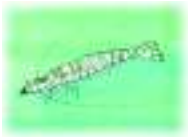


# 鉄鋼スラグ製品の開発と製造



企業レポート

當 房 博 幸\*

Development and Production of Iron and Steel Slag Products

Key Words : slag, cement, concrete aggregate

## 1. はじめに

鉄鋼製品を製造する際に必然的に発生する副産物である鉄鋼スラグを、鉄鋼会社では有用な材料に加工して販売している。鉄鋼スラグには、高炉で鉄鉱石を還元して鉄を作る製鉄工程で発生する高炉スラグ、転炉または電気炉で鉄を精錬して鋼を作る製鋼工程で発生する製鋼スラグがある。日本国内で製造される鉄鋼スラグ製品の年間販売量は、約4千万tの膨大な量になる<sup>1)</sup>。国内で工業的に製造された材料の2012年度の生産量を図1に示す<sup>2)</sup>。鉄鋼スラグ製品の年間生産量は、碎石、粗鋼、セメントの次に多く、ほぼガソリンと同じ量である。これだけの量の材料を無駄にするわけにはいかない。スラグというと廃棄物を想像される方もいると思うが、その印象を改めていただくためにも、ここではスラグが製品であり、用途やニーズに応じて作り込みをしていることを説明する。

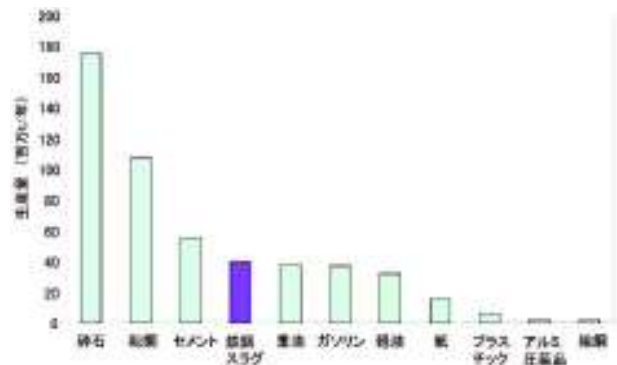


図1 工業的に製造された材料の年間生産量比較<sup>1,2)</sup>

## 2. 鉄鋼スラグ製品の製造工程

図2に鉄鋼スラグ製品の製造工程を示す<sup>3)</sup>。高炉および転炉では、基本的には溶銑、溶鋼の成分、温度の調整を優先して操業しているが、スラグ製品の用途によっては必要なスラグ成分の調整を行っている。次に冷却・凝固工程では、ゆっくり冷やし結晶質の塊状に凝固する徐冷と、水で吹き飛ばして急速

に冷却しガラス質の細粒にする水砕がある。破碎・粒度調整工程では、用途に応じて要求される粒度分布範囲内になるよう調整する。破碎・粒度調整後にエージングする場合もある。最後に、製品品質を検査後、出荷する。

セメント、コンクリート用骨材、路盤材等、主要な用途については、JIS規格が制定されている。

## 3. 鉄鋼スラグ製品の製造

JIS規格を満足するだけでは、実際に使用するユーザーのニーズに合致しない。本稿では、鉄鋼スラグ製品の製造方法の例として、JFEスチール(株)で製造しているスラグ製品、開発したスラグ製品の製造方法を説明する。

### 3.1 高炉スラグ微粉末と高炉セメント

高炉スラグはセメント向けに最も多量に利用され、国内、輸出合わせて年間17.9百万t販売されている。高炉セメントは、普通ポルトランドセメントと高炉水砕スラグを微粉碎した高炉スラグ微粉末を混合して製造される。高炉セメントに混合できる水砕スラグの品質は厳格に規定されている。成分は塩基度で規定され、粉末度はブレン値(比表面積)で規定



\* Hiroyuki TOBO

1964年3月生

大阪大学工学部冶金工学科卒業(1988年)  
現在、JFEスチール株式会社 スチール  
研究所 スラグ・耐火物研究部 主任研  
究員 大阪大学大学院工学研究科マテリ  
アル生産科学専攻 博士後期課程在学中  
スラグ製品開発

TEL: 043-262-2890

FAX: 043-262-2858

E-mail: h-tobo@jfe-steel.co.jp

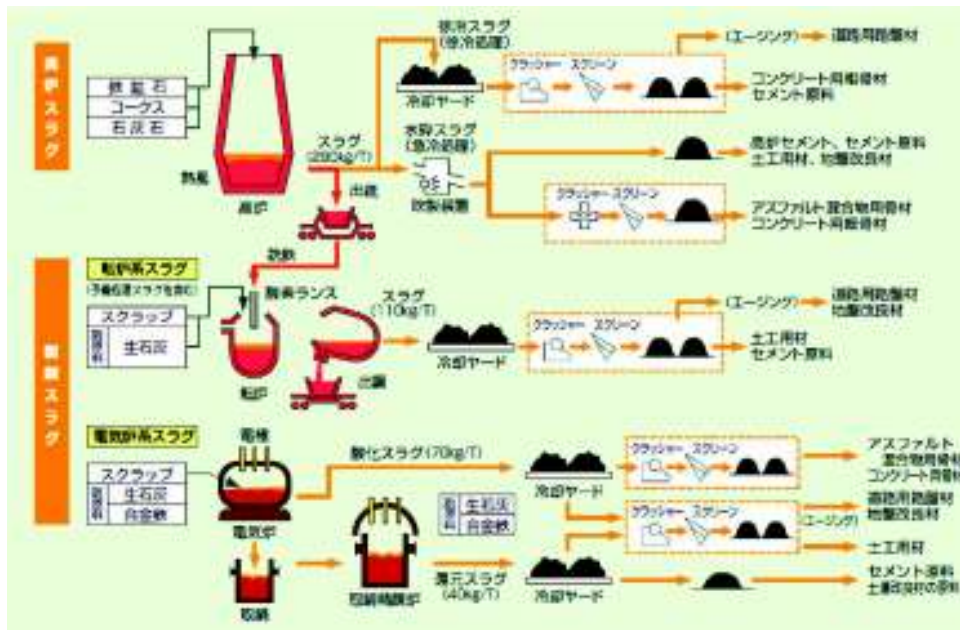


図2 鉄鋼スラグ製品の製造フロー③

されている。

JFE スチール (株) では、セメント塩基度 B3 または MnO, TiO<sub>2</sub> を含んだ塩基度 Bm で管理しており、ユーザーであるセメントメーカー毎に塩基度の範囲が定められている。

$$B3 = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2 \quad \dots (1)$$

$$Bm = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2 - 0.13 \cdot \text{TiO}_2 - \text{MnO} \quad \dots (2)$$

日本国内向けは塩基度が高めで、海外向けは塩基度が低めに設定されている。高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べゆっくりと水和反応が生じ、強度も徐々に増加する特徴があり、塩基度が高いほど初期強度が高くなる。東南アジア等の気温の高い地域では、水和反応が早く塩基度による初期強度の差はなくなり、塩基度が低めの方が適している。

図3にセメント用水砕スラグ、微粉末の製造フローを示す。塩基度は、焼結鉱製造工程でドロマイトや石灰石の配合量によって調整する。高炉で熔融後、排出された熔融スラグを、大量の水で吹き飛ばして急冷し、ガラス化する。できた水砕スラグは、成分を分析し、塩基度毎にクラス分けする。ミルで水砕スラグを微粉碎する際、高塩基度品と低塩基度品を混合粉碎し、一定の塩基度の高炉スラグ微粉末を製造している。

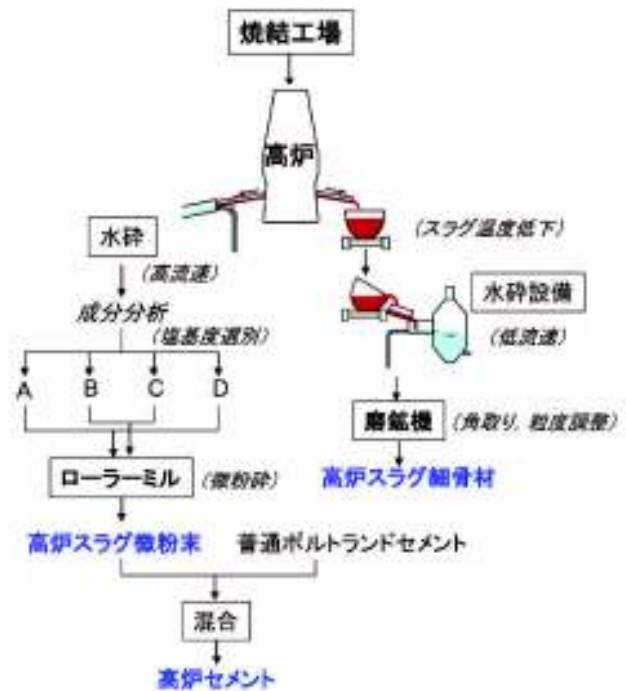


図3 セメント用および細骨材用水砕スラグの製造フロー

### 3.2 高炉スラグ細骨材

高炉水砕スラグは、コンクリート用細骨材、いわゆる砂にも利用される。細骨材は高炉水砕スラグの2番目に多い用途で、国内で年間1.7百万t販売されている。細骨材用の水砕スラグには、セメント用とは異なり、密度が高く硬質なものが求められる。

さらに、利用される地方によって必要とされる粒度分布が異なる。

関東地方では細粒の砂が産出されるが、コンクリート用細骨材とするためには粗粒の砂を混合して粒度分布を調整する必要がある。セメント用水砕スラグは、内部に気孔があり密度が小さく、強度が小さい。気孔を減少させて密度を大きくするには、水砕前のスラグ温度を低下させることが有効である。粗粒の水砕スラグを製造するには、水砕する際の冷却水流速を低下させるとよい。この2つの条件を満足させるため、図3のようにJFEスチール(株)東日本製鉄所千葉地区では細骨材用の専用水砕設備を設け、セメント用と細骨材用を作り分けている<sup>4)</sup>。

### 3.3 鉄鋼スラグ水和固化体

JFEスチール(株)では、製鋼スラグおよび高炉スラグ微粉末を主原料とした鉄鋼スラグ水和固化体を開発し、製造している<sup>5)</sup>。鉄鋼スラグ水和固化体の配合例を図4に示す。鉄鋼スラグ水和固化体は、製鋼スラグを砂や砂利の代替に、高炉スラグ微粉末を結合材とし、通常のコンクリートと同様に、練り混ぜ、打ち込み、養生して製造する。製鋼スラグから溶け出すCaイオンのアルカリ刺激が、高炉スラグ微粉末の潜在水硬性を引き出し、水和反応により固化する。

練り混ぜ後は、生コンクリートと同様に扱え、型枠でコンクリートブロック同様に成形したものや、図5の固まった後に破碎して岩石状にするフロンティアロック<sup>®</sup>を製造している。製鋼スラグは、発生

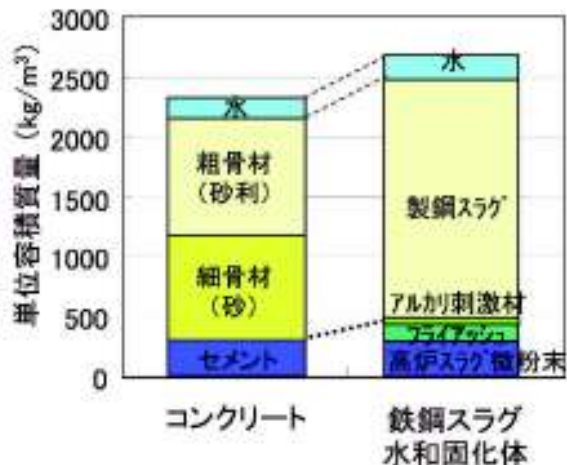


図4 鉄鋼スラグ水和固化体の配合例

する工場、工程毎に成分や粒度分布が異なる。固化体の強度を確保するため、用いるスラグに応じて製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末他の配合を調整して製造している。水和固化体のアルカリ成分の溶出性は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートよりも小さい。そのため、海域で使用した場合、コンクリートよりも生物付着性が優れるという特徴があり、港湾工事用の石材やブロックとして利用されている。



図5 フロンティアロック<sup>®</sup>

### 3.4 高品質な高炉スラグ粗骨材

現在、JFEスチール(株)では高品質の高炉スラグ粗骨材を開発している。高炉徐冷スラグは、コンクリート用粗骨材、いわゆる砂利として利用される。しかし、高炉徐冷スラグは多孔質であるため、吸水率が高く、その値の変動が大きい。天然石と特性が異なることから、国内の高炉スラグ粗骨材の年間販売量は269千tと少ない。JFEスチール(株)では、高炉スラグの気孔を低減する図6の高炉スラグ連続凝固プロセスPACSS<sup>®</sup>を開発した。鑄鋼製鑄型上でスラグの厚みを薄くして凝固すると、図7-a)の



図6 高炉スラグ連続凝固プロセスPACSS<sup>®</sup>



緻密な板状スラグが得られる<sup>6)</sup>。これを破碎すると図7-b)の粗骨材が製造できる。図7-c)の通常の高炉徐冷スラグの吸水率は3～4%であるが、PACSS®で製造した粗骨材の吸水率は、天然骨材と同様1%以下である。

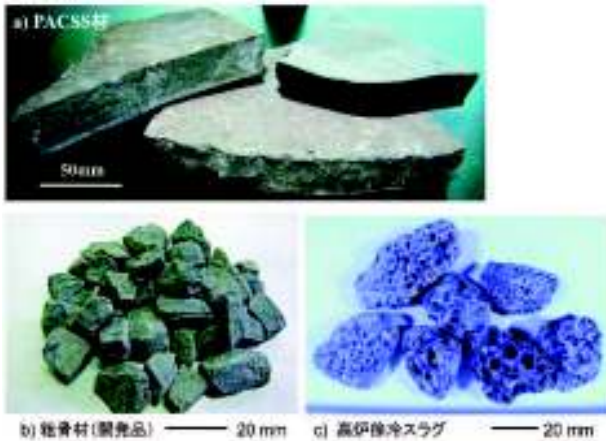


図7 開発した低吸水性粗骨材の外観

#### 4. おわりに

以上のように、鉄鋼スラグ製品は鉄鋼製品を製造

する際に発生する副産物であるが、利用用途、ユーザーの要求品質に応じて加工、管理して製造している工業製品である。鉄鋼スラグ製品が社会を支える材料として、より役立つ様、今後も開発を進めていきたい。

鉄鋼スラグ製品に興味をもたれた方は、鉄鋼スラグ協会のホームページ、またはJFEスチール(株)のホームページのスラグ製品のページをご覧くださいけると幸いです。

#### 参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ統計年報 (平成24年度実績)：鉄鋼スラグ協会 HP
- 2) 平成24年度生産動態統計調査：経済産業省 HP
- 3) 環境資材 鉄鋼スラグ：鉄鋼スラグ協会編
- 4) 當房博幸, 渡辺圭児, 桑山道弘, 後藤滋明, 後藤弘樹, 田中敏宏：鉄と鋼, 投稿中
- 5) 松永久宏, 小菊史男, 高木正人, 谷敷多穂：コンクリート工学, 41(2003), No.4, 47
- 6) 當房博幸, 宮本陽子, 渡辺圭児, 桑山道弘, 小澤達也, 田中敏宏：鉄と鋼, 99(2013), 532

