

# 可燃物質による多孔化技術の開発

大野 昌彦 伊藤 政巳

Development of Porous Ceramics by Combustible Materials

by

Masahiko ONO and Masami ITO

独立気孔をもったタイルを開発するため、おがくず、発泡スチロール、粟、石炭、黒鉛などの可燃物質を添加して、軽くて断熱性、加工性にすぐれたタイルの製造条件を検討した。可燃物質としては焼失特性の穏やかなおがくずと発泡スチロールが良好であった。乾式プレス成形では、発泡スチロールのように多量の空気を含むとラミネーションを起こすので、石炭や黒鉛が適している。珪器質素地で独立気孔を主に形成させることは困難で、ち密化できる磁器質が適している。

## 1. まえがき

機能性タイルの開発のため、タイル素地中に独立気孔の形成を試みた。独立気孔を形成させるためには、大きくは2つの方法が考えられる。ひとつは、気孔形成材を低温で焼失させて気孔を形成させ、焼き締めて独立気孔にする。もうひとつは高温で溶融し始めた時に、ガスを発生させて独立気孔にする。ここでは、前者の方法を採り、おがくず、発泡スチロールなどの可燃物質を添加して、軽くて断熱性、吸音性、加工性にすぐれたタイルの製造条件について検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 使用原料と独立気孔形成材

タイル素地として、湿式押出用有色素地(A素地)と乾式プレス用顆粒粉(B素地)を選んだ。

またA素地に長石を15%添加したものをC素地とした。素地の化学分析値を表1に示す。

独立気孔形成材には、可燃物質であるおがくず、発泡スチロール、粟、石炭、黒鉛を選んだ。それらの種類を表2に、平均粒子径を図1に示す。

### 2.2 熱的性状

独立気孔形成材の焼失温度範囲を調べるため、熱膨張計を使用した。試料長は2mmとし、空気の回りを良くして焼失しやすくした。

### 2.3 混練・成形・焼成

A、B、C素地を混練し、木型(45×60×90mm)を使って手起し成形を行った。B素地は乾式で混練した後、

表1 素地の化学分析値 (%)

素地	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	IgLoss
A	66.6	17.9	4.26	0.68	0.50	0.85	0.90	2.56	5.32
B	73.5	15.2	0.88	0.36	0.37	0.17	1.75	4.05	3.50
C	66.8	17.8	3.63	0.58	0.56	0.72	1.27	3.54	4.67

表2 気孔形成材の種類

おがくず	桧(木曾桧)	かさ比重:0.5
	柾(セルロシン)	12, 45, 80, 100mesh
発泡スチロール	白、ピンク	かさ比重:0.03
	HC、HD、HE、HK	
粟	小鳥の飼料	かさ比重:1.2
石炭	窯の燃料	かさ比重:1.4
黒鉛	乾電池の芯	かさ比重:1.8



図1 形成材の平均粒子径

22.5φmmの試験体を500kgf/cm<sup>2</sup>でプレス成形した。焼成は電気炉にて、独立気孔形成材のみの場合は毎分4~5℃で、素地に添加した場合は毎分2~3℃で昇温し、1時間保持した。

## 2.4 品質評価試験

吸水率、かさ比重、独立気孔率、連通気孔率は水中置換法で求めた。飽水は3時間煮沸と24時間自然吸水法により行った。熱伝導率は非定常法により求めた。曲げ強さはスパン60mmで3点曲げ試験法で行った。機械加工性はダイヤモンド切断機により、刃の速度と試料台送りトルクは一定にし、厚み17mm、長さ72mmの断面を切るのに要する時間で評価した。また金ノコの刃でも切れるか、手びきでも試した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 熱的性状

発泡スチロールは90℃から収縮して、110℃で急激に収縮した。桧や白樺などの木材は図2のように280℃くらいから急激に収縮した。粟は80℃から脱水による収縮を始め、250℃まで直線的に収縮した後、急激に収縮した。黒鉛は650℃までほとんど変化せず、750℃から急激に収縮する。石炭は黒鉛より250℃低い温度で焼失するが、図3に見られるように急激な膨張を起こし、26%まで膨張する。

素地に混練して焼成したとき、粟だけは250℃で爆発した。原因としては、丈夫な表皮が水分の脱出を妨げるため、かなりの水が残り、表皮が焦げて弱くなると同時に水蒸気爆発が起きたと考えられる。石炭は、大きな膨張を示したが、破壊することなく安全に焼成できた。

### 3.2 混練・成形・焼成

発泡スチロールは、かさ比重が0.03で非常に軽いので素地が乾粉の場合、浮き上がって均一混練が困難であった。水を添加して湿式で行うと混練できた。所定の気孔率を得るには気孔形成材と素地を容積比で混練すればよい。

プレス成形では発泡スチロールが、ラミネーションの発生原因となり、脱型時にバラバラになった。変形しない固いものとして0.25~0.5mmの石炭、黒鉛を30%加えてもプレス成形可能であった。

焼成で心配された割れ・爆発は、粟を除いて起きなかった。ただし、C素地に45meshのおがくずを30%加えたものは、黒芯が発生し、膨れたので表6に見られるように、かさ比重が小さくなった。十分な空気の供給が必要である。

### 3.3 品質評価試験

A素地におがくずあるいは発泡スチロールを容積比で1:1に混練したものを1200℃で焼成し、3時間煮沸を行い、吸水率などを求めた。表3に見られるように独立

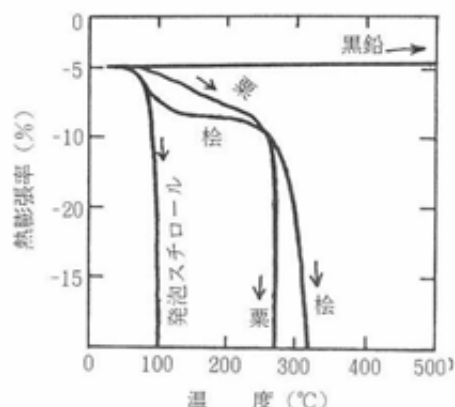


図2 形成材の熱収縮曲線図

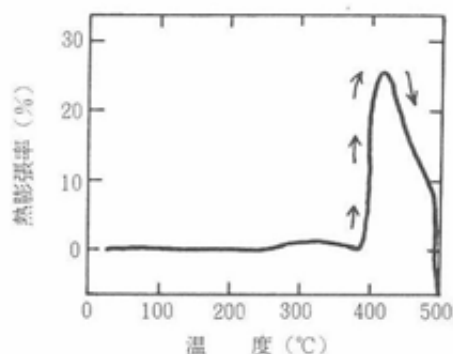


図3 石炭の熱膨張曲線図

表3 A素地多孔体の物性値

基本物性値	おがくず		発泡スチロール	
	12mesh	45mesh	HD	HK
かさ比重	1.32	1.43	1.27	1.15
3h吸水率(%)	36	30	39	48
独立気孔率(%)	1	1	1	1
全気孔率(%)	48	44	50	55

表4 C素地多孔体(1100℃焼成、3h煮沸)

HKの添加量	独立気孔率(%)	連通気孔率(%)	かさ比重	見掛比重	吸水率(%)
0%	0.3	2.3	2.43	2.49	1.0
10%	9.0	6.8	2.11	2.26	3.2
20%	3.0	19.8	1.93	2.41	10.2
30%	0.5	34.0	1.64	2.48	20.8
40%	0.2	43.4	1.41	2.49	30.8
50%	0.1	53.1	1.17	2.50	45.3
60%	0.0	60.9	0.98	2.50	62.2

気孔は、ほとんど無かった。焼成不足の懸念があったので25℃間隔で同じ試験体を1300℃まで焼成したが、独立気孔は若干増えただけであった。そこで長石を15%添加したC素地に、発泡スチロールHKを10%間隔で60%まで添加して、1100℃で焼成した。素地そのものは焼き締まって、吸水率1%になったが、表4に見られるように吸水率や連通気孔率(V3)は増加した。更に、50℃高い1150℃で再焼成しても、変化は無かった。

これを24時間自然吸水法で評価すると、表5のように大きく変化する。この変化を独立気孔率(V2)で示すと図4のようになる。煮沸法では、全気孔率(V2+V3)が15%を越えると理想ライン(できた気孔はすべて独立気孔である)から離れ、V2の値は0に近づく。24時間自然吸水法では、全気孔率が20%を越えると理想ラインから離れるが、そのズレは2割以内である。この原因としては、1150℃の再焼成でも、0.2~0.8μmの細孔が残り<sup>1)</sup>、3時間の煮沸の間に、孔から孔へ熱水を満たすので、大きな吸水率になるものと思われる。

表6 B素地とC素地(煮沸法)

種類	独立気孔率(%)	連通気孔率(%)	かさ比重	見掛比重	吸水率(%)
B-12mesh	6.6	26.3	1.68	2.28	15.7
B-45mesh	9.3	17.1	1.84	2.22	9.3
B-100	14.7	1.4	2.10	2.13	0.7
B-HC	22.3	7.8	1.75	1.89	4.5
B-HE	26.9	3.6	1.74	1.80	2.0
B-HK	30.3	2.0	1.69	1.73	1.2
C-12mesh	1.3	25.4	1.83	2.46	13.9
C-45mesh	22.2	18.5	1.48	1.82	12.5
C-100	7.3	12.9	1.99	2.29	6.5
C-HC	6.5	10.2	2.08	2.32	4.9
C-HE	10.6	8.1	2.03	2.21	4.0
C-HK	11.8	10.3	1.95	2.17	5.3

気孔率をほぼ30%に固定して、おがくずと発泡スチロールの粒子径を大中小と変えた。B素地も手起し成形した。その結果を表6に示す。磁器質のB素地では、粒子径が小さくなるほど連通気孔が減少した。100meshとHKでは、ほとんど独立気孔ばかりになった。100meshでは細かい孔が焼成により焼き込まれるのか、全気孔率は低下し、かさ比重が大きくなった。そのため熱伝導率は大きくなり(図5)、曲げ強さは増大した(図6)。珪器質のC素地は、やはり連通気孔が多かったの

表5 C素地多孔体(1150℃焼成 24h吸水)

HKの添加量	独立気孔率(%)	連通気孔率(%)	かさ比重	見掛比重	吸水率(%)
0%	3.6	0.8	2.39	2.41	0.3
10%	16.3	0.5	2.08	2.09	0.3
20%	21.9	1.6	1.91	1.94	0.8
30%	31.0	3.9	1.63	1.69	2.4
40%	38.1	5.5	1.41	1.49	3.9
50%	44.8	7.2	1.20	1.29	6.0
60%	49.7	10.3	1.00	1.11	10.3

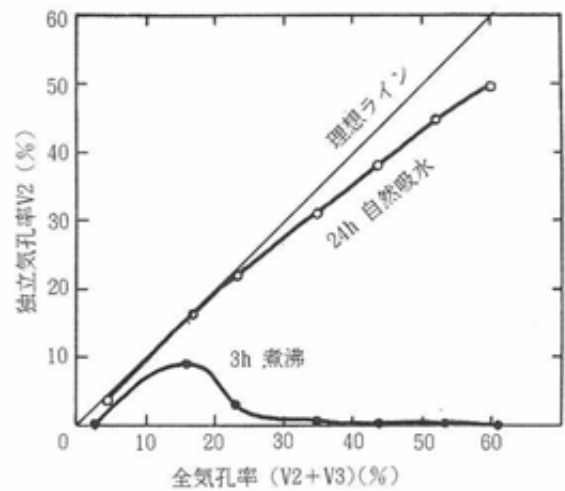


図4 C素地の独立気孔率

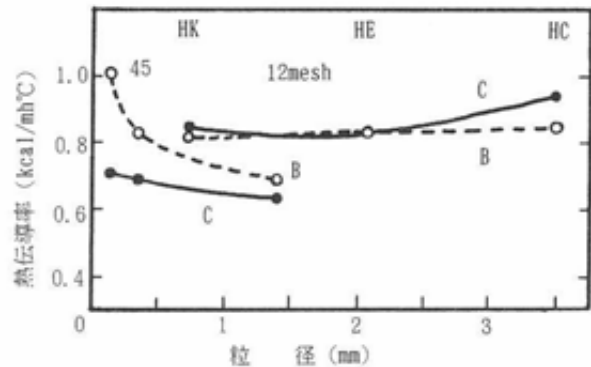


図5 熱伝導率と粒径(気孔率30%)

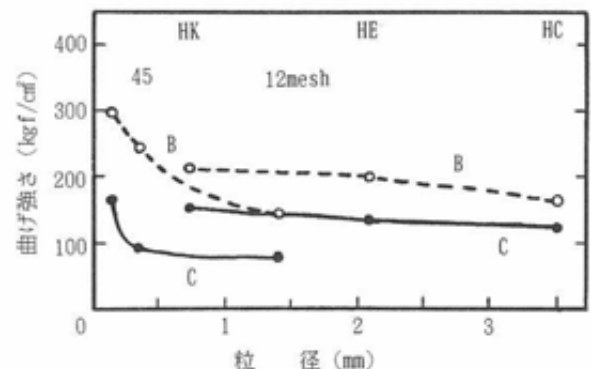


図6 曲げ強さと粒径(気孔率30%)

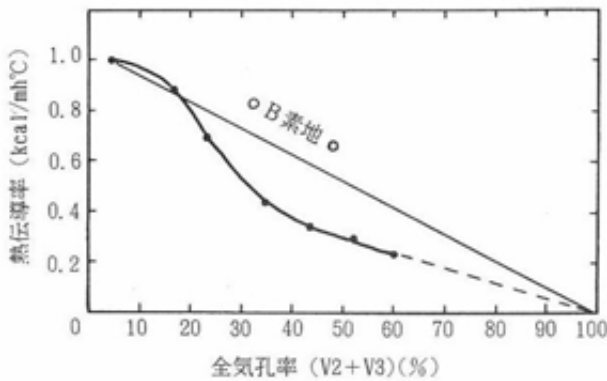


図7 熱伝導率と気孔率 (C素地)

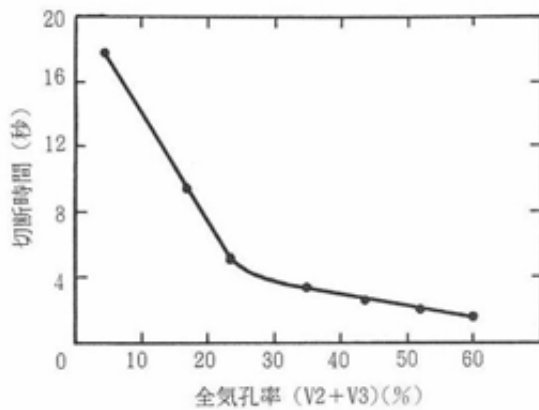


図8 切断時間と気孔率 (C素地)

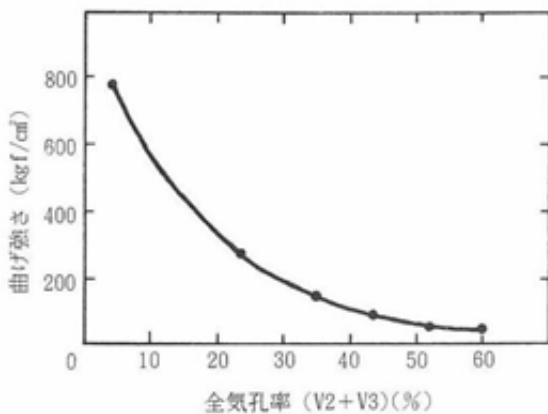


図9 曲げ強さと気孔率 (C素地)

図7のように17%を越えると熱伝導率が下がるが、連通気孔になって熱流が遮断されている<sup>2)</sup>ことを示している。磁器質のB素地は、ほとんど独立気孔なので直線より上方に位置する。独立気孔のみで、目標値である0.6kcal/mh°C以下を達成するためには、50%以上の気孔率が必要である。

機械加工性の結果を図8に示す。2本の直線で示すことができるが、金ノコでも切れるのは第2の直線部になってからである。

切り出した試験片で、曲げ強さを測定した。図9にその結果を示す。気孔形成材を入れないC素地だけで780kgf/cm<sup>2</sup>もの値を示すが、連通気孔のため強度の低下は著しい。

#### 4. まとめ

- (1) 気孔形成材としては、焼失特性の穏やかなおがくずと発泡スチロールが良好で湿式で混練するのが良い。
- (2) 乾式プレス成形では、発泡スチロールのように多量の空気を含んだものは、ラミネーションを起こすので石炭や黒鉛が適している。
- (3) 珪器質素地で独立気孔を主に形成させることは困難で、ち密化できる磁器質が適している。
- (4) 曲げ強さは、気孔率が大きくなると低下が著しいので、素地は磁器質で本来の強度の大きいものがよい。

#### 文献

- 1) 西野由記彦, 積水ハウス技術資料, 5~11 (1993)
- 2) 林 国郎, 真空理工ジャーナル, 9(2), 15~19 (1980)