

美術鑄物用鑄型砂の物理的性質*

横田 勝・麻生三郎・三船温尚・清水克朗

(平成5年11月1日受理)

要 旨

美術鑄物の分野では木節粘土、山砂および川砂が生砂として用いられている。一方、紙土、玉土および荒土は合成砂または粘土として用いられており、これらは木節粘土と真土から作られる。本実験ではこれらの砂または粘土の物理的性質について熱分析、X線回折分析および走査型電子顕微鏡観察の結果から検討した。得られた結果は次の通りである。

- (1) 木節粘土はカオリナイトとムスコバイトを主成分とする水酸化鋳物からなっている。これら水酸化鋳物は鑄型に可塑性を与えるが、加熱中に鋳物中の水酸化イオンが水蒸気に分解、放出し、鑄型の収縮の原因となる。
- (2) 紙土は主に石英からなり、鑄型の耐熱性、鑄型の内部表面の熱収縮の制御、鑄物表面の平滑さと美観を与える。
- (3) 荒土は耐熱性の石英ならびに結合剤としての長石からなり、アルバイトやアネサイトを含む。これら二つの主成分は鑄型に強度を与える。

キーワード

美術鑄物、鑄型砂、木節粘土、真土、紙土、玉土、荒土、熱分析、砂の物理的性質

1 緒 言

美術鑄物用鑄型砂の主たる生原料は、木節粘土、山砂、川砂、珪砂などが使われる。一方、合成砂の真土はこれら生原料を適量混合した後、900°Cで約5時間焼成してから篩にかけて作製する。紙土、玉土、荒土などはこの真土を原料として他に生の木節粘土などを適量配合することによりそれぞれ作製される。このような生砂や合成砂の使い分けにより、鑄型の加熱焼成時における収縮などの変形、通気性に関する鑄造時の脱気、中子の鑄肌の剥離性、鑄肌の美観等を制御することが可能となる。

本実験では上に述べた主たる鑄型用砂の加熱中における重量変化(TG)および示差熱変化(DTA)を測定し、それらの熱的性質について検討するとともに、粉末法によるX線回折実験により砂の化学成分を同定した。また、走査型顕微鏡(SEM)により鑄型砂の粒度分布と空隙構造の観察を行った。

これらの結果から鑄型砂の物理的性質について検討した。

2 試料ならびに実験方法

本実験に使用した鑄型砂用の原材料は山砂および木節粘土であり、これらの配合比はFig. 1 に示すように、体積比で約5:1とした。この混合物をサンドミルにかけ、よく混合した後、約900℃で5時間焼成し、合成砂である真土を作製した。

鑄型用砂として種々目的に応じて使い分けられる紙土、玉土、荒土は篩分けられた合成砂としての真土を主成分とする。すなわち、紙土は#80¹⁾の真土に珪砂²⁾、黒味³⁾および真綿をよく混合させたものであり、玉土は#30の真土に木節粘土を、荒土では#10の真土に木節粘土および藁を混合させたものである。なおこれらの配合値は Fig. 1 にまとめて示した通りである。

以上に述べた生砂である木節粘土および浜砂、ならびに合成砂である紙土、玉土、および荒土が鑄型内で目的に応じて使い分けられている様子を概略図にまとめて Fig. 2 に示す。ここで中子砂は主として浜砂、木節粘土および真土の混合物からなっている。

熱分析実験、粉末法によるX線回折実験および走査型電子顕微鏡観察に供したこれらの砂はすべて予め90℃で10時間乾燥させた。熱分析に関しては、セイコー電子製TG/DTA 320を使用し、雰囲気は100ml/sにおける乾燥空気流中とした。ここでは0.17℃/sで1000℃までの加熱冷却中における示差熱分析(DTA)および熱重量分析(TG)を行った。鑄型砂中の成分の同定は粉末法によるX線回折で行った。用いた装置は日本電子製JDX-3530であり、X線源はCuK α 、電圧および電流値はそれぞれ30kV、55mAとした。また鑄型砂の形状と粒度分布は日本電子製T200の走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。

真土 (山砂+木節粘土) --- 焼成 (900℃x5h)
Loam (Mountain sand+Kibushi clay) Burning
(5 + 1 ; (volume ratio))

紙土 : #80真土+珪素+紙種 + 黒味 (+真綿)
Pulp sand : #80Loam+Quartz+Kamitane clay+Black wash (+Floss silk)
20+5+1 (0.3~0.5)

玉土 #30真土+木節粘土
Tamatsuti sand #30Loam+Kibushi clay
(4~7)+1

荒土 #10真土+木節粘土 (+藁)
Aratsuti sand #10Loam+Kibushi clay (+Rice straw)
(5~8):1

Fig.1 Species and compositions of sands and clay of molds for arts and crafts.

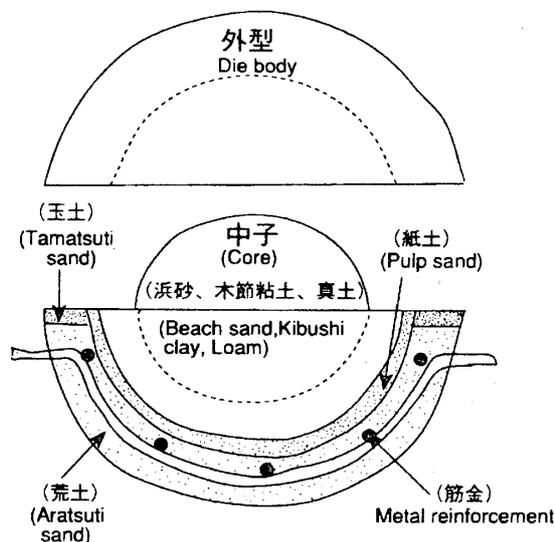


Fig. 2 Model of mold construction for arts and crafts.

3 実験結果ならびに考察

鑄物砂の熱的性質を調べるための熱分析は加熱および冷却速度が0.17℃/sであり、加熱の最高温度は1000℃とした。Fig. 3 に生原料の木節粘土に関するTGおよびDTA曲線を示す。まず、加熱過程におけるTG曲線を見ると、室温から約100℃までの範囲で約3wt%の重量減少があった。一方、DTA曲線はこの温度域で小さな吸熱曲線を描いている。ここで生じる重量減少は木節粘土中に含まれる水分の蒸発によるものであり、それともなう水分の蒸発潜熱による熱吸収と思われる。

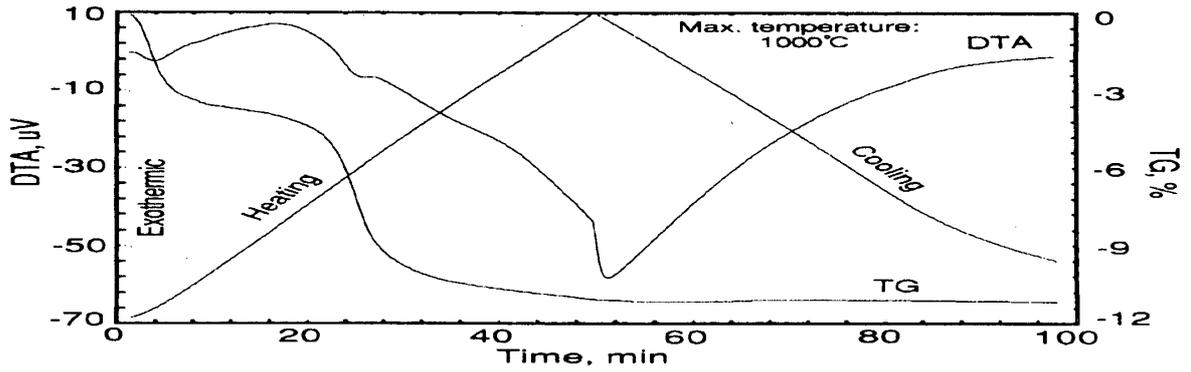


Fig.3 DTA and TG curves of Kibushinendo clay during heating up to 1000 °C and down to room temperature.

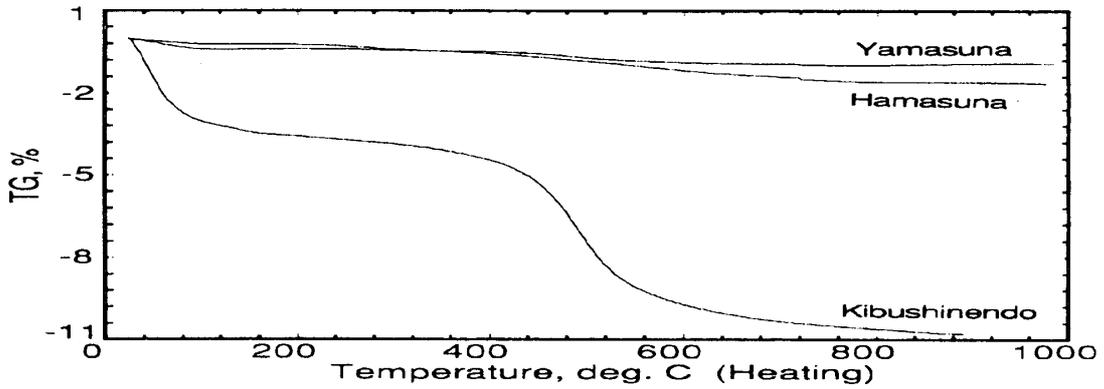


Fig.4 TG curves of Kibushinendo, yamasuna and hamasuna clays.

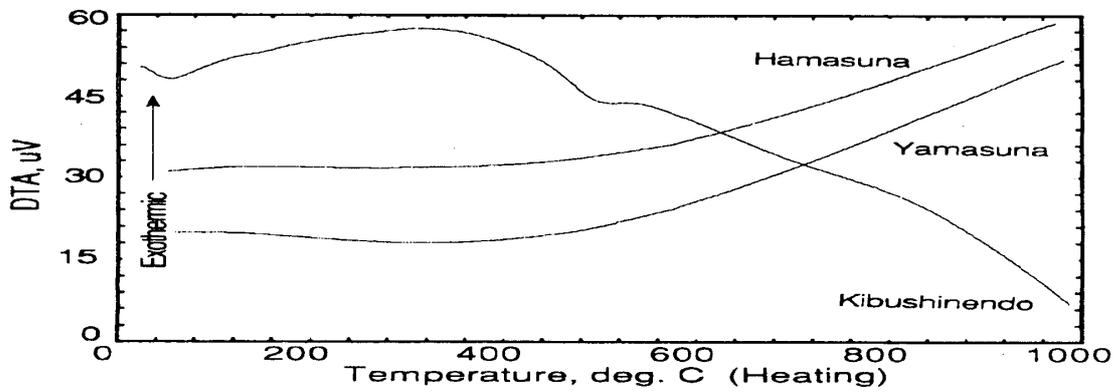


Fig.5 DTA curves of Kibushinendo, hamasuna and yamasuna clays.

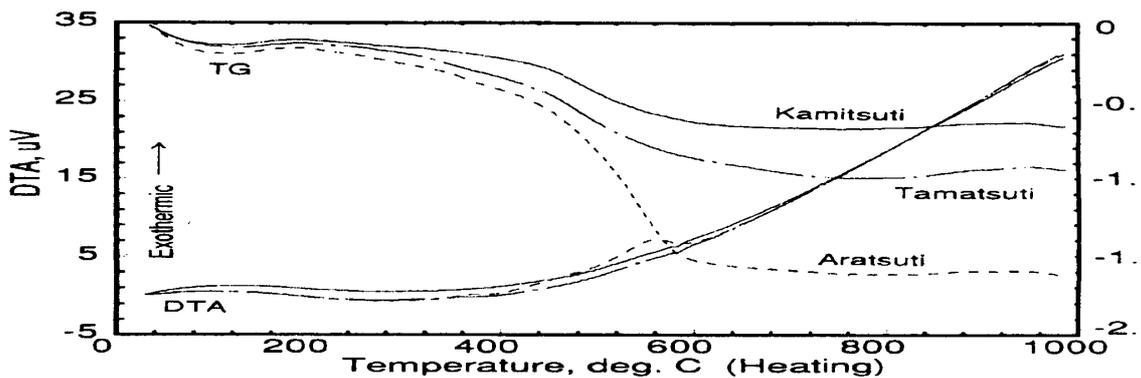


Fig.6 DTA and TG curves of Aratsuti, Kamitsuti and Tamatsuti clays.

温度がさらに高くなり約500°Cまでは大きな重量変化は現れないが、770°Cを越え、約700°Cまでの範囲で再び大きな重量減少を示し、約8 wt %の減少が観測された。この温度から最高温度の1000°Cに達するまでには大きな重量減少は認められなかった。なお、この温度範囲におけるDSC曲線は複雑な形状を示し、第2段の大きな重量減少が開始する約500°Cで小さな吸熱反応を示し、その後緩慢で大きな吸熱方向へと移行する。一方、1000°Cから室温までの冷却過程における重量変化はほとんどなく、またDSC曲線も単調に上昇するだけである。

以上の結果より試料の熱的性質を検討するには加熱段階の結果だけを対象にすればよいと判断されたので、以後は加熱過程における結果だけについて検討した。

鑄型砂の原料となる山砂、浜砂および木節粘土に関する重量分析の結果を Fig. 4 に示す。木節粘土の昇温過程における重量変化とは異なり、山砂の昇温中における重量減少はほとんど認められないが、山砂に比べて浜砂の方が重量減少はいくぶん大きい。TG分析に対応させながら行ったDTA分析の結果を Fig. 5 に示す。木節粘土に関する曲線では

約400°C付近から緩慢で大きな吸熱曲線を描き、約550°C付近で小さいが比較的鋭い吸熱ピークを描いた後、再び昇温とともに緩慢な吸熱曲線を描く。一方、浜砂および山砂では550°C付近までほとんど熱的に変化はないが、この温度を過ぎると緩慢で単調な発熱曲線に移行する。

Fig. 6 には合成された鑄型砂である紙土、玉土および荒土に関するTGおよびDTA曲線を同時に示す。これら3種類の砂に関するTG曲線は類似している。ただ昇温中における第2段の重量減少率は紙土、玉土、荒土の順に大きくなっているが、その値はいずれも約1.5%以下と木節粘土の値に比較して著しく小さな値になっている。

一方、DTA曲線に関しては概して先に述べた生原料の浜砂や山砂に関する結果と類似して400°C付近から単調に発熱曲線を描くが、ただ荒土だけは約550°C付近で小さな発熱ピークを示す。

以上の熱分析に対応して、合成砂である荒土および紙土、ならびに生原料の木節粘土に含まれる化学成分を粉末法によるX線回折法で同定を行った。その結果を Fig. 7 に示す。

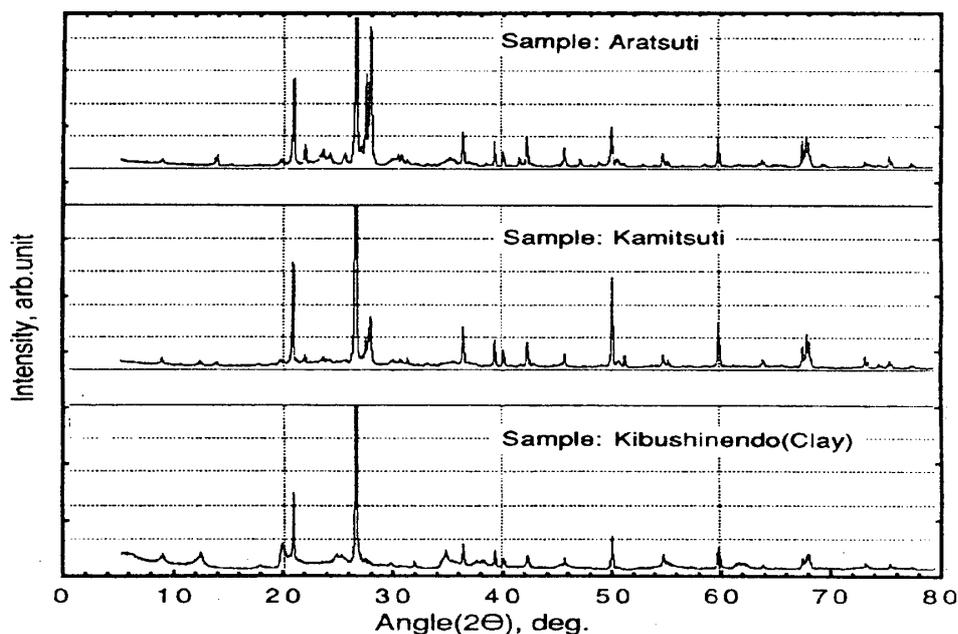


Fig.7 X-ray diffraction patterns of Aratsuti, Kamitsuti and Kibushinendo clays.

X線強度と回折角度との関係を示す図形は3種類の試料ともほぼ類似しており、それらを構成する化学成分が類似した結晶構造を持つことを示している。ただし、これら3種類のX線回折パターンを厳密に比較すると、X線強度の強さ、およびそれらの回折角度が微妙に異なっていることがわかる。JCPDSデータを用いたX線回折の定性分析に関する結果を Table 1 に示す。

木節粘土を構成する化合物は粘土鉱物の主成分であるカオリナイト ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) およびムスコバイト ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})$)

Table 1 Componets of Kibushinenndo, Kamitsuti and Aratsuti clays.

	Kibushinenndo	Kamitsuti	Aratsuti
Kaolinite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	1	2	0
Muscovite $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})$	1	2	3
α -Quartz (α - SiO_2)	3	1	1
Feldspar : Albite ($\text{NaCa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$: Anorthite ($\text{CaNa})(\text{AlSi})_2\text{O}_8$ (Microcline)	4	2	1

Degrees in 1>2>3>4

などの水酸化鉱物からなり、他に石英 (α - SiO_2) と微量の長石 (feldspar) 類 (アルバイト: ($\text{NaCa})(\text{SiAl})_4\text{O}_8$), アネサイト (($\text{CaNa})(\text{AlSi})_2\text{O}_8$) 等が含まれている。

ここで、一般に知られているように、X線

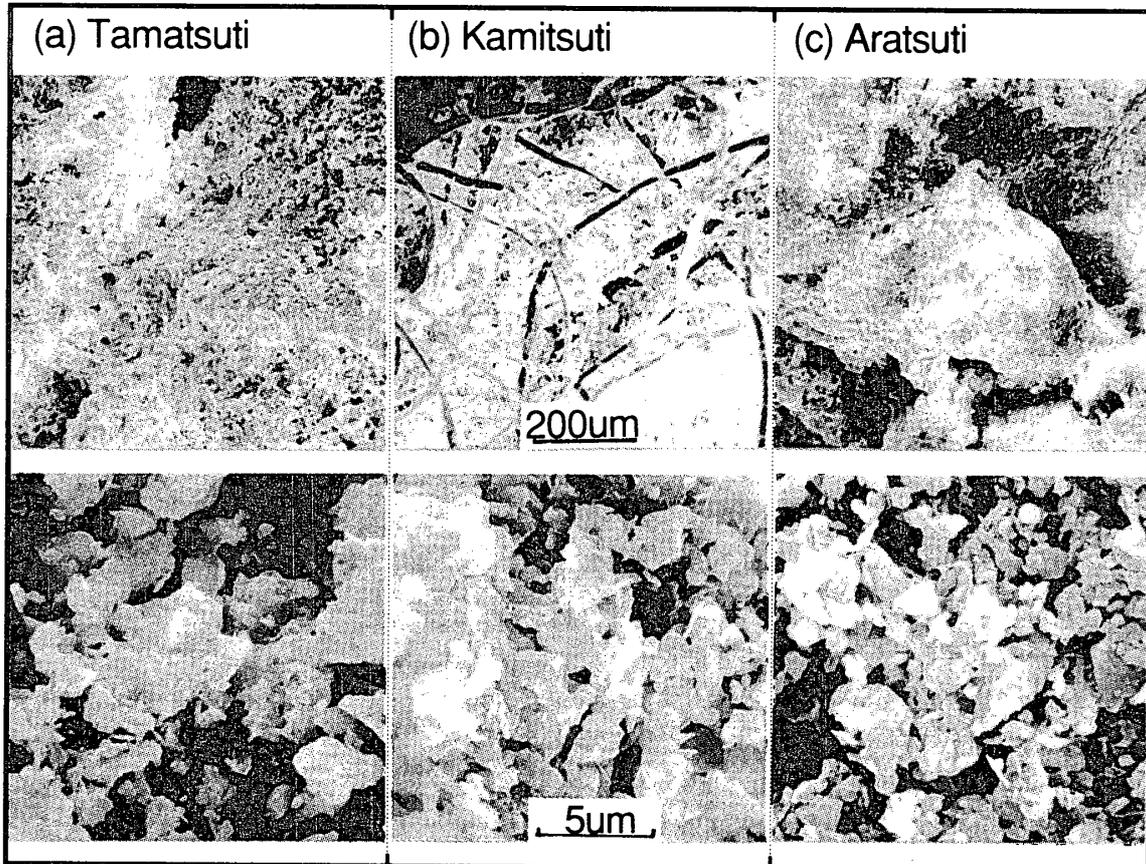


Photo. 1 SEM images of Tamatsuti(a), Kamitsuti(b) and Aratsuti(c).

回折により同定された上記のような化学成分は、水酸化鋇物のOH基は粘土に可塑性を持たせ、石英はその高融点のために耐熱性を持たせる。一方、長石類は低融点であり、鑄型の焼成時に液相焼結の効果を利用して高融点の石英粒子を強固に結合させる効果がある⁵⁾。

このような原料砂の諸性質は次の様に使い分けられている。

紙土に関するX線回折の結果によると、石英が主成分であり、水酸化鋇物と長石類が適量含まれる。したがって、紙土は鑄肌に直接接触する部分であり、鑄型に忠実でしかも美しい鑄肌を再現するために耐熱性が高く、しかも熱膨脹変化の小さい石英が主成分になっているものと思われる。

一方、荒土は石英および長石類が主成分であり、水酸化鋇物はほとんど含まれない、荒土は鑄型の骨格をなすものであり、鑄型の強度が高くなければならない。したがって、荒土では石英の耐熱性と長石類による液相焼結による強固な骨格体を形成することになる。

最後に、SEM観察の結果について述べる。Photo. 1は玉土(a)、紙土(b)および木節粘土(c)に関するSEM写真であり、上段は低倍率の80倍、下段は高倍率の3700倍で観察した結果である。

下段の高倍率写真から認められるように砂の粒度は1 μ m以下のものも多く含まれるが荒土、玉土、木節粘土の順に数 μ mの大きな粒子が多く含まれるようになる。上段の低倍率の写真から明らかなように、通気性が要求される(a)の玉土は、写真の上部に大きな通気性のある空隙が認められる。(b)の紙土に関する低倍率の写真中に繊維状の細い組織が認められるが、これは予め加えた真綿の繊維である。(c)の荒土に関しても写真では現れていないが、予め藁が加えられており、これら真綿や藁などの繊維材料を添加する目的は鑄型の通気性を改善すること、ならびに鑄型の強度を高めるためのものである。すなわち、これ

ら可燃性の繊維状物質を添加し、その後鑄型の予備加熱の段階でこれらを燃焼消失させ、その空洞部を通気孔として使用するものと思われる。

一方、これらの添加物は繊維強化型の複合材料的な発想から成り立っているものと思われる。これらの工夫がすでに古くから利用されていたことになり興味深いものがある。

4 結 言

鑄型用生原料の山砂、浜砂および木節粘土、ならびに合成砂である真土を用いた紙土、玉土および荒土に関する熱的性質、化学成分および形状について実験と検討を行い次のような結果が得られた。

- (1) 木節粘土はカオリナイト、ムスコバイトなどの水酸化鋇物が主成分であり、鑄型作製時に可塑性を与える。ただし、焼成時に11%以上の重量減少がともなうので鑄型の収縮の原因になるものと思われる。
- (2) 紙土は石英を主成分とし、耐熱性をもたせ、さらに鑄型内壁の熱収縮を抑え、鑄肌の平滑性を与える。
- (3) 荒土は鑄型の骨格となり、石英で耐熱性を持たせ、アルバイトやアネサイトなど長石類の液相焼結により石英粒子を強固に結合させ、鑄型の耐熱性と強度を高める役割を果たす。

本実験を遂行するにあたり、走査型電子顕微鏡の使用を許可いただいた大阪府立産業技術総合研究所、主任研究員花立有功工学博士他同研究所の皆様に感謝いたします。

引用文献・脚注

- * 日本鋳物協会第123回全国講演大会（1993年10月）にて口頭発表済み
- 1) 尺貫法による粉末の粒度を表す単位であり、一寸当たりの篩の目開き数を表す。日本工業規格では1インチ当たりの目開き数（メッシュ数）で表されており、例えば、#10と10メッシュでは後者が約20%粒度が小さいとされる。
 - 2) 木節粘土に和紙又は木綿を複合させ、これらの繊維により強度を持たせるとともに、鋳型の焼成後通気孔を有する土。
 - 3) 煤煙を用い、鋳肌の平滑さと鋳型の耐熱性を持たせるために用いる。
 - 4) Joint Committee on Powder Diffraction Standards.
 - 5) 松山芳治等：総説粉末冶金学，日刊工業新聞社，(1972)，p.143

Some Physical Properties of Sands for Molds Used for Arts and Crafts.

Masaru YOKOTA, Saburo ASO,
Haruhisa MIFUNE and Katsuro SHIMIZU

(Received November 1, 1993)

ABSTRACT

In the fields of castings of arts and crafts, Kibushi clay, mountain sand and river sand are used as virgin sands. On the other hand, pulp sand, tamatsuti clay and aratsuti clay are used as synthesized sands or clay, which are made from kibushi clay and loam.

In this experiment, physical properties of these sands or clay were discussed from the experimental results of thermal analysis, X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopic observation.

The results obtained were as follows;

- (1) Kibushi clay is composed of hydride minerals, which are mainly kaolinite and muscovite. These hydride minerals give the moldings greater plasticity, however, they result in the shrinkage of the molds during heating by the dissociation and discharge of hydride ions in minerals into water vapor.
- (2) Pulp sand is composed mainly of quartz, it provides heat resistance, control of the heat shrinkage of the inner surface of the molds, and smoothness and neatness of the surface of the castings.
- (3) Aratsuti sand is composed of quartz as a heat resistant material and feldspar as binder, in which albite and anethite are included. These main two components give the molds greater strength.

KEW WORDS

Castings for arts and crafts, Sands for mold, Kibushi clay, Loam, Pulp sand, Aratsuti sand, Thermal analysis, Physical properties of sands.