

圧延成形による複合瓦の開発

福永 均 加藤 勝正 竹内 繁樹 長谷川 龍三

Development of Composite Roofing Tile with Roll Shaping Method

by

Hitoshi FUKUNAGA, Katsumasa KATO

Shigeki TAKEUCHI and Ryuzo HASEGAWA

粘土瓦の耐衝撃性、断熱性等品質向上を図るため、複合素地による素地改善を行った。

前報¹⁾で報告した結果を基に、衝撃強さの優れた素地（タイル素地80%，ダム堆積土20%）の間に断熱素地（瓦素地90%，オガ屑10%）をはさみ、タタラ成形機により圧延成形し、サンドイッチ構造（上、中、下の層状）の複合素地を作製した。衝撃強さは、下層部の緻密素地の層厚が $\frac{1}{2}$ の2層構造の場合、緻密素地単体よりも衝撃強さが向上し、複合効果が現れている。熱伝導率は、断熱層の厚みが $\frac{1}{10}$ あれば、既存の釉薬瓦と変わらず、それ以上にすれば、断熱効果が顕著に現れる。

なお、曲げ強さは、下層部の緻密素地の層厚が $\frac{1}{3}$ 以上あれば、緻密素地単体の値とほとんど変わらない。

以上の結果を基に、試作した複合瓦は、既存の釉薬瓦に比べて、耐衝撃性、断熱性、軽量性及び耐荷重性等優れた性能を示した。

1. まえがき

粘土瓦を含め既存の窯業建材品は耐久性及び耐熱性に優れているが、軽量性及び耐衝撃性の向上についても要求されており、この一対策として素地の改善が必要である。また最近の地元瓦業界では、他種屋根材との競合に対応して、機能性に優れた新製品の開発が必要となっている。

複合素地の成形性は、前報でプレス成形技術について試験を行った。本報では、密着性をより良くするため、複合素地の圧延成形技術について検討を行い、耐衝撃性、断熱性等機能性に優れた屋根材の開発を図った。

2. 実験方法

2.1 複合素地の作製

前報の研究成果より下記の素地を選定した。

緻密素地……………タイル素地80%・

（衝撃強さの優れた素地）佐久間ダム堆積土20%

断熱素地…瓦素地90%・オガ屑10%

緻密素地と断熱素地をタタラ成形機により圧延

成形し、サンドイッチ構造の複合素地を作製した。乾燥後、電気炉により、1100℃で焼成した。

2.2 複合素地の成形性

プレス成形による複合素地は、成形圧力の違いにより、接着面に亀裂やはく離を生ずる。そこで複合素地の密着性をより良くするため、タタラ成形機を用いて、圧延成形を行った。

使用したタタラ成形機は、最大W480mm×1900mmに圧延でき、厚さはロール間隔により0～60mmまで自由にえられる。

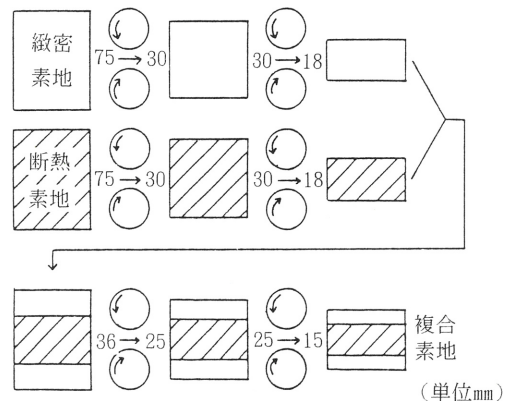


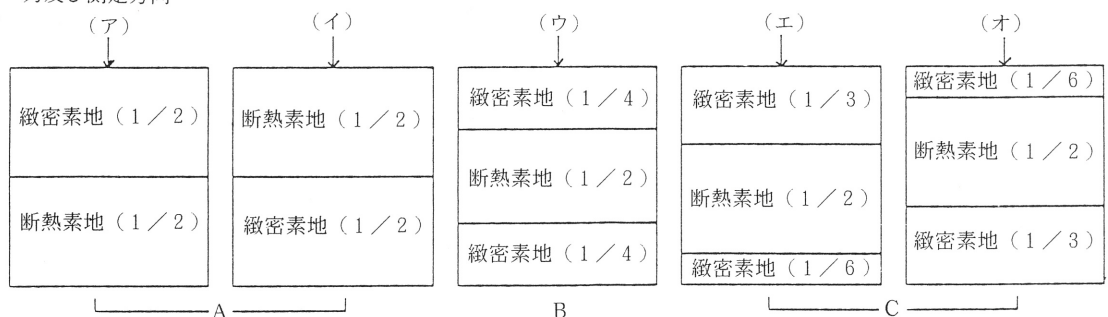
図1 複合素地の成形工程概略図

表 1 複合素地の物性値

試料名	成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	焼成収縮率 (%)	全収縮率 (%)	曲げ強さ (kgf/cm ²)		* 比強度	吸水率 (%)	衝撃強さ (kgf/cm ²)	かさ密度 (g/cm ³)	熱伝導率 (Kcal/mh°C)
瓦素地	19.4	7.05	4.76	11.6	59.1	207	94.1	4.33	0.25	2.20	0.95
緻密素地	22.5	5.80	4.56	9.91	40.8	220	107	7.10	0.48	2.05	0.87
断熱素地	29.5	6.30	4.73	10.5	39.9	74.7	47.3	15.4	0.18	1.58	0.46
複合素地A	26.0	5.54	4.47	9.58	(ア)40.7 (イ)41.9	(ア)87.5 (イ)209	(ア)48.3 (イ)115	11.3	(ア)0.15 (イ)0.66	1.81	(ア)0.82 (イ)0.45
複合素地B	26.0	5.67	4.51	9.74	(ウ)44.7 (エ)44.7	(ウ)164 (エ)164	(ウ)89.6 (エ)89.6	11.4	(ウ)0.28 (エ)0.28	1.83	(ウ)0.78 (エ)0.78
複合素地C	26.0	5.47	4.42	9.47	(オ)46.7 (カ)46.7	(オ)115 (カ)115	(オ)63.5 (カ)63.5	11.6	(オ)0.17 (カ)0.40	1.81	(オ)0.83 (カ)0.69

$$\text{* 比強度} = \frac{\text{焼成曲げ強さ}}{\text{かさ密度}}$$

力及び測定方向



緻密素地と断熱素地をタタラ成形機のロール間隔を変化させ、それぞれ段階的に圧延し、所定の寸法・厚みに成形した。この成形体を重ね合わせ、同様の方法でサンドイッチ構造（上、中、下の層状）の複合素地を作製した。

また、圧力測定フィルム（10～100kgf）を用いて、複合素地の加圧方向にかかる圧力分布を調べた。図1に複合素地の成形工程概略図を示す。

2.3 物性試験

複合素地及び試作瓦の物性試験を実施するにあたり、衝撃強度の算出は前報で行った落球式による衝撃試験法を用いて行った。

熱伝導率は非定常熱線法により行い、断熱性の指標とした。また、強度特性の一つとして、比強度²⁾（曲げ強さ／かさ密度）を算出した。耐寒性に

ついては粘土瓦の凍害試験（JIS A 5208 5.4）により行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 複合素地の成形性

圧延成形における素地水分の影響については、水分が少なく、硬い素地を急激に厚みを薄くさせると、成形体の端部にひび割れや亀裂を生ずる。したがって、本報で行った圧延成形による複合素地の水分は、前報の湿式プレス成形時の水分より数パーセント多くした。

また、成形体にかかる上下方向の圧力は微小であり、成形体全体に均一に圧力が加わっている。

すなわち、圧延成形においては、上下方向の圧

力がそのまま素地の延伸に働き、その結果、成形体にはわずかな圧力だけしか加わらない。

3.2 複合素地の物性

複合素地の物性を評価するうえにおいて、緻密層の層厚が物性にどのような影響を及ぼすかを検討した。表1に複合素地の物性を示す。

3.2.1 層厚変化と曲げ強さ

図2に緻密層の層厚を変化させた時の複合素地の曲げ強さを示す。複合素地の曲げ強さは、下層部の緻密素地の層厚に大きく影響され、緻密素地単体の値と断熱素地単体の値との相加平均値（破線）より曲げ強さは向上している。

また、下層部の層厚が $\frac{1}{3}$ 以上の場合にはほとんど緻密素地単体の値と変わらない。

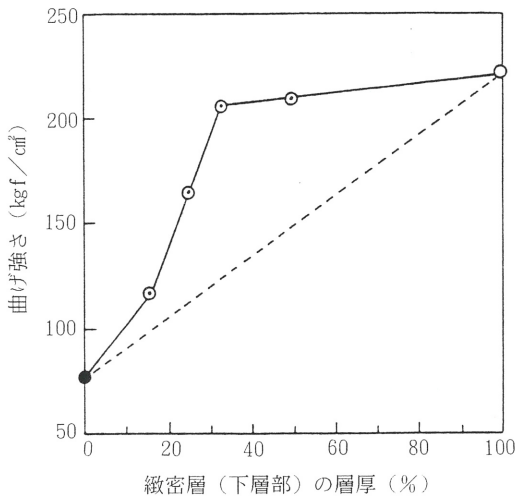


図2 複合素地の曲げ強さ

3.2.2 層厚変化と衝撃強さ

図3に下層部の緻密層の層厚を変化させた場合の複合素地の衝撃強さを示す。複合素地の衝撃強

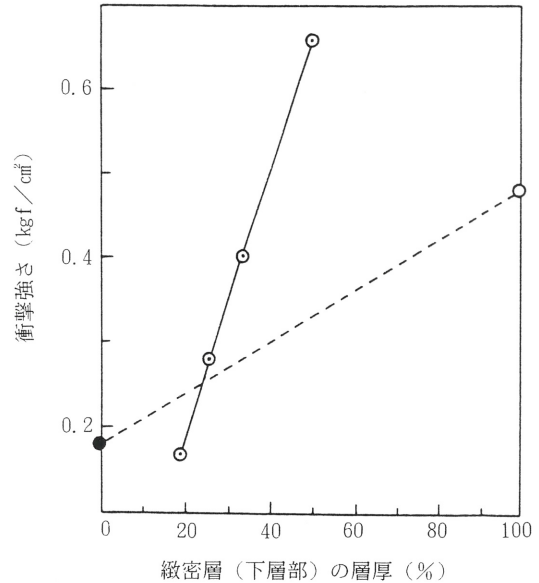


図3 複合素地の衝撃強さ

さは、下層部の緻密層の層厚に比例して増加する。

すなわち、衝撃強さは曲げ強さと同様に下層部の緻密素地の層厚に大きく影響されていることを示している。

複合素地の組み合わせの中で、下層部の緻密素地の層厚が $\frac{1}{2}$ の2層構造の場合には、緻密素地単体よりも衝撃強さが向上しており、複合効果が顕著に現れている。このことは、上層部の断熱素地が衝撃エネルギーを吸収し、下層部の緻密素地への衝撃の伝播が弱められたことに起因するものと考えられる。

3.2.3 衝撃試験における破壊状況

衝撃試験により破壊した複合素地の破断面の様子を観察したところ、クラックの進展が緻密層と断熱層の境界面で屈曲した破壊状況が多く見られ

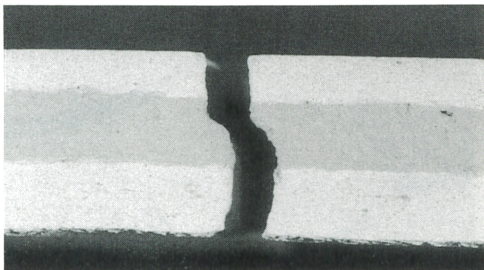


写真1 破断面

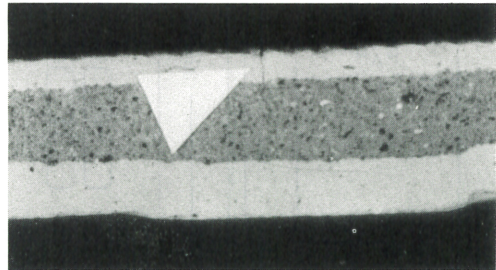


写真2 断熱層で停止したクラック

た。写真1にその一例を示す。

また、写真2に示すように、落球により打撃を受けた上層部からクラックが発生し、断熱層でその進展が停止しているものも見られた。

これらの破壊状況から、素地に多層構造をもたせることによって、耐衝撃性が改善される可能性があると考えられる。

3.2.4 層厚変化と熱伝導率

図4に緻密層の層厚を変化させた時の複合素地の熱伝導率を示す。

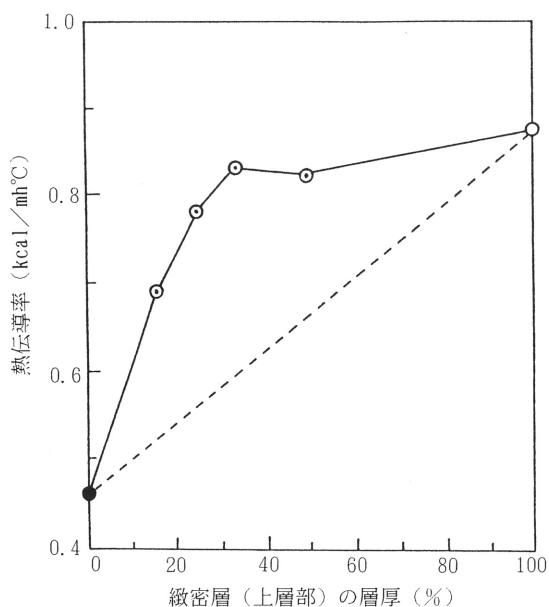


図4 複合素地の熱伝導率

複合素地の熱伝導率については、上層部の緻密素地の影響が大きく、層厚が $\frac{1}{3}$ 以上の場合には、緻密素地単体の値とほとんど変わらない。

4. 複合瓦の試作及び性能

4.1 複合素地による試作瓦の作製

物性試験の結果より、複合素地C（緻密 $\frac{1}{6}$ ，断熱 $\frac{1}{2}$ ，緻密 $\frac{1}{3}$ ）による屋根瓦の試作を行った。

図5に複合瓦の図面を示す。

複合瓦は成形性を考慮して、フラット瓦をデザインし、圧延成形した後、1100℃で焼成した。

4.2 複合瓦と各種屋根材の性能比較

複合瓦の性能を評価するにあたって、既存の釉薬瓦と石綿スレート瓦やセメント瓦等新生屋根材の物性試験を実施し、性能比較を行った。

4.2.1 断熱性

夏と冬の気温差の大きい日本住宅を快適にするためには、夏の暑さを家の中に入れず、冬の暖房を外へ逃がさない断熱性能に優れた屋根材が必要である。断熱性能を評価する一指標として、熱伝導率を測定した。図6に結果を示す。

複合瓦の熱伝導率は $0.72\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ で他の屋根材に比べて熱伝導率が小さく、断熱性に富んでいる。

4.2.2 軽量性

屋根材は軽い方が長距離輸送や施工時の運搬を考えると有利であり、また建築資材の軽量化に伴

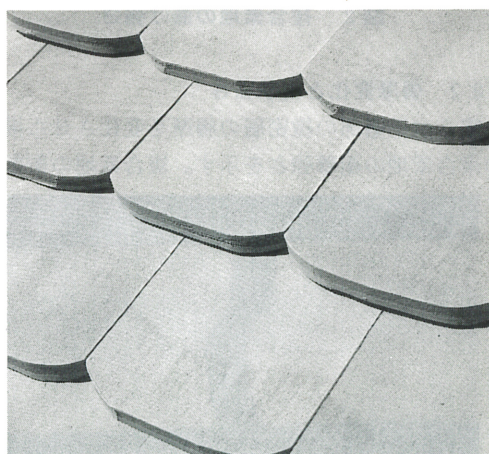
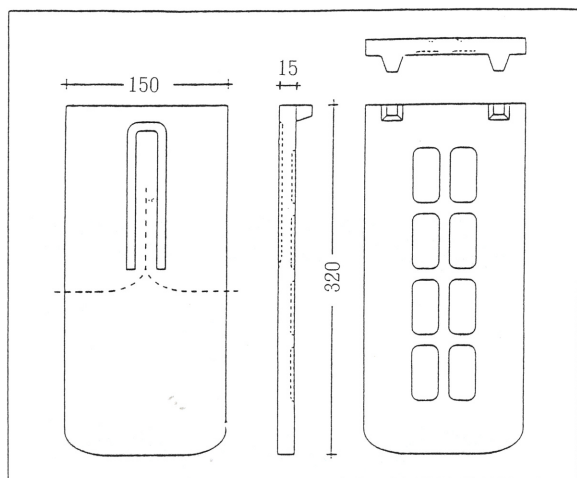


図5 複合瓦の図面及び施工例

うコスト低減が図れる。軽量性を評価するため、各屋根材の単位体積あたりの重量すなわち、かさ密度を測定した。図7に結果を示す。

複合瓦は他の屋根材に比べて、かさ密度が 1.87 g/cm^3 と最も小さく、軽量性に富んでいる。

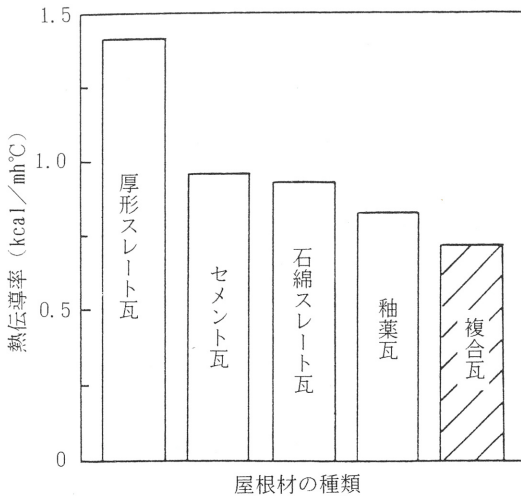


図6 各種屋根材の断熱性の比較

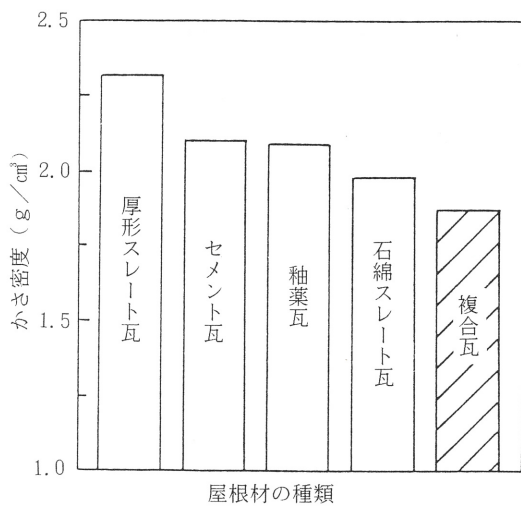


図7 各種屋根材の軽量性の比較

4.2.3 耐荷重性

屋根に人が乗った場合、屋根材にかかる局所的な荷重は $80 \sim 100 \text{ kgf}$ であると考えられている。

屋根材は人の自重や積雪の荷重に耐える強度が必要である。耐荷重性の評価として、曲げ強さを比較した。図8に結果を示す。

複合瓦の曲げ強さは 211 kgf/cm^2 で、石綿スレート瓦に若干劣るものの、釉薬瓦、厚形スレート瓦及びセメント瓦に比べて大きく、耐荷重性においても優れている。

4.2.4 比強度

屋根材の設計にあたって、軽量でかつ強度の優れた材料が必要とされる。単位重量あたりの曲げ強さ、すなわち比強度により、この特性の評価を行った。図9に結果を示す。

複合瓦の比強度は113で、石綿スレート瓦に若干劣るものの、釉薬瓦、厚形スレート瓦及びセメント瓦に比べて大きく、軽量性であり、かつ強度面で優れた材料であると考えられる。

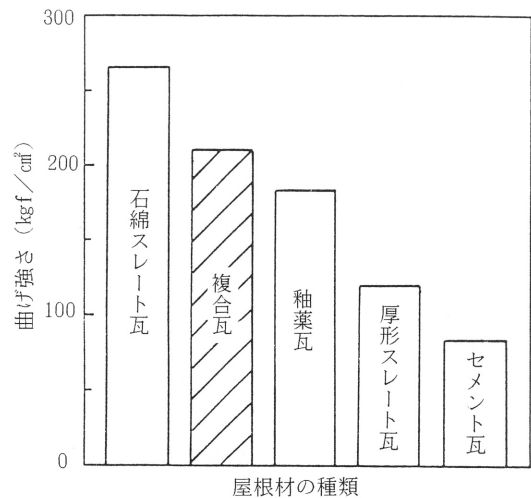


図8 各種屋根材の耐荷重性の比較

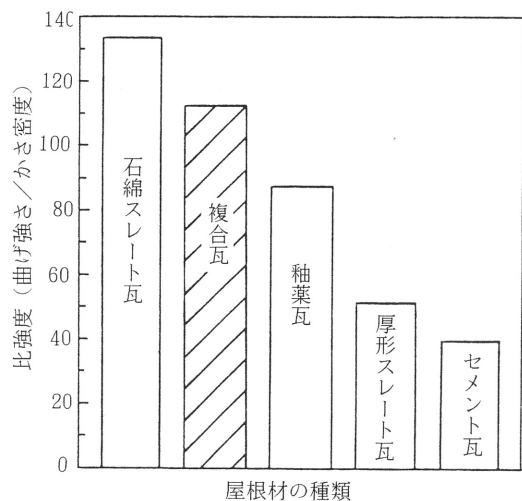


図9 各種屋根材の比強度の比較

4.2.5 耐衝撃性

屋根材は小石や金属片等の飛来物がぶつかった時に破損しないことが必要である。また運搬時の破損を考えると耐衝撃性に優れた材料が必要である。耐衝撃性の評価としては、落球式による衝撃試験を行い、衝撃強さを算出し比較を行った。

図10に結果を示す。

複合瓦の衝撃強さは $0.42\text{kgf}/\text{cm}^2$ で石綿スレート瓦に劣るが、釉薬瓦、厚形スレート瓦及びセメント瓦に比べて大きく、耐衝撃性に優れている。

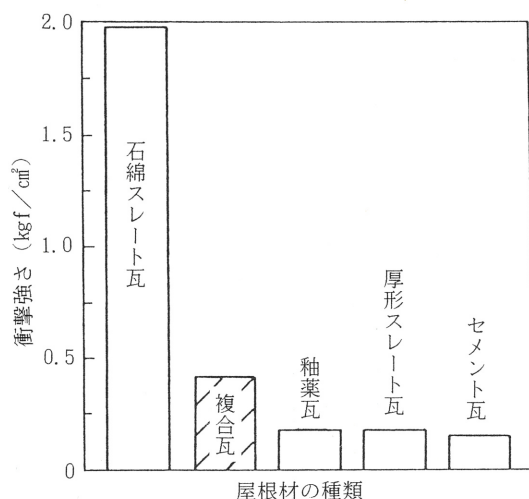


図10 各種屋根材の耐衝撃性の比較

4.2.6 規格値との比較

複合瓦の性能について、粘土瓦のJISに基づく試験を実施した。表2に結果を示す。

複合瓦の曲げ破壊荷重は 288kgf 、吸水率は 9.5%

表2 複合瓦の物性値

屋根材の種類	曲げ破壊荷重 (kgf)	吸水率 (%)	凍害試験 (30回繰返し)
複合瓦	288	9.5	異常なし
釉薬瓦	263	6.7	異常なし
石綿スレート瓦 (30cm角に切断)	54	8.7	異常なし
厚形スレート瓦	196	5.0	異常なし
セメント瓦	—	7.8	17回終了後、 ひび割れを 認めた

であり、JIS規格値の 120kgf 及び 12% を大幅に上回っており、実用上特に問題はないものと思われる。また寒冷地での瓦の使用にあたっては、特に耐寒性に優れた屋根材が要求される。

複合瓦は30回繰返しても異常は認められず、優れた耐寒性を示した。

5. むすび

圧延成形による複合素地の物性及び複合瓦の性能試験より以下のことが判明した。

- (1) 複合素地の衝撃強さは下層部の緻密素地の層厚が $\frac{1}{2}$ の場合、緻密素地単体よりも優れた物性を示し、複合効果が顕著に現れている。
- (2) 複合素地の曲げ強さは、下層部の緻密素地の層厚が $\frac{1}{3}$ 以上あれば、緻密素地単体の値とほとんど変わらない。
- (3) 複合素地による試作瓦は、既存の釉薬瓦に比べて、耐衝撃性、断熱性、軽量性及び耐荷重性等優れた性能を示し、機能性に富んだ窯業建材品の開発が図れた。

なお、本研究では、最も一般的に使用されているオガ屑を用いて、断熱素地を作製したが、焼成時の脱気のことを考えると発泡スチロールなどの使用も考えられる。

また、使用する目的、用途に応じて、素地の組み合わせや成形方法を変えることにより、より機能性に優れた複合素地が得られ、応用化は更に広がるものと思われる。

参考文献

- 1) 福永ほか、愛知県常滑窯業技術センター報告、No.15, 19~26 (1988)
- 2) 清水ほか、工業材料、第30巻第7号, 95~108 (1982)