

排水性舗装の空隙構造に関する実験的研究

帆刈浩三*・丸山暉彦**・大川秀雄***・
小山 清****

本研究では、定在波法による垂直入射吸音率の吸音スペクトルを分析することにより排水性舗装の空隙構造を検討している。吸音スペクトルは単に排水性舗装の吸音効果の程度を表すだけでなく、ピーク吸音率の大きさ、ピーク吸音周波数の位置、吸音スペクトルの形状から、空隙率、屈曲度、透水性が推定できる。定在波法による垂直入射吸音率測定方法は排水性舗装の空隙構造とその機能性を知る上で有効な方法である。

Key Words: drainage asphalt pavement, void content, tortuosity, sound absorption coefficient, frequency, permeability

1. はじめに

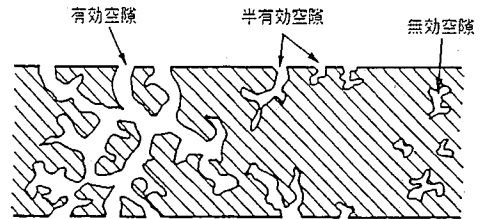
排水性舗装は降雨時における視認性とすべり抵抗性の改善による通行車両の安全確保に加えて、交通騒音の低減にも効果がある^{1)~3)}ことから、1988年の我が国最初の施工以来、各方面で積極的に試験施工が行われてきた。その間、高粘度改質アスファルトの開発⁴⁾、配合設計方法と施工技術の向上などにより、機能性と耐久性の優れた排水性舗装が施工されるようになった。最近では漸く実用化の段階に達したといえる。

排水性舗装の主たる機能は、外気と連通した連続空隙によってもたらされるものである。すなわち、降雨を吸収して舗装端部に排水させる排水機能と、タイヤ道路騒音の一部を空隙内部に吸収して低下させる騒音低減機能である。これらの機能を物理的な性質で表現すれば、透水性と吸音性ということになる。これらの性質は空隙率と密接な関係があることから、これまで多くの研究^{5)~7)}がなされてきたが、排水性舗装の機能をより効果的に発揮させるためには、空隙の量の外に、空隙の大きさ、空隙の長さなどの空隙構造を十分に把握する必要があると考える。

本研究では、排水性舗装の空隙構造を推定する一方法として、管内法による吸音特性に着目して検討を加えた。また、定水位透水試験を行い、吸音特性との関連も検討した。

2. 排水性舗装の空隙構造

排水性舗装の性質を示すものとして空隙率は重要な要



図一 排水性舗装の空隙の種類

素であるが、最近はさらに、空隙の大きさなどの空隙構造にも注目がはられるようになってきた。ここでは、排水性舗装の空隙構造に関して、その空隙の形状による分類、空隙を表す諸量について整理しておく。

(1) 空隙の分類

一般に、多孔体層の空隙はその形、大きさによっていろいろに分類することができるが、まずその形状によって分類すると次のようになる⁸⁾。

- (a) 連続空隙 多孔体層の一方から他方までつながっている空隙
- (b) 袋形空隙 空隙の一方に入口はあるが、先がふさがっていて他の空隙とつながらない空隙、粒子表面のくぼみもこの一種である
- (c) 独立空隙 外部とつながらない孤立している空隙

排水性舗装の空隙は、透水性や吸音性に影響を与える空隙はほとんどが連続空隙であるので、この点から図一のように連続空隙を有効空隙、袋形空隙を半有効空隙、独立空隙を無効空隙として分類している例もある⁷⁾。

(2) 空隙率

粉粒体からなる多孔体の空隙率を測定する場合、主として置換法と吸着法があるが、液体を用いた置換法がより一般的である⁹⁾。この多孔体の空隙を液体で満たすに

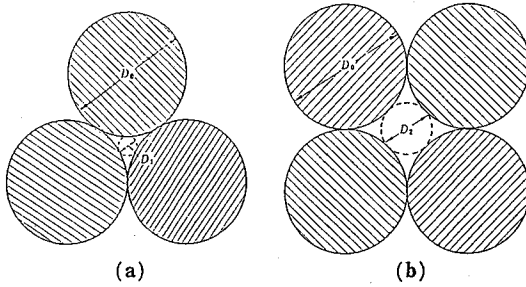
*正会員 工修 福田道路(株)技術研究所 研究調査部 研究開発課長

(〒950-11 新潟県西蒲原郡黒崎町大字山田字砂川原 3039)

**正会員 工博 長岡技術科学大学教授 工学部

***正会員 工博 新潟大学助教授 工学部

****(株)ブリヂストン 横浜工場 工業用品開発本部 部長



$$D_1 = D_0 \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) = 0.156 D_0, \quad D_1 = D_0 (\sqrt{2} - 1) = 0.414 D_0$$

図-2 球によって形成される空隙の代表的形式

は、通常、加熱煮沸または真空脱気が行われるが、排水性舗装の場合には内部の空隙径が多孔体のそれよりもかなり大きいと考えられているので、常温の水で置換している。

排水性舗装の空隙には、空隙の形状として上述した3種類の空隙があるが、測定上、水で置換できる空隙を連続空隙、置換できない空隙を独立空隙としている。したがって連続空隙率といった場合、袋形の空隙のかんりの部分も含まれる。

(3) 空隙径

粉粒体の充填状態を理解するとき、球の理論充填モデルが用いられることがある。球の理論充填の仕方は、幾何学的に四面体充填、正方系粗充填、六方系粗充填、正方系および六方系最密充填の5種類があるが、通常、球を充填するときには空隙率が40%の六方系粗充填に近い充填をとることが実験的に知られている⁸⁾。また空隙径は、図-2のように(a)、(b)の2つの場合があるとして計算すれば、粒径の15.6~41.4%となるはずであるが、実際には概ね16~20%の範囲におさまり、主として(a)の形式での充填が比較的多くあると考えられている⁹⁾。

排水性舗装は、通常、最大粒径が13mmまたは20mmの粗骨材80~85%と、砂、石粉、アスファルトからなるアスファルトモルタル20~15%を混合して構成される。排水性舗装の空隙には、粗骨材粒子自身およびその接着材であるアスファルトモルタルが持っている主として独立した粒子内空隙と、粗骨材の粒子と粒子の間のできる主として連続した粒子間空隙に分けることができる。前者は粗骨材粒子に比して微細な空隙であるが、後者は、粒子間の接点では狭いが、大部分は球の充填モデルで示したように粒径の数分の1程度の大きさの空隙であると考えられる。

(4) 屈曲度

多孔体層の透水や音波の伝播を考えると、多孔体の空隙を毛細管の集まりと仮定して扱うことが多い⁸⁾。図-3の毛細管のモデルに示すように、層中の毛細管は層

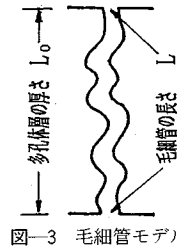


図-3 毛細管モデル

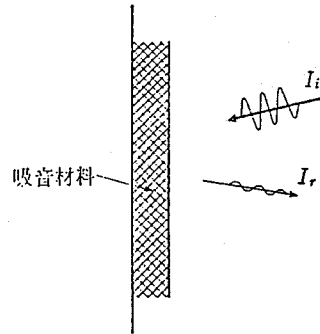


図-4 吸音率を定義する諸量

の空隙の形にしたがってうねり曲っており、その実長 L は層の厚さ L_0 よりも長くなるものと考えられ、 L と L_0 の比、 L/L_0 を屈曲度と呼んでいる。層の厚さと等しい長さのまっすぐな毛細管の集まりであれば、 $L/L_0=1$ 、層が曲りくねった毛細管の集まりであれば、 $L/L_0>1$ となる。

一般に粗骨材は、幾何学的に規則的な形状のものはほとんどなく、立方体に近いもの、丸みを帯びているもの、偏平や細長いものまで千差万別で実に不規則である。したがって、こうした粗骨材によって形成される排水性舗装の空隙経路はかなり複雑であり、これまで、粗骨材粒径と屈曲度の関係、空隙率と屈曲度の関係、また、それらの物理的性質に及ぼす影響などについて必ずしも十分に検討されてこなかった。そこで本研究では、排水性舗装の空隙構造を推定する一つの指標としてこの屈曲度をとりあげたものである。

3. 排水性舗装の吸音特性と関連する基礎的事項

空気疎密波である音波は音源から空気を媒体として、音速 C 、波長 λ 、周波数 f とすると $C = \lambda f$ で伝播し物体に入射する。入射した音の一部は物体内部で何らかの作用により消失し、他は外部に放射される。この入射した音が物体内部で消失する現象を「吸音」と称している。

排水性舗装の騒音低減効果は、この吸音作用が大きく関係している。ここでは、排水性舗装の空隙構造と吸音特性の関係を述べる前段として、吸音率の物理的な意味

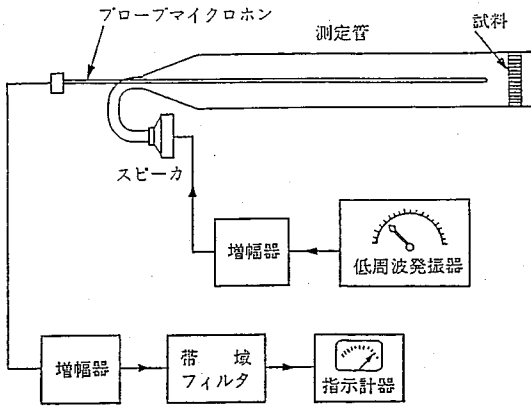


図-5 定在波法による垂直入射吸音率測定装置の構成例

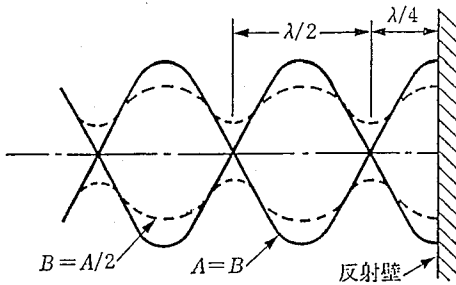


図-6 定在波における音圧分布

合いについて説明しておく。

(1) 吸音率

材料の吸音特性を表すのに吸音率が用いられる。いま、図-4に示す条件で材料に音が入射した場合を考えてみる。吸音率 α は次式で定義される。

$$\alpha = (I_i - I_r) / I_i \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 I_i は材料に入射する音の強さ、 I_r はそれからの反射音の強さである。この式から、完全な反射面では $I_r = I_i$ であるため $\alpha = 0$ となり、一方、完全吸音面では $I_r = 0$ から $\alpha = 1$ となる。そして一般の材料では吸音率は0と1の間の値をとり、吸音率の値が大きいほど吸音効果が大きいことを示すものである。吸音率には、垂直入射吸音率、斜め入射吸音率、ランダム入射吸音率があるが、ここで用いた吸音率は定在波法による垂直入射吸音率である。なお、以下吸音率は百分率で表わした。

(2) 定在波法による垂直入射吸音率

定在波法による垂直入射吸音率の測定装置の構成例¹⁰⁾を図-5に示す。管内に純音を駆動させると、入射波と反射波が干渉して定在波が発生する。いま、図-6のような定在波における音圧分布を考えてみる。反射面に向かって垂直に圧力振幅 A の音波が入射し、透過・吸収などによってエネルギーの一部を失って圧力振幅 B の音波が反射してくるものとする。なお、図には $A=B$ (実線) と $B=A/2$ (点線) の例を示した。重ね合わされて

そこのできる音波は、反射面からの距離を X として

$$P = (A+B)\cos\omega t\cos KX + (A-B)\sin\omega t\sin KX \dots\dots\dots (2)$$

となる。ここに K は波長定数で、 $K = \omega/c = 2\pi f/c = 2\pi/\lambda$ である。

式(2)をみると、 $X=0, \lambda/2, \lambda, \dots$ すなわち境界面およびこの面から半波長の倍数ごとに音圧は $(A+B)\cos\omega t$ となり音圧の極大点となる。また、 $X=\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$ すなわち境界面から $\lambda/4$ の奇数倍ごとに $P=(A-B)\sin\omega t$ で極小点となる。 $A=B$ すなわち完全反射の場合は、極大は振幅 $2A$ で入射波の2倍の音圧となり、極小は振幅0となる。一般には $A+B=a, A-B=b$ が測定できる量であって、境界面の吸音率は、

$$\alpha = 1 - (B/A)^2 = 4ab/(a+b)^2 \dots\dots\dots (3)$$

として求めることができる。

4. 試験方法

排水性舗装の空隙構造と吸音特性を評価するため、数種類の供試体を用いて定在波法による垂直入射吸音率を測定した。また、吸音特性と透水性の関係を調べるため、そのうちの1種類について定水位透水試験を行った。

(1) モデル供試体による吸音試験方法

まず最初に、多孔体層の空隙状態をモデル化した2種類の供試体を準備した。1つは円筒管を用いた管状供試体、もう1つは等大の球を用いた理論充填による供試体である。

管状供試体の円筒管は直径4.5mmのものを用い、設定した供試体厚4cmおよび8cmと等しい長さに切断し、直径10cmのモールド内に各々空隙率が25%と50%となるように等間隔で配列し、その隙間を石膏で充填した。

球の理論充填による供試体は、空隙率が40%の六方系粗充填と26%の六方系最密充填とし、直径9.5mmのベアリング球を使用して作成した。供試体の作成では、設定した供試体厚4cmおよび8cmについてベアリング球を所定の充填となるように接着剤を用いてピンセットにて積み上げた。球を充填した六方系の供試体は直径10cmのモールドにセットし、周縁部の隙間をパラフィンで充填した。

(2) 単粒度碎石による吸音及び定水位透水試験方法

排水性舗装の透水性や吸音性は、空隙径の大きさに影響を受けると考えられる。ここでは、粒径範囲の異なる単粒化した碎石を用いたマーシャル供試体について吸音試験と定水位透水試験を行った。試験に用いた単粒度碎石は、標準的な材質の切込碎石を20-10mm, 10-5mm, 5-2.5mm, 2.5-1.2mm, 1.2-0.6mm, 0.6-0.3mmの6つの粒径範囲に分級したものとした。これらの単粒度碎石によるマーシャル供試体は、分級した単粒度碎石以

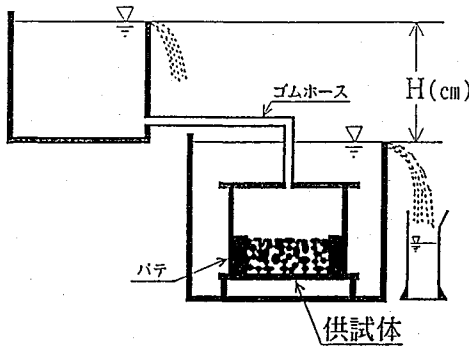


図-7 定水位透水試験方法

表-1 モデル供試体の吸音実験結果

供試体種別	充填形式	連続空隙率 (%)	供試体厚 (cm)	供試体厚に対する周波数 (Hz)	供試体ピーク音周波数 (Hz)	供試体空隙長 (cm)	層間空隙率 (%)	層間空隙率に対する周波数 (Hz)
円筒管	-	50	4.0	2130	2250	3.8	1.0	1.0
			8.0	1060	1000	8.3	1.1	1.0
	-	25	4.0	2130	2250	3.8	1.0	1.0
			8.0	1060	1000	8.3	1.1	1.0
球の埋積光軸	六方系埋積 六方系	40	4.1	2070	1600	5.3	1.3	1.3
			8.2	1040	800	10.6	1.3	1.3
	立方系埋積 立方系	26	4.3	1980	1400	6.1	1.4	1.4
			8.1	1020	800	10.6	1.3	1.4

表-2 単粒度砕石による吸音および透水試験結果

粒径範囲 (mm)	連続空隙率 (%)	供試体厚 (cm)	供試体厚に対する周波数 (Hz)	供試体ピーク音周波数 (Hz)	供試体空隙長 (cm)	層間空隙率 (%)	層間空隙率に対する周波数 (Hz)
20-10	33.0	6.3	1290	600	10.6	1.5	0.63
10-5	29.2	6.6	1290	710	12.0	1.8	0.54
5-2.5	26.0	6.4	1330	630	13.5	2.1	0.40
2.5-1.2	25.2	6.4	1330	630	13.5	2.1	0.26
1.2-0.6	25.1	6.6	1290	—	—	—	0.084
0.6-0.3	25.9	6.6	1290	—	—	—	0.040

外に砂や石粉を使用せず、アスファルトだけで作成した。なお、各供試体の連続空隙率はできるだけ同程度になるようにしたが、粒径の小さい供試体は連続空隙率が得にくくなるため、アスファルト量は附着に必要な最小限の量とし、最低でも25%の連続空隙率が得られるようにした。

定水位透水試験は飽和状態とし、動水勾配を数点変化させて行った。図-7に定水位透水試験方法を示す。

(3) 排水性舗装による吸音試験方法

粗骨材 (粒径13-5 mm)、砂 (粒径2.5-0 mm)、石粉、アスファルトからなる実際の排水性舗装用の混合物について、供試体厚さと空隙率を変化させた吸音試験を行った。なお、空隙率の異なる供試体は、粗骨材と砂の配合割合を変化させて作成した。

5. 試験結果及び考察

表-1, 表-2, 表-3に各々モデル供試体の吸音試験結果, 単粒度砕石による吸音及び透水試験結果, 排水性舗装による吸音試験結果を示す。

(1) モデル供試体による吸音試験結果

a) 管状供試体について

図-8に円筒管を用いた管状供試体の垂直入射吸音率測定結果を示す。図より、管状供試体の吸音スペクトルをみると、ある特定の周波数において急激に吸音率が増

表-3 排水性混合物による吸音実験結果

測定供試体厚 (cm)	供試体厚 (cm)	空隙率 (%)	ピーク音周波数 (Hz)	供試体厚に対する周波数 (Hz)	供試体ピーク音周波数 (Hz)	供試体空隙長 (cm)	層間空隙率 (%)	層間空隙率に対する周波数 (Hz)
3.0	3.2	27.9	84	2650	1250	6.8	2.1	2.1
	3.0	25.2	71	2830	1120	7.6	2.5	2.5
	3.1	18.4	41	2740	1000	8.5	2.7	2.7
	3.0	17.0	34	2830	800	10.6	3.5	3.5
	3.0	14.7	21	2830	630	13.5	4.5	4.5
4.0	3.9	28.3	79	2180	1120	7.6	1.9	1.9
	3.8	25.6	72	2240	1000	8.5	2.2	2.2
	4.0	19.3	59	2130	800	10.6	2.7	2.7
	4.0	17.2	35	2130	630	13.5	3.4	3.4
	4.1	12.5	13	2070	450	18.9	4.6	4.6
5.0	5.3	28.0	81	1600	800	10.6	2.0	2.0
	5.0	24.5	87	1700	800	10.6	2.1	2.1
	4.9	19.7	55	1740	630	13.5	2.8	2.8
	5.1	16.7	29	1670	500	17.0	3.3	3.3
	5.0	12.9	14	1700	400	21.3	4.3	4.3
7.0	7.1	27.9	86	1200	630	13.5	1.9	1.9
	7.1	23.3	88	1200	500	17.0	2.4	2.4
	7.0	19.5	41	1210	450	18.9	2.7	2.7
	7.0	14.8	19	1210	315	27.0	3.9	3.9
	7.0	12.5	—	1210	—	—	—	—
9.0	9.0	26.8	84	940	500	17.0	1.9	1.9
	8.8	24.0	73	970	500	17.0	1.9	1.9
	9.1	21.5	56	930	400	21.3	2.3	2.3
	9.0	13.4	—	940	—	—	—	—
	9.0	7.8	—	940	—	—	—	—

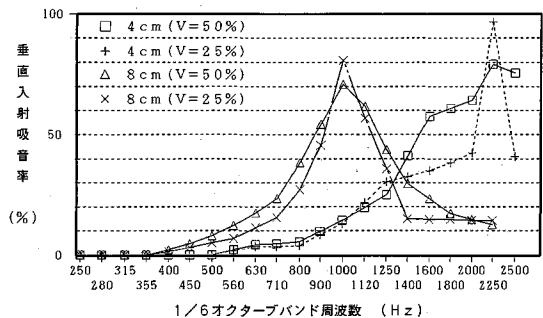


図-8 管状供試体の垂直入射吸音率測定結果

加する吸音特性を示すことがわかる。この吸音スペクトルは空隙率の違いによる差はあまりみられないが、供試体厚さにより吸音率のピークを示す周波数 (以下、ピーク吸音周波数と呼ぶ) が大きく異なることがわかる。すなわち、周波数を1/6オクターブバンドの中心周波数で表わすと、厚さ4 cmの供試体は2250 Hzに、8 cmの供試体は1000 Hzにピークが現れている。

図-6に示したように、入射波と反射波が干渉して発生する定在波は、入射波のλ/2の倍数ごとの波長で音圧の極大点を示し、λ/4の奇数倍ごとの波長で音圧の極小点を示す関係がある。いま、円筒管に入射した音波が供試体の底面で反射するとすれば、供試体の往復距離を一波長とする周波数では入射波と反射波の位相が一致して音圧の極大点を示す。また、供試体の往復距離を半波長とする周波数では逆位相となり、干渉が卓越して音圧の極小点を示す。すなわち、吸音率がピークを示すことになる。このことは、ピーク吸音周波数が入射波の波長のλ/4に相当する周波数であることを意味しており、入射波の波長のλ/4が円筒管の長さに等しいことを示している。これより、円筒管の長さに対応する周波数は、音速Cを340 m/secとすると、長さが4 cmのときは2130 Hzに、8 cmのときは1060 Hzになり、ピーク吸音

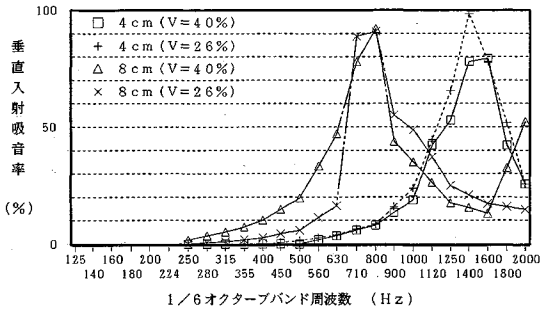


図-9 球の理論充填供試体の垂直入射吸音率測定結果

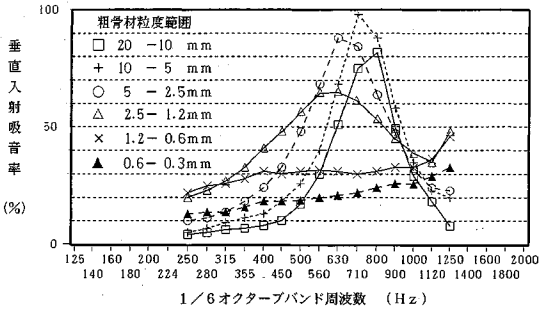


図-10 単粒度碎石の垂直入射吸音率測定結果

周波数とほぼ一致するのがわかる。

b) 球の理論充填による供試体について

図-9に球の理論充填による供試体の垂直入射吸音率測定結果を示す。図より、球の理論充填による供試体の吸音スペクトルは、球の充填の仕方、つまり空隙率の違いにはあまり関係なく、供試体厚さによってピーク吸音周波数が異なる管状供試体と同様の、ある特定の周波数において急激に吸音率が增加する吸音特性を示すことがわかる。

各供試体のピーク吸音周波数をみると、厚さ4cmの供試体は六方系粗充填が1600Hzに、六方系最密充填が1400Hzに、8cmの供試体は六方系粗充填、六方系最密充填ともに800Hzにピークが現れており、図-8と比較し各供試体厚さに対応する周波数よりも低周波域に位置しているのがわかる。このことは、各供試体内部の空隙長さが供試体厚さよりも長くなっていることを示すものである。供試体内部の空隙長さと供試体厚さの比、すなわち屈曲度を求めると、数学的計算で求めた屈曲度(六方系粗充填1.3, 六方系最密充填1.4)とほぼ一致する値であることがわかる。

以上のように、管状供試体と球の理論充填による供試体の吸音試験結果から、入射波と反射波との位相関係を利用して、多孔体層の空隙長や屈曲度を求めることが可能であることがわかった。

(2) 単粒度碎石による吸音及び定水位透水試験結果

a) 吸音試験結果について

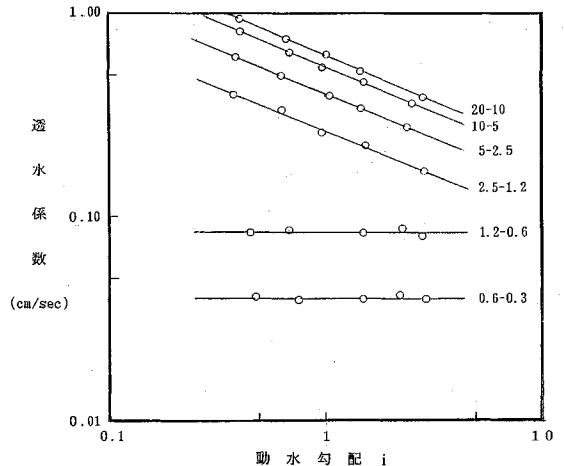
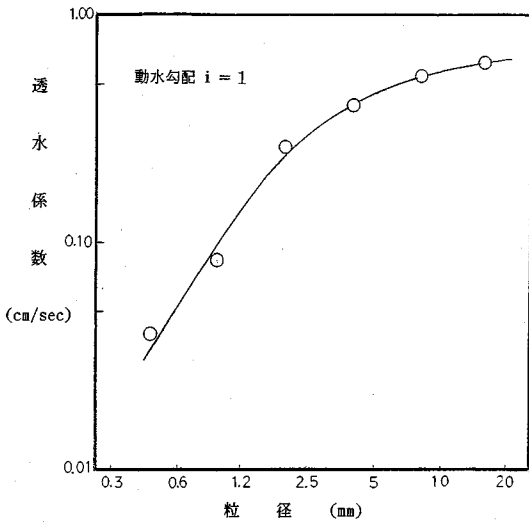


図-11 動水勾配と透水係数の関係

図-10に粒径の異なる単粒度碎石マーシャル供試体の垂直入射吸音率測定結果を示す。図より、各供試体の吸音スペクトルをみると、粒径の大きい20-10mmと10-5mm、及び5-2.5mmの供試体は前述したモデル供試体と同様に、ある特定の周波数で急激に吸音率が增加する吸音特性を示すが、粒径が2.5-1.2mmと小さくなると吸音スペクトルは緩やかな形状を示すようになった。粒径が1.2-0.6mm、0.6-0.3mmとさらに小さくなると、吸音スペクトルは平坦となり、ピークを示す周波数も判然とせず、吸音率も全体に低い値を示すようになった。これらの供試体の連続空隙率は25%程度とかなり大きいものであり、この結果より空隙径がある範囲よりも小さくなると吸音特性が変化することがわかる。その境界は、粒径が2.5-1.2mmで構成される空隙径と1.2-0.6mmで構成される空隙径の間とみることができ。このように、ある粒径を境界として吸音特性が変化する原因としては、モデル供試体を含めて空隙径が大きい場合には、供試体底面からの反射波が強く、これが入射波と強く干渉してある特定の周波数で大きい吸音効果を示すようになるが、空隙径が小さい場合には、底面からの反射波が内部で減衰してしまい次第に弱い干渉しか起こせなくなるためと考えられる。

次に、各供試体のピーク吸音周波数をみると、粒径20-10mmの供試体は800Hzに、以下、10-5mmは710Hzに、5-2.5mmと2.5-1.2mmは630Hzに現れている。各々、屈曲度を求めると、粒径20-10mmは1.5、10-5mmは1.8、5-2.5mmと2.5-1.2mmは2.1となり、粒径が小さくなると屈曲度が幾分か大きくなる結果となっている。ここで、粒径が異なっても骨材形状が相似であれば空隙長さ、屈曲度は変らないはずである。粒径が小さくなるにしたがって屈曲度が幾分か大きくなる原因は、主に各供試体の連続空隙率の違いによるものと考え



図一12 粒径と透水係数の関係

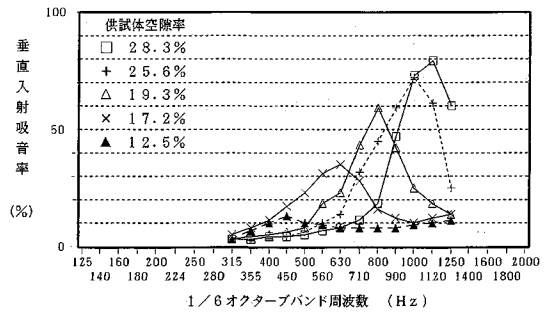
られる。

b) 定水位透水試験結果について

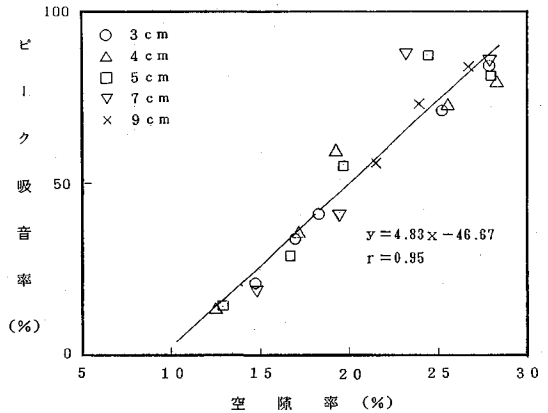
図一11に単粒度砕石マーシャル供試体の動水勾配と透水係数の関係を示す。図より、粒径の大きい20-10と10-5 mm、及び粒径が5-2.5、2.5-1.2 mmの供試体は、各々、動水勾配が小さくなると透水係数が大きくなるという両対数グラフ上において傾きのほぼ等しい直線的な関係が認められた。しかし、粒径が1.2-0.6 mm、0.6-0.3 mmと小さくなると、動水勾配に対して透水係数が一定の値を示すようになり、それよりも粒径の大きい供試体とは異なる透水傾向を示すことがわかった。

砂層のように細かい空隙をもつ多孔体が水で満たされ、層流状態で水が動いている場合、断面を通過する平均流速 u はそのときの動水勾配 i に比例するという $u = ki$ の関係があり、このとき透水係数 k は供試体ごとに一定の値をとる。これがダルシーの法則であり、透水係数の定義式である。今回の透水試験結果から、動水勾配 $i=1$ 付近において、単粒度砕石の粒径が1.2-0.6 mm、0.6-0.3 mmと小さい場合には動水勾配に対して透水係数が一定の値を示しているのでダルシーの法則にあてはまる層流域の透水であることがわかる。しかし、粒径がそれよりも大きくなると、動水勾配に対して透水係数が一定の値とならず、ダルシーの法則があてはまらない乱流域の透水であることがわかった。このことから、動水勾配 $i=1$ 付近では、粒径が2.5-1.2 mmと1.2-0.6 mmの間に乱流域と層流域の遷移領域があるとみることができる。

図一12に動水勾配 $i=1$ における粒径と透水係数の関係を示す。なお図は、単粒度砕石の粒径範囲の中心径としてプロットした。図より、粒径が20-10 mmから5-2.5 mmまでの供試験体は透水係数は緩やかな低下傾



図一13 排水性舗装の垂直入射吸音率測定結果 (供試体厚4 cmの例)



図一14 排水性舗装の空隙率とピーク吸音率の関係

向を示すが、粒径5-2.5 mmと2.5-1.2 mmを境界として透水係数は急激に低下し、粒径が1.2-0.6 mm、0.6-0.3 mmでは 10^{-2} cm/sec オーダーの小さい値を示した。したがって、2.5-1.2 mm付近の粒径が透水係数に影響を与える変化点の粒径であるといえる。このことは、単粒度砕石の吸音試験結果の傾向とも一致するものであり、粒径が大きく入射波と反射波の干渉が卓越する吸音特性を示す供試体は透水係数も大きい、粒径が小さくなり吸音スペクトルが平坦な形状を示すようになると透水係数が小さくなることを示している。換言すれば、排水性舗装の吸音特性を知ることにより、排水性舗装の空隙構造や透水性を推定することが可能であることを示すものである。

(3) 排水性舗装の吸音試験結果

図一13に供試体厚さと空隙率(独立空隙率を含む全体空隙率)を変えた排水性舗装用混合物の垂直入射吸音率測定結果のうち、供試体厚さ4 cmの結果を示す。図より、空隙率の大きい場合、ピーク吸音率は高周波域において大きい値を示すが、空隙率が小さくなるとピーク吸音率は徐々に低周波域に移行して小さい値を示すようになった。厚さと空隙率の異なる全ての供試体について、これらの関係を空隙率とピーク吸音率の関係、空隙率と屈曲度の関係として、各々、図一14、図一15に表して

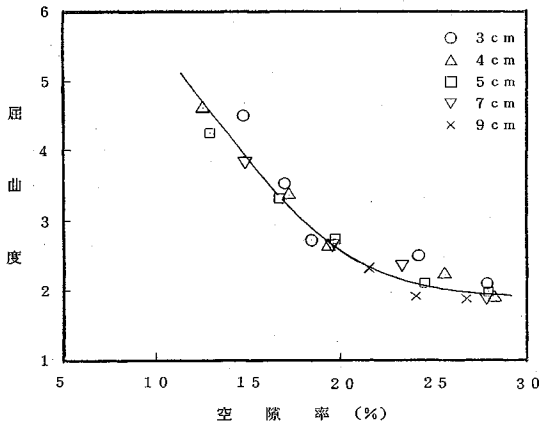


図-15 排水性舗装の空隙率と屈曲度の関係

みた。

図-14において、空隙率とピーク吸音率の関係をみると、相関係数が $r=0.95$ と高い直線的な関係が認められており、ピーク吸音率から排水性舗装の空隙率が推定できることがわかる。この直線の式から、ピーク吸音率が100%及び0%を示す空隙率を外挿して求めると、各々、30%と10%となる。また、吸音材料と見なし得る吸音率は一般に30%以上とされている¹³⁾が、これを満足する空隙率は約16%以上ということになる。さらに、排水性舗装の空隙率は一般に20%以上が望ましいと考えられているが、空隙率20%におけるピーク吸音率は約50%である。

なお、前述のモデル供試体の吸音試験結果では、空隙率とピーク吸音率の間にはあまり関係がないとしたが、これはモデル供試体が排水性舗装用混合物供試体と比較して空隙径がかなり大きいことや、空隙率が極めて大きい範囲を取扱っているためであると考えられる。

図-15において、空隙率と屈曲度の関係を見ると、空隙率が大きい場合、屈曲度は空隙率の低下に伴って緩やかに増加するが、空隙率がある点を境界として急激に増加するのが認められた。その境界の空隙率は概ね21~22%であり、そのときの屈曲度は2.3~2.4程度である。空隙率の低下に伴って屈曲度が大きい値を示すことは、内部の空隙経路がより長くなり、空隙径がより微細になることを示すものであり、少なくとも透水性には好ましくない。この空隙率と屈曲度の関係からすれば、空隙率は21~22%以上が必要であるといえ、これまでの排水性舗装の空隙率は20%以上必要であるとの認識は概ね正しいものといえよう。

6. まとめ

これまでの吸音試験の結果から、定在波法による垂直入射吸音率測定方法は、単に吸音材料の吸音特性を表現するだけでなく、多孔体層の空隙構造を推定する方法と

して有効であることがわかった。今回の試験結果をまとめると以下ようになる。

- (a) 入射波と反射波の位相関係を利用して、多孔体層の空隙長と屈曲度を求めることができる。
- (b) 粒径が2.5-1.2 mm以上と1.2-0.6 mm以下では吸音特性に違いが認められる。
- (c) 動水勾配 $i=1$ 付近における透水は、粒径が2.5-1.2 mmと1.2-0.6 mmの間に乱流域と層流域の遷移領域がある。
- (d) 排水性舗装のピーク吸音率と空隙率は相関性の高い直線的な関係が認められる。
- (e) 排水性舗装の空隙率が21~22%以下になると屈曲度が急激に増加する。

7. おわりに

排水性舗装の空隙構造と機能性を推定する一手法として、定在波法による垂直入射吸音率測定方法を提案した。

今後の課題として、ここに示した排水性舗装の物理的特性の評価だけでなく、例えば、排水性舗装の施工管理試験として、あるいは目詰りした排水性舗装の残存機能評価方法としての利用の可能性について検討したいと考えている。

最後に、本研究は長岡技術科学大学技術開発センターの研究プロジェクト「ポーラスアスファルトに関する研究」の一環として行われたものである。参加各位の援助と熱心な討論に支えられたことを記して深甚なる謝意を表す次第である。また、試験にあたっては、長岡技術科学大学の高橋修氏、福田道路(株)の田口仁氏、水野卓哉氏の多大な協力を得た。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) U. Sandberg: Road Traffic Noise-The Influence of the Road Surface and its Characteristics, Applied Acoustic 21, pp.97~118, 1987.
- 2) 帆苅浩三・高橋修・丸山暉彦: 開粒度アスファルトコンクリートの吸音特性と騒音低減効果, 舗装, 25-7, pp.23~27, 1990.
- 3) 帆苅浩三・丸山暉彦: 開粒度アスコンの音響特性, 平成2年度日本音響学会講演論文集, pp.597~598, 1990.
- 4) 帆苅浩三・原富男・金野諒二: 開粒度アスコンへの適用を考慮した改質アスファルトについて, 第45回土木学会年次学術講演会論文集, V-16, pp.58~59, 1989.
- 5) 笠原彰彦・根本信行・下田哲也: 開粒度アスコンの吸音特性に関する検討, 道路建設, No.517, pp.60~66, 1991.
- 6) 帆苅浩三・田口仁・本間良信: 開粒度アスファルトコンクリートの骨材配合に関する一考察, 舗装, 26-3, pp.3~8, 1991.
- 7) 高橋修・丸山暉彦・帆苅浩三: 排水性舗装の吸音特性と舗装厚について, 道路建設, No.532, pp.46~51, 1992.
- 8) 久保輝一郎・神保元二・水渡英二・高橋浩・早川宗八郎: 粉体, ~理論と応用~, 丸善, pp.338~340, 1979.

- 9) 近藤連一：多孔材料～性質と利用～，pp.350～351，技報堂出版，1991.
- 11) 環境管理設備辞典編集委員会編，環境管理設備辞典：騒音・振動防止，産業調査会.
- 10) (社)計量管理協会編：騒音と振動計測技術，コロナ社. (1993.6.14 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON VOID STRUCTURE OF THE DRAINAGE ASPHALT PAVEMENT

Kozo HOKARI, Teruhiko MARUYAMA, Hideo OHKAWA and Kiyoshi KOYAMA

In this paper, the authors mainly describe a method inferring void structure and the functions of the drainage asphalt pavement, analyzing sound absorption spectrum using the standing wave method. The void content and the tortuosity are estimated from the peak sound absorption coefficient and the peak sound absorption frequency. In addition, the permeability is presumed from the shape of sound absorption spectrum.