

焼却灰を原料にした園芸用人工培土 の製造の実用化研究

1. 研究の目的

横浜市では、下水汚泥焼却灰の有効利用法のひとつとして、PVAをバインダーとして焼却灰を造粒・固化して球状の園芸用培土を製造してきた。この培土は、専門家によりその性能を評価され、ハマソイルの名称で知られている。

しかしながら、ハマソイルの市場化を前提に検討すると、原料の一つである造粒固化剤（PVA、硫酸）のコスト高が障害となっており、現製品で製造プロセスの自動化と省力化を検討しても、他の市場製品に競合できるまでのコストダウンは不可能であることが判明している。

また、ハマソイルは栽培期間が1年以上になると形状が崩壊して灰に戻るため、根詰まりによる成育障害を起こすという問題がある。

本技術は、このような問題を解決するため、下水汚泥焼却灰と汚泥を混練・造粒後、焼成する事により、造粒固化剤を用いず、多孔質で保水性のある園芸資材を製造する技術である。

本実用化研究は、平成5年度～平成7年度の3ヶ年度にわたって新技術活用モデル事業として横浜市と共同研究を実施するものであり、上記技術について、製品の園芸資材としての品質向上を図るとともに、造粒・焼成等の効率的な製造方法を確立することを目的とするものである。

2. 研究内容

本研究の主要な研究内容は以下のとおりである。

- (1) 園芸用人工培土製造装置の設計手法
- (2) 園芸用人工培土製造装置の最適運転条件
- (3) 園芸用人工培土の品質向上方法

本年度は、焼成ハマソイルの最適な製造プロセスに関して、焼却灰への添加物、混練造粒成形工程、焼成工程について以下の製造プロセス（図-1）について、小型機を用いて少量の焼却灰により製造実験調査を行った。

3. 研究結果

3.1 機器選定実験

造粒は以下の3方式について実験を行い、焼成は動的焼成（ロータリーキルン）の適用の可能性について確認した。

3.1.1 造粒方式

- ・バイブロミキサ

振動によりドラム内の8～10本の丸棒が動き、原料はうどんをこねるように混練され排出。造粒プレート上で造粒が行われる。

- ・ブリケットマシン

二つの相対するロール間で原料を高圧で圧搾して造粒する。

- ・ベルトプレス脱水機+解砕機

灰と汚泥の混合物を板状に脱水成形し、それを

テスト実施

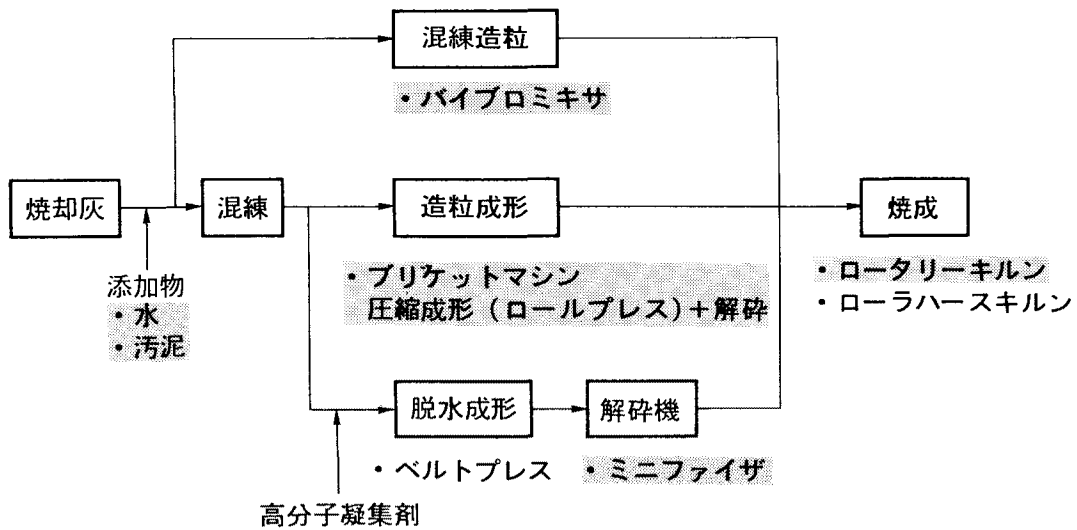


図-1 焼成ハモンソイル製造プロセス案

解砕機で破碎する。

3. 1. 2 焼成方式

焼成炉の形式にはローラハースキルンの様な静的焼成と、ロータリーキルンのような動的焼成がある。ロータリーキルンとは回転円筒型の焼成炉で、加熱方式により外熱式と内熱式とがある。設備機器のコストダウンと小型化にはロータリーキルンが望ましいと考えられるが製品形状の変形等が懸念される。このため、ロータリーキルンで焼成実験を行い、動的焼成適用の可能性について確認した。

3. 1. 3 造粒機器選定実験

・バイブロミキサ

クレイボール相当の不定形状品を得ることができた。数%の水分差で粉状から30~50mm径の塊に変化するの、水分調整が本造粒法のポイントとなる。

・ブリケットマシン

水分無添加或いは5%程度の添加で造粒することができた。しかし、機械の特性状、造粒品は表面が滑らかなアーモンド状であり、今回目標とする不定形状品を製造する機械としては不向きである。

・ベルトプレス脱水+解砕

脱水後のケーキ強度が弱く、解砕機にかけると粉化してしまったので、板状に焼成してから解砕機にかけてみた。粉化することはなかったが表面凸部が角張ってしまった。

3. 1. 4 焼成機器選定実験

動的焼成による造粒品の形状変化などを確認した。

ロータリーキルン内壁及び造粒品同士の摩擦により多少のパウダの発生はみられたが造粒品の形状は維持された。

3. 1. 5 機器選定実験結果

以上の結果を基に検討した結果、実用化における造粒法はバイブロミキサ、焼成法はロータリーキルンが有効と判断し、本試験ではこれらの機器を用いて、更に詳細な実験を行った。

3. 2 機器特性及び能力実験結果

機器選定実験をもとに選定した造粒、焼成機器について特性把握、機器能力等プロセス計画に必要なデータを収集した。

3. 2. 1 造粒実験

混練水分、添加する汚泥の種類などを変え、バイブロミキサの造粒特性を確認した。その結果、以下の因子が造粒品の大きさ、形状などに影響することが判った。

(1) 混練水分の影響 (図-2)

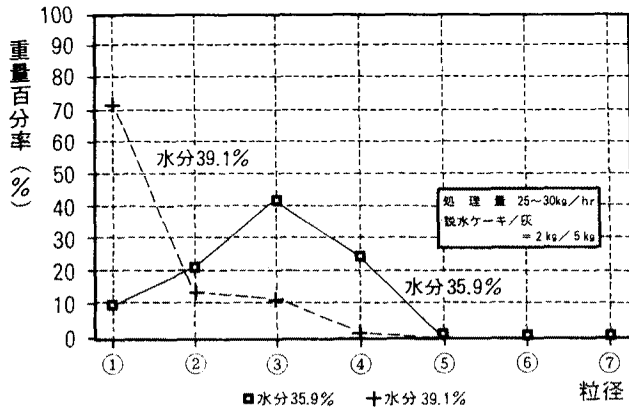
- ・わずか3%の水分差で造粒品の粒度分布に差異が生じ、水分が高いほど造粒径は大きくなる傾向にある。
- ・粒状の不定形品を得るには、水分は35%程度が適当と思われる。30~32%では水分が不足のため造粒せず、排出物は粉状となった。
- ・水分40%以上では造粒品表面の濡れが多く、造粒パンの上で大きな塊に成長してしまった。

(2) 滞留時間の影響 (図-3)

ミキサへの供給量を変え、滞留時間の影響を

確認した。

- 混練水分がほぼ同等でもミキサ内の滞留時間の長い方が造粒径は大きくなった。
- 製品の形状にも差異がみられ、25kg/hrではいびつな球状となり製品目標を満足したが、75kg/hrではフレーク状となり、今回目標とした形状にはならなかった。



No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
粒径 (mm)	26.5	19.0	9.5	2.38	1.68	0.71	0.71
()	以上	~ 26.5	~ 19.0	~ 9.5	~ 2.38	~ 1.68	以下

図-2 水分の影響

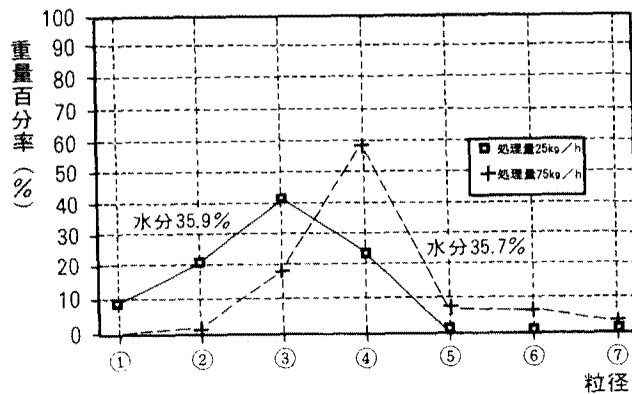


図-3 処理量の影響

(3) 汚泥種類の影響

- 濃縮汚泥、脱水ケーキを添加した場合は、いびつな形状となったが、乾燥ケーキを添加した場合は板状片となった。板状片は硬く、造粒パンの上で丸くならない。
- 造粒品の形状を重視するなら、添加する汚泥の種類は、濃縮汚泥か脱水ケーキが適当と思われる。
- 一方、焼成品の吸水率の向上を検討する上では、添加する汚泥の種類として、高い汚泥混合率を設定可能な乾燥ケーキが有効である。

なぜなら、濃縮汚泥と脱水ケーキは含水率が各々約96%、約80%であるため、汚泥の混合量を上げていくと、別途に水を添加しなくても汚泥自身の持つ水分で造粒水分に達してしまい、添加量に上限がある。しかし、乾燥ケーキは含水率が約40%であるから、添加量の上限はない。但し、粒状にするための検討(造粒機の運転条件等)が必要である。これについては、来年度に実験製造プラントで実施するものとする。

(4) バイブレータ回転数

- 詳細データは採っていないが、バイブレータの回転数を上げると排出物は増加する傾向にあり、バイブレータの回転数で滞留時間を変えることができる。また、バイブレータの回転数はロッドの重力加速度、即ち混練効果に関係し、造粒品の形状に若干の違いがみられた。
- 以上のことからバイブレータの回転数も運転条件の一つと考えられ、実用化に際してはインバータ等の付加が必要と考えられる。

3. 2. 2 焼成実験

(1) ロータリーキルンによる焼成実験

動的焼成時における焼成前後の粒度分布の変化を確認した。

a) 脱水ケーキ添加の場合(図-4)

- ロータリーキルン内壁及び造粒品同士の摩擦により、焼成後の粒径は若干小さくなった。
- 図-4のサンプル粒径1mm以下が全体の4.5%で、他のサンプルでは10%程度であった。歩留まりは90~95%であった。

b) 濃縮汚泥添加の場合(図-5)

- 脱水ケーキを添加したときに比べ、焼成後の分布の山は径の小さい方へ移動している。これは造粒品の一部が炉内で破裂し粉化するためである。
- 破裂の原因は水にあると考えられる。水だけで造粒したものは含水状態では全て粉化してしまった。但し、絶乾状態では、破裂は起きなかった。
- 脱水ケーキ、乾燥ケーキを添加した場合に破裂しないのは、汚泥中の何かが破裂を抑止しているものと考えられる。濃縮汚泥を添加した造粒品には水だけで結合している部分が存在しているために、部分的に破裂が起きたものと考えられる。

- 従って、濃縮汚泥を添加する場合には、焼成前に乾燥する必要がある。

(2) 電気炉による焼成実験

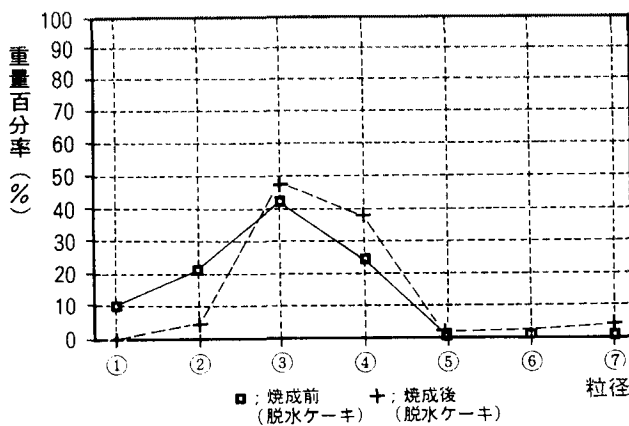
汚泥添加量や焼成温度を変えた場合の焼成品の吸水率と圧壊強度を調べた。吸水率はJIS-A 1135に準拠し、圧壊強度はモンサント硬度計を用いた。

a) 造粒品中の汚泥固形分が吸水率に及ぼす影響 (図-6)

- 園芸用培土の性状として、多孔質化は適度の保水性確保の目的から重要な指標の一つである。
- 造粒品中の汚泥固形分が多いほど吸水率は増加する傾向にあり、汚泥の添加は焼成品の多孔質化に効果的と考えられる。但し、汚泥固形分の含有率が20%以上から吸水率にあまり変化がみられなかった。
- 焼成品の吸水率向上には汚泥の添加量を増やして、造粒品中に占める汚泥固形分の割合を高くするのが良いと考えられる。但し、濃縮汚泥と脱水ケーキは、添加量に上限がある。それは、汚泥自身の持つ水分で、混合物が造粒水分(約35%)に達してしまうからである。その時の造粒品中に占める汚泥固形分の割合は、濃度5%の濃縮汚泥では3.5%、水分80%の脱水ケーキでは16.7%である。

更に汚泥固形分の割合を高くしたい場合には乾燥ケーキと水で造粒する。

- なお、添加汚泥に乾燥ケーキを用い、汚泥固形分の含有率を30%以上にすると、焼成



No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
粒径 ()	26.5 以上	19.0 ~ 26.5	9.5 ~ 19.0	2.38 ~ 9.5	1.68 ~ 2.38	0.71 ~ 1.68	0.71 以下

図-4 焼成前後の粒度分布の変化 (脱水ケーキ添加の場合)

品の圧壊強度は7~10kgfで製品強度が確保できず、前述したように粒状に造粒するのも困難となった。

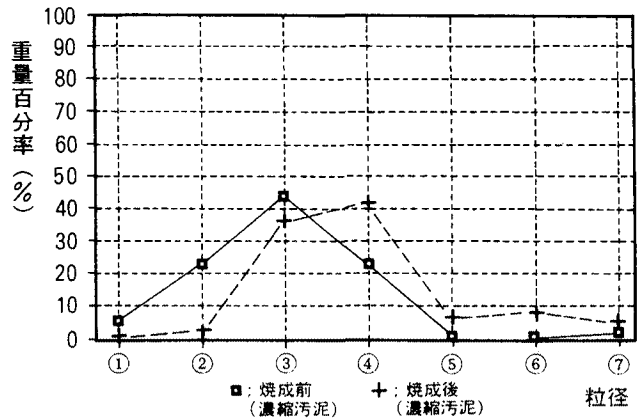


図-5 焼成前後の粒度分布の変化 (濃縮汚泥添加の場合)

b) 焼成温度の影響 (図-7) (表-1)

温度の影響により焼成品の吸水率と硬さは次のように変化した。

- 焼成温度の増加にともない、吸水率は低下する傾向にある。これは温度上昇とともに焼成収縮が起き、空孔部が減少するためと考えられる。
- 1,010°Cをこえると30kgf以上の硬さを持つものも現れ、1,050°Cでは表面が溶けて滑らかになり、培土には不向きなものとなった。

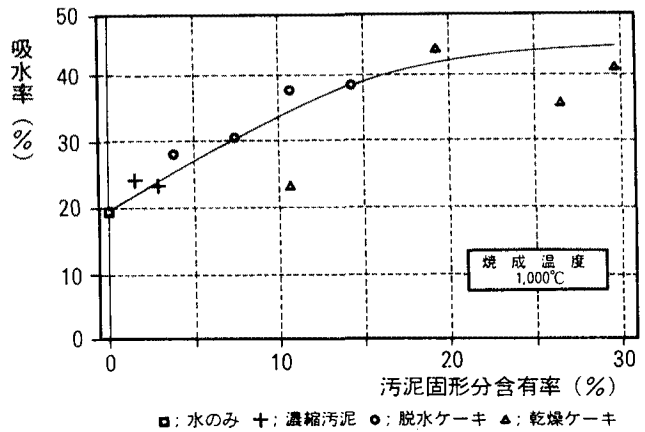


図-6 汚泥固形分 VS 吸水率

表-1 焼成品硬さ (圧壊強度)

焼成温度 (°C)	980	1,000	1,010	1,020	1,050
圧壊強度 (kgf)	10~15	12~20	15~30 以上	10~30 以上	30 以上

汚泥添加率は、各々濃縮汚泥1.5%、脱水ケーキ3.8%、乾燥ケーキ19.4%で強度差はそれほど無かった。

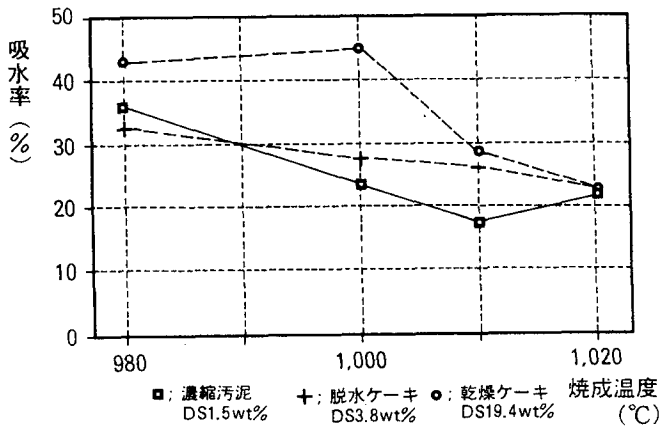


図-7 焼成温度 VS 吸水率

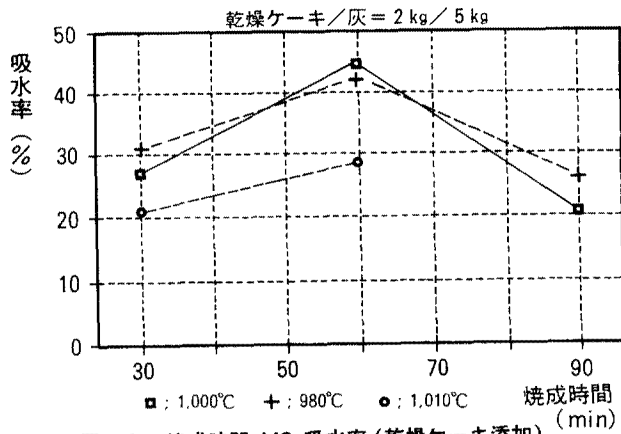


図-8 焼成時間 VS 吸水率 (乾燥ケーキ添加)

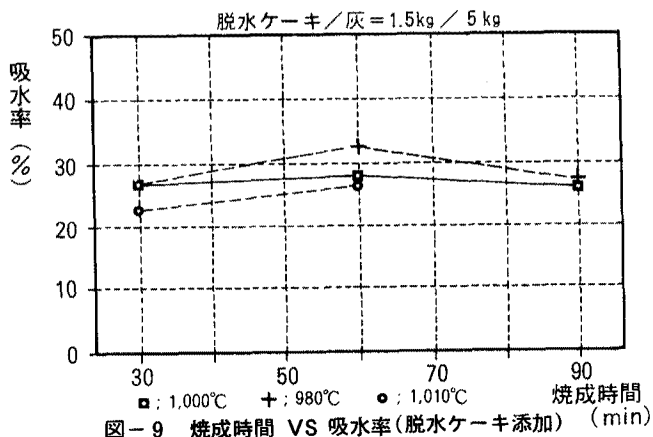


図-9 焼成時間 VS 吸水率 (脱水ケーキ添加)

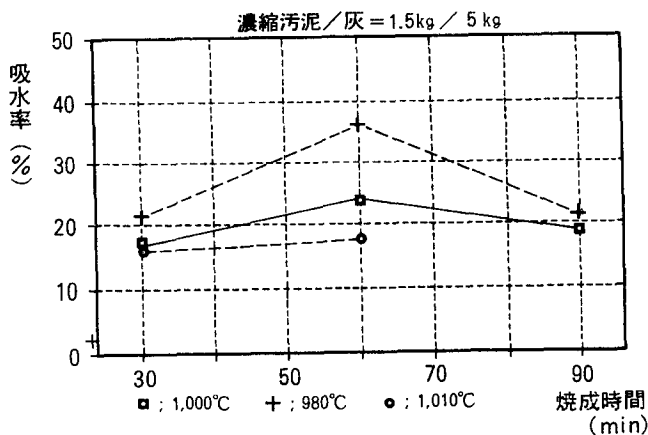


図-10 焼成時間 VS 吸水率 (濃縮汚泥添加)

c) 焼成時間の影響 (図-8, 9, 10)

- ・濃縮汚泥と脱水ケーキを添加したものは焼成時間による変化は比較的小さかった。
- ・乾燥ケーキに関しては60分で吸水率は最高を示し、焼成時間が影響しているようである。

3.2.3 その他

(1) 予備混練の必要性について

今回はバイプロミキサ投入前に簡単に混練してから機械に投入した。それでも汚泥だけの粒がでてくることもあり、予備混練は必要と考える。

(2) 乾燥工程の必要性について

前述した通り、濃縮汚泥を添加したものは造粒品の一部が破裂し粉化する現象がみられた。従って、焼成炉投入前に乾燥する必要があると思われる。

初期水分35%の造粒品の乾燥時間を調べたところ、絶乾までに要する時間は200°Cで90分、300°Cでは50分であった。

(3) 水の供給方法について

バイプロミキサの連続運転の安定性を確認するために、チューブポンプで直接バイプロミキサドラム部に水を定量供給し、連続運転を試みた。わずかな水分差で造粒状態は変化し、安定状態を維持することはできなかった。原因は灰の定量供給ができなかったためと考えられる。

バッチ運転の場合はほぼ再現性はあるので、実用化に際し、水の供給はライン注入よりも予備混練の段階で適性水分に調整した方が良いと思われる。

(4) 冷却について

焼成直後、水に漬けて急冷したが特に割れ等認められなかった。

(5) 造粒品及び焼成品の輸送用機器選定用データ

・落下試験

汚泥の粘性によるバインダ効果により、造粒品は1mの落下では変形するが、割れることはなかった。

・嵩比重：造粒品 0.68g/cm³
(但し、水分22.3%)

焼成品 0.48g/cm³

(6) バイプロミキサ運転音

今回使用した実験機では、機側1mで100db、10mでも97dbあった。作業環境の面から何らかの防音対策は必要と思われる。

4. まとめと今後の予定

本研究より、焼却灰を用いた園芸用培土の最適製造プロセスを明らかにすることができた。

造粒機は不定形状に造粒できるものとして「バイブロミキサ」を選定した。また、焼成方式については、動的焼成でも製品の形状を維持することが判り、「ロータリーキルン」を選定した。

以下に本研究より得られた知見をまとめる。

(1) 造粒条件

・造粒水分

汚泥の添加の有無、汚泥の種類、汚泥添加量等により適性水分は各々異なるが、概ね35%程度であった。

・汚泥の種類、添加量

汚泥の添加は焼成品の吸水性確保に効果的であり、造粒品中に占める汚泥固形分の割合と吸水率はほぼ比例関係にある。しかし、その割合が20~30%で吸水率はほぼ横ばいになり、それ以上になると焼成品の硬さを確保するのが難しくなる。

汚泥添加の上限は、造粒品中の汚泥固形分含有率で30%程度と思われる。

(2) 焼成条件

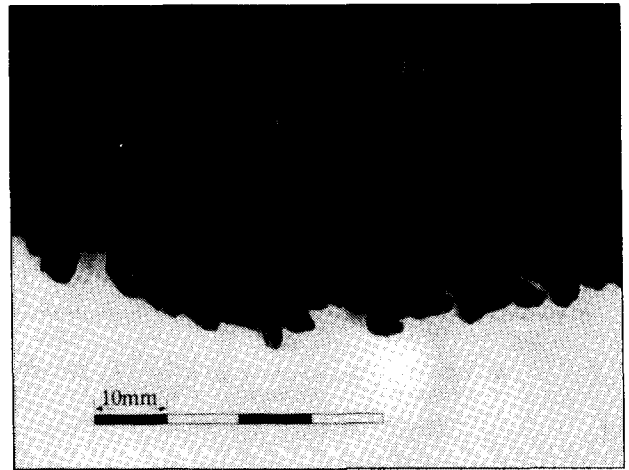
・焼成温度

電気炉による実験結果では、焼成品の吸水率や硬さから、1,000℃前後が適当であったと思われる。但し、炉の形状等により適性温度はかわるものと予想される。

また、数10℃の温度差で製品の吸水率や硬さに違いがみられ、炉内の焼成温度は10℃単位で制御できるものが必要と考えられる。

・焼成時間

約1hrは必要であり、焼成温度下で必要時間を確保できるキルンの容量が必要である。



ハマソイル完成品

(3) その他

・混練

バイブロミキサへの直接供給では灰と汚泥の均一な混練は困難であるため適当な混練機を設置する必要がある。

・乾燥

含水状態では焼成時に割れることもあるので乾燥機は必要である。

・不良品の処置

造粒時に発生する30mm以上のものはバイブロミキサ或いは混練機に戻し、焼成後に発生する1mm以下のパウダーは灰ホッパにもどすのがよいと思われる。

(4) 今後の予定

今回の研究結果に基づいて、焼成ハマソイル実験製造設備(0.5t灰/日)が平成6年2月下旬に横浜市南部汚泥処理センターに完成した。試運転後、平成6年度は実験設備を用いた製造実験を実施し、最適運転条件及び培土の品質向上方法について検討する予定である。

● この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	佐藤 和明
研究第一部主任研究員	村上 孝雄
研究第一部研究員	森 正治
研究第一部研究員	高木 克也