窯業廃棄物及び低品位粘土を活用した陶管製造技術に関する研究

森川泰年　加藤勝正　福永　均　加藤忠義

Study of Clay Pipe Product With
Ceramic Trash and Poor Clay
by

Hirotoshi MORIKAWA, Katsumasa KATO,
Hitoshi FUKUNAGA and Tadayoshi KATO

下水道用排水管として使用される陶管の長尺化あるいはソケットレス化への移行に対処するため，坏土を低水分高圧力で成形することにより，乾燥および焼成過程において低収縮で，かつ，製品強度の高い素地の開発研究をした。また，未活用資源の有効利用をはかるため，頁岩粘土に窯業廃棄物あるいは低品位粘土を30～50%の範囲で添加して活用化試験もおこなった。その結果，成形水分13%台で高圧力成形した素地は，全収縮率で41%減（6.8%）、強度で49%増（470kgf/cm²）の素地が得られた。

1．ま え が き

現在，下水道用排水管として使用されている陶管は，1．生産性　2．施工性　3．水密性に問題を持っている。これ等問題点は，つぎに起因すると考えられる。すなわち，1は，製造工程において，乾燥および焼成過程で素地収縮が大きいことである。このため，寸法精度の高い製品が得られにくく製品歩留りの低下をきたし，施工における接合の問題まで波及し，漏水，浸水の原因となっている。　2は，陶管が他の排水管と比較して短管であることである。これは，接合部が多いことから施工を煩雑にし，かつ，漏水，浸水の問題がおきやすい。　3は，陶管にソケットが存在することで，陶管が焼成品であるがために，成形時の内部歪に起因する破損あるいは歪が，乾燥および焼成過程で拡大出現することである。このため，製品歩留りの低下をきたし，かつ，接合部からの漏水，浸水の問題をおこしている。さらに，ソケットを付けることが，成形能力を減退させて生産性の低下をきたしている。

このため，寸法精度の向上，長尺化およびソケットレス化に対する技術的努力が数年来なされているが，今だ根本的解決に至っていない。

本研究は，これらに対応する素地の開発を目的とする。このため陶管用素地の主原料として使用されている頁岩粘土に，可塑性粘土の添加や、骨材として珪砂，融剤として長石を添加して，乾燥および焼成過程での収縮をおさえ，寸法精度の条件を満足せしめ，これによって生ずる成形性の困難さや，強度の欠点を，低水分，高圧力成形法あるいは成形助剤の活用により解決をはかり，さらに素地強度の増大をはかることを基礎技術として研究する。これに合せて，頁岩粘土採掘の際に夾雑物として産出する低品位頁岩粘土，ガラス用原料としての珪砂の精製工程から排出する珪砂廃土および土木建築用コンクリート骨材として使用される山砂利および山砂の精製工程から排出する山砂利廃土についての基礎性状と，これが陶管用原料として使用した際の使用限界を追求し，産業廃棄物の資源化技術も合せて確立するものである。

2．試 験 方 法

2．1　原材料

2．1．1　基礎性状試験に用いた原料

頁岩粘土：常滑地区陶管素地の主原料として，現在使用されているもので，地質は，第三紀鮮新層常滑層群に属す。**表1**に化学分析結果および耐火度を表わす。

表1　基礎試験に用いた原料の化学組成および耐火度

原料	化学組成（%）									耐火度
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ig-loss	（SK）
頁岩粘土	66.36	17.11	5.07	0.72	0.60	0.83	0.82	0.46	7.03	12
廃　土	52.60	27.32	4.51	0.66	0.27	0.21	1.17	0.08	11.56	33
珪　砂	94.30	2.59	0.19	0.12	0.03	0.02	1.99	0.11	0.22	29
長　石	68.39	16.93	0.32	0.13	0.28	—	11.50	1.39	0.34	8

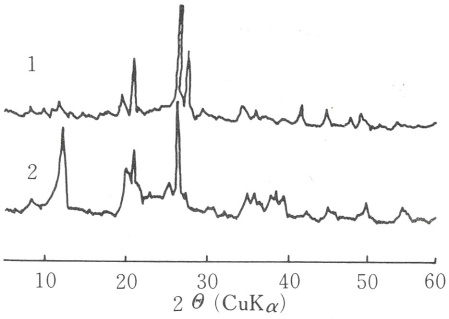


図1　基礎試験に用いた試料のX線回折図
1：頁岩粘土
2．廃　　土

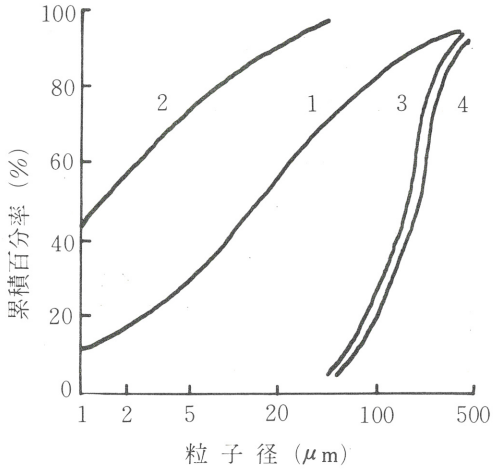


図2　基礎試験に用いた試料の粒度分布曲線
1：頁岩粘土　　2：廃　　土
3：珪　　砂　　4：長　　石

化学組成は、$SiO_2$66%，$Al_2O_3$17%を含有する。耐火度は，SK12である。鉱物組成は，図1のX線回折結果から，石英，ハロイサイト，長石および雲母を含有する。粒度は，**図2**に示すごとく，5μm以下粒子を30%含有する。

廃　　土：豊田市および瀬戸市地区で産出するガラス用原料としての珪砂の精製工場から排出する廃土であるが、水ひ工程を経るため，粘土含有量の多い原料である。したがって，表1の化学分析結果では，Al_2O_3含有量が27%をしめ，耐火度はSK33である。図1のX線回折結果ではカオリナイト含有量が多い。図2の粒度分布曲線から5μm以下粒子を74%含有する。また，図5のDTA曲線には代表的なカオリナイトのピークが現われている。

珪　　砂：山砂利の精製工程から排出する微砂で，表1から$SiO_2$94%を含有するもので，主要鉱物は石英である。図2から44～500μmの範囲の粒子を96%含有する。

長　　石：珪砂の精製過程で，珪砂から浮遊選鉱法により選別された長石である。表1の化学分析結果から，アルカリ含有量は約13%をしめ，そのうちK_2O含有量は，約12%をしめるもので，耐火度はSK8である。図2から，44～500μmの範囲の粒子を約96%含有する。

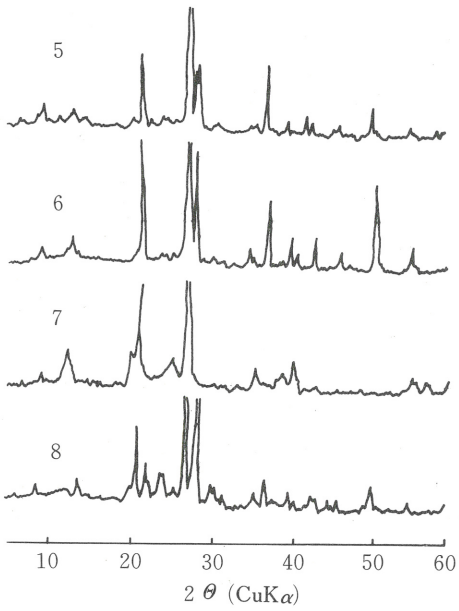


図3　低品位粘土および窯業廃棄物のX線回折図
5：低品位頁岩粘土　6：珪　砂　廃　土
7：山砂利廃土（粘土質）　8：山砂利廃土（長石質）

表2　活用化試験に用いた原料の化学組成および耐火度

原料	化学組成（%） SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ig-loss	耐火度（SK）
低品位頁岩粘土	78.77	12.77	1.76	0.47	0.77	0.49	0.98	0.80	2.60	10
珪砂廃土	81.72	9.70	1.09	0.37	0.11	0.16	2.89	1.46	2.82	16
山砂利廃土（粘土質）	68.90	19.30	2.61	0.48	0.02	0.32	1.42	0.26	6.71	27
山砂利廃土（長石質）	65.90	19.90	2.60	0.24	1.51	0.65	1.93	2.81	4.33	6

2・1・2　活用化試験に用いた低品位粘土および窯業廃棄物

低品位粘土として低品位頁岩粘土を1種類，窯業廃棄物として，珪砂廃土1種類と山砂利廃土2種類の合計4種類を使用した。これら原料について，**表2**に化学分析結果および耐火度を表わし，**図3**にX線回折結果，**図4**に粒度分布および**図5**にDTA測定結果を示す。

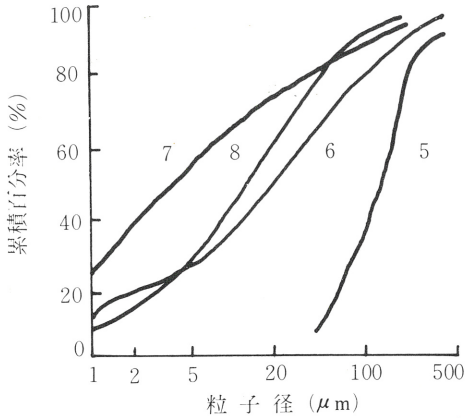


図4　低品位粘土および窯業廃棄物の粒度分布曲線
5：低品位頁岩粘土　6：珪砂廃土
7：山砂利廃土(粘土質)　8：山砂利廃土(長石質)

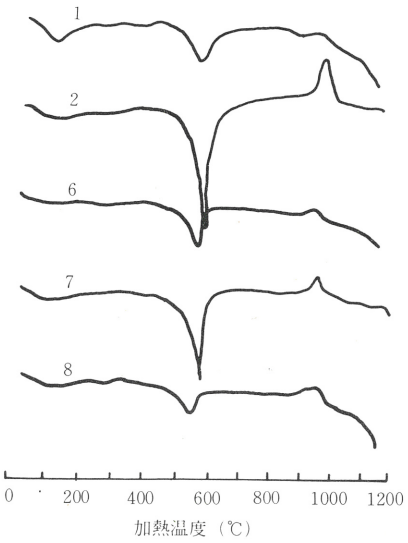


図5　低品位粘土および窯業廃棄物のDTA曲線
1：頁岩粘土　2：廃土
6：珪砂廃土　7：山砂利廃土(粘土質)
8：山砂利廃土(長石質)

低品位頁岩粘土：陶管用素地の主原料として使用される頁岩粘土鉱床中に夾雑物として産出する砂質のものであり，原土中に多量に，層状をなして混入している。現在はほとんど使用されていない。

頁岩粘土と比較すると，表1と表2の化学分析結果から，低品位頁岩粘土は，頁岩粘土より SiO_2 が約12%，Ig-lossが約4%多い反面 Al_2O_3 が約4%，アルカリが0.4%少ない。この結果から，低品位頁岩粘土は，頁岩粘土に比べ粘土分が少なく長石分が多いことが推察される。これは，図1および図2のX線回折結果にも示されており，かつ，耐火度も頁岩粘土のSK12に対しSK10と低い結果を示す。粒度は，44～500μmの範囲の粒子を90%含有し，頁岩粘土より粗粒が多い。

珪砂廃土：豊田市および瀬戸市で産出するガラス用原料である珪砂の精製工場から排出する産業廃棄物で，その排出量は，年間40万トンとも言われている。表2の化学分析結果から，SiO_2 約82%，Al_2O_3 約10%，その他にアルカリ約4%を含有するもので耐火度はSK16である。図3のX線回折結果から石英，カオリナイトおよび長石を含有する。粒度は図4から5μm以下粒子23%，5～44μmの範囲の粒子を36%含有する。

山砂利廃土：豊田市および瀬戸市で，コンクリート用骨材として使用される山砂利を精製する際に排出するものである。年間排出量は約70万トンで，粘土質を含有する粘土質廃土と長石質を含有する長石質廃土があり，その比率は，前者が75%，後者が25%である。

表2の化学分析結果から，粘土質廃土は，SiO_2 約69%，Al_2O_3 19%を含有し，耐火度はSK27である。図3のX線回折結果および図5のDTA曲線に，カオリナイトが検出される。粒度は，図4から5μm以下粒子を55%，5～44μmの範囲の粒子を33%含有する。

長石質廃土は，表2の化学分析結果から，SiO_2 66%，Al_2O_3 20%を含有し，かつ，アルカリ，Fe_2O_3 およびCaOの含有量が多い。耐火度はSK6である。図3のX線回折結果から長石含有量が多いことがわかる。粒度は，5μm以下粒子を27%，5～44μmの範囲の粒子を47%含有する

2・1・3　成形

成形性の向上を[illegible]として成形助剤の添加による効果を検討した。表[illegible]使用した8種類の成形助剤を表わす。添加量は、[illegible]Cは0.05%で珪酸ソーダ、フミン酸ソーダ，ピロリ[illegible]酸ソーダおよび炭酸ソーダはいずれも0.5%である。

2・2　物性値の測定

坏土の調整：原料を所定の割合で秤量したもの4kgを25ℓ容量の万能混合撹拌機を用いて，撹拌速度50

表3　成形助剤の種類

成形助剤	品　質　等
珪酸ソーダ	1号　日本化学工業㈱製
フミン酸ソーダ	帝石テルナイト工業㈱製
ピロリン酸ソーダ	試薬特級　林純薬工業㈱製
炭酸ソーダ	試薬1級　キシダ化学㈱製
C・M・C	キシダ化学㈱製

回/minで10分間混合し，その後，水あるいは成形助剤を添加した水溶液を所定の割合（湿潤基準）で添加し，更に10分間攪拌したものを坏土とした。

成形性の測定：上記坏土を用いて，真空土練機により直径15㎜，長さ150㎜の丸棒を成形し，その時の土練機先端部の金型に取り付けられた圧力計により成形時の坏土の圧力を測定し，かつ，成形に要する消費電力もアンメータから読み取った。更に，成形体はただちに表面温度計で表面温度を測定した。また，硬度計（日碍式）により試験体の硬度も測定した。

生素地の性状：成形した試験体を，110℃の乾燥器中で乾燥し，その時の収縮率（湿潤基準）を測定した。更に，これを引っ張り試験機により曲げ強さを測定した。スパン間隔78.5㎜，加圧速度1㎜/minである。

焼成素地の性状：乾燥した試験体を炭化珪素発熱体を用いた容量40KWの電気炉を用いて，昇温速度60℃/hで1050～1250℃の範囲で50℃おきで焼成した。この試験体について，全収縮率，吸水率および曲げ強さを測定し，更に，荷重に対する撓み量も測定した。全収縮率は湿潤基準で算出し，吸水率は，JIS R2205による。また，曲げ強さの測定は，生素地の曲げ強さの測定と同じ方法による。撓み荷重の測定は，引っ張り試験機を用いて，曲げ試験と同様の要領で加圧し，その時の撓み量を測定した。

熱的性状の測定：乾燥から焼成過程での性状を検討するために，生素地について，高温加熱顕微鏡による溶融状態の観察と，自動熱膨張測定装置による膨張および収縮について測定をおこなった。高温加熱顕微鏡観察は，試験体の大きさ直径3㎜，長さ3㎜昇温速度5～10℃/minで，熱膨張試験は直径8㎜，長さ50㎜の試験体を用いて，昇温速度4℃/minで実施した。

3．試験結果と考察

3・1　基礎性状の把握

この試験は，陶管用主原料として使用される頁岩粘土と，廃棄物を代表する廃土についての性状を別々に究明し，活用化試験の基礎資料とした。

素地は，頁岩粘土に珪砂および長石を配合した素地，すなわち頁岩粘土系素地で，この素地の成形性，乾燥性状および焼成性状を測定した。他方，廃土についても同様に，珪砂および長石を配合した廃土系素地について性状を測定した。更に，成形水分の影響，骨材粒度の影響および成形助剤の添加効果についても試験をおこなった。

3・1・1　頁岩粘土系素地の性状

図6に頁岩粘土60～100%，珪砂0～30%および長石0～30%のそれぞれの範囲で，10%おきに配合した頁岩粘土系素地の配合割り付け図を示す。

（1）　成形性および生素地性状

図7に頁岩粘土系素地の水分16.6%で成形したときの成形性状および生素地性状の測定結果を示す。成形性状のうち成形圧力は，頁岩粘土単味の場合，26kgf/㎠

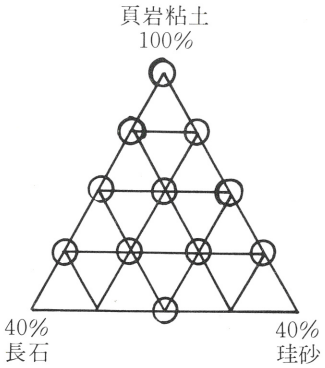


図6　頁岩粘土系素地の配合割付図

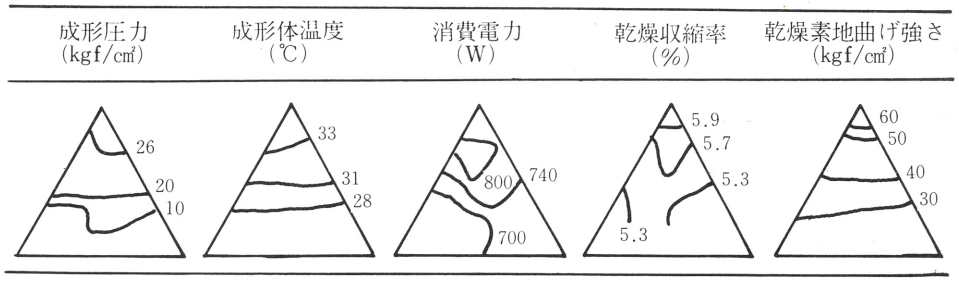


図7　頁岩粘土系素地の成形性，生素地性状

成形水分：16.6%

を示すが，珪砂あるいは長石添加量が増加するにしたがって成形圧力は低下する。頁岩粘土含有量が70%のとき約10kgf/㎠の値を示す。成形体の温度は，頁岩粘土単味では約33℃を示すが，頁岩粘土70%含有では28℃と低い温度を示す。消費電力は，成形圧力と同様，頁岩粘土含有量の多いほど大きく，少なくなると減少する。珪砂あるいは長石については，いずれを使用しても差は認められない。

生素地の性状で，乾燥収縮率は，頁岩粘土単味では約5.9%の収縮を示すが，頁岩粘土含有量70%では5.3%と減少する。乾燥曲げ強さも同様，頁岩粘土単味では60kgf/㎠の値を示すが頁岩粘土70%含有素地は30kgf/㎠と半減する。なお，珪砂あるいは長石については，いずれを使用しても差は認められない。

（2）　焼成性状

図8に頁岩粘土系素地の焼成性状を示す。図8から全収縮率は焼成温度1050～1200℃の範囲においては，頁岩粘土含有量が多いほど収縮率が大きいことを示している。また，焼成温度が高くなるほど収縮率は増大する。1050℃焼成素地では7～9%，1100℃では9～11%，1150℃では10～12%および1200℃では11～12%の範囲の値を示す。1250℃焼成素地については，前記焼成素地とは若干性状を異にし，頁岩粘土含有量80～90%および長石含有量10～20%の範囲の素地が最も小さい値を示す。この現象は，頁岩粘土が過焼成発泡状態に近い状況にあることが推察される。

以上の結果から，全収縮率を小さくするには，頁岩粘土含有量を少なくし，かつ，焼成温度を低くすればよい。

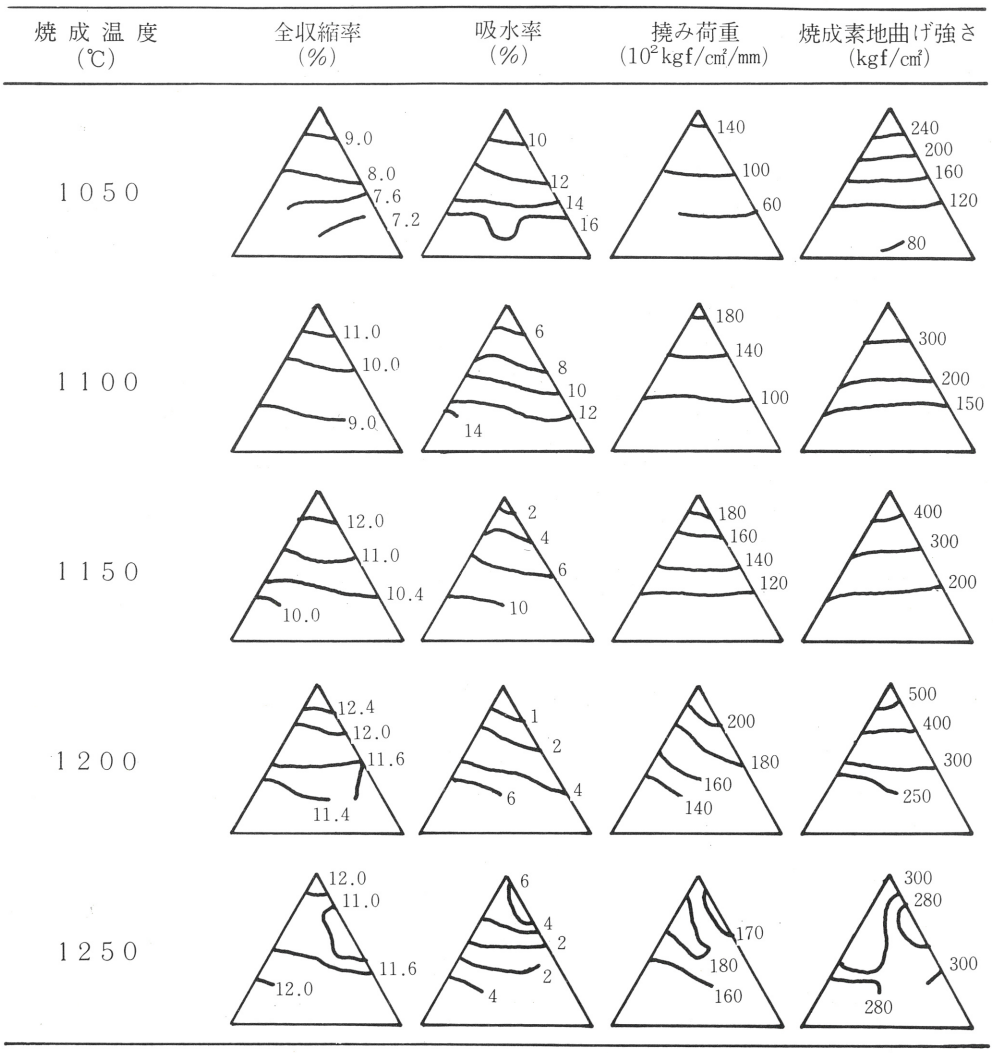


図8　頁岩粘土系素地の焼成性状

吸水率については，焼成温度1050～1200℃の範囲では，頁岩粘土含有量が多いほど小さい値を示す。
また，焼成温度が高くなるほど小さい値を示す。1050℃焼成素地は，10～16%，1100℃では6～14%，1150℃で2～10%および1200℃では 0.5～6%の範囲の値を示す。なお1250℃焼成素地は，頁岩粘土含有量80%附近で極小となり，その値は2%を示し，頁岩粘土含有量がこれより増加あるいは減少しても値は大きくなる。以上の結果から，吸水率を小さくするには，頁岩粘土含有量を多くし，かつ，焼成温度を高くすればよい（ただし，最高1200℃まで）。

撓み荷重については，焼成温度1050～1200℃の範囲では，頁岩粘土含有量が多いほど値は大きくなる。このうち，1200℃焼成素地は，珪砂より長石の含有量が多いほど値は大きくなる。1050℃焼成素地では60～140×10^2kgf/㎠/mm，1100℃では100～180×10^2kgf/㎠/mm，1150℃では120～180×10^2kgf/㎠/mmおよび1200℃では140～200×10^2kgf/㎠/mmの値を示す。1250℃焼成素地は，これらの傾向と異なる。以上の結果から，撓み荷重の小さい素地，すなわち耐衝撃性の強い素地を得るには，珪砂あるいは長石含有量の多い素地で，かつ，低温焼成するとよい（ただし，最高1200℃までの焼成素地）。

焼成素地曲げ強さについては，焼成温度1050～1200℃の範囲では，頁岩粘土含有量が多いほど強度が大きくなる。また，焼成温度が高くなるほど強度が大きくなる。1150℃では200～400kgf/㎠および1200℃では250～ 500kgf/㎠の値を示す。1200℃焼成素地は1050℃のそれの約2～3倍の値を示す。

なお1250℃焼成素地はこれら素地と異った傾向を示す。以上の結果から，焼成素地の曲げ強さを増大させるには，頁岩粘土含有量を多くし，かつ，焼成温度を高くすればよい（ただし，最高1200℃までの焼成素地）。

（3）　適応範囲

陶管は製造工程で乾燥収縮および焼成収縮が大きいことを冒頭で述べたが，収縮率は小さければ小さいほど製造工程での歩留りの向上が期待できる。

本研究においては，目標値として乾燥収縮率を6%以下，全収縮率を12%以下とした。また，乾燥素地を取り扱う上で必要な生素地強度として，乾燥素地曲げ強さを20kgf/㎠，更に，JIS規格から吸水率は10%以下，焼成曲げ強さは，現在の陶管素地に相当する素地強度として 200kgf/㎠として，その値の範囲に適応する素地の調合範囲を生素地および焼成素地に別けて調べた。頁岩粘土系素地の生素地についての適応範囲を**図9**に，焼成素地については**図10**に示す。

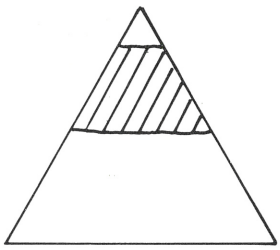


図9　頁岩粘土系生素地の適応範囲
適応範囲：斜線部

図9の水分16.6%で成形した頁岩粘土系素地の適応範囲は，頁岩粘土含有量が70～95%の範囲にある。

図10から，頁岩粘土系素地の適応範囲において，1050℃焼成素地は，頁岩粘土単味あるいは数%の珪砂または長石の含有する素地が適応することを示している。1100℃焼成素地は，頁岩粘土82～98%，1150℃では76～96%，1200℃では89%以下の範囲にある。なお，1250℃焼成素地の適応範囲は広いが過焼成発泡しているため除外する。以上の結果から，焼成温度が高いほど適応範囲は広がり，また，焼成温度が高いほど，珪砂あるいは長石含有量の多い素地に適応範囲が移る。

3・1・2　廃土系素地の性状

図11に，廃土を30～70%，珪砂20～50%および長石10～40%のそれぞれの範囲で10%おきに配合した廃土系素地の配合割り付け図を示す。

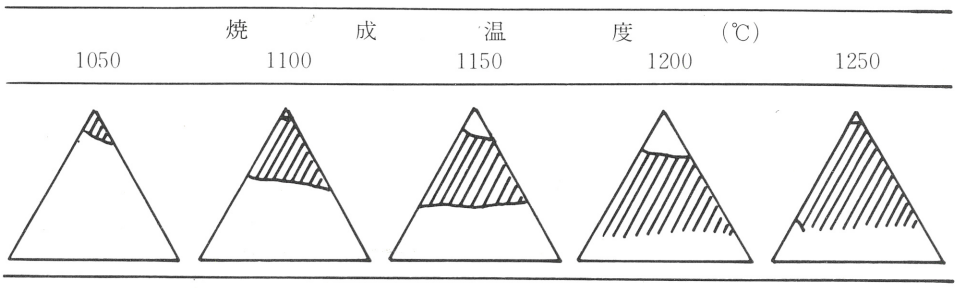


図10　頁岩粘土系焼成素地の適応範囲
適応範囲：斜線部

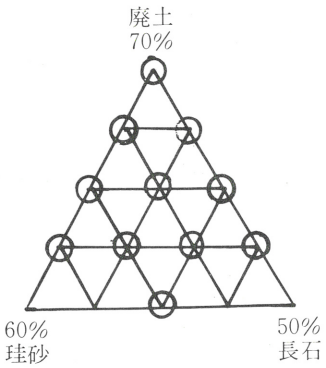


図11　廃土系素地の配合割付図

（1）　成形性および生素地性状

図12に廃土系素地の水分16.6%で成形したときの成形性状および生素地性状の測定結果を示す。図12から成形性状としての成形圧力は，廃土含有量70%の場合70kgf/㎠の値を示すが，珪砂あるいは長石の添加量が増すにつれて成形圧力は低下を示し，廃土含有量30%のとき約20kgf/㎠の値を示す。したがって，成形体の温度も廃土含有量70%では，約50℃を示すが，廃土含有量30%では30℃台と低い温度を示す。消費電力についても成形圧力と同様に，廃土含有量が多いほど大きい。廃土含有量70%のとき1000Wの値を示すが，廃土含有量30%では約 800Wの小さい値を示す。

生素地の性状は，乾燥収縮率で廃土含有量70%のとき約 3.5%の収縮率を示すが，廃土含有量の減少にともなって収縮率も増大し，含有量30%のとき約 4.5%の値を示す。この結果は，図７の頁岩粘土系素地の乾燥収縮率の傾向と比較すると,頁岩粘土系素地においては,頁岩粘土含有量の多いほど収縮率が大きい傾向を示し,廃土系素地と逆の傾向を示すことがわかる。このことは，図７と図12の成形体温度を比較すると，廃土系素地の成形体温度が頁岩粘土系素地のそれより高温を示すことから，廃土系素地は，成形時に試験体の水分が大量に蒸発することに起因し，高温になるほど低収縮になると推察される。乾燥素地曲げ強さについては，廃土含有量が多いほど強度が大きく，廃土含有量70%で約30kgf/㎠を示し，含有量30%では15kgf/㎠の値を示す。

（2）　焼成性状

図13に廃土系素地の焼成性状を示す。図13から，全収縮率は1050℃焼成素地では5.6～5.8%，1100℃では6.3～7.2%，1150℃では7.2～8.2%，1200℃および1250℃では8.0～9.0%のそれぞれの範囲にある。素地の配合割合から眺めた場合，全収縮率の差は，おおむね１%と少ないが，これは前項の乾燥収縮における収縮の影響が現われていると推察される。他方，焼成温度の影響については，温度が高くなるほど収縮率が増大する傾向を示す。

吸水率については，廃土の含有量が多いほど値は小さくなる。また，珪砂と長石の含有量については，珪砂より長石の含有量が多いほど，わずかながら小さな値を示す。1050℃焼成素地の吸水率は，14～19%，1100℃では11～16%，1150℃では８～14%，1200℃では８～14%および1250℃では６～12%のそれぞれの範囲にある。

撓み荷重については，焼成温度1050～1200℃の範囲の素地では，廃土含有量が多いほど大きい値を示す。珪砂あるいは長石の含有量については，これらいずれを使用しても値に大きな影響を与えない。しかし，1250℃焼成素地については，廃土あるいは長石の含有量が多いほど大きな値を示す。焼成温度については，温度が高くなるほど大きな値となる。1050℃焼成素地の撓み荷重は40～60×10^2kgf/㎠/mm,1100℃では40～80×10^2kgf/㎠/mm，1150℃と1200℃では，60～100×10^2kgf/㎠/mm，および1250℃では，80～120×10^2kgf/㎠/mmのそれぞれの範囲にある。

焼成素地曲げ強さについては，廃土の含有量が多いほど大きい値を示す。また，焼成温度が高いほど値は大きい。なお，焼成温度1200℃および1250℃では珪石より長石含有量が多いほど値は大きい。特に1250℃焼成素地が顕著である。1050℃焼成素地の曲げ強さは40～140kgf/㎠，1100℃では60～150kgf/㎠，1150℃では100～200kgf/㎠，1200℃では100～240kgf/㎠および

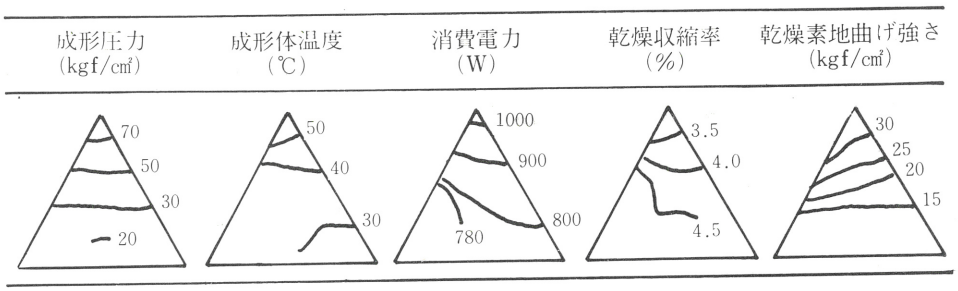


図12　廃土系素地の成形性，生素地性状

成形水分：16.6%

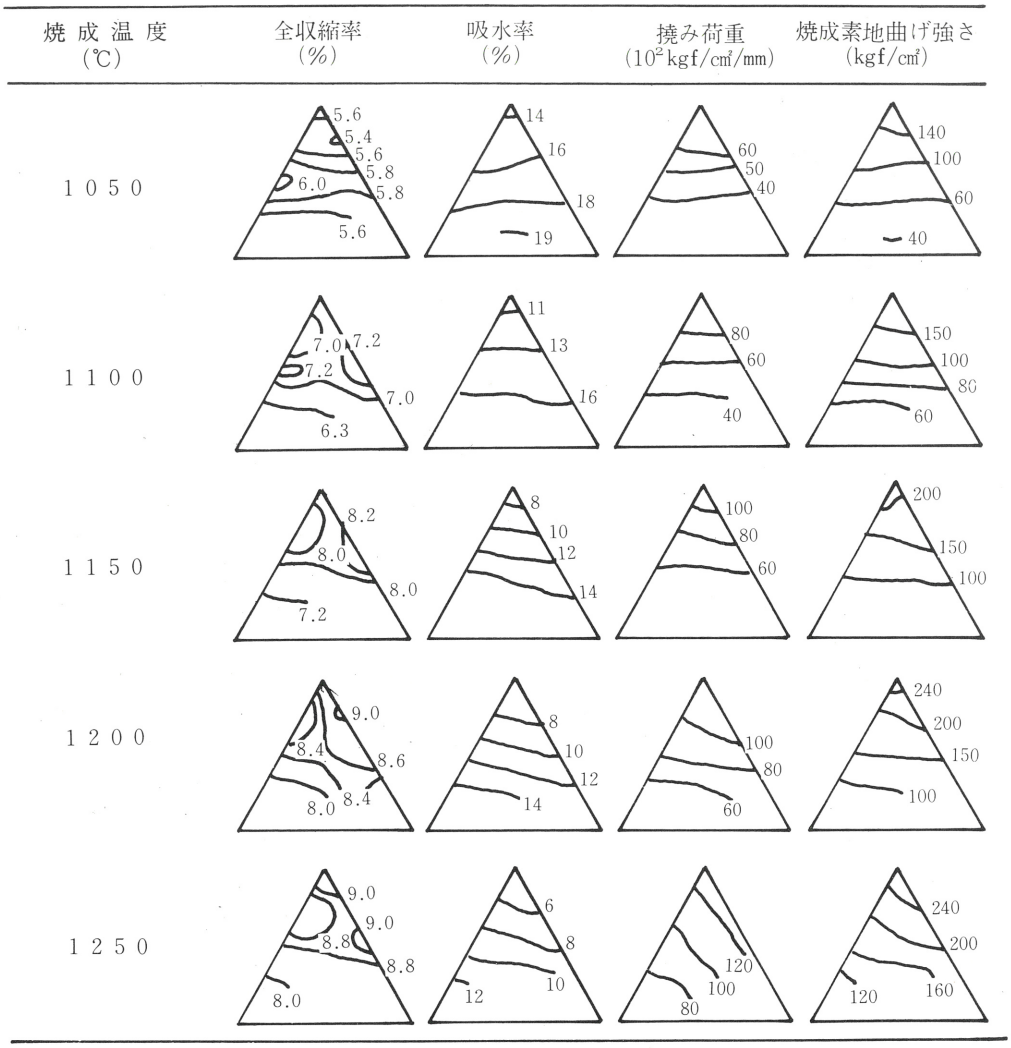


図13　廃土系素地の焼成性状

1250℃では120～240kgf/cm²のそれぞれの範囲にある。

（3）　適応範囲

3・1・1（3）の適応範囲で述べた目標値に適応する廃土系素地の配合範囲について，**図14**に生素地，**図15**に焼成素地をそれぞれ示す。図14から，水分16.6%で成形した廃土系素地の適応範囲は，廃土含有量が46%ないし53%以上である。図15から，廃土系焼成素地の適応範囲は，焼成温度1050℃および1100℃素地については，適応範囲なし。1150℃素地については廃土含有量65%ないし67%以上，1200℃では58%ないし62%以上および1250℃では46%ないし56%以上に，それぞれ適応範囲がある。

3・1・3　成形水分の影響

表4に頁岩粘土35%，廃土35%，珪砂15%および長石15%を配合した素地について，成形水分14.5%，15

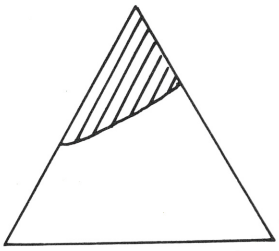


図14　廃土系生素地の適応範囲
適応範囲：斜線部

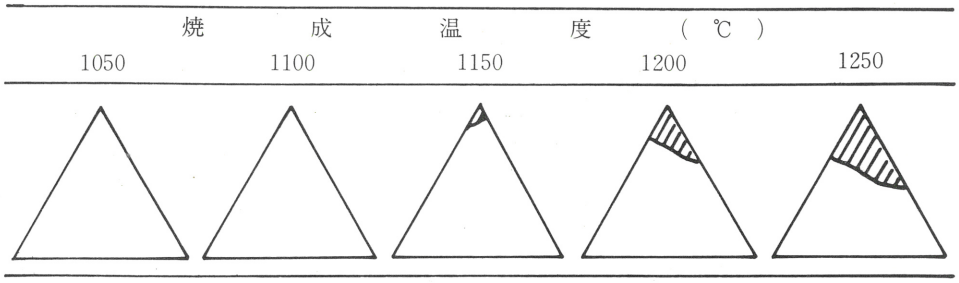


図15　廃土系焼成素地の適応範囲
適応範囲：斜線部

.3%および16.6%で成形したときの成形性状および生素地の性状について表わす。表4から，成形水分14.5%の素地は，成形水分16.6%の素地に比べ，成形圧力で 130%増の90kgf/㎠，成形体温度は20%増の48℃，消費電力は70%増の1360Wおよび硬度は10%増の16㎜と成形水分が少ないほど高い値を示す。しかし，乾燥収縮率では，42%減の 2.8%，乾燥素地曲げ強さにおいては63%増の75kgf/㎠と低収縮で，かつ，生素地強度の大きい素地を得ることができる。

以上の結果から低収縮で生素地強度の大きい素地を得るには，低水分高圧力成形が必要である。

3・1・4　骨材粒度の影響

表5に，頁岩粘土35%，廃土35%に珪砂あるいはシャモットを30%添加した素地の成形性状および生素地性状について表わす。なお添加した珪砂は，粒度（中央粒径値）を150μm，400μmおよび800μmの3段階に分けて添加した。シャモットについても- 粒度を 200μm以下，200～1100μmおよび1100～2900μmの範囲の3段階に分けて添加した。成形水分は16.6%である。

表5から，珪砂添加素地について，中央粒径値 150μmの珪砂添加素地は，中央粒径値 800μmの素地に比べ，成形圧力で65%増の43kgf/㎠，成形体温度は16%増の36℃，消費電力は17%増の 960W，更に乾燥素地曲げ強さは55%増の65kgf/㎠と，珪砂粒子が細かいほど高い値を示す。乾燥収縮率については粒度の影響は認められず，約5%の一定値を保つ。

表4　成形水分と成形性および生素地の性状

成形水分 (%)	成形圧力 (kgf/㎠)	成形体温度 (℃)	消費電力 (W)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/㎠)	硬度 (mm)
14.5	90	48	1360	2.8	75	16.0
15.3	32	39	1040	4.3	66	15.5
16.6	39	40	800	4.8	46	14.5

備考）素地：頁岩粘土35%，廃土35%，珪砂15%，長石15%

表5　骨材粒度と成形性および生素地の性状

骨材	粒度 (μm)	成形圧力 (kgf/㎠)	成形体温度 (℃)	消費電力 (W)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/㎠)
珪砂	中央粒径値 150	43	36	960	5.0	65
	〃 400	29	32	860	4.9	50
	〃 800	26	31	820	4.9	42
シャモット	200以下	75	46	1160	3.8	88
	200～1100	46	38	1060	4.0	46
	1100～2900	27	40	1040	3.8	29

備考　1）珪砂添加素地：頁岩粘土35%，廃土35%，珪砂30%
2）シャモット添加素地：頁岩粘土35%，廃土35%，シャモット30%
3）成形水分：16.6%

表6　成形助剤と成形性および生素地の性状

成形助剤	素地の種類	成形圧力 (kgf/cm²)	成形体温度 (℃)	消費電力 (W)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/cm²)
珪酸ソーダ	頁岩粘土素地	31	34	780	4.5	55
	混合素地	42	38	860	4.3	59
	廃土素地	89	54	1040	3.2	56
フミン酸ソーダ	頁岩粘土素地	28	32	760	4.8	53
	混合素地	39	36	860	4.7	59
	廃土素地	85	51	980	3.3	51
ピロリン酸ソーダ	頁岩粘土素地	16	30	660	4.9	60
	混合素地	32	35	740	4.7	63
	廃土素地	69	43	1000	3.3	61
炭酸ソーダ	頁岩粘土素地	25	33	700	4.9	55
	混合素地	35	35	820	4.9	53
	廃土素地	58	42	940	4.4	50
C・M・C	頁岩粘土素地	30	34	800	4.5	48
	混合素地	36	36	800	4.9	47
	廃土素地	66	45	1060	4.3	45
無添加	頁岩粘土素地	31	37	860	4.8	47
	混合素地	39	40	800	4.8	46
	廃土素地	79	43	1260	3.7	44

備考　1）頁岩粘土素地：頁岩粘土70%，珪砂15%，長石15%

2）混合素地：頁岩粘土35%，廃土35%，珪砂15%，長石15%

3）廃土素地：廃土70%，珪砂15%，長石15%

4）成形水分：16.6%

シヤモット添加素地についても，珪砂添加素地同様に，シヤモットの粒子が細かいほど性状値は高くなる。ただし乾燥収縮率については，この傾向はなく約 3.8%の一定値を示す。シヤモットの粒度200μm以下の粒子を添加した素地は，粒度1100～2900μm の範囲の粒子を添加した素地に比べ，成形圧力で78%増の75kgf/㎠，成形体温度15%増の46℃，消費電力12%増の1160W，乾燥素地曲げ強さ 200%増の88kgf/㎠の値を示す。

以上の結果から，骨材粒子の細かい素地は，乾燥収縮率は変らないが，生素地強度は大きくなる。しかし，成形機の能力アップが必要である。

3・1・5　成形助剤添加の効果

表6に，成形助剤として，珪酸ソーダ，フミン酸ソーダ，ピロリン酸ソーダおよび，炭酸ソーダをそれぞれ 0.5%，CMCについては0.05%を添加したときの成形性および生素地性状について表わす。試験に使用した素地は，表6の欄外に表わす配合の，頁岩粘土素地，混合素地および廃土素地である。なお，比較のために成形助剤無添加素地についても試験した。成形水分は16.6%である。

表6から，成形圧力の低下に効果を示す成形助剤は，ピロリン酸ソーダ（成形助剤無添加素地と比較して13～48%減，以下同様），炭酸ソーダ（10～27%減），CMC（0～16%減）等である。このうち，頁岩粘土素地にはピロリン酸ソーダ（48%減），廃土素地には炭酸ソーダ（27%減）およびCMC（16%減）が特に効果を示す。

成形体温度の降下に効果のある成形助剤は，炭酸ソーダ（11～24%減），ピロリン酸ソーダ（13～22%減）CMC（8～18%減），フミン酸ソーダ（8～14%減）および珪酸ソーダ（2～8%減）である。このうち，頁岩粘土素地には，フミン酸ソーダと珪酸ソーダが，廃土素地には，炭酸ソーダ，ピロリン酸ソーダおよびCMCが特に効果を示す。

消費電力については，いずれの成形助剤も頁岩粘土素地および廃土素地に，消費量を減少させる効果がある。頁岩粘土素地には，ピロリン酸ソーダ（23%減）および炭酸ソーダ（19%減），廃土素地には炭酸ソーダ（12%減），フミン酸ソーダ（22%減），ピロリン酸ソーダ（21%減）およびCMC（18%減）が特に良い。

乾燥収縮については，頁岩粘土素地では，珪酸ソーダ（6%減）とCMC（6%減），混合素地では，珪酸ソーダ（10%減），廃土素地には，珪酸ソーダ（14%減），フミン酸ソーダ（11%減）およびピロリン酸ソーダ（11%減）がそれぞれ収縮を低下するのに効果を示す。

乾燥素地曲げ強さについては，いずれの成形助剤も強度増大に効果を示す。特に，頁岩粘土素地については，ピロリン酸ソーダ（28%増），珪酸ソーダ（17%増）および炭酸ソーダ（17%増）が，混合素地には，ピロリン酸ソーダ（37%増），珪酸ソーダ（28%増）およびフミン酸ソーダ（28%増），廃土素地には，ピロリン酸ソーダ（39%増）および珪酸ソーダ(27%増)が持に効果が高い。

以上の結果から，成形圧力，成形体温度および消費電力を下げるのに特に効果のある成形助剤は，ピロリン酸ソーダ，炭酸ソーダおよびCMCで，乾燥収縮率を下げるものは，珪酸ソーダ，フミン酸ソーダおよびピロリン酸ソーダで，乾燥素地曲げ強さを増大させるものは，ピロリン酸ソーダ，珪酸ソーダおよびフミン酸ソーダである。

3・1・6　相関係数、回帰直線

素地中に含有する5μm以下の粒子の含有量と，成形性，生素地性状についての相関性を調べ，回帰式を算出した。**表7**に，頁岩粘土系素地（5μm以下粒子含有量は18～30%の範囲）と廃土系素地（5μm以下粒子含有量は30～50%の範囲）についての相関係数および回帰直線式を表わす。なお，回帰直線式において，xは5μm以下粒子の含有量（%），yは各性状値である。

（1）　頁岩粘土系素地

表7から，頁岩粘土系素地で，相関性の高い項目は，成形体温度，乾燥素地曲げ強さ，1050～1200℃の範囲の全収縮率および焼成素地曲げ強さ，1050～1150℃の範囲の吸水率である。このことは，5μm以下の粒子の含有量が，各性状に非常に大きな影響を与えているかがわかる。また，1200℃焼成素地について，全収縮率，焼成曲げ強さおよび吸水率には相関性が認められないが，これは過焼成発泡状態のためと推察される。

回帰直線式において，全収縮率では，この式の係数が，各焼成温度のうち，1100℃で極大値を示す。吸水率についても同様に，1100℃で極小値（負）を示す。このことは，1100℃の焼成温度附近では，5μm以下の粒子含有量が，少し変化しても全収縮率あるいは吸水率が大きく変ることを意味している。したがって，この温度では，寸法精度の向上をはかるには，5μm以下粒子含有量の管理を充分する必要がある。

（2）　廃土系素地

相関性の高い項目は，成形圧力，成形体温度，焼成曲げ強さおよび吸水率である。このことは，5μm以下粒子の含有量が各性状に大きな影響を持たらすことがわかる。相関性の比較的低い乾燥収縮率については，前項3・1・2（1）で述べた如く，成形体温度が高いために，乾燥収縮率に変化を与え，相関性が低くなったと推察される。したがって，この影響は，全収縮率にも波及し，これも相関性が低くなったと推察される。

表7　5μm以下粒子含有量と各性状値の回帰直線式，相関係数

性状		頁岩粘土系素地		廃土系素地	
		回帰直線式	相関係数	回帰直線式	相関係数
成形圧力（kgf/cm²）		$y=2x-28$	r＝0.86	$y=2.5x-52$	r＝0.98
成形体温度（℃）		$y=1.3x+0.14$	r＝0.95	$y=0.93x+3.8$	r＝0.94
乾燥収縮率（%）		$y=0.11x+3$	r＝0.79	$y=-0.05x+5.9$	r＝0.79
乾燥素地曲げ強さ（kgf/cm²）		$y=4.3x+61$	r＝0.95	$y=1.1x-18$	r＝0.97
全収縮率（%）	1050℃	$y=0.25x+2.2$	r＝0.92	――	――
	1100℃	$y=0.31x+2.6$	r＝0.98	$y=0.042x+5.3$	r＝0.70
	1150℃	$y=0.26x+4.7$	r＝0.94	$y=0.050x+6.1$	r＝0.70
	1200℃	$y=0.18x+7.5$	r＝0.95	$y=0.041x+6.9$	r＝0.69
	1250℃	――	――	$y=0.048x+6.8$	r＝0.76
焼成素地曲げ強さ（kgf/cm²）	1050℃	$y=20x-310$	r＝0.98	$y=4.7x-83$	r＝0.97
	1100℃	$y=24x-360$	r＝0.98	$y=5.2x-90$	r＝0.99
	1150℃	$y=28x-410$	r＝0.96	$y=6.5x-110$	r＝0.98
	1200℃	$y=30x-380$	r＝0.95	$y=6.4x-83$	r＝0.97
	1250℃	――	――	$y=5.3x-20$	r＝0.91
吸水率（%）	1050℃	$y=-0.76x+31$	r＝0.93	$y=-0.21x+24$	r＝0.99
	1100℃	$y=-0.90x+31$	r＝0.95	$y=-0.30x+25$	r＝0.99
	1150℃	$y=-0.88x+28$	r＝0.93	$y=-0.35x+25$	r＝0.97
	1200℃	$y=-0.69x+20$	r＝0.90	$y=-0.33x+23$	r＝0.95
	1250℃	――	――	$y=-0.31x+20$	r＝0.93

備考）　1）x：5μm以下粒子含有量　　2）頁岩粘土系素地：18%＜x＜30%
　　3）廃土系素地：20%＜x＜50%　　4）成形水分：16.6%

回帰式において，乾燥収縮率の係数は負の値を示すが，このことは，成形体が高温になった影響であろう。各焼成温度における焼成素地曲げ強さと吸水率の係数で，1150℃の焼成素地は，焼成曲げ強さが極大値，吸水率が負の極小値を示す。このことは，1150℃の焼成温度附近では，5μm以下粒子の含有量が少し変化しても，焼成素地曲げ強さおよび吸水率は，他の焼成温度のときより大きな変化を示すことを意味している。したがって，1150℃附近の温度での曲げ強さあるいは吸水率の管理をする場合は，特に5μm以下粒子の含有量を充分管理する必要があろう。

以上の結果から，素地中の5μm以下粒子の含有量は，各性状との相関が非常に深いことがわかる。

3・2　活用化試験

前項3・1の基礎試験を基にして，低品位粘土および窯業廃棄物を活用して，活用化試験をおこなった。試験は，まず，頁岩粘土に，低品位粘土あるいは窯業廃棄物を配合した7組の組合せを作り，現在の陶管成形技術では，ぎりぎりの限界と考えられる低水分（16.6%）で成形して，低収縮素地としての適正配合を究明した。次に，更にいっそうの低収縮化と素地強度の増大をはかるために，低水分高圧力成形による試験を実施した。なお**表8**に，市販陶管素地の性状の測定結果を表わし，活用化素地との比較資料とした。

3・2・1　適正配合の究明

この試験に使う素地の配合は，**表9**に表わす如く，頁岩粘土を主原料として50～70%の範囲で10%おきに，また低品位粘土および窯業廃棄物は30～50%の範囲で10%おきに添加した。なお，低品位粘土あるいは窯業廃棄物を2種類併用する場合は，これを1対1に混合したものを所定の割合，すなわち30～50%の範囲で10%おきに添加した。成形水分は16.6%，焼成は，1150および1200℃でおこなった。なお，本試験では，低収縮素地の開発を目的とすることから，全収縮率につい

表８　市販陶管素地の性状

市販素地	成形水分 (%)	成形圧力 (kgf/㎠)	生素地温度 (℃)	硬度 (mm)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/㎠)	全収縮率 (%)	焼成素地曲げ強さ (kgf/㎠)	吸水率 (%)
並陶管素地	22.0	11	11	10.2	7.6	80	12.1	310	8.0
厚陶管素地	20.8	12	13	10.3	7.3	81	11.6	315	7.9

備考）　焼成温度：1100℃

ては，前項の全収縮率12%の最高限度より更にきびしい10%を限度とし，吸水率はもちろん10%以下として究明した。**表10**に活用化試験結果を表わす。

表９・10から，**頁岩粘土－低品位頁岩粘土系（A）**では，頁岩粘土60%と低品位頁岩粘土40%で配合して，1150℃で焼成した素地が良い。すなわち，表８の市販厚陶管素地と比較すると，この素地は，乾燥および全収縮率で，32%減の 5.0%と14%減の10%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さは，28%減の58kgf/㎠と21%減の 250kgf/㎠を示す。したがってこの素地は低収縮素地として活用できよう。しかし，強度は若干低い。

頁岩粘土－低品位頁岩粘土－珪砂廃土系（B）では，表９・10から頁岩粘土70%，低品位頁岩粘土と珪砂廃土をそれぞれ15%配合（B_1）して，1100℃で焼成した素地と，頁岩粘土50%，低品位頁岩粘土と珪砂廃土をそれぞれ25%配合（B_3）して1150℃で焼成した素地が良い。すなわち，表８の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地の乾燥および全収縮率は，32～37%減の 4.6～5.0%と22～23%減の8.9～9.1%で，乾燥素地曲げ強さは，市販素地とほぼ同じ値の58～84kgf/㎠，焼成素地曲げ強さは，８～21%減の250～290kgf/㎠の範囲を示す。したがって，これらの素地は低収縮素地

表９　活用化試験の配合割合

素地	配合割合（%）				
	頁岩粘土	低品位頁岩粘土	珪砂廃土	山砂利廃土(粘土質)	山砂利廃土(長石質)
A_1	70	30	—	—	—
A_2	60	40	—	—	—
A_3	50	50	—	—	—
B_1	70	15	15	—	—
B_2	60	20	20	—	—
B_3	50	25	25	—	—
C_1	70	15	—	15	—
C_2	60	20	—	20	—
C_3	50	25	—	25	—
D_1	70	—	30	—	—
D_2	60	—	40	—	—
D_3	50	—	50	—	—
E_1	70	—	15	—	15
E_2	60	—	20	—	20
E_3	50	—	25	—	25
F_1	70	—	—	30	—
F_2	60	—	—	40	—
F_3	50	—	—	50	—
G_1	70	—	—	15	15
G_2	60	—	—	20	20
G_3	50	—	—	25	25

備考）　成形水分：16.6%

表10　活用化試験結果

素地	成形圧力 (kgf/cm²)	成形体温度 (℃)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/cm²)	全収縮率（%）			焼成素地曲げ強さ(kgf/cm²)			吸水率（%）		
					1100℃	1150℃	1200℃	1100℃	1150℃	1200℃	1100℃	1150℃	1200℃
A_1	21	21	5.0	62	9.3	10.2	11.2	240	290	360	10.3	7.6	3.3
A_2	18	16	5.0	58	8.9	10.2	11.2	200	250	330	11.5	8.9	4.4
A_3	14	17	5.1	51	8.5	9.4	10.8	150	200	270	13.1	10.0	5.9
B_1	29	24	5.0	84	9.1	10.1	11.1	290	350	430	8.7	5.8	2.9
B_2	19	20	5.3	70	9.2	10.4	11.6	250	330	400	10.7	7.1	2.6
B_3	20	19	4.6	58	7.6	8.9	10.8	200	250	370	12.3	8.7	3.8
C_1	31	30	5.6	93	9.8	10.4	11.2	340	390	440	7.4	4.9	2.0
C_2	26	20	5.7	87	10.1	11.1	11.5	320	370	440	7.8	5.3	2.5
C_3	23	25	5.3	75	9.1	10.0	10.9	260	320	380	9.7	6.8	3.9
D_1	33	29	5.1	88	8.9	10.0	11.2	300	360	450	8.9	5.7	1.5
D_2	27	21	5.1	79	8.9	9.9	11.4	280	350	480	9.9	6.7	2.0
D_3	29	22	4.6	68	7.7	9.0	10.7	240	300	410	12.0	8.5	3.3
E_1	34	26	5.0	83	9.3	10.2	11.2	310	380	500	8.6	5.4	1.1
E_2	23	25	5.3	74	9.5	10.7	11.8	310	380	510	10.0	6.2	1.7
E_3	28	24	4.6	65	8.2	9.5	11.0	260	350	440	11.8	7.2	2.4
F_1	46	30	5.3	109	9.8	10.5	11.0	420	440	530	5.4	3.6	0.5
F_2	38	30	5.3	93	9.9	10.7	11.2	410	460	540	5.9	4.1	0.6
F_3	37	30	5.3	96	9.6	10.6	11.3	380	430	500	6.8	4.3	1.0
G_1	38	28	5.4	96	9.9	10.7	11.3	400	430	530	6.4	4.4	0.6
G_2	28	27	5.8	88	10.3	11.3	12.0	380	410	540	7.4	5.0	0.9
G_3	30	27	5.4	83	9.7	10.6	11.5	340	410	500	8.3	5.4	1.4

備考）　成形水分：16.6%

として活用できよう。

頁岩粘土－低品位頁岩粘土－山砂利廃土（粘土質）系（C）では，表9・10から頁岩粘土70%，低品位頁岩粘土と山砂利廃土（粘土質）をそれぞれ15%配合（C_1）したものと，頁岩粘土50%と低品位頁岩粘土と山砂利廃土（粘土質）をそれぞれ25%配合（C_3）して，1100℃で焼成した素地が良い。すなわち，表8の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地の乾燥および全収縮率は，23～27%減の5.3～5.6%と16～22%減の9.1～9.8%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さは，市販素地とほぼ同じ値の75～93kgf/㎠と260～340kgf/㎠を示す。したがってこれらの素地は低収縮素地として活用できよう。

頁岩粘土－珪砂廃土系（D）では，表9・10から頁岩粘土70%と珪砂廃土30%配合（D_1）したものと頁岩粘土60%と珪砂廃土40%を配合（D_2）して，1100および1150℃で焼成したもの，更に頁岩粘土50%と珪砂廃土50%の配合（D_3）で，1150℃で焼成した素地が良い。すなわち，表8の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地は，乾燥および全収縮率で，30～37%減の4.6～5.1%と14～23%減の8.9～10%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さは，市販素地とほぼ同じ値の66～88kgf/㎠と280～360kgf/㎠を示す。したがってこれらの素地も低収縮素地として活用できよう。

頁岩粘土－珪砂廃土－山砂利廃土(長石質)系（E）では，表9・10から頁岩粘土70%，珪砂廃土と山砂利廃土（長石質）をそれぞれ15%配合（E_1）したものと，頁岩粘土60%，珪砂廃土と山砂利廃土（長石質）をそれぞれ20%配合（E_2）して，1100℃で焼成した素地および頁岩粘土50%，珪砂廃土と山砂利廃土（長石質）をそれぞれ25%配合（E_3）して，1150℃で焼成した素地が良い。すなわち，表8の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地は，乾燥および全収縮率で，32～37%減の4.6～5.0%と18～20%減の9.3～9.5%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さでは，市販素地とほぼ同じ値の65～83kgf/㎠と310～350kgf/㎠を示す。したがって，これらの素地も低収縮素地として活用できよう。

頁岩粘土－山砂利廃土（粘土質）系（F）では，表9・10から，頁岩粘土70%，山砂利廃土（粘土質）30%配合（F_1）したものと，頁岩粘土60%，山砂利廃土（粘土質）40%配合の（F_2）および頁岩粘土50%，山砂利廃土（粘土質）50%を配合（F_3）して，1100℃で焼成した素地が良い。すなわち，表8の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地は乾燥および全収縮で27%減の5.3%と15～17%減の9.6～9.9%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さは，15～35%増の93～109kgf/㎠と21～33%増の380～420kgf/㎠を示す。したがって，これらの素地は低収縮高強度素地として活用できよう。しかし成形圧力および成形体温度が高いので，成形方法の検討が必要となろう。

頁岩粘土－山砂利廃土（粘土質）－山砂利廃土　長石質）系（G）では，表9・10から，頁岩粘土70%，山砂利廃土（粘土質）と山砂利廃土（長石質）をそれぞれ15%配合（G_1）したものと，頁岩粘土50%，山砂利廃土（粘土質）と山砂利廃土（長石質）をそれぞれ25%配合（G_3）して，1100℃で焼成した素地が良い。すなわち，表8の市販厚陶管素地と比較して，これらの素地は，乾燥および全収縮率で，26%減の5.4%と15～16%減の9.7～9.9%を示し，乾燥および焼成素地曲げ強さで，3～19%増の83～96kgf/㎠と8～27%増の340～400kgf/㎠を示す。したがって，これらの素地は低収縮高強度素地として活用できよう。しかし，成形圧力や成形体温度が高いため，成形方法の検討が必要であろう。

表11　低水分，高圧力成形試験結果

素地	成形水分 (%)	成形助剤 (0.5%)	成形圧力 (kgf/㎠)	成形体温度 (℃)	乾燥収縮率 (%)	乾燥素地曲げ強さ (kgf/㎠)	全収縮率（%）		焼成素地曲げ強さ(kgf/㎠)		吸水率（%）	
							1100℃	1150℃	1100℃	1150℃	1100℃	1150℃
B_3	15.3	――	60	29	4.1	81	7.3	8.3	230	300	9.5	6.6
	14.5	――	67	34	4.2	98	7.0	7.9	250	340	8.8	5.8
	13.8	――	86	38	3.6	105	6.8	7.9	260	320	7.6	5.2
	13.1	炭酸ソーダ	101	47	3.7	125	7.2	7.9	300	380	6.8	4.1
E_3	15.3	――	84	37	3.7	107	7.5	8.4	260	400	7.8	4.4
	14.5	――	106	35	4.1	123	7.6	8.5	350	420	7.4	3.8
	13.8	炭酸ソーダ	89	34	4.5	147	8.4	9.3	380	470	6.5	3.0
G_3	15.3	――	110	29	4.2	115	8.4	9.0	400	460	6.5	3.7
	15.3	ピロリン酸ソーダ	96	30	4.7	156	8.6	9.1	400	460	6.3	3.9
	14.5	炭酸ソーダ	112	31	4.2	134	8.6	8.9	440	470	5.5	3.7

3・2・2　低水分高圧力成形試験

この試験で使う素地の配合は，表9に表わすB_3，E_3およびG_3の素地である，**表11**に低水分高圧力成形試験結果を表わす。

表11から頁岩粘土50%，低品位頁岩粘土25%と珪砂廃土25%配合のB_3素地において，成形水分13.8%の場合，表8の市販厚陶管素地と比較して，この素地は，乾燥および焼成収縮率で51%減の 3.6%と32～42%減の6.8～7.9%の値を示し，乾燥素地曲げ強さは30%増の 105kgf/㎠を示す。また，成形助剤として炭酸ソーダを添加すると，より低水分成形が可能となり，乾燥素地曲げ強さが増大する。すなわち，市販厚陶管素地の54%増の 125kgf/㎠を示す。したがってこの素地は，成形水分13～15%の低水分で，かつ高圧力で成形するときわめて低収縮の素地が得られる。更に炭酸ソーダを添加すると生素地強度が増大する。しかし，成形圧力，成形体温度は高いので，この素地に適応する成形機の開発が必要となろう。

頁岩粘土50%，珪砂廃土25%と山砂利廃土（長石質）25%配合のE_3素地において，成形水分14.5%の場合，表8の市販厚陶管素地と比較して成形圧力と成形体温度は，9倍増の 106kgf/㎠と 170%増の35℃を示し，乾燥および全収縮率は，44%減の 4.1%と27～34%減の7.6～8.5%を示し，更に乾燥および焼成素地曲げ強さは，11～33%増の350～420kgf/㎠を示す。また成形助剤として炭酸ソーダを添加すると，より低水分で成形が可能となり，素地強度が増大する。すなわち，成形水分13.8%のとき乾燥および焼成素地曲げ強さは，147kgf/㎠と380～470kgf/㎠を示し，市販厚陶管素地のそれぞれ81%増と21～49%増の強度を示す，したがってこの素地は，成形水分13～15%の低水分でかつ高圧力で成形するときわめて低収縮で高強度の素地が得られる。炭酸ソーダを添加すると成形性が良好になり，素地強度が更に増大する。なお，成形圧力，成形体温度が高いため，この素地に適応する成形機の開発が必要となろう。

頁岩粘土50%，山砂利廃土（粘土質）25%と山砂利廃土（長石質）25%配合のG_3素地において，成形水分15.3%の素地は，表8の市販厚陶管素地と比較して，成形圧力と成形体温度は，7倍増の 110kgf/㎠と120%増の29℃を示し，乾燥および全収縮率は，36%減の 4.7%と22～28%減の8.4～9.0%を示し，更に乾燥および焼成素地曲げ強さは42%増の 115kgf/㎠と27～46%増の400～460kgf/㎠を示す。ピロリン酸ソーダを添加すると成形圧力が低下し，かつ乾燥素地曲げ強さが93%増の 156kgf/㎠を示す。炭酸ソーダを添加するとより低水分での成形が可能となり，かつ，乾燥および焼成素地曲げ強さが増大し，65%の 134kgf/㎠と40～49%増の440～470kgf/㎠を示す。したがってこの素地は，成形水分14～15%で，きわめて低収縮でかつ高強度の素地が得られる。ピロリン酸ソーダは，成形圧力の低下と乾燥素地強度を増大させる。炭酸ソーダは，低水分での成形を可能にし，素地強度を増大させる。なお，この素地は成形圧力と成形体温度が高いので，この素地に適応する成形機の開発が必要となろう。

3・2・3　素地の熱的性状

前項で試験した素地すなわち，B_3，E_3，およびG_3の素地と比較のための市販厚陶管素地について，熱膨脹試験と高温加熱顕微鏡による観察をおこなった。**図16**の熱膨脹曲線からE_3素地は市販厚陶管素地に近い膨脹を示すが，G_3素地は市販厚陶管素地より低く，B_3素地はより高い値を示す。この結果から，B_3素地は焼成過程では急加熱および急冷却はさける必要があり，G_3素地は，逆にかなり急加熱に耐えることができるであろう。

図17の高温加熱顕微鏡写真から，加熱温度1300℃以上の高温性状は，いずれも市販厚陶管素地に近い性状を示す。このことは，現在の陶管焼成炉においても充分焼成できることが推察される。

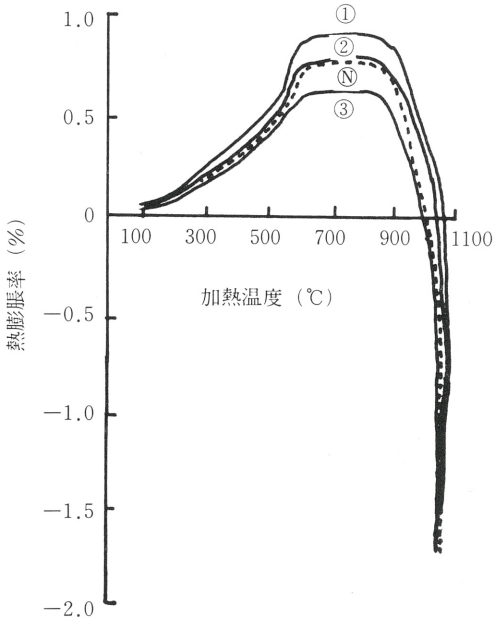


図16　市販厚陶管素地および試作素地の熱膨脹曲線

Ⓝ：市販厚陶管素地　①：B_3素地
②：E_3素地　③：G_3素地

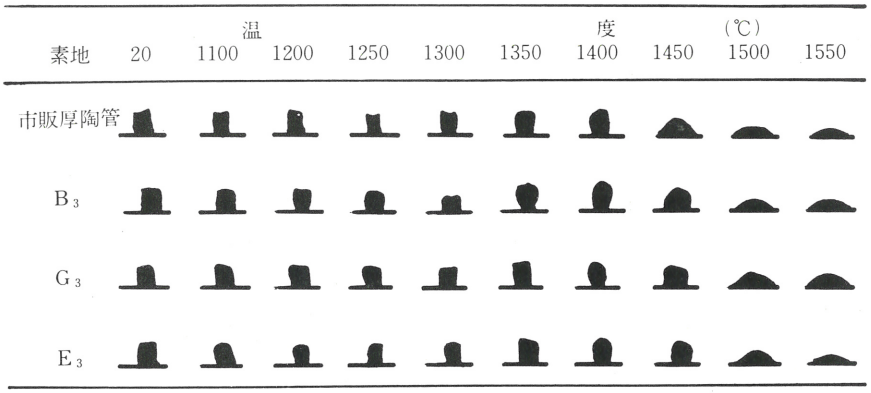
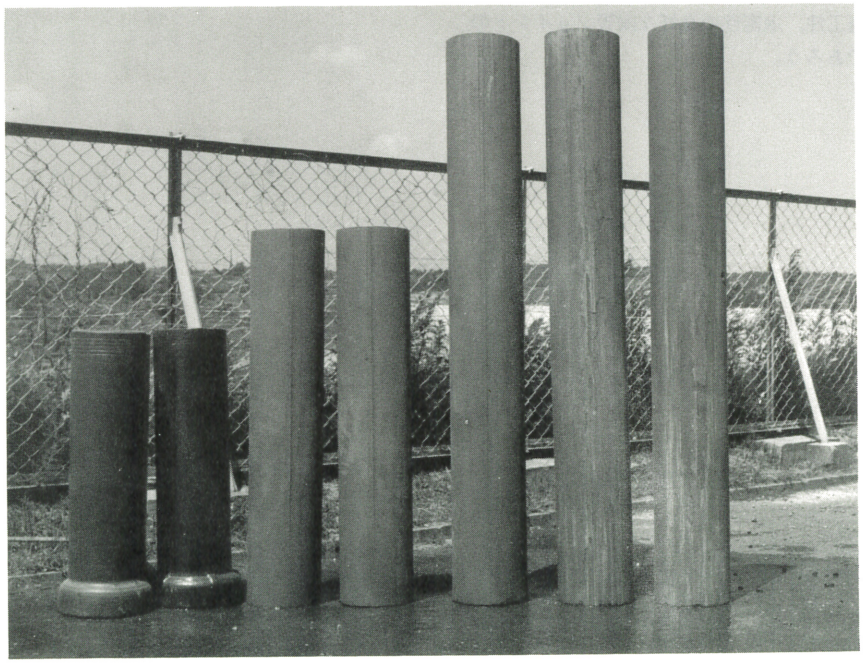


図17　市販厚陶管素地および試作素地の高温加熱顕微鏡観察図

表12　試作陶管および市販厚陶管の品質試験結果

陶　管	成形水分 (%)	乾燥収縮率 (%)	全収縮率 (%)	圧縮荷重 (kg/m)	吸水率 (%)	耐酸度 (%)	摩耗減量 (g)
市販厚陶管	21.2	8.6	15.0	3220	1.5	0	0.02
B_3試作陶管	16.1	4.1	9.1	2990	6.2	0	0.03
E_3　〃	16.8	3.9	9.4	3340	6.3	0	0.03
G_3　〃	19.0	4.6	11.2	3070	6.0	0	0.02

備考）　吸水率，圧縮荷重，耐酸度：JIS　R1201　5.3，5.4，5.5による。
　　摩耗減量：JIS　A5209　7.7による。



市販厚陶管　　試　作　陶　管
φ150×ℓ660mm　　φ150×ℓ1000mm　　φ150×ℓ1500mm

写真は試作陶管および市販厚陶管

4．ま と め

陶管の寸法精度の向上，長尺化およびソケットレス化に対応する素地として，低収縮，高強度の素地の開発研究と，低品位粘土および窯業廃棄物の活用化についても合わせて研究した。頁岩粘土を50～70%の範囲，未利用で廃棄するしか方法のない，低品位粘土あるいは窯業廃棄物を，30～50%の範囲で配合し，この素地を用いて，低水分，高圧力で，現在の陶管成形機の性能として限界と思われる水分16.6%で成形した。その結果，乾燥収縮率 4.6%（市販厚陶管素地の37%減以下同様），全収縮率 8.9％（22%減），乾燥素地曲げ強さ 109kgf/㎠（35%増）および焼成素地曲げ強さ420 kgf/㎠（33%増）の低収縮でかつ高強度素地を得ることができた。

更に，低収縮でかつ，高強度素地を得るために，水分13%台あるいは14%台で成形すると，乾燥収縮率 3.6%（51%減），全収縮率 6.8%（41%減），乾燥素地曲げ強さ 147kgf/㎠（81%増）および焼成素地曲げ強さ 470kgf/㎠（49%増）まで性状が向上できた。

表12に，1例としての試作陶管と市販厚陶管の品質試験結果を表わす。**写真**はB_3素地を用い1100℃で焼成した内径 150㎜で有効長さ1000㎜と1500㎜の試作陶管である。

今後の課題としては，低水分，高圧力成形に耐え得る成形機の改造あるいは開発と，ソケットレス化にともなって，施工性，水密性の良好な陶管ジョイントの開発が必要であろう。

付 記

本研究に当たり，終始適切な助言をいただいた名古屋工業技術試験所第6部西村幸雄課長と，研究に御協力いただいた東海工業（株）酒井泰幸氏に深謝します。

本研究は，中小企業庁の昭和51年度技術開発研究費補助事業の共同研究として，指定課題「粘土質廃棄物の有効利用に関する研究」について，神奈川県工業試験所，愛知県瀬戸窯業技術センター，岐阜県陶磁器試験所，岡山県工業技術センター，島根県立工業技術センター，沖縄県工業試験場および本センターの7機関で実施した。本センターは，分担課題として「窯業廃棄物及び低品位粘土を活用した陶管製造技術に関する研究」を担当した。本報告はその成果普及講習会で発表したものである。

参考文献

愛知県：山砂利廃土（産業廃棄物）活用化調査事業報告書，昭和51年3月

鳥居ほか：愛常窯技報告.，**4**，11～18（1976）

P.11～18（1976）