はち物容器に関する研究 (第2報)

焼成温度が素焼きばちの物理性に及ぼす影響

田 中 宏・金 沢 誠・八重沢勇一

(玉川大学農学部)

Studies on Plant Containers

II. Effects of Firing Temperatures on the Physical Properties of Clay Pots

Hiroshi TANAKA, Makoto KANAZAWA, and Yuichi YAEZAWA

Faculty of Agriculture, Tamagawa University, Machida, Tokyo

Summary

Experiments were carried out to estimate optimum firing temperatures of clay flowerpots with special reference to the permeability to air and water.

Test pieces of about 4cm in dia. and 0.5cm thick were made from seven clay materials in different districts. These pieces were air-dried for several days before oven-drying overnight at 50°C. Then, they were fired at different temperatures ranging from 250°C to 1,050°C for one hour. The rising rate was 100°C per hour until respective temperature was obtained.

1. Permeability to air of all samples increased at above 460°C of firing temperature. At above 875°C, these samples could be classified in three groups. At first, clay materials of Hekinan (E) and Takahama (F) cities in Mikawa district, and of Makabe (C) remarkably increased permeability to air up to 1,045°C. However, permeability to air of Makabe's clay (C) decreased extremely at 1,125°C. Next, permeability of both materials of Tokyo (A and B), which are native in Yashio city, Saitama pref., decreased considerably at 1,045°C. The third group including clay of Kitaibaraki (D) and Tokoname (G) had a little lower permeability than the others at every firing temperature and there were less remarkable changes up to 1,045°C.

2. Changes of the permeability to water in relation to the firing temperatures or kinds of clay were almost the same as those of the permeability to air. However, values of the permeability to water were generally about 1/300~1/500 of those of the permeability to air.

3. Curves of the relation between the water absorption or the apparent porosity and firing temperatures were very much alike. Both of them did not change appreciably up to 875°C, but had a sudden decrease at 1,045°C, especially for two samples of Tokyo (A and B).

4. There was no remarkable difference in the apparent specific gravity among the samples to 875°C except Makabe (C), but the values of all samples decreased at 1,045°C. While, the bulk specific gravity of all samples increased very much at 1,045°C, especially for the two samples of Tokyo (A and B).

5. The results obtained in these experiments suggest that non-refractory clay of Yashio city (A and B) should be fired at lower temperatures than the others, Mikawa (E and F) and Makabe (C) clay at relatively high temperatures, and the Kitaibaraki (D) at the highest. These results also suggest that the characteristics of clay materials are related essentially to the determination of the firing temperature of clay flowerpots, and that clay pots have been produced successfully at ample firing temperatures.

緒 言

第1報（8）において、わが国における主な植木ばち生産地より数点の素焼きばちをえらび、その物理性について報告したが、その際の調査で、はち生産業者によって、焼成温度が700°C内外から1,000°C以上まで、かなり変異の幅が大きいことがわかった。一方、Eastoeら（2）によると、素焼きばちは普通700~900°Cで焼成されるという。この業者による焼成温度の相違は、一つには坏土（はいどー原土を調整したもの）の理化学性ならびに焼成方法が異なるためと考えられる。他方、焼成温度を変えた場合にどのような理化学的变化がおきるか、あるいはどのような理化学性をもつはちが作物の生育に最も望ましいかなどについて、従来研究が全く行われていない。このため、それぞれの原土に対しての適正な焼成温度を知りたいという業者の要望も強い。

そこで、第1報で調査した業者から素焼きばち用の坏土を取りよせ、種々の温度で焼成した場合の物理性、特に作物の生育に最も深い関係があると考えられる透過性に及ぼす影響について調査を行ったので、その結果を報告する。

材料および方法

供試材料は第1表に示したように、第1報と同じく7個所の坏土を用いた。

市販の素焼きばちの生産では、各業者によって乾燥や焼成の方法は多少異なっているが、一般的には坏土を成型後、40~50°Cで乾燥して石膏型からはずし、40~50°C程度の炉の余熱で2~3日乾燥してから、炉内で徐々に温度を上げながら、20時間位焼成を行っている。本試

験ではそれを参考にして、つぎのように試験体を作成した。

各坏土はそれぞれ業者が調製した成型直前のものをそのまま用いたが、一部収集時より日時が経過して脱水していたものは、適宜水分を加えて成型しやすくした。坏土を木板上で、真ちゆうパイプを転がしながら、厚さ約5mmに圧延してから、直径約5cmの円板に型抜きを行い、それを4~5日室内で自然乾燥した。その間き裂を生じたものを除き、ついで50°Cの乾燥器内で1晩乾燥した。試験体の焼成には実験用マッフル炉を用いた。上昇温度が約100°C/hの割合になるようにつとめ、各区とも所定温度に達したとき、1時間その温度を保持し、その後加温をやめて自然冷却させた。焼成温度は当初300, 500, 700, 900, 1,100°Cの5段階としたが、焼成温度による透過性の変化をより正確に検討するため、さらに1,000°Cおよび、一部の試料については1,100°Cにおいても試験体を作成した。焼成終了後、マッフル炉附属の温度指示メータを検定した結果、それぞれ正しくは、250, 460, 680, 875, 1,045°Cおよび965と1,125°Cであった。そのため、本文中ではその訂正した温度で記述した。

焼成した試験体は1区5個体とし、第1報と同じ方法で、通気率、透水率、吸水率、見掛気孔率、見掛比重、嵩（かさ）比重などについて調査した。また965°Cおよび1,125°Cの焼成体については通気率のみを測定した。なお、250°Cで焼成した試験体は、透水率測定のために蒸留水中で脱気の際ほう壊したので、通気率以外の項目については測定できなかった。

Table 1. Descriptions of collected clay pots

Pot maker	Sources of clay	Firing temperature
A. K-Hachiten, Katsushika-ku, Tokyo	90~80%, subsoil of paddy field in Yashio city, Saitama pref. 10~20%, sandy soil at Kohoku, Abiko city, Chiba pref.	Approximately 700°C
B. I-Hachiten, Edogawa-ku, Tokyo	Subsoil of paddy field in Yashio city, Saitama pref.	Probably the same as above
C. H-Seitosho, Makabe, Ibaraki pref.	Soil from a field near Mt. Tsukuba, Ibaraki pref.	920°C
D. S-Sangyo Co., Kitaibaraki city, Ibaraki pref.	Clay shale between the layers of coal at Isohara, Kitaibaraki city, Ibaraki pref.	1,030~1,050°C
E. S-Yogyo Co., Hekinan city, Aichi pref.	Subsoil of paddy field near Anjo city, Aichi pref.	980°C
F. H-Seitosho, Takahama city, Aichi pref.	Subsoil of paddy field at Ashiike, Kariya city, Aichi pref.	920~930°C
G. I-Seitosho, Tokoname city, Aichi pref.	50%, soil from hills in Tokoname city, Aichi pref. 30%, Fuki clay, Aichi pref. 20%, Kibushi clay, Aichi pref.	850°C

Fig. 1. Permeability to air of clay bodies in relation to firing temperature.

結果

通気率と透水性は焼成温度による変化が大きいので、両者のグラフは対数目盛で示した。

(1) 通気率 第1図に示すように、460°Cまでの間では、焼成温度による通気率の差はあまりみられないが、それ以上の温度では増加の程度が大きくなり、産地間に差が認められるようになる。特徴的なことは、860~950°Cを境にして、それより高い1,045°Cにかけて、愛知県内のいわゆる三河地方産のEとF区、および茨城県真壁産のC区のように通気率が著しく増加するもの、東京産のA、B両区のように減少するもの、また茨城県北茨城産のD区と愛知県常滑産のG区のように、あまり変化しないものとの3種類に大別されたことである。

C、E、F区はいずれも1,045°Cで最高値を示し、それより80°C高い1,125°Cの場合には急激に減少する。E、F両区はなおかなり高い値を示すが、C区は特に減少程度が甚だしく、全区間で最も低い値を示している。なおC区は875°Cから965°Cにかけての増加程度が大きい。E、F両区は965°Cから1,045°Cにかけての増加が著しい。東京産のA、B両区は965°Cの時にピークに達し、1,045°Cでは急激に低下している。D区とG区は965°Cまでは各焼成温度ともに他区より低い傾向にあり、また1,000°C前後での大きなピークもみられない。ただし1,045°C以上については調査しなかったため、D区ではピークに達する温度を明らかにできなかった。

1,045°Cでの通気率は、C、E、F区での増加が著しく、875°Cの値に比べそれぞれ、4.7、7.4および4.6倍に

なっていた。また最高値を示したE区と、最低値のA区との間には約40倍の開きがあった。

(2) 透水性 第2図に示したとおりで、965°Cおよび1,125°Cにおける調査は行ななかったが、第1図に示した通気率のグラフと極めてよく類似している。すなわち、465°C以上に焼成温度を上げてゆくと、透水性は各地区産とも増加するが、875°Cを境にして、C、E、F区のように急激に上昇するもの、A、B両区のように著しく低下するもの、およびD、G両区のようにあまり変化しないものの3種類にわかれていた。そして同一焼成温度における各地区産の透水性の大小の順位は、通気率の場合とはほぼ一致した。ただし、焼成温度の相違による透水性の増減の程度は通気率の場合に比べて大きく、C、E、F区は1,045°Cにおける値は、875°Cのそれに比べ、それぞれ6.3、8.6、8.7倍となり、また最も大きいE区と最も小さいA区との間には約400倍の開きがあった。

1,045°Cで比較した場合、透水性は通気率の1/100~

Fig. 2. Permeability to water of clay bodies in relation to firing temperature.

Fig. 3. Water absorptio of clay bodies in relation to firing temperature.

Fig. 4. Apparent porosity of clay bodies in relation to firing temperature.

1/1,000 の値を示しているが、C, E, F 区など透過性の良好なものは、ほぼ 1/100 位であるのに対し、D, G 両区は 1/200 位であり、また A, B 両区など透過性の劣る区は数百分の一ないしそれ以下であることがわかる。

(3) 吸水率と見掛気孔率 第3図および第4図から、吸水率と見掛気孔率のグラフが極めてよく類似していることが明らかである。すなわち、875°C までは各地区産とも焼成温度による変化はあまりみられないが、

Fig. 5. Apparent specific gravity and bulk specific gravity of clay bodies in relation to firing temperature.

1,045°C になるとどちらも急激に低下しており、特に A, B 両区の減少が著しい。低温では概して A, B 両区の値が大きく、D, G 両区が小さいが、1,045°C では、A, B 両区が G 区とともに最も小さい値を示している。

産地間の違いを比べてみると、透過性（第1, 2図）については、どの温度でもほぼ E 区が最も高い値を示しているが、吸水率と見掛気孔率（第3, 4図）に関しては、E 区は 460°C では A, B 両区に劣るが、875°C では逆転し、1,045°C ではその差が極めて大きくなっている。また D 区と G 区を比べると、透過性では常に G 区が劣るが、吸水率や見掛気孔率では、875°C までは逆に G 区が優っている。

(4) 見掛比重と嵩（かさ）比重 第5図に示したように両者ともに 875°C までは、焼成温度による変化はあまりみられないが、1,045°C になると見掛比重では各区ともわずかに減少し、嵩比重では各区ともかなり増加している。見掛比重ではどの温度でも C 区の値が大きく、他の各区間にはあまり差はみられない。嵩比重では、865°C までは D 区が全般的に高く、A, B, E 区が低い、1,045°C では A, B 両区の増加が著しく、G 区とともに高い値を示した。

考 察

既に報告したように、素焼きばちの焼成温度は 700~1,000°C 内外まで、生産業者によってかなりの相違がみられる。この理由としては、原料粘土の理化学的性質、焼成条件の違い、また単に業者の慣行によるものなどが考えられる。そこで実際に各生産業者の使用している粘

土を種々の温度で焼いてみると、粘土の種類によって、かなり素地（きじ）の物理的性質が変化することが前述の結果から明らかである。

A, B 両区はともに現在は埼玉県八潮市の田土下層土を主原料としているが、業者はともに、粘土を固めて作ったいわゆる「だるま」といわれる古典的なかまを用いており、組み焼き（はちを成型乾燥後、重ねて炉に入れて焼くこと）や、900°C 位の温度での焼成は、焼成中に型がくずれてしまうのでできないとされている。本試験では円板を作って焼成したので、その点については明らかではなかったが、950°C から 1,000°C へかけての比較的低温で透過性や見掛気孔率が著しく減少することからみて、いわゆる耐火度の低い原料であることがうかがわれる。この地区の業者はまきを燃料としており、焼成温度も正確に測ったことがなく、多分 700°C 位だろうとっているが、本試験の結果から推定すると、もう少し高温で焼けばわずかに透過性が改善されるように思われる。

C 区は 1,045°C で透過率が最も高くなっている。ただしそれ以上の温度では焼結が著しく、透過性がほとんど失われて、ちょうどかた焼きの駄温（だおん）ばちのようになってしまうことなどからみて、920°C という業者の焼成温度はほぼ妥当な値であるといえよう。

E, F 両区はともに愛知県三河地方の粘土で性質が類似している。すなわち、各焼成温度で他区より透過率がすぐれ、しかも 965°C から 1,045°C にかけて急上昇して 1,045°C でピークを示している。しかも 1,125°C では通気率が減少するものの、茨城県真壁産 C 区のように急降下せずに、他区より高い値を示しており、供試各区の中では最もすぐれた材料であるといえよう。ちなみに市販の素焼きばちの中では最も明るい色を呈しており、外観も最も良好である。業者は、E 区は 980°C、F 区は 920~930°C で焼成しているといっているが、本試験の結果から、もう少し高温の方がさらに透過性が改善されることが予想される。

D 区の原土は福島から茨城にかけての常磐炭坑の石炭層の間にある頁岩で、粒子が細かく均質で、高温でないと物理的強度が不充分であるといわれており、業者は 1,030~1,050°C というかなり高い温度を用いている。875~1,045°C の間で透過性があまり変化しないことからみて、高温焼成でも差支えなく、むしろ物理的強度の増加のために、このような高温焼成が行われているものと考えてよいであろう。

G 区は常滑およびその附近の富貴地区の山土に木節粘土を混合したもので、どちらかといえば一般の陶磁器の原料に近いものであり、むしろ透過性の低い材料を使用

しているといえよう。1,045°C の場合を除くと供試各区の中で最も透過率が低く、焼成温度による透過率の変化は D 区とよく類似している。その業者はなるべく通気性を高めるためやや低い温度で焼いているといっているが、本試験の結果では 875°C と 1,045°C との間にはあまり差がみられず、高温によって透過性は劣化しないが、低温でもよいことがわかる。現在常滑地区でののはち生産は化粧ばち、または駄温ばちが主体で、素焼きばちはほとんどみられないが、これは同じ愛知県でも三河地区のように素焼きばちに好適な粘土がえられないためであろう。

素焼きばちではどの程度の透過性を有するものが最も良質であるかという問題については、まだ報告がみられないが、これには対象作物の種類、栽培の時期と管理方法、またははち内の土壌の排水性と保水性などを考慮しなければならず、いちがいに透過性のよいはちほどすぐれているとはいえないかもしれない。しかし、たとえば素焼きばちと駄温ばちを比べ、前者の特質ははち壁からの水分蒸発によって透過性が高いことからみて、素焼きばちとしては、できるだけ透過性のよいことが期待されているものと考えてよいであろう。

以上のように空気や水分の透過率については、焼成温度と粘土の種類によって著しい変化がみられるが、一方吸水率や見掛気孔率については、875°C までは温度による差があまりなく、1,045°C で各区とも著しく減少しており、この温度で焼結が行われたことが明らかである。第 1 報で述べたように、吸水率や見掛気孔率には素地の開孔空げき部分の容積が関係しており、1,045°C ではこれがどの区においても減少したこと、特に A, B 両区にこの傾向が著しいことが示されている。

第 5 図で明らかのように、見掛比重は焼成温度による変化が少なく、嵩比重は 875°C までは A, B 両区が小さくて D 区が大きい。この理由は、見掛比重と嵩比重はそれぞれつぎのように書き表わせるから (6)、

$$\text{見掛比重(仮比重)} = \frac{\text{重量}}{(\text{物質部分} + \text{密封空げき部分}) \text{の容積}}$$

$$\text{嵩比重(容積比重)} = \frac{\text{重量}}{(\text{物質部分} + \text{密封空げき部分} + \text{開孔空げき部分}) \text{の容積}}$$

A, B 両区は開孔空げき部分が多く、一方 D 区は少ないことによるものと考えられる。このことはまた粘土粒子の充てん度が前者では低く、後者では高いことが予想される。1,045°C で各区とも見掛比重がやや減少し、嵩比重が急激に増加しているが、このことは密封空げき部分が増加したこと、また特に開孔空げき部分が減少したことによるものと考えられる。また C 区は見掛比重が他

区よりかなり高く、嵩比重は中位であるが、これは粘土の比重が大きいことと開孔空け部分がやや大きいことによるものであろう。

BRINDLEY ら (1) は焼成体の性質に及ぼす要因として、材料の鉱物組成、化学成分、粒度構成、成型および焼成条件をあげ、カオリナイト、石英、雲母の混合割合が収縮や孔けき率に及ぼす影響について報告している。また素木ら (7) は種々の粘土の透過性を検討し、焼成温度を高めることにより、連続した毛細管が多量にできるか、または直径の大きな毛細管が生ずることにより通気率が増加するが、 Al_2O_3 、 SiO_2 分子の会合の際の部分的な収縮によって生ずるき裂が最も通気率に影響すると述べている。しかし透過性に及ぼす条件については、主として坏土の粒度組成と化学的性質などによるものであろうが、窯業関係の書籍にもほとんどとりあげられていないようである (3, 4, 5, 6)。これは瓦や素焼きばちのように天然の粘土を材料にしたものでは、実験結果に及ぼす要因が多すぎて考察しにくいこと、また窯業関係では従来透過性を問題にする分野が少なく、研究があまり進んでいなかったことなどによるものであろう。なお本試験に用いた坏土の理化学的性質については現在調査中である。

実際に業者が製造した素焼きばちの透過性の調査結果 (8) と本試験とを比較してみると、C, E 両区が他区に比べて良好な値を示していること、A, B, G 区が劣っていることなどはほぼ一致したが、D 区と F 区とでは、市販のものは D 区がかなりよいが、本試験では F 区の方がやや優れていた。ただしその理由については明らかではない。しかし概して、市販のはちと本試験で作成した素焼き片とは製造工程がかなり異なるにもかかわらず、透過性の程度においてかなりよく一致していたということができよう。また以上の結果から、原料や焼成方法によってかなり異なるであろうが、現行より全般的にもう少し焼成温度を高くすることにより、透過性がさらに改善される可能性がある。しかしながら、現在の各製造業者はそれぞれ自らの原料にかなりよく適した焼成温度を用いているといつてよいであろう。

摘 要

市販の素焼きばちの焼成温度が各地の生産業者によってかなり異なる理由を検討するため、7 種類の素焼きばち用の坏土（はいど）を取りよせて焼成を行い、その物理性の変化を調査した。坏土を圧延、型抜きをして自然乾燥後、さらに 50°C で 1 晩乾燥してから、実験用マツフル炉内で 250°C から $1,045^\circ\text{C}$ まで約 200°C 間隔の各温度で焼成した、上昇温度は $100^\circ\text{C}/\text{h}$ とし、所定温度に上

昇後、1 時間その温度を持続させた。

(1) 通気率は 460°C までは各区ともほとんど変化しないが、それ以上の温度では各区とも増加し、また産地間の差が認められた。 875°C 以上では愛知県三河地区産 (E, F 区) および茨城県真壁産 (C 区) のように、 $1,045^\circ\text{C}$ まで著しく増加するもの、東京産 (A, B 両区、原土は埼玉県八潮市) のように 950°C 前後をピークとして以後著しく減少するもの、または茨城県北茨城産 (D 区) および愛知県常滑産 (G 区) のように、比較的低いが、 $1,045^\circ\text{C}$ まであまり変化しないものの 3 種類のグループに大別された。

(2) 透水率の焼成温度による変化は、通気率の場合と極めてよく一致しており、通気率と同様 3 種類のグループにわかれた。また通気率の $1/300 \sim 1/500$ 位の値を示す場合が多かった。

(3) 吸水率と見掛気孔率の変化は極めてよく類似しており、 875°C までは焼成温度による相違はみられないが、 $1,045^\circ\text{C}$ ではどの地区産のものも著しく減少した。特に東京産の両区 (A, B) でその傾向が甚だしかった。低温では東京産の値が大きく、茨城県北茨城産 (D 区) と愛知県常滑産 (G 区) の両区が小さかった。

(4) 見掛比重はどの温度でも茨城県真壁産 (C 区) が大きく、他区間にはあまり差がみられないが、 $1,045^\circ\text{C}$ では各区とも減少した。嵩比重では東京産 (A, B 両区) が小さく、茨城県北茨城産 (D 区) が大きかった。 $1,045^\circ\text{C}$ では各区とも急激に増加したが、特に東京産 (A, B 両区) で著しかった。

(5) 本試験で作成した素焼き片と市販の素焼きばちとでは、製造工程がかなり異なるにもかかわらず、透過性の傾向はかなりよく一致していた。

謝 辞 本論文の御校閲を賜った東京大学岩田正利教授、ならびに試料を提供していただいた生産者各位に対し厚く謝意を表する。

引用文献

1. BRINDLEY, G. W., D. M. MARONEY, and S. UDAGAWA. 1961. High-temperature reactions of clay mineral mixtures and their ceramic properties. III. Shrinkage and porosity in relation to initial mineralogy. J. Amer. Ceram. Soc. 44(1) : 42—47.
2. EASTOE, J. E., and A. G. POLLARD. 1959. Some effects of the flowerpot on plant growth. Plant and Soil. 11 : 331—342.
3. GRIMSHAW, R. W. 1971. The chemistry and physics of clays and other ceramic materials. Ernst Benn Ltd. pp. 813—821.
4. KINGERY, W. D. 1967. Introduction to ceramics. John Wiley & Sons, Inc. pp. 402—408.

5. 近藤連一. 1973. 多孔材料—性質と利用. 技報堂. pp. 245—247.
6. 素木洋一. 1969. わかりやすい陶磁器. 技報堂. pp. 259—266.
7. ———・河島千尋. 1943. 特殊陶磁器（多孔性濾過体）に関する研究（第4報）珪藻土（岡山県産）—木節粘土—カレット系多孔性素地に就て. 窯協. 51: 630—639.
8. 田中 宏・岡本隆博. 1974. はち物容器に関する研究（第1報）素焼きばちの物理性について. 園学雑. 43(2): 174—180.