

複層化フライアッシュ建材の開発

深谷 英世 加藤 勝正 山本 紀一

Development of Fly Ash Building Materials with Multiple Structure
by

Hideyo FUKAYA, Katsumasa KATO and Kiichi YAMAMOTO

瓦用配合土にフライアッシュを添加し、気孔形成材により密度の異なる素地を調製し、これらを複層化して断熱性、軽量性等の機能を付加した建材を開発した。燃焼して焼失する気孔形成材としてスターチ、発泡スチロール樹脂及び粒状スチロール樹脂を、中空の気孔形成材としてシラスパルーンを用いた。シラスパルーンは成形時の破壊を防ぐため成形圧は3～5 MPaが適当であった。発泡スチロール樹脂は圧縮により偏平な気孔を形成した。スターチは微細で均一な気孔を形成し、開気孔率の大きな多孔体が得られた。粒状スチロール樹脂により閉気孔率の大きな多孔体が得られた。気孔形成材を含む層の上下を気孔形成材を含まない層で挟んで複層化させた12cm角タイルを試作した。複層化により、熱伝導率は気孔形成材を含まない層の1.0 W/m Kから0.7～0.8 W/m Kに、かさ比重は2.2から1.7に低下し、曲げ強さは気孔形成材を含む層の7 MPaから9～12 MPaに増加した。

1. まえがき

三河地区の粘土瓦及び煉瓦製造業は粘土の多消費型産業であり、その粘土使用量は年間 230万トンにも達する。このため、粘土の枯渇化が懸念され、その確保が急務とされている。一方、当地区の中部電力碧南火力発電所（出力210万kW）からは石炭燃焼に伴い、フライアッシュが年間70万トン排出されている。一部はセメント原料、道路路盤材として使用されているが、窯業原料としての資源化が望まれている。

福永ら¹⁾は煉瓦土をフライアッシュで最大50%置き換え、顆粒調製条件、プレス成形条件による成形体物性への影響を調べ、厚形で形状が複雑なデザイン煉瓦を開発した。深谷ら²⁾はフライアッシュ配合量を更に増やし、瓦土をフライアッシュ50～70%で置き換え、成形助剤、バインダーを添加して可塑性を補い、欧風平瓦を開発した。

本研究では気孔形成材等により密度の異なる素地を調製し、これらを複層化して断熱性、軽量性等の機能を付加した建材について検討した。

2. 実験方法

2.1 使用原料

瓦土は瓦用配合土を乾燥後、粉碎し、1 mm以下の分級物を使用した。フライアッシュは炭種により化学組成、耐火度等が大きく異なる。瓦の焼成温度を考慮し、耐火度がSK7と比較的低いオーストラリア産キャンパウェル炭のフライアッシュを使用した。

2.2 気孔形成材

気孔形成材には燃焼して焼失するものと中空のものがある。燃焼して焼失する気孔形成材としてスターチ（日本コーンスターチ製アミロックス、粒径5～25 μm 、かさ比重0.47）、発泡スチロール樹脂（三菱化学製JK450、30倍発泡、粒径約1 mm、かさ比重0.037）、粒状スチロール樹脂（大日本インキ化学製CR5100P、粒径約350 μm 、かさ比重0.58）を用いた。中空の気孔形成材としてシラスパルーン（三機化工建設製A03、粒径約100 μm 、かさ比重0.27）を用いた。スターチは粒径が小さく、分散性が良好なためセラミックスの軽量化、断熱性の向上について研究されている³⁾。発泡スチロール樹脂は包装材として大量に消費され、廃棄されるため、リサイクルの必要性が高い。発泡スチロール樹脂については押出成形による煉瓦の軽量化事例が報告されている⁴⁾。

2.3 素地調製、成形及び焼成

瓦用配合土80%とフライアッシュ20%から成る素地をち密質素地Aとし、気孔形成材を16~50vol%含む素地を多孔質素地Bとした。各原料をアイリッヒミキサーで2分間乾式混合後、瓦用配合土に対して10~15%の水分を加え、更に2分間湿式混合した。調製した素地は室温で24時間ねかした。多孔質素地をち密質素地で挟み、その質量比をA:B:A=1:3:1としたものを複層化素地とした。多孔質素地と複層化素地により試験体(W60×D60×H10~40mm)を成形圧3~30MPaで成形し、昇温速度60℃/hにより1100~1150℃で1時間焼成した。

2.4 焼成体物性

焼成体の吸水率、かさ比重、開気孔率、閉気孔率を24時間自然吸水法により測定した。曲げ強さはスパン5cm、クロスヘッド速度2mm/minで測定した。熱伝導率は非定常熱線法で測定した。

2.5 複層化タイルの試作

複層化素地により、成形圧5~20MPaで12cm角タイルを試作した。

3. 実験結果及び考察

3.1 気孔形成材

3.1.1 気孔形成材による気孔率への影響

ち密質素地に気孔形成材を30vol%添加し、成形圧10MPaで成形後、1150℃で焼成した焼成体の開気孔率と閉気孔率を表1に示す。開気孔率はスターチが21.8%で最も大きく、粒状スチロール樹脂が13.2%、シラスバルーンと発泡スチロール樹脂は気孔形成材を添加していないものとはほぼ同じであった。これは成形圧が10MPaと高いため、シラスバルーンは破壊され、発泡スチロール樹脂は潰れ、十分な気孔を形成できなかったためと考えられる。閉気孔率は粒状スチロール樹脂が19.9%で最も大きく、シラスバルーンと発泡スチロール樹脂は11%弱、スターチは気孔形成材を添加していないものとはほぼ同じであった。スターチは粒径が5~25μmと小さいために連通気孔が多くなり、開気孔率が大きくなったと考えられる。粒状スチロール樹脂は粒径が350μmと大きいために独立気孔が多くなり、閉気孔率が大きくなったと考えられる。

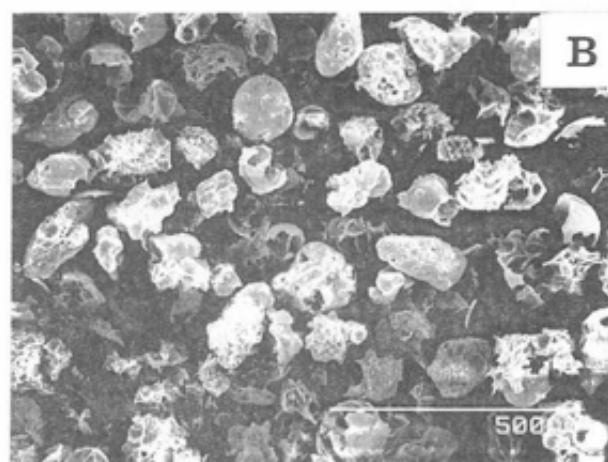
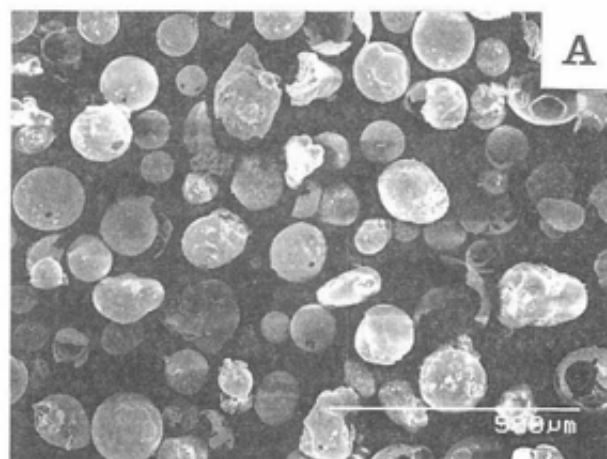


写真1 シラスバルーン
(A: 成形前、B: 成形圧3MPa)

表1 気孔形成材による気孔率への影響

気 孔 率 (%)	ち密質 素地	スターチ	シラス バルーン	発泡スチ ロール樹脂	粒状スチ ロール樹脂
開気孔率	11.5	21.8	11.5	12.1	13.2
閉気孔率	8.7	9.3	10.9	10.7	19.9
全気孔率	20.2	31.1	22.4	22.8	33.1

気孔形成材30vol%、成形圧10MPa、1150℃焼成

表2 成形圧によるシラスバルーン粒度への影響

粒 径 (μm)	成 形 圧 (MPa)						
	0	3	5	10	15	20	30
250 <	7.04	2.33	0.97	0.77	0.67	0.28	0.38
149 ~ 250	27.28	14.92	13.96	8.76	6.30	5.69	5.45
105 ~ 149	18.11	11.58	7.26	6.59	6.26	4.75	6.32
74 ~ 105	6.77	8.04	7.34	6.35	7.75	7.86	6.55
45 ~ 74	6.13	12.59	8.86	8.19	9.35	7.05	5.13
< 45	34.67	50.55	61.60	69.33	69.68	74.37	76.16

(%)

3.1.2 シラスバルーン

ち密質素地にシラスバルーンを30、50vol%添加し、3～20MPaで成形後、1150℃で焼成し、成形圧による全気孔率への影響を調べた。その結果を図1に示す。シラスバルーン30vol%の場合、全気孔率は成形圧3MPaで36.6%、20MPaでは25.7%まで減少した。シラスバルーン50vol%の場合、全気孔率は成形圧3MPaで40.7%、20MPaでは29.3%まで減少した。

シラスバルーンは成形圧が高いと潰れ、気孔形成が不十分となる。シラスバルーンを3～30MPaで加圧後、ふりい分析を行い、シラスバルーンの破壊状況を調べた。ふりい分析結果を表2に示し、写真1に成形前と成形圧3MPaで加圧後のシラスバルーンを示した。表2から加圧によりシラスバルーンの破壊が起こり、粒径の大きなものが減少し、45μm以下が増加した。

シラスバルーンの破壊を防ぐためには成形圧は低いほど良いが、成形体強度が小さくなる。従って、成形圧は3～5MPaが適当と考えられた。

3.1.3 スターチ

スターチは気孔形成材の中で最も粒径が小さく、小さな気孔が形成できる。また、分散性にも優れ、バインダーとしても作用するため成形体のハンドリングが容易であった。試験体が厚くなっても黒芯は生成しなかった。

3.1.4 発泡スチロール樹脂

発泡ガスを含む未発泡のスチロール樹脂を添加した場合、成形後の乾燥で膨れ、成形体は破壊された。従って、予め発泡させたものか、発泡ガスを含まないスチロール樹脂を添加しなければならない。写真2に発泡スチロー

ル樹脂を30vol%添加し、20MPaで成形後、1150℃焼成した多孔体の断面を示す。発泡スチロール樹脂は成形時に圧縮され、潰れて偏平となるため、焼成後の気孔も偏平なものとなった。過大な成形圧で成形すると十分な気孔を形成できないが、成形圧を低くすると圧縮された発泡スチロール樹脂の復元が起こり、成形体の形状が保てず、特に試験体角部での膨れが顕著であった。

ち密質素地に気孔形成材を30、50vol%添加し、3～20MPaで成形後、1150℃で焼成し、成形圧による全気孔率への影響を調べた。その結果を図2に示す。発泡スチロール樹脂30vol%の場合、全気孔率は成形圧3MPaで34.4%、20MPaでは22.0%まで減少した。発泡スチロール樹脂50vol%の場合、全気孔率は成形圧3MPaで40.1%、20MPaでは27.4%まで減少した。

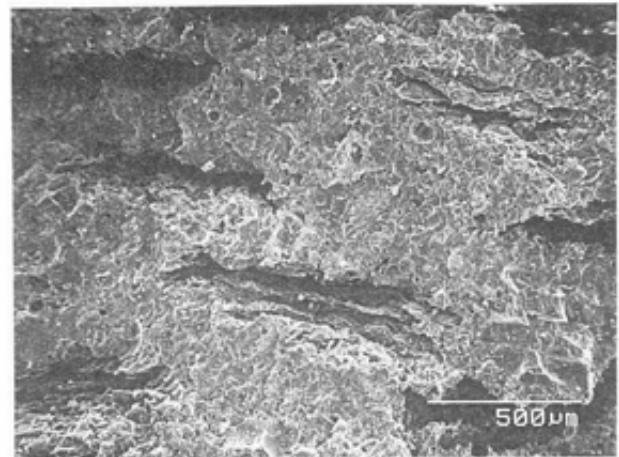


写真2 多孔体断面
(発泡スチロール樹脂30vol%、成形圧20MPa)

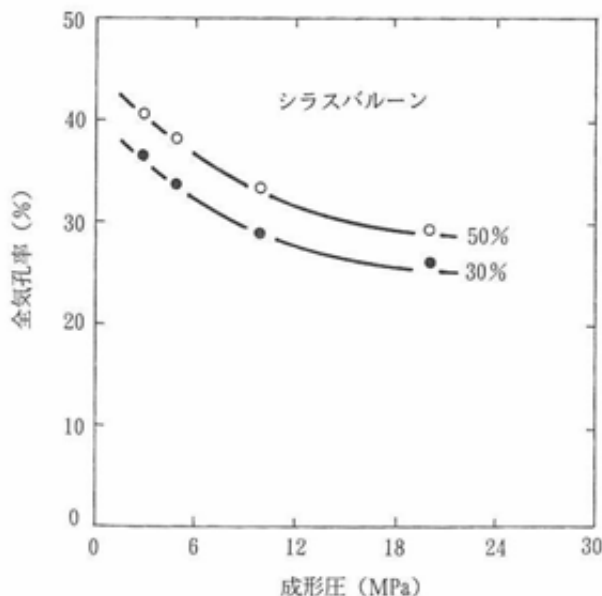


図1 成形圧による全気孔率への影響

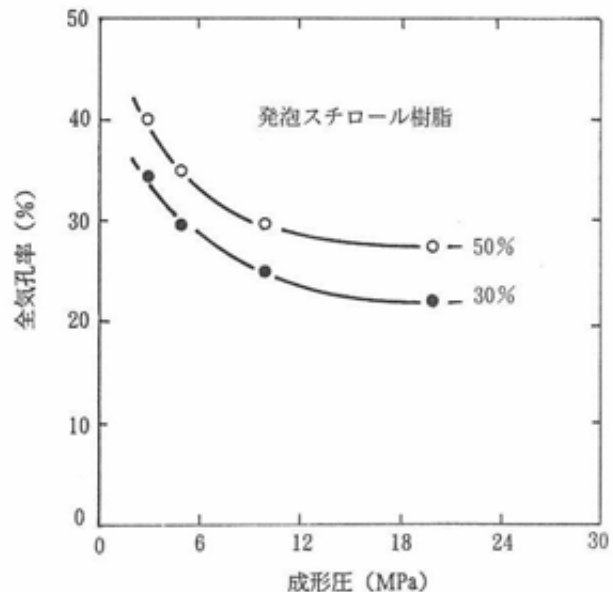


図2 成形圧による全気孔率への影響

3.1.5 粒状スチロール樹脂

粒状スチロール樹脂を30vol%添加し、20MPaで成形後、1150℃焼成した多孔体の断面を写真3に示す。粒状スチロール樹脂は発泡スチロール樹脂のように発泡ガスを含まず、成形圧で潰れることもなく、気孔形成材として適していた。また、スチロール樹脂は400～450℃で急激に熱分解するが、試験体は破壊されず、試験体が厚くなくても黒芯を生成することはなかった。

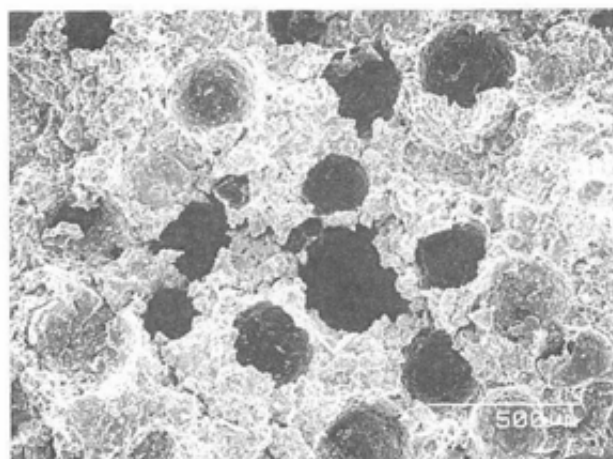


写真3 多孔体断面
(粒状スチロール樹脂30vol%、成形圧20MPa)

3.2 曲げ強さと気孔率の関係

材料中の気孔量が増加すると外部からの応力を支える有効断面積が減少するため強度は低下する。気孔形成材添加量、成形圧及び焼成条件によりち密質素地の気孔率を変え、曲げ強さを測定した。その結果を図3に示す。図3から気孔形成材を含まない場合、曲げ強さは全気孔率の減少に伴い直線的に増加した。スターチ、シラスバルーン、粒状スチロール樹脂の場合、曲げ強さと全気孔率との関係はいずれも添加量により異なった直線となり、気孔率により曲げ強さは一義的に決まらない。多孔体の全気孔率が同じ場合、気孔形成材の添加量が多いほど曲げ強さは大きくなった。全気孔率が同じ場合、気孔形成材による孔を除いたマトリックス部は、気孔形成材が多いほどち密となり、曲げ強さが大きくなったと考えられる。発泡スチロール樹脂の場合、成形時に圧縮されて潰れ易いため、添加量による曲げ強さと全気孔率との関係への影響が少なかった。

粒状スチロール樹脂は粒径が大きいため、生成した気孔が大きくなり、曲げ強さは最大でも3.4MPaと小さくなった。

3.3 熱伝導率と気孔率の関係

シラスバルーンを気孔形成材とした場合の成形圧による熱伝導率への影響を図4に示す。3.1.2で述べたように、成形時にシラスバルーンは破壊し、十分な気孔が形成されなくなるため成形体はち密化し、成形圧を増すと焼成体の熱伝導率も増加した。

気孔率による熱伝導率への影響を図5に示す。スターチとシラスバルーンを気孔形成材とした場合、いずれも気孔率を大きく変えることができるため、熱伝導率も大きく変えることができた。気孔率と熱伝導率の関係は気孔形成材を添加しない場合とほぼ同じであった。粒状スチロール樹脂と発泡スチロール樹脂は気孔率を大きく変えることができないため、熱伝導率を変えることも難しい。

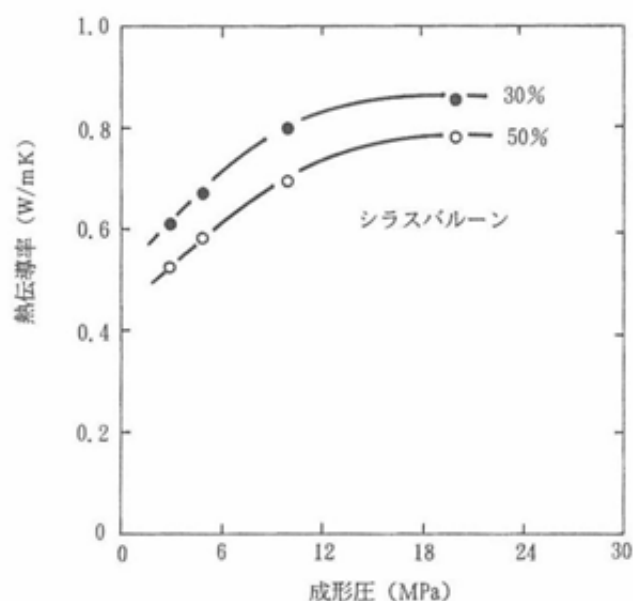


図4 成形圧による熱伝導率への影響

3.4 熱伝導率と曲げ強さの関係

気孔形成材を添加していないものとシラスバルーンを50vol%添加したものの熱伝導率と曲げ強さとの関係を図6に示す。素地がち密化して曲げ強さが向上すると熱伝導率も増加するが、シラスバルーン添加により気孔が形成されるため、同じ曲げ強さでも熱伝導率は小さくなった。

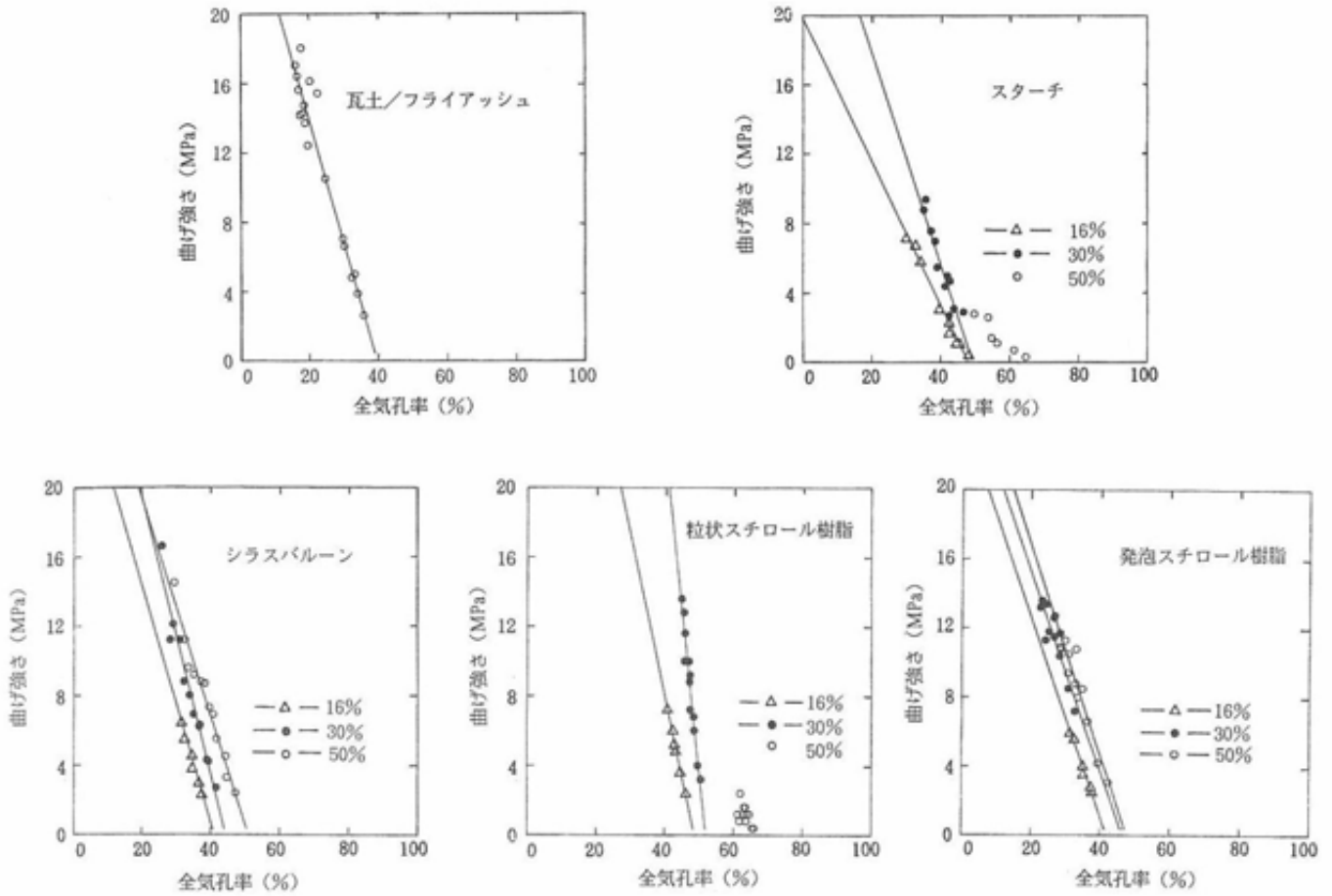


図3 気孔率による曲げ強さへの影響

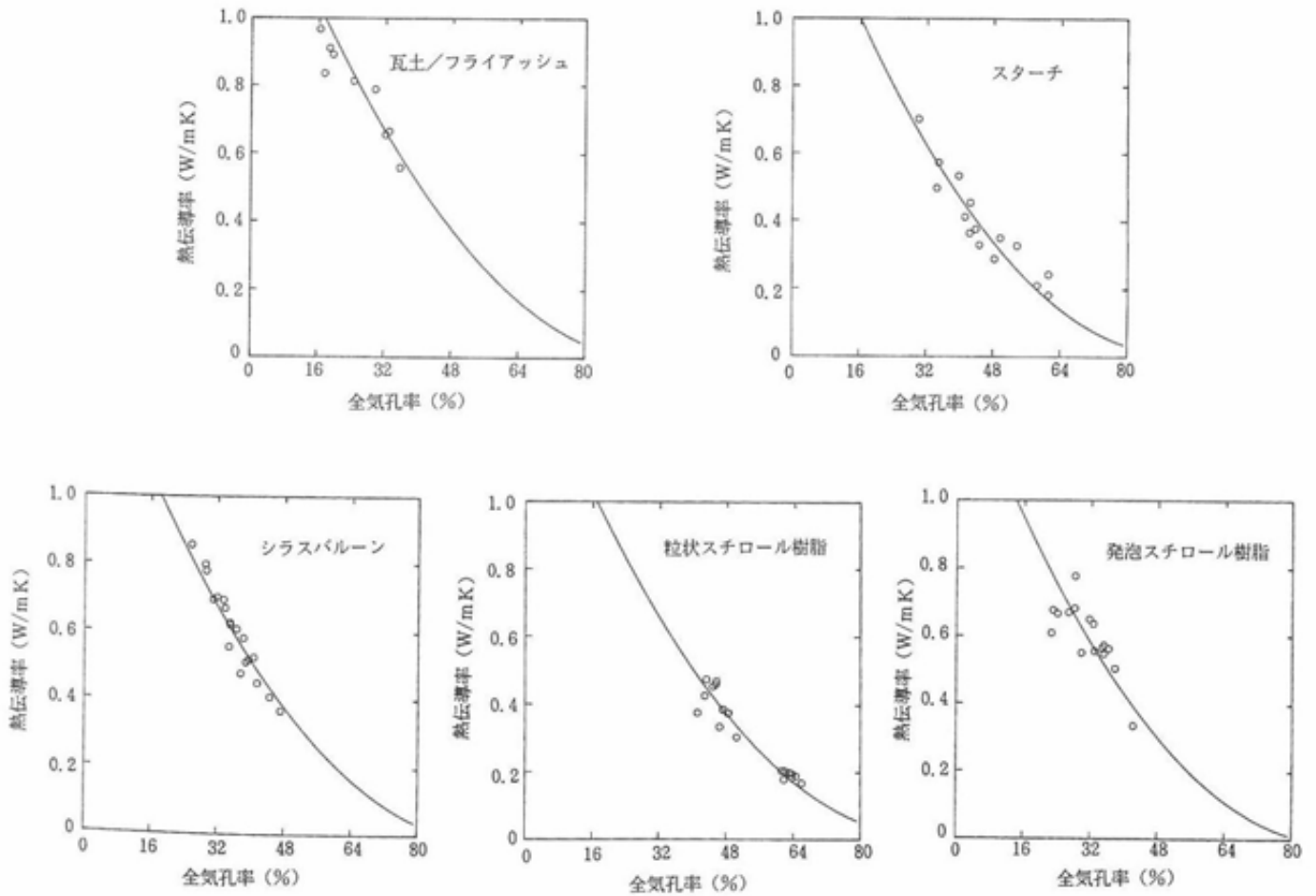


図5 気孔率による熱伝導率への影響

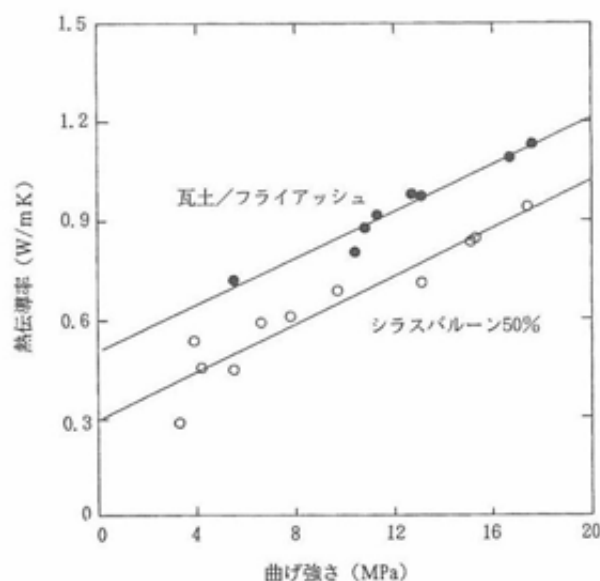


図6 熱伝導率と曲げ強さとの関係
(瓦土/フライアッシュ、シラスバルーン50%)

3.5 複層化タイル

気孔形成材を含む層の上下を気孔形成材を含まない層で挟んで複層化させた12cm角タイルを試作した。複層化によるラミネーションは起こらなかった。表3に複層化タイルの全気孔率、吸水率、かさ比重、熱伝導率及び曲げ強さを示す。複層化タイルの焼成物性は多孔質素地の焼成物性に影響された。複層化により、熱伝導率は気孔形成材を含まない層の1.0W/mKから0.7~0.8W/mKに、かさ比重は2.2から1.7に低下し、曲げ強さは気孔形成材を含む層の7MPaから9~12MPaに増加した。

4. まとめ

瓦用配合土にフライアッシュを添加し、気孔形成材等により密度の異なる素地を調製し、これらを複層化して断熱性、軽量性等の機能を付加した建材を開発した。

- (1) シラスバルーンの成形圧は3~5MPaが適当である。発泡スチロール樹脂は圧縮により偏平な気孔を形成した。スターチは微細で均一な気孔を形成し、開気孔率の大きな多孔体が得られた。粒状スチロール樹脂により閉気孔率の大きな多孔体が得られた。
- (2) 成形圧の増加により焼成体の気孔率は減少し、熱伝導率は増加した。
- (3) 複層化により、熱伝導率とかさ比重は気孔形成材を含まない層よりも小さくなり、曲げ強さは気孔形成材を含む層よりも大きくなった。

文 献

- 1) 福永 均, 加藤勝正, 稲垣三喜男, 服部金司, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 22, 14~19(1995).
- 2) 深谷英世, 加藤勝正, 伊藤征幸, 伊藤政巳, 愛知県常滑窯業技術センター報告, 23, 1~6(1996).
- 3) O. Lyckfeldt, E. Liden, R. Carlsson, Low-Expansion Materials, 217~227(1995).
- 4) Ceramic Industries International, 2, 27~37, (1993).

表3 複層タイルの焼成性状、熱伝導率及び曲げ強さ

	気孔形成材	添加量(%)	成形圧力(MPa)	全気孔率(%)	吸水率(%)	かさ比重	熱伝導率(W/mK)	曲げ強さ(MPa)
複層タイル	スターチ	30	20	28.4	9.91	1.90	0.81	12.4
	シラスバルーン	30	5	29.4	10.3	1.87	0.79	9.9
		50	5	34.5	13.7	1.74	0.75	8.7
	発泡スチロール樹脂	30	20	21.9	4.96	2.07	0.97	20.9
		50	20	23.4	5.12	2.03	0.96	13.4
単層タイル	粒状スチロール樹脂	30	20	37.2	8.18	1.66	0.74	6.8
	瓦土単味		20	16.9	5.36	2.20	0.92	15.1
	瓦土/フライアッシュ		20	19.0	4.88	2.15	1.00	19.8