

電気炉スラグ骨材製造設備

—多機能乾式分級選別設備—

市原明恵*

1. はじめに

鉄鋼スラグとは、鉄鋼製品の製造工程で副生成する溶融固化物の総称であり、高炉スラグと製鋼スラグに大別される。また、製鋼スラグは精錬炉の方式によって、電気炉スラグと転炉スラグに分類され、電気炉製鋼法にて副生成する鉄鋼スラグが電気炉スラグである¹⁾。

電気炉スラグや転炉スラグは、硬質かつ高比重な石状の物性を活かし、古くより路盤材や埋め戻し材等の道路用途、土木用途に利材化されており、「鉄鋼スラグ混入路盤材」、「鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物用骨材」など、様々な鉄鋼スラグ製品が、グリーン購入法の「特定調達品目」に指定されている。鉄鋼スラグ製品は、資源循環型社会に即したリサイクル資材であると共に、砕石採掘時に発生する二酸化炭素を削減した環境調和型の資材として、環境対策の重要性が高まる現代社会に適合した製品といえる。

当社の電気炉スラグ製品も、下層路盤材や陸域土木工事用材料、加熱アスファルト混合物用の単粒度製鋼スラグといった、道路用・土木用材料として、全量リサイクルされている。

しかし、当社電気炉スラグ製品の主用途である下層路盤材は、上層路盤材や単粒度製品に比べて製造が容易で、単純な破碎工程にて製品規格を満足しやすい。このため、コンガラや残土といった建設廃材のリサイクル材あるいは、既設の構築物の現地リサイクル材が多く利用される。公共工事の縮小や、道路インフラの充足といった、社会情勢の変化も加わり、電気炉スラグの下層路盤材需要は著しく減少している。

電気炉スラグ製品の需要を安定的に確保する為には、製品の品質を向上していくと共に、多様な用途に適用していく必要がある。山陽特殊製鋼(株)では、2009年7月に製鋼スラグ製品の膨張特性に対し、高い膨張抑制効果を発揮する加圧式蒸気エージング設備を導入したほか、2010年4月に多機能乾式分級選別設備を導入し、粒度特性の良

い単粒度製品と砕砂、微粉製品の製造が可能となった。当該設備の仕様及び特性について、以下に紹介する。



図1.製鋼スラグ（電気炉スラグ）製品の外観写真

2. 設備概要

多機能乾式分級選別設備の外観写真を図2、設備能力を表1、仕様を表2に示す。

多機能乾式分級選別設備は、整粒機（縦型遠心破碎機）及び分級選別機（4段式エアスクリーン）、集塵機及びフィルタータンク、ホッパー、コンベア、製品ヤードから構成され、製品ヤードを設備の下部に備えたコンパクトな設備である。最大処理能力は、投入原料にして40t/hで、同時に4種類の粗骨材及び細骨材、微粉（フィラー）の6種類の製品を製造できる。

* スラグ製品事業室 品質・開発グループ長、
研究開発センター 製鋼プロセスグループ 兼務



図2. 多機能乾式分級選別設備



図3. 整粒機

表1. 多機能乾式分級選別設備 設備能力

処理能力	40t/h
原料粒度	0～30mm
主要製品	単粒度製鋼スラグ SS-20(5号)、SS-13(6号)、SS-5(7号)、0～2.5mm、フィラー

表2. 多機能乾式分級選別設備 設備仕様

構成設備	設備名称	仕様
整粒機	縦型遠心破碎機	ローター周速 : 15～50 m/s
分級選別機	4段式エアスクリーン	最大網段数：4段 ウレタン網
その他	集塵機	風量：150m ³ /min
	ホッパー	容 量：20m ³
	フィラータンク	容 量：12m ³
	ベルトフィーダ	ベルト式 1基
	バケットコンベア ベルトコンベア	チェーン式 1基 ベルト式 3基

2. 1. 整粒機

ホッパーに投入された原料スラグは、バケットコンベアにより設備上面に設置された縦型遠心破碎機（以下、整粒機）²⁾ に運ばれる。整粒機の外観を図3に、概要を図4に示す。この整粒機は、上部の投入口より供給された原料が、内部中央の高速回転するローターより遠心力によって破碎室に排出され、破碎室中に蓄積された原料（デッドストック）と衝突することで、骨材の角をとり、粒形が良好で実績率の良い骨材に改質する³⁾。

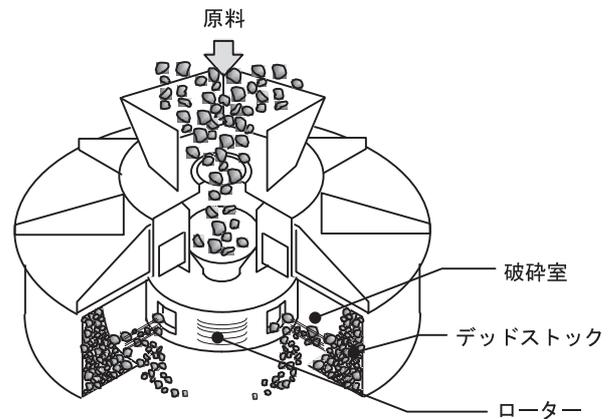


図4. 整粒機の構造断面図

2. 2. 分級選別機

整粒機で改質された原料は、整粒機下部に設置された分級選別機⁴⁾ に投入される。分級選別機の外観写真を図5、概要を図6に示すが、当分級選別機は原料投入口にブローアが設置されており、風力によって原料を分散すると共に、微粉分を集塵機にて除去し、ふるいわけを行う。

一般的な分級選別機では、原料は投入口付近ではシュート幅程度の面積に分布し、スクリーン下部にかけて扇形に広がるため、スクリーン全面を使用することがない。しかし、当分級選別機では、原料が風力により落ち口からスクリーン奥に運ばれるため、スクリーン全面を利用した篩い分けが可能である。このため通常のスクリーンに比べ分級性能が良く、ふるい面積が1/3以下という、コンパクトな設備になっている。

また、ブローアによって骨材表面が空気洗浄される為、微粉分の付着の少ない、良好な骨材が得られるだけでなく、微粉分によってスクリーンの目詰まりが置きにくく、長時間効率の良い分級が継続する。

作業環境においても、当分級選別機は密閉型の完全防塵構造であり、分級選別機本体からの粉塵発生がないほか、骨材の表面や、原料に含まれる微粉が、集塵機に捕集され

るため、骨材ヤードにおいても粉塵の発生が少なく、0～2.5mm粒度のヤードであっても簡易な散水によって防塵が可能である。この密閉構造及びウレタン製の網により騒音も低く、作業環境に配慮した分級選別設備である。

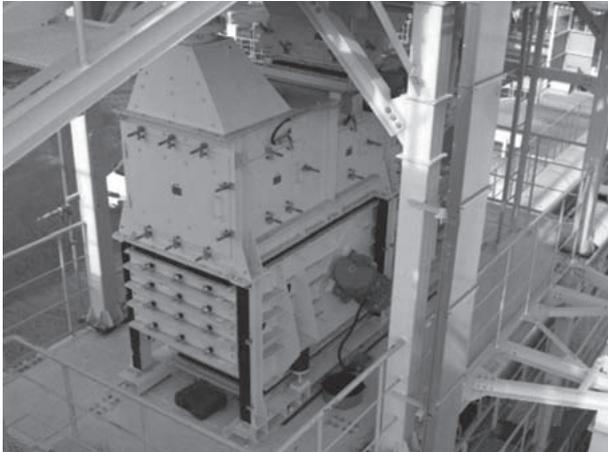


図5. 分級選別機

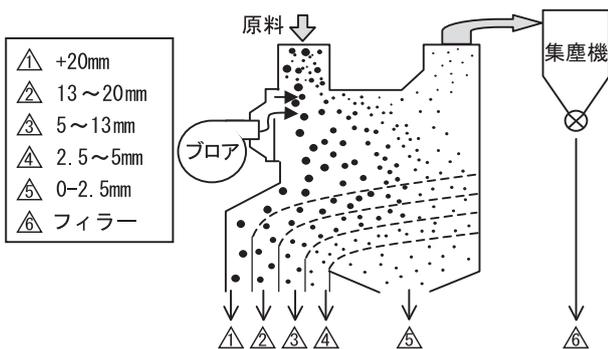


図6. 分級選別機 概要

3. 効果

3.1. 整粒機による粒形改善効果

整粒機の粒形改善効果として、実績率の向上があげられる。実績率とは、容器に満たした骨材の絶対容積の容器容積に対する百分率のことである。実績率の大きい骨材を用いると、コンクリートの場合では、コンクリートの密度、すりへり抵抗性および遮水性が増大する。また、単位セメント量を抑えることができ、経済性を向上させると共に、温度ひび割れ等の発生を抑制できる。

電気炉スラグ骨材は、熔融状態のスラグを土間に排滓し、シヨベルにて攪拌、冷却凝固する為、凹凸の大きい形状をしている。このため、整粒前の実績率は54～57%とやや低いが、整粒機によって実績率が56～60%と、3%程度向上し、天然の砕石並の実績率となっている。

3.2. 整粒機によるすりへり減量の改善効果

アスファルトやコンクリートの骨材は堅硬かつ強靱であることが必要とされるが、この評価指標であるすりへり減量も、整粒機によって改善する。結果を図7に示す。

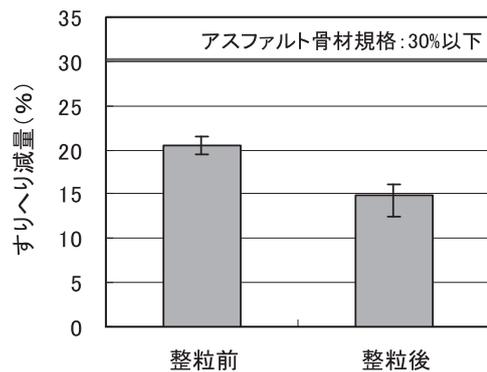


図7. すりへり減量 (JIS A1121) の向上

表3. 単粒度製鋼スラグ製品の物性値

	5号(SS-20)		6号(SS-13)		7号(SS-5)		5-10mm			
	測定値	規格値	測定値	規格値	測定値	規格値	測定値	規格値		
骨材粒度 ふるいを通るものの 質量分率 (%) JIS A1102	26.5mm	100.0	100							
	19.0mm	91.3	85～100	100.0	100					
	13.2mm	9.6	0～15	97.8	85～100	100.0	100	100.0		
	9.5mm							94.5		
	4.75mm			6.5	0～15	93.4	85～100	2.4	—	
	2.36mm					4.4	0～25			
1.18mm					2.6	0～5				
比重 (g/cm ³)	表乾	JIS A1110	3.34	2.45 以上	3.39	2.45 以上	—	2.45 以上	3.34	2.45 以上
	見掛	JIS A1110	3.46	—	3.50	—	—	—	3.46	—
吸水率 (%)	JIS A1110	1.51	3.0 以下	1.41	3.0 以下	—	3.0 以下	1.47	3.0 以下	
すりへり減量 (%)	JIS A1121	—	30 以下	16.08	30 以下	16.30	30 以下	15.70	30 以下	
単位容積質量 (kg/L)	JIS A1104	1.77	—	1.88	—	2.10	—	1.81	—	
水浸膨張率 (%)	JIS A5015	0.05	2.0 以下	0.05	2.0 以下	0.05	2.0 以下	0.05	2.0 以下	

電気炉スラグ骨材は、鉄分を多く含む、硬質な材料であるが、凹凸の多い形状をしている為、アスファルト骨材規格を満足するレベルであるが、すりへり減量が20%程度とやや高かった。しかし、整粒機により粒形を改善し、脆弱な部位を除去することにより、すりへり減量が5%以上改善し、骨材としての品質が向上している。

3. 3. 分級選別機による粗骨材の分級性能

次に、分級設備によって選別された、単粒度製鋼スラグの物性例を表3に示す。

何れの骨材も、規格を十分満足しており、特に粒度は規格の上下サイズの割合が10%以下と、優れた粒度特性を有している。

当設備は、スクリーンの張替えが容易であり、表3の加熱アスファルト混合用途だけでなく、コンクリート骨材用途の各種粗骨材、細骨材製造への切り替えも短時間で可能である。

3. 4. 細骨材の特性

分級選別機では、粗骨材と同時に、砕砂・スクリーングス相当粒度の砂状製品（0～2.5mm）であるESサンドや、石粉相当粒度のESパウダーが同時に製造できる。ESサンド、ESパウダーの外観写真を図8に、粒度分布の一例を図9、10に示す。

ESサンドは、整粒機の磨砕効果で、角の少ない良好な形状をしており、粒度は砕砂、スクリーングスの規格下限に近く、1mm程度の粒度を多く含む。

ESパウダーは、150μm以下の粒度が90%以上、75μm以下の粒度が80%以上と、舗装用石灰石粉粒度を満足する。

何れも天然の川砂や砕砂、石粉に比べ2～3割高比重であり、従来品の代替品としてだけでなく、重量骨材等の用途にも適用が期待される。

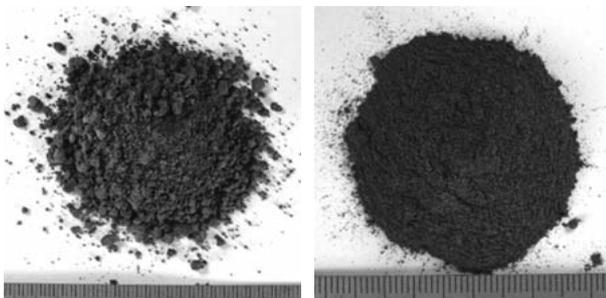


図8. スラグ細骨材の外観写真

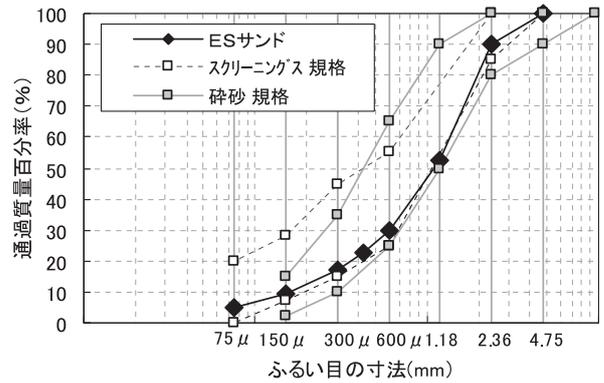


図9. ESサンドの粒度分布 (JIS A1102)

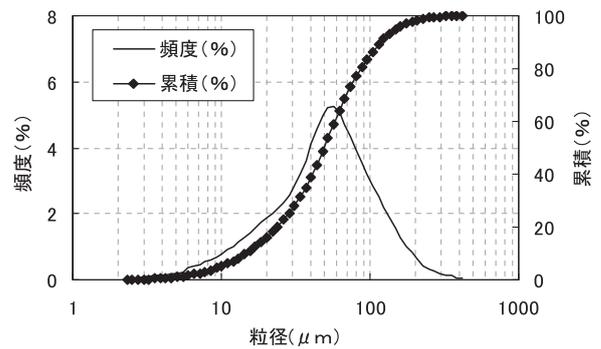


図10. ESパウダーの粒度分布 (レーザ回折・散乱法)

3. 5. 用途に応じた多様な製品の製造

一般的な分級選別機の場合、微粉分は最小篩以下の粒度、例えば砕砂やスクリーングスに相当する粒度に捕集される。微粉粒度は、路盤材の締め固め性を向上するが、砂代替品の用途によっては、過剰な微分を敬遠するものもあるため、微粉分を選別回収できる当設備により、用途に応じた広範な製品が製造可能といえる。

例えば、集塵機の開度を下げることにより、フィラーとして集塵機に移行する微粉分がESサンドの粒度に移行し、粗粒率の低いESサンドを製造することができる。

また、これら細粒品を配合することによって、上層路盤材等、従来では製造が困難であった粒度規格の製品も製造が可能となり、多様な用途に対し、スラグ製品の供給が可能となっている。

4. おわりに

資源循環型社会の浸透しつつある昨今、リサイクル材に対する認識も変化しつつあり、リサイクル材が利用される割合も高い。道路インフラが充足し、公共工事が縮小する現状において、電気炉スラグ製品を社会に供給しつづけるためには、従来のリサイクル材の主用途である下層路盤材だけでなく、様々な用途に適合した製品を製造し、提案し

ていく必要がある。

今回導入した、多機能乾式分級選別設備により、従来に比べ、耐磨耗性に優れた形状の良い骨材の提供が可能となっただけでなく、様々な粒度規格に適合した製品の製造が可能となった。昨年導入した、加圧式蒸気エージング設備と合わせ、業界でも高い水準の設備を有しており、これらを活用し、高品位かつ、多様な用途に適合する電気炉スラグ製品を製造し、リサイクル資源・電気炉スラグの拡販に努めたい。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：「鉄鋼スラグの道路用材への利用」，2004
- 2) コトブキ技研工業：特許第4028277号 遠心破碎機
- 3) 賀谷隆人, 長原雄一, 橋本勝由：日本コンクリート工学協会論文集, Vol.JCI-C68 (2005)19
- 4) コトブキ技研工業：特許第4282320号 鉱物の選別装置