

溶融炉スラグ・メタル再利用技術

Technology of Using Melting Slag and Metal Generated from Municipal Solid Wastes

西原 信義^{*(1)}
Nobuyoshi NISHIHARA

伊能 泰夫^{*(1)}
Yasuo IYOKU

長田 昭一^{*(1)}
Shohichi OSADA

長田 守弘^{*(2)}
Morihiro OSADA

抄 録

廃棄物の溶融処理は従来からの焼却処理に比較すると、廃棄物を無害化、減容化、資源化できるため最終処分場への負荷軽減に寄与する。溶融処理の中ではガス化溶融炉は焼却残さ溶融炉と比較し、灰の状態を経ることなく溶融物が得られるため設備が簡単で最近注目されている溶融技術である。新日本製鐵では20年以上前よりシャフト炉型のガス化溶融技術を開発し、“直接溶融・資源化システム”として商品のブラッシュアップを重ねてきた。直接溶融・資源化システムの特徴は廃棄物を単に処理することではなく、積極的に廃棄物から有用資源を生産することであり、循環型社会形成の推進に貢献する廃棄物処理システムである。1979年に稼働を開始した岩手県釜石市、大阪府茨木市の溶融施設を皮切りに土木建築メーカーと共同で有効利用の研究を進めてきた。現在稼働している施設では発生溶融スラグのほぼ全量が土木建築用骨材として有効利用されるに至っている。溶融物である溶融スラグ、メタルの利用技術について概説した。

Abstract

The melting treatment of wastes, compared to the conventional incinerating method, helps reduce burdens on final disposal sites since the wastes are made harmless, less bulky and reusable as useful resources. Of various types of waste melting, the gasifying and melting technology is recently attracting attention. This is because, unlike incineration-residue-producing furnaces, the melt is obtained without passing the state of ash, hence simplifying the equipment concerned. More than twenty years ago, Nippon Steel developed the waste gasifying and melting technology for a shaft furnace and has steadily refined the commercial furnace as the "direct-melting resource-recovery system". The system does not simply "treat" wastes. It positively "produces" useful resources from wastes and contributes to the promotion of a recycling-oriented society. Starting with the melting furnaces commissioned in Kamaishi City, Iwate Prefecture, and Ibaraki City, Osaka Prefecture, Nippon Steel has pursued studies on waste reutilization jointly with civil engineering and construction companies. At the currently operating facilities, nearly the entire amount of slag melt has come to be reused as aggregate in civil engineering and construction works. This paper explains the outline of the slag-and-metal-melt utilization technology.

1. 緒 言

現在、わが国では一般廃棄物が年間約5 000万トン発生しているが、そのうち約8割が焼却により処理されている。しかしこれまで主流であった焼却方式のみでは焼却残さや焼却不適物の埋立が必要であり、埋立処分場周辺の環境汚染や新たな用地確保の問題等の課題を抱えることが明らかになってきた。従って廃棄物の発生抑制推進はもちろんのこととして、廃棄物のリサイクル率を高めかつ環境への有害物質排出を抑制できる新たな廃棄物処理技術が模索されてきた。

法制度面では、ダイオキシン類対策特別措置法や循環社会形成推進基本法が相次いで制定され、廃棄物処理は環境保全とリサイクルの推進に向けて新たな一歩を踏み出した。

こうした中で注目されている廃棄物処理技術の一つとして溶融処

理技術がある。この方式によれば従来の焼却処理と異なり焼却灰を出さずに溶融スラグとして再利用可能な資材に転換できるため埋立て処分場を大幅に低減できるという利点がある。

シャフト炉式のガス化溶融炉と位置づけられる直接溶融・資源化システムはまさにこの利点を最大限に生かされるように新日本製鐵によって開発、実用化されてきた。更にこのシステムは廃棄物を熱分解、ガス化してから燃焼させるため燃焼制御性に優れ、ダイオキシン等排ガス中の有害物質を抑制できることも特長としている。また本システムは製鉄分野で長年培われた技術をベースに20余年にわたる操業実績に裏付けられ、溶融物の有効利用¹⁻³⁾についてもその流通システムが確立されたプロセスである。本報では直接溶融・資源化システムの溶融物(溶融スラグ及びメタル)の品質、特徴および有効利用実態について紹介する。

^{*(1)} 環境・水ソリューション事業部 環境プラント技術部 マネジャー
北九州市戸畑区大字中原46-59 ☎804-8505 ☎093-872-7135

^{*(2)} 環境・水ソリューション事業部 環境プラント技術部 部長

2. 新日本製鐵の溶融施設の稼働状況

2.1 溶融施設の概要

直接溶融・資源化システムは、焼却施設から排出される焼却残さを溶融処理する焼却残さ溶融炉と異なり、都市ごみ(以下、ごみという)を焼却の過程を経ずに直接溶融するものである。ガス化溶融処理方式のシャフト炉式に分類され、その処理形態は直接溶融方式を構成する要素プロセスとしては、乾燥、熱分解ガス化、燃焼、溶融の四つの機能が一つのシャフト炉に凝縮されたものである。図1に直接溶融・資源化システムとごみ処理のフローを示す。

2.2 稼働状況

現在までの全国の稼働状況を表1に示す。1979年釜石市の1号機立ち上げ以来、全国で9施設が安定かつ順調に稼働している。現在建設中の施設に関しても2001年度中には4件、2002年度中には7件の稼働が予定されている。

2.3 溶融物の資源化

溶融物を資源として有効利用するためには、安全面、品質面で溶融物が以下の条件を満足する必要がある。

- 1)安全性が確保されること
- 2)スラグと鉄が高精度で分離できること
- 3)利用用途に応じた基準を満足できること

これらの項目を満足するためには、処理対象物の性状変動に影響されず、確実に安定した溶融を確保することが必要である。直接溶融・資源化システムでは溶融滴下した溶融物が高温のコークスベッド層を通過する際に昇温され、炉底に貯留された後、完全にとけきった状態で安定出湯される。

安全性確保については各種の評価方法が考えられるが、現状では溶融スラグが野外の土木建設資材に用いられたとき、雨水等により溶融スラグ中に含有される重金属類が溶けだし周辺の土地や河川が汚染されるという懸念から、いわゆる重金属類の溶出基準を満足することが必要となっている。このため旧厚生省では溶融スラグの溶出目標基準を表2のように定めてきた。溶出目標基準値は“一般廃棄物の溶融固化物の再生利用の実施の促進について”(1998年3月26日厚生省通達、生衛発第508号)に示されているが、これは環境庁告示第46号に基づく溶出試験方法を用い、土壤環境基準を判定値とするものとなっている。

更に最近では有効利用された溶融スラグが長期間での使用に際し、粉塵化し、飛散して人間の口から入る場合の健康面へのリスクも考慮されるようになり、溶融スラグ中の重金属類の含有量が問題となってきている。

以下に直接溶融・資源化システムにおける溶融スラグの安全面及び品質面の特徴について述べる。

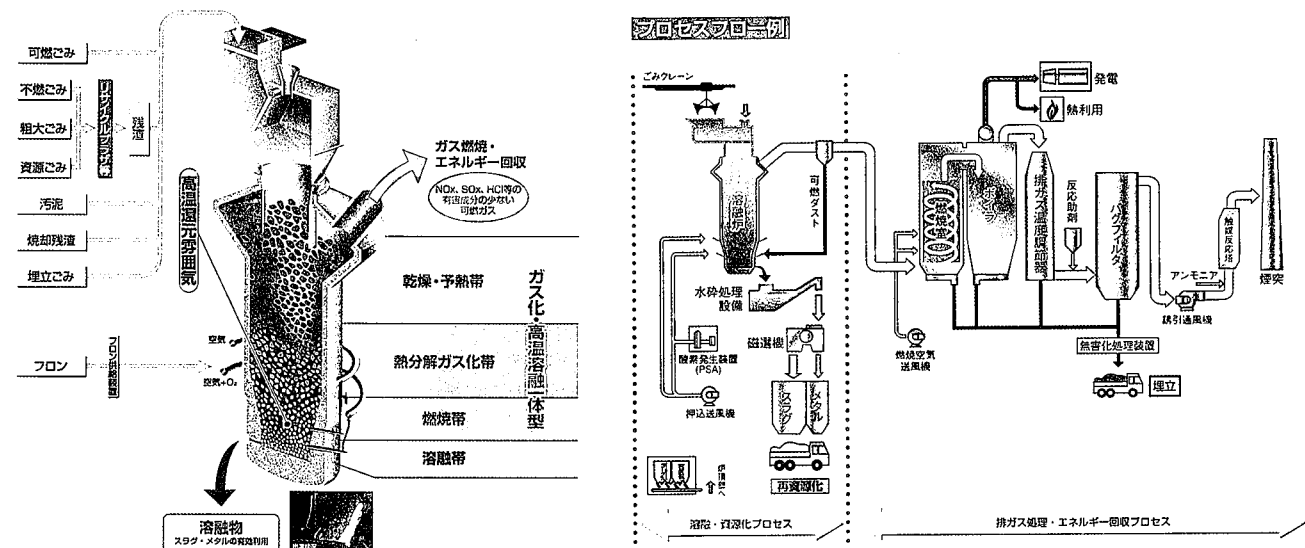


図1 直接溶融・資源化システムとごみ処理のフロー

表1 直接溶融・資源化システムの稼働及び建設状況

【稼働中施設】

	納入先	所在地	施設規模/処理能力	稼働年月
(1)	釜石市	岩手県釜石市	100t/日(50t/日×2炉)	1979.9
(2)	茨木市(第一工場)	大阪府茨木市	450t/日(150t/日×3炉)	1980.8
(3)	茨木市(第二工場)	大阪府茨木市	300t/日(150t/日×2炉)	1996.4
(4)	揖保保健衛生施設事務組合	兵庫県龍野市	120t/日(60t/日×2炉)	1997.4
(5)	香川県東部清掃施設組合	香川県長尾町	130t/日(65t/日×2炉)	1997.4
(6)	飯塚市	福岡県飯塚市	180t/日(90t/日×2炉)	1998.4
(7)	茨木市(第一工場更新)	大阪府茨木市	150t/日(150t/日×1炉)	1999.4
(8)	糸島地区消防厚生施設組合	福岡県志摩町	200t/日(100t/日×2炉)	2000.4
(9)	亀山市	三重県亀山市	80t/日(40t/日×2炉)	2000.4

【建設中施設】

	納入先	所在地	施設規模/処理能力	稼働年月
(1)	秋田市	秋田県秋田市	400t/日(200t/日×2炉)	2002.4(予定)
(2)	滝沢村	岩手県	100t/日(50t/日×2炉)	2002.12(予定)
(3)	巻町外三ヶ町村衛生組合	新潟県	120t/日(60t/日×2炉)	2002.4(予定)
(4)	かずさクリーンシステム	千葉県木更津市	200t/日(100t/日×2炉)	2002.4(予定)
(5)	香川県東部清掃施設組合	香川県長尾町	65t/日(65t/日×1炉)	2002.4(予定)
(6)	習志野市	千葉県習志野市	201t/日(67t/日×3炉)	2003.4(予定)
(7)	豊川宝飯衛生組合	愛知県豊川市	130t/日(65t/日×2炉)	2003.4(予定)
(8)	高知西部環境施設組合	高知県中村市	140t/日(70t/日×2炉)	2003.4(予定)
(9)	多治見市	岐阜県多治見市	170t/日(85t/日×2炉)	2003.4(予定)
(10)	大分市	大分県大分市	387t/日(129t/日×3炉)	2003.4(予定)
(11)	古賀市外1市4町じん芥処理組合	福岡県宗像市	160t/日(80t/日×2炉)	2003.4(予定)
(12)	岐阜県西濃環境整備組合	岐阜県	90t/日(90t/日×1炉)	2004.4(予定)

表2 溶融スラグの溶出目標基準値

対象物質	溶出目標基準値
カドミウム	0.01mg/l以下
鉛	0.01mg/l以下
六価クロム	0.05mg/l以下
砒素	0.01mg/l以下
総水銀	0.005mg/l以下
セレン	0.01mg/l以下

厚生省通達，生衛発508号より作成

2.3.1 溶融スラグの重金属含有量

溶融炉の炉内では高温・還元雰囲気を形成することから，低沸点重金属類等の揮散が促進されるとともにスラグ中への移行を抑制する。従ってスラグ中におけるこれらの重金属類の含有量は低いレベルとなっている。このことはスラグからの鉛(Pb)等の重金属類の溶出防止を図る上で極めて有効であり，スラグの無害化を確実にものとするとともに，重金属類が溶融飛灰に濃縮し，山元還元を有効にする効果も期待できる。

東北大学徳田教授と東京都との共同研究においてこうした低沸点重金属の挙動に及ぼす炉内雰囲気の影響の解明に努めてきた。その結果，20t/日規模の試験プラントを用いた焼却主灰単独及び飛灰との混合処理試験，更にはその熱力学的解析においても高温で還元雰囲気(低酸素分圧下)の方がスラグ中の低沸点重金属類の分配率が低くなることが明らかとなった。図2に熱力学的反応モデルを用いたシミュレーションの結果をスラグ中のPb濃度と酸素分圧及び雰囲気温度と関係において示す^{4,5)}。

東京都では溶融スラグの有効利用にあたり，2000年に“東京都溶融スラグ有効利用指針”を定めた。これによれば東京都が今後，溶融処理して得られた溶融スラグを土木建設資材として使う場合に，発生者側としての安全基準を指針として定めたもので，鉛含有量が600ppm以下という自主規制値を設けている。また環境省の土壌リスク評価委員会でも土壌中の鉛の含有量を150ppm以下が望ましいとする答申がでるなど，今後溶融スラグ中の重金属の含有量を規制する動きも活発化することが予測される。この点においては新日本製鐵の溶融スラグが揮散促進反応のため，Pb含有量が数ppmから30ppmの範囲で天然砂並の含有量となっており，この意味から有害元素が極少化された安全なスラグと言うことができる。

2.3.2 溶融スラグ中の金属鉄分の影響

スラグの有効利用時の金属鉄分の存在は，酸化による赤錆の発生や体積膨張を引き起こす点からも有害である。このためスラグと金属鉄分の分離を高い精度で行う必要があり，独自開発の磁力選別機によればスラグ中の金属鉄分の含有量を0.5%以下に押さえることが可能である。このような高い磁選効果を得るためには溶融物を水砕処理したとき，スラグと鉄とが独立した粒として分離凝固していることが必要で，コークス燃焼による高温と石灰石による塩基度調整

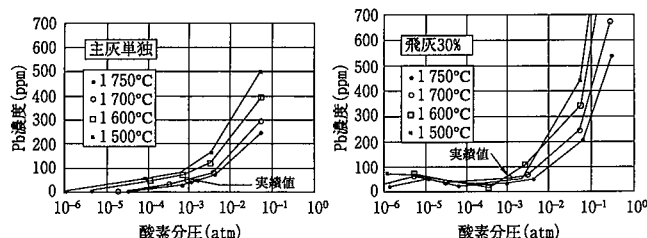


図2 スラグ中の鉛(Pb)濃度と酸素分圧及び雰囲気温度と関係

により，スラグの流動性を高めていることが大いにその効果を発揮しているものと考えている。

このようにして得られた良質のスラグは土木建設用資材の天然砂の代替として有効利用が可能である。インターロッキングブロックの基層コンクリート骨材としてすでに市場流通実績を確立しており，またアスファルト舗装用骨材としての公道での実用化も早くから行い，5年以上にわたる長期追跡調査でも問題なく有効利用できていることを確認している。

またメタルについても粒状でハンドリング性も良いことから建設重機械のカウンターウエイトとして市場流通している。

こうした利用用途先を確実に確保した上で，経済的に安定した取引が継続されるには流通ルートの整備が不可欠であり，このため製鉄業で培ったスラグ流通のノウハウを最大限に活用している。

3. 溶融スラグ，メタルの発生量及び品質

1979年に稼働した岩手県釜石市，1980年稼働の大阪府茨木市の2か所を皮切りにして，新日本製鐵が納入した施設より排出される溶融スラグの土木建設資材としての有効利用の調査研究が骨材メーカーとの間で進められてきた。その結果，溶融施設から発生する溶融スラグのほぼ全量が有効利用されるようになっている。

3.1 納入施設からの溶融スラグ発生量

新日本製鐵納入施設からの溶融スラグの発生量は1995年には1万トン強であったが，1998年にはその3倍の3万トン余りとなり，2000年度では4万トン弱と増加している。更には2003年度は11万トンに達する予測である。一方，溶融スラグの発生元である溶融処理施設も1995年度はわずか2施設であったが，2000年度中には9施設が稼働している。更に2003年度中には20施設となり，溶融スラグが全国規模で発生するようになる(図3参照)。

3.2 溶融スラグの有効利用事例

前述のとおり現在稼働中の溶融施設では産出する溶融スラグのほぼ全量が有効利用されているが，この中で茨木市と飯塚市でコンクリート二次製品として細骨材に，また釜石市で道路のアスファルト舗装用細骨材として有効利用されているのでこれらの事例について述べる。

3.2.1 大阪府茨木市における有効利用例

茨木市環境衛生センターより産出される溶融スラグの2000年度産出実績を表3に示す。2000年度で約15,000トン，メタルは約7,000トン，両者を合計すると約2万トン強になる。このほぼ全量が有効利用されている。

スラグは水砕により最大粒径が4mm以下程度の灰色を呈した砂

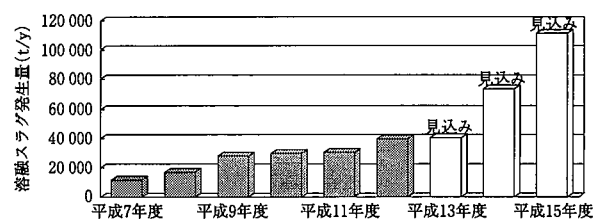


図3 新日本製鐵納入施設からの溶融スラグ発生量推移

表3 茨木市の溶融スラグ・メタル発生量

有効利用年度	溶融スラグ(t)	メタル(t)
2000年度	14 800	6 120

表4 溶融スラグ・メタル化学成分値(茨木市の溶融スラグ・メタルの例)

スラグ化学組成(%)			メタル化学組成(%)		
	平均	σ		平均	σ
SiO ₂	37.44	3.17	Fe	86.49	3.15
CaO	36.81	2.94	C	2.84	0.33
Al ₂ O ₃	17.07	1.59	Si	5.52	1.18
MgO	1.73	0.18	Mn	0.40	0.08
Na ₂ O	3.49	0.81	P	1.20	0.44
K ₂ O	0.47	0.29	S	0.04	0.13
S	0.28	0.04	Cu	2.79	0.55
FeO	0.53	0.29	Ni	0.20	0.05
M-Fe	0.36	0.11	Cr	0.43	0.08

となる。粗粒率が3.0程度の値となることから荒目砂と見ることができる。

溶融スラグ・メタルを構成する化学成分を表4に示す。ごみの灰分に由来するSiO₂が約37%, Al₂O₃が約17%, 主としてスラグの流動性改善を目的に添加した石灰石からもたらされるCaOが約37%で、これら3成分を合わせると全体の9割程度を占める。ごみ中の鉛等の重金属は前述したように溶融炉内で揮散するのでスラグ中には10ppm程度しか含まれていない。また土壌に係わる重金属類の溶出基準値を満足している。溶融スラグ・メタルの年間変動を σ で表しているが、変動幅も小さく安定している。

一方、メタルの外観は平均粒径が5mm程度の球状粒子で、嵩密度は3.0程度の値となる。主成分はごみ中に含まれる鉄で全体の86%程度を占める。その他炭素や珪素、銅をそれぞれ数%含有する。

茨木市環境衛生センターで発生するスラグとメタルはセンター内のホッパーに別々に一次貯留されるが、一括して民間の流通会社に売却し、この会社がそれぞれの利用先に輸送し、販売している。茨木市が売却するスラグの主要用途はコンクリート二次製品の骨材であり、主としてインターロッキングブロックや建築用空洞ブロック製造メーカーへ売却されている。

コンクリート用細骨材として求められる品質上の留意点としては次の2点が挙げられる。

- 1) 一般に密度が小さく、吸水率の大きな骨材を用いたコンクリートは強度や弾性係数の低下を引き起こす。このため骨材の密度、吸水率の管理が欠かせないが、予め圧縮試験によりコンクリートとしての強度を確認をすることが必要となる。
- 2) ある種の鉱物はセメント中のアルカリと反応し膨張性の珪酸化合物を生成するアルカリシリカ反応を起こす。このため使用に先立ち、アルカリシリカ反応性試験を行なうことが必要となる。

溶融スラグは天然骨材とほぼ同様な性状となっていることから、天然砂、砕砂、細骨材などの代替材料として使用される。表5にインターロッキングブロックの品質規格(インターロッキングブロック協会による舗装設計施工要領)を示すが、曲げ強度を満足することが必要となる。茨木市の水砕溶融スラグを全骨材の20%、及び30%混合したインターロッキングブロックの曲げ強度は表6に示すように表4のインターロッキングブロックの規格の曲げ強度を上回っており、使用上問題のないことが確認されている。

またアルカリシリカ反応は高炉スラグと同様、溶融スラグでも認められなかった。

近年各工場とも製造技術を改善する努力をしてきた結果、骨材の

表5 インターロッキングブロックの規格

種類	曲げ強度	備考
普通インターロッキングブロック	50kgf/cm ²	骨材は清浄、強硬、耐久的であって、適当な粒度をもち、ごみ、泥、有機物、薄い石片、細長い石片などの有害物を含んではならない
透水性インターロッキングブロック	30kgf/cm ²	
植生用インターロッキングブロック	40kgf/cm ²	

表6 溶融スラグを骨材として使用したインターロッキングブロックの強度

配合	曲げ強度(kgf/cm ²)
溶融スラグ混合率20%	68.5(67.8~69.4 N=3)
	59.7(54.7~66.2 N=3)
溶融スラグ混合率30%	82.1(70.4~90.7 N=9)

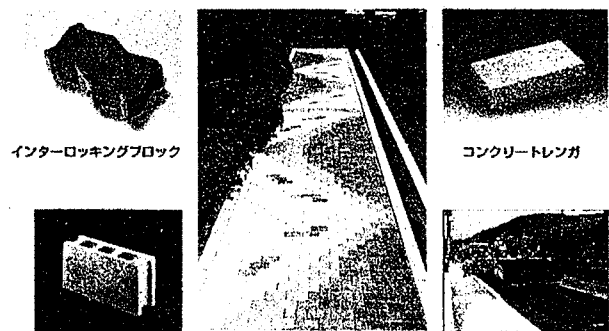


図4 インターロッキングブロックや建築用空洞ブロックの施工例

3割程度をスラグに置き換えることが可能となっている。図4に溶融スラグを骨材として用いたインターロッキングブロックや建築用空洞ブロックの施工例を示す。

一方、メタルの用途は、建設重機械の後部に取り付ける鋼板製カウンタウエイトの内部にセメントモルタルと一緒に流し込む重量骨材である。茨木市で売却されたメタルはすべてカウンタウエイトメーカーで重量骨材として利用されている。

3.2.2 福岡県飯塚市における有効利用事例

飯塚市クリーンセンターでは1998年より稼働を開始し、同年より発生した溶融スラグは民間の流通会社を経由して全量を近在のインターロッキングブロック製造会社に売却している。飯塚市の2000年度における溶融スラグ・メタルの発生量を表7に示す。先行した茨木市での溶融スラグの有効利用の技術の蓄積から、溶融施設稼働直後より溶融スラグの有効利用ができるようになっている。インターロッキングブロックでは骨材全体の最大3割を溶融スラグで代替している。

3.2.3 釜石市における有効利用事例

岩手県釜石市では溶融スラグのアスファルト骨材への有効利用の検討を平成1995年より開始し、1997年度より溶融施設から発生する溶融スラグはほぼ全量アスファルト骨材として有効利用され、今日に至っている。表8に釜石市の溶融スラグ・メタル発生量を示す。

溶融スラグを道路舗装の表層、基層に利用する場合について、実

表7 飯塚市の溶融スラグ・メタル発生量

有効利用年度	溶融スラグ(t)	メタル(t)
2000年度	2 599	479

表8 釜石市の溶融スラグ・メタル発生量

有効利用年度	溶融スラグ(t)	メタル(t)
2000年度	5 214	1 537

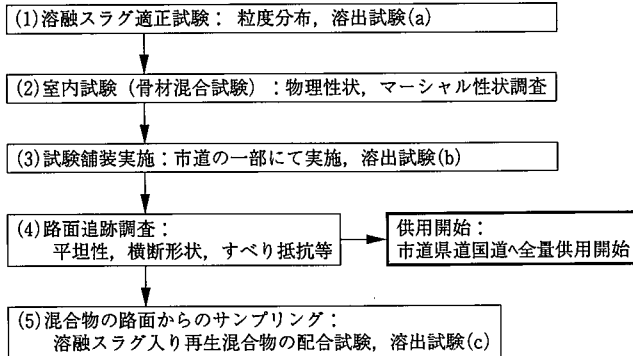


図5 アスファルト用骨材有効利用研究のステップ

舗装までの手順について釜石市での施工事例について紹介する⁶⁻⁸⁾。

アスファルト骨材砂の代替として溶融スラグを用いる場合，実舗装に至るまで物性値，安全性等各種の試験段階を経由することになる。実舗装までの長期にわたる追跡調査についての手順についての一例を図5に示す。ステップ(1)では溶融スラグ適正試験において溶融スラグ単独の粒度分布，溶出試験を行い，使用可能であることを確認した。ステップ(2)室内試験(骨材混合試験)では使用可能と判断された溶融スラグをアスファルト混合物用骨材として配合した時の混合物の試験を行った。

またここではアスファルト混合物としての溶出試験も実施し，土壤環境基準値を満足して入ることを確認した。溶融スラグの混合率が10%まではマーシャル安定度は天然砂配合のものと比較して遜色はなかった。

ステップ(3)では溶融スラグを使用したアスファルト混合物の試験施工を公道にて実施した。またこのとき比較工区として天然砂を使用した一般に使用されているアスファルト混合物も隣接して施工した。また試験舗装対象地域としては交通量の多い地区と少ない地区を選び，平坦性，わだち掘れ量及びすべり抵抗値等を測定した。長期間にわたり路面追跡調査を実施した((4)路面追跡調査)。

表9に長期間の路面追跡調査結果を示す。工区は交通量の多い地区(A地区)と少ない地区(B地区)を選んだ。路面追跡調査は5年間に6回実施した。供用後5年間を経過した時点で溶融スラグ使用混

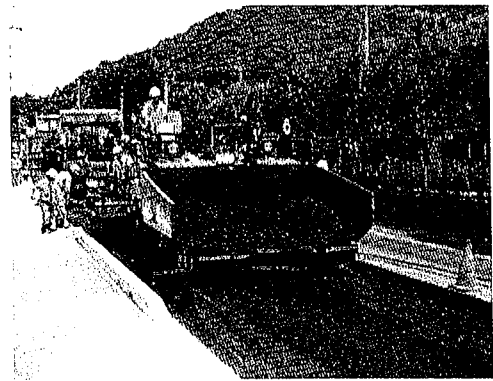


図6 道路用骨材としての施工例

合物も一般混合物との差異は見うけられず，溶融スラグ使用混合物の溶出試験も土壤環境基準値を満足し，アスファルト混合物用骨材として溶融スラグは天然骨材と同等の特性であると判断され，市道での供用が開始された。現在では県道，国道でも溶融スラグを道路用骨材として使用している。

更に，アスファルト舗装は再生利用が求められているため，溶融スラグを使用した舗装後3年間を経過した混合物を再生骨材としての適用性を評価し，再利用できることを確認した。図6にアスファルト舗装用骨材としての道路施工例を示す。

4. 結言

廃棄物の溶融処理は溶融物の資源化を安定して達成できれば，循環型社会形成実現に極めて有力な方策の一つとなりうる。そのためには従来の“処理”という考え方から“生産”へと大きな転換が図られることが要求されている。溶融処理も単に溶かすだけではなく各用途に応じた良質の溶融スラグを生産することが重要であり，相応の品質管理も求められることになる。このような廃棄物処理を取り巻く動きをまさに先取りした技術が新日本製鐵の直接溶融・資源化システムである。1979年に釜石市にて稼働して以来，現在全国で9施設が安定して稼働しており，12か所の施設が現在建設中である。その間，安定した溶融物の品質確保，流通ルートの確立等土木建設及び道路メカと共同して溶融物の有効利用促進を進めてきた。その結果，発生量のほぼ全量が有効利用されるに至っている。

限られた資源を有効に活用することで資源循環型の社会形成に役立てるため，今後も溶融スラグの品質向上と用途拡大に努め，有効利用の普及促進を図っていく所存である。

表9 アスファルト舗装用追跡調査結果

		1995年7月	1995年11月	1996年4月	1996年9月	1998年7月	2000年7月	備考
		-	4か月後	9か月	1年2か月	3年後	5年後	
平坦性	A地区 一般	1.268	1.483	1.208	1.225	1.270	1.530	目標 $\sigma=2.4$ 以下
	A地区 スラグ使用	1.499	1.598	1.210	1.115	1.240	1.340	
	B地区 一般	1.896	2.068	1.867	2.060	1.730	1.460	
	B地区 スラグ使用	1.078	1.248	0.915	1.249	1.110	1.56	
わだち掘れ量	A地区 一般	12.3	13.0	12.7	11.3	12.0	10.7	
	A地区 スラグ使用	13.3	12.7	12.7	12.0	12.0	11.7	
	B地区 一般	10.0	10.0	10.3	9.7	10.7	16.0	
	B地区 スラグ使用	13.7	14.0	13.7	13.7	13.3	14.0	
すべり抵抗値 BNP値	A地区 一般	60	66	62	60	65	65	目標 BNP値=50以上
	A地区 スラグ使用	59	63	57	60	62	64	
	B地区 一般	65	66	67	67	69	63	
	B地区 スラグ使用	67	66	67	65	68	64	

参照文献

- 1) 白石, 戸高: 廃棄物熔融スラグの資源化利用研究. 第2回廃棄物学会研究発表会, 1991, p.145
- 2) 戸高, 白石: 都市ごみスラグの資源化利用研究. 新日鉄技報. (345), (1992)
- 3) 俄, 白石ほか: 廃棄物の直接熔融処理技術の改善研究. 新日鉄技報. (360), (1996)
- 4) 長田, 小野ほか: 焼却飛灰の熔融処理に関する実証試験と熱力学的考察(第1報). 第6回廃棄物学会研究発表会講演論文集. p.381-383
- 5) 長田, 古角, 徳田: 焼却飛灰の熔融処理に関する熱力学的考察(第2報). 第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集. p.467-469
- 6) 北野ほか: 都市ごみ熔融スラグのアスファルト骨材への利用. 第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集. 1998-11, p.440
- 7) 北野ほか: 都市ごみ熔融スラグのアスファルト骨材への利用. 全国都市清掃研究発表会, 1998-2, p.128
- 8) 北野ほか: 都市ごみ熔融スラグのアスファルト骨材への利用(第2報). 第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集. 2000-11, p.532