

高強度・大型紋様タイルの試作開発研究

榎原 満*¹ 山崎 達夫*² 大野 昌彦 光松 正人

Strong and Large Size Patterned Tiles

by

Mitsuru SAKAKIBARA, Tatsuo YAMAZAKI

Masahiko ONO and Masato MITSUMATSU

タイルの分野においては、内需の着実な伸長を背景に舗装用、建築用に需要の拡大が見込まれているが、現場での施工の省力化、見た目の高級感等から大型化が要求されている。そこで、45cm角の大型・紋様タイルを開発するため、全国各地から紋様材料を31種類収集し、顆粒粉に添加して、約200種類の調合試験を行った。吸水率、曲げ強さ、紋様効果などを調べた。その結果、紋様材料を添加するほど紋様効果はあがるが、曲げ強さは低下した。紋様材料の調合量は、長石類や火山灰系統のものを20%程度にとどめ、これに紋様効果の高いバーミキュライト、玄武岩、安山岩、スコリア等を少量添加したほうが、容易に素地の高強度化を図れることが分かった。この方針に従い、70トン振動プレスを使用して、5種類の45cm角の紋様タイルを試作した。

1. まえがき

常滑地区の中小企業で製造されている紋様タイルは最大でも30cm角の大きさで、粒度配合に無理があるため素地の強度が小さい。そこで、45cm角程度の大きさで、しかも従来の製品よりも高い強度をもつタイルを開発する。また紋様についても変わった模様を持つものを作ることを目的とした。

を用いて焼成した。また、実操業窯でも還元雰囲気焼成した。添加に際しては、細かい原料についてはそのまま、また、粗い原料についてはジョークラッシャー・ロールクラッシャーで粉砕し1.68mmの篩を全通させたものを用いた。

2. 実験方法

2.1 原料の調査・収集

全国各地の紋様又は高強度化に適した原料について採掘状況、埋蔵量、生産量、価格等を調査した。調査地域・原料名・鉱物組成を表1に示す。

2.2 素地の調合試験

紋様材料単味の焼成性状、鉱物組成、化学組成を調べた。その結果を表1、2に示す。更に、市販の顆粒粉に対し紋様材料を内割りして10、20及び40%（但し斑紋効果の高いものは1、2及び4%）調合し、1150、1200及び1250℃の3段階で電気炉

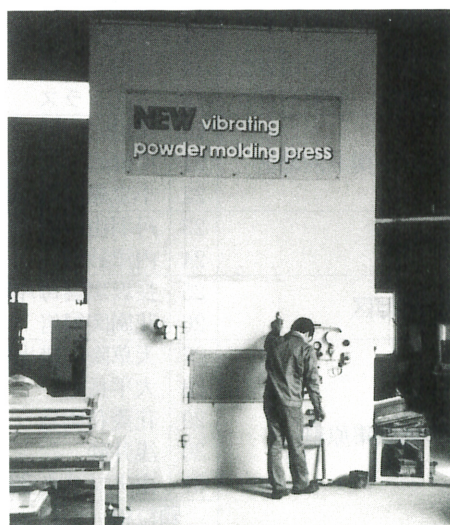


写真1 振動プレス

*1 工業技術センター *2 商工部 工業振興課

2.3 試作試験

素地の調査試験の結果を参考にして、24cm角のタイルを作製し、結果の良かった5種類については45cm角の高強度・大型紋様タイルを作製した。

成形には、アサヒエンジニアリング(株)の振動プレス(70トン、写真1)を使用した。

今回、開発目標としたタイルの使用を、右の表3に示す。寸法、曲げ強さとも50%アップをねらったが、成形方法は従来の高圧プレス成形(300トン)をやめて、振動プレス成形(70トン)を採用した。これは、金型の製作が容易である点と実操

業に入った場合、従来の高圧プレス成形では成形圧力を300kgf/cm²と仮定しても700トンプレスが必要になり、中小企業には過大な設備投資になる点にある。

表3 従来品と試作品との比較

項 目	従 来 品	試 作 品
寸 法	30×30×1.5 cm	45×45×1.5 cm
曲げ強さ	120kgf/cm ²	180kgf/cm ²
重 さ	約3 kg	約 6.7kg
成形方法	高圧プレス成形	振動プレス成形

表1 調査地域・原料名・鉱物組成・生産量

調 査 地 域	No.	原 料 名	鉱 物 組 成	年間生産量
福島県 小野町ほか	1	バーミキュライト	蛭石(ひるいし)	60万トン
	2	くりから長石	長石 石英	30万トン
	3	福光砂(ふくみつ)	非晶質ガラス 石英	1万トン
	4	釣部砂(つるべ)	非晶質ガラス	3万トン
	5	手取陶石(てどり)	石英 長石 セリサイト	0.4万トン
東京都 新島	6	抗火石(こうか)	非晶質ガラス 長石 石英	1万トン
静岡県 中伊豆町ほか	7	田中山スコリア	長石 非晶質ガラス	0.1万トン
	8	冷川玄武岩	長石 非晶質ガラス	8万トン
	9	菅引安山岩	長石 非晶質ガラス	採掘準備中
長野県 南木曽町	10	南木曽長石(なぎそ)	長石 石英 雲母	6万トン
三重県 鳥羽市	11	菅島かんらん岩	かんらん石 蛇紋石	200万トン
	12	白木蛇紋岩	蛇紋石	30万トン
三重県 阿山町	13	阿山長石	長石 石英 雲母	12万トン
滋賀県 信楽町	14	日産長石	長石 石英 雲母	8万トン
	15	畑長石	長石 石英 雲母	12万トン
島根県 温泉津町ほか	16	来待石(きまち)	石英 長石 ゼオライト	0.5万トン
	17	温泉津石(ゆのつ)	石英 長石 セリサイト	0.02 万トン
宮崎県 えびの市ほか	18	宮崎シラス	非晶質ガラス 石英	65万トン
鹿児島県 鹿屋市ほか	19	古江シラス	非晶質ガラス 石英 長石	36万トン
東三河・奥三河地区	20	輝緑岩	クロライト 角閃石	110万トン
	21	片麻岩	石英 雲母	15万トン
	22	小立黒雲母片麻岩	石英 雲母 長石	30万トン
尾張地区	23	丹羽由砂岩	石英 雲母	96万トン
	24	内津砂岩	石英 長石 雲母	36万トン
西三河地区	25	長坂黒雲母片麻岩	石英 雲母 長石	40万トン
	26	花崗閃緑岩	石英 長石 雲母 角閃石	35万トン
その他収集原料	27	天草陶石排出物	石英 セリサイト カオリン	0.12 万トン
	28	大平長石	長石 石英 雲母	
	29	花菱花崗岩	石英 長石 雲母 角閃石	
	30	浅井砂	長石 石英 雲母	
	31	南アフリカ産蛭石	蛭石	
		顆粒粉(かりゅうこ)	石英 長石 カオリン 雲母	

3. 実験結果及び考察

3.1 紋様材料の性状

紋様に大きな影響を与える1200～1250℃の焼成性状、呈色を表2に示す。化学分析値から、鉄分の多い順に並べた。焼成呈色は単に鉄分によって決定されず、福島バーミキュライトはメタリックなこげ茶色、南アフリカ産バーミキュライトは黄色～金色を示したが、これは鉱物の組織によると推定される。田中山スコリア、菅引安山岩、冷川玄武岩等はラスター調の黒色～こげ茶色を示したが、1200℃で溶融するため鉄分による発色が顕著に出た。阿山長石、日産長石、大平長石、抗火石等は鉄分も少なく、1250℃でも溶融が不十分なた



写真2 田中山スコリアの採掘現場

表2 原料の1200～1250℃の焼成性状・呈色と化学分析値

(%)

No.	原料名	焼成性状	焼成呈色	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
1	バーミキュライト	1250℃半溶融	メタリックこげ茶	21.69	1.31	8.93	0.07	6.18
11	菅島かんらん岩	1250℃溶けず	こげ茶～おうど	14.80	2.99	34.14	0.09	0.02
20	輝緑石	1200℃溶融	こげ茶	13.70	10.05	10.18	1.96	0.29
7	田中山スコリア	1200℃溶融	ラスターこげ茶	12.28	9.86	4.41	2.98	0.51
29	花菱花崗岩	1250℃半溶融	灰色	11.93	7.10	3.07	2.68	2.05
26	花崗閃緑岩	1250℃溶融	灰色	9.48	5.34	2.97	2.91	2.92
8	冷川玄武岩	1200℃溶融	ラスター黒	7.81	6.31	1.93	3.49	1.11
31	南アフリカ産蛭石	1250℃焼結	黄色～金色	7.12	1.40	27.94	0.04	5.60
12	白木蛇紋岩	1250℃溶けず	こげ茶	6.88	0.20	41.63	—	0.01
16	来待石(きまち)	1200℃溶融	褐色	6.87	6.17	4.02	2.74	1.71
25	長坂黒雲母片麻岩	1250℃半溶融	灰色	5.77	0.50	2.85	1.20	4.27
9	菅引安山岩	1200℃溶融	ラスター黒～こげ茶	5.63	4.04	1.03	2.91	1.31
22	小立黒雲母片麻岩	1250℃半溶融	灰色	5.33	2.07	2.66	3.08	3.84
21	片麻岩	1250℃溶けず	灰色	3.88	1.06	2.03	1.79	3.55
30	浅井砂	1250℃溶融	灰色	3.85	1.45	0.57	3.14	3.88
23	丹羽由砂岩	1250℃溶けず	褐色	3.32	1.48	2.17	0.27	1.31
24	内津砂岩	1250℃溶融	灰色	3.07	1.56	1.88	2.63	3.50
17	温泉津石(ゆのつ)	1200℃溶融	赤茶色	2.50	0.33	0.82	2.81	3.22
19	古江シラス	1250℃半溶融	灰色	2.40	2.28	0.35	3.52	2.98
18	宮崎シラス	1250℃溶融	灰色	1.94	1.33	0.21	3.68	3.29
3	福光砂(ふくみつ)	1250℃半溶融	灰色	1.92	0.81	0.30	3.08	4.56
10	南木曽長石(なぎそ)	1250℃溶けず	白と黒のまだら	1.65	1.05	0.28	2.87	4.19
14	日産長石	1250℃溶融	白～灰色 一部茶色	1.42	0.13	0.05	6.56	4.19
2	くりから長石	1250℃溶融	白と赤～茶のまだら	1.33	0.80	0.17	3.40	4.72
27	天草陶石排出物	1250℃溶けず	灰色	1.17	0.18	0.09	0.73	3.96
6	抗火石(こうか)	1250℃半溶融	白っぽい灰色	1.01	0.93	0.17	4.70	3.08
4	釣部砂(つるべ)	1250℃溶融	灰色	0.97	0.86	0.16	3.07	4.97
5	手取陶石(てどり)	1250℃溶けず	白とピンクのまだら	0.96	—	0.40	0.25	8.08
	顆粒粉(かりゅうこ)	1250℃焼結		0.62	0.28	0.15	2.10	3.44
15	畑長石	1250℃溶融	白～淡黄色	0.49	0.35	0.07	3.70	6.02
28	大平長石	1250℃溶融	白～灰色	0.23	1.34	0.04	3.99	6.73
13	阿山長石	1250℃溶融	白	0.15	0.53	0.05	3.34	4.71

め白色～灰白色を示した。くりから長石、手取陶石の鉄分は少ないが、偏在するので白色とピンク～赤色の混ざったまだらな呈色となった。

3.2 素地の調合試験

紋様材料を10%→20%→40%と増やすにつれて全ての紋様材料で曲げ強さは低下した。それを示したのが図1で、3グループに大別できた。

紋様材料を40%添加しても、曲げ強さが目標の180kgf/cm²を達成したものは、①のグループで、No.5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 27と12種類あった。従来品の120kgf/cm²と同じものは、②のグループで、No.2, 3, 4, 10, 15, 21, 23, 25, 28, 29, 30と11種類あった。120kgf/cm²以下のものは、③のグループで、No.19, 24, 26の3種類と少なかった。曲げ強さの低下については、一般的に次のことが考えられる。

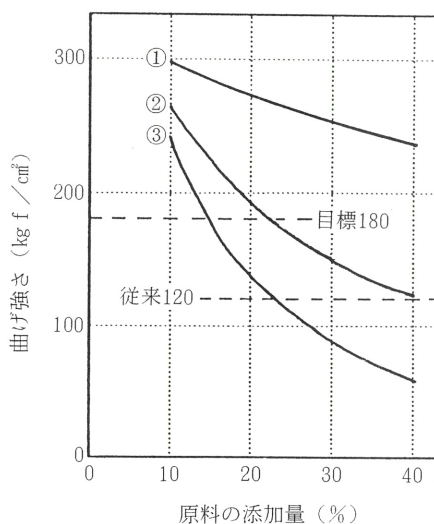


図1 調合素地の曲げ強さ

表4 24cm角タイルの調合割合と物性値

記号	調 合 割 合 (重量%)	1250℃ 雰囲気	収縮率 (%)	吸水率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)	すべり 抵 抗	備 考
A	くりから長石 20	酸 化	6.3	0.7	194	42	
	顆 粒 粉 80	還 元	7.5	0.5	227	36	
B	福 光 砂 20	酸 化	8.8	0.1	196	57	
	顆 粒 粉 80	還 元	8.8	0.1	240	44	
C	釣 部 砂 20	酸 化	8.2	0.2	190	48	45cm角作製
	顆 粒 粉 80	還 元	8.5	0.1	223	44	
D	釣 部 砂 20	酸 化	7.8	0.2	192	44	45cm角作製
	ブルー顔料顆粒 10 顆 粒 粉 70	還 元	8.4	0.1	170	41	
E	釣 部 砂 20	酸 化	7.8	2.2	177	55	
	手 取 陶 石 20	還 元	8.1	1.1	182	52	
F	手 取 陶 石 20	酸 化	8.2	1.6	296	58	
	顆 粒 粉 80	還 元	9.1	0.7	304	65	
G	抗 火 石 20	酸 化	8.4	0.0	249	46	45cm角作製
	顆 粒 粉 80	還 元	9.0	0.0	247	36	
H	南 木 曾 長 石 20	酸 化	7.3	1.2	176	51	
	顆 粒 粉 80	還 元	7.9	0.9	196	48	
I	菅島かんらん岩 10	酸 化	5.5	0.2	191	40	45cm角作製
	畑 長 石 30	還 元	5.1	0.2	130	40	
J	阿 山 長 石 40	酸 化	5.8	0.8	195	45	
	顆 粒 粉 60	還 元	6.8	0.7	190	42	
K	日 産 長 石 40	酸 化	5.3	0.3	235	33	
	顆 粒 粉 60	還 元	6.8	0.1	215	28	
L	浅 井 砂 20	酸 化	6.8	1.0	190	49	45cm角作製
	顆 粒 粉 80	還 元	6.8	0.1	190	50	
	市販タイル素地	還 元	6.4	0.4	120	37	30cm角まで

1：昇温中に、ベースの顆粒粉にクラックが発生する。800℃までに、紋様材料が顆粒粉より大きく膨張したり、950～1250℃で顆粒粉が焼結のため収縮するのに、紋様材料は収縮しないか収縮が少ない場合。

2：冷却中に、ベースの顆粒粉に発生したクラックが成長する。紋様材料が完全に溶けてクラックを埋めれば良いが、不完全だと焼結した顆粒粉の方が、熱膨張が大きくなり、冷却中にクラックが更に助長される。

この考えに、当てはまるのはNo.5, 6, 9, 16, 17, 18, 19, 20, 27である。その他については、例えばNo.23とNo.24のように、同じ尾張地区に産する砂岩であるが、No.24の内津砂岩には長石が含まれ、アルカリがNo.23より多く、半熔融するにもかかわらず曲げ強さの弱い③のグループに属するといった矛盾した例もあるので、さらに深い検討（単味での熱膨張率や焼成収縮率の比較）が必要と思われる。

紋様の生成試験については、福島バーミキュライト、南アフリカ産バーミキュライト、冷川玄武岩、田中山スコリア及び菅引安山岩が紋様効果が大きく、1, 2及び4%程度の添加で十分な紋様が現れた。しかし、これら単味だけでは紋様の面白さにやや欠けるので、他の長石類や火山灰系統のものと組み合わせて使用した。その他のものは10%調合では、紋様効果が不足するものが多かった。20と40%調合のものは紋様効果は十分であった。焼成雰囲気の影響をみると、酸化焼成よりも還元焼成の方が面白い紋様が得られた。

以上のように素地の調合試験及び紋様の生成試験を行った結果、市販のタイルのように長石、石英、雲母等を大量に調合して擬石調等の紋様を出す方法では、原料を微粉碎しても、素地の高強度化はかなり困難である。むしろ、紋様材料の調合量は長石類や火山灰系統のものを20%程度にし、これに紋様効果の高いバーミキュライト、玄武岩、安山岩、スコリア等を少量添加した方が容易に素地の高強度化が図れることが分かった。この考えに基づき、24cm角のタイルを振動プレス成形し、1250℃で焼成した。それらの調合と物性値を表4に示す。この表中のすべり抵抗は、写真3の測定機を使用した。これは、イギリス製の自動車用道

路のすべり抵抗を測るもので、アスファルト道路とタイヤの組み合わせでは、45以上となっている。しかし、市販の紋様タイルで37と小さい値であるが、実用上問題はないので、歩道用床タイルとしては40以上あれば良いと思われる。Kを除けば、全てクリアーした。Kは、日産長石を40%含み、ソーダ分が多いため耐火度が低くなり、表面が溶けて滑らかになったからである。

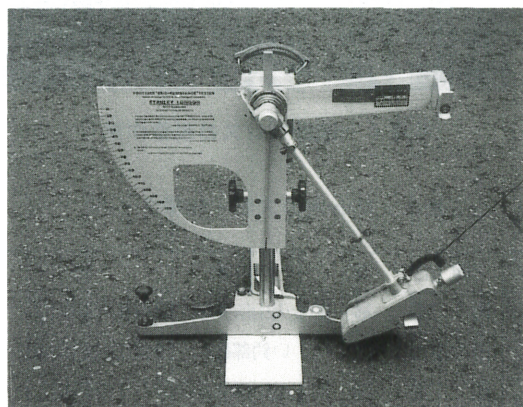


写真3 すべり抵抗測定機

3.3 試作試験

表4の24cm角のタイルは、水分量6%の顆粒粉を用い、75kgf/cm²の成形圧力で振動プレス成形したが、成形寸法50cm角のタイルでは成形圧力が28kgf/cm²と小さくなるので水分量を8%に増やして成形した(写真4)。乾燥曲げ強さは、9.2kgf/cm²と高圧プレス成形(300kgf/cm²)の6kgf/cm²より大きくなったが、脱型しにくいので実操業では、水分量6%に下げ成形圧力を100kgf/cm²に上げる必要がある。

24cm角の場合は焼成で切れは出なかったが、45cm角になると、一部の調合のものに切れが生じることがあった。特に、南木曽長石、大平長石、シラス、抗火石等を入れた場合に切れが出やすかった。一方、阿山長石、日産長石や釣部砂では切れにくいので、単に長石や火山灰系という大まかな分類では、切れの説明はできない。45cm角(成形寸法は50cm)で作製したタイルの調合を表5に示す。5種類のタイルを試作するに当たっては、素地の曲げ強さだけでなく、紋様の面白さ、紋様材料の種類等も考慮に入れて行った。

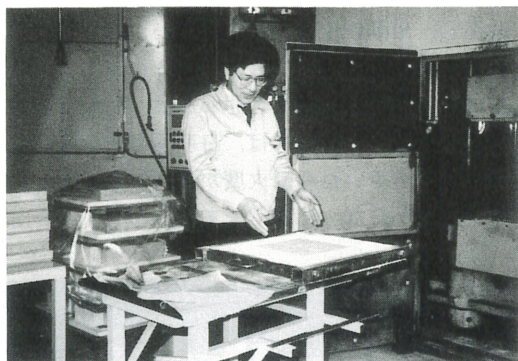


写真4 振動プレスの脱型作業



写真5 焼成後の45cm角タイル

表5 45cm角の大形・紋様タイル

	調 合 (%)	備 考
C	鈞 部 砂 20	火山灰系統で焼成時に切れにくい鈞部砂に、少量で紋様効果の高い田中山スコリアを添加した
	田中山スコリア 1	
	顆 粒 粉 80	
D	鈞 部 砂 20	色の出にくいブルーを出すためブルー顔料顆粒を抗火石、蛙目粘土と混ぜ顆粒状にした
	ブルー顔料顆粒 10	
	顆 粒 粉 70	
G	抗 火 石 20	火山灰系統の代表でもあり、曲げ強さも大きい抗火石を用いた
	顆 粒 粉 80	
I	菅島かんらん岩 10	白っぽい長石の代表としての畑長石に紋様材料として菅島かんらん岩を添加した
	畑 長 石 30	
	顆 粒 粉 60	
L	浅 井 砂 20	長石と雲母の多い原料の代表的な例として作製した
	顆 粒 粉 80	

4. まとめ

全国各地から、紋様材料を31種類収集し、顆粒粉に添加して、約200種類の調合試験を行い、焼成性状、曲げ強さ、紋様効果等を調べた。

- (1) 紋様材料を添加するほど紋様効果はあがるが曲げ強さは、低下した。紋様材料を40%添加しても曲げ強さが、目標の180kgf/cm²を達成したものが、12種類あった。

- (2) 紋様材料の調合量は、長石類や火山灰系統のものを20%程度にとどめ、これに紋様効果の高いバーミキュライト、玄武岩、安山岩、スコリア等を少量添加したほうが、容易に素地の高強度化が図れることが分かった。

謝 辞

本研究の調合・試作試験にあたって、御協力をいただいた(株)田中製陶所の渡辺勉氏と日本モザイク(株)の横田充広氏に深く感謝いたします。

また、大型タイルを成形するにあたり、振動プレスを提供して協力いただいたアサヒエンジニアリング(株)の朝見敏彦氏に心より感謝いたします。