

シャモット活用による多孔化技術の開発

—多孔体の吸音特性—

山崎 達夫 山口 知宏 深谷 英世 星 幸二 伊藤 政巳

Development of Porous Ceramics with Chamotte

—Sound Absorbing Quality of Porous Ceramics—

by

Tatsuo YAMAZAKI, Tomohiro YAMAGUCHI, Hideyo FUKAYA, Koji HOSHI and Masami ITO

多孔質で吸音性に優れた機能性タイルを開発するために、タイルを破碎し、分級したシャモットに結合剤や成形助剤を加え、成形・焼成したものについて吸音特性や曲げ強さを測定し、タイルの製造条件について検討した。結合剤としては粘土長石やフリットなど、成形助剤としてCMCを使用した。吸音特性に優れた機能性タイルの適切な製造条件はタイル破碎シャモットの粒径が1.0mm以上のものを用い、成形圧が9.8MPa以下、結合剤20%以下でプレス成形し焼成することである。また、フリットなどの添加は曲げ強度を増加させるのに効果的である。目的とする周波数の吸音率を高めるには背後空気層及び試料厚さを変化させれば良いことがわかった。

1. まえがき

これまで、熱間発泡や可燃物質による多孔体の吸音特性について検討してきた。これらの多孔体では最大の吸音率が0.6程度であることを報告^{1) 2)}した。また、シャモットのような粗粒を焼固させた多孔体が吸音特性の向上に有効であることも報告³⁾されている。ここでは、吸音特性の優れたタイルを開発するために、原料調整、成形条件などについて検討した。

2. 実験方法

2.1 使用原料

タイル不良品の有効利用も考慮してシャモット原料として、白色タイル、グレータイル、褐色タイルの3種を選定した。結合剤として白粘土長石、赤粘土長石、フリット(T-20)、長石を用いた。必要に応じて成形助剤としてCMCを使用した。

2.2 素地調合試験

タイルをジョークラッシャー及びロールクラッシャーで粉碎し、得られたシャモットを分級し、結合剤や成形助剤を外割りで一定量加え、プレス成形した後、焼成した。プレス成形ではインパクトプレスを用いて主としてφ40mmの円板を作製した。焼成条件は100℃/hで昇温し、最高温度1150、1200、1250℃で1時間保持とした。

2.3 物性試験

焼成試験体について吸音率を測定し、良好な吸音特性を持つ調合で20cm角のタイルを成形圧4.9MPaで試作し、試作タイルの吸音率やかさ比重、曲げ強さ、熱伝導率を測定した。吸音率はJIS A 1405の定在波法により、かさ比重は形状及び重量により求めた。曲げ強さは支点間距離30mm、クロスヘッド速度0.5mm/minで測定した。熱伝導率は非定常熱線法により測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 建築関連材料の吸音特性

基本的には金属や石材、セラミックスなど堅い材料は音を反射し、柔らかい材料は吸音する。また通気性の無いもの、重い物は音を通過させにくいので遮音材料として使用される。建築物で良く使われている吸音材料としては、グラスウール成形体やロックウール成形体などの多孔質タイプと孔あき板などの共鳴タイプがある。なお、孔あき板による吸音には裏側に空気層及び壁を必要とし、孔の大きさ、背後空気層の大きさにより吸音特性が大きく変化する。

建材として広く使われている木材、タイル、ALC、外装ボード、グラスウール成形体などについて、吸音率を測定した結果を表1に示す。

グラスウール成形体は、吸音性に優れており特に高周

波数の吸音率が大きく、1000Hz以上はほぼ一定である。また、厚さによって大幅に変わり、厚さが大きい方が吸音率は大きくなる。これに対してタイル、木材など堅い材料は吸音特性をほとんど示さなかった。ALC、外装ボードは少し吸音特性を示した。

3.2 粒度と吸音率

白色タイルを粉砕したシャモットを5段階に分級し、白色シャモットの粒度と吸音率について検討した。その結果を表2に示す。シャモットの粒度により吸音率が大きく変化する。シャモットの粒度が大きいものほど最大吸音率が大きく、最大吸音率の周波数以外のところでは吸音性は大幅に小さくなる。逆に0.5mm以下の細粒シャモットの場合、最大吸音率は小さいが、それ以外の周波数でも吸音性が少し認められる。最大吸音率0.8以上あるためには、シャモットの粒度が1.0mm以上あることが

表1 建築関連材料の吸音率

材 料 名	周 波 数 (Hz)					
	250	500	1000	2000	4000	5000
木 材	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
タ イ ル	0.02	0.02	0.02	0.02	0.12	0.06
A L C	0.06	0.07	0.08	0.12	0.25	0.23
外装ボード	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.22
モ ル タ ル	0.08	0.07	0.04	0.11	0.10	0.13
石 膏	0.03	0.03	0.03	0.05	0.11	0.12
ガラスウール 成形体厚50mm	0.20	0.49	0.85	0.99	0.98	0.95
ガラスウール 成形体厚10mm	0.04	0.06	0.10	0.22	0.68	0.45

試験条件 試料厚：10mm 背後空気層：0mm

表2 粒度と吸音率

粒 度 (mm)	周 波 数 (Hz)								
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
4.0~2.8	0.05	0.06	0.08	0.14	0.32	0.61	0.97	0.62	0.38
2.8~1.5	0.05	0.06	0.07	0.10	0.19	0.35	0.68	0.87	0.64
1.5~1.0	0.06	0.08	0.10	0.16	0.31	0.51	0.82	0.81	0.58
1.0~0.5	0.07	0.10	0.14	0.23	0.42	0.56	0.73	0.66	0.53
0.5~0	0.18	0.21	0.22	0.25	0.37	0.35	0.37	0.29	0.29

結合剤：白粘土長石10% 成形圧力：9.8MPa 焼成温度：1250℃ 試料厚：10mm 背後空気層：0mm

表3 4.0~1.5mmの白色シャモットの成形圧力と吸音率

成 形 圧 力 (MPa)	周 波 数 (Hz)								
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
2.5	0.07	0.08	0.09	0.11	0.16	0.25	0.28	0.82	0.99
4.9	0.04	0.05	0.06	0.07	0.15	0.20	0.43	0.88	0.89
9.8	0.13	0.14	0.17	0.25	0.42	0.56	0.79	0.88	0.56
19.6	0.14	0.16	0.19	0.25	0.50	0.56	0.70	0.57	0.35
49.0	0.11	0.14	0.19	0.29	0.49	0.47	0.46	0.41	0.35

結合剤：白粘土長石10% 焼成温度：1250℃ 試料厚：10mm 背後空気層：0mm

必要である。

3.3 成形圧と吸音率

成形条件、特に成形圧について検討した。4.0~1.5mmの白色シャモットに対して成形圧を5段階(2.5、4.9、9.8、19.6、49MPa)変えて、成形、焼成した試験体の吸音率を表3に示す。成形圧が大きくなるにつれて吸音率

は小さくなる。19.6MPaまで成形圧を上げると最大吸音率が0.7と大きく減少している。吸音率を高めるには成形圧を9.8MPa以下に抑える必要がある。

次に1.5~0.5mmの白色シャモットに対して、同様に成形圧を5段階に変えて、成形、焼成した試験体の吸音率を表4に示す。9.8MPaまで成形圧を上げると最大吸音

表4 1.5~0.5mmの白色シャモットの成形圧力と吸音率

成形圧力 (MPa)	周波数 (Hz)									
	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	
2.5	0.09	0.10	0.13	0.17	0.28	0.44	0.69	0.94	0.89	
4.9	0.06	0.08	0.10	0.16	0.29	0.48	0.73	0.90	0.77	
9.8	0.18	0.10	0.14	0.23	0.42	0.61	0.77	0.67	0.76	
19.6	0.07	0.10	0.14	0.25	0.45	0.59	0.61	0.50	0.68	
49.0	0.09	0.13	0.18	0.25	0.34	0.35	0.47	0.34	0.36	

結合剤：白粘土長石10% 焼成温度：1250℃ 試料厚：10mm 背後空気層：0mm

表5 結合剤と吸音率

結合剤	成形圧力 (MPa)	周波数 (Hz)									
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	
白粘土長石 5%	9.8	0.06	0.08	0.10	0.14	0.26	0.44	0.74	0.90	0.73	
白粘土長石 10%	9.8	0.13	0.14	0.17	0.25	0.42	0.56	0.79	0.88	0.56	
白粘土長石 20%	9.8	0.05	0.07	0.09	0.16	0.36	0.73	0.80	0.49	0.30	
白粘土長石 30%	9.8	0.05	0.06	0.08	0.12	0.26	0.56	0.44	0.53	0.33	
白粘土長石 8% フリット 2%	9.8	0.14	0.08	0.14	0.17	0.26	0.45	0.72	0.91	0.55	
白粘土長石 5% フリット 5%		0.05	0.06	0.07	0.10	0.21	0.43	0.95	0.70	0.32	
白粘土長石 5%	19.6	0.06	0.07	0.10	0.15	0.29	0.52	0.76	0.64	0.77	
白粘土長石 20%	19.6	0.10	0.12	0.17	0.22	0.42	0.51	0.60	0.52	0.36	

焼成温度：1250℃ 試料厚：10mm 背後空気層：0mm

表6 試料厚さと吸音率

試料厚さ (mm)	周波数 (Hz)													
	100	160	250	400	630	800	1000	1600	2000	2500	3150	4000	5000	
10	0.03	0.29	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.12	0.22	0.39	0.75	0.93	0.72	
20	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.13	0.20	0.68	0.93	0.75	0.33	0.38	0.48	
30	0.04	0.03	0.05	0.08	0.15	0.25	0.43	0.89	0.73	0.37	0.51	0.50	0.49	

結合剤：白粘土長石15% 成形圧力：4.9MPa 焼成温度：1250℃ 背後空気層：0mm

率が0.8以下になり、吸音特性が悪くなる。しかし、4.9MPa以下であれば吸音特性は良好である。

3.4 結合剤と吸音率

4.0~1.5mmの白色シャモットに結合剤として白粘土長石やフリットを10、20、30%加えたものについて、吸音率を測定した結果を表5に示す。結合剤の増加に伴い、吸音率が低下する。これは結合剤の増加に伴い気孔が埋

まり、振動エネルギーの吸収ができないことによると考えられる。最大吸音率が0.8以上となると、結合剤が20%が限界となる。また、結合剤を少なくしても、成形圧が大きければ吸音率は低下する。

3.5 試料厚さ

これまでの実験結果から、成形性も考慮してシャモットの粒度は2.8~1.0mm、結合剤を15%、成形圧力を4.9

表7 背後空気層と吸音率

背後空気層 (mm)	周波数 (Hz)												
	100	160	250	400	630	800	1000	1600	2000	2500	3150	4000	5000
0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.12	0.22	0.39	0.75	0.93	0.72
10	0.03	0.32	0.03	0.04	0.07	0.32	0.60	0.86	0.78	0.63	0.42	0.23	0.25
30	0.04	0.04	0.08	0.20	0.54	0.96	0.75	0.55	0.39	0.27	0.16	0.20	0.29
50	0.04	0.07	0.15	0.43	0.90	0.80	0.56	0.31	0.28	0.22	0.03	0.25	0.25
80	0.08	0.93	0.40	0.90	0.84	0.64	0.44	0.22	0.11	0.39	0.31	0.17	0.25

結合剤：白粘土長石15% 焼成温度：1250℃ 試料厚：10mm

表8 二層構造と吸音率

シャモット (mm)	厚さ (mm)	周波数 (Hz)											
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000			
2.8~1.0	20	0.13	0.20	0.34	0.68	0.93	0.75	0.33	0.38	0.48			
2.8~1.0	15	0.10	0.16	0.26	0.55	0.88	0.85	0.30	0.71	0.45			
1.0~0.5	5												
2.8~1.0	10	0.22	0.39	0.66	0.80	0.77	0.53	0.45	0.49	0.62			
1.0~0.5	10												
2.8~1.0	5	0.31	0.42	0.54	0.55	0.65	0.62	0.56	0.52	0.50			
1.0~0.5	15												
1.0~0.5	20	0.28	0.46	0.63	0.70	0.69	0.54	0.46	0.48	0.55			

結合剤：白粘土長石15% 焼成温度：1250℃ 試料厚：20mm 背後空気層：0mm

MPaとして以下の試験を実施した。白色シャモットをもとに試料厚さを変化させ、吸音率の変化を検討した。その結果を表6に示す。試料厚さが変わると最大吸音率の周波数が変化する。試料厚さが10mmのとき最大吸音率の周波数が4000~5000Hzであるものが試料厚さが20mmに増加したとき最大吸音率の周波数は2000~2500Hzと低周波領域に移行する。最大吸音率はほとんど変化しない。

3.6 背後空気層

2.8~1.0mmの褐色シャモットをもとに背後空気層厚さを変えて、吸音率について検討した結果を表7に示す。背後空気層を変えることにより、最大吸音率の周波数が4000~5000Hzであった吸音体の周波数が400~700Hzに変わる。即ち、空気背後層が大きくなるにつれて最大吸音率が低周波領域へと移行していく傾向が認められる。

3.7 二層構造

タイルを粉砕する場合、目的とする粒度のシャモットを得ようとしても、より細かい粒度のシャモットが発生してしまう。その細かい粒度のシャモットの有効利用も検討するため、シャモットの粒度が異なるものを二層に成形、焼成した試験体の吸音率を表8に示す。測定方向は2.8~1.0mmのシャモットが存在する面を測定面とした。測定面を逆にした場合、その吸音率は異なるものとなっている。

厚さ5mm程度は細かいシャモットと二層構造にしても吸音率は変化しないが、厚さ10mm以上になるとその吸音特性は変化してくる。

3.8 曲げ強さ

結合剤としてフリットを添加した試験結果を表9に示

表9 曲げ強さ(MPa)

結合剤		焼成温度(°C)	
		1200	1250
白粘土長石	15%	2.1	3.1
白粘土長石	12%	4.5	5.4
フリット	3%		
白粘土長石	7.5%	7.9	8.3
フリット	7.5%		
長石	7.5%	4.1	9.5
フリット	7.5%		

表10 試作品の製造条件

番号	原料	調査条件	成形条件	焼成温度
		(%)	(MPa)	(°C)
R-1	褐色タイルシャモット	100	4.9	1200
	赤粘土長石	15		
G-1	グレータイルシャモット	100	4.9	1250
	白粘土長石	15		
W-1	白色タイルシャモット	100	4.9	1250
	白粘土長石	15		

表11 試作品の吸音特性

番号	周波数 (Hz)													
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
R-1	0.08	0.10	0.16	0.23	0.37	0.58	0.85	0.97	0.91	0.73	0.57	0.44	0.25	0.25
G-1	0.08	0.10	0.16	0.24	0.38	0.60	0.87	0.99	0.88	0.67	0.50	0.38	0.29	0.20
W-1	0.07	0.08	0.14	0.20	0.32	0.53	0.80	0.98	0.94	0.75	0.57	0.38	0.32	0.25

背後空気層：50mm 試料厚：10mm

表12 試作品の物性

番号	曲げ強さ (MPa)	熱伝導率 (W/mK)
R-1	4.5	0.72
G-1	4.0	0.56
W-1	3.1	0.43

4. まとめ

- (1) 適切な製造条件は成形圧が9.8MPa以下、結合剤20%以下、シャモットが1.0mm以上である。
- (2) フリットなどの添加は曲げ強度を増加させるために効果的である。
- (3) 目的とする周波数の吸音率を高めるには、背後空気層及び試料厚さを変化させれば良い。

文献

- 1) 山崎達夫, 山口知宏, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 20, 1~4(1993).
- 2) 山崎達夫, 山口知宏, 深谷英世, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 21, 6~9 (1994).
- 3) 林誠, 諏訪幸雄, 仁平敬治, 茨城県工業技術センター研究報告, 17, 71~81(1989).

す。フリットの添加量の増加や焼成温度の上昇に伴い、曲げ強さは増加する。

3.9 試作吸音タイルの製造条件と物性

以上の試験結果により良好と認められたものについて20cm角の吸音タイルを試作した。製造条件を表10に示す。成形強度の点からCMCを添加した。試作タイルの吸音特性を表11に、物性を表12に示す。いずれの試作タイルも良好な吸音特性を持っている。