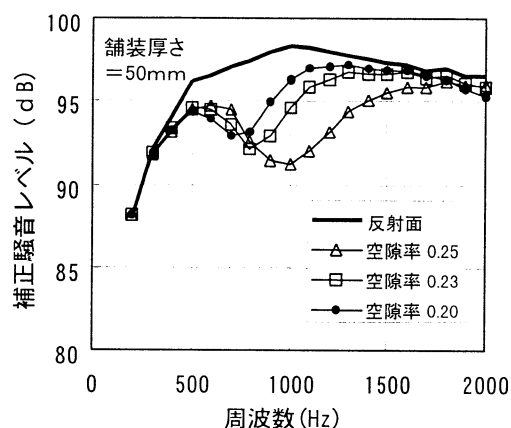


図-11 スペクトル (舗装厚50mm, 音源2)

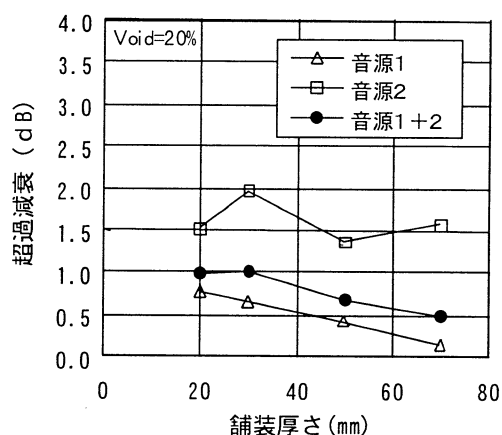


図-12 舗装厚さと超過減衰 (No.1 空隙率0.20)

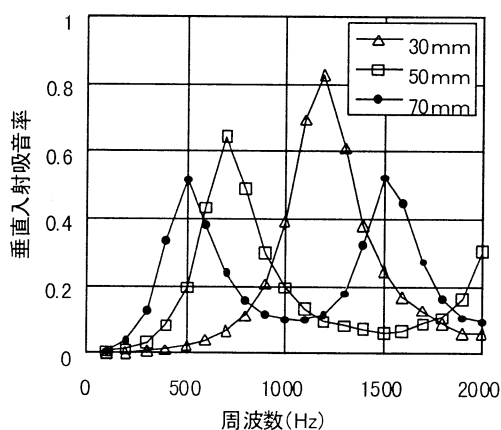
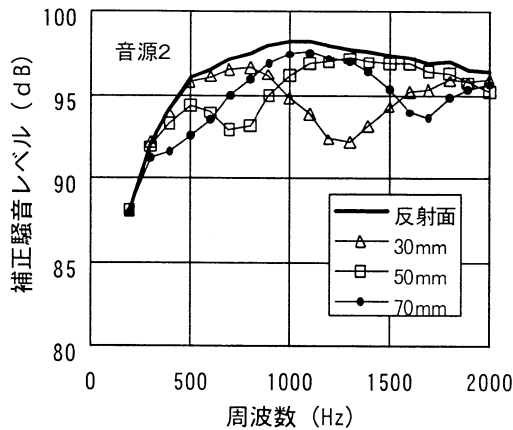
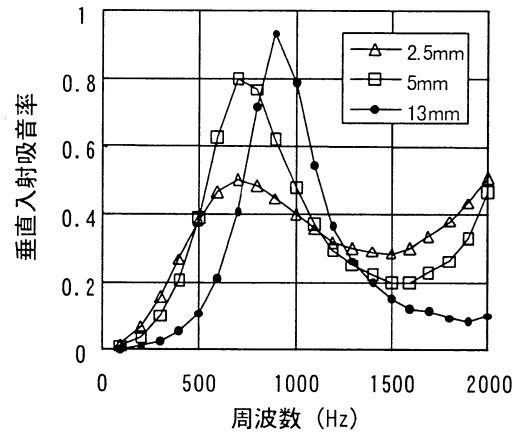


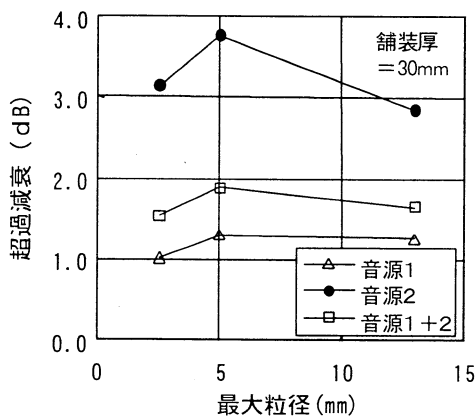
図-13 舗装厚さと垂直入射吸音率 (No.1 空隙率0.20)



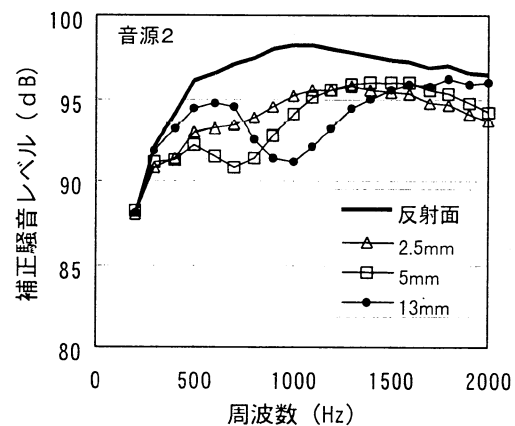
図一 1 4 スペクトル (No.1 空隙率0.20 音源2)



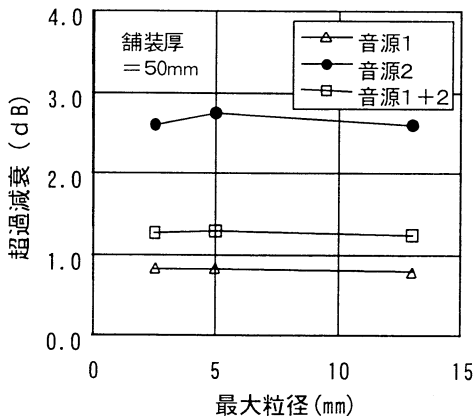
図一 1 7 最大粒径と垂直入射吸音率 (舗装厚さ50mm)



図一 1 5 最大粒径と超過減衰 (舗装厚さ30mm)



図一 1 8 スペクトル (舗装厚さ50mm, 音源2)



図一 1 6 最大粒径と超過減衰 (舗装厚さ50mm)

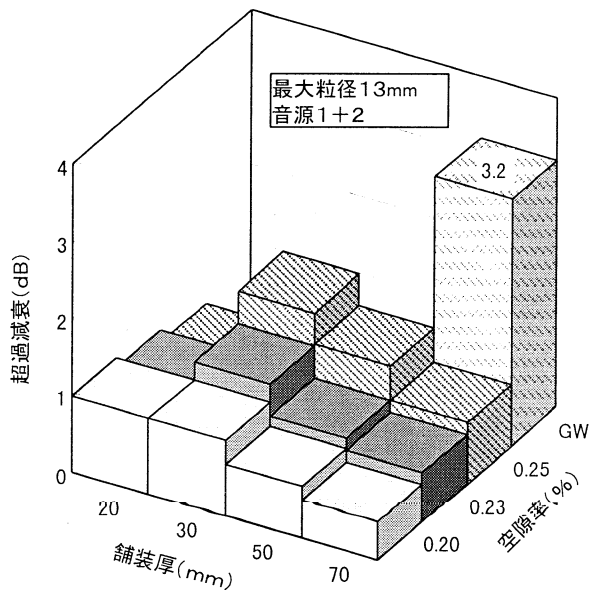
(6) 考察

図一 1 9, 2 0 に実際の供用状態に近いと考えられる音源 1 + 2 の場合の超過減衰と空隙率, 舗装厚, 最大粒径の関係を示す. なお, 吸音材の代表としてグラスウールの計算値も併せて示した. 舗装厚, 空隙率と超過減衰の関係は, 吸音率ピーク周波数と道路騒音スペクトルのピーク周波数(1kHz)の関係から

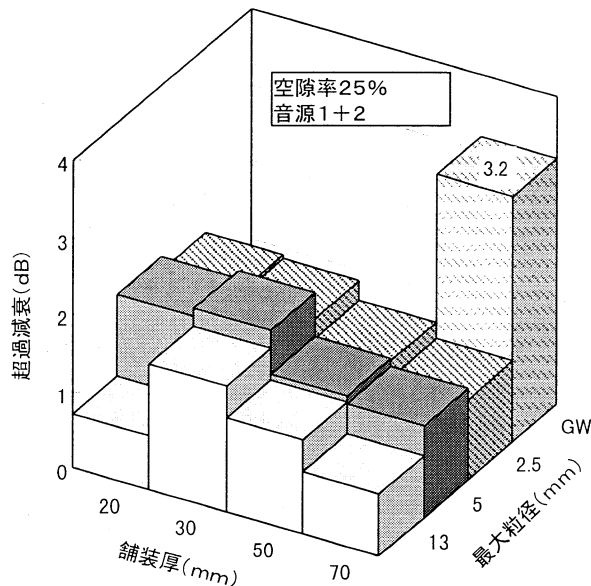
30mm で超過減衰が最大となり, 空隙率の高い方が高い超過減衰を示す. 最大粒径と超過減衰の関係は, 舗装厚による吸音率の周波数特性に左右されており, 明確な傾向は見られない. 以上の様に, 超過減衰は吸音率の周波数特性が直接影響しており, 舗装厚, 空隙率, 最大粒径は吸音率の周波数特性に影響を与えるため超過減衰に影響を与えていると言える. 超過減衰量はここで検討したような道路交通騒音を考える上では最大でも 2dB 程度, 一般的な 50mm 厚さ, 空隙率 0.20, 最大粒径 13mm の場合 0.8dB 程度となり, 排水性舗装における騒音低減効果は 3~5dB 程度であるため, 吸音性による騒音低減効果に比べタイヤ/路面騒音の抑制効果の寄与が大きいと考えられる.

4. おわりに

多孔質舗装は多孔質という構造による通気性から, 発生騒音 (タイヤ/路面騒音) の抑制と吸音による超過減衰の 2つのメカニズムに基づいて低騒音性が発揮されていると考えられる. 本報告では吸音によ



図一 19 舗装厚, 空隙率と超過減衰



図一 20 舗装厚, 空隙率と超過減衰

る超過減衰に注目し実際の道路交通騒音に多孔質舗装材の吸音性がどのように寄与するかという問題を有限要素法 (F E M) の計算により検討を行った。

まず計算手法の妥当性を室内試験と計算結果の比較により確認したところ, 実測と計算値がかなりよく合致しており計算方法の妥当性が確認された。

次に, 2車線道路を仮定し, 道路端1m, 高さ1.2mの地点を評価点として計算を行った。評価点におけるスペクトルは垂直入射吸音率で見られるピーク近傍にディップ (谷) が現れ, ディップの深さが吸音率のピーク値に対応することが確認された。この様に, 超過減衰は吸音率の周波数特性が直接影響しており, 舗装厚, 空隙率, 最大粒径は吸音率の周波数特性に影響を与えるため影響を受けていると考えられる。路面の吸音性による超過減衰の騒音低減効果への寄与は, 最大でも 2dB 程度, 一般的な 50mm 厚, 空隙 20%, 最大粒径 13mm の排水性舗装の場合 0.8dB 程度と見積もられ, 騒音低減効果の実測値が 3~5dB 程度であることから発生騒音の抑制効果の寄与が大きいと考えられる。

参考文献

- 1) Yamaguchi, M., Nakagawa, H., Mizuno, T. :Sound Absorption Mechanism of Porous Asphalt Pavement, *Journal of the Acoustic Society of Japan(E)*, Vol.20, No.1, Jan. 1999
- 2) Hatanaka, H., Yamamoto, K.:Measurement and Analysis of Acoustical Properties of Drainage Asphalt, *Journal of the Acoustic Society of Japan(E)*, Vol.20, No.1, Jan. 1999
- 3) 川真田智, 山口道征, 水野卓哉: 排水性舗装の吸音特性と測定手法, 舗装, Vol.33, No.11, 1998年11月
- 4) 川真田智, 栗木稔, 村瀬正典, 丸山暉彦: 多孔質舗装材の音響モデルに関する研究, 舗装工学, Vol. 4, 1999年12月

STUDY ON THE SOUND PROPAGATION ON THE POROUS PAVEMENT

Masanori MURASE, Satoru KAWAMATA, Minoru KURIKI
and Teruhiko MARUYAMA

The sound propagation over the porous pavement surface is discussed in this study. The sound propagation over the porous pavement is calculated by the finite element method (FEM) using the acoustical model of the porous pavement. The sound reduction while propagating over the porous pavement surface, called excess attenuation, is evaluated and found out the effect of porosity, thickness and aggregate size. Since the measured sound reduction of the porous pavement commonly used in Japan is 3 to 5 dB and the calculated attenuation value is around 1dB, the sound reduction effect of the porous pavement is mostly depend on the sound generating mechanism between the tire and the porous pavement surface.