

リサイクル原料を利用した新規アスファルト道路用表層材の開発

藤吉 国孝*¹ 熊上 章太*² 梶原 輝樹*² 下川 裕士*²

Development of Novel Surface Layer Material for Asphalt Road Using by Recycled Materials

Kunitaka Fujiyoshi, Shota Kumagami, Teruki Kajiwara and Hiroshi Shimokawa

都市ゴミ焼却施設から排出される溶融スラグは、角が尖ったものが多く直接手で触ると刺さる場合があり、また、数%の水分を含んでいるため、リサイクル材としての使用が難しかった。そこで、都市ゴミ焼却灰溶融スラグの磨砕乾燥条件について検討したところ、市販のミキサーを改造することで、磨砕と同時に乾燥も可能となり、角が丸く乾燥したスラグを作製することができた。更に、このスラグの粒度分布を調整しながらセメントに添加することで、モルタル系のアスファルト道路用表層材を開発した。従来のアスファルト道路用表層材は有機溶剤系の材料であり、下地の水系材料である路盤材が濡れたままでは施工できなかったが、下地の乾燥を待たずに施工可能な、水系の新規表層材を開発することができた。

1 はじめに

近年の環境意識の高まりから、リサイクルの重要性が増しており、従来廃棄されていた材料を原料の一部に使用した、環境配慮型の新商品開発が盛んに行われている。このような観点から、二瀬窯業(株)では、砂状の高炉水砕スラグを原材料の一部に利用した、セメントやモルタル製品の開発に取り組んでいる。

製鉄所から排出される高炉水砕スラグは角が尖ったものが多く、直接手で触ると刺さる場合があり、また、数%の水分を含んでいる。そこで二瀬窯業(株)では、高炉水砕スラグを磨砕加工して角を丸くし、更に乾燥させる独自技術を開発した。本技術を用いて高炉水砕スラグから砂状のリサイクル材を製作し、セメントやモルタル用の骨材として利用していたが、この独自のモルタル用骨材製造技術を、高炉水砕スラグ以外の新たな材料に展開させることが課題であった。

ところで、道路に設置されたマンホールは、15～20

年で交換する必要があるとされている。マンホールの交換作業は、マンホール周囲のアスファルト部分を切断・撤去し、新たに受枠を設置後、路盤材を充填し、表層材を塗布して新しい鉄蓋を被せることで行う(図1)。これらの作業は、道路管理者から許可された期間・時間内に確実に終了することが必要とされていることから、交換のスピード化が求められている。表層材は、路盤材(セメントを主体としたもの)を打設後乾燥するまで約1時間待機した後に、塗布する必要がある。これは、表層材にはアクリル樹脂を用いた有機溶剤系のものが使用されており、施工面である路盤材が濡れていると接着不良となるためである。

そこで本研究では、モルタル系材料で表層材を設計することにした。即ち、下地である路盤材と本研究の新規表層材は共に水系材料であるため、路盤材の乾燥を待つことなく表層材の施工が可能となる。更に、高炉水砕スラグ以外のリサイクル材として、都市ゴミ焼

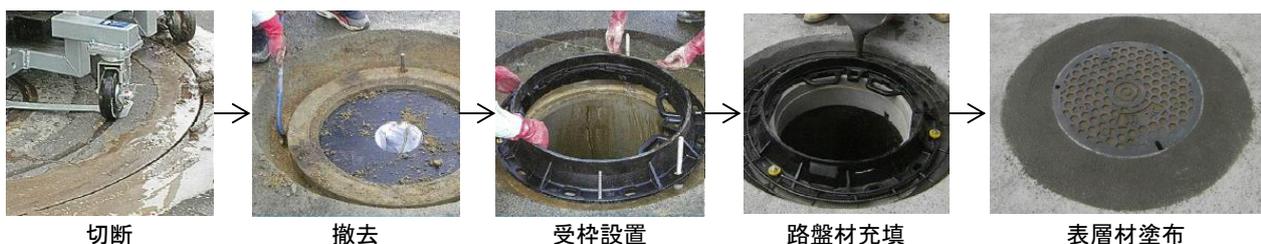


図1 マンホール交換作業の概略写真

*1 化学繊維研究所

*2 二瀬窯業(株)

却灰溶融スラグに着目した。具体的には、本研究では、まず都市ゴミ焼却灰溶融スラグの組成や有害元素の有無について検討し、次に、磨砕・乾燥方法について検討した。更に、磨砕・乾燥させた都市ゴミ焼却灰溶融スラグとセメント系材料との配合条件について検討した。

2 研究, 実験方法

2-1 都市ゴミ焼却灰溶融スラグ

本研究では、北九州市の都市ゴミ焼却施設である新門司工場から排出された焼却灰溶融スラグ(図2)を研究に用いた。



図2 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの外観写真

2-2 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの分析方法

2-2-1 主成分測定

都市ゴミ焼却灰溶融スラグを粉砕し、円盤状にプレス成形し、蛍光X線分析装置(XRF:リガク製SX PrimusII)を用いて、ファンダメンタル・パラメータ法による半定量分析を行うことで、主成分測定を行った。

2-2-2 微量有害物質の簡易含有量検査

JIS K 0058-2「スラグ類の化学物質試験方法—第2部:含有量試験方法」に基づいて測定溶液を調整し、共立理化学研究所製簡易水質検査器具パックテスト(6価クロムの測定にはWAK-Cr6+, ふっ素の測定にはWAK-F, ほうその測定にはWAK-B)を用いて、含有量を評価した。具体的には、パック試験チューブ内容積の半分程度に検液を吸い込み、数回振り混ぜ、所定の反応時間後に試験チューブ内の液の色を標準色と見比べることで濃度を決定した。

2-3 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの磨砕

都市ゴミ焼却灰溶融スラグを太平洋機工製ショベル羽根式高速混合機WB-600型に投入し、所定時間攪拌することで、磨砕を行った。磨砕前後のスラグについて、

サンワサプライ製マイクロSCOPE400-CAM025を用いて粒形観察を行い、角が取れて磨砕されたかどうかを確認した。

2-4 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの水分量の測定

都市ゴミ焼却灰溶融スラグを十分に加熱・乾燥させ、乾燥前重量(W_1)と加熱後重量(W_2)から、式(1)を用いて水分量を算出した。

$$\text{水分量(重量\%)} = (W_1 - W_2) \div W_2 \times 100 \quad (1)$$

2-5 表層材の設計

本研究における表層材には、下地となる路盤材の乾燥を待たずに施工可能な、セメントを主体とした水系の材料とすることとした。更に、骨材として磨砕・乾燥させた都市ゴミ焼却灰溶融スラグを添加した環境配慮型のモルタル系の材料とすることにした。

また、商品としては、粉体、エマルジョン、顔料の3種で1セットとすることにした。粉体は骨材やセメント粉等を混合したものである。エマルジョンは両親媒性化合物と水を混合したもので、粉体と混合して練混ぜた時に標準軟度のペーストが作製できる水分量が含まれるように設計した。また、施工現場に合わせて任意に色の調製ができるように、顔料を添付することにした。施工現場では、施工箇所の色調に合うように粉体と顔料を混合し、更にエマルジョンを投入・攪拌して作製したペーストを施工箇所に塗布し、乾燥・硬化させて、路面等の表面仕上げを行う。

2-6 表層材粉体の作製

磨砕・乾燥させた都市ゴミ焼却灰溶融スラグは、目開き0.85 mm, 0.15 mmの2種のふるいを用いて、大(0.85 mm以上), 中(0.15 mm以上0.85 mm未満), 小(0.15 mm未満)の3種類に分類し、大・中・小の混合割合を変えながらセメントと混合させて粉体とした。

2-7 表層材の分析・評価

本研究では顔料は添加せずに、粉体とエマルジョンを混合して練混ぜ、作製したペースト及びペーストを硬化させて作製したモルタル供試体について、分析・評価を行った。

具体的には、粉体とエマルジョンを混合し、練混ぜ

機（マルイ製モルタルミキサーMIC-362-1-01）を用いて作製したペーストについてJASS 15M-103に準拠してフロー値を測定し、流動性試験を行った。また、JIS R 5201に準拠し、練混ぜ終了後60秒以内にペースト容器の中に入れて表面を平滑にし、凝結の始点及び最終の測定をすることで硬化速度試験を行った。更に、JIS R 5201に準拠し、テーブルバイブレータを用いてペーストを成形用型に詰め、所定時間後に脱型することで、モルタル供試体（硬化体）を作製した。

作製したモルタル供試体について、JIS R 5201に準拠し、前川試験機製作所製圧縮試験機アムスラー式堅型（100 kN）を用いた圧縮強さ測定及び、九州丸東製万能材料試験機丸東式デジタル（10 kN）を用いた曲げ強さ測定を行った。

3 結果と考察

3-1 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの成分分析

本研究で使用するスラグは都市ゴミ焼却灰を原料としていることから、組成のばらつきや有害成分が含まれていないかが懸念される。そこで、2018年12月に排出された焼却灰溶融スラグと、2019年2月に排出された焼却灰溶融スラグの2種類について、蛍光X線分析を行った。その結果、主成分はケイ酸（ SiO_2 ）、石灰分（ CaO ）や酸化アルミ（ Al_2O_3 ）であり、大きな組成変動は見られなかった（表1）。

表1 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの主成分（重量%）

製造年月	SiO_2	CaO	Al_2O_3	その他
2018年12月	35	42	14	9
2019年2月	33	42	15	10

ここで、溶融スラグ骨材の有害物質含有量は、JIS A 5031「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」により表2のように規定されている。これに対し、都市ゴミ焼却灰溶融スラグの蛍光X線分析の結果、カドミウム、鉛、ひ素、水銀、セレンは検出されなかった。また、蛍光X線での分析が困難である6価クロム、ふっ素、ほう素について、パケットテストを用いて簡易的に測定した含有量を表2に示すが、JIS A 5031で定められた基準値を大幅に下回る含有量であった。

表2 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの有害物質含有量

項目	単位	含有量	基準値
カドミウム	mg / kg	—	≤ 150
鉛	mg / kg	—	≤ 150
6価クロム	mg / kg	< 0.05	≤ 250
ひ素	mg / kg	—	≤ 150
純水銀	mg / kg	—	≤ 15
セレン	mg / kg	—	≤ 150
ふっ素	mg / kg	0	$\leq 4,000$
ほう素	mg / kg	5	$\leq 4,000$

3-2 都市ゴミ焼却灰溶融スラグの磨砕・乾燥条件の検討

都市ゴミ焼却灰溶融スラグは角が尖った粒子が多く含まれることから、施工者や製造工場従事者の健康・安全管理上、角を丸くする必要がある。そこで、磨砕条件について検討した。また、都市ゴミ焼却灰溶融スラグは水砕スラグであることから水分を含んでおり、そのままセメントと混合するとすぐに硬化してしまうため、乾燥条件についても併せて検討した。

都市ゴミ焼却灰溶融スラグを攪拌機に投入し、一定時間後に抜き取って粒径観察を行った。その結果、攪拌前は角が尖った形状の粒子が多く見られた（図3左図）が、攪拌に伴って次第に角が取れた粒子が増加した。ここで、使用した装置は攪拌機であるが、攪拌機の中のショベル型の羽根が高速で回転することで、都市ゴミ焼却灰溶融スラグの磨砕が行われたと考えられる。40分攪拌・磨砕後のマイクロ스코ープ像を図3右図に示すが、角が取れて丸くなった粒子が数多く見ら

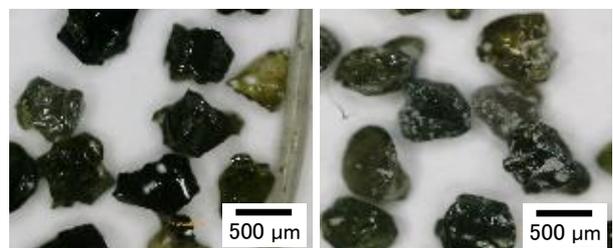


図3 都市ゴミ焼却灰溶融スラグのマイクロSCOPE像（左図：磨砕前、右図：磨砕後）

れ、安全性が確保できていると判断した。

本研究で使用した攪拌機は、稼働させると摩擦熱や機械熱が発生する。よって、水分を含む都市ゴミ焼却

灰熔融スラグを投入して攪拌すると、磨砕と同時に乾燥も行うことができる。また、更に効率よく乾燥させるために、攪拌機に熱風発生器を接続し、約50℃の熱風を送り込みながら都市ゴミ焼却灰熔融スラグの磨砕を行い、所定時間後にスラグを抜き取って水分量の測定を行った。

その結果、磨砕機の稼働時間と共に水分率は低下し、40分後には水分量0%と十分に乾燥することが明らかとなった(表3)。

表3 磨砕機の稼働時間とスラグの水分量

稼働時間(分)	0	10	20	30	35	40
水分量(重量%)	11	3.4	1.7	0.8	0.1	0

3-3 表層材の配合条件の検討

磨砕・乾燥後の都市ゴミ焼却灰熔融スラグ(分級なし)を用いて作製した表層材硬化体では、圧縮強度等が不十分であった。そこで、大(0.85mm以上)、中(0.15～0.85mm)、小(0.15mm以下)の3種類に分級し、各種配合について検討したところ、大・中・小の配合割合によって、圧縮強度等の物性が異なることが明らかとなった。

そこで、最適と考えられる配合条件(大:約25%、中:約60%、小:約15%)でセメントや添加剤と一緒に混合し、表層材を作製した。この表層材試作品について、フロー値測定による流動性試験、硬化速度試験及び圧縮強度試験を実施した。その結果、現在一般的に市販されているアクリル樹脂を用いた有機溶剤系の表層材と同等以上の性能であった。

表4 表層材の物性値

	有機溶剤型 表層材	表層材 試作品
フロー値	150±15 mm	155 mm
硬化速度	10～30分	始発16分、終結18分
圧縮強さ	12.0 N / mm ² 以上	35.6 N / mm ²
曲げ強さ	7.5 N / mm ² 以上	7.7 N / mm ²

更に、実際にアスファルト陥没部分に路盤材を充填し、乾燥前にこの表層材を塗布したところ(図4)、剥離等は見られず良好な施工状態であった(図5)。



図4 表層材試作品の塗布・仕上げ状況



図5 表層材試作品施工後の路面状況

4 まとめ

都市ゴミ焼却灰熔融スラグの磨砕乾燥条件について検討したところ、市販のミキサーを改造することで、磨砕と同時に乾燥も可能となり、角が丸い乾燥したスラグを作製することができた。

更に、このスラグの粒度分布を調整しながらセメントに添加することで、モルタル系のアスファルト道路用表層材を開発した。従来のアスファルト道路用表層材は有機溶剤系の材料であり、下地の水系材料である路盤材が濡れたままでは施工できなかったが、下地の乾燥を待たずに施工可能な、水系材料の新規表層材を開発することができた。

謝辞

本研究の一部は、平成29年度補正ものづくり・商業・サービス経営力向上支援補助金にて実施した。