

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方法のひとつとして、従来より焼却灰を造粒・固化した粒状培土（ハマソイル）の製造してきたが、造粒・固化に用いるPVAの価格の上昇により、製造コストが高くなったことや、1年程度経過すると培土が粉解して灰に戻るため、根詰まりによる成育障害を生じるなどの問題があった。

本研究の対象とする技術は、こうした問題を解決するために開発されたもので、焼却灰を造粒して焼成することで、従来品より強度および保水性に優れた製品を製造できるほか、固化に薬品を使用せず、焼成の熱源として汚泥消化ガスを使用することで製造コストを低減することを目的としている。

本研究は、平成5年度～8年度の4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財団法人下水道新技術推進機構が共同で実施するものである。

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運転条件に関して、前年度に引き続き実証製造設備を用いて、造粒工程及び焼成工程の最適運転条件に関する調査を行っ

た。

3. 研究結果

3.1 造粒工程の運転調査

バイプロミキサを用いた造粒工程について、脱水ケーキの代わりに汚泥の供給源として乾燥ケーキを用いた実験を行った。乾燥ケーキは脱水ケーキに比べ造粒品中の汚泥固形分量を高くできることから、焼成品のかさ密度、吸水率の向上が期待される。

造粒実験の結果、乾燥ケーキでも脱水ケーキと同様に、添加量の増加にともない粗粒品の発生率が上昇する傾向が認められ、添加量としては、灰供給量80kg/時に対して20kg/時程度が適当と考えられた。

この添加量は、固形分ベースでは焼却灰に対して約12.5%の添加率に相当し、これも脱水ケーキと同様の結果であった。

表-1 乾燥ケーキ混合率

焼却灰 (kg/H)	乾燥ケーキ (kg/H)	汚泥添加率 (%)
80	17	12.5
	27	25
	50	37.5

* 汚泥添加率は乾燥ケーキ水分40%として計算した。

汚泥添加率 (%) = ケーキ中の固形分 / 焼却灰供給量 × 100

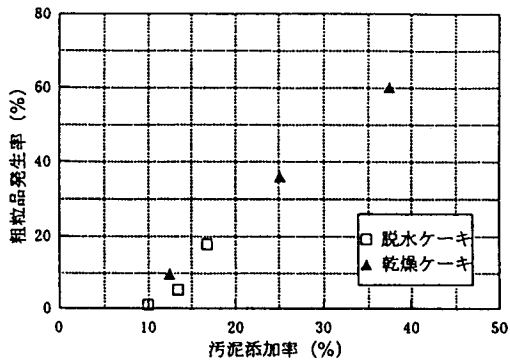


図-1 汚泥添加率と粗粒品発生率
(振動条件: 50Hz)

3.2 焼成工程の運転調査

ロータリーキルンを用いた焼成工程については、以下の項目について最適運転条件の調査を行った。

3.2.1 乾燥ケーキ添加の影響

造粒工程に引き続き、乾燥ケーキを用いることによる焼成工程への影響についての実験を行った。

乾燥ケーキを用いることで、かさ密度および吸水率について若干の改良が認められたが、この場合の圧壊強度については1kgf以下となり、脆く形状もつぶれたものが多く発生した。このことから、焼成工程での乾燥ケーキの有効性は認められなかった。

表-2 焼成品の性状

(粒径5~8mm)			
乾燥ケーキ (kg/h)	かさ密度 (g/cm ³)	圧壊強度 (kgf)	吸水率 (%)
50	0.56	1以下	47.0
27	0.61	1以下	41.3
17	0.68	8.2	37.1
脱水ケーキ 50	0.69	12.0	38.0

焼成条件
 ・焼成温度: 950℃
 ・焼成時間: 1時間40分

3.2.2 燃焼時間と焼成時間について

本実験製造設備において用いているロータリーキルンは外熱型であり、2箇所からジャケットに熱風を吹き込むことにより炉の加熱を行うものである。炉内温度分布は、図-2に示すように供給側から排出側に向かって高くなる。この温度分布をモデルとして、電気炉による焼成実験を実施し、キルン型焼成炉における焼成時間の検討を行った。実験の結果、造粒品の昇温、燃焼域では10分以上、焼成域では20分以上を確保することで安定した焼成が確認された。

一般的に、キルン型焼成炉は、製品の必要焼成時間の2倍程度の滞留時間で設計されることから、実炉の滞留時間は、上記結果より1時間以上は必要と考えられる。

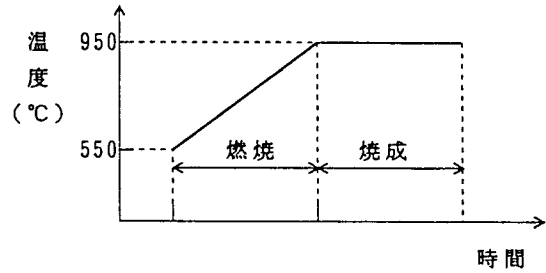


図-2 温度分布のモデル図

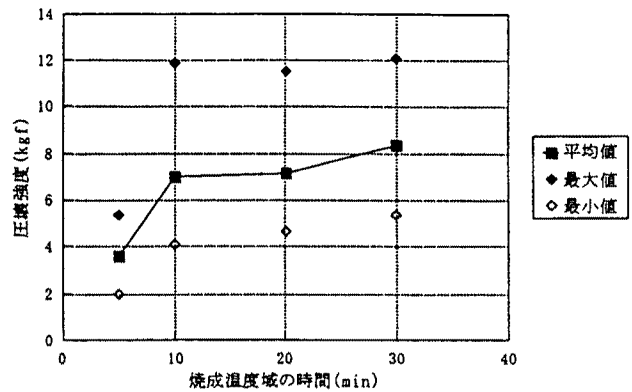


図-3 焼成温度域の時間と圧壊強度の関係
(燃焼温度域: 550-950℃、40min)

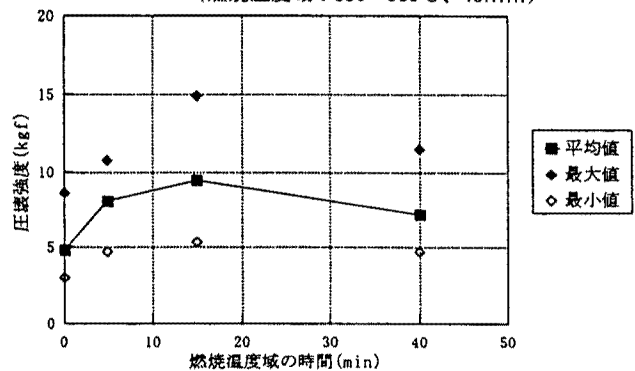


図-4 焼成温度域の時間と圧壊強度の関係
(燃焼温度域: 950℃、20min)

3.3 プロセスの効率化の検討

ハマソイルの製造工程は造粒、焼成の2工程に分けられるが、各工程でそれぞれ最終製品にできない不良品が発生する。この不良品の再利用をはじめとするプロセスの効率化について検討を行った。

3.3.1 造粒粗粒品の利用について

造粒工程では、粒径30mm以上の造粒品を「粗粒品」として焼成工程の前で系外へ取り出している。

ここで、粗粒品の発生率は5~10%程度である。

この粗粒品の回収方法として、再度造粒機へ戻す循環法と、新たに解砕機を設置して系へ戻す解砕法の2法について実験を行った。

実験の結果、いずれの方法も採用可能と判断されたが、循環法についてはその安定性について、長時間運転による確認が必要であると考えられる。

3.3.2 乾燥機の必要性

実証施設では、焼成炉の前に乾燥機を設置し予備乾燥を行っているが、施設の簡素化を図る意味から、乾燥機の省略の可能性について実験を行った。

実験の結果、直接焼成炉へ投入した場合は、製品の微粉化が進むことが確認された。これは、造粒品内の水分が急激な加熱で蒸発することが原因と考えられる。

このことから、製品の歩留まりの点から焼成工程の前に乾燥機が必要であることが確認された。

表-3 焼成品の粒度分布(%)

粒径(mm)	乾燥あり	乾燥なし
8~30	41.5	20.5
5~8	25.7	25.0
3~5	12.3	17.3
1~3	2.8	4.5
1以下	17.8	32.7

3.3.3 焼成微粉の利用について

焼成工程以後で炉壁や製品同士の摩耗により発生する微粉(粒径1mm以下)は「焼成微粉」として系外へ取り出しているが、その発生率は20%近くになる。

そこで、製品の歩留まり改善をはかるため、焼成微粉の循環再焼成の実験を行った。

実験の結果、焼成微粉単独での製品化は不可能であること、および焼却灰に対する焼成微粉の混合率をあげると、製品の強度が次第に低下し、焼成微粉の発生率が増加する傾向が認められた。

焼成微粉が再利用できない場合は系外処分となるため、今後は長期の連続運転を実施する中で、発生量を出来るだけ小さく抑えつつ製品の安定性を確保できる運転条件を検証していく必要がある。

表-4 焼成微粉の混合条件

焼成微粉	焼却灰	焼成微粉混合率
80kg/H	0kg/H	100%
30kg/H	50kg/H	38%
20kg/H	60kg/H	25%
0kg/H	100kg/H	0%

表-5 実験結果

焼成微粉混合率(%)	圧壊強度(kgf)	吸水率(%)	かさ密度(g/cm ³)	焼成微粉発生率(%)
100	1以下	48.3	0.64	54.9
38	6.2~10.4 (7.9)	41.5	0.64	31.1
25	6.9~10.1 (8.2)	42.9	0.64	28.7
0	9.4~19.2 (13.7)	39.7	0.67	22.5

* 圧壊強度の測定点数は5点、()は平均値。
かさ密度は粒径5~8mm

3.3.4 連続運転安定性の確認

各工程で確認された最適条件により実証設備の24時間連続運転を実施し、設備の安定性と物質収支、熱収支等の基となる諸量の採取を行った。

連続運転の結果、設備の面では特に問題はなく安定した運転が確保されたが、製品の歩留まりをみると75%に留まり、システムとしての効率化の課題がここでも明らかになった。

3.3.5 製品の品質

製品の品質について、培土としての性状を示す代表的な項目について分析調査し、市販の用土との比較を行った。各用土ともそれぞれに用途が異なるため、個々の数値を単純に比較はできないが、リンに関する項目については培土としての有効性が確認された。

4. まとめと今後の課題

4.1 まとめ

本年度までの研究により、園芸用人工培土の製造技術について、以下の結論が得られた。

(1) 造粒の基本操作条件

添加汚泥	
種類	添加率
脱水ケーキ	12.5%

造粒機		
ロッド径	ロッド数	振動(インバータ周波数)
φ44	20本	50Hz

造粒工程においては5~10%の粗粒品が発生するが、この粗粒品については造粒機への再投入または解砕機の設置で回収可能である。

(2) 焼成の基本条件

表-6 焼成温度と焼成品性状

焼成温度	930 ~ 950 °C	焼成温度 (°C)	< 930	930 ~ 950	950 <
焼成時間	1 時間	圧壊強度 (kgf)	5~12	10~12	10~17
焼成炉回転数	2 rpm以下	吸水率 (%)	38~40	38~40	30~35
		かさ密度 (g/cm³)	0.65 ~ 0.7	0.65 ~ 0.7	0.7~0.75

表-7 24時間運転の結果

項 目		結 果		備 考	
供 給	①焼却灰 (kg)	1,820			
	②脱水ケーキ (kg)	1,118		水分80%	
	③砂ろ過水 (L)	202			
	④粗造粒破砕品 (kg)	92		灰コソ付交換中に乾燥機へ投入した	
造 粒 機	⑤供給機 (①+②+③)	3,140			
	粗粒品	⑥発生量 (kg)	125		
		発生率 (%)	4.0		
乾 燥 機	⑦こぼれ (kg)	18			
焼 成 炉	投入量 (固形分)	3,089 (2,008)※		(④+⑤-⑥-⑦) 造粒品水分35%として	
	投入量 (灰分)	1,874 ※		汚泥固形物中のVTS60%として	
	焼成品 (kg)	1,758			
分 級		重量 (kg)	比率 (%)		
	8~30mm	729	41.5		
	5~8mm	427	24.3		
	3~5mm	252	14.3		
	1~3mm	58	3.3		
	1mm以下	292	16.6		
焼成品1~30mm (kg)		1,466			
全供給量灰分 (kg)		1,961※			
歩留り (%)		75			
消化ガス (m³/H)		38		定常運転時	
電力 (kwh)		30			

※は計算値

表-8 焼成ハマソイル物理化学的性状

	焼成ハマソイル			市販用土				
	850°C	900°C	950°C	赤玉土	鹿沼土	Λ'-ミキ ライト*	Λ'-ライト*	
比 重	0.6	0.6	0.7	0.71	0.39	0.3	0.3	
pH (H ₂ O)	6.7	6.9	6.8	5.2	5.8	6.3	6.8	
有効態リン酸 (mg/100g)	1.145	1.283	1.313	8.3	2.3	0.9	0.2	
リン酸吸収係数 (mg/100g)	150	50	10	2,370	230	640	650	
陽イオン交換容量 (me/100g)	2.2	1.9	1.5	18.8	26.5	17.4	21.5	
三相分布 (pF 1.8) (%)	固 相	30.7	28.2	29.2	25.8	13.5	27.9	9.3
	液 相	34.8	32.2	33.7	56.1	54.0	24.0	49.5
	気 相	34.5	39.6	37.1	18.1	32.5	48.1	41.2

*単品の分析値でないため参考値

焼成工程以後で発生する焼成微粉は、製品の強度の面から循環利用に限界があると考えられる。

安定した製品を確保し、かつ歩留まりの向上を図れる循環量の検討が必要である。

4.2 今後の課題

前述のとおり、園芸用人工培土の製造技術については、施設の設計や運転に関する基本的事項が確認

された一方で、工程で発生する不良品の循環利用等プロセスをより効率化する上での検討事項も明かとなった。

これらについては、次年度において現状の実証設備に不良品を定常的に循環利用する装置を増設するなどして、長期間運転における循環量と製品の品質の安定性等について確認を行う予定である。

● この調査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	若山 正憲
研究第一部研究員	須賀 研二