

論文 ポーラスコンクリートの骨材粒径および空隙率が吸音特性に及ぼす影響

張 雪梅*1・中澤 隆雄*2・新西 成男*3・濱山 征也*4

要旨:本研究は、石灰石および火山性軽量骨材のぼらの粒径を変えて作製した、ポーラスコンクリートの空隙率と厚さおよび供試体背後と測定管との空気層の厚さが、吸音特性に及ぼす影響について実験的に検討したものである。その結果、これらの要因はピーク吸音率との相関性は示さないものの、ぼらの方が石灰石よりも低周波の音をよく吸収すること、石灰石およびぼらのいずれの場合も供試体の厚さおよび供試体背後の空気層の厚さが厚くなるほど、空隙率が低下するほど吸音ピーク周波数が低下することが明らかとなり、2000Hzまでの幅広い周波数帯で吸音できる優れた材料であることが確かめられた。

キーワード:ポーラスコンクリート, 吸音特性, 空隙率, 供試体厚さ, 空気層, 骨材粒径

1. はじめに

近年、騒音公害を受ける道路周辺の環境問題がますます深刻になってきた。よって、騒音を低減させる方策が緊急に求められており、騒音低減材料としてのポーラスコンクリートに関する研究が次第に活発となってきている^{1)~8)}。ポーラスコンクリートは、連続した空隙を有し内部表面積が大きいと、多くの機能を有していると考えられ、その1つとして優れた吸音材料としての適用も可能であると思われる。

そこで本論文は管内法垂直入射吸音率測定法⁹⁾により、1)骨材の種類(石灰石および南九州に多くみられる火山性の多孔質な軽量骨材であるぼら)、2)骨材粒径、3)空隙率、4)供試体の厚さ、および5)供試体背後と測定管端部との空気層の厚さが吸音特性に及ぼす影響を検討することを目的としたものである。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

供試体の作製にあたり、使用したセメントは普通ポルトランドセメント(密度: 3.15 g/cm³)であり、粗骨材は表-1に示すような物理的性質

を有する5種類の粒径範囲の石灰石およびぼらである。ポーラスコンクリートの目標空隙率は20, 25 および 30%の3種類とした。水セメント比は全て40%で統一し、表-2に示す配合を用いている。

ポーラスコンクリートの練混ぜには、パン型水平強制練りミキサ(容量50l)を用いた。まず全粗骨材と全水量の25%を投入して30秒間練り混ぜた後、ポルトランドセメントを投入して60秒間練り混ぜた。続いて残りの75%の水を投入して30秒間の練混ぜを行った。次にミキサの内周面に付着したペーストをはぎ落とすため約30秒間ミキサを止め、その後再度30秒間の練混ぜを行った。吸音試験用として直径

表-1 骨材の物理的性質

骨材粒径 (mm)	密度 (表乾, g/cm ³)		吸水率 (%)	
	石灰石	ぼら	石灰石	ぼら
5~10	2.71	1.33	0.15	112.9
10~15	2.71	1.31	0.18	122.0
15~20	2.71	1.25	0.25	141.1
5~15	2.67	1.31	0.55	125.0
5~20	2.69	1.31	0.33	126.5

*1宮崎大学大学院 工学研究科システム工学専攻(正会員)

*2宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博(正会員)

*3宮崎大学助手 工学部土木環境工学科 博士(工学)(正会員)

*4宮崎大学大学院 工学研究科土木環境工学専攻

表-2 ポーラスコンクリートの配合

骨材種類	骨材粒径 (mm)	空隙率(%)		単位量(kg/m ³)		
		目標	実測	水	セメント	骨材
石灰石	5~10	20	18.9	104.9	262.3	1658
		25	27.0	77.1	192.6	
		30	33.0	49.2	122.9	
	10~15	20	19.9	112.9	282.3	1619
		25	27.3	85.0	212.6	
		30	33.4	57.2	142.9	
15~20	25	26.2	85.5	213.7	1617	
5~15	25	25.2	80.9	202.1	1615	
5~20	25	26.1	75.6	189.0	1652	
ぼら	5~10	20	18.8	87.1	217.8	856
		25	23.6	59.2	148.1	
		30	31.0	31.4	78.4	
	10~15	20	21.4	104.2	260.6	803
		25	26.0	76.4	190.9	
		30	29.9	48.5	121.2	
	15~20	25	26.2	73.4	183.5	773
	5~15	25	26.6	58.5	146.3	851
	5~20	25	26.6	57.7	144.2	847

92mm、高さ 200mm の円柱供試体を作製するにあたり 2 層に分けて、各層を 15 回突き固めた。打設後の供試体は 20±2℃ の恒温室に置き、24 時間後脱型した。空隙率を測定した後、材齢 28 日まで水中養生(水温 20±2℃)を行った。吸音測定には上記の円柱供試体を所定の厚さの 30~100mm に切断したものをを用いている。

2.2 試験項目および試験方法

吸音特性に影響を及ぼす表-2 に示した要因に加えて 30, 50, 60, 80 および 100mm と変化させた供試体の厚さならびに 0, 30 および 50mm と変えた供試体背後と吸音測定管端面との間の空気層の厚さについて検討を加えた。空隙率の

測定は JCI エココンクリート研究委員「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)」¹⁰⁾ の容積法に準じて行った。

吸音率の測定は自動垂直入射吸音率測定器を用いて JIS A 1405 「管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法」⁹⁾ に準拠して行った。本測定法の概要を図-1 に示す。音響管の一端に軸方向に垂直に固定された供試体に、スピーカから 100Hz を規準とした 125~2000Hz までの 1/3 オクターブ間隔の周波数の正弦平面波を送ると、入射波と供試体による反射波とに干渉が生じる。入射波の音圧振幅を A, 反射波の音圧振幅を B とすれば、音圧振幅が極大値 |A+B| と極小値 |A-B| になるところが 1/4 波長ごとに交互に生じる。その音圧振幅の比を定在波比 n とする。音のエネルギーは音圧振幅の 2 乗に比例することから、垂直入射吸音率 α_0 は結局、 $\alpha_0 = 4/(n + 1/n + 2)$ として求められる。すなわち、n を測定すれば α_0 が得られることとなる。

3. 実験結果および考察

3.1 粗骨材の種類の影響

粗骨材の種類が垂直入射吸音率と周波数の関係に及ぼす影響をみるために、一例として同一の粒径 5~10mm の石灰石およびぼらを用いて空隙率 25%、供試体厚さ 50mm、供試体背後の空気層厚さ 0mm とした場合の結果を図-2 に示す。石灰石の場合の吸音ピーク周波数とそのときの吸音率は 1000Hz, 0.99 であり、ぼらの場合は 800Hz, 0.78 であった。また、同一粒径 5~10mm、同一空隙率 25%、同一供試体厚さ 30mm とし、供試体背後の空気層の厚さを変えたときの粗骨材の種類による吸音ピーク周波数の相違を図-3

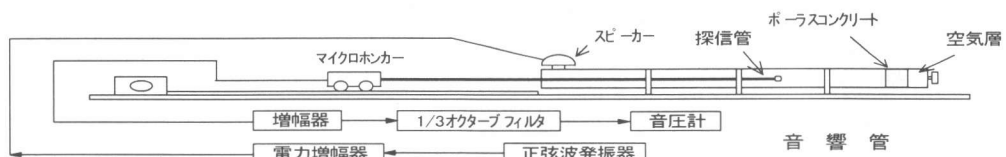


図-1 自動垂直入射吸音率測定器概要

に、さらには同一粒径 10 ~ 15mm, 同一空隙率 30 %, 同一供試体厚さ 30mm として、供試体背後の空気層の厚さを変えたときの粗骨材の種類による吸音ピーク周波数の相違を図-4に示す。これらの図からわかるように、種々の要因が同一であっても、ぼらを用いた場合には石灰石の場合よりも吸音ピーク周波数が低い方に移行する傾向が明瞭に認められた。

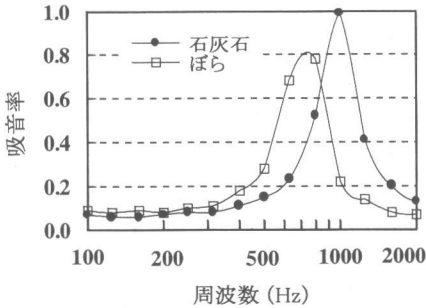


図-2 吸音率-周波数関係に及ぼす骨材種類の影響 (粒径5~10mm, 空隙率25%, 供試体厚さ50mm)

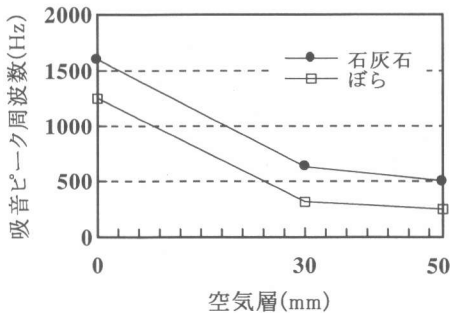


図-3 吸音ピーク周波数に及ぼす骨材種類の影響 (粒径5~10mm, 空隙率25%, 供試体厚さ30mm)

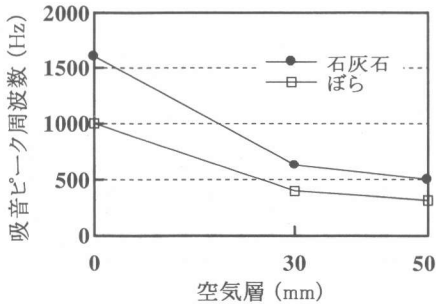


図-4 吸音ピーク周波数に及ぼす骨材種類の影響 (粒径10~15mm, 空隙率30%, 供試体厚さ30mm)

3.2 粗骨材の粒径の影響

粗骨材の粒径が吸音特性に及ぼす影響を検討した結果の一例として、図-5に石灰石を用いた場合供試体厚さ 30mm, 空隙率 25 %, 供試体背後の空気層厚さ 0mm のときの垂直入射吸音率と周波数の関係を示す。骨材の粒径が変化すれば空隙径の大きさ等の空隙構造が変化し、空隙率が同一でも骨材粒径が小さくなると空隙径が小さくなるので、吸音効果に違いが生じるのではないかと考えられたが、この図から明らかなように、粗骨材の粒径を変えても、吸音ピーク周波数はほぼ同じとなっている。さらに図-6に石灰石を用いた場合で、空隙率 25 %, 供試体背後の空気層の厚さを 0mm として供試体厚さを変えたときの粒径の相違による吸音ピーク周波数を示しているが、この図からも粒径の相違は吸音ピーク周波数には影響を及ぼさないことがわかる。また、ピーク吸音率については図-7に示すような結果が得られたものの、明瞭な傾向は認められなかった。なお、ぼらを用いた場合も、

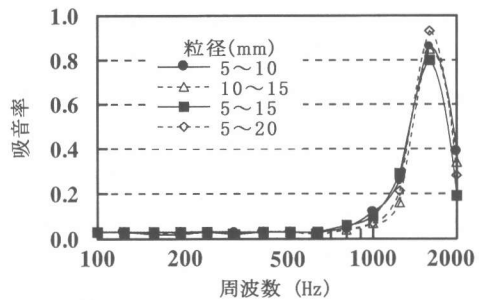


図-5 吸音率-周波数関係に及ぼす骨材粒径の影響(石灰石, 空隙率25%, 供試体厚さ30mm)

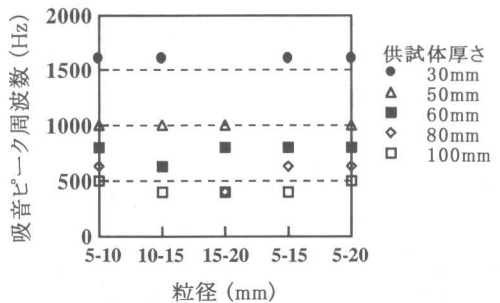


図-6 吸音ピーク周波数に及ぼす骨材粒径の影響(石灰石, 空隙率25%, 空気層厚さ0mm)

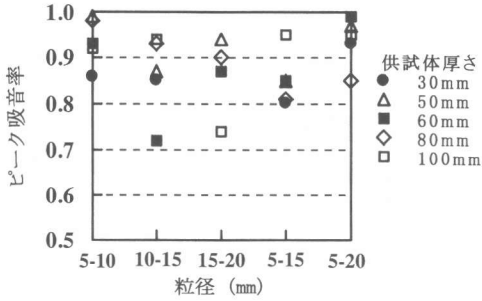


図-7 ピーク吸音率に及ぼす骨材粒径の影響
(石灰石, 空隙率25%, 空気層厚さ0mm)

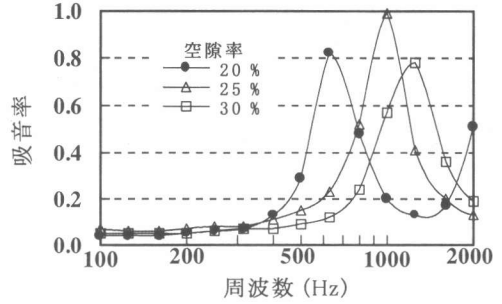


図-8 吸音率-周波数関係に及ぼす空隙率の影響
(石灰石, 粒径5~10mm, 供試体厚さ50mm)

以上のような吸音ピーク周波数, ピーク吸音率に関する傾向は石灰石の場合と同様であった。

3.3 空隙率の影響

空隙率を 20, 25 および 30 % の 3 種類として空隙率が吸音特性に及ぼす影響を検討した。吸音率と周波数の関係を, 粒径 5 ~ 10mm の石灰石を用いた厚さ 50mm の供試体で供試体背後の空気層を 0mm とした場合について図-8 に示す。この図から, 空隙率が増大するに伴い吸音ピーク周波数が大きくなっていることがわかる。また図-9 に, 石灰石を用いて供試体の厚さを種々変化させたときの空隙率が吸音ピーク周波数に及ぼす影響を示す。供試体厚さ 30mm の場合を除いて空隙率が増大するとともに吸音ピーク周波数が高くなる傾向が明瞭に認められる。なお図-10 に空隙率の変化がピーク吸音率に及ぼす影響を示しているが, ピーク吸音率と空隙率の間には一定の関係は認められない。ぼらを用いた場合でも, 吸音ピーク周波数と空隙率との間には明らかに相関があることが確かめられたが, ピーク吸音率に関しては相関はないことは石灰石の場合と同様であった。

3.4 供試体の厚さの影響

図-11 に, 粒径 5 ~ 10mm のぼらを用いて空隙率 30 %, 供試体背後の空気層の厚さを 0mm とした場合の吸音率と周波数の関係に及ぼす供試体厚さの影響を示す。供試体の厚さが厚くなる

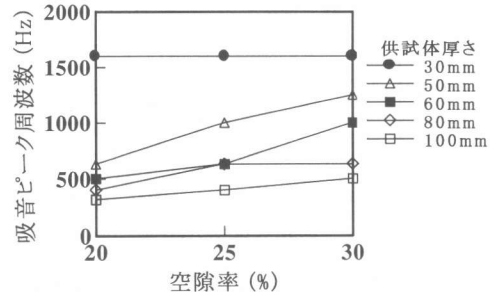


図-9 吸音ピーク周波数に及ぼす空隙率の影響
(石灰石, 粒径5~10mm, 空気層厚さ0mm)

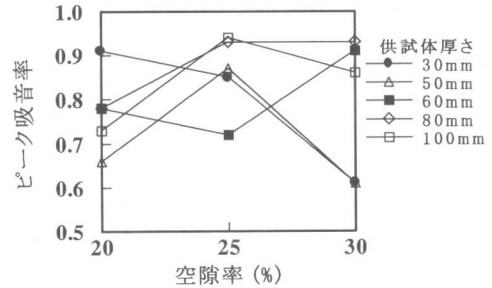


図-10 ピーク吸音率に及ぼす空隙率の影響
(石灰石, 粒径5~10mm, 空気層厚さ0mm)

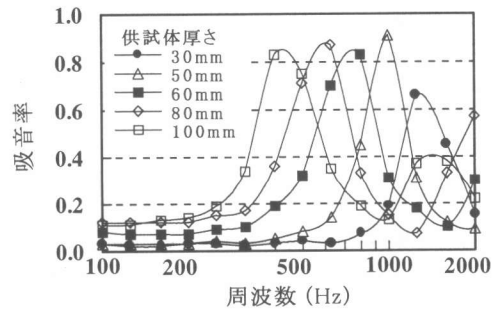


図-11 吸音率-周波数関係に及ぼす供試体厚さの影響(ぼら, 粒径5~10mm, 空気層厚さ0mm)

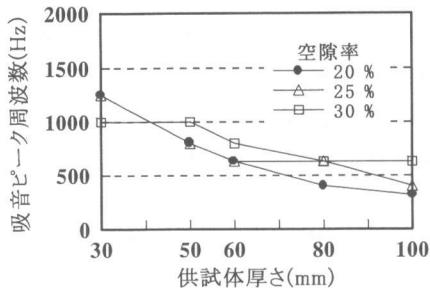


図-12 吸音ピーク周波数に及ぼす供試体厚さの影響 (ぼら, 粒径 10~15mm, 空気層厚さ 0mm)

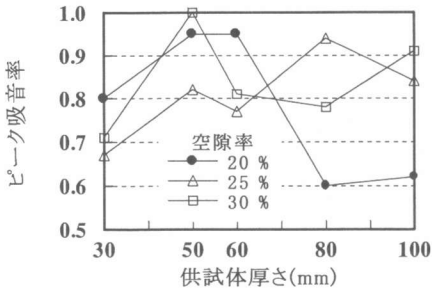


図-13 ピーク吸音率に及ぼす供試体厚さの影響 (ぼら, 粒径 10~15mm, 空気層厚さ 0mm)

につれてピーク吸音周波数が低くなっていくことがわかる。しかし、供試体の厚さが変わってもピーク吸音率には大きな変化は認められなかった。図-12には、粒径 10 ~ 15mm のぼらを用いて空隙率 20, 25 および 30 %, 供試体背後の空気層の厚さを 0mm とした場合の吸音ピーク周波数に及ぼす供試体厚さの影響を示す。これらの場合でも供試体の厚さが厚くなるにつれて吸音ピーク周波数が低くなっていくことがわかる。しかし、図-13に示すようにピーク吸音率の変化に一定の傾向は認められなかった。これらのことは石灰石を用いた場合でも全く同様であった。

3.5 供試体背後の空気層の厚さの影響

供試体背後と管内法測定装置の管端部との間に空気層を設けることで空気層の厚さの影響を検討した。得られた吸音率と周波数の関係を、一例として粒径 5 ~ 10mm の石灰石、空隙率 25 %, 供試体厚さ 50mm の場合について図-14に示す。空気層の厚さが厚くなるにつれて明らかに

吸音ピーク周波数が低下していることがわかる。この傾向をさらに詳しく示したものが図-15である。すなわち、粒径 10 ~ 15mm の石灰石で空隙率 30 % のポーラスコンクリートの供試体厚さを 30 ~ 60mm に変化させたとき、空気層が厚くなるに伴って明らかに吸音ピーク周波数は低下している。しかし、ピーク吸音率は図-16 に示すように、空気層の厚さの増大に伴って低下する場合や増加する場合もあり、一定の傾向とはな

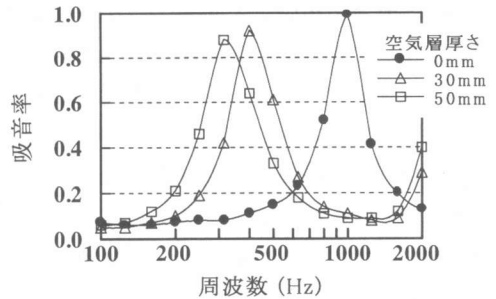


図-14 吸音率-周波数関係に及ぼす空気層厚さの影響(石灰石, 粒径5~10mm, 供試体厚さ50mm)

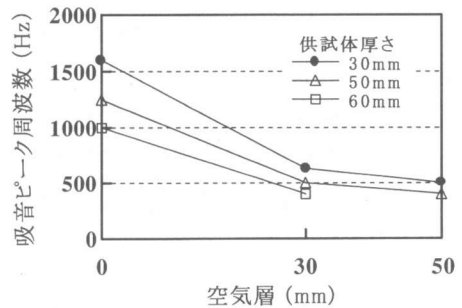


図-15 吸音ピーク周波数に及ぼす空気層厚さの影響(石灰石, 粒径10~15mm, 空隙率30%)

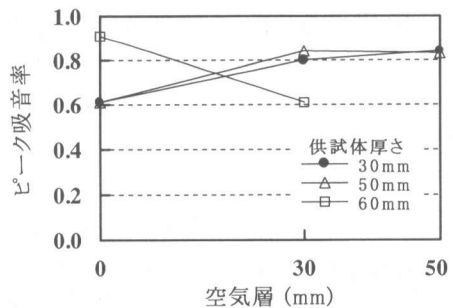


図-16 ピーク吸音率に及ぼす空気層厚さの影響(石灰石, 粒径10~15mm, 空隙率30%)

っていない。

4. まとめ

本研究は、ポーラスコンクリートの吸音特性を管内法垂直入射吸音率の測定結果を基に検討したものであり、得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1)粗骨材として、南九州特有の火山性軽量骨材であり多孔質なぼらを用いる方が、石灰石を用いる場合よりも吸音ピーク周波数が低くなる。これまでの研究成果¹⁾によれば、軽量骨材を用いても骨材の周りがモルタル層でコーティングされるため内包する空隙に音が吸収されにくいとされているが、本実験に用いたぼらは、その表面および内部の空隙が吸音に寄与しているものと思われる。
- (2)骨材の粒径の違いは吸音ピーク周波数の変化に明瞭な影響は及ぼさない。
- (3)空隙率が増大するにつれて、石灰石、ぼらのいずれの場合も吸音ピーク周波数は高い方へ移行する。
- (4)ポーラスコンクリートの厚さが増すにつれて、吸音ピーク周波数が低い方へ移行するのは石灰石、ぼらのいずれの場合も同様であった。
- (5)ポーラスコンクリートの背後に設けた空気層が厚くなるに伴って、吸音ピークは低周波数帯域へ移行する。
- (6)ピーク吸音率に関しては高い値が得られているが、今回考慮した影響要因と特に明瞭な相関は認められなかった。

以上のようにポーラスコンクリートの吸音特性が得られたことから、ポーラスコンクリートの空隙率や厚さ、さらにはポーラスコンクリートの背後の空気層を適切に設定することで、優れた吸音機能を有する製品の開発も可能であると思われる。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費（平成11年度～13年度基盤研究(C)(2)）(課題番号：11650468)により行ったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 堂園昭人, 岡本享久, 藤原浩已, 上野雅之: 管内法によるポーラスコンクリートの吸音特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 1, pp. 679-684, 1997. 6
- 2) 玉井元治, 田中光徳: 軽石を用いたまぶしコンクリートの吸音特性, セメント・コンクリート論文集, No. 46, pp. 892-897, 1992
- 3) 松尾伸二, 丸山久一, 清水敬二, 江本佑橘: 透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 525-530, 1993
- 4) 玉井元治, 田中光徳: シラス軽石を用いた多孔質コンクリートの吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 711-716, 1994
- 5) 玉井元治, 田中光徳: シラス軽石を用いた吸音性コンクリート, 第47回セメント技術大会講演集, pp. 778-783, 1993
- 6) 玉井元治, 計良善也, 橋本圭司: NOxを吸着する吸音性コンクリート, セメント・コンクリート論文集, No. 51, pp. 870-875, 1997
- 7) 田中光徳, 玉井元治: 各種骨材を用いたまぶしコンクリートの垂直入射吸音率, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, pp. 196-197, 1991
- 8) 水野卓哉, 帆苅浩三, 丸山暉彦: 球の充填モデルによる吸音特性の検討, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集, pp. 138-139, 1992
- 9) JIS A 1405 「管内法による建築材料の垂直入射吸音率測定方法」
- 10) 日本コンクリート工学協会: コンクリート研究委員会報告書(自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望), 1995. 11