

焼却灰の樹脂固形化による舗装用ブロック適用技術

鯛谷 将司 久保 博

The Paving Brick Application Technology of Incineration Ash by Resin Casting

Masashi Taitani Hiroshi Kubo

Abstract

This paper examines paving brick application technology using incineration ash with mainly Pb elution and heat hardening phenol resin. It also describes the properties of ash and slag, and demonstrates the influence of the kind of ash and solidification conditions on solid quality. Solid quality was found to be fundamentally better with an ash that fastened and easily hardened. It was possible to obtain a quality equivalent to that of the previous article 'Hutsu Renga (JISR1250)' by carrying out a condition setup. Furthermore, the usefulness over the increase in intensity with slag addition and over Pb chemical encapsulation by powder neutralizer blending have been recognized. Durability required for paving bricks has been recognized by indoor examination. Finally, a test was carried out on paving bricks, and FS examined.

概要

主に鉛の溶出のある焼却灰を対象として、バインダ - にフェノ - ル系熱硬化性樹脂を用いたプレス固形化による舗装用ブロック適用技術の開発検討を行った。本報告では、焼却灰やスラグの基本的性状について述べ、固形化試験にて、灰種や固形化条件が固形物の品質に与える影響を考察した。その結果、基本的に締め固まりやすい灰ほど圧縮強度が高く、吸水率の小さい固形物となり、条件設定することでJISR1250普通れんが等と同等品質を得ることが可能で、スラグを添加することで強度増進効果の得られることを確認した。さらに鉛の不溶化処理として、粉体中和剤配合によるpH調整を行い、環境庁告示の溶出試験で基準値以下に抑えることを確認し、固形物の耐候性、耐摩耗性に関する室内試験を行い、耐久性も確認した。また、実際に舗装用ブロックとして試験施工を実施し、FSにより検討した。

1. はじめに

循環型社会の構築に向けて廃棄物の有効利用は不可欠である。その最終形態の一つである焼却灰や溶融スラグは、自治体だけでなく、民間の各メ - カ - , 電力会社等からも大量に発生しており再資源化が各分野で求められている。焼却灰の多くはpHがアルカリ性であるために鉛を溶出するものがあることが知られており、有効利用の形態によっては障害となることがある。一般的に焼却灰を原料とする2次製品は、セメント系固化材を用いることが多いが、製品のpHがアルカリ性となり鉛が溶出して利用できない。

このような問題を解決するため、本研究では、焼却灰を中性固化し、鉛の溶出しない舗装用ブロックを製作することを目的として、バインダ - にフェノ - ル系熱硬化性樹脂を用いたプレス固形化技術の開発検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 焼却灰と溶融スラグの基本的性状

本研究で使用する焼却灰は、産廃焼却灰、製紙灰、石炭灰の計3種類、スラグは水砕スラグの1種類である。基

本的性状をTable 1およびFig. 1に示す。採取時の含水比は、飛散防止用の散水によりばらつきがあるため、あらかじめ乾燥して含水比1%以下にしたものを、また産廃焼却灰に若干含まれていた不燃物もあらかじめ5mm篩により除去して用いた。粒度分布は焼却灰が0.2mm以下で、スラグはそのほとんどが1~2mmの均一な粒度分布であった。

化学組成は蛍光X線で、溶出試験は「土壤の汚染に関する環境基準」の環境庁告示46号法に準じて溶出液を抽出し、鉛をICP発光分析法により分析した。3種の焼却灰は主成分がSiO₂, Al₂O₃で、その他にアルカリ金属を含有するためアルカリ性を示し、産廃焼却灰だけが環境基準値0.01(mg/L)を超える鉛を溶出していた。一方、スラグは主成分がSiO₂, Al₂O₃, CaOで、同様にアルカリ性であった。しかし鉛の溶出は検出されなかった。

Photo 1~4に各材料の電子顕微鏡写真を示す。石炭灰は全ての粒子形状が球形で、産廃焼却灰、製紙灰は形状の一定しない鉱物の混合状態を呈している。スラグは水により急冷した水砕スラグであるため、非晶質で完全にガラス化しており、多数の微細なクラックが存在しているのがわかる。

Table 1 焼却灰と溶融スラグの基本的性状
Properties of Incineration Ash and Slag

	産廃 焼却灰	製紙灰	石炭灰	水砕 スラグ	
採取時含水比(%)	23	59	1	10	
灰粒子の密度	2.99	2.43	2.25	2.78	
かさ比重	0.84	0.57	0.98	-	
化学組成 (%)	SiO ₂	26	50	60	44
	CaO	17	8	3	37
	MgO	15	5	1	1
	Al ₂ O ₃	12	31	29	13
	Fe ₂ O ₃	7	2	3	1
	その他	23	4	4	7
溶出試験	鉛(mg/L)*	0.08	<0.01	<0.005	<0.005
	pH	11.5	9.0	11.3	10.8
	電気伝導度 (mS/cm)	2.4	1.1	-	0.2

*鉛の溶出量の環境基準値:0.01(mg/L)

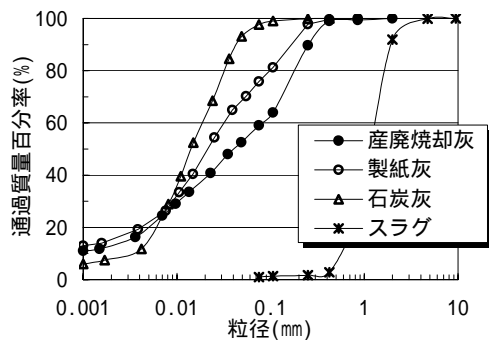


Fig. 1 焼却灰とスラグの粒度分布
Grain Size Distribution of Ash and Slag

3. 固形化試験

3.1 試験方法

固形化フロ - をFig. 2に示す。乾燥させた焼却灰に液体のフェノ - ル系熱硬化性樹脂を投入してミキサ - で混練攪拌する。これを型枠に入れプレスにより加圧成形し、最後に150 加熱し樹脂を熱硬化させ固形化する。鉛の不溶化剤である粉体中和剤およびスラグを配合する場合は、あらかじめ焼却灰と充分攪伴して使用する。また製作した固形物の物性評価は、一軸圧縮試験、吸水試験とする。

3.2 固形化条件および灰種の影響

3種の焼却灰の固形化条件はそれぞれ樹脂添加率(樹脂/灰)を15~25%, プレス圧を15~25(N/mm²)とした。Fig. 3に固形物の吸水率と圧縮強度との関係を示す。これより、同灰種では樹脂添加率またはプレス圧が増加すれば圧縮強度は増加し吸水率は低下した。これは接着力または締固め力が増加し、密で間隙の小さい固形物となるためである。一方、固形化条件が同じでも灰種によって物性が大きく異なり、圧縮強度は大きい順に、石炭灰>産廃焼却灰>製紙灰であった。製紙灰の固形物以外は、Table 2に示すJISれんが、中には4種の規格値を満足する物性を有するものもあり、舗装用ブロックとしての初期物性が

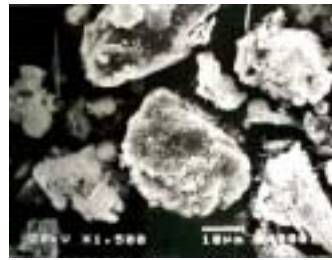


Photo 1 産廃焼却灰
SEM Picture of Industrial Dust Incineration Ash



Photo 2 製紙灰
SEM Picture of Paper Sludge Ash



Photo 3 石炭灰
SEM Picture of Coal Fly Ash

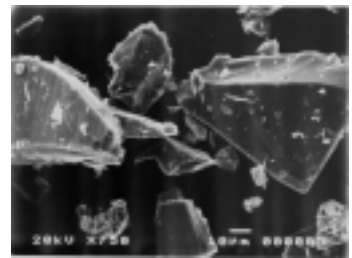


Photo 4 水砕スラグ
SEM Picture of Slag

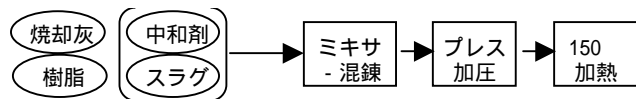


Fig. 2 固形化フロ -
Method of Solidification

Table 2 普通れんが規格値(JISR1250)
Quality Standard of 'Hutsu Renga'

	圧縮強度(N/mm ²)	吸水率(%)
2/3/4種	14.7/19.6/29.4以上	15/13/10以下

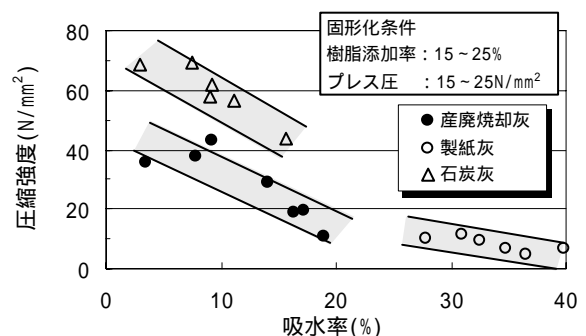


Fig. 3 固形物の吸水率と圧縮強度との関係
Water Absorption Rate and Compressive Strength

充分なことを確認できた。灰種による物性の違いは締固まりやすさの違いによるものである。Table 1における灰のかさ比重の傾向とも一致するが、これは石炭灰粒子形状がすべて球状のため、充填されやすく密実で強度の高い固形物となり、逆に製紙灰は、粒子形状がランダムであるため、充填性が疎で強度が低くなったと考えられる。

3.3 熔融スラグの影響

固形物の圧縮強度を高めるため、水砕スラグを同時に配合し固化化した。固化化条件はスラグ添加率(スラグ/灰)を100%、プレス圧を25(N/mm²)一定、樹脂添加率25~35%とした。

Fig. 4にスラグ添加による圧縮強度への影響を示す。スラグを添加した灰スラグ固形物は、添加しない灰固形物にくらべて樹脂配合量が同じでも、圧縮強度が常に大きくなった。これには、二つの理由が考えられる。第一に焼却灰に対して粒径の大きなスラグを添加することで、全体の粒度分布が改善され充填性が増したためである。第二に、スラグが増量材としての役割を果たし、焼却灰に対する樹脂量が相対的に増大したためである。また、スラグの添加による吸水率低減効果(図は省略)も認められた。これは、吸水がスラグではなく、焼却灰部分で行われていると考えられるので、焼却灰と同量のスラグを添加して固形物の単位体積当りの焼却灰量がおおよそ半減し、吸水率も約1/2に低減したものと思われる。

4. 鉛の不溶化処理

鉛の溶出量が環境基準値0.01(mg/L)を越えていた産廃焼却灰について、中和剤を添加して固化化を行い鉛の不溶効果を調査した。固形物は粉碎して2mmの篩を通過して得た試料を風乾して用い、環境庁告示46号法に準じた。

一般的に鉛の溶出量はpH依存性があり、溶出液のpHがアルカリ性または酸性で溶出量が増加し、中性付近で最も小さくなると言われている。Fig. 5にpHと鉛の溶出量の関係を示す。原灰のpHはすべてが9以上でアルカリ性であり、鉛の溶出量はそのほとんどが環境基準値を超えている。一方、固形物で中和剤を添加しないものは若干pHは低下するものの、溶出量は基準値以上である。しかし、中和剤を添加したものは、pHは中性付近まで低下し、溶出量も環境基準値以内に抑えることができた。したがって、中和剤を添加することで固形物のpH調整が可能であり、鉛の溶出量を環境基準値以下に抑えることができると判断した。

5. 固形物の耐久性

5.1 吸水後の強度特性

水分が固形物の強度に及ぼす影響を調査することを目的として、24時間水中で静置し吸水させた湿潤状態の固形物の圧縮強度を測定した。

Fig. 6に吸水後の強度/吸水前の強度の比を示す。吸水後、すべての固形物の強度が低下した。また樹脂配合量が少なく吸水率の大きいものほど強度低下は大きい傾向があった。焼却灰部分のみが吸水すると仮定して、Fig. 7に焼却灰に対する吸水量(%)と強度比を示す。この二つの値には正比例の関係があり、これにより、焼却灰の吸水が強度低下に影響を与えていると考えられる。

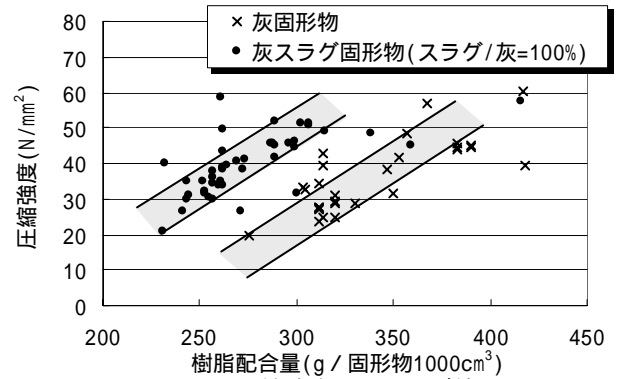


Fig. 4 圧縮強度へのスラグ効果

Effect of Slag blending on Compressive Strength

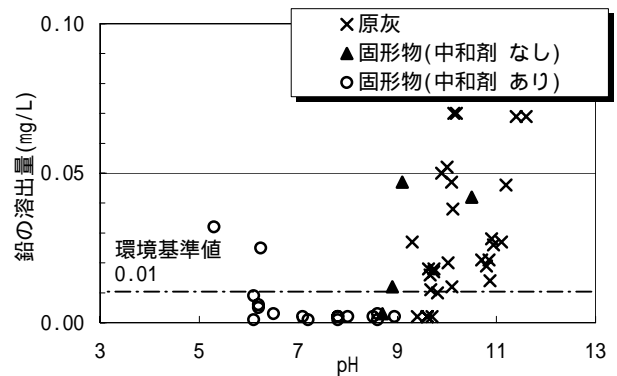


Fig. 5 鉛の不溶効果

Pb-Encapsulation by Neutralization

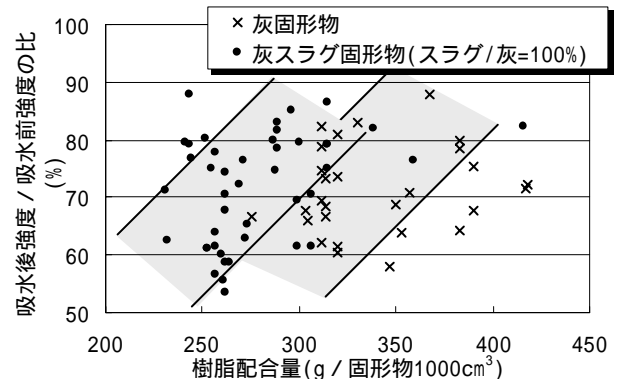


Fig. 6 吸水後の強度特性(その1)

Effect of Water Absorption on Compressive Strength

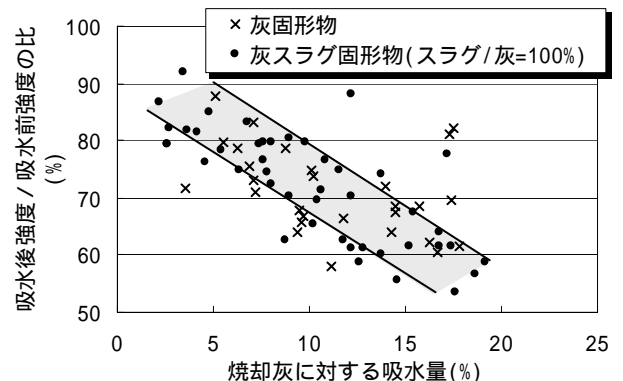


Fig. 7 吸水後の強度特性(その2)

Effect of Water Absorption on Compressive Strength

5.2 耐候性

一般的に樹脂は紫外線によって劣化する。そこで試験体に灰および灰スラグ固形物を用いて、ウェザ-メ-タ-による人工促進暴露試験を行った。劣化の評価は、圧縮強度、溶出試験で行った。Table 3に運転条件を示す。暴露結果としては、試験体、配合に関わらず劣化の傾向は同じであり、鉛の不溶効果は最後まで継続した。スプレ-水のない低湿試験(試験1)では、1214時間暴露終了まで圧縮強度が一定であったので、紫外線による劣化はないと判断した。一方、スプレ-水のある高湿試験(試験2)では、吸水による一定の強度低下はあるものの、吸水の程度が進まない限りそれ以上の低下はみられず、暴露による劣化は認められなかった。

5.3 耐摩耗性

物理的方法による耐摩耗性試験を行った。試験体は灰固形物数種および灰スラグ固形物(樹脂/灰32.5%、スラグ/灰100%)とJISれんがである。試験方法はFig. 8に示すASTM C779-82A法に準じ、摩耗深さにより評価した。結果をFig. 9に示す。すべての試験体で摩耗時間とともに摩耗深さが増加し正比例の関係があった。また、樹脂固形物は、基本的に樹脂添加率が大きいほど耐摩耗性に優れていた。灰固形物の樹脂添加率25%と灰スラグ固形物はJISれんがと同等以上の耐摩耗性を有していたことから、適切に配合設定することで歩道用の舗装ブロックとしての適用性があると判断した。

6. FS検討

焼却灰の年間発生量1000tを想定したコスト試算をしたところ、既往品と比べて材料の内訳比率が大きく(Table 4)、製品コストは市販のJISれんがより若干高いものとなった。製造方法の合理化等によるコストダウンが課題である。また、焼却灰数トン規模で試験的に歩道用の舗装ブロックとして敷設したが(Photo 5)、性状の安定しない焼却灰の品質管理等の必要性を感じた。

7. まとめ

焼却灰の舗装用ブロック適用は、不溶化による鉛の溶出防止を前提として固形物の初期物性、耐久性ともに既往品と同等品質を有することが可能な技術であることを確認した。しかし焼却灰を含めて廃棄物を有効利用した製品の普及には、物性、恒久的な安全性のような技術的な要因以外にも、コスト、市場性、需給バランス等の課題を解決することが重要である。

参考文献

- 1) 地盤工学会調査部：地盤工学分野における廃棄物の処理と有効利用に関する調査報告書、(1996.7)

Table 3 ウェザ-メ-タ-の運転条件
Operating Condition of Weather Meter

	試験1	試験2
試験体	灰固形物	灰固形物 灰スラグ固形物
試験内容	連続照射 低湿	連続照射 高湿
試験時間(h)	1214	400
ブラックパネル温度()	63±3	63±3
湿度(%)	30	60
槽内温度()	43	43
スプレ-水の噴射サイクル	なし	60分中12分

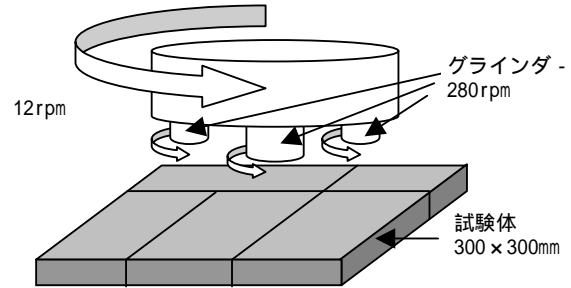


Fig. 8 摩耗試験の模式図

Typical Picture of Abrasion Test

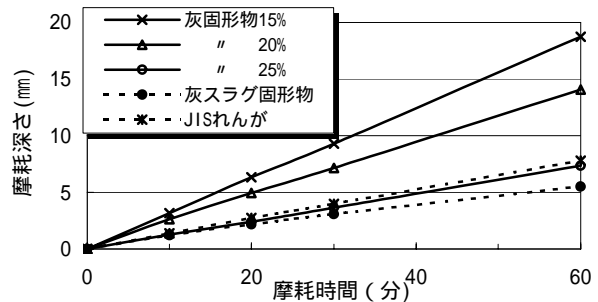


Fig. 9 摩耗試験結果

Result of Abrasion Test

Table 4 コストの内訳
Items of Brick Cost

項目	内訳(%)
材料(樹脂、中和剤)	32.2
運転費(燃料代、電気代、人件費)	16.5
仁済コストの償却(プラント建設費等)	51.3



Photo 5 試験施工(敷設状況)

Test Execution of Brick Paving