

論文 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

堂園 昭人*1・岡本 享久*2・藤原 浩巳*3・上野 雅之*4

要旨：管内法垂直入射吸音率測定によりポーラスコンクリートの基本的な吸音特性を把握した。その結果、ポーラスコンクリートは吸音効果が期待できる材料であり、碎石 6 号および 7 号を用いて空隙率を 20%以上とし、さらにポーラスコンクリート厚さを 10cm 以上、またはポーラスコンクリート厚さ 6cm で背後空気層厚さを 1cm 以上、ポーラスコンクリート厚さ 3cm で背後空気層を 3cm 以上とすることで、周波数 400~500Hz の範囲のピーク吸音率が 0.8 以上となった。また、ポーラスコンクリート厚さを厚くするほど、背後空気層厚さを厚くするほど吸音ピークが低周波側へ移行した。

キーワード：ポーラスコンクリート、吸音効果、管内法垂直入射吸音率、空隙率、空気層

1. まえがき

現在、自動車交通問題の対策として、交通車両の安全確保や交通騒音の低減を目的とした排水性舗装および道路用防音壁等が各方面で注目されている。これらに用いられている吸音材料の多くは多孔質材料であり、材料内部の空気の粘性抵抗によるエネルギー損失により吸音効果が発揮されるものである[1]。多孔質材料にはさまざまな材料があるが、その一つにポーラスコンクリートが挙げられる。本研究では、小型の供試体で基本的な吸音特性が測定できる管内法により、ポーラスコンクリートが有する基本的な吸音特性(垂直入射吸音率)を評価した。

2. 研究概要

ポーラスコンクリートの基本的な吸音特性を把握することを目的とし、小型の供試体で吸音特性が測定できる管内法によって、① ポーラスコンクリートの含水状態、② 空隙率、③ 使用骨材、④ ポーラスコンクリートの厚さ、および ⑤ 背後の空気層の厚さの各要因を変化させて、垂直入射吸音率を測定し、それぞれの要因の吸音特性への効果を評価した。垂直入射吸音率の測定は、管内法垂直入射吸音率測定器 (A 管) を用いた。

3. 管内法垂直入射吸音率の測定

3.1 使用材料および配合

本実験に使用した材料を表-1 に示す。ここで、軽量骨材および超軽量骨材は、粒度 2.5~5.0mm の範囲に調整したものを使用した。また、ポーラスコンクリートの配合を表-2 に示した。

* 1 日本セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部、工修(正会員)

* 2 日本セメント(株)中央研究所 建材研究部 主席研究員、工博(正会員)

* 3 日本セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副主任研究員、工博(正会員)

* 4 日本セメント(株)中央研究所 建材研究部、(正会員)

3.2 因子と水準

実験の因子と水準を表－3に示す。実験に用いた試験体数は、予備試験により試験体間のばらつきが無視できることを確認した上で、各水準につき1本とした。

表－1 使用材料

材料の種別*	材料名	物性
セメント(C)	早強ポルトランドセメント	比重：3.12
混和材(PM)	ポーラスコンクリート用混和材	比重：2.78
細骨材(S)	珪砂7号	絶乾比重：2.62
粗骨材(G)	砕石6号(5～13mm)	表乾比重:2.65、実績率:57.4%、 吸水率:0.78%
	砕石7号(2.5～5mm)	表乾比重:2.68、実績率:55.4%、 吸水率:0.79%
	軽量骨材(2.5～5mm)	表乾比重:0.69、実績率:62.0%、 吸水率:30.2%
	超軽量骨材(2.5～5mm)	表乾比重:0.84、実績率:65.1%、 吸水率5.0%

*；上表の「材料種別」の()内は、表－2の略記号を参照

表－2 ポーラスコンクリートの配合

使用骨材	M/G (vol%)	W/P (mass%)	S/P (mass%)	単位量(1/m ³)				
				C	PM	W	S	G
砕石 (6号および 7号)	30	22	100	43	16	39	69	555
	40			58	22	52	92	555
	50			71	27	64	113	555
軽量骨材	30			43	16	39	69	555
超軽量骨材	30			43	16	39	69	555

M/G；モルタル粗骨材比、P=C+PM

表－3 因子と水準

目標空隙率(%)	M/G (vol%)	ポーラスコン クリート厚 (cm)	背後空 気層厚 *(cm)	試験時 の含水 状態	砕石 6号	砕石 7号	軽量 骨材	超軽量 骨材
10	50	10	0	絶乾	○	○	—	—
20	40	3	0		○	○	—	—
			1		—	○	—	—
			3		—	○	—	—
			6		—	○	—	—
		6	0		—	○	—	—
			1		—	○	—	—
			3		—	○	—	—
		10	0		○	○	—	—
			0	気乾	—	○	—	—
30	30	10	0	表乾	—	○	—	—
				絶乾	○	○	○	○

○印；実験実施

*；背後の空気層は試験装置端面と試験体との間に隙間を設けることで作成した。(詳細は後述)

3.3 作製方法

試験体は、各配合条件でポーラスコンクリート平板（30×30×15cm）を作製し、硬化後コア供試体（φ 109mm）を採取して、所定の高さに切断・研磨することにより作成した。

3.4 物性試験方法

(1) 空隙率

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試験方法(案)」における容積法に準じて、空隙率を測定した[2]。

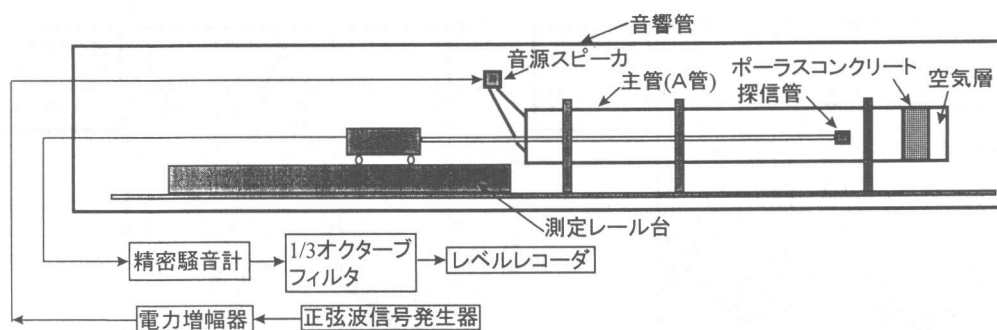
(2) 管内法垂直入射吸音率

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」による定在波法に準拠し、管内法垂直入射吸音率測定器（A管）を用いて実施した（図－1 参照）[3]。

測定の概要を以下に示す。すなわち、試験体を円筒状の主管の端部に軸方向に垂直に装着し、管の反対側のスピーカから測定周波数(100Hzを規準として 125～2,000Hz までの 1/3 オクターブ間隔の周波数)の正弦平面波を発し、定在波(入射波と反射波が干渉してできる安定した波)を作る。次に図－1 の探信管を移動させて定在波の音圧の極大値と極小値とのレベル差 L dB を測定し、定在波比(n)を求める。定在波比(n)は式(1)により求める。式(1)により求めた定在波比(n)を、式(2)に代入して垂直入射吸音率（ α_0 ）を求める。

$$n = \log^{-1}_{10}(L/20) \quad (1)$$

$$\alpha_0 = 4 / \{n + 1/n + 2\} \quad (2)$$



図－1 管内法による垂直入射吸音率測定装置概要

4. 測定結果および考察

4.1 ポーラスコンクリートの含水状態の影響

同一の試験体（ポーラスコンクリート厚さ 10 cm、背後空気層なし）における試験時の含水状態（絶乾、気乾および表乾（十分に吸水させた試料の表面水を遠心力脱水したもの））の影響を調べた結果を図－2 に示す。絶乾、および気乾状態での吸音ピーク周波数は約 500Hz、ピーク吸音率は約 0.9、表乾状態での吸音ピーク周波数は約 400Hz、ピーク時の吸音率（ピーク吸音率）は約 0.8 となった。また、ほかの周波数での吸音率も含水状態に関わらずほぼ同様の吸音率となった。これは、ポーラスコンクリートの空隙はほとんどが連続であり、空隙部分に水分が溜まらないため、含水による空隙の減少が少なく、吸音に寄与する空隙量がほとんど変化しないためと思われる。

このことから、試験体の含水状態が吸音率に及ぼす影響は少ないことが分かった。

4.2 空隙率の影響

砕石 6 号および 7 号を用いた試験体の、空隙率の影響を調べた結果をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。これらより、空隙率が高くなるほどピーク吸音率が高くなった。これは松尾らの研究結果と一致する[4]。砕石 6 号を用いた場合は空隙率 20% 以上、砕石 7 号を用いた場合は空隙率を 12.3% 以上に設定すると、垂直入射吸音率は周波数 400~500Hz の範囲において 0.8 以上となった。また、吸音ピーク周波数は、空隙率が高まる程若干高くなる傾向が認められた。砕石 6 号と 7 号を比較すると、若干砕石 7 号を用いた場合の方がピーク吸音率が高い結果が得られた。これより、同等の空隙率においては空隙径が小さい方がより吸音効果が高いと考えられる。

また、周波数 1000Hz については、垂直入射吸音率が砕石 6 号、7 号とも 0.2 程度と、いずれの条件も低い領域となった。

ここで、周波数 400~500Hz、および 1000Hz について考察したのは、ポーラスコンクリートの吸音特性を評価する指標として、道路用吸音パネルの性能(残響室法吸音率 400Hz 0.7 以上、および 1000Hz 0.8 以上)を参考としたためである。

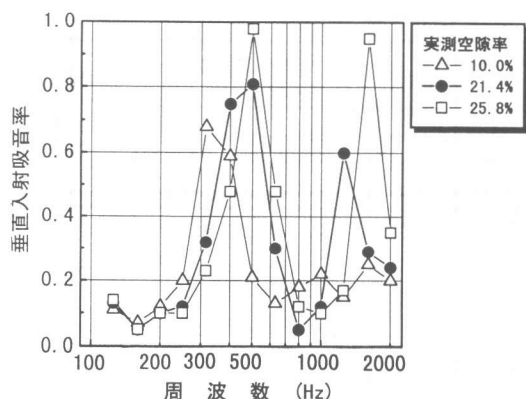


図-3 空隙率の影響 (砕石 6 号)

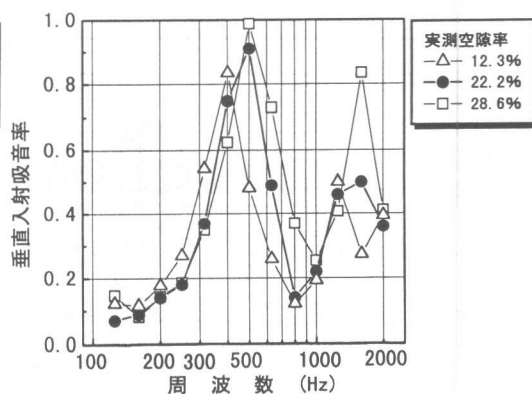


図-4 空隙率の影響 (砕石 7 号)

4.3 使用骨材の影響

砕石 7 号、軽量骨材および超軽量骨材を使用した試験体の吸音率を調べた結果を図-5 に示す。これより、超軽量骨材を用いた場合にピークの吸音率はやや低下するが、3 者とも周波数 500Hz 付近でピークの吸音特性を示し、ほぼ同等の傾向が認められた。軽量骨材を用いた場合、骨材表面および内部の孔が吸音に寄与することが期待されたが、その効果は認められなかった。

これは、ポーラスコンクリートの製造が、骨材の周りをモルタル層でコーティングし、振動で圧着する方法に基づいているため、軽量骨材を使用しても内包する空隙に音が吸収されにくいと考えられる。

4.4 ポーラスコンクリート層の厚さの影響

砕石7号を用いたポーラスコンクリート層の厚さの影響を調べた結果を図-6に示す。また、図-7にポーラスコンクリートの厚さと吸音ピーク周波数の関係を示す。これより、ポーラスコンクリート層が厚くなるほど吸音ピークは低周波域に直線的に移行し、更にピーク吸音率が高くなる傾向がある。このことから、低周波数域における吸音効果を高めるには、ポーラスコンクリート層を厚くすることが有効な手段だと考えられる。

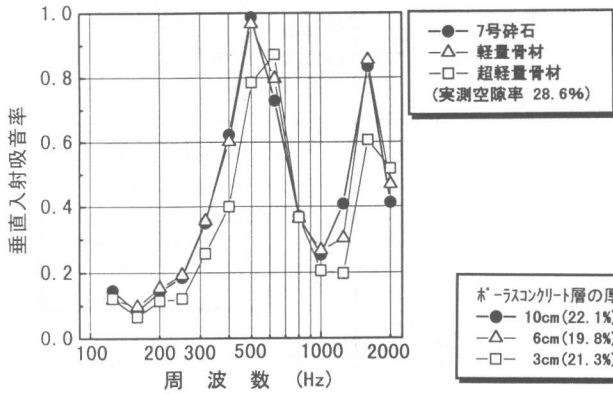


図-5 使用骨材の影響

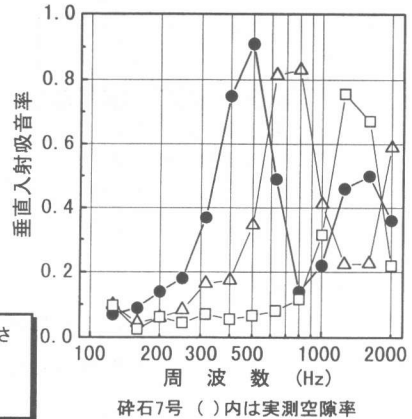


図-6 ポーラスコンクリート層の厚さの影響

4.5 背後の空気層の影響

背後の空気層は、図-1に示した管内法測定装置の、A管端部と供試体との間に隙間を設けることで作製した。空気層の概要を図-8に示す。

砕石7号を用いた試験体を用いて、背後の空気層の影響を調べた結果を図-9(ポーラスコンクリート層厚さ6cm)、および図-10(ポーラスコンクリート層厚さ3cm)に示す。また、背後空気層の厚さと吸音ピーク周波数との関係を図-11に示す。これらより、ポーラスコンクリートの背後の空気層が厚くなるほど吸音ピーク周波数が直線的に低周波域に移行することが分かった。

また、ピーク吸音率も空気層が厚くなるほど同等もしくは高くなる傾向があることが分かった。これらの結果より、ポーラスコンクリートは、他の多孔質材料と同様に、吸音効果が期待できる材料であることが確認された。これは、ポーラスコンクリートの内部に有効な空隙が存在し、それらが連続に存在するためと考えられる。また、ポーラスコンクリート層の背後に空気層を設けると、吸音ピーク周波数が低くなると共に、ピーク吸音率が高くなることが分かった。

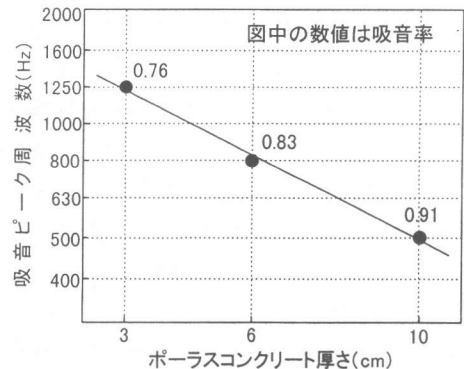


図-7 ポーラスコンクリート層の厚さと吸音ピーク周波数との関係

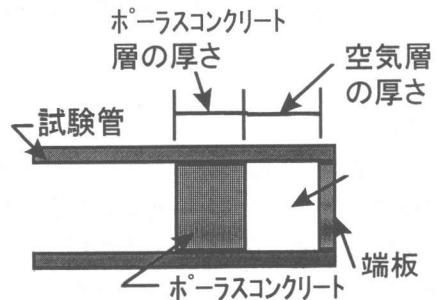
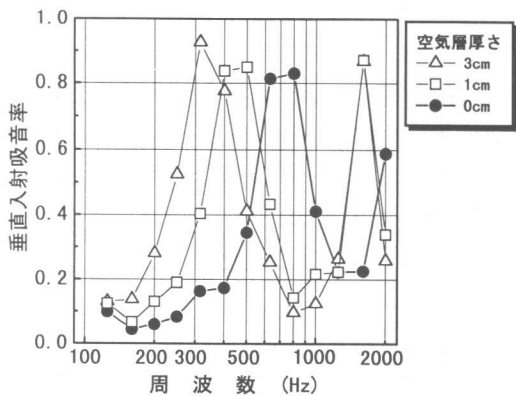


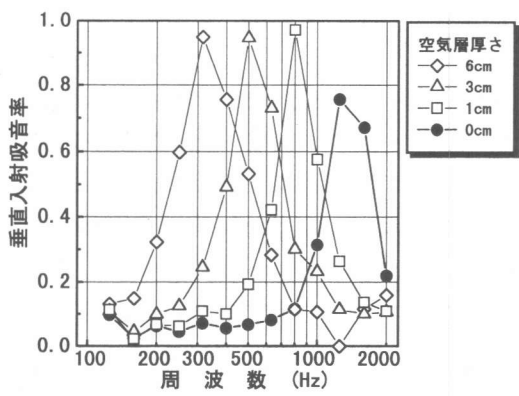
図-8 空気層概要図



砕石7号(実測空隙率 19.8%)

図-9 背後の空気層の影響

(ポーラスコンクリート厚さ 6 cm)



砕石7号(実測空隙率 21.3%)

図-10 背後の空気層の影響

(ポーラスコンクリート厚さ 3 cm)

5. まとめ

ポーラスコンクリートの基本的な吸音特性を把握するため、管内法垂直入射吸音率を測定した結果、以下のことが明らかになった。

(1)ポーラスコンクリートは、他の多孔質材料と同様に、吸音効果が期待できる材料である。

(2)砕石 6 号および 7 号の骨材を用いたポーラスコンクリートの空隙率を 20%以上を設定すると、ポーラスコンクリートの厚さを 10 cm以上、またはポーラスコンクリート厚さが 6 cmの時背後空気層厚さを 1 cm以上、ポーラスコンクリート厚さが 3 cmの時背後空気層厚さを 3 cm以上とすることで、周波数 400～500Hzの範囲のピーク吸音率が 0.8 以上となる吸音特性を示す。

(3)ポーラスコンクリートを厚くすると、吸音ピーク周波数が低周波数に直線的に移行すると共に、ピーク吸音率が高くなる。

(4)ポーラスコンクリートの背後に空気層を設けると吸音効果が高まる。また、空気層を厚くすると吸音ピークは低周波数へ移行する。

(5)道路の外壁などを利用して防音設計を行なう場合、ポーラスコンクリートを用いた吸音製品を用いて、ポーラスコンクリートの連続空隙率、ポーラスコンクリート層の厚さ、およびポーラスコンクリート層背後の空気層の厚さを変化させることにより、所要防音性能に応じた設計が可能と考えられる。

参考文献

- [1] 「建築材料実用マニュアル」、産業調査会、pp.1026～1027、1991
- [2] 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試験方法(案)」、1995.11
- [3] 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」
- [4] 例えば 松尾ほか：0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

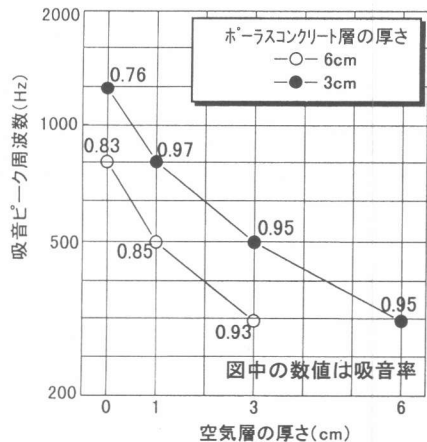


図-11 空気層の深さと吸音ピーク周波数との関係