

下水汚泥の有効利用に関する研究

— 焼却灰を利用した実用化品の試作結果について —

羽賀 孝英・永野多美雄・中川 洋征

Study on Effective Utilization of Sewage Sludge

— Results of having been made Practical Things being used
Sewage Sludge Fly Ash on an experimental Basis —

Koei Haga, Tamio Nagano and Hiromasa Nakagawa

The effective utilization of sewage sludge that is yearly increasing was studied as a way of resolving the problem of the lack of space for disposal of it in the years to come. The things that were being to make were concrete goods (block-like bricks, concrete flat boards and interlocking blocks) and tile goods (tiles for walls and floors), using sewage sludge fly ash partly as raw materials. Then, the appearance, the strength and the resistance to repeating dissolution after freezing were tested for all things made. In general, the results were good with only partial poorness or inferiority being observed. Especially, the tiles for walls and floors by reducing baking demonstrated good results possessing a nice lustrous silver-violet color with good strength. However, in case of practical use of sewage sludge, it will be necessary that thing containing much more sewage sludge fly ash is studied.

1 はじめに

近年、下水道普及率の向上に伴い、下水汚泥が大量に発生し、自治体等では埋立処分地の不足・確保難などからその処分に苦慮しているのが現状である。

そこで、最近では従来の埋立処分に代わる手段として、図-1に示したように建設資材化等の有効利用の研究が行われてきている¹⁾²⁾。特に大都市圏ではその必要性から研究も進んでおり^{3)~7)}、近畿地域では汚泥の処理及び有効利用を広域的に実施しようという下水汚泥広域処理事業（エースプラン）も行われている⁸⁾。

このような情勢のなかで、当所においても、昭和62年度より土木部下水道課の依頼で、下水汚泥建設資材化等有効利用に関する調査研究を始めた。昨年度までは、下水汚泥の脱水ケーキや焼却灰の成分分析、環境汚染未然防止からの汚泥焼却時排出ガスの成分測定⁹⁾、並びに焼却灰のコンクリート製品やタイル製品などの二次製品への利用といった実用化に向けての基礎的検討¹⁰⁾等を行ってきた。

平成元年度は、この焼却灰の実用化の基礎的検討結果等を踏まえ、コンクリート製品として市販普通レンガの

形状をしたブロック（以下、「レンガ様ブロック」という）、コンクリート平板及びインターロッキングブロック、そしてタイル製品として壁用タイル及び床用タイルの実用化品を試作したので、ここではこれらの試作条件や試作結果等について報告する。

2 試作条件及び試作方法

2.1 使用原料

焼却灰は新潟浄化センターの脱水汚泥（高分子系凝集剤使用）を流動床式焼却炉で約 650℃で焼却したものを使用した。主な組成は、酸化鉄 46.9%，シリカ 13.3%，酸化リン 13.3%，酸化アルミニウム 5.3%，酸化カルシウム 3.2%であった。粒径については、全重量の 88%が 6～425 μm の範囲にあり、その範囲内ではほぼ一様に分布していた。

セメントは、レンガ様ブロック、コンクリート平板は普通ポルトランドセメントを、インターロッキングブロックは高炉セメントを使用した。

小砂利（粒径 10mm 以下）及び砂は阿賀野川産のものを使用した。

粘土は安田産の瓦用粘土を使用した。

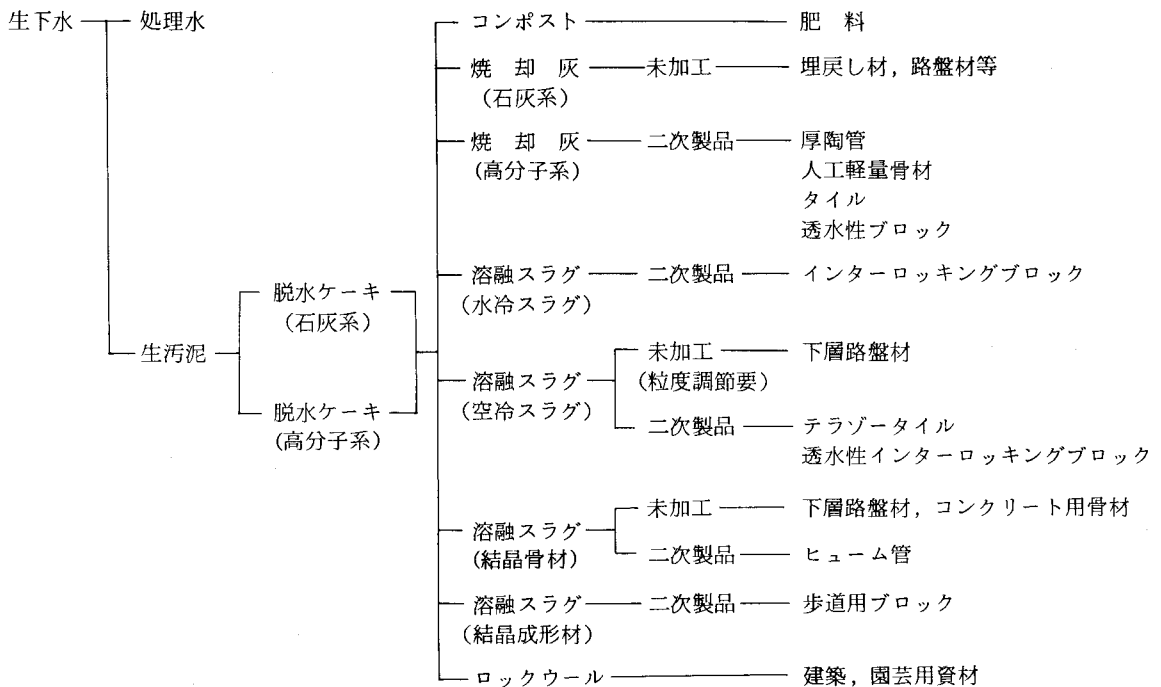


図-1 下水汚泥有効利用の研究概要

水は水道水を使用した。

2.2 コンクリート製品

2.2.1 レンガ様ブロック及びコンクリート平板

基礎検討において原料配合比はセメント1：小砂利1：焼却灰1で、水セメント比は0.85（焼却灰は絶乾状態のものを使用）で圧縮強度、色調等が良好であったことから、この条件でレンガ様ブロック（ $21.0 \times 9.7 \times 6.0$ cm、焼却灰使用量約0.7 kg/個）及びコンクリート平板（ $29.5 \times 29.5 \times 6.0$ cm、焼却灰使用量約2.9 kg/個）をそれぞれ図-2に示したフローにより試作した。養生については、今後の大量製造などの実用化を考慮し、水を十分含ませた麻袋で試作品を覆い、さらに、その上をビニールシートで覆って屋外で行った。

2.2.2 インターロッキングブロック

インターロッキングブロック（ $22.0 \times 11.0 \times 5.5$ cm）は表層部（上部1 cm）に市販顔料の代わりに下水汚泥焼却灰をセメントに対し5%（焼却灰使用量約0.007 kg/個）あるいは10%（焼却灰使用量約0.014 kg/個）を使用し、それ以外の条件、表層部の他の配合比や基層部の配合比等については一般に市販されている製品と同一条件として、図-3に示したフローにより試作した。なお、これについては委託して市販品製造プラントで行った。

2.3 タイル製品

2.3.1 壁用タイル

還元焼成による壁用タイル（ $10.5 \times 10.5 \times 0.8$ cm）を試作した。基礎検討において、粘土に焼却灰10%（乾重計

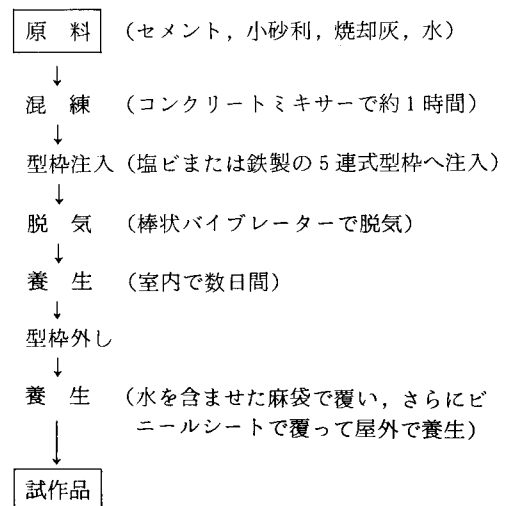


図-2 レンガ様ブロック及びコンクリート平板の試作方法

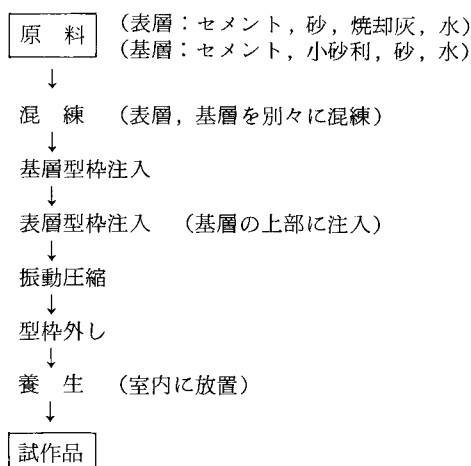


図-3 インターロッキングブロックの試作方法

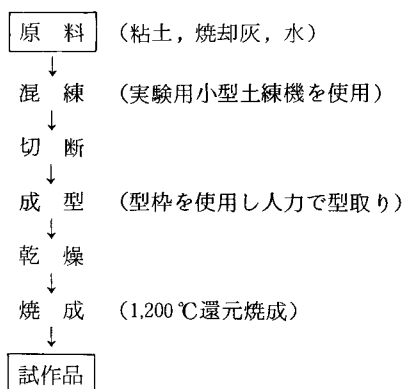


図-4 壁用タイルの試作方法

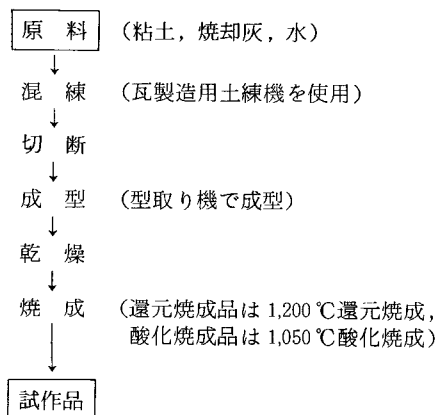


図-5 床用タイル（還元焼成品，酸化焼成品）の試作方法

算，焼却灰使用量約 0.018 kg/個) の添加及び 1,200℃の温度条件で曲げ強度，収縮率，吸水率及び色調等が良好であったことから，この条件で図-4 に示したフローにより試作した。

2.3.2 床用タイル

床用タイル (25.0 × 25.0 × 2.0 cm) については，還元焼成及び酸化焼成の二種類のタイルを試作した。

還元焼成品については，前項の壁用タイルと同様に焼却灰 10% (乾重量計算，焼却灰使用量約 0.26 kg/個) を添加したものを図-5 に示したフローにより試作した。酸化焼成品は，基礎検討において，粘土に焼却灰 50% (乾重量計算，焼却灰使用量約 1.06 kg/個) の添加及び 1,050℃の温度条件で曲げ強度，色調等が良好であったことから，この条件で同じく図-5 に示したフローにより試作した。

3 試作結果及び考察

3.1 試作品の外観

試作したレンガ様ブロック，コンクリート平板，インターロッキングブロック，壁用タイル，床用タイル（還元焼成品，酸化焼成品）をそれぞれ写真-1～写真-6 に示した。

レンガ様ブロック及びコンクリート平板は，形状がそれ程型くずれすることなく，色調が赤茶色で酸化鉄を多く含むこの焼却灰の色調を十分に生かすことができ，外観上は良好なものを試作することができた。

インターロッキングブロックはセメントに対する焼却灰の添加量が 5% 及び 10% のものを試作したが，市販製品は顔料が 5% のもので顔料自身のもつ色調を十分に生かすことができているのに対し，焼却灰添加品は焼却灰のもつ色調を十分に生かすことができず，10% 品で極わずかに感じとれる程度であった。これは焼却灰の粒径が市販顔料に比べ大きいことによるものと考えられた。

還元焼成した壁用タイル及び床用タイルは焼成後，若干のそりも見受けられたが，施工上，特に問題となる程では無く，色調についても，焼却灰中の酸化鉄が還元焼成されたことにより，光沢があり，見栄えのする銀紫色の色調を出すことができ¹¹⁾，かなり良好なものを試作することができた。

また，酸化焼成した床用タイルは同じくそりが見受けられたが，これについては特に問題ではなかった。しかし，色調が濃茶色であったことから，若干，焼成温度が低過ぎたようであった。これは，実用化品の試作に用いた大型電気炉が基礎検討で使用した電気炉と同一温度の設定であっても，実際の炉内温度に若干の相違が生じたことによるものと考えられた。

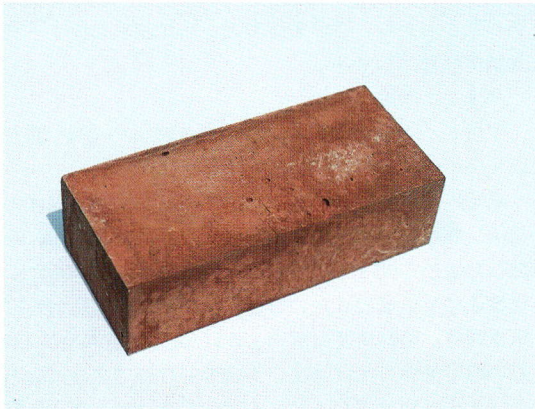


写真-1 レンガ様ブロック試作品

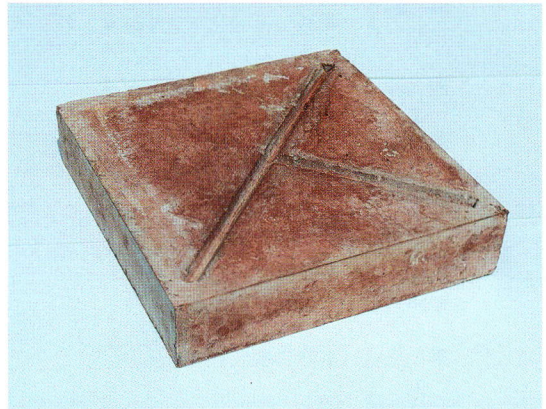


写真-2 コンクリート平板試作品

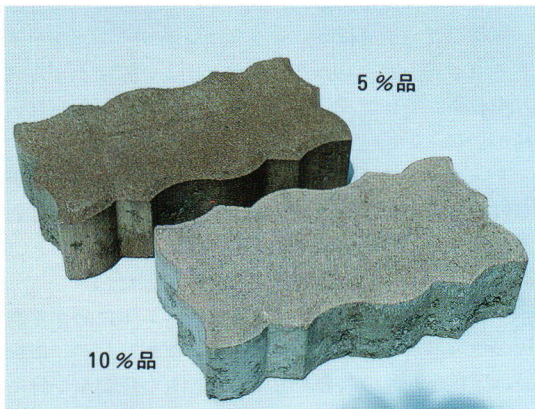


写真-3 インターロッキングブロック試作品

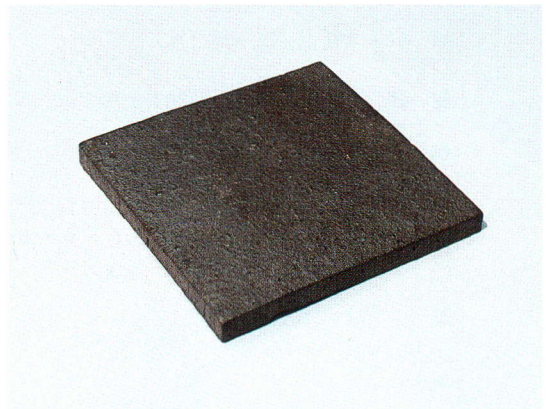


写真-4 壁用タイル試作品

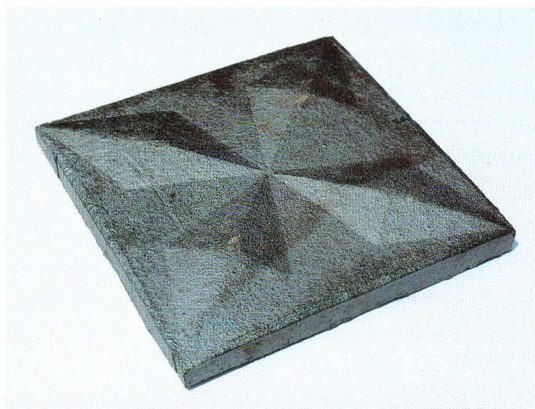


写真-5 床用タイル（還元焼成品）試作品

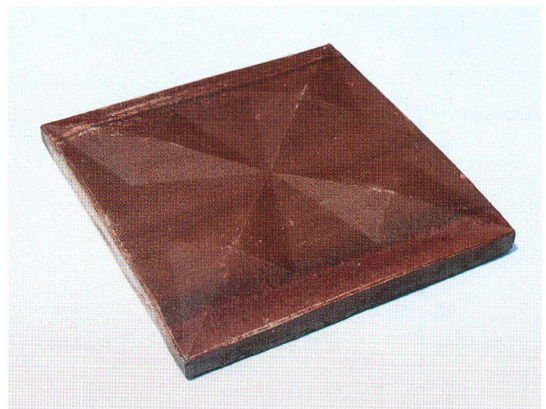


写真-6 床用タイル（酸化焼成品）試作品

3.2 試作品の強度

レンガ様ブロック及びコンクリート平板は試作品と併せて圧縮強度測定用供試体(5φ×10cm)を作り、供試体の28日間水中養生後の強度を測定した。その結果、252 kgf/cm²の強度を得た。用途によって一律に比較はできないが、コンクリート積みブロック(JIS A 5323)の規格が180 kgf/cm²、化粧コンクリートブロック(塀用)(JIS A 5407)が120 kgf/cm²であることから、この試作したレンガ様ブロック及びコンクリート平板は強度的には十分と考えられた。また、併せてレンガ様ブロックについては普通レンガ(JIS R 1250)の3種品(中強度品)の規格とも比較してみると、この3種品の圧縮強度の規格が200 kgf/cm²であることから、試作品はこの3種品の規格をも上回るものであった。

インターロッキングブロックについては曲げ破壊荷重で市販品との比較により強度を検討した。その結果、試作品は5%品、10%品のいずれも市販品と同程度の曲げ破壊荷重であったことから、強度的には問題は無かった。

壁用タイル及び床用タイル(還元焼成品、酸化焼成品)については曲げ破壊荷重を測定した結果、幅1cm当りの曲げ破壊荷重は壁用タイルで7.4 kgf/cm、床用タイルの還元焼成品、酸化焼成品で共に26.7 kgf/cm以上であった。これらについては、陶磁器質タイル(JIS A 5209)の規格と比較してみると、規格は内装タイル(壁用)で1.23 kgf/cm、床タイルで12.24 kgf/cmであることから、タイルの試作品についても強度的には十分なものであった。

3.3 試作品の耐凍害性

当県の積雪地域という地域性から、試作品の耐凍害性を検討した。

検討は粘土がわら(JIS A 5208)の凍害試験方法に準じ、-15℃凍結、20℃融解のサイクルを30回以上繰り返し、目視判定及び曲げ破壊荷重試験で凍害試験前後の比較により行った。目視で凍結融解によるひび割れやはく離などについて観察した結果を表-1、曲げ破

壊荷重試験で強度を比較した結果を表-2に示した。

目視による観察結果では、レンガ様ブロック及びコンクリート平板は凍結融解によるひび割れ、はく離及び一部破壊等が見受けられ、回数の増加に伴い、その程度も大きくなっていった。しかし、その他の試作品については凍結融解による変化は特に見受けられなかった。

しかし、曲げ破壊荷重試験の結果では、欠測となった床用タイルの酸化焼成品を除いて、他の試作品については全て、凍結融解による強度の低下は特に認められなかった。

4 ま と め

下水汚泥焼却灰を原料の一部に利用してコンクリート製品及びタイル製品を試作し実用化の検討を行った。その結果、試作条件の選択により焼却灰が建設資材として利用可能であることが確認できた。試作品のなかでは、特に還元焼成した壁用タイル、床用タイルは光沢のある銀紫色の色調をもち、強度も十分なものであった。

しかし、これら試作品のように、下水汚泥焼却灰を二次製品へ有効利用し、実用化を考えた場合、焼却灰含量のより高いもののほうが、より効率的に焼却灰を消費できることから、今後、コンクリート製品やタイル製品などへの利用については、この焼却灰含量のより高いものについて検討する必要があるものと考えられた。

また、下水汚泥の二次製品への有効利用は、製造経費や市場性等についての検討も不可欠であるが、当面、埋立処分地の不足・確保難等の問題解消という点では非常に有用であるものと考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多大なる御尽力、御協力を頂いた白根衛生センター組合、新潟高圧工業(株)、浅野瓦工業(株)、(有)東和木材、デンカ生コン(株)及び新潟県工業技術センターの皆様へ深く感謝いたします。

表-1 凍害試験の目視観察結果

試 作 品	凍結融解繰り返し回数		
	10回	20回	30回
レンガ様ブロック	○	△	△
コンクリート平板	△	×	×
インターロッキング ブロック(5%品)	○	○	○
壁用タイル	○	○	○
床用タイル(還元焼成品)	○	○	○
床用タイル(酸化焼成品)	○	○	○

○は特に変化なし。

△はひび割れ等があり。

×は一部に破壊等があり。

表-2 凍害試験の曲げ破壊荷重試験結果

試 作 品	曲げ破壊荷重(kgf)		スパン長 (mm)
	凍害 試験前	凍害 試験後	
レンガ様ブロック*	605	640	160
コンクリート平板*	1,360	1,480	200
インターロッキング ブロック(5%品)*	1,170	1,080	160
壁用タイル*	105	117	70
床用タイル(還元焼成品)**	> 300	270	200
床用タイル(酸化焼成品)**	> 300	-	200

測定機械: * 東洋ボールドウィン社製万能試験機

**丸菱科学機械製作所社製粘土カワラ試験機

参 考 文 献

- 1) 建設省都市局下水道部：再生と利用, **12**, No.45, 84 (1989).
- 2) 下水汚泥資源利用協議会：再生と利用, **12**, No.42, iv (1989).
- 3) 岩崎臣良：月刊下水道, **11**(2), 17 (1988).
- 4) 小岩三郎, 安田康宏：月刊下水道, **13**(1), 71 (1990).
- 5) 吉柳輝穂, 田中義則：月刊下水道, **11**(2), 22 (1988).
- 6) 清水和彦, 鎌田 修：月刊下水道, **11**(2), 29 (1988).
- 7) 大阪府土木技術事務所：月刊下水道, **11**(2), 34 (1988).
- 8) 金刺敏郎：再生と利用, **12**, No.45, 72 (1989).
- 9) 羽賀孝英, 小林 正, 北島永一, 大山征也：第11回全国都市清掃研究発表会講演論文集, p. 190 (1990).
- 10) 永野多美雄, 羽賀孝英, 大山征也, 中川洋征：第11回全国都市清掃研究発表会講演論文集, p. 193 (1990).
- 11) 田中 稔：粘土瓦ハンドブック, p. 313 (1980), (技報堂出版).