高炉スラグの風砕プロセス

小島 佑介¹⁾ 松居 英雄²⁾
近 清 敬 朗³⁾ 沖 本 真 之⁴⁾

1. はじめに

高炉スラグは、鉄鉱石を高炉で還元溶解して銑鉄を製造するときに、銑鉄1t当たり約300kgも副生され、省資源、省エネルギーの見地からも、その資源化・再利用は、鉄鋼業界にとって重要なテーマの1つになっている。これまでに行なわれてきた高炉スラグの資源化処理法としては、高圧水で粉砕冷却する水砕方式と、自然に放冷後破砕する徐冷方式とが最も広く実用化されている。前者は主としてセメント原料用に使われ、後者は道路用路盤材に主として使われてきた。しかし省資源・省エネルギーの見地から、一層の附加価値の向上、利用の拡大を図る必要があり、そのためには新しい熔融スラグ処理プロセスの開発が急務であった。そもそも熔融スラグはかなりの溶存ガスを含有しており、徐冷の場合にも、急冷の場合にもこのガスが製品中の気孔の生成に大きな役割を演じることが明らかになっている。なかでも水は熔融スラグに作用して気孔の生成を促進する働きをもつため、従来の水砕プロセスでは水砕スラグの気孔を少なくする点で限界があることは否めない。そこで、直接、水を使用しないで、空気のみで熔融スラグを粒化し冷却するプロセスの開発に取り組み、極めて緻密で球形の硬い粒化スラグ(以下風砕と略称)の製造に成功したので、以下にプロセスの概略と特徴について述べる。

2. 製法と設備

高炉スラグ(熔融状態)を空気で急冷粉砕すると、細骨材向に改良された水砕スラグよりもさらに気孔の少ない(ほとんどない)球形の硬い粒状スラグが得られる。しかし同時に、大量のスラグウールが発生すると、空気の冷却能は水のそれに比べて小さいので、粒状スラグ同志が再融着する、という問題点があり、この2つの問題点を解決することが、風砕プロセスの成功のためには必要であった。この問題に対して、実験を繰り返し、下記の

対策をとることにより問題を解決した。

- (1) 吹製空気の風速・風量を調節する。
- (2) 粒化スラグを所定距離空中を飛翔させる。
- (3) 粒化スラグ回収システムに空気輸送装置を組み込む。

図1、写真1は、新日本製鉄株式会社堺製鉄所に設置された高炉スラグの風砕処理設備のレイアウトと、全景を示している。その主な設備仕様は表1のとおりである。設備は、送風機などの汎用機械と、鋼板構造物から構成されている簡単なものであるが、上述の問題点を解決するための具体的な工夫が数多く折り込まれていて、製造に関する特許出願は11件に及んでいる。

3. 風砕砂の品質と用途

写真2に、風砕砂のサンプルを示す。熔融スラグを粒化急冷している点では、水砕と同じ急冷スラグに属し、急冷スラグの特徴である高いガラス量をもっているが、水砕砂と異なり、球形で極めて硬質・緻密なものとなっている。粒度は、1~5mmにそろっており、天然の砂より少し粗めとなっている。表2に、代表的な粒度分布の例を示す。表3には、風砕砂の基礎物性を示す。天然砂と比較しても、安定で強度の大きな高品質の砂であることがよくわかる。また、表面がなめらかなガラス状で美観もすぐれている。もちろん、急冷高炉スラグのもっている潜在水硬性は、風砕砂でも顕著にあらわれる。

風砕砂はこのように、多くの優れた特徴を有しているので、広い用途に利用が可能である。

コンクリート用細骨材としての利用は、風砕砂の最も代表的なものであるが、これにおいて風砕砂は極めて優れた特長を発揮する。すなわち吸水率が低く、形が丸いことから、生コンクリートの流動性が改善され、その結果、単位水量が減らせる、というコンクリート配合設計上極めて有利な結果が得られる。すなわち、単位水量が減らせるということは、同じ強度のコンクリートを得るのに単位セメント量が少なくすむ、という省資源・経済的效果だけでなく、セメント水和発熱に起因するコンクリートのヒビ割れや、コンクリートの耐久性・均一性、施工時の作業性などの、多くのメリットを生むことになるからである。図2、図3は、風砕砂を使用した標

* 新日本製鉄株式会社

1) 名古屋製鉄所設備部長 2) 堺製鉄所設備部設備技術室機械技術課長 3) 堺製鉄所設備部設備技術室機械技術課掛長 4) 堺製鉄所設備部設備技術室掛長
Air Granulation Process of Blast Furnace Slag; Y. Kojima, H. Matsui, T. Chikakiyo, M. Okimoto (Nippon Steel Co.)
1980年1月31日受理

No.	名 称	No.	名 称	No.	名 称
1	40 ^T 鍋台車	9	吸引ブロワー	17	No.1 操作室
2	タンディッシュ, 台車	10	吸引ブロワ用 継手モーター	18	No.3 操作室
3	風洞, 底板	11	粒化ブロワー	19	No.2 操作室
4	綿回収装置	12	粒化ブロワ用 継手モーター	20	コンプレッサー室
5	衝突板	13	排さいパン, 台車	21	電気室
6	扁平ダクト	14	タンディッシュ残さい処理場	22	冷却塔
7	固気分離機	15	残さいパン, 台車	23	循環水ポンプ
8	マルテクロン	16	残さいホッパー		

図1 風砕処理設備のレイアウト。

写真1 風砕処理設備。

表1 主要設備仕様。

型 式:	鍋台車傾動式
公称生産能力:	月産 20000 t
平均粒化能力:	毎分 1.0 t
粒化用送風機:	2400 m ³ /min × 650 mmAq 450 kW
輸送用送風機:	2000 m ³ /min × 1100 mmAq 900 kW
鍋台車容量:	40 t

写真2 風砕砂サンプル。

準強度のコンクリートにおける、単位水量・単位セメント量の減少の程度を表わしたものである。風砕砂をコンクリート用細骨材として使用する場合、製造のままで粒度が粗めにすぎるので、何らかの方法で粒度調整をしてやる必要がある。図2、図3の場合は、細目の天然砂

表2 風砕砂の粒度分布の一例.

ふるいサイズ (mm)	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
通過百分率 (%)	100	95	65	20	5	1.7	0.6

表3 風砕砂の基礎物性.

	比 重 (g/cm^3)	吸水率	単位容積 重 (g/cm^3)	すりへり 強度 FDR*1	圧砕強度 *2
風砕砂	2.8~ 2.9	0.3~ 0.5	1.8~ 1.9	1.2~ 1.3	0.2~ 0.5
天然砂 (川砂)	2.5~ 2.8	1.0~ 2.0	1.5~ 1.7	1.3~ 1.5	1.0~ 15.0

*1 基準粒度のサンプルに対し、摩砕テストを行なったことによる粒度の変化度を指標化したもの。

*2 基準のふるいに残るサンプルに圧縮荷重をかけたのち、もとのふるいを通過するものの割合を百分率で表した。

図2 単位水量の削減.

図3 単位セメント量の削減.

と、1:1の割合で混合して、粒度調整している。風砕砂の一部をクラッシングして粒度調整することも可能であり、この場合には、風砕砂の微粉分が水硬性を発揮し、セメント同等効果を示すので、天然砂と混合使用した場合よりも、さらに大きな省セメントが可能である。

風砕砂のすりへり強度が大きいことを生かして、アスファルトコンクリート用の細骨材として使用することも

できる。この場合にも、流動性が良くなるので、アスファルト量の節約も可能である。天然砂を使った場合の最適アスファルト量は、6%前後であるのに対して、風砕砂使用の場合は、5.0~5.5%となる。

風砕砂をクラッシングしたときに顕著に発現する潜在水硬性を生かして、高強度路盤材として利用することもできる。

これらの砂としてごく一般的な使い方のほかに、極めて興味深い使用例として、風砕砂の外観の美しさ、すなわち丸い形状および色彩の美を生かしたものがある。床あるいは壁を、風砕砂を使ったモルタルで仕上げたのち、磨き出しあるいは洗い出しと言われる加工を施すことによって、風砕砂を表面に浮き出させ、その形と色を生かす使い方がその一例である。また別の例として、特殊な接着剤と風砕砂を混ぜたものを、壁に塗布すれば、高級化粧壁に簡単に仕上げることができる。この化粧壁は、内装用にも、外装用にも使え、施工性も仕上げ後の滑らかな手ざわりも申し分がない。写真3は外壁用に使用した例を示している。この商品は「蘇鉄」という商品名で売り出している。

写真3 風砕砂による外壁の化粧仕上げの例.

4. そ の 他

溶融高炉スラグは、製鉄所の廃熱の中で、高温かつ大量であることから、回収すべきエネルギーとして、早くから注目されてきたが、スラグの資源化との両立の問題や、スラグの伝熱特性の悪さから、難かしいとされてきた。昨今の省エネルギーのニーズの高まりから、研究は従来にも増して盛んに行なわれてきているが、まだ成功した例は少ない。

風砕処理システムでは、完全に乾式で処理していることと、細粒にして伝熱特性を良くしていることによって、エネルギーとして回収できる可能性が大きい。固気分離機を出たところで、空気(輸送用)は、250~300℃になっているので、このまま乾燥用のエネルギーとして使ったり、燃焼空気の予熱用に使うこともできる。さらに、固気分離機内の風砕砂は、まだ700~800℃の温度にあるので、適当な熱交換方法によって熱回収すれば、蒸気としてあるいは電力として回収することもできる。今後、この方面でも風砕プロセスは大きな期待が持たれている。