

鑄込成形用瓦素地および成形技術に関する研究

島村 修 , 浅井邦雄 , 久野 徹 , 田中愛造

Study on Slip Casting Roofing Tile Body Wares and Forming Technique

by

Osamu SHIMAMURA, Kunio ASAI, Toru
KUNO and Aizo TANAKA

珪砂工場から排出する珪砂採取後の粘土および陶石質原料に長石質原料などを加えて、新しい鑄込素地を作り実際の棧瓦などを試作し、従来の製品と試作瓦の各特性値について比較検討した。試作製品の重量は約2kgで従来品の2.5~3.0kgに比べて、軽量で、しかも曲げ強度は約2倍のすぐれた品質性状を示した。原料に関しては県内産の柿平陶石が河合陶石、天草陶石等に比較して、鑄込泥漿の調製および焼成物の性状などに優れた性質を示した。

1. まえがき

三河地区に限らず、一般に粘土瓦は2種以上の原料粘土を配合したのち、真空土練機により混練し、湿式押し出し成形した荒地を再成形しているが、現在の方法による製品の品質向上には限界がある。特に寸法精度および形状に対して弱点を持つのが業界の悩みとなっている。本研究の目的は業界が要望している軽量で寸法精度が良い屋根瓦を生産するための鑄込用瓦素地および成形技術を開発することである。

収集した15種の原料について基礎的性状を調べてから、鑄込用試験素地調査と窯業的諸物性の測定を行なって、鑄込用瓦素地として優れた特性を有する素地組成を究明し、調合物についての試作応用試験を実施した。

2. 試料

瓦の鑄込用原料として、使用可能な粘土類4種（陣屋粘土、日本珪砂排土、尾州粘土、三郷粘土）、陶石類9種〔河合陶砂、河合黄土、河合陶石（2級）、柿平陶石（1級）、柿平陶石（2級）、柿平麿陶石、莊川陶石、天草陶石（1級）、天草麿陶石〕、および長石類2種〔封州長石（3級）、吾妻さば〕の合計15種の収集を行ない試料とした。

この試料について、化学分析、耐火度、X線回折、熱性状分析（示差熱分析、熱膨脹）、粒度分析を行なった。

表1 化学分析値および耐火度

原 料	分類	化 学 分 析 値 (%)										耐火度 S K
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig-loss	Total	
陣 屋 粘 土	粘 土 類	64.23	24.84	0.96	—	0.20	0.19	0.27	1.54	8.42	100.65	33
日 本 珪 砂		63.75	24.53	0.71	0.22	0.15	0.41	0.08	2.02	8.39	100.26	29
尾 州 粘 土		69.05	19.34	1.78	0.23	0.19	0.49	0.09	1.99	6.92	100.08	30
三 郷 粘 土		55.80	30.03	1.51	0.30	0.09	0.19	0.15	2.30	9.13	99.50	32
河 合 黄 土	陶 石 類	70.13	22.07	1.82	—	0.17	0.17	0.10	2.22	3.95	100.63	28
河合陶石(2級)		80.07	14.10	0.45	—	tr	tr	0.29	2.66	2.40	99.97	19
河 合 陶 砂		76.04	17.24	0.30	—	0.40	0.12	0.23	2.50	2.92	99.95	20
柿平陶石(1級)		79.43	12.01	0.42	0.04	0.27	0.06	1.79	4.60	1.26	99.88	11
〃 (2級)		79.00	12.60	0.46	0.05	tr	0.03	2.68	3.49	1.34	99.65	11
柿平麿陶石		75.98	14.18	1.24	—	0.19	0.09	2.33	4.66	1.65	100.32	11
天草陶石(1級)		79.87	13.90	0.44	tr	tr	tr	0.28	2.56	3.09	100.14	19
天草麿陶石		76.02	14.12	0.87	0.03	0.10	0.06	1.08	4.01	2.52	98.81	18
莊 川 陶 石		85.56	7.10	0.33	—	0.21	0.40	0.17	4.59	1.63	99.99	20
封州長石(3級)		81.51	11.77	0.26	0.16	0.46	0.23	4.83	0.05	0.76	100.03	11
吾 妻 さ ば	長 石 類	73.95	14.09	0.38	0.08	1.00	0.13	3.37	7.02	0.43	100.45	8

2.1 化学分析

化学分析を行なった結果を表1に示す。粘土類4種のうちでは、三郷粘土が最も Al_2O_3 含有量と $Ig \cdot loss$ が多く、粘土分が多いと思われる。逆に尾州粘土については、 Al_2O_3 含有量と $Ig \cdot loss$ が最も少なかった。

陶石類については、 Fe_2O_3 含有量の多いものは柿平廃陶石の1.24%および河合黄土の1.82%であるが、この程度の含有量であれば大きな問題はないと思われる。また柿平陶石はアルカリ含有量と耐火度などから考えて、対州長石と類似の使用方法が可能である。

長石類については、対州長石は Na_2O 含有量が4.83%であるのに対し、吾妻さばは K_2O の含有量が多く7.02%であるのが特徴である。

2.2 耐火度

酸素-プロパン式耐火度測定機を使用して測定した結果を表1に示す。粘土類はSK29~33の範囲で大きな差は見られない。このうち最も耐火度の高いものは陣屋粘土のSK33である。陶石類はSK11~28の範囲にあり、耐火度の高い陶石は河合黄土のSK28、次は河合陶砂のSK20であり、低い陶石は柿平陶石のSK11であり、アルカリ含有量の多い陶石ほど耐火度の低い傾向にあった。長石類は対州長石3級がSK11、吾妻さばはSK8である。

2.3 X線回折

各原料を原土および1200℃焼成試料についてX線回折により鉱物組成を調べた結果、粘土類4種の原土はいずれも粘土質としてカオリン鉱物、雲母鉱物を含み、また非粘土質として石英および長石が主であった。9種の陶石類はX線回折結果より考えて次の3つのグループに分類できる。

① パイロフィライト系…河合黄土、河合陶砂、河合陶石(2級)

水箒処理することによりパイロフィライトが主体になり、またムライトの生成に必要な温度は1200℃である。

② 長石系……柿平陶石(1, 2級), 柿平廃陶石, 1200℃で完全にガラス化し遊離石英量もかなり減少する。

③ 雲母系……天草陶石(1級), 天草廃陶石, 莊川陶石

天草陶石(1級)および天草廃陶石はムライトの生成に必要な温度は1100℃であった。なお莊川陶石についてはムライトは生成せず、1200℃焼成で長石成分はほとんどガラス化する。

次に長石類の構成鉱物は長石、石英を主体としているが、対州長石(3級)はソーダ系長石、吾妻さばはカリ系長石であり、1200℃焼成しても若干長石分は残存する。

2.4 示差熱分析

昇温速度10℃/min, フルスケール±50μVの条件下で示差熱分析を行なった測定結果を図1に示す。

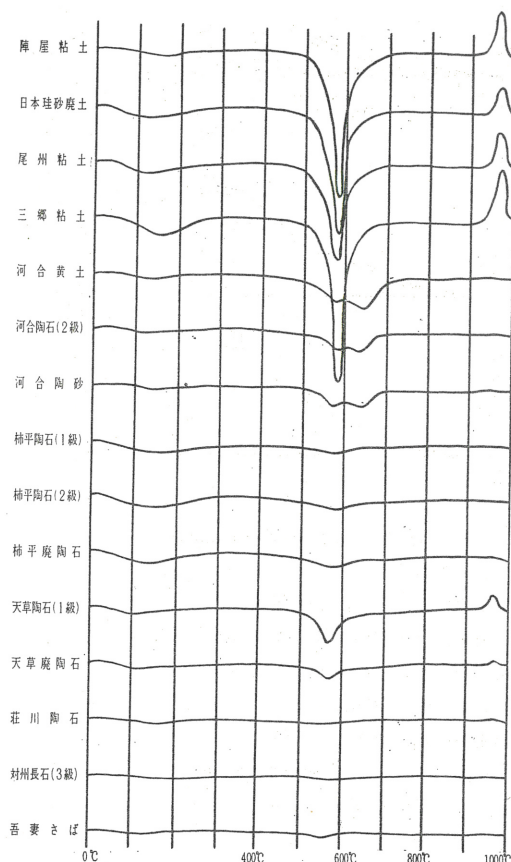


図1 各種原料の示差熱分析曲線

図1より、粘土類については陣屋粘土、日本珪砂廃土、尾州粘土および三郷粘土のいずれも570℃付近のカオリン鉱物の結晶水の脱水による吸熱が大きく、特に三郷粘土の吸熱ピークが顕著で大きいのは粘土鉱物の含有量の多いことを示している。

陶石類については河合黄土、河合陶石(2級)および河合陶砂が680℃付近のパイロフィライトの結晶水の脱水による非常に幅広い吸熱ピークと若干のカオリン鉱物の結晶水の脱水による小さな吸熱ピークが見られる。柿平陶石(1級), (2級), 柿平廃陶石, 天然陶石(1級), 天草廃陶石および莊川陶石は560~720℃にかけて雲母鉱物の結晶水によるブロードな吸熱ピークが見られた。なお天草陶石(1級)ではカオリン鉱物特有の発熱ピークも認められた。

2.5 熱膨脹試験

自記式熱膨脹計による、1100℃までの熱膨脹の測定

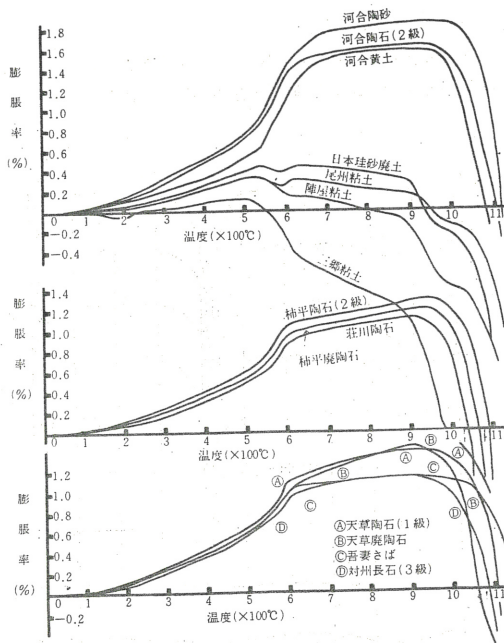


図2 各種原料の熱膨脹曲線

結果を図2に示す。

粘土類については、三郷粘土は 550℃ 付近からはじまるカオリン鉱物の分解による収縮が最も顕著であり、粘土分が多いことが分る。陣屋粘土、尾州粘土、日本珪砂廃土の順に収縮は小さくなった。これは5μm以下の微粒子の含有率とほぼ一致している。

陶石類については、主要構成鉱物の影響により 500℃ 付近より急激に膨脹し、粘土類に比べてはるかに膨脹率は大きい。また河合陶石(2級)、河合陶砂および河合黄土は石英とパイロフィライトの含有率が多いため大きな膨脹率を示す。なお、柿平陶石(2級)、柿平廃陶石および莊川陶石については長石の影響により、天草陶石(1級)および天草廃陶石についてはカオリン鉱物などのため、河合陶石系に比べて全体の膨脹率は小さい。

2.6 粒度分析

粘土類について、アンドリアゼン、ピペット法により分析した結果、5μm以下の含有率は三郷粘土は80%、陣屋粘土は68%、日本珪砂廃土は65%、尾州粘土は56%であり、三郷粘土が最も粒子が細かく、前項までに述べた結果と一致している。

2.7 懸濁液のPH

各試料懸濁液のPHを調べた結果は表2である。粘土類のPHは6～7の範囲にあり大きな差は見られない。このうち最もPHの高いのは陣屋粘土であった。陶石類のうちで最もPHの低いのは河合黄土の4.6、最も高いのは莊川陶石の8.6である。大部分のPHは8前後でややアルカリ性にかたよっている。長石類については、対州長石、吾妻さばとも8前後である。

3. 試験素地調査と試験方法

現在までに検討した各種原料の基礎性状試験結果から判断して、鑄込用原料として7種類を選定した。

- 粘土類 { 三郷粘土…粘土分を最も多く含有する粘土
- 2種 { 尾州粘土…粘土分を最も少なく含有する粘土
- 陶石類 { 河合陶石(2級)…パイロフィライト系陶石
- 3種 { 柿平陶石(2級)…長石系陶石
- 天草陶石(1級)…雲母系陶石
- 長石類 { 対州長石(3級)…曹長石系
- 2種 { 吾妻さば……正長石系

粘土類2種、陶石類3種および長石類2種の調査素地合計 108種類についての配合および配合割合を表3および表4に示す。

上記の配合割合にもとづいて調査素地に水分30～40%、水ガラス 0.4%添加し、ポットミルにて約5時間混合粉碎して鑄込用泥漿を調製し、直径 1.8cm長さ30cmの石膏型に流し込み円柱状試験体を成形した。なお水分は予備試験の結果より、鑄込良好な泥漿となるように陶石/粘土比½の調査素地のものは35～40%、1のものについては33～37%、2のものについては30～35%の添加量に規定した。

成形した試験体は室内風乾し、水分2～3%になったところで 110℃の乾燥器中で7時間乾燥した。乾燥した試験体を自然冷却後、乾燥曲げ強度を測定した。

なお、一部の試験体については、プロパンガス炉を使用して1150℃に焼成したのち、焼成曲げ強度および吸水率を測定した。

また、柿平陶石(2級)―三郷粘土―吾妻さばおよび柿平陶石(2級)―尾州粘土―吾妻さば系素地については、水分と水ガラスの添加割合を変え、同様な方

表2 各種原料のPH値

原 料	陣屋粘土	日本珪砂 廃土	尾州粘土	三郷粘土	河合黄土	河合陶石 (2級)	河合陶砂
P H 値	6.7	6.6	6.4	6.3	4.6	7.5	6.1

柿平陶石 (1級)	柿平陶石 (2級)	柿平廃陶石	天草陶石 (1級)	天草廃陶石	莊川陶石	対州長石 (3級)	吾妻さば
8.0	7.5	7.5	8.2	8.5	8.6	8.4	7.8

表3 原料別配合表

粘土	陶石	長石	記号標示
三郷粘土	河合陶石	対州長石(3級)	S-K-T系
〃	〃	吾妻さば	S-K-A系
〃	天草陶石	対州長石(3級)	S-C-T系
〃	〃	吾妻さば	S-C-A系
〃	柿平陶石(2級)	対州長石(3級)	S-H-T系
〃	〃	吾妻さば	S-H-A系
尾州粘土	河合陶土	対州長石(3級)	B-K-T系
〃	〃	吾妻さば	B-K-A系
〃	天草陶石(1級)	対州長石(3級)	B-C-T系
〃	〃	吾妻さば	B-C-A系
〃	柿平陶石(2級)	対州長石(3級)	B-H-T系
〃	〃	吾妻さば	B-H-A系

(注) 三郷粘土=S 河合陶石 =K 対州長石(3級)=T
 尾州粘土=B 天草陶石(1級)=C 吾妻さば =A
 天草陶石(2級)=H

表4 原料別配合割合

	陶石 / 粘土比			長石含有量
比率	1/2	1	2	
含有率	31.5% 63.5%	47.5% 47.5%	63.5% 31.5%	5%
比率	1/2	1	2	10%
含有率	30% 60%	45% 45%	60% 30%	
比率	1/2	1	2	15%
含有率	28% 57%	42.5% 42.5%	57% 28%	

法で試験体を成形しプロパンガス炉で1100℃および1150℃で焼成したのち諸性状の試験を実施した。

3.1 成形試験(粘性と境界面の発生)

回転粘度計を使用して、108種類の配合素地についての泥漿の粘性を測定した。その結果を図3に示す。図3から明らかなごとく、粘性に対して最も強く影響を与える因子は陶石/粘土比である。特に、陶石/粘土比1/2の配合比を有する泥漿についてB-H-T系、B-H-A系以外は、いずれも2000CP以上の粘性を示した。このうち三郷粘土系の配合素地で長石含有量の少ない泥漿については、5000CP以上の粘性を示し、成形試験体の中央部に長い境界面を発生した。

次に陶石/粘土比1の泥漿の粘性は300~2000CPの範囲にあり、このうち1000CP以上の泥漿については、原料配合比の違いにより短い境界面が発生する場合がある。陶石/粘土比2の泥漿については、大部分の泥漿についてはその粘性は1000CP以下になり、流動性が増加して境界面の発生は認められなかった。

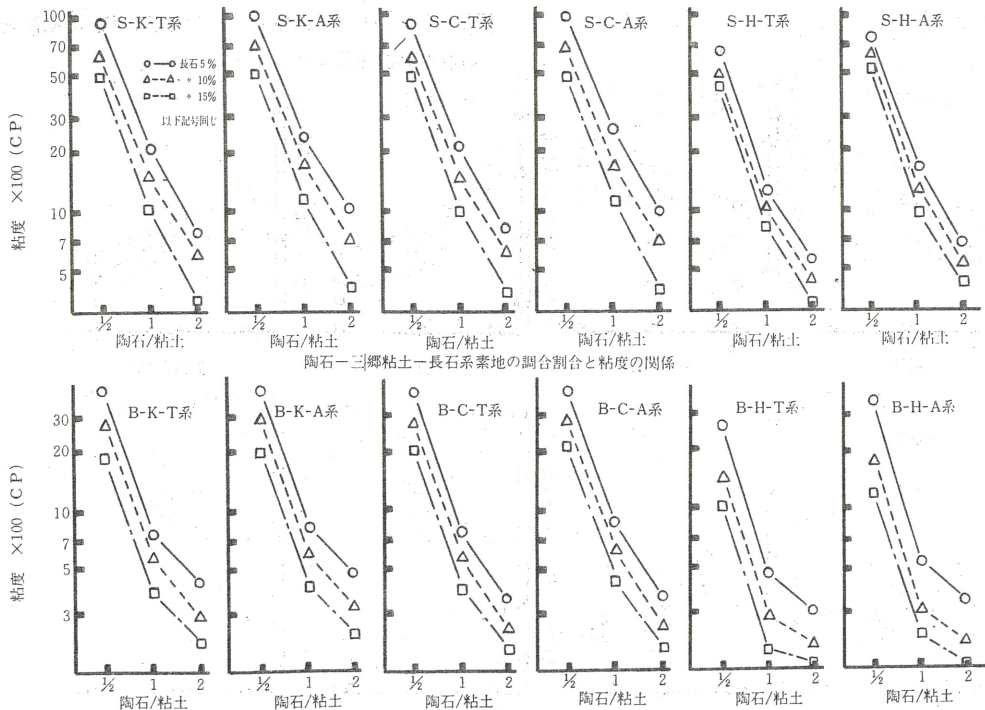


図3 陶石—尾州粘土—長石系素地の粘度

また原料面から検討すると、粘土類については三郷粘土系素地の方が尾州粘土系素地よりも粘性を高める傾向が認められる。陶石類については、柿平陶石配合素地の方が河合、天草陶石配合素地よりも1000~1500 C P程度粘性を低下させ、泥漿の流動性を増す効果が

認められた。長石類については、吾妻さば配合素地の方が対州長石系配合素地よりも若干粘性は増加する。また長石添加量は増加するほど粘性は低下した。

3.2 乾燥収縮率

108種類の配合素地の乾燥収縮率の測定をした結果陶石/粘土比として $\frac{1}{2}$ の配合素地が、乾燥収縮率が4.0~6.5%の値を示し最も大きかった。次いで、陶石/粘土比が1の配合素地のもは3.0~5.0%，陶石/粘土比として2のものは1.5~4.0%の収縮率を示した。また粘土の含有量が増え、陶石の含有量が減少するほど、収縮率を減少させる傾向が認められた。

次に原料面から検討すると、粘土類については、収縮率を大きくする原料は三郷粘土であり、尾州粘土系素地と比べると1~2%収縮率を増大する。陶石類については、柿平陶石系配合素地の場合、天草陶石や河合陶石系配合素地に比べて、約1%前後収縮率を小さくする傾向が認められた。なお、天草陶石と河合陶石間の原料の差はほとんど認められなかった。次に長石類については、その添加量が増すほど、収縮率は減少する傾向が認められたが、長石5%含有配合素地と15%含有配合素地間の添加効果は、約1%以内の収縮率差であった。

3.3 焼成曲げ強度

万能引張圧縮試験機を使用して焼成曲げ強度を測定した結果を図4に示す。図4より、焼成曲げ強度と陶石/粘土比と考えた場合、天草陶石および河合陶石系素地は、 $2 < 1 < \frac{1}{2}$ の順で、また逆に柿平陶石系素地では逆の傾向を示した。

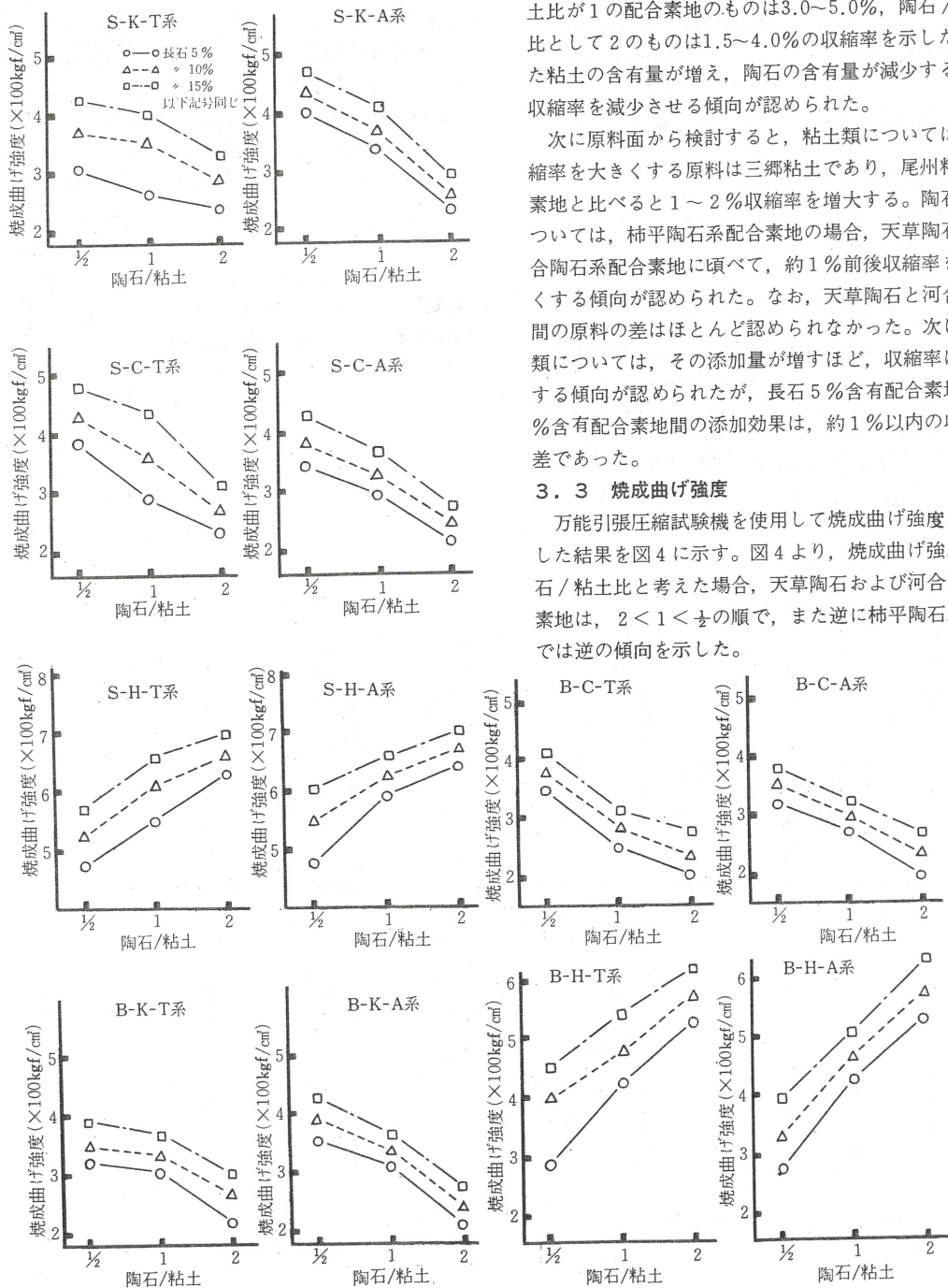


図4 陶石—粘土—長石系素地と焼成曲げ強度

3.4 吸水率

吸水率の測定結果を図5に示す。

(1) 河合陶石系および天草陶石系素地

陶石/粘土比が高いほど吸水率は増大した。陶石/粘土比が $\frac{1}{2}$ の場合の吸水率は約9.5%~13.5%となった。なお、陶石/粘土比が1のときは、10.0~14.5% 陶石/粘土比が2の場合は10.5~15.0%の範囲にあった。

(2) 柿平陶石系素地

陶石の配合比率が高くなるほど吸水率は大巾に低くなる。例えば陶石/粘土比が2の場合の配合素地では、吸水率が2~3%に低下し、大きな焼結効果が認められた。

(3) 粘土類の配合効果

三郷粘土系配合素地と尾州粘土系配合素地を比較した場合、三郷粘土系の方が吸水率が低くなる。その吸水率差は約1~2%であった。

(4) 長石類の配合効果

河合陶石系、天草陶石系および柿平陶石系配合素地のいずれについても、長石の配合量が増加するほど、吸水率が低下する傾向が認められた。なお、長石5%

配合素地と15%配合素地の吸水率差はほぼ1%であった。

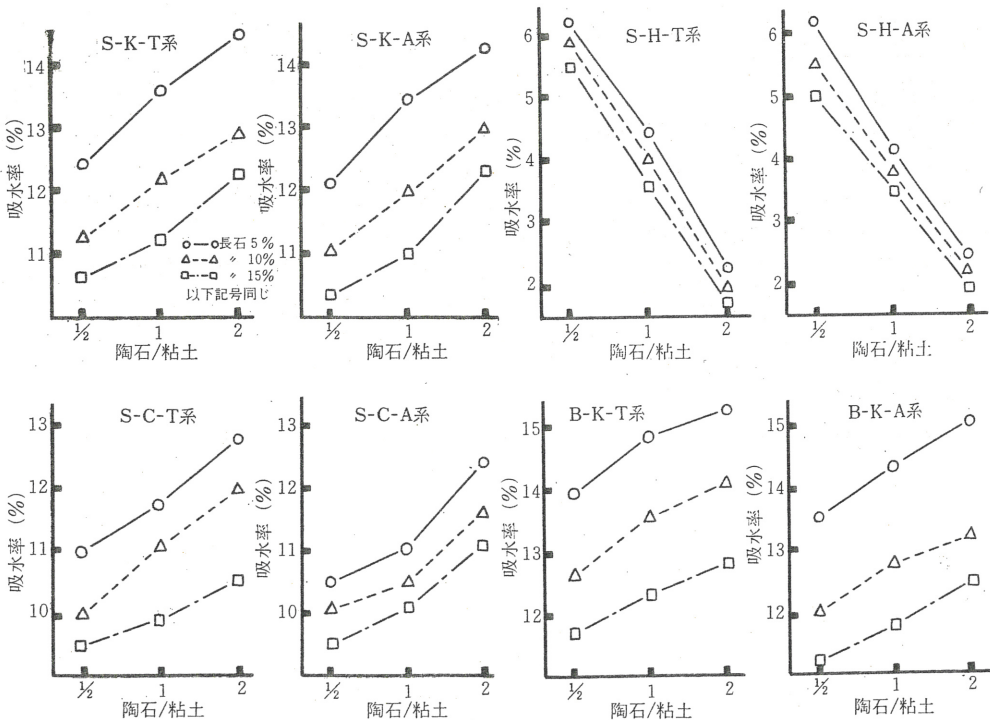
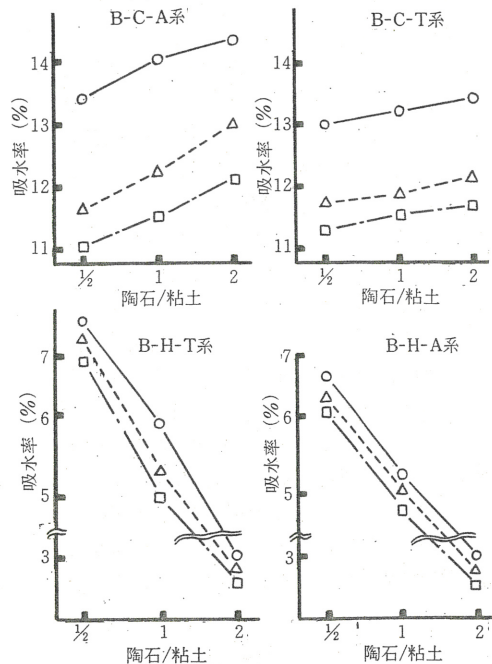


図5 陶石-粘土-長石系素地の吸水率

4. 試作応用試験

4.1 試作応用試験素地の決定

108種類の配合素地による鑄込成形の試験体の窯業的諸物性値より考察して、(1)成形良好なこと (2)脱型後にある程度の生強度があること (3)乾燥強度が大きいこと (4)焼成後の吸水率が小さくて、強度が大きいこと (5)コストが安いことなどを重点的に検討して試作のための応用素地を決定した。具体的に、(1)の成形性については、ある程度の流動性があり、かつ境界面の発生防止の観点から粘性を1500CPS以下の配合素地に限定した。次に(2)の生強度の点からは、柿平陶石系配合素地が最も強度が高く、変形防止に効果大きい。(3)の乾燥曲げ強度については、陶石の配合が増すほど、強度が減少する傾向が認められたため、陶石/粘土の比が1の配合素地に限定した。(4)の焼成性状の面から考えた場合、吸水率、強度に重点を置けば、その配合素地は柿平陶石系となる。なお長石類については、粘性、強度等を考慮して10%に限定した。(5)のコストの面については、県内産原料で入荷しやすく安価な原料に限定すると、三郷粘土、尾州粘土、柿平陶石、吾妻さばを使用した素地になる。以上の理由により、試作応用試験用素地として、表5に示す2種類の配合素地に決定した。

表5 試作応用試験用配合素地

	粘 土	陶 石	長 石
S-H-A系	尾州粘土 45%	柿平陶石 45%	吾妻さば 10%
S-H-A系	三郷粘土 45%	柿平陶石 45%	吾妻さば 10%

4.2 試作試験方法

泥漿の調製方法は表5に示した配合率で原料を乾式混合し、この配合素地に水ガラスを0.3、0.4、および0.5%添加したのち水分を尾州系素地については、29~39%の範囲で加えた。また三郷系素地については32~37%の範囲で調製した。丸棒試験体の場合と同様の成形方法で、泥漿の調製と試験体の成形を行なった。泥漿については着肉量等の測定を行なった。成形試験体については、乾燥性状および焼成性状を測定した。

4.3 泥漿性状の測定

4.3.1 粘性-泥漿水分の関係

泥漿水分、水ガラス添加量を変化させた場合の泥漿粘度-水分の関係を図6および図7に示す。図から明らかなごとく、泥漿水分は泥漿粘度に非常に大きな影響を与える。即ち水分が少ないほど、粘度は大きく増加する。また水ガラスの添加効果は、同一水分で比較した場合、水ガラスの添加量が増加すると粘度は低下するが、水ガラス0.4%と0.5%の添加量については粘度に大きな相違は認められなかった。

また粘土別に比較すると同一泥漿水分においては、

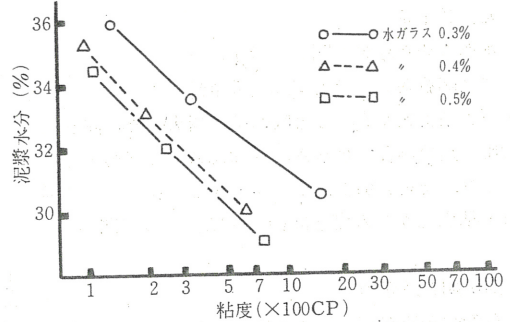


図6 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の粘度と泥漿水分の関係

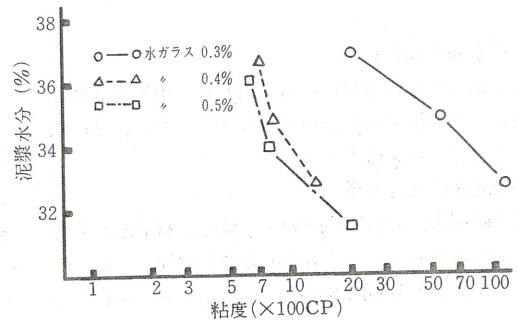


図7 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の粘度と泥漿水分の関係

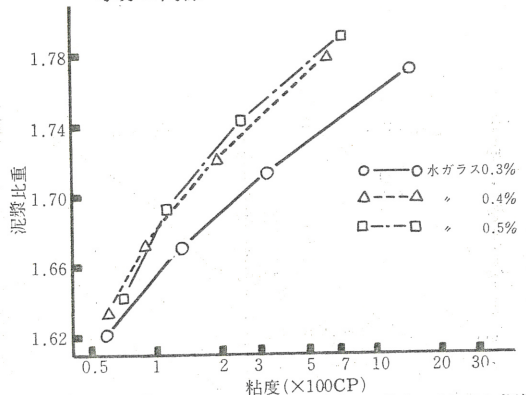


図8 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の粘度と泥漿比重の関係

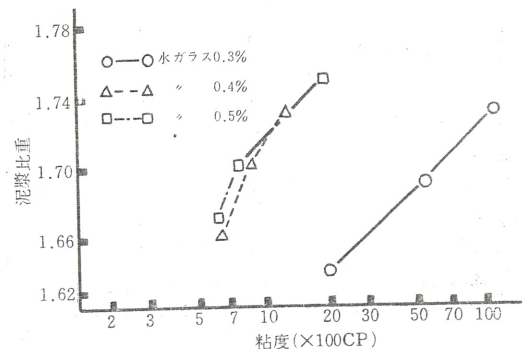


図9 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の粘度と泥漿比重の関係

当然粘土分の多い三郷系素地の方が、尾州系素地より、粘度は大きい。

次に流動性が良く、しかも鑄込良好な限界水分は、三郷粘土系素地で32%前後、尾州粘土系素地で29~30%であった。

4.3.2 粘度-泥漿比重の関係

泥漿水分および水ガラス量を変化させた泥漿の粘度と泥漿比重の関係を図8および図9に示す。図より明らかなごとく、三郷粘土系および尾州粘土系ともに泥漿比重が増加するほど粘度は増加する。特に0.3%の水ガラスを添加した泥漿については、同一泥漿比重の場合、0.4%および0.5%の水ガラスを添加した泥漿に比べて、粘度は大きく、流動性を悪くする傾向が認められた。

4.3.3 水ガラス-泥漿PHの関係

水ガラス量を変化させた場合の、水ガラス-泥漿PH関係を表6に示す。水ガラスの添加量が増すほど、PHは高い値を示す。なお尾州粘土系の泥漿と、三郷粘土系の泥漿を比較した場合、前者の方がややPHは高い値を示している。

表6 水ガラス添加量が泥漿PHに及ぼす影響

水ガラス添加量 (%)	柿平-尾州- 吾妻さば系 PH	柿平-三郷- 吾妻さば系 PH
0.3	8.2	7.2
0.4	8.6	7.8
0.5	9.2	8.8

4.3.4 比重-泥漿水分の関係

泥漿水分と水ガラス量を変化させた場合の比重-泥漿水分の関係を図10および図11に示す。尾州粘土および三郷粘土系の泥漿水分が増加するほど比重は減少する傾向が認められ、水ガラスを0.3、0.4および0.5%添加した泥漿については、いずれもその相関は強く、ほぼ直線的に変化している。なお最も比重の大きい配合素地は尾州粘土系で水分29%の時比重は1.79、三郷粘土系で水分32%の時比重は、1.74であった。

4.3.5 泥漿水分-着肉厚さの関係

泥漿を直径22mmφ、長さ30cmの石膏型に流し込み、30分および60分経過後に排泥し、さらに20分経過後に、試験体を脱型した直後の着肉厚さを測定した結果を図12および図13に示す。その結果、三郷粘土系の配合物では、30分経過後の厚さは約7.5mm、60分経過後では約9.5mmであった。また水分の添加量の相違による影響は、あまり大きな差は認められなかったが、水分が多い程着肉量は減少する傾向を示した。なお水ガラスの添加量の影響は添加量が増すほど着肉量は減少した。

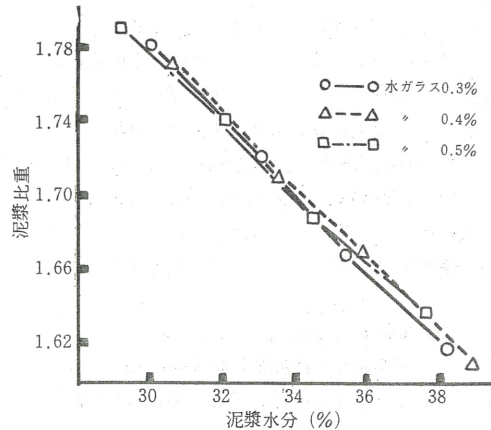


図10 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の泥漿水分と比重の関係

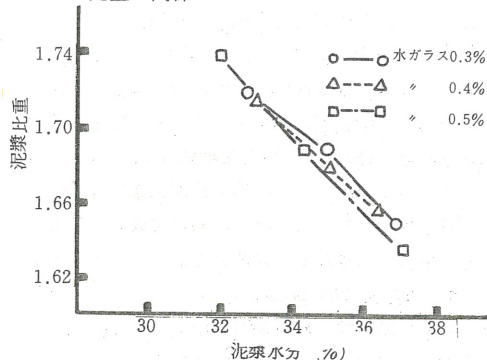


図11 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の泥漿水分と比重の関係

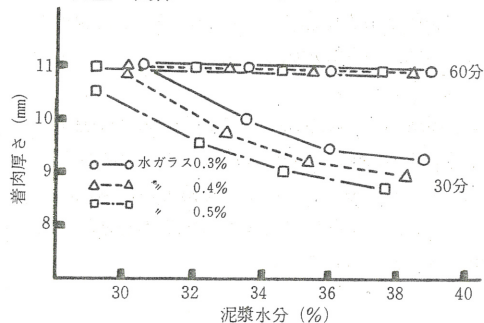


図12 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の泥漿水分と着肉厚さの関係

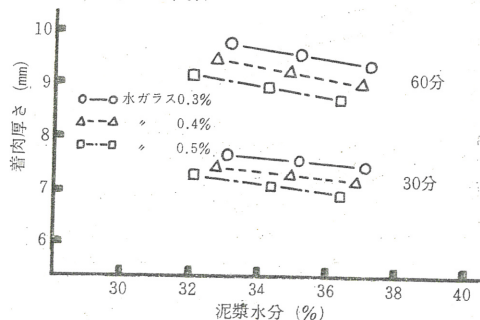


図13 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の泥漿水分と着肉厚さの関係

次に尾州粘土系配合物については、30分経過後で、着肉厚さは9mm~11mm、になった。三郷粘土系配合素地と比較した場合かなり早い着肉速度で厚さが増加する傾向を示した。なお水分と水ガラスの添加効果は、ほぼ三郷粘土系の配合素地と同様な効果を認めた。従って、実物大の棧瓦の厚さを約10mmと仮定した場合、必要な脱型時間は、三郷粘土系の配合素地で55~65分前後、尾州粘土系配合素地で25~35分と推定できる。

4. 4 成形試験体の性状

4. 4. 1 泥漿水分-焼成曲げ強度の関係

泥漿水分と水ガラス量を変化させた場合の焼成曲げ強度に及ぼす影響を示したのが、図14および図15である。図よりあきらかなごとく、尾州粘土系の配合素地については、1150℃焼成素地の場合で500kgf/cm前後、1100℃焼成素地の場合では、300kgf/cm前後であった。なお水分、水ガラス量が増加するほど強度は低下した。次に三郷粘土系の配合素地については、1150℃焼成素地の場合、650kgf/cm前後1100℃焼成素地では、450kgf/cm前後の強度を示した。なお三郷粘土系配合素地と尾州粘土系配合素地を比較した場合、1100℃焼成したときも、1150℃焼成したときも三郷粘土を配合した場合の方が150kgf/cmほど、高い強度を示していた。

4. 4. 2 泥漿水分-吸水率の関係

泥漿水分と水ガラスの量を変化させた場合の吸水率におよぼす影響を示したのが、図16および図17である。図より尾州粘土系の配合素地で1100℃焼成した素地では、11~14%、1150℃焼成した素地では、4~7%の範囲にあった。

次に三郷粘土系の素地については、1100℃に焼成した素地では8~11%、1150℃に焼成した素地では、4%前後の吸水率であった。なお三郷粘土系の素地の吸水率の変化は、ほぼ尾州粘土系の素地の場合と同様な効果があることを示している。

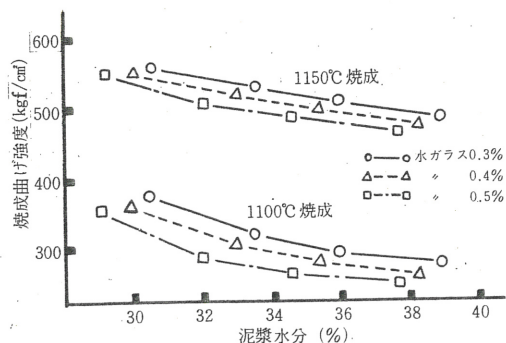


図14 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の泥漿水分と焼成曲げ強度の関係

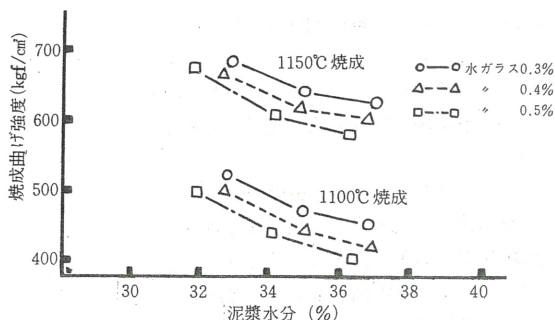


図15 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の泥漿水分と焼成曲げ強度の関係

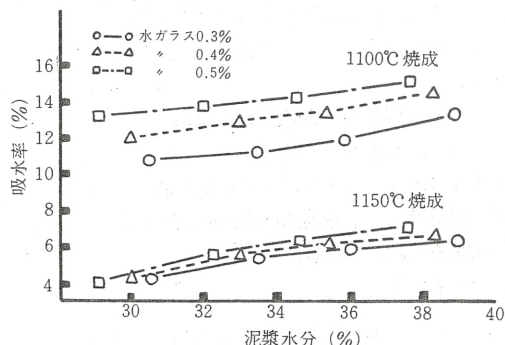


図16 柿平陶石-尾州粘土-吾妻さば系の泥漿水分と吸水率の関係

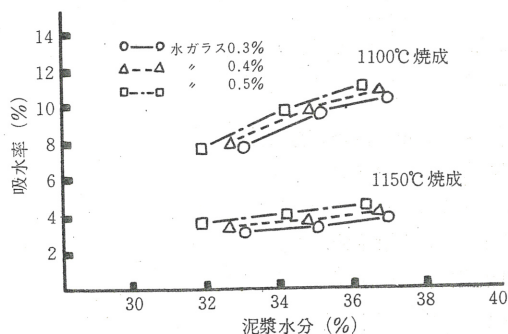


図17 柿平陶石-三郷粘土-吾妻さば系の泥漿水分と吸水率の関係

5. 実物大棧瓦などの試作実験

実物大の棧瓦などを試作する場合、泥漿の粘性はなるべく低く、しかも流動性の大きいこと、さらに作業能率を高めるために、できるだけ着肉速度が早いことが必要となる。なお実物大棧瓦などに使用した素地については、窯業の各種物性および鑄込性状から判断して、表5および表7のように決定した。表5および表7の条件により、実物大の棧瓦などを鑄込成形し、室内にて乾燥したのちガス炉を使用して、1100℃および1150℃にて焼成した。また従来品と比較のため、軽量型と称される釉薬瓦2種および三州地区(碧南市および高浜市周辺地域)99社で生産されている釉薬瓦との

表7 実物大棧瓦用素地の焼込条件

	成形水分(%)	水ガラス添加量(%)	脱型時間(分)
柿平一尾州 一吾妻さば	30~31	0.4	25~35
柿平一三郷 一吾妻さば	32~33	0.4	55~65

品質についての比較も行なった。なお、表8に示すような乾燥性状および焼成後の諸性状についても測定した。

6. 実物大棧瓦などとの比較試験

丸棒試験体と実物大棧瓦との窯業的諸物性値を比較した場合、三郷粘土系および尾州粘土系ともに乾燥収縮率、焼成収縮率、吸水率等の物性値については、ほぼ同じ値を示している。ただし強度に関しては実物大棧瓦の強度低下が丸棒試験体と比較して著しく大きい。その強度低下率は丸棒試験体と比べて約 $\frac{1}{2}$ である。最も強度の小さい配合は尾州粘土系試作瓦の場合である。即ち、焼成温度が1100℃においては焼成曲げ強度は98.3~113.2kgf/cm²であった。

しかしながらこの場合でも三州地区と釉薬瓦の平均値である70.4kgf/cm²と比べて1.4~1.6倍の強度がある。しかも重量が約2kgであるため、軽量でしかも強度が大きいという点では、従来品より優れている。またこの尾州粘土系試作瓦のうち1100℃焼成品に限り吸水率が12%前後あり、凍害が発生した。1150℃焼成した棧瓦の場合、吸水率は三郷粘土系で3~4%、尾州粘土系で4~5%となった。焼成曲げ強度は、三郷粘土系

で210.0~231.8kgf/cm²、尾州粘土系で171.3~188.7kgf/cm²で従来品の平均値70.4kgf/cm²と比べて2倍~3倍の値になっている。また焼成重量についても2kg以下であるため、この研究の目的である軽量でしかも強度が大きいという点で達成されている。なお焼成収縮は、従来品よりも若干大きい、変形に関してはほぼ問題はなく形状は正常であった。

7. 結 言

7.1 軽量化と寸法精度の向上

軽量型焼込成形試作棧瓦の寸法は、粘土がわらJISA5208の56形に準じて決めた。所定の寸法になるように設計した焼込型を使用して試作した棧瓦1枚当りの焼成後の重量は約2kgであった。これを屋根1㎡当りに換算すると約34kgとなり、今後プレハブ住宅向けの軽量瓦として応用できる重量であり、研究の目的を達していると思われる。

寸法精度については、焼込成形した試作棧瓦の乾燥収縮率は2.8~3.9%で、従来品の三州陶器瓦と比べて約1~2%小さい。すなわち乾燥の収縮が少ないため寸法精度が良く、しかも焼込成形のための粒子配向が少なく変形しにくいなど多くの利点があることが判明した。1100℃および1150℃にて焼成した試作瓦の焼成収縮は、従来品の三州陶器瓦と比べて若干収縮が大きい、変形は認められなかった。

7.2 強度の向上

(1) S一系試作瓦(三郷粘土系試作瓦)

軽量型焼込試作棧瓦を1100℃で焼成した後の曲げ荷重を測定した結果、151~173kgfであった。また、曲げ

表8 試作焼込棧瓦と三州陶器瓦の製品比較表

	柿平一尾州一吾妻さば系 軽量試作棧瓦	柿平一三郷一吾妻さば系 軽量試作棧瓦	軽量型黄金色 釉瓦	軽量型青銅色 釉瓦	三州陶器瓦		
					最少	平均	最大
乾燥収縮率(%)	2.8~3.1	3.7~3.9	4.9~5.3	3.7~4.2			
乾燥曲げ荷重(kgf)	19~22	23~27	48~55	65~75			
乾燥曲げ強度(kgf/cm ²)	17.5~20.3	21.5~25.1	32.3~36.8	36.3~41.8			
1100℃焼成品重量(g)	2040~2090	2048~2090	2481~2490	2600~2608	2470	2807	3022
◇ 焼成収縮率(%)	4.4~4.5	6.0~6.4	4.3~4.6	3.7~4.0			
◇ 焼成曲げ荷重(kgf)	100~118	151~173	140~143	151~172	96	152	235
◇ 焼成曲げ強度(kgf/cm ²)	98.3~113.2	131.8~151.3	99.4~101.2	87.4~99.3	48.0	70.4	110.2
◇ 吸水率(%)	11.8~12.3	7.5~8.2	7.1~7.2	6.8~7.4	5.4	7.7	11.3
1150℃焼成重量(g)	1854~2062	1976~2036	2478~2484	2597~2599			
◇ 焼成収縮率(%)	7.0~8.1	8.0~8.7	4.6~4.8	4.2~4.4			
◇ 焼成曲げ荷重(kgf)	175~183	215~243	135~168	175~180			
◇ 焼成曲げ強度(kgf/cm ²)	171.3~188.7	210.0~231.8	100.9~125.9	103.6~106.5			
◇ 吸水率(%)	4.0~5.3	3.1~4.0	4.7~5.0	5.0~5.4			

※諸物性値は3枚の棧瓦の最大値と最小値である。

※三州陶器瓦は99社より無作為に抽出した99枚で焼成温度は平均1080℃である。

強度は131.8~151.3kgf/cm²であった。これは三州陶器瓦の曲げ荷重の平均値152kgfおよび曲げ強度の平均値70.4kgf/cm²と比べて、曲げ荷重はほぼ同じ、曲げ強度は約2倍の強度になる。

次に、1150℃焼成後では曲げ荷重は215~243kgfとなり、三州陶器瓦と比べて約1.5倍の強度を示している。また曲げ強度は210.0~231.8kgf/cm²となった。これは三州陶器瓦の平均値と比べて約3倍の強度に相当することになる。従ってS一系軽量型試作棧瓦の場合、1100℃焼成では従来の三州陶器瓦より若干強度が大きくなる程度であったが、1150℃に焼成した場合の強度は非常に増大することが判明した。

(2) B一系試作瓦 (尾州粘土系試作瓦)

B一系軽量型鑄込試作棧瓦を1100℃に焼成した後の曲げ荷重は100~118kgfであった。これはJISA5208の規格値120kgfおよび三州陶器瓦の平均値152kgfより若干低い値になっている。しかし、曲げ強度は98.3~113.2kgf/cm²であり、三州陶器瓦の平均値70.4kgf/cm²より大きい。1150℃焼成の場合では、曲げ荷重は175~183kgfとなり、JISA5208の規格値は勿論のこと、三州陶器瓦の平均値152kgfをはるかにこえ、著しい増加を示した。従ってB一系軽量型試作棧瓦の場合、1100℃焼成では強度に若干問題は残るが、1150℃焼成品では、三州陶器瓦と比較した場合の強度は相当大きくなることが判明しているため、実用化に当たっては焼成温度を高めることが重要となる。

7. 3 吸水率の低下と耐寒性の向上

(1) S一系試作瓦

S一系軽量型試作棧瓦を1100℃に焼成した場合の吸水率は7.5~8.2%であった。これは三州陶器瓦の平均値7.7%とほぼ同じ値を示している。つぎに、1150℃に焼成した場合の吸水率は、3.1~4.0%で焼成温度が高くなるほど吸水率は低下した。これは三州陶器瓦の平均値の約半分の値に当たることになる。なお、耐寒試験[※]を行なった結果、1100℃、1150℃焼成品とも、はく離、貫入等の異状は認められなかった。

(2) B一系試作瓦

B一系軽量型試作棧瓦を1100℃に焼成した場合の吸

水率は、11.8~12.3%であった。これは三州陶器瓦の平均値7.7%よりかなり高い値である。耐寒試験を実施した結果試作棧瓦の表面および裏面に貫入を生じた。

つぎに、1150℃に焼成した場合の吸水率は4.0~5.3%となり相当小さな値となった。従って耐寒試験の結果、試作棧瓦には、はく離、貫入等の異状は認められなかった。

※耐寒試験

常温水に24時間以上浸した供試品を、あらかじめ30±1℃まで冷却した超低温耐候試験装置の超低温槽に入れ急冷し、-30±1℃の雰囲気中に1時間放置したのち、手早く取り出し、10±5℃の流水中に30分以上浸し、その結果についての異状の有無を検査する。この凍結融解操作を合計10回行なう。

7. 4 成形コストの低下

B一系調合鑄込泥漿を用い、影盛一文字およびカエズマタギ鬼瓦を試作したが、いずれも成形良好であり、1150℃焼成後の吸水率も3.8~3.9%と非常に小さかった。従って、鬼瓦などの複雑な形状の製品に応用した場合、高価な金型を使用せず安価な石膏型ですむため、成形コストの低下と品質の向上が可能である。

7. 5 焼成コストの低下

軽量型鑄込成形試作棧瓦の厚さは約10mm前後であり、三州陶器瓦の平均値15mmと比べて非常に薄い。従って窯結量が多くなり、焼成コストの低下が期待できる。そのため省エネルギー効果が大きい。

7. 6 省資源および再資源化

軽量型鑄込成形試作棧瓦1枚当りに使用した原料は約2kgである。従って、従来品の白地重量約3.2kgと比べて相当少なく、省資源効果が大きい。また、鑄込用原料として使用した粘土は珪砂精製時に排出されるものであり、廃棄物の再資源化の面でも効果が大きい。試作瓦に使用した柿平陶石は県内産未活用原料であり、かつ低価格であるため、未活用資源の有効利用の面で効果も多い。

8. 付 記

本研究は昭和50年度技術開発研究費補助事業の共同研究として実施したものである。