

■ 技術賞内容紹介 ■

焼却灰リサイクルレンガ製造技術の開発

Development of Ash Recycled Brick Manufacturing Technology

高橋 史郎*・谷口 和樹**・浅田 信二**・赤松 健***

Shiroh Takahashi Kazuki Taniguchi Shinji Asada Takeshi Akamatu

1. 緒言

わが国の下水汚泥発生量は下水道普及率の向上に伴い年々増加する傾向にある。平成3年度から始まった第7次下水道整備5カ年計画によると下水道普及率を平成2年度末の44%から平成7年度末には54%に向上させる計画であり、さらに内需拡大策の一環として第7次を上回る規模の第8次下水道整備計画が策定されるものと予測されている。そのため汚泥発生量は今後とも増加するものと予想される。

通常下水汚泥は減容化および性状安定化のため焼却した後、埋立て処分されているが、近年処分地の確保が困難になりつつあり焼却灰の有効利用技術の開発が急務となっている。

当社では従来より焼却灰有効利用技術の研究開発を行ってきたが、昭和62年に焼却灰を100%そのまま原料としてリサイクルレンガを製造する「プレス焼成技術」(当社商品名)を開発し、基本特許を出願した。昭和63年にはテストプラントを製作し、基本技術の確立と汎用性の確認を行うと同時に平成元年度より東京都下水道局と共同研究「焼却灰の実規模施設による連続圧縮成形・焼成技術の開発」を行い、実用化技術を確認した。平成3年3月には東京都南部スラッジプラントと埼玉県新河岸川処理センターでそれぞれ生産能力10t/日のリサイクルレンガ製造設備が同時に稼働したのを皮切りに現在全国7カ所で順調に稼働している。

2. リサイクルレンガ製造技術について

2.1 技術の概要

各自治体や関連各社は下水汚泥焼却灰の建設資材化

* 中外炉工業(株) 環境事業部 部長

** " " 課長

*** " " 係長

〒550 大阪市西区京町堀2-4-7

技術の開発を競っているが、その関心は既製品にどれだけ焼却灰を混合できるかにあった。当時、コンクリート製品や窯業製品への混合比率は最大30%であり、製品の需要が少なく経済性が見合わないため、有効利用の比率は極めて低いものであった。

当社では発想を180度変え、100%焼却灰を使用し、一切添加物を加えないでリサイクルレンガを製造する究極のシステムを開発した。本技術では焼却炉から出てきた絶乾状態の灰を使用するため、原料調合工程と乾燥工程が不要になり、プレス成形工程と焼成工程のみから成る、極めて単純なシステムである。

本システムでは下水汚泥焼却灰1tから200mm×100mm×60mmの標準レンガが約370個、施工面積にして約7.7m²分が製造される。図-1に生産能力10t/日のリサイクルレンガ製造設備の代表的な配置図を示すが、製造設備は灰ホップ、プレス、焼成炉および梱包装置とこれらの機器と連動する自動搬送装置で構成される。生産能力はプレス1台、焼成炉1基で5t/日であり、これを並列に配置することにより10t、15tと生産能力を上げることができる。

2.2 特長

本技術は下水汚泥焼却灰を有効利用して建設資材化する技術で本格的に工業化を実現した最初のものであり、現在も唯一のものである。本技術は製造プロセスが単純であり、副原料を添加しないため、下記の利点がある。

①製品品質が優れている。

関連のJIS規格等を満足しており、さらに既存の製品に比較して圧縮強さは約2倍以上、曲げ強さは約3倍となっている。

②高い減容効果が得られる。

プレス成形と焼成により1/4～1/5の体積に減容する。この減容効果は溶融炉以上である。

③無公害・安全の確保。

製品中に含まれる重金属を低融点物質がガラス化

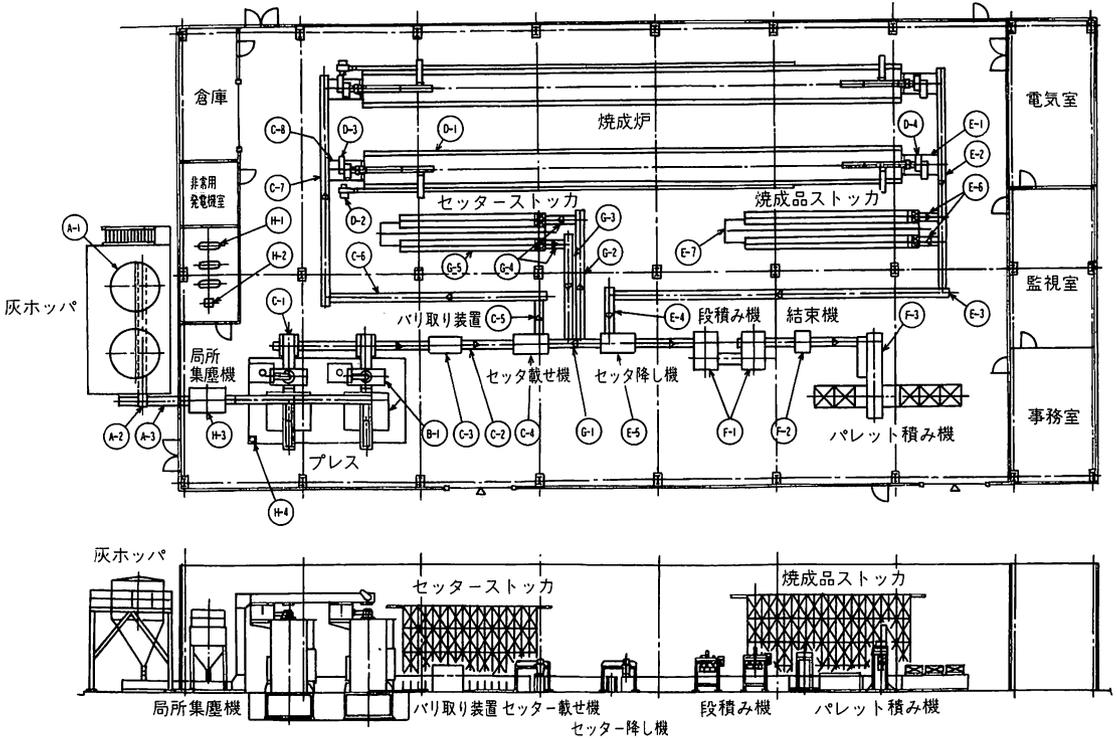


図-1 リサイクルレンガ製造設備配置図

して閉じこめるため重金属が溶出ししない。また焼成炉排ガス中への重金属揮散もほとんどない。

④経済性に優れている。

不要となる焼却灰処分費用を差引いたレンガ1個当たりの製造原価(=工場渡し販売価格)は東京都が120円、埼玉県が80円、岐阜市が100円と発表されている。市販レンガ1個当たりの価格(=現地車上渡し販売価格)は硬質レンガが約200円、赤レンガが約100円となっており、これと比較してリサイクルレンガの価格はほぼ同等と言える。

さらに現在他社が開発している有効利用システムが工業化された場合を想定しても、かなり安い価格になっているものと推測される。

2.3 プレス成形技術

プレス成形は油圧式1軸粉末成形プレスを使用して焼却灰の金型への充填から成形品の取出しまで全自動で行う。図-2にプレス成形方式の比較を示す。耐火レンガ製造等に使用されている一般的な方式で焼却灰をプレス成形する場合、上方からの一方的な加圧のため成形品上部に比べ下部が充分固まらない傾向にある。また成形品取出し時にひび割れが生じる。そこで加圧

時に上パンチの約半分速度でダイを下降させるウィズドロール方式を採用することにより、成形品の上も下部も均一に固まるようにした。また成形品取出し時にサブシリンダで上パンチを成形品に押付けながらダイを下降させるホールドダウン方式を採用することにより成形品のひび割れを防止した。

図-3に加圧力と成形品比重の関係を示す。加圧力が約100MPaまでは比例的に成形品比重が増加しているが、それ以上では飽和する傾向にあるため、減容率と成形品強度の兼ね合いより加圧力を100MPaに設定した。この加圧力は市販のレンガやタイルと比較して約3倍の数値となっている。

図-4に真空度と加圧速度の関係を示す。金型内部を大気圧の状態に加圧速度を1mm/sより速くすると成形体内部に空気が残留し、層状割れ(ラミネーション)が発生した。金型内部を26KPa(200Torr)に減圧すると、プレス速度が7mm/sにしても層状割れが発生しなかった。これより加圧速度を速くして生産性を向上させると同時にラミネーションを防止するためには成形時に成形体内部の空気を強制的に抜く真空成形が有効であることが判明したため真空脱気装置を付加

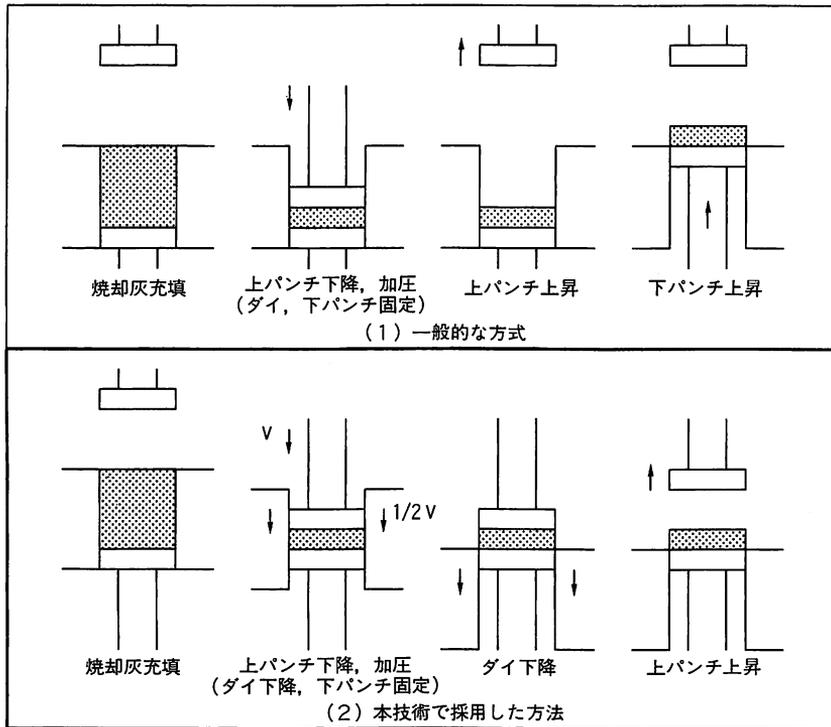


図-2 プレス成形方式比較

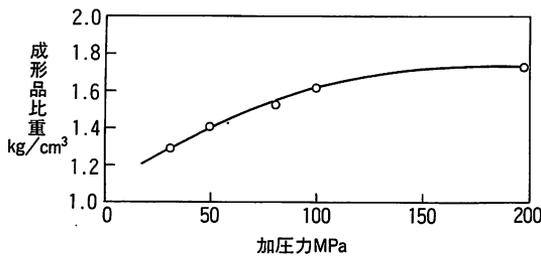


図-3 加圧力と成形品比重の関係

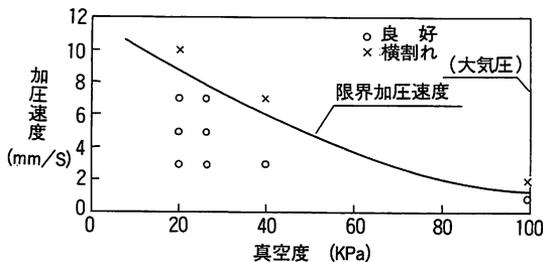


図-4 真空度と加圧速度の関係

した。

さらに成形体と金型との摩擦を軽減するため焼却灰充填前に金型へ潤滑油を噴霧する潤滑油塗布装置を付加し、これに最も適した潤滑油も開発した。

2.4 連続焼成技術

成形体は強度が比較的に弱いので焼成して強度が高く安定した結合状態にする。表1に代表的な下水汚泥焼却灰(汚泥脱水時に高分子系凝集剤を使用したもの)の組成分析結果を示す。併記している市販レンガの組成と比較すると下水汚泥焼却灰の組成はシリカとアルミナを主成分に酸化鉄を数%含む点が市販レンガと類似しているが、酸化リン、酸化カリウム、酸化ナトリウム等の低融点成分を含む点が異なっている。そのため焼成温度が1000℃前後と市販のレンガやタイルの焼成に比較して200~300℃低くなり、焼成のための燃料原単位が少なく済む。一方、原料を調整しないで使用するため焼成温度曲線を充分検討し正確に温度を制御する必要がある。そこで焼成炉には材料温度精度を維持しやすいローラース型を採用した。

図-5に代表的な焼成温度曲線を示す。焼成コストを低く抑えるためには最短時間で焼成することが有効であり、下記のように焼成温度曲線を決めている。

表1 下水汚泥焼却灰の組成分析結果

項目	分析結果 (%)	
	高分子系 焼却灰	赤レンガ (参考データ)
シリカ (SiO ₂)	43.5	70.9
アルミナ (Al ₂ O ₃)	15.7	20.1
酸化カルシウム (CaO)	9.82	0.80
酸化マグネシウム (MgO)	2.71	0.80
酸化鉄 (Fe ₂ O ₃)	7.45	5.58
酸化マンガン (MnO)	0.16	0.07
酸化チタン (TiO ₂)	0.11	0.51
酸化カリウム (K ₂ O)	3.21	0.56
酸化リン (P ₂ O ₅)	12.2	0.05
酸化ナトリウム (Na ₂ O)	0.76	—
強熱減量	0.28	—
水分	0.08	—

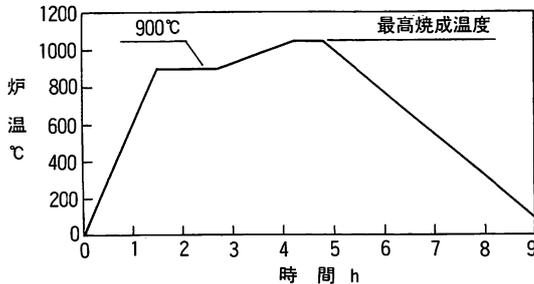


図-5 焼成温度曲線

① 1次昇温工程

市販のレンガやタイルの焼成では原料が水分やバインダを含んでいるため別途乾燥工程が必要で、さらに焼成時の昇温速度を遅くしているが、本技術では水分やバインダを加えないで絶乾状態の焼却灰を100%原料としているため、乾燥工程は不安で、かつ焼成時の昇温速度を速くすることが可能である。現状では昇温速度を約600°C/hにしている。

② 保持工程

900°C付近で一定保持し、内部の酸化不足に起因するブラックコア(黒芯)の発生を防止する。

③ 2次昇温および均熱工程

その後徐々に昇温し、最高温度で一定保持して内部まで均質に焼成し、レンガの変形を防止する。なお最高焼成温度は焼却灰組成の変動に応じて微調整し、所定の品質を保持する。

④ 冷却工程

冷却は一定温度勾配で行い、焼成品の内外の温度

差に起因する熱応力による冷却割れ現象を防止する。

2.5 焼却灰の組成変動

下水汚泥焼却灰の組成は日々変化している。変動要因として最も大きいものは降雨の影響であり、その他に工場稼働の有無や季節的な要因による変動がある。本技術では原料である焼却灰を調整しないでそのまま使用するため、焼却灰の組成変動に応じた正確な焼成温度管理が重要である。

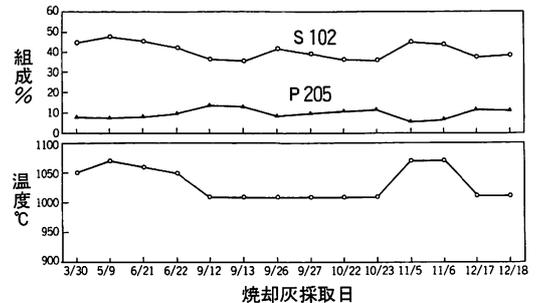


図-6 焼却灰の組成変動と最適焼成温度変動

図-6に降雨後の焼却灰組成変動と最適焼成温度の変動を示す。降雨があると雨水と一緒に土砂が流入するが、土砂の主成分はシリカであるため、降雨後はシリカが多くなり相対的に酸化リンが少なくなる。このとき最適焼成温度は高くなる傾向にある。

現在操業中の設備では焼成炉出口で製品の寸法と吸水率を測定して所定の数値となるように焼成温度を調整している。この方式では焼却灰組成が急に変動した場合に最適焼成温度の設定変更が遅れるため改善方法の検討を行っている。改善方法には原料焼却灰を分級または調査して焼却灰組成の変動を小さくする方法¹⁾、事前に焼却灰の成分分析や熱分析を行い最適焼成温度を正確に求める方法等があり、継続して研究している。

2.6 付帯設備

付帯設備として規格外品再利用設備や着色設備があり、要望に応じて設置している。

このうち、規格外品再利用設備は規格外レンガを粉碎して原料灰に混合するシステムであり、3カ所で採用されている。粉碎物を混合した試作品の外観、品質および現状の歩留り率を考慮して粉碎粒径は1mm以下、混合比率は10%とした。規格外品の粉碎はジョークラッシャとロールクラッシャを使用し、振動ふるいで粒度調整するが粗い粒子は返送して再度粉碎している。このシステムでは規格外品の場外処分が不要にな

表2 製品の規格試験結果

項 目	試 験 結 果				東京都品質 管理基準値
	No. 1	No. 2	No. 3	平 均	
圧縮強さ (N/mm ²)	134.3	133.4	120.9	129.5	32以上
吸水率 (%)	0.71	0.90	1.06	0.89	16以下
摩耗減量 (g)	0.027	0.027	0.028	0.027	0.2以下
曲げ強さ (N/mm ²)	12.3	18.4	21.4	17.4	5以上
滑り抵抗性 (乾燥状態)	103	105	105	104	—
	62	60	64	62	45以上

り、粉砕物はレンガ内部で骨材としての役割を果たすため、混合比率が5～10%のときは粉砕物を混合しない場合に比較して製品強度が増大する利点がある²⁾。

3. リサイクルレンガの品質及び安全性

製品の品質検査として外観検査、寸法検査、規格試験および溶出試験の4項目がある。このうち外観検査および寸法検査は製造工程で全数検査し、規格試験および溶出試験は定期的に抜取検査する。

外観検査は梱包装置の直前で目視により行い、寸法検査はレーザ変位計を使用して自動測定する。

規格試験は吸水率、圧縮強さ、曲げ強さ、耐摩耗性および滑り抵抗性を行う。規格試験の基準値については類似製品の規格を参考にして各々の自治体において設定されている。表2に製品の規格試験結果を示すが、JIS規格等を参考に東京都が定めたリサイクルレンガの品質管理基準値³⁾を満足している。

溶出試験は環境庁告示第44号(昭和57年)「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」に準拠し、検液作成は同告示のイ。陸上埋立処分により、製品を2mm以下に微粉砕して行う。表3に製品の溶出試験結果を示すが、全ての項目が不検出(ND)であり、製品の

表3 製品の溶出試験結果

項 目	検出限界 (mg/l)	分析結果 (mg/l)
水銀 Hg	0.0005	ND
鉛 Pb	0.1	ND
カドミウム Cd	0.01	ND
亜鉛 Zn	0.1	ND
銅 Cu	0.1	ND
ニッケル Ni	0.1	ND
全クロム T-Cr	0.1	ND
6価クロム Cr	0.01	ND
ヒ素 As	0.01	ND
シアン CN	0.1	ND

安全性に問題はない。

なおこれ以外に酸性雨の影響を考慮してpHが3または4の検液を使用した溶出試験や焼却灰中に重金属を添加した試作品の溶出試験等を行い、製品の安全性を十分確認している。

4. 納入実績および稼働状況

表4に焼却灰リサイクルレンガ製造設備の納入実績を示すが、本技術の独自性及び経済性が評価され、短期

表4 設備の納入実績表

	処 理 場 名	設 備 容 量	施 工 年 月
1	東京都南部スラッジプラント	10 t / 日	平成3年3月
2	埼玉県新河岸川処理センター	10 t / 日 5 t / 日 (増設)	平成3年3月 平成5年12月
3	東京都北多摩一号処理場	10 t / 日	平成5年3月
4	岐阜市北部プラント	5 t / 日	平成6年3月
5	大阪府狭山処理場	1 t / 日	平成7年3月
6	横浜市金沢処理場	10 t / 日	平成7年3月
7	京都府洛西浄化センター	5 t / 日	平成7年7月

間に7カ所の下水処理場で採用された。

各処理場とも順調に稼働しており、概ね歩留り率は当初の予測以上の数値となっている。製造したりサイクルレンガは各自治体で愛称をつけて幅広く利用されており、東京都ではメトロレンガ、埼玉県ではドリームレンガ、岐阜市ではハイカラレンガ、大阪府ではアシュレン、横浜市ではハマレンガと呼んでいる。主として自治体内部で施設の場内整備や公共事業で歩道や公園の舗装に使用されているが、他の自治体や民間に販売されるケースもあり、今後さらに広範囲に使用されるものと期待される。

5. おわりに

下水汚泥焼却灰有効利用技術の開発を各社が競っているが、粘土やセメント等に焼却灰を混合して建設資

材化する方法が一般的な状況の中で、焼却灰100%を使用し副原料を一切使用しない本技術は廃棄物利用の理想的な姿であり、下水道関係者のみならず各界から注目を集めている。今後下水汚泥焼却灰以外への適用も含め、さらに普及していくものと期待している。

参考文献

- 1) 山浦・緒方・浅田, 圧縮焼成レンガ製造システムにおける焼却灰の分級, 調査検討, 第30回下水道研究発表会講演集, (1993), 889.
- 2) 浅田・高橋・山浦, 下水汚泥焼却灰を原料とする舗装用レンガ製造システムの開発, 第2回環境工学総合シンポジウム講演論文集, (1992), 182.
- 3) 山浦・高橋・浅田, 焼却灰の連続圧縮成形・焼成技術における焼成温度と製品の関係, 第29回下水道研究発表会講演集, (1992), 837.

協賛行事ごあんない

「高温エネルギー変換システムおよび 関連技術に関する国際シンポジウム」

〈主催〉 化学工学会
〈共催〉 日本伝熱学会, 日本燃焼学会

〈協賛〉 20団体

〈後援〉 愛知県, 名古屋市

〈特別協賛〉 日本万国博覧会記念基金

1. 会期 1995年12月4日(月), 5日(火), 6日(水)
2. 会場 名古屋大学豊田講堂 (名古屋市千種区)
3. 内容
 - 高温燃焼・高温発生技術
 - 高温耐熱材料技術
 - 高温・高負荷伝熱技術
 - 高温蓄熱・熱輸送技術
 - 高温を伴う計測技術
 - 環境保全技術
 - 高温エネルギー変換システム

4. 基調講演 4件, 招待講演 13件
5. 参加費 (パンケット, レセプション代等含む)

	学・官	産	学生
事前	35,000円	50,000円	15,000円
当日	40,000円	60,000円	20,000円

6. 申込み・問合せ先

〒464-01 名古屋市千種区不老町
名古屋大学高温エネルギー変換研究センター
新井紀男, 北川邦行
電話 052-789-3913 (新井), 052-789-3915 (北川)
FAX 052-789-3910
(FAX等で Second Announcement を北川までご請求下さい。)