

# 論文 ポーラスコンクリートの吸音特性に関する検討

張 雪梅<sup>\*1</sup>・中澤 隆雄<sup>\*2</sup>・今井 富士夫<sup>\*2</sup>

**要旨:** ポーラスコンクリートの吸音特性に関して, 骨材の種類, 空隙率, 供試体厚さ, 供試体間の空気層厚さを变化させ, 管内法による垂直入射吸音率測定法によって実験的に検討した。その結果, 上記の要因はピーク吸音率には明瞭な影響はないこと, 火山性骨材のぼらは軽量で密度が石灰石に比べて小さいが, 高い空隙率を内包しており優れた吸音材料となること, 骨材の種類にかかわらず供試体厚さおよび供試体間の空気層厚さが増大するほど, 空隙率が低下するほど吸音ピークが低周波数域に移行すること, また影響要因を適切に組み合わせれば, 所要の吸音性能を得ることも可能であることが確認された。

**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

## 1. はじめに

近年エココンクリートへの関心が高まり, 環境負荷の低減や生物への対応が可能なポーラスコンクリートについての研究が活発になされている<sup>1)</sup>。連続空隙を有し, 内部表面積の大きなポーラスコンクリートは, 多くの優れた機能を有しており, 環境負荷低減機能の1つとして吸音機能が挙げられる。この分野についても精力的に研究がなされ<sup>2)~6)</sup>, その特性は次第に明らかになってきており, 良好な吸音材料としての開発も期待されているが, その特性が十分に解明されている状況にはない。そこで本研究は, ぼらおよび石灰石を用いたポーラスコンクリートで, 1)同一空隙率や異なった空隙率を組み合わせさせた場合, 2)同じ厚さや異なった厚さを組み合わせさせた場合で, 重ね合わせた2つの供試体間の空気層の厚さを变化させたときの吸音特性を, 管内法による垂直入射吸音率測定結果に基づいて検討することを目的としたものである。

実験供試体は, 普通ポルトランドセメント(密度: 3.15 g/cm<sup>3</sup>)および表-1 に示すような物性の石灰石および南九州に多く見られる火山性の軽量骨材であるぼらを用いて作製した。ポーラスコンクリートの配合を表-2 に示す。水セメント比は40%で, 目標空隙率は20, 25 および 30%としたが, 実測値とはやや相違が見られた。なお, 空隙率の測定はJCI エココンクリート研究委員会「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)」<sup>1)</sup>の容積法によっている。

練混ぜには, パン型水平強制練りミキサ(容量 50 l)を用いた。まず最初に全粗骨材をミキサに投入した後, 全水量の25%を入れ 30 秒間練り混ぜた。次にポルトランドセメントを入れ 60 秒間練り混ぜた。その後残りの 75%の水を入れ 30 秒間練り混ぜたが, ミキサの内周面にペース

表-1 骨材の物理的性質

骨材粒径 (mm)	密度 (表乾, g/cm <sup>3</sup> )		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

## 2. 実験概要

### 2.1 実験供試体

\*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)

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 <sup>3</sup> )		
		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	
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	

トが付着していたのでこれをはぎ落としした後、再度 30 秒間練り混ぜた。供試体として直径 92mm、高さ 200mm の円柱を作製した。高さを 2 層に分けて打設し、各層を 15 回ずつ突き棒にて突き固め、直ちに 20±2 の恒温室に置き、24 時間後に脱型した。その時点で空隙率を測定し、材齢 28 日までは水中養生(水温 20±2 )を行った。

### 2.2 実験方法

吸音率は、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」<sup>7)</sup> に準拠して測定した。本測定法の概要は次のとおりである。音の波長に比較して十分小さな直径の管内に設置した試料に、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垂直に入射させると、入射波と反射波が干渉し定在波が生じ、1/4 波長ごとに山・谷として極大および極小音圧が現れる。入射波の音圧振幅を A、反射波の音圧振幅 B とすれば、極大値 |A+B| と極小値 |A-B| の比が定在波比 n となる。音圧反射率 r は |B/A|、垂直入射吸音率  $\alpha_0$  は  $1 - |r|^2$  であるから、 $\alpha_0 = 4 / (n + 1 / n + 2)$  となる。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 骨材単体の吸音特性

ぼらおよび石灰石をセメントペーストで接着

しない骨材単体としての吸音特性を検討するために、厚さ 100mm となるように各粒子を実験容器に詰めて吸音率を測定した。なお粒径 5~10mm のぼらを絶乾状態で一定容積に投入したときの空隙率(各粒子間の空隙が全容積に占める割合であり、粒子内部の空隙は含まない)は 35.6%で、多孔性であるぼら粒子内部の空隙率(粒子内部の空隙が粒子容積に対して占める割合であり、本論では吸水量を用いて算定)は 70.5%であり、粒径 10~15mm のぼらではそれぞれ 38.6%と 71.9%であった。また粒径 5~10mm の石灰石の空隙率は 38.9%、粒径 10~15mm の石灰石では 40.3%であった。得られた吸音率-周波数関係を骨材別に図-1 および図-2 に示す。一般に骨材粒径が小さくなれば単位容積当たりの骨材表面積が増大するため吸音率が大きくなる傾向にあり、今回得られた結果にも、骨材の種類にかかわらずその傾向が認められた。またぼらの場合、湿潤状態となれば骨材自体の内部空隙率も含めて空隙が水で満たされ、密度も大きくなり、ぼらと石灰石の吸音特性にほとんど差異は生じなかったが、絶乾状態であれば骨材自体の内部空隙率が大きい特性が活かされ

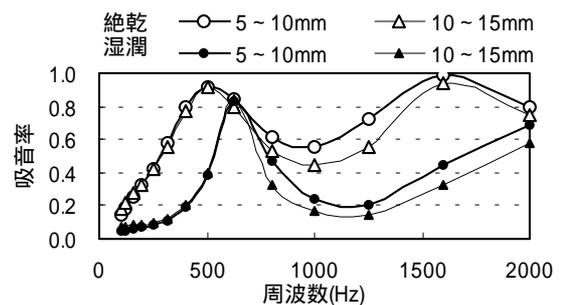


図-1 吸音率-周波数関係(ぼら単体)

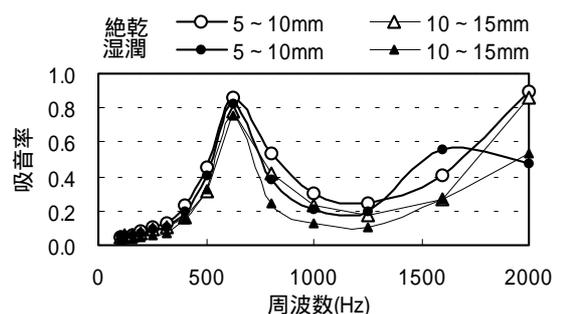


図-2 吸音率-周波数関係(石灰石単体)

て石灰石よりも幅広い周波数域で高い吸音率となっており、優れた吸音特性を示している。

### 3.2 供試体厚さの影響

供試体を 30, 40, 50 および 60mm の厚さで切断し, 2つの供試体を重ねて厚さを変化させ, その影響を検討した。なお予備的な検討の結果, 骨材粒径の大きな供試体を音の入射する前面に配置した方がやや吸音率が上がる傾向があったことから, 今回の実験ではすべて粒径 10~15mm のものを前面に, 5~10mm のものをその後に設置した。まず図-3 にぼらを用い, 前面厚さを 30mm とし, 後面を 30~60mm と変えた場合の吸音率 - 周波数関係を示す。なおこの場合の空隙率はいずれも目標 30% のものである。また, 同じく図-4 には目標空隙率がいずれも 25% の場合を, 図-5 には目標空隙率がいずれも 20% の場合について得られた結果を示す。また図-6 に吸音ピーク周波数 - 供試体厚さの関係を示す。これらの図からわかるように, ピーク吸音率には明らかな傾向は認められないが, 吸音ピーク周波数は厚さが増大するにつれて, また空隙率が小さくなるにつれて低周波数域に移行する傾向が見られた。なお 1000Hz よりも大きな高音域での吸音率は厚さが厚くなれば大きくなる傾向も見受けられた。

### 3.3 空隙率の影響

まず 2つの重ね合わせた供試体の目標空隙率が 30, 25 および 20% と同一である場合に, 空隙率の大きさが及ぼす影響について検討する。1例として図-7 に, ぼらおよび石灰石同士で厚さ 30mm の供試体を重ね合わせた場合の吸音率 - 周波数関係を示す。この図から, 空隙率の大きい方が吸音ピーク周波数が高くなる傾向が見受けられる。ピーク吸音率に関しては, この図ではぼらの場合で空隙率の大きいほど増大しているが, 石灰石では逆に低下しており, 一定の傾向にはない。次に, 音源に面した供試体の空隙率が 30% と同一で (厚さ 30mm), その後面の供試体 (厚さ 30mm) の空隙率が 30, 25, 20% と変化した場合の吸音率 - 周波数関係をぼらおよ

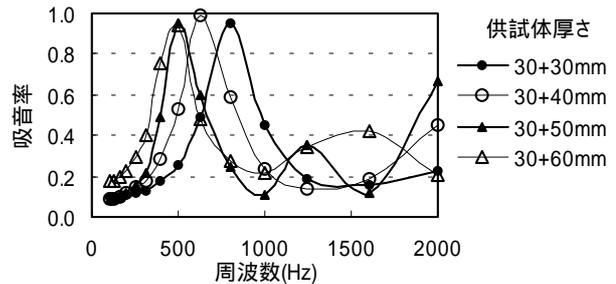


図-3 吸音率-周波数関係 (ぼら, 空隙率30%, 空気層0mm)

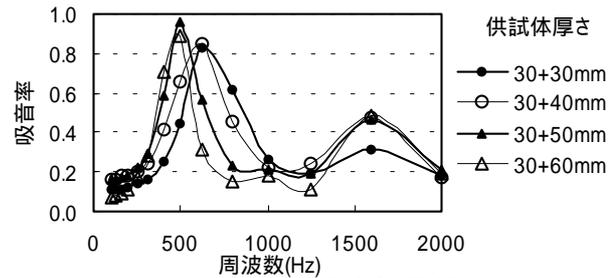


図-4 吸音率-周波数関係 (ぼら, 空隙率25%, 空気層0mm)

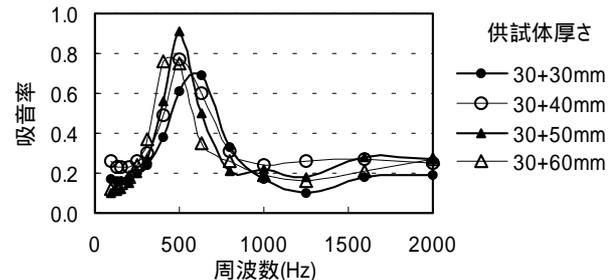


図-5 吸音率-周波数関係 (ぼら, 空隙率20%, 空気層0mm)

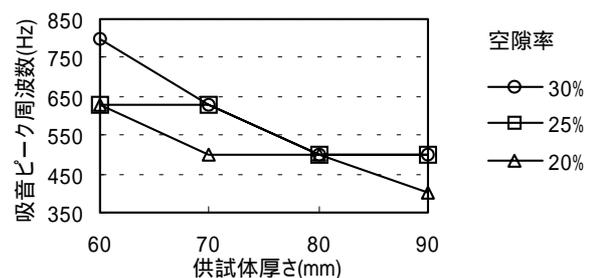


図-6 吸音ピーク周波数-供試体厚さ関係 (ぼら, 空気層0mm)

び石灰石について図-8 に示す。この図から, このような空隙率の組み合わせをしても吸音ピーク周波数にはほとんど影響を与えないことがわかる。また, ピーク吸音率に対しても一定の傾向を示すような影響は生じていない。

### 3.4 空気層厚さの影響

2つの供試体を重ね合わせる場合に, その中

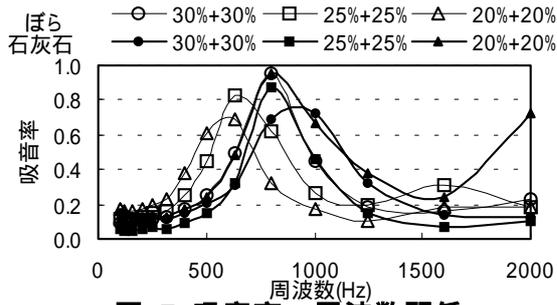


図-7 吸音率-周波数関係  
(供試体厚さ30+30mm, 空気層0mm)

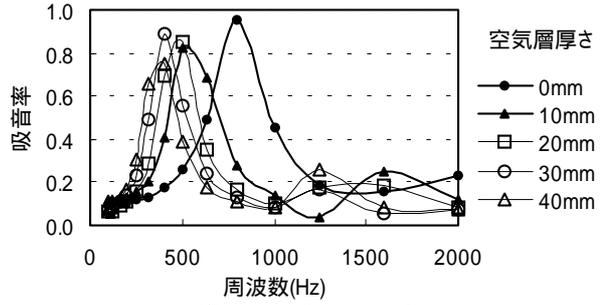


図-9 吸音率-周波数関係  
(ぼら, 供試体厚さ30+30mm, 空隙率30%)

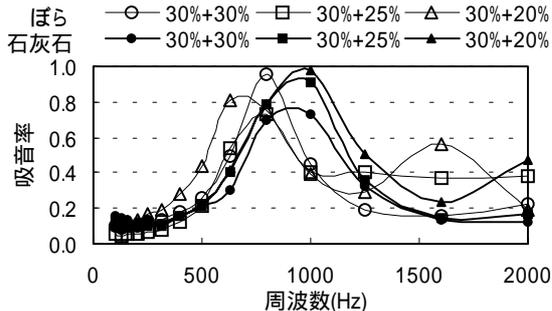


図-8 吸音率-周波数関係  
(供試体厚さ30+30mm, 空気層0mm)

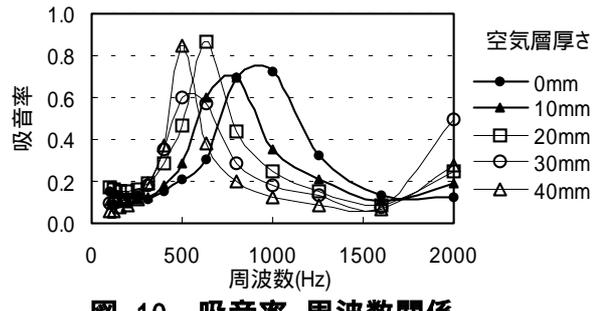


図-10 吸音率-周波数関係  
(石灰石, 供試体厚さ30+30mm, 空隙率30%)

間に空気層を設け、空気層の厚さの変化が吸音特性に及ぼす影響について検討した。検討結果の1例として、図-9と図-10に厚さ30mmのぼら同士の供試体および石灰石同士の供試体を空気層厚0, 10, 20, 30, 40mmと変化させた場合の吸音率-周波数関係を示す。なお、このときの空隙率の組み合わせは、いずれも30%同士である。また、図-11と図-12には30, 25および20%の同一空隙率を組み合わせた場合に関して、ぼらと石灰石別に中間空気層厚さが吸音ピーク周波数に及ぼす影響を示す。これらの図からわかるとおり、ぼらおよび石灰石のいずれの場合にも、空気層厚さが増大するにつれて吸音ピーク周波数が低周波数域に移行している。しかし、図-13と図-14には図-11と図-12に対応するケースで得られたピーク吸音率に及ぼす中間空気層の厚さの影響を示すが、この場合でも明確な影響は認められない。

### 3.5 骨材種類の影響

同一骨材を組み合わせた供試体において、骨材の種類が吸音特性に及ぼす影響について検討した結果の1例として、同一空隙率の組合せ

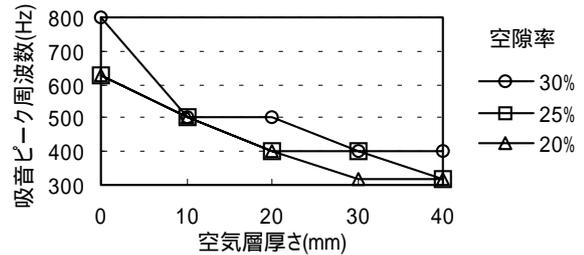


図-11 吸音ピーク周波数-空気層厚さ関係 (ぼら, 供試体厚さ30+30mm)

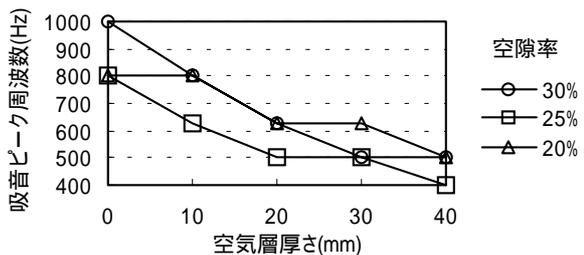


図-12 吸音ピーク周波数-空気層厚さ関係 (石灰石, 供試体厚さ30+30mm)

とし、厚さ30mmの前面供試体と厚さ50mmの後面供試体を重ね合わせたぼらと石灰石(中間空気層はなし)について、吸音率-周波数関係を図-15に示す。また、図-16には同一空隙率の組合せ(30%同士および20%同士)で前面供試体の厚さは30mmで後面供試体厚さを30~60mmに変化させた供試体について、骨材種類の

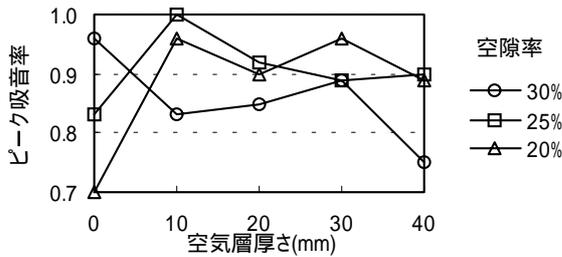


図-13 ピーク吸音率-空気層厚さ関係 (ぼら, 供試体厚さ30+30mm)

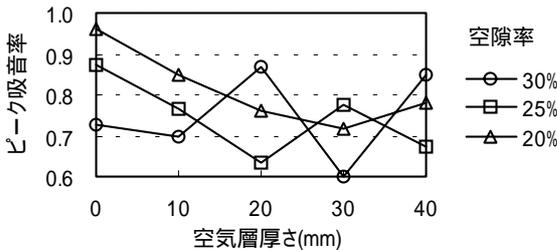


図-14 ピーク吸音率-空気層厚さ関係 (石灰石, 供試体厚さ30+30mm)

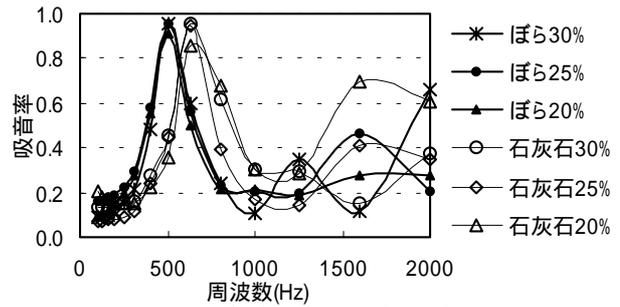


図-15 吸音率-周波数関係 (供試体厚さ30+50mm, 空気層0mm)

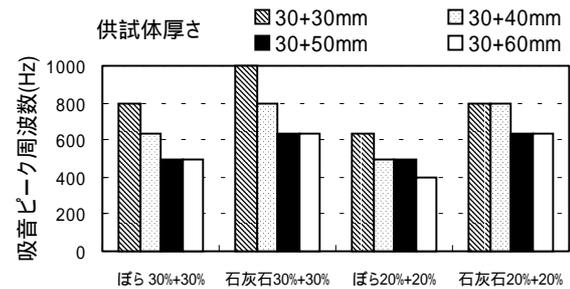


図-16 骨材種類の吸音ピーク周波数への影響

違いが吸音ピーク周波数に及ぼす影響を示す。これらの図から、ぼらの方が低い吸音ピーク周波数を有していることがわかる。なお、この場合においてもピーク吸音率に対しては、骨材種類の影響は見受けられなかった。またぼら単体の場合には、ぼら内部の大きい空隙率によって石灰石よりも全周波数域において高い吸音率を示したが、ポーラスコンクリートとした場合にはぼらの表面をセメントペーストが覆うために、ぼら内部の空隙の有効性が失われて、石灰石を用いた場合とあまり変わらない吸音特性となっている。よって、これを改善する方法を検討する必要があると思われるものの、ぼらと石灰石を用いたポーラスコンクリートで同じ厚さの吸音板を作製した場合、単位面積あたりの質量が小さくなるぼらを用いても、石灰石を用いた場合と同等の吸音特性を示すと考えられることから、ぼらは優れた吸音特性を有しているといえる。

### 3.6 全音域での高吸音率化についての検討

吸音材料としては、全可聴周波数域で高い吸音率を有していることが望ましいが、ポーラスコンクリートをそのような吸音材料とすることはかなり困難である。道路用吸音パネルについては、残響室法による吸音率が400Hzで0.7以

上、1000Hzで0.8以上であるとされていることから、少なくともこのような周波数域で高い吸音率となることが求められる。しかし今回種々の要因の組み合わせの下で吸音特性を検討してきたが、一般的には図-17に示すようにぼらあるいは石灰石を用いた場合でも、400~500Hzで高い吸音率を示しても1000Hz近傍では低い吸音率となる例が数多く見受けられた。しかし中には中間空気層を設けることで吸音特性が改善された例もいくつか見受けられた。図-17に示した供試体において、中間に空気層10mmを設けることによって、吸音特性が改善された1例を図-18に示す。すなわち、中間空気層を設けることによって高い周波数域にあった第2のピークが1000Hz近傍に移行してきている。よって、骨材の種類、空隙率、供試体厚さ、中間空気層厚さなど適切に組み合わせることによって、ポーラスコンクリートを望ましい特性を有する吸音材料とすることも可能と思われる。

## 4. まとめ

得られた結果から次のことがいえる。

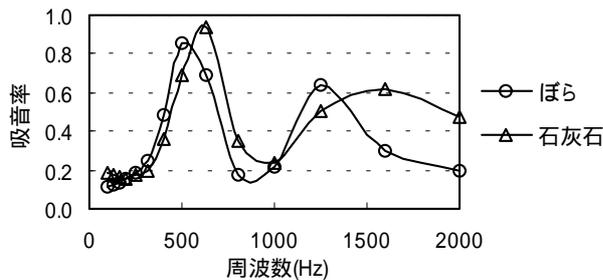


図-17 吸音率 - 周波数関係  
(空隙率30%+20%, 供試体厚さ30+60mm, 空気層0mm)

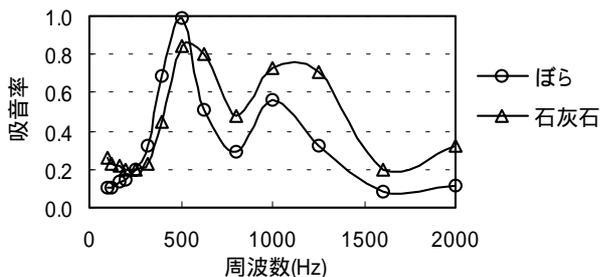


図-18 吸音率 - 周波数関係  
(空隙率30%+20%, 供試体厚30+60mm, 空気層10mm)

(1)粗骨材単体の場合には、乾燥状態であれば、多孔質なぼらの方が、石灰石よりも吸音率が全周波数域で高いが、湿潤状態であれば石灰石とさほど差異はない。また、従来の研究成果<sup>2)</sup>によれば、多孔質骨材を用いてもその表面がセメントペースト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、密度が小さいぼらが、石灰石と同程度の吸音特性を有していることから、ぼらを用いたポーラスコンクリートは優れた吸音材料である。

(2)一般に吸音材の厚さが増大すれば、吸音ピーク周波数は低周波数域に移行する。本研究で用いたぼら、石灰石のいずれの場合でも供試体厚さの増大に伴って同様の結果となった。

(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域へ移行する。しかし、ピーク吸音率に対しての明確な影響はない。

(4)供試体間に設けた空気層が厚くなるに伴って吸音ピーク周波数は低域へ移行する。また、ピーク吸音率についての明瞭な相関性は認められない。

(5)ピーク吸音率に関しては高い値が得られて

はいるが、今回考慮した影響要因と特に明瞭な相関は認められない。

以上のように、ピーク吸音率に関しては今回考慮した影響要因との相関性は認められないものの、ピーク吸音率は高い値が得られており、ポーラスコンクリートの空隙率や厚さ、粗骨材種類や供試体間の空気層を適切に組み合わせることで、所要の性能を有する吸音材料とすること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)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
- 2)堂園昭人,岡本享久,藤原浩巳,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
- 3)玉井元治,田中光徳：軽石をまぶした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
- 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,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
- 6)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
- 7)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」