

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27万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、透水性レンガを製造する技術であり、下水汚泥焼却灰を主原料に、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、レンガ焼成の燃料として消化ガスを利用することを特徴とする。

本実用化研究は、平成6年度から平成9年度までの予定で実施しているものであり、透水性レンガ製造技術について

- (1) 下水道資源有効利用率の向上
- (2) 主要原材料及び主要燃料の組成及び発生量の変動に対応する最適運転操作条件の確立
- (3) 個々の単位操作技術を総合的にまとめた実用規模の技術の確立

に関する検討、評価を行うことにより、下水道資源を有効利用した透水性レンガ製造技術の確立を図ることを目的とするものである。

2. 研究内容

本実用化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に伴う最適操作条件
- (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

本年度は昨年度に引き続き、透水性レンガの原材料となる洗砂及び焼却灰、焼成用燃料となる消化ガスの性状、組成の変動に関する調査を行い、これらの変動下におけるレンガ製造施設の最適操作条件を検討するとともに、これから得られたデータを基に透水性レンガを試作し、物性の向上及び下水道資源の有効利用の観点から、最適配合条件を検討した。また、これらの結果を踏まえて実証施設の調査計画を立案した。

3. 研究結果

3.1 資源性状変動調査

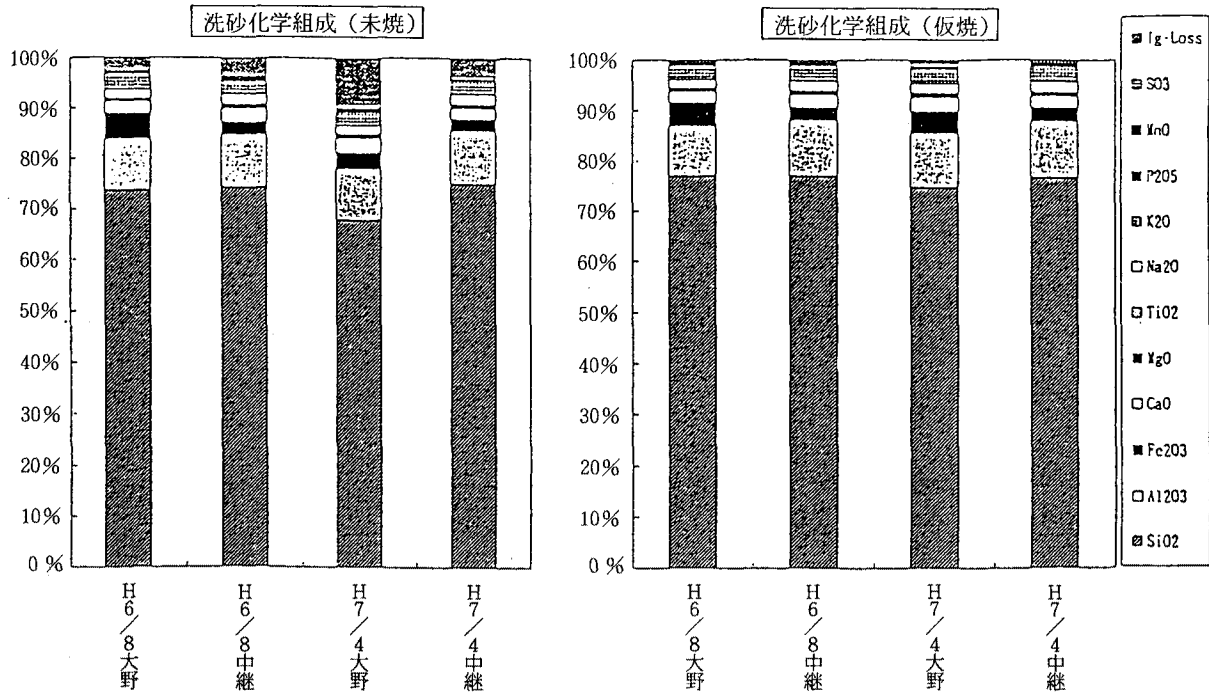


図-1 洗砂化学組成（仮焼前及び仮焼後）

透水性レンガにおける下水道資源有効利用率を高めた配合率を検討するために、原材料となる洗砂及び焼却灰の年間の性状、組成変動について調査した。また、レンガの焼成機（トンネル炉）及び洗砂、陶管の仮焼機（ロータリーキルン）の熱源に消化ガスを使用する場合には、その組成変動により燃烧特性が変化することが懸念されるため、燃成用燃料となる消化ガスの年間の組成変動を調査するとともに、特に厳密な温度管理が要求される焼成機に対する影響について調査した。

3.1.1 洗砂特性変動

平成7年4月4日入手の洗砂に含まれる夾雑物は、平成6年8月31日入手の洗砂と同様、主にコンクリート片、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こと、また、コンクリート片は仮焼後に崩壊して粉状になることから、これらを前もって取り除くことが必要である。また、採取時期による、洗砂の化学組成は、ほとんど差がなかった。（図-1）

3.1.2 焼却灰組成変動

放出下水処理場の流動床炉の焼却灰を、週1回の頻度で平成6年7月から平成7年6月まで1年間にわたり採取し、その化学組成、熱特性等を分析、測定した結果、以下の事項を確認した。

① 組成は、他都市の焼却灰と比較し、 SiO_2 の含有量が若干低く、 Fe_2O_3 の含有量が高い傾向にあることから、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%と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問題を生じる恐れがあるので、上限値の管理が必要と考えられる。
- ③ 粒度分布は、ほぼ一定である。しかし、 $180\mu m$ 以上の部分が20%以上あるときは、珪砂が焼却灰の中に多量に含まれるため、原料としての使用には適さない。
- ④ 焼却灰のみのテストピースを焼成した結果、焼結完了点は $1,025\sim 1,050^{\circ}C$ で安定した性状を示す。

また、 $1,050^{\circ}C$ 焼成のテストピースの収縮率が、

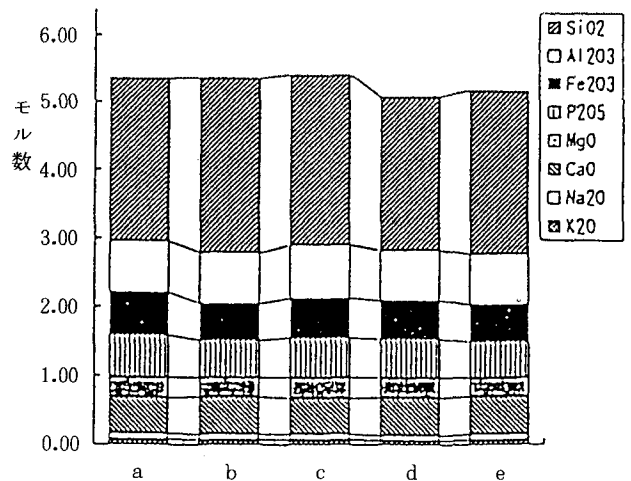


図-2 焼却灰溶解レベル別モル組成

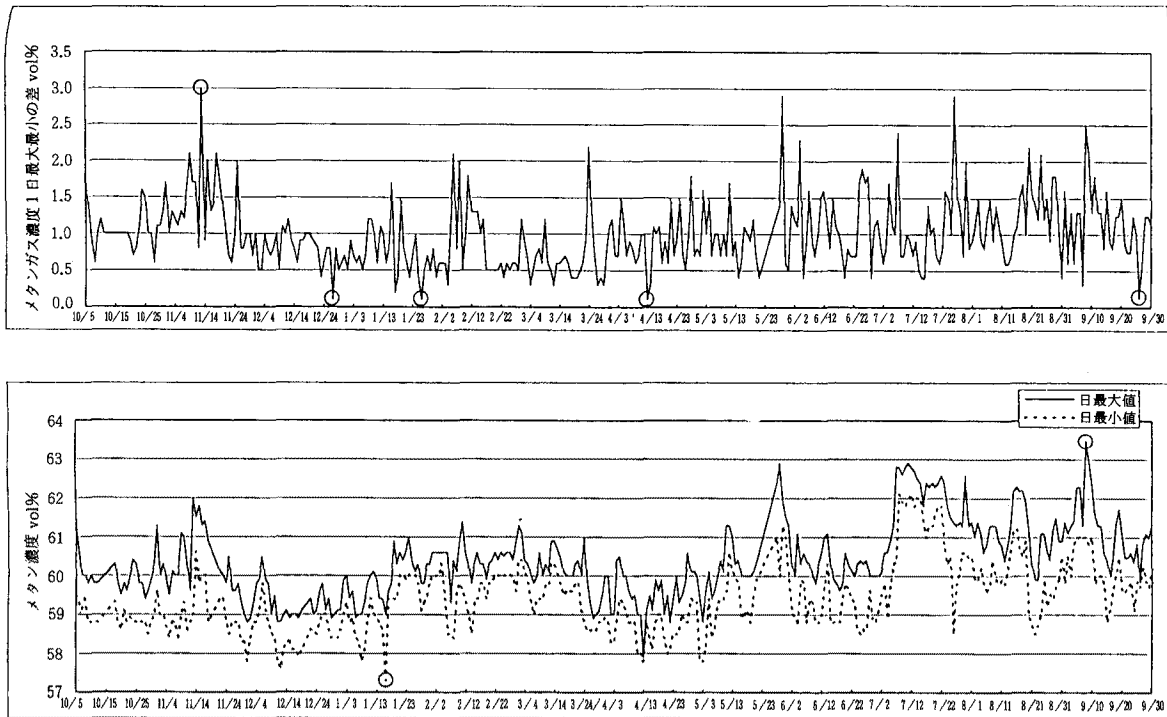


図-3 消化ガス中のメタンガス濃度の変動

焼却灰の溶融との関連が強く、これを指標とすると、焼却灰は、概ね5段階の溶融レベルに分類できることが分かった。さらに、これらの焼却灰を使用した透水性レンガを試作し、物性比較を行った結果、焼却灰は溶け難い特性を有するもの(図-2のa, b, c)と溶け易い特性を有するもの(図-2のd, e)の2つのグループに分類するのが適当であることが分かった。

3.1.3 消化ガス組成変動

大野下水処理場において、平成6年10月から平成7年9月までの1年間にわたって消化ガス中のメタン濃度の変動を調査し、焼成機の焼成温度の制御性について、以下の事項を確認した。(図-3)

- ① 消化ガス中のメタン濃度が最も高い時(平成6年9月8日)は63.5%、最も低い時(平成7年1月16日)は57.3%であり、最大、最小値の変動幅は6%程度である。
- ② 一日におけるメタンの最大濃度と最低濃度との差は、最大(平成6年11月13日)が3.0%、最小(平成7年4月13日など)が0.1%であり、変動速度は数%/時程度である。

以上より、焼成機の実際の操作に即した燃焼空気を一定とした場合には、消化ガス流量が変化したとしても、その変化率は数%/時であり、制御弁の特性としては数%/分程度の変動に対しては充分追従することから、炉の温度に影響

を与えるほどの変化はないことが確認された。

3.2 下水道資源有効利用率を高めた透水性レンガ品質調査

下水道資源の有効利用率を高めた透水性レンガの最適配合率を得るため、焼却灰組成変動調査で得られた焼却灰の変動データを基に透水性レンガを試作し、以下の①~④について調査した。

- ① 最適焼成条件
- ② 日本建築学会規格(JASS M101)(透水係数 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 以上、曲げ強度 30kgf/cm^2 以上(以下、「品質規格」という。))を満足する骨材配合範囲
- ③ 焼却灰の溶融特性を同一とするための粘土添加条件
- ④ 下水道資源有効利用率を高めた骨材配合

3.2.1 焼成条件試験

レンガ試作用シャトル炉の温度制御方法を自動化し、シャトル炉における焼成条件、特に最高温度とその保持時間及び焼却灰含有量が透水性レンガの物性に与える影響について調査し、品質規格を満足する最適焼成条件を求めた。その結果、試験条件の中で最高温度 $1,030^\circ\text{C}$ 、その保持時間3時間の場合に、焼却灰含有量42.5%の全ての透水性レンガが品質規格を達成することができた。しかし、曲げ強度については品質規格をわずかに上回るだけのもの

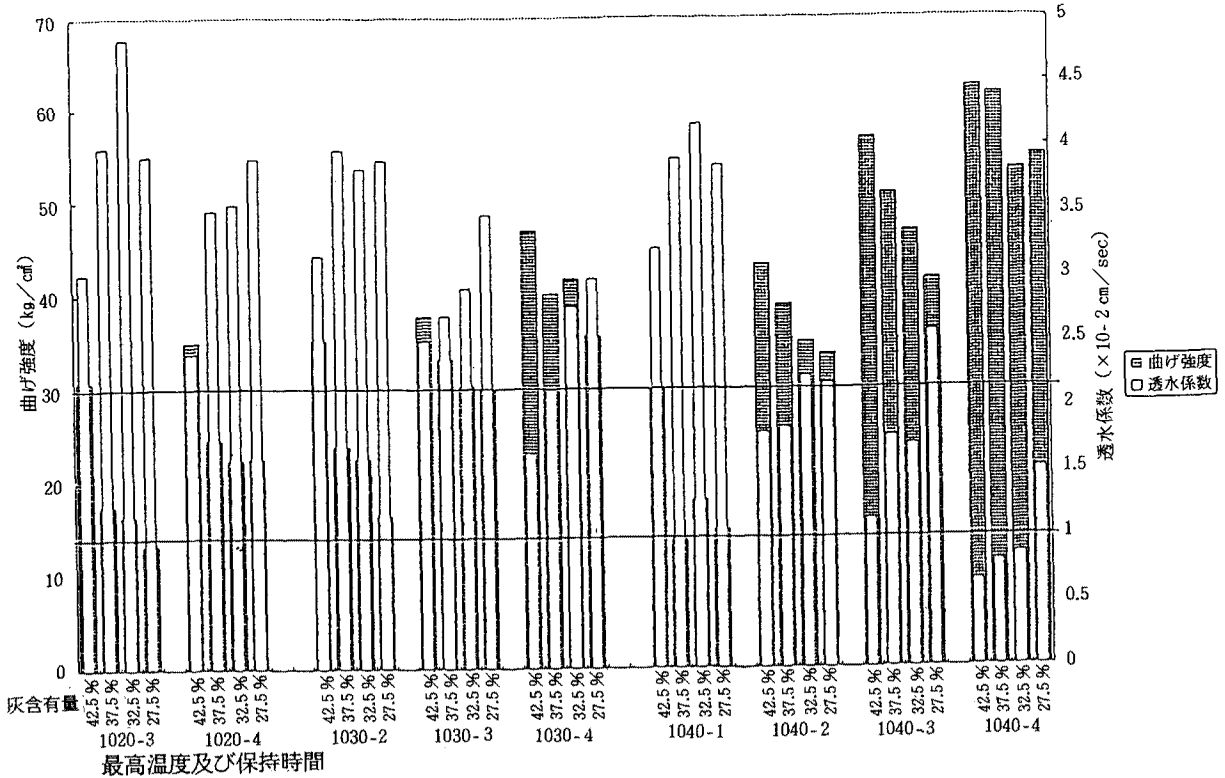


図-4 焼却灰含有量及び焼成条件による透水性レンガの物性の変化

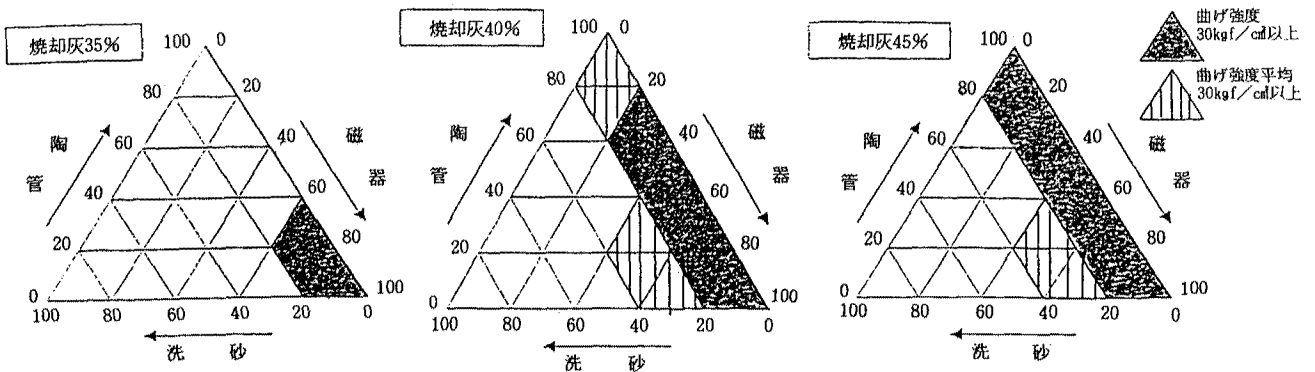


図-5 規格値を満足する骨材配合範囲

のもあり、実施設では品質規格を満たさない製品が生じる可能性が考えられた。この対策としては、燃焼灰含有量を42.5%より増すことによって向上できることが推測された。(図-4)

3.2.2 骨材配合試験

骨材配合を変えた透水性レンガを試作し、品質規格を満足する骨材配合範囲について調査した。その結果、透水係数は、全ての焼却灰含有量及び骨材配合で品質規格を満足した。また、曲げ強度は、焼却灰含有量35%では、洗砂が20%以上で30kgf/cm²付近かそれ以下であった。焼却灰含有量40%、45%では、洗砂が20%まではほぼ30kgf/cm²以上を満足したが、洗砂が40%で30kgf/cm²前後、洗砂60%以

上で全て30kgf/cm²以下であった。(図-5)

3.2.3 焼却灰溶融特性安定化試験

焼却灰の溶融温度の変動に対し、一定の温度条件で焼成するためには、焼却灰溶融温度の調整が必要となる。そこで、資源性状変動調査の溶融レベル分類結果に基づき、比較的溶け難い特性を有する焼却灰(以下、「焼却灰A」という。), 比較的溶け易い特性を有する焼却灰(以下、「焼却灰B」という。)にそれぞれ粘土を加えて溶融温度を調整し、テストピースまたは透水性レンガの物性差が最小になる粘土添加条件を調査した。

テストピース焼成結果によると、曲げ強度、吸水率、嵩比重から、焼却灰Aの焼却灰/粘土添加条件

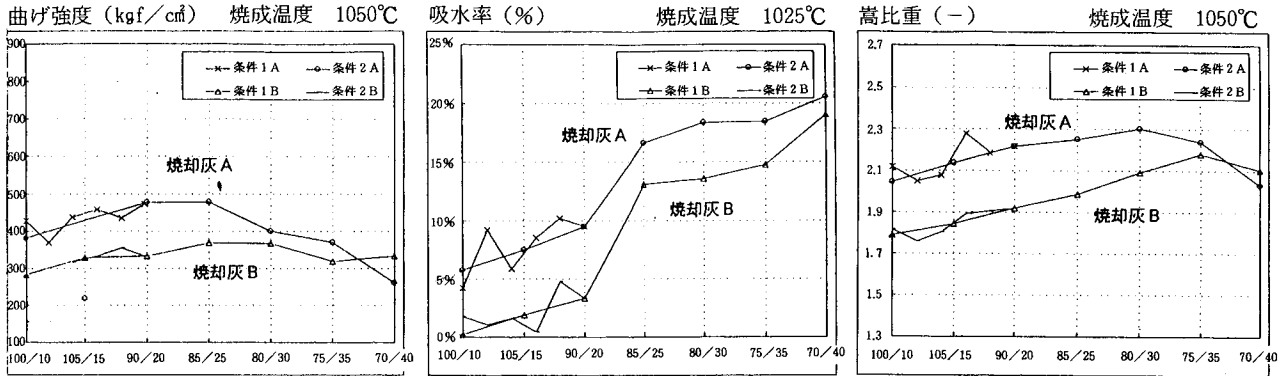


図-6 粘土添加による物性変化(テストピース焼成)

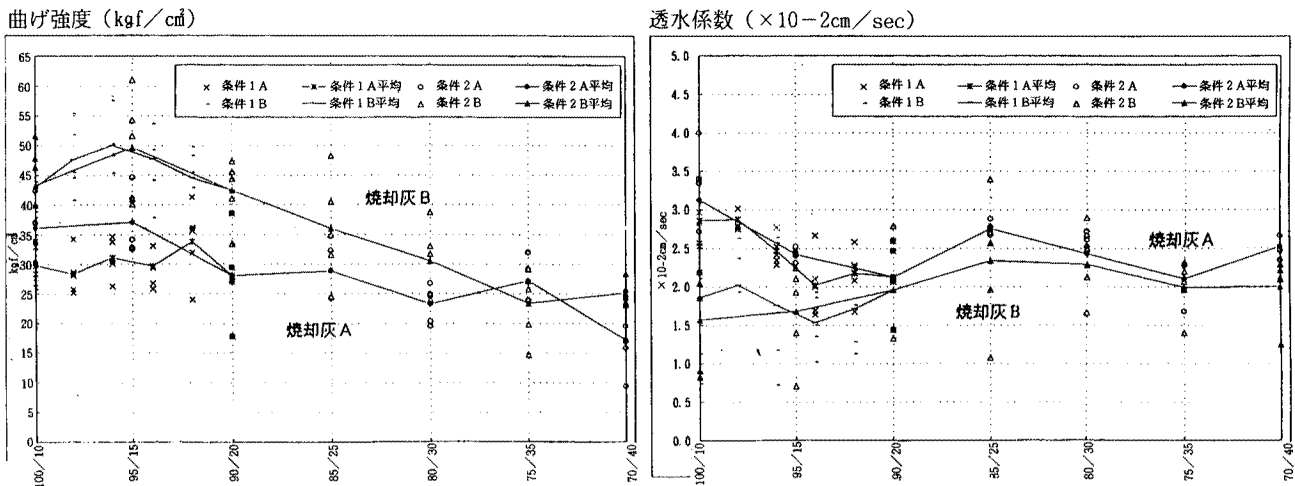


図-7 粘土添加による物性変化(レンガ焼成)

100/10とほぼ同等の性状を有する焼却灰Bの焼却灰/粘土添加条件は、90/20~80/30の間であると推定できた。(図-6)

また、透水性レンガ焼成結果によると、曲げ強度、透水係数から、焼却灰Aの焼却灰/粘土添加条件100/10とほぼ同等の性状を有する焼却灰Bの焼却灰/粘土添加条件は、85/25であったが、この条件では焼却灰Aの物性に合わせるために、焼却灰Bの曲げ強度をかなり引き下げる方向にあることが分かった。なお、各焼却灰で曲げ強度及び透水係数の物性が最も良好となるのは、焼却灰Aでは焼却灰/粘土添加条件が100/10であり、焼却灰Bでは焼却灰/粘土添加条件が95/15~85/25であった。(図-7)

3.2.4 下水道資源有効利用率を高めた骨材配合試験

焼却灰溶融特性安定化試験結果により溶融調整した焼却灰を使用して骨材配合を変えた透水性レンガ試作を行った結果、日本建築学会規格を満足する焼却灰含有量及び最適利用率となる骨材配合は、焼却灰含有量45.0%、骨材中の陶管くず10%の場合、洗砂は20~30%の範囲に、また、陶管くず20%

表-2 原料使用粒度によるレンガ物性

洗砂及び陶管くず使用粒度	透水係数(×10 ⁻² cm/sec)			曲げ強度(kgf/cm ²)		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
7~20mesh	2.12	1.10	1.69	42.3	32.9	38.4
7~30mesh	2.20	1.25	1.71	45.1	31.0	38.3

の場合、洗砂は35%までの範囲にあると考えられる。最大利用率となる骨材配合は、洗砂30%、陶管70%であると考えられる。(表-1)

3.3 洗砂及び陶管くずの使用粒度の拡大検討

搬入原料の使用率を向上させるため、洗砂及び陶管くずの使用粒度を、現在計画の7~20meshから7~30meshに拡大することについて検討した結果、洗砂及び陶管くずの使用粒度が7~20meshの透水性レンガと7~30meshの透水性レンガの物性差はほとんどなく、ともに品質規格を満足した。(表-2)

表-1 下水道資源有効利用率を高めた骨材配合

条件	骨材配合 洗砂/陶管くず/磁器くず	焼却灰含有量 (%)						評価方法		
		40.0		42.5		45.0		評価	透水係数 ($\times 10^3 \text{m/sec}$)	曲げ強度 (kgf/cm^2)
		透水係数	曲げ強度	透水係数	曲げ強度	透水係数	曲げ強度			
最適利用率	20/10/70	○	△	○	×	○	○	×	30以下	
	25/10/65	○	×	○	×	○	○	×	30以下	
	30/10/60	○	×	○	×	○	○	×	30以下	
	35/10/55	○	×	○	×	○	○	△	30以下	
	40/10/50	○	×	○	×	○	○	×	30以下	
	20/20/60	○	△	○	△	○	○	○	30~35	
	25/20/55	○	△	○	△	○	○	○	30~35	
	30/20/50	○	×	○	×	○	○	○	30~35	
	35/20/45	○	×	○	×	○	○	○	30~35	
	40/20/40	○	×	○	×	○	○	△	30~35	
	最大利用率	40/60/0	○	×	○	×	○	○	×	35~45
30/70/0		○	×	○	×	○	○	○	35~45	
20/80/0		○	△	○	○	○	○	○	35~45	
10/90/0		○	○	○	○	○	○	○	35~45	
0/100/0		○	○	○	○	○	○	○	45以上	

このため、洗砂及び陶管くずの使用粒度は、7~30meshにまで拡大して使用することが資源有効利用の観点からいって必要であると考えられる。

3.4 実証施設調査計画

実証施設の性能評価を行うための調査計画を、本年度までの調査結果に基づき策定した。

実証施設においては、A項に示す2種の原料配合で透水性レンガを生産し、B項の各項目について調査し、評価することとした。

A. 原料配合率

- ① 資源発生量に応じた配合率で日本建築学会の規格を満足する条件
- ② 下水道資源を最大に利用する配合率で日本建築学会の規格を満足する条件

B. 調査項目

B. 1 下水道資源及び搬入原料物性調査

- ① 焼却灰物性調査
- ② 洗砂物性調査
- ③ 陶管物性調査
- ④ 消化ガス変動調査

B. 2 実証施設単位操作に関する調査

- ① 前処理工程
- ② 製造工程

B. 3 製品評価

- ① 物性試験
- ② 溶出試験

B. 4 経済性評価

- ① 製造コスト評価
- ② 製造プロセス評価

なお、調査は平成9年度に行うものとし、実証施設試運転完了後、調査を開始するものとした。ま

た、各条件を変動させた調査は、原料変動の予測に基づいて調査工程を配分することとした。

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) 洗砂、陶管くず、消化ガスという下水道資源の性状変動が透水性レンガの製造に与える影響は、ほとんどなく、また焼却灰の性状変動は粒土添加により調整できる範囲内にあることが確認された。
- (2) 焼成条件が透水性レンガの品質に与える影響がかなり大きいことが分かった。なお、焼却灰含有量45.0%における最適焼成条件は、1,030℃の最高温度を3時間保持した時に得られると考えられる。
- (3) 下水道資源の最大利用率は、焼却灰含有量45.0%、洗砂16.5%（骨材中の30.0%）、陶管くず38.5%（骨材中の70.0%）であると考えられる。
- (4) 洗砂及び陶管くずの使用粒度を7~30meshにまで拡大しても、レンガの物性差はほとんどない。

5. 今後の課題

今後は、下水道資源有効利用率を高める骨材配合試験についてさらに詳細な試験を実施する予定である。また、実証施設調査計画については、調査に先立つ必要原材料の集荷、蓄積、前処理等の工程を立案する予定である。

● 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	伊藤 久明
研究第一部主任研究員	関根 富明
研究第一部研究員	井上 茂治