

# 釉薬瓦の耐貫入性

伊藤 征幸 光松 正人 山本 紀一

Crazing resistance of The Glazed Roofing Tile

by

Tatsuyuki ITO, Masato MITSUMATSU and Kiichi YAMAMOTO

釉薬瓦は耐久性のある屋根材であるが、近年、施工後の瓦表面に経年貫入の発生が新たな課題となっている。そこで、無鉛いぶし銀色釉を対象に釉薬組成や焼成条件が耐貫入性に及ぼす影響について検討した。オートクレーブ試験の結果、RO成分に対し、 $\text{SiO}_2$ や $\text{Al}_2\text{O}_3$ 量が多くなるに従い、釉薬と素地との適合性が良くなり、細かい網目模様の貫入は減少した。また、焼成温度が高いほど網目模様は粗くなり貫入の発生率は低減した。素地の水和膨張率は焼成温度1120℃で0.0118%、1180℃で0.0087%であり、焼成温度を高くすることで貫入発生率を低減できることが分った。焼成スケジュールの異なる実操業炉の釉薬瓦の吸水挙動から、24時間吸水率が6%以上、煮沸吸水率が9%以上の瓦や、1週間程度の吸水履歴を受けた時点の吸水率が約7%以上の瓦は貫入の早期発生の確率が高い。

## 1. まえがき

粘土瓦は歴史も古く信頼性のある屋根材であると評価されている。しかし、近年になって、施工後の釉薬瓦表面に貫入が発生することが新たな課題となっている。

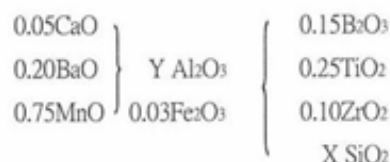
そこで、瓦素地の水和膨張に起因する釉薬の貫入発生について、釉薬組成や焼成条件により、釉薬の貫入発生状況や素地の水和膨張率等を把握し、耐貫入性に及ぼす影響を検討した。合わせて、焼成条件の異なる実操業炉で生産されているいぶし銀色釉薬瓦の吸水挙動と貫入の発生状況を調べることで、貫入防止対策の基礎資料とした。

## 2 実験方法

### 2.1 いぶし銀色釉の調製

現在、生産されているいぶし銀色釉薬など無彩色系釉薬瓦は、施工後の経年変化により釉表面に水和膨張に起因する貫入が発生する場合がある。そこで、粘土瓦素地といぶし銀色釉の適合性を検討するため既報<sup>1)</sup>の無鉛いぶし銀色釉により、三河地区で使用されている表1に示す釉薬原料を使用して $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比を1/9~1/5.5の範囲で変化させて次式により検討した。また、調合割合を表2に

示す。



$$\text{X}=0.90\sim 1.10\text{モル} \quad \text{Y}=0.10\sim 0.20\text{モル}$$

スリップ調製は、乾粉換算で1.5kgとし、加水量600mlとした。摩砕はポットミルで6時間とした。施釉量は、J形棧瓦換算で75~80g/枚になるように加水しスリップ濃度を調整した。

### 2.2 試験体の焼成

瓦用配合粘土を真空押出成形機により $750\times 180\times$

表1 使用原料

原料名	示性式又は化学式
低アルカリフリット	$\text{CaO} \cdot 0.71\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 0.80\text{SiO}_2$
コレマナイト	$\text{CaO} \cdot 0.98 \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 1.97 \text{H}_2\text{O}$
マンガン鉱石	$\text{MnO} \cdot 0.03\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 0.10\text{SiO}_2 \cdot 0.52\text{H}_2\text{O}$
炭酸バリウム	$\text{BaCO}_3$
酸化鉄(Ⅲ)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
ジルコン	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$
ルチル	$\text{TiO}_2$
珪石	$\text{SiO}_2$
カオリン	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.98\text{SiO}_2 \cdot 2.20\text{H}_2\text{O}$
ベントナイト	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6.91\text{SiO}_2 \cdot 3.40\text{H}_2\text{O}$

表2 いぶし銀色釉調合割合

シリカ (モル)	アルミナ (モル)	低アルカリ フリット	コレマナイト	炭酸バリウム	マンガン	鉛	酸化鉄(Ⅲ)	ジルコン	ルチル	カオリン	珪石	ベントナイト (%)
0.90	0.10	11.7	4.02	5.23	27.8	2.51	9.54	10.8	12.2	13.8	2.40	
	0.15	11.3	3.99	5.09	26.6	2.43	9.21	10.1	18.3	10.7	2.28	
	0.20	10.8	3.76	4.91	26.0	2.33	8.90	9.72	23.8	6.87	2.19	
0.95	0.10	11.4	3.88	5.05	27.4	2.47	9.40	10.2	12.0	15.9	2.30	
	0.15	11.0	3.74	4.89	26.3	2.39	9.08	9.92	18.0	12.4	2.28	
	0.20	10.6	3.62	4.73	25.6	2.30	8.78	9.59	23.5	9.10	2.18	
1.00	0.10	11.1	3.82	4.98	27.0	2.43	9.26	10.2	11.8	17.3	2.28	
	0.15	10.7	3.69	4.82	26.0	2.35	8.95	9.78	17.7	13.8	2.20	
	0.20	10.4	3.57	4.66	25.2	2.27	8.66	9.46	23.2	10.5	2.13	
1.05	0.10	10.9	3.76	4.91	26.6	2.39	9.12	9.97	11.6	18.5	2.24	
	0.15	10.6	3.64	4.75	25.7	2.31	8.82	9.64	17.4	15.0	2.17	
	0.20	10.2	3.52	4.59	24.8	2.24	8.54	9.33	22.9	11.7	2.10	
1.10	0.10	10.5	3.62	4.73	25.6	2.30	8.78	9.61	11.1	21.6	2.16	
	0.15	10.1	3.49	4.55	24.6	2.22	8.45	9.24	16.7	18.6	2.07	
	0.20	9.91	3.38	4.41	23.8	2.15	8.19	8.95	21.9	15.3	2.01	

H15mmに成形し、乾燥した試験体に2.1項で調製した釉薬スリップを片面施釉した。焼成は電気炉により昇温速度120℃/hとし、所定の温度で30分保持後、放冷した。焼成温度は1120、1140及び1160℃の3条件とした。この焼成条件のゼーゲルコーン溶倒は、それぞれSK2a、SK3a及びSK4aであった。これとは別に素地の水和膨張を測定するために無釉試験体を焼成したが上記3条件と1180℃焼成(SK5a溶倒)も行った。

### 2.3 耐貫入性及び素地の吸水性試験

素地と釉薬の適合性を検討する目的で、JIS A 5209「陶磁器質タイル」に規定されている耐貫入性試験を行った。この時の試験圧力は1MPaである。また、素地の水和膨張率を測定する目的で、ISO 10545-10に準拠し、図1に示す方法により行った。なお、水和膨張の測定を行う試験体については、試験体の長さ方向の平行度を±2μm以内になるように研磨した。

また、実操業炉の焼成条件の異なるいぶし銀色釉薬瓦をサンプリングし、24時間自然吸水率、煮沸吸水率及び1週間後の吸水率を測定した。サンプリング数は、J形瓦7種類、F形瓦4種類とした。

## 3 実験結果

### 3.1 釉薬の耐貫入性

圧力1MPaでオートクレーブ試験後の釉表面を目視観察した結果を図2、3及び4に、貫入発生状況の一例を写真1、2に示す。

貫入の発生状況は、いずれの焼成条件でも、RO成分に対してSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量が多くなるに従い貫入の網目は細かい模様から粗い模様になった。また、焼成温度が高くな

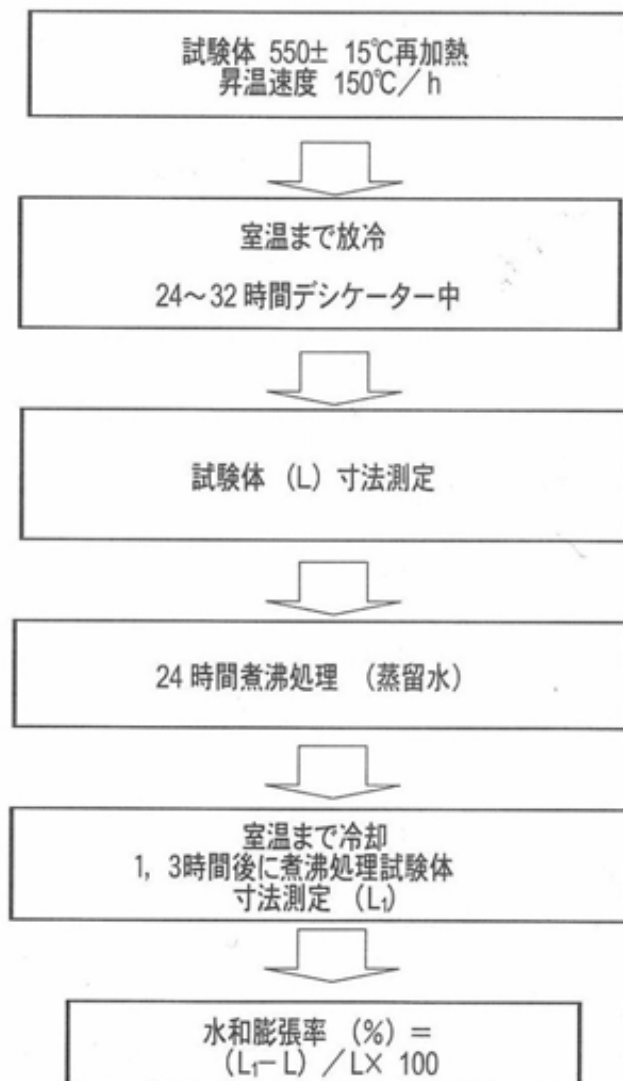


図1 水和膨張率測定フローチャート

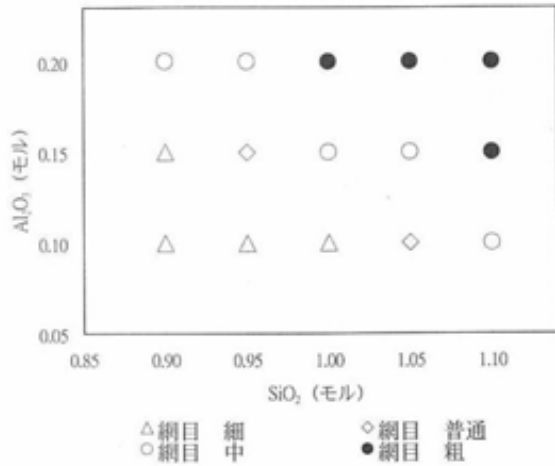


図2 オートクレーブ処理後の貫入発生状況 (1120°C)

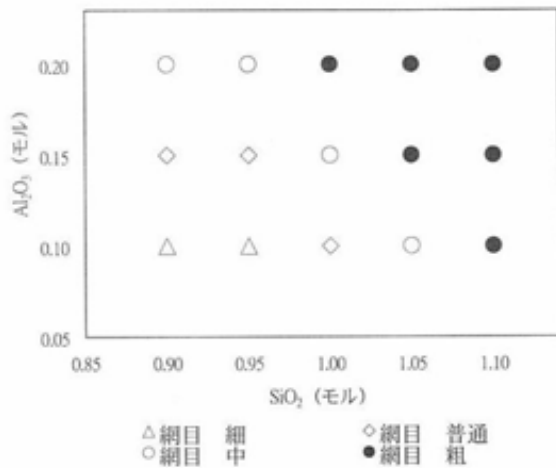


図3 オートクレーブ処理後の貫入発生状況 (1140°C)

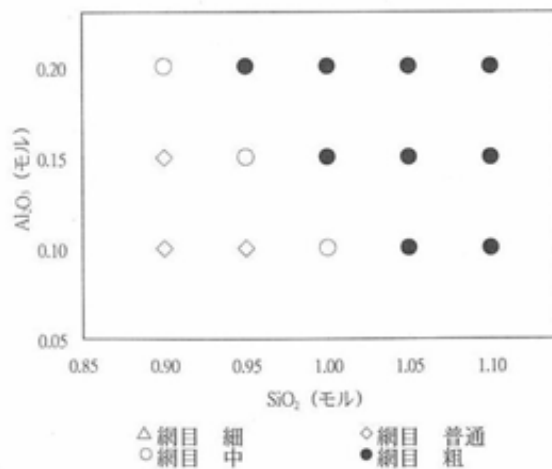


図4 オートクレーブ処理後の貫入発生状況 (1160°C)

表3 焼成温度別の水和膨張率と吸水率 (%)

	1120°C(2a)	1140°C(3a)	1160°C(4a)	1180°C(5a)
Min	0.0109	0.0089	0.0079	0.0074
Max	0.0145	0.0121	0.0117	0.0099
平均	0.0118	0.0104	0.0094	0.0087
煮沸吸水率	8.13	6.96	5.28	4.39
24時間吸水率	6.31	5.94	2.84	2.51

るに従い網目模様は粗くなり、貫入量は減少する傾向となった。

このことから、RO成分に対してSiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量を多くし、焼成温度を高くすることにより貫入の発生率を低減できることが分った。

### 3. 2 素地の水和膨張性

素地の水和膨張性を検討した結果を表3に示す。素地の焼成温度別の水和膨張率は、焼成温度1120°Cでは0.0118%であるが、1180°Cでは0.0087%であり、焼成温度が高くなるに従い水和膨張率は減少している。また、24時間吸水率は6.31%から2.51%、煮沸吸水率は8.13%から4.39%まで減少している。このことから、3.1項で述べた貫入発生状況と一致し、焼成温度を高く設定することにより、素地の水和膨張率、吸水率などを小さくし、貫入の発生率を低減できることが分った。

### 3. 3 釉薬瓦の吸水率と貫入発生状況

実操業炉における焼成条件の異なるいぶし銀色釉薬瓦の吸水率と貫入発生状況を表4に示す。いぶし銀色釉薬瓦の吸水率は、24時間吸水率は5.04~6.99%、煮沸吸水率は7.64~10.04%、1週間後の吸水率は5.73~7.54%の範囲であった。

J形瓦の吸水率と貫入発生状況の関係では、J形瓦A、A1及びA2は同じトンネル窯で焼成された製品である。J形瓦A1及びA2は同一ロットの製品であり、J形瓦A1は施工後5~6ヶ月で水和膨張による貫入が発生した瓦である。また、J形瓦A2は屋外在庫品である。J形瓦Aは、24時間吸水率5.75%、1週間吸水率6.06%、煮沸吸水率8.69%であり、試験終了後に貫入の発生は認められなかった。J形瓦A1は、24時間吸水率6.99%、1週間吸水率7.54%、煮沸吸水率10.04%であった。J形瓦A2は24時間吸水率6.40%、1週間後の吸水率6.83%であり、試験終了後に自然乾燥した時点で貫入が発生していた。

貫入の発生していたJ形瓦BとB1は同一メーカーの製品であるが、製造ラインが異なっている製品である。J形瓦B1は24時間吸水率6.42%であるが、1週間後の吸水率は7.44%で約1%も増加している。

また、貫入の発生が認められなかったJ形瓦C及びJ形瓦Dは、24時間吸水率5.97%、1週間後の吸水率6.31%と24時

表4 釉薬瓦の吸水率と貫入発生状況

釉薬瓦種類	24時間吸水率(%)	1週間吸水率(%)	煮沸吸水率(%)	貫入発生	焼成時間・炉長
J形瓦A	5.75	6.06	8.69	○	長・長
J形瓦A1	6.99	7.54	10.04	×*	長・長
J形瓦A2	6.40	6.83	—	×	長・長
J形瓦B	6.29	—	9.77	×	短・短
J形瓦B1	6.42	7.44	—	×	短・長
J形瓦C	5.97	6.31	—	○	長・長
J形瓦D	5.86	—	8.88	○	短・長
F形瓦A	5.47	—	9.12	×	短・長
F形瓦B	5.04	—	7.64	○	長・短
F形瓦C	5.54	—	8.79	○	長・長
F形瓦D	5.44	5.73	7.98	○	長・長

※ ×：貫入発生有 ○：貫入発生無 ※ ×\*：施工5~6月後貫入発生瓦

焼成時間：長（13.5時間以上）短（13.5時間未満）炉長：長（85m以上）短（85m未満）

間吸水率5.86%、煮沸吸水率8.88%であった。

F形瓦は、貫入の発生が認められたF形瓦Aの24時間吸水率5.47%、煮沸吸水率9.12%である。それに対して、貫入の発生が認められなかった3種類の瓦は、24時間吸水率は同程度であったが、煮沸吸水率は9.0%以下である。F形瓦Dの1週間後の吸水率5.73%である。

J形瓦とF形瓦の吸水率を比較した場合、F形瓦の方が吸水率は低くなっている。これは焼成方式が10~12段の多段焼成方式のため、焼成帯で台車の上下段の温度分布を均一化させていることと、炉長に対して焼成時間を比較的長く設定していることに起因している。

また、焼成条件の異なる実操業炉で生産されている釉薬瓦の吸水率を3.2項のテストピースによる吸水率に置き換えて検討すると24時間吸水率では1120~1140℃焼成の範囲であるが、煮沸吸水率は1120℃焼成より高い値となっている。このことは、素地の成形密度が同じであると仮定すれば、焼成過程で受ける熱履歴の違いによるものと考えられる。これは、本研究における昇温速度120℃/hは実操業炉と比較して1.2~1.4倍焼成時間が長いことによるものである。

以上のことから、24時間吸水率が6%以上、煮沸吸水率が9%以上、または、1週間程度の吸水履歴を受けた時点の吸水率が7%以上の瓦では素地の水和膨張による貫入が発生する確率が高いと考えられる。

これらから推定できることは、より焼成温度を高く設定するか、焼成時間を炉長に合わせて、より適性に設定するなどの見直しを行うことで、素地の水和膨張率を低くすることが可能となり、施工後の貫入発生率を減少させること

ができると考えられる。

#### 4 まとめ

1. 無鉛いぶし銀色系釉薬のSiO<sub>2</sub>を0.90~1.10モル、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を0.10~0.20モルの範囲で釉組成と貫入の関係を検討した結果、RO成分に対しAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>量を多くすることや、焼成温度を高くすることで、貫入の発生率は低く、網目模様の貫入は少なくなった。
2. 素地の水和膨張率は、焼成温度1120℃で0.0118%、1180℃で0.0087%であった。このことから、焼成温度を高くすることなどにより、施工後の貫入発生率を低減できることが分かった。
3. 実操業炉の釉薬瓦の吸水挙動等から、24時間吸水率が6%以上、煮沸吸水率が9%以上の瓦や、1週間程度の吸水履歴を受けた時点の吸水率が約7%以上の瓦は貫入が発生する確率が高い。

#### 謝辞

釉薬瓦及び釉薬原料を提供下さいました愛知県陶器瓦工業組合並びに三州釉薬原料協会の組合員・協会各社に深く感謝します。

#### 文献

- 1) 伊藤征幸、深谷英世、大野昌彦、愛知県常滑窯業技術センター報告、25,25~28 (1998)。

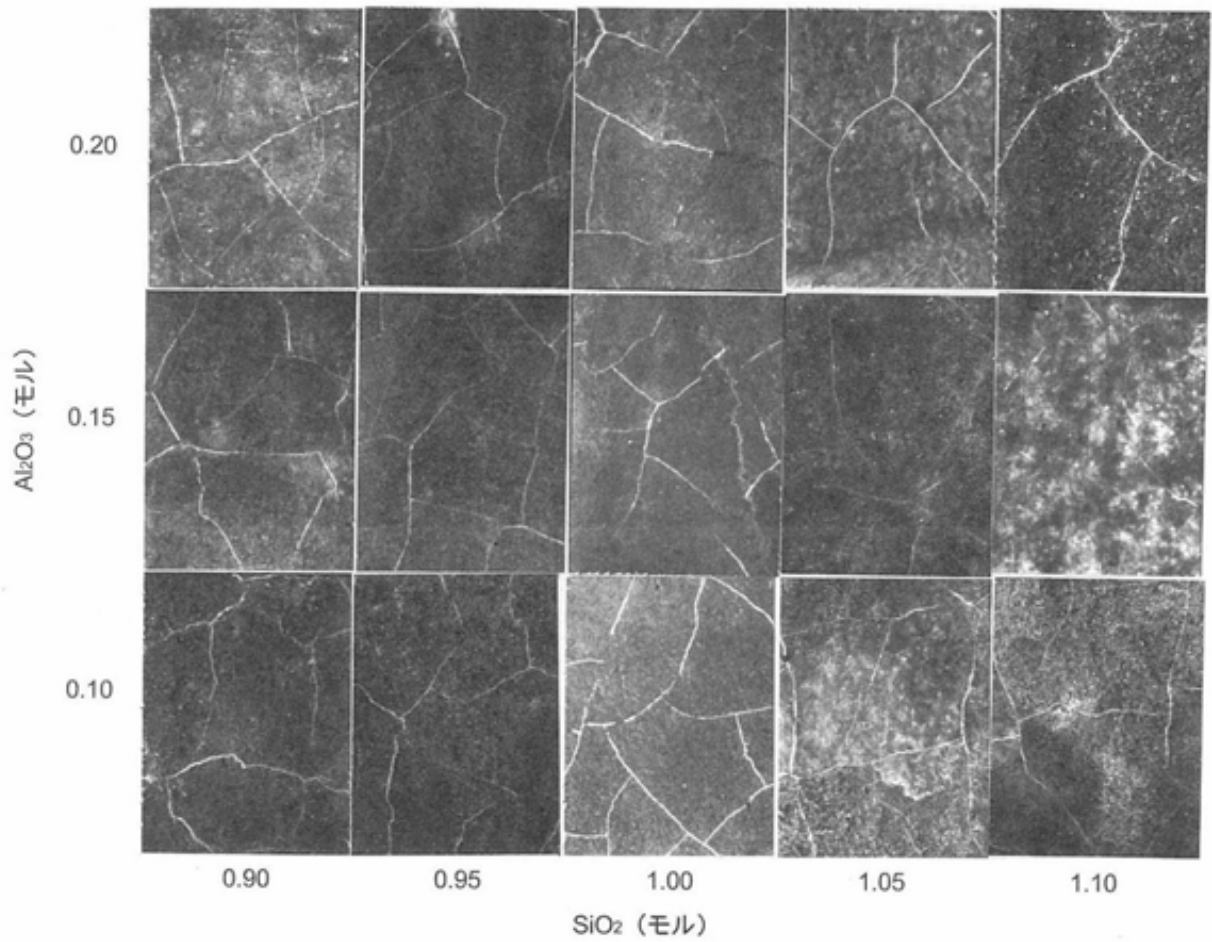
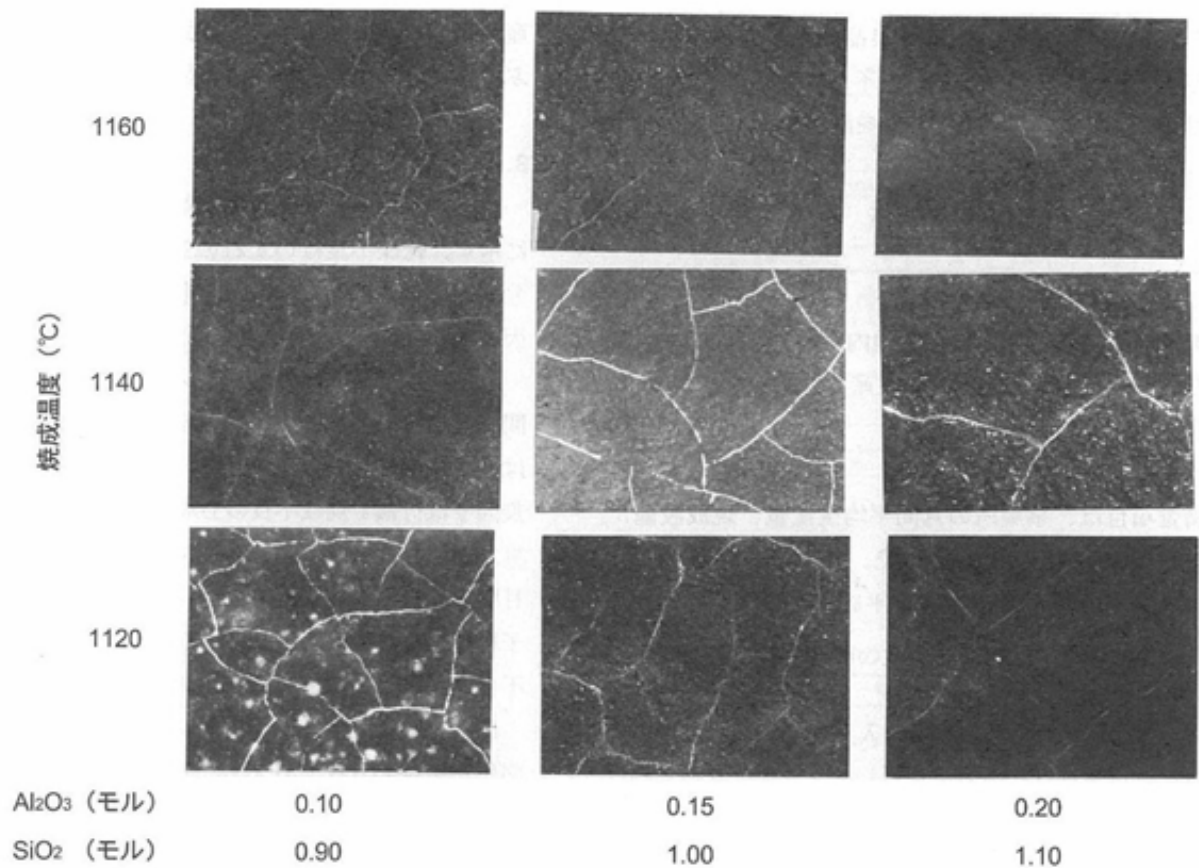


写真1 オートクレーブ処理後貫入発生状況 (1140°C)



SiO<sub>2</sub> (モル) 0.90 1.00 1.10

写真2 焼成温度別の貫入発生状況