

下水道資源活用透水性レンガ 製造技術の実用化研究

1. 目的

下水道事業の進捗に伴って発生量が増加の一途をたどっている下水汚泥の安定的な処理処分は、今後の下水道事業における最重要課題の一つであり、地球環境保全等の観点からも下水道事業における資源、エネルギーの有効利用を図ることが求められている。

大阪市では、年間約30万t発生する脱水汚泥を全量焼却した後の焼却灰や、管渠浚渫で発生する洗砂等を海上埋立処分しているが、その受入能力は有限であり、新たな処分地の確保は環境保全の面からますます困難となることが予想される。

本技術は、このような状況の中で下水道の持つ資源、エネルギーを有効利用して、透水性レンガを製造する技術であり、その特徴は、下水汚泥焼却灰を主原料に、また、管渠浚渫等により生じる洗砂及び管渠工事により生じる陶管くずを主要骨材として積極的に活用するとともに、焼成の熱源として消化ガスを利用することである。

本実用化研究は、平成6年度から平成8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大阪市と共同研究を実施するものであり、上記技術について、下水道資源を活用した透水性レンガの品質向上を図るとともに、下水道資源の有効利用率を一層高めた透水性レンガの製造技術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項目は、以下のとおりである。

- (1) レンガ製造実証施設の設計手法
- (2) 原材料及び主要燃料の成分変動を伴う最適操作条件
- (3) 造粒・加圧・焼成等の各工程の最適運転操作条件
- (4) 製品品質の向上方法
- (5) 最適製造コスト

本年度は、レンガ製造実証施設の設計手法を検討するとともに、透水性レンガの原料及び焼成の熱源について、これらの組成変動等を伴うレンガ製造施設の最適操作条件を検討するため、洗砂及び陶管の発生量、洗砂特性、焼却灰及び消化ガスの組成変動に関する調査を行った。

3. 研究結果

3.1 レンガ製造実証施設設計手法

下水道の持つ資源・エネルギーの有効利用にあたり、施設を構成する単位操作機器のうち本技術に対して使用実績のないものの最適設計条件を確立することを目的として、次の3つの機器について調査した。

- ① 洗砂精選機
- ② 陶管粗砕・粉碎機
- ③ 消化ガス燃焼設備

3.1.1 洗砂精選機械

骨材の一部に下水管渠の浚渫から発生する洗砂を

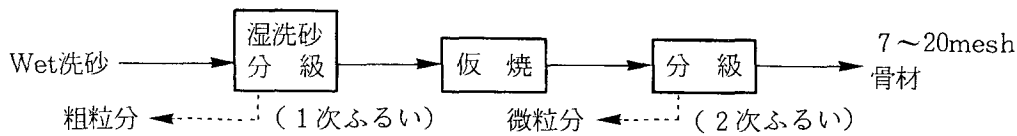


図-1 洗砂前処理工程

使用する際には、付着有機物を燃焼除去する仮焼工程の負荷を軽減するため、ごみを含む粗粒分や、骨材には適さない微粒分の搬入洗砂からの除去を効率良く行うことが必要になる。このため、湿潤状態の洗砂の分級に適合出来る機種として、ジャンピングスクリーンを用いた分級試験を実施し、その分級効率を確認し、洗砂前処理工程の設計条件を求めた(図-1)。

分級試験の結果、以下の事項が明らかになった。

① 湿潤状態の洗砂が既存分級機(ジャンピングスクリーン)で安定的に分級できることが確認できた。しかし、湿潤状態の原料のため、ふるいの目開きは大きめにセットしなければならなかったことから、基準どおりに二分することはできなかった。このため、微粒分がふるい上、粗粒分がふるい下に多少移行した。

② 湿潤状態の洗砂のふるい分けでは、1次ふるいによる粗粒分の除去効果は十分認められたが、2次ふるいによる微粒分の除去効果はあまり認められなかった。このため、1次ふるいでふるい分けしたものを仮焼原料とする試験を行ったところ、この方が、仮焼設備容量は1割程度大きくなるが、洗砂における使用目的粒度の収率は高くなり、洗砂搬入量は減少した。

したがって、設計条件としては、洗砂搬入量の削減を優先させ、粗粒分の除去を目的とする1次ふるいのみを採用すべきと考えられる(図-2, 図-3)。

3.1.2 洗砂の利用粒度

洗砂の使用粒度は現在、7~20meshを基本としているが、これでは骨材として使用される洗砂量に対し搬入洗砂量が3~4倍と多くなる。このため、洗砂の使用粒度が7~30meshまで(搬入洗砂中の7~30meshの洗砂の割合は約55%であり、7~20meshの洗砂の割合は約28%の約2倍まで使用可能量が拡大する。)拡大することが可能かどうかを、実物大の透水性レンガ(下層のみ)を製作し物性比較することによって検討した。

その結果、表-1に示すように7~30meshの洗砂

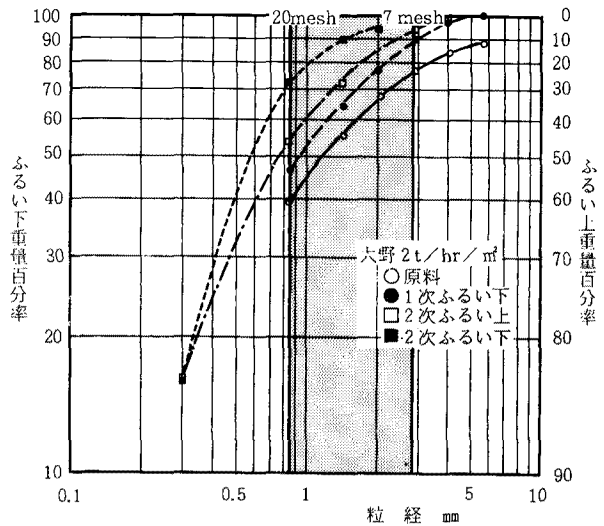


図-2 分級試験粒度分布

原料100kg当たり

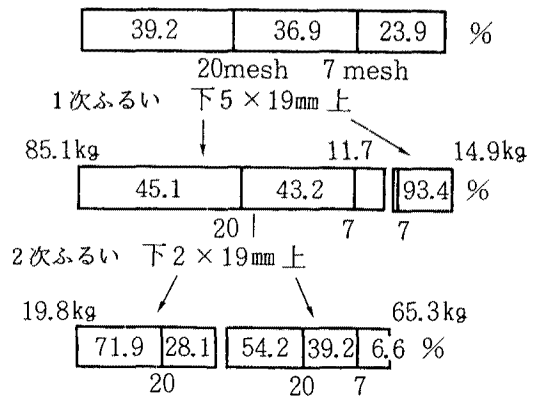


図-3 分級試験各回収割合

表-1 洗砂粒度の違いによるレンガ物性比較

物性	洗砂粒度 7~20mesh		7~30mesh	
	サンプル1	サンプル2	サンプル3	サンプル4
収縮率(%)	1.3	0.9	1.8	1.3
嵩比重	1.73	1.70	1.74	1.73
曲げ強度(kgf/cm ²)	44.1	52.9	44.1	48.5
透水係数(×10 ⁻² cm/sec)	5.60	3.94	4.86	1.85

を骨材とする透水性レンガの方が透水係数が低くなったが、目標値以上の透水係数が得られ、かつ、曲げ強度は同程度であった。したがって、洗砂の使用粒度を7～30meshに広げて使用できる可能性が認められた。但し、レンガの物性は骨材配合率・種類によって違ってくることから、さらに範囲を広げた試験が必要と思われる。

3.1.3 陶管粗砕・粉碎機

下水道管渠の改築の際に発生する使用済み陶管は、回収時の形状が多様であることなどから、骨材として使用する際には、これらに対応しつつ使用に最適な粒径まで効率良く粉碎することが必要である。このため、粗砕及び粉碎試験（粗砕機にはジョークラッシャー、さらにその粗砕物を粉碎する粉碎機にはハンマークラッシャーまたはロールブレイカーを使用。）を実施し、受け入れ陶管の形状への対応、使用目的粒度の収率を確認し、陶管粗砕・粉碎機の設計条件を求めた（図-4）。

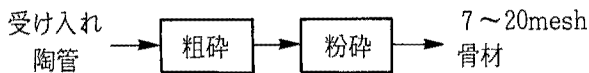


図-4 陶管前処理工程

その結果、以下の事項が明らかになった。

- ① 今回試験に使用した陶管のサンプル形状及び寸法であれば、粗砕機にはジョークラッシャーが適することを確認できた。しかし、粉碎機は両形式とも粉碎しすぎたきらいがあり、微粉が予想以上に多くなった。
- ② ①の結果を改善するため、粉碎機出口スキマの設定等を変更して、試験を行った。その結果、ジョークラッシャーでの微粉発生は増加したが、ロールブレイカー及びハンマークラッシャーでの微粉発生が減少することが分かった。これに基づき、粗砕機にジョークラッシャー、粉碎機にロールブレイカーを用いる組み合わせで試験を行ったところ、目的粒度（7～20mesh）の収率が約50%となった。

したがって、粗砕機にジョークラッシャー、粉碎機にロールブレイカーを選定し、これらの試験条件を設計条件とすることが望ましいと考えられる（表-2）。

表-2 粗砕・粉碎機の各種条件による目的粒度（7～20mesh）の収率

組み合わせ (粗砕機/粉碎機)	粗砕機条件		粉碎機条件		収率 (%)
	スキマ (mm)	スキマ (mm)	スキマ (mm)	回転数 (rpm)	
ジョークラッシャー/ハンマークラッシャー	開25	閉13	ロストル 3	1,016	28.1
	開20	閉5	ロストル 3	800	36.8
	開20	閉5	ロストル 3	600	40.5
ジョークラッシャー/ロールブレイカー	開25	閉13	ロール 2.5	110	28.4
	開20	閉5	ロール 2.0	140	47.6

3.1.4 消化ガス燃焼設備

本技術の焼成設備であるトンネル炉（連続炉）においては、重油、LPG等の燃料については十分な実績があるが、下水汚泥の嫌気性醗酵により発生する消化ガスを使用することについては経験がない。このため、テストバーナーを大野下水処理場に設置し、実消化ガスによる燃焼試験を実施し、消化ガスを燃料として使用する際の燃焼条件を調査した。

その結果、消化ガスの着火性、燃焼性、フレーム長さ等は、LPGと同様に良好な燃焼状態であり、焼成設備の設計上ほとんど問題ないことが分かった。

3.2 資源性状変動調査

洗砂、陶管の発生量を調査し、レンガ製造に必要な量から骨材配合に関する検討を行うとともに、透水性レンガの原料となる洗砂及び焼却灰や、焼成の熱源となる消化ガスの発生量、年間の性状、組成変動を調査した。

3.2.1 洗砂発生量

大阪市内の各下水処理場洗砂槽及び浚渫土砂中継基地から発生する洗砂を対象として、平成3年度から平成5年度までの月別実績データより発生量を把握し、原料として必要な量を確保できるか検討した。

その結果、全施設からの月間発生量は最低でも約400tあり、洗砂の使用粒度を7～20mesh、骨材配合を40%とした場合の計画使用量である約200t/月を十分確保できる。しかし、使用予定の洗砂を透水性レンガ製造施設に最も近い大野下水処理場洗砂槽、浚渫土砂中継基地より入手する場合には、月によっては必要量を確保できない状況にある。これは中継基地の月発生量に大幅な変動があるためであり、したがって、中継基地が働かない期間は、他の下水処理場等から不足分を搬入するなどの対応が必要である。

3.2.2 陶管回収量

下水管渠の改築工事を対象として、施工量、回収量及び回収品の形状等について調査し、レンガ製造

に必要となる骨材との量的バランスを検討した。

その結果、施工量に対する回収量の割合は約7割であった。このことから、年間約380tの陶管が回収されると予想される。これは、現在予定している透水性レンガの下層の骨材使用量（約1400t）の約1/4にあたるが、破碎時の損出等を考慮すると、実製品での陶管の利用率は、これより低い率で設定することが必要である。

3.2.3 消化ガス発生量

大野下水処理場の消化槽から発生する消化ガスを対象として、平成3年度から平成5年度までの月別実績データより発生量及び余剰ガスを調査し、焼成燃料として必要となる量とのバランスを検討した。

その結果、余剰ガスの一日の平均発生量は、冬季に減少する傾向が見られたが、それでも5,000N^m／日程度発生し、必要量（透水性レンガ製造施設での計画使用量約4,000N^m／日）は確保されているため、発生量からみた場合の燃料としての利用は問題ないと考えられる。

3.2.4 洗砂特性変動

晴天時の大野下水処理場の洗砂槽の洗砂及び土砂中継基地の洗砂を入手（8月31日）し、入荷状態の洗砂の性状を確認した。

その結果、洗砂に含まれる夾雑物の主なものは、コンクリート片、木片、貝殻、鉄屑、ガラス片等であった。特にガラス片は焼成時に発泡する傾向があるため、仮焼前に取り除くことが必要である。また、仮焼後の洗砂中には脆化したコンクリート片が多く見受けられたが、これは崩壊して粉状になるため前もって取り除くことが必要である。

3.2.5 焼却灰組成変動

放出下水処理場の流動床炉の焼却灰を対象として、週1回の頻度で焼却灰を採取し、その化学組成、熱特性等を分析、測定した。

平成6年7月から11月までの組成分析結果及びテストピースの焼成結果を以下に示す。

- ① 焼却灰の組成は、他都市の灰に比べ、SiO₂の含有量が若干低く、Fe₂O₃の含有量が高いという傾向が見られた（図-5）。このため、焼成レンガの下層が若干黒くなることが予想される。
- ② 含水率は、25.8～33.1%で比較的安定しているが、30%以上の場合には焼却灰の取り扱いにおいて、その流動性に問題を生じる恐れがあるので、特に上限値の管理が必要であると考えられる。
- ③ 粒度分布はほぼ一定であった。

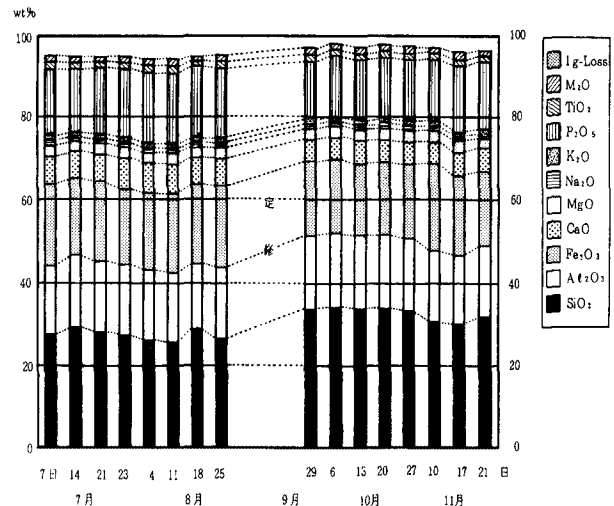


図-5 放出下水処理場焼却灰 化学組成

- ④ 焼却灰のみのテストピースを作成し焼成した結果、焼結完了点は1025～1050℃と安定した性状を示した。

したがって、焼却灰の組成変動は、焼成温度の調整剤である粘土を少量添加すれば焼成温度を一定にすることができる許容範囲内にあることが分かった。但し、焼成温度及び粘土添加量の決定には更にデータの蓄積が必要である。また、流動床の媒体である砂の一部が混入し、焼却灰の中に珪砂が多量に含まれる場合については、別途成分調整等の対応が必要であると考えられる。

3.2.6 消化ガス組成変動

レンガの焼成設備（トンネル炉）及び洗砂、陶管の仮焼炉（ロータリーキルン）の熱源に下水汚泥処理施設より発生する消化ガスを使用する際には、その消化ガスの組成変動により燃焼特性が変化することが予想される。このため、特に厳密な温度管理が要求される焼成設備に対する影響を確認するため、大野下水処理場に測定設備を設け、消化ガス中のメタン濃度の変動を調査し、焼成設備の焼成温度の制御性について検討した。

平成6年10月から12月までの約3ヶ月間におけるメタン濃度の変動調査結果を以下に示す。

- ① 消化ガスのメタン濃度が最も高い時（11月13日）で62.0%、最も低い時（12月12日）で57.6%と、最大変動幅は4.4%であった。（図6）
- ② 一日におけるメタンの最大濃度と最低濃度の差は、最も差が大きかったのが11月13日の3.0%、最も小さかったのが12月2日などの0.5%であった。

これらの結果、この程度の組成変動（発熱量）では焼成設備の温度制御性に影響は与えないと考えら

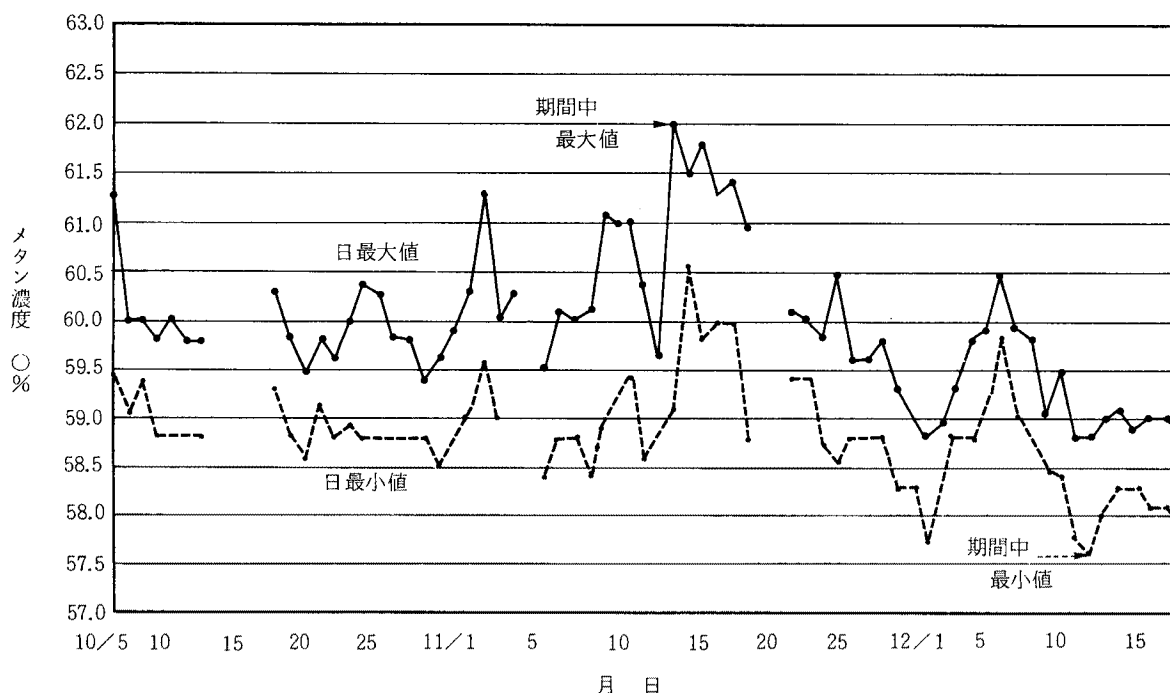


図-6 消化ガス中のメタン濃度の日変動

れる。今後、さらに組成変動の調査を継続して行い、長期的な観点からこのことを確認する必要がある。

4. まとめ

本研究により得られた知見をまとめると以下のとおりである。

(1) レンガ製造実証施設設計手法

① 洗砂精選機

洗砂精選機の設計条件としては、洗砂搬入量の削減を優先させ、粗粒分の除去を目的とする1次ふるいのみを採用すべきと考えられる。また、洗砂の使用粒度は、7～20meshから7～30meshに拡大することが可能であると考えられる。

② 陶管粗砕・粉碎機

粗砕機にジョークラッシャー、粉碎機にロールブレイカーを用いる組み合わせが望ましいと考えられる。

③ 消化ガス燃焼設備

消化ガスの着火性、燃焼性、フレイム長さ等は、LPGと同様に良好な燃焼状態であり、焼成設備の設計上ほとんど問題ないと考えられる。

(2) 資源性状変動調査

① 洗砂発生量

大阪市内の各下水処理場洗砂槽及び浚渫土砂中継基地から発生する洗砂は約400t/月以上あり、計画使用量約200t/月（使用粒度 7～20

meshの場合）を確保できる。しかし、使用予定の洗砂をレンガ製造施設に最も近い大野下水処理場洗砂槽、浚渫土砂中継基地より入手する場合には、月によっては必要量を確保できない状況にあるため、他の下水処理場等から不足分を搬入するなどの対応が必要である。

② 陶管回収量

下水管渠の改築工事の施工量に対する陶管の回収量の割合は約7割であり、現在予定している透水性レンガの下層の骨材使用量の約1/4にあたる。しかし、破碎時の損出等を考慮すると、実製品での陶管の利用率は、これより低い率で設定することが必要である。

③ 消化ガス発生量

大野下水処理場の余剰消化ガスは、約5,000 N^m／日以上発生しており、透水性レンガ製造施設での計画使用量約4,000N^m／日を越えているので、発生量からみた場合の燃料としての利用は、問題ないと考えられる。

④ 洗砂特性変動

晴天時の大野下水処理場の洗砂槽の洗砂及び土砂中継基地の洗砂には、夾雑物として主にコンクリート片、木片、貝殻、鉄屑、ガラス片等が含まれていたが、特にガラス片は焼成時に発泡する傾向があるため仮焼前に取り除くことが必要である。

⑤ 焼却灰組成変動

平成6年7月から11月までの組成分析結果及びテストピースの焼成結果では、焼却灰の組成変動は、焼成温度の調整剤である粘土を少量添加すれば焼成温度を一定にすることのできる許容範囲内であった。

⑥ 消化ガス組成変動

平成6年10月から12月までの約3ヶ月間における消化ガス中におけるメタン濃度は、最も高い時で62.0%、最も低い時で57.6%と、最大変動幅は4.4%であった。また、一日におけるメタンの最大濃度と最低濃度の差は、最も差が大きい時で3.0%、最も小さい時で0.5%であっ

た。この程度の組成変動（発熱量）では焼成設備の温度制御性に影響を与えないと考えられる。

5. 今後の予定

本年度は、透水性レンガ実証施設の建設に先立つ設計条件の検討及び透水性レンガの原材料及び焼成燃焼に関する調査を実施したが、今後は、資源性状変動調査を引き続き実施し、データの蓄積を図る。また、これらをもとに実物大の透水レンガを製作し、その品質試験を実施することにより、下水道資源有効利用率を高めた骨材配合、透水性レンガの最適焼成条件等を調査する予定である。

●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	伊藤 久明
研究第一部研究員	井上 茂治