

## 特集記事・2 鉄鋼業におけるリサイクルの最前線

## 鉄鋼業におけるリサイクルの実践-2

## 鉄鋼スラグリサイクルの現状と課題

## Present Status of Recycling Iron and Steel Slag

藤原 稔

Minoru Fujiwara

鉄鋼スラグ協会 専務理事

## 1 はじめに

鉄鋼スラグは、鉄鋼産業から生成する有用なリサイクル資材として、セメントの原料、道路の路盤材、コンクリートの骨材など、主として土木建築分野に活用されてきており、2002年度にはその99 mass %が利用されている。

2000年に「循環型社会形成推進基本法」が制定されるなど、産業副産物のリサイクルがますます重要になる中で、鉄鋼スラグに関しても有効利用の新たな展開が期待されている。

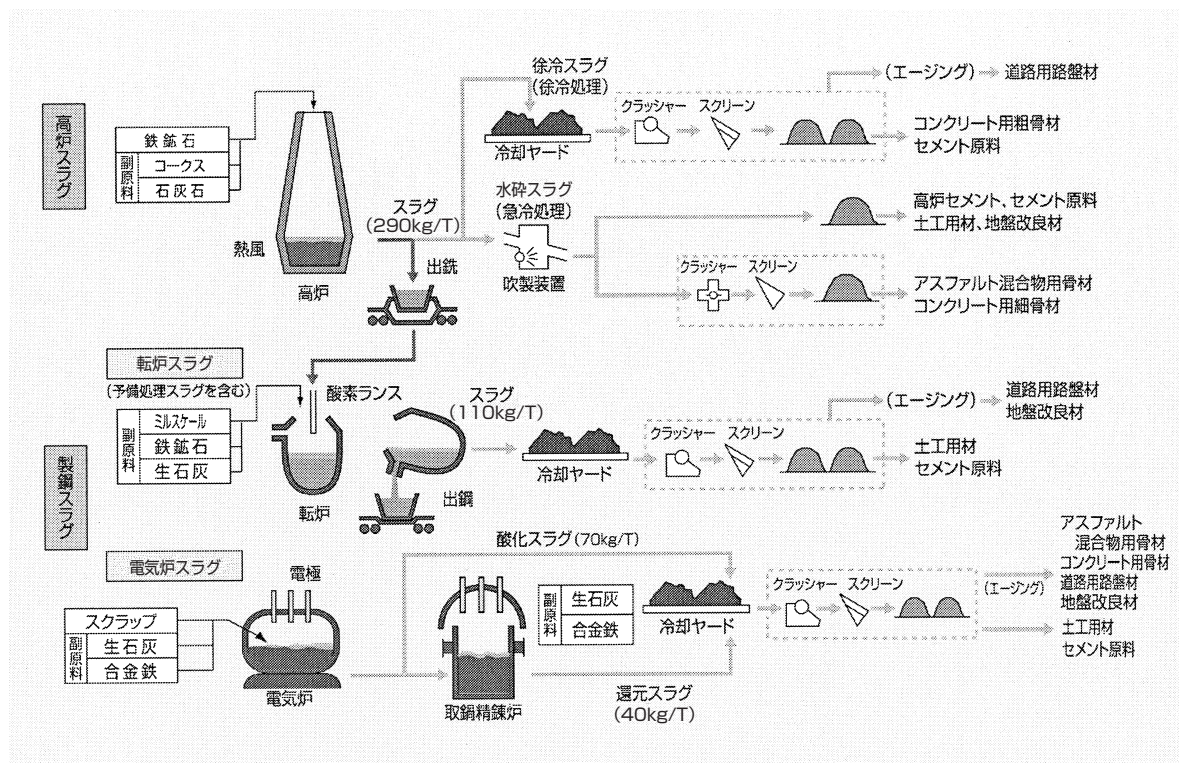
ここでは、最初に鉄鋼スラグの生成工程と生成量を示し、次いでその物理・化学的特性と用途、および利用の推移と課

題を述べ、最後に今後の利用拡大と用途開発について展望する<sup>1)</sup>。

## 2 鉄鋼スラグの生成

## 2.1 鉄鋼スラグの生成工程

高炉で銑鉄を作る際に生成するのが高炉スラグであり、転炉や電気炉で鋼を作る際に生成するのが製鋼スラグである。後者は製鋼炉に応じてそれぞれ転炉スラグ・電気炉スラグと呼ばれる。これらの生成フローを図1に示す。

図1 鉄鋼スラグの生成フロー<sup>2)</sup>

## 2.2 高炉スラグの生成工程

高炉では、鉄鉱石をコークスや石灰石とともに熱風や酸素を吹き込んで高温で溶解し、コークスの炭素により還元して銑鉄とする。この際、鉄鉱石の鉄以外の成分は石灰石やコークス中の灰分とともに分離回収される。これが高炉スラグである。高炉スラグは銑鉄1tあたり約290kg生成する。高炉から出たスラグは約1,500℃の熔融状態であるが、冷却方法により次の2つの異なった性状のスラグとなる。

熔融状態のスラグを冷却ヤードに流し込み、自然放冷と散水により冷却すると、結晶質の岩石状の高炉徐冷スラグとなる。これを所定の粒度に破碎・整粒して各種の用途に用いる。また、熔融状態のスラグに加圧水を噴射して急激に冷却すると、ガラス質（非晶質）の砂状の高炉水砕スラグとなる。加圧水の量や温度を調節することにより、軟質で軽いものと、硬質で重いものを作り分けることができる。

## 2.3 製鋼スラグの生成工程

転炉では、生石灰を投入して酸素を吹き込み、銑鉄から炭素（C）を取り除くと同時に、生成したスラグにより燐（P）などの不純物を吸収する。転炉スラグは自然放冷または散水により冷却され、高炉徐冷スラグと同様に破碎・整粒して各種の用途に用いられる。転炉スラグは転炉鋼1t当たり約110kg生成する。

なお、溶銑を高炉から転炉へ運搬中に硫黄（S）や燐などを除去する予備処理が行われており、この際に生成するスラグを溶銑予備処理スラグという。これも統計上は転炉スラグに含まれる。

電気炉では、スクラップを電弧熱により溶解し、これに酸素を吹き込み、生石灰などを投入して酸化性のフラックスを生成させてスクラップ中の不純物を除去する（酸化精錬）。このフラックスを冷却すると酸化スラグになる。さらに、コークスや生石灰などを加えて還元性のフラックスを生成させて酸素や硫黄を除去する（還元精錬）。このフラックスを冷却すると還元スラグとなる。酸化スラグと還元スラグを合わせて電気炉スラグという。電気炉スラグは電炉鋼1t当たり約110kg生成する。

## 2.4 鉄鋼スラグの生成量

鉄鋼スラグの生成量の推移を図2に示す。2002年度の銑鉄生産量は8,150万t、これに伴う高炉スラグの生成量（水分を含まない状態）は2,350万tであり、製品としての生産量は2,420万t、このうち水砕スラグは1,830万t、徐冷スラグは590万tである。水砕率（水砕スラグ生産量/高炉スラグ生産量）は75.7 mass %である。

同じく粗鋼生産量は10,980万t、このうち転炉鋼は8,020

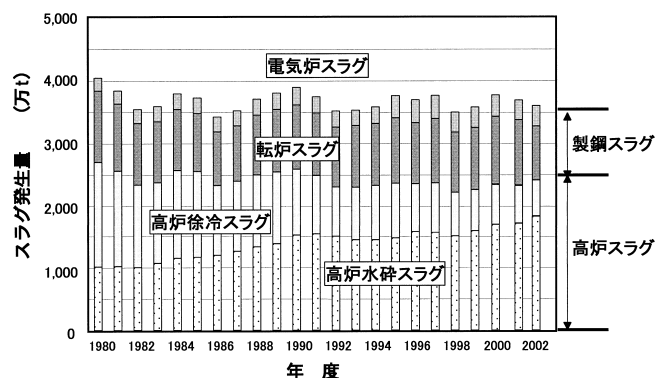


図2 鉄鋼スラグの生成量の推移<sup>3)</sup>

万t、電炉鋼は2,960万tであり、これに伴う製鋼スラグの生成量は1,220万t、このうち転炉スラグは890万t、電気炉スラグは330万tである。

# 3 鉄鋼スラグの特性とその用途

## 3.1 鉄鋼スラグの特性

### (1) 鉄鋼スラグの物理特性

鉄鋼スラグの製品としての形状は、高炉徐冷スラグと製鋼スラグは碎石に、高炉水砕スラグは砂にそれぞれ類似している。高炉徐冷スラグと高炉水砕スラグの絶乾密度（絶対乾燥状態での質量を絶対容積で除した値）は2.5～2.7 g/cm<sup>3</sup>で、碎石や砂と同程度である。製鋼スラグは鉄の成分を含んでいるため、絶乾密度は3.2～3.5 g/cm<sup>3</sup>で碎石より重く、硬質で耐磨耗性に優れている。

高炉水砕スラグには、気泡があり軟質で軽いもの（単位容積質量（容器に突き詰めた状態での単位容積当たりの質量）1.0～1.3kg/l）と、気泡がなく硬質で砂と同程度の重さのもの（単位容積質量1.4～1.6kg/l）がある。いずれも角張っていて内部摩擦角が砂（30～35°）よりも大きい（35～40°）。

高炉スラグと製鋼スラグはともに含水比に対する鋭敏性が低いため、水の影響を受けにくい。

### (2) 鉄鋼スラグの化学特性

鉄鋼スラグは、表1に示すように石灰（CaO）およびシリカ（SiO<sub>2</sub>）を主成分とし、さらに高炉スラグはアルミナ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）、マグネシア（MgO）、製鋼スラグは酸化第1鉄（FeO）、マグネシア（MgO）、酸化マンガン（MnO）をそれぞれ含有する。これらはいずれも自然の岩石や鉱物に含まれるものである。ただし、鉄鋼スラグの化学組成は碎石や砂とは異なり、普通ポルトランドセメントに類似している。なお、鉄鋼スラグは高温の熔融状態で取り出されるため、有機物は含んでいない。

表1 鉄鋼スラグの化学組成例<sup>2)</sup>

単位: mass %

| 成分 \ 種類                        | 高炉スラグ | 製鋼スラグ |        |       | 山 土 | 安山岩 | 普通<br>ポルトランド<br>セメント |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|----------------------|
|                                |       | 転炉スラグ | 電気炉スラグ |       |     |     |                      |
|                                |       |       | 酸化スラグ  | 還元スラグ |     |     |                      |
| SiO <sub>2</sub>               | 34    | 14    | 18     | 27    | 60  | 60  | 22                   |
| CaO                            | 42    | 44    | 26     | 51    | 0   | 6   | 64                   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14    | 2     | 12     | 9     | 22  | 17  | 6                    |
| T-Fe                           | 0     | 18    | 21     | 2     | —   | 3   | 3                    |
| MgO                            | 7     | 6     | 5      | 7     | 1   | 3   | 2                    |
| S                              | 1     | 0     | 0      | 1     | 0   | —   | 2*                   |
| MnO                            | 0     | 5     | 8      | 1     | 0   | 0   | —                    |

注 1) 数字は小数点以下一位を四捨五入した値。

注 2) \* SO<sub>3</sub>として

高炉スラグと製鋼スラグは、いずれも水に接すると石灰 (CaO) がわずかに溶出し、アルカリ性を呈する。加えて、微量のシリカ (SiO<sub>2</sub>) やアルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の溶出によって表面に緻密な水和生成物を形成し、これがスラグの粒子をつなぐ結合材となって時間とともに硬化する、いわゆる水硬性を有する。とくに、高炉水砕スラグはガラス質 (非晶質) のため、微粉碎によって活性が強くなり、アルカリ刺激によって硬化する性質が大きい (潜在水硬性)。また、高炉スラグはコンクリートの材料として用いてもアルカリ骨材反応の原因とはならない特徴を有する。

### 3.2 鉄鋼スラグの用途

#### (1) 高炉徐冷スラグ

徐冷スラグは、かみ合わせが良いうえに水硬性があるため、大きな支持力が期待できることから、道路の路盤材として用いられる。また、溶解シリカ量が少ないのでアルカリ骨材反応の原因とはならないことから、コンクリート用粗骨材として用いられる。さらに、低アルカリ性を利用してセメントのクリンカー原料、あるいは肥料成分 (CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO) を利用して珪酸石灰肥料 (ケイカル肥料) としても用いられる。

なお、徐冷スラグは硫化カルシウム (CaS) を含むため、水と接すると黄色を呈することがある。このため、あらかじめ安定化させた後に用いられる。

#### (2) 高炉水砕スラグ

水砕スラグは、微粉碎により潜在水硬性が期待できることから、高炉セメント原料・ポルトランドセメント混合材・コンクリート混和材として用いられる。また、低アルカリ性を利用してセメントクリンカー原料として用いられる。さらに、砂状で、内部摩擦角が大きいことから土工用材料 (裏込土、覆土、盛土、路床改良材など) として用いられる。これらには軽い水砕スラグが用いられる。また、塩分などの有害物質を含まないことから、コンクリート用細骨材として用いられ

る。これには重い水砕スラグが用いられる。徐冷スラグと同様に、肥料成分 (CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO) を利用して珪酸石灰肥料や土壌改良材としても用いられる。

#### (3) 製鋼スラグ

製鋼スラグは、水硬性があり大きい支持力を期待できることから、道路の路盤材として用いられる。また、砂の代替材として港湾工事における地盤改良材料 (サンドコンパクションパイル材料) として用いられる。さらに、FeO, CaO, SiO<sub>2</sub> 分があることからセメントクリンカー原料として、肥料成分 (CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, FeO) を利用して肥料や土壌改良材としてそれぞれ用いられる。

なお、製鋼スラグは遊離石灰 (CaO) を含むため、水と接すると膨張することがある。このため、あらかじめ安定化させた後に用いられるのが一般的である。なお、最近ではこの膨張現象を利用した技術開発が行われている。

## 4 鉄鋼スラグの利用の推移と現状の課題

### 4.1 鉄鋼スラグの利用の推移

鉄鋼スラグは、1965年頃まではもっぱら製鉄所の工事用資材として用いられてきた。したがって資源化のニーズはあまり大きくはなかった。

しかし、1970年代前半に粗鋼生産量1億t体制がほぼ整ったのに伴って、大量に生成される鉄鋼スラグの資源化の必要性が顕在化した。組織的な資源化活動は、(社) 日本鉄鋼連盟が1972年に「高炉滓JIS化推進委員会」を設立したことに遡る。

その後、1978年に鉄鋼スラグ協会が設立され、(社) 日本鉄鋼連盟とともに、資源化活動が活発となり、各種鉄鋼スラグ製品のJISの制定、各学協会の鉄鋼スラグに関する各種設計施工指針の制定、官公庁の工事仕様書への記載などが逐次行われ、鉄鋼スラグの利用拡大に繋がっていった。

以下にスラグの種類ごとに利用の推移を述べる。

### (1) 高炉スラグ

図3に1980年以降の高炉スラグの利用の推移を示す。高炉スラグは1965年以前には主に製鉄所工事の資材として、埋め立て材料・土地造成材料・構内道路の路盤材などに使用されていた。当時は埋め立て量が生成量の1/4を占めていたが、その後、一般道路の路盤材、セメント原料、コンクリート用骨材などに利用が拡大し、1979年以降は埋め立て量がゼロとなっている。

一般道路の路盤材としては高炉徐冷スラグが1960年代後半から利用され始め、その後1978年の(社)日本道路協会の「アスファルト舗装要綱」への記載、1979年の「JIS A 5015 道路用スラグ」の制定などがあり、1980年頃には生成量の50%の年間1,200万t前後が道路用として用いられた。しかし、その後セメント原料としての需要の増加に伴って年々減少し、1992年度以降は約400万tで推移している。

1960年の「JIS R 5211 高炉セメント」の改正で、高炉水砕スラグの分量に応じて、A種(5～30 mass%)、B種(30～60 mass%)、C種(60～70 mass%)の3種類の高炉セメントが規定された。1970年代のオイルショックを契機とした省資源・省エネルギーの気運の高まりや、1980年代のコンクリートのアルカリ骨材反応への対応を背景にして、高炉セメントの使用量が年々増加した。その結果、セメント原料としての高炉水砕スラグの利用が大幅に増加し、近年では高炉スラグの全利用量の60%強(約1,500万t)を占めている。

コンクリート用骨材としての利用は1970年代後半から始まった。1976年に「JIS A 5011 コンクリート用高炉スラグ粗骨材」が、1981年に「JIS A 5012 コンクリート用高炉スラグ細骨材」がそれぞれ制定された。1992年以降は100万tを下回っていたが、近年は天然骨材の枯渇により需要が拡大しつつあり、2002年は236万tであった。

土工用については、1989年に「港湾工事に用いる水砕スラグ利用手引書」(鉄鋼スラグ協会・沿岸開発技術研究センター)が

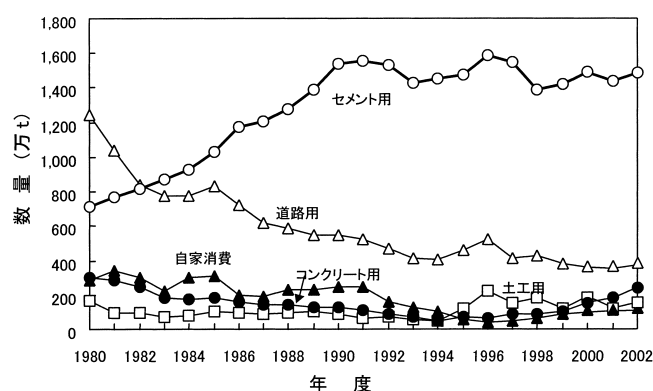


図3 高炉スラグの利用の推移<sup>3)</sup>

作成され、1995年の阪神淡路大震災による神戸港の復旧に120万tが用いられるなど、港湾工事での利用が増加傾向にある。

### (2) 転炉スラグ

図4に転炉スラグの利用の推移を示す。転炉スラグの資源化は高炉スラグに比べて遅れたため、1980年頃は埋め立て量が400～500万tと生成量の40%近くを占めていた。しかし、その後資源化・利用拡大が進み、近年は、埋め立て量は生成量の0.9%程度まで減少している。

道路・土木用が主な用途であるが、2000年に「港湾工事に用いる製鋼スラグ利用手引書」(鉄鋼スラグ協会・沿岸開発技術研究センター)が作成され、広島港の埋立地の地盤改良用にサンドコンパクションパイル材料として計370万tが使用された。

道路分野では、高炉スラグを対象とした「JIS A 5015 道路用スラグ」が、1992年に製鋼スラグも対象にした「道路用鉄鋼スラグ」に改正され、2002年度には約194万tの転炉スラグが路盤材に用いられている。

### (3) 電気炉スラグ

電気炉スラグの利用率は、転炉スラグに比べてやや低いが増加傾向にあり、2002年度には生成量の94%に達している。道路・土木用が主な用途(約70%)であるが、コンクリート用骨材のJIS化に取り組み、2003年6月に「JIS A 5011-4 (コンクリートスラグ骨材-第4部: 電気炉酸化スラグ骨材)」が制定された。

## 4.2 鉄鋼スラグの現状の課題

### (1) 高炉セメント向けスラグ使用量の減少

図5に全セメント生産量と高炉セメント生産量の推移を示す。全セメントの中での高炉セメントのシェアは拡大傾向にあるものの、セメント需要自体が停滞しているため、高炉セメント生産量は1992年以降頭打ちの状態となっている。

図6に、セメントクリンカー原料における廃棄物使用量の

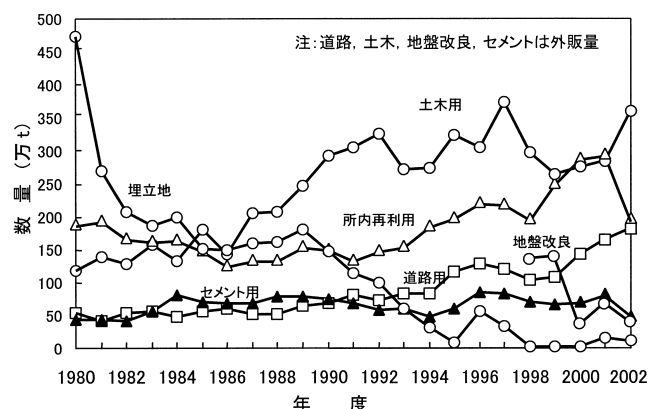


図4 転炉スラグの利用の推移<sup>3)</sup>

推移を示す。クリンカー原料として各種廃棄物の利用が進んでおり、とりわけ石炭灰の使用拡大が著しい。このため、クリンカー原料としての高炉徐冷スラグの需要は、1990年度に257万t使用されていたのが、2002年度には89万tまで減少した。

高炉セメント生産量の停滞により高炉水砕スラグの国内セメント向け利用量が伸びないことに加え、クリンカー原料としての高炉徐冷スラグ利用量の大幅減少により高炉スラグの国内向け利用量が減少している。このような中で、高炉水砕スラグの国外セメント向け輸出量やコンクリート骨材の需要が拡大しており、これが国内セメント向け利用量の減少を補っている。

高炉スラグは、現在のところ全量有効に活用されているが、今後は、国内セメント需要の拡大が見込めない中で、高炉セメントのシェア拡大とともに、コンクリート骨材などセメント以外の用途での需要拡大や新規用途の開拓が重要な課題である。

## (2) 道路・土工分野における建設副産物の市場進出

1991年制定の「再生資源の利用の促進に関する法律（リサ

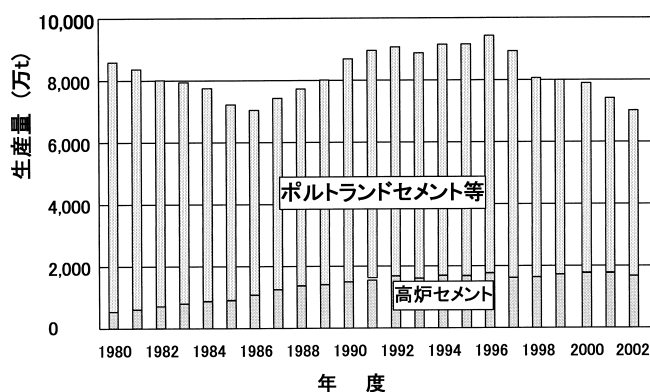


図5 全セメント生産量と高炉セメント生産量の推移<sup>4)</sup>

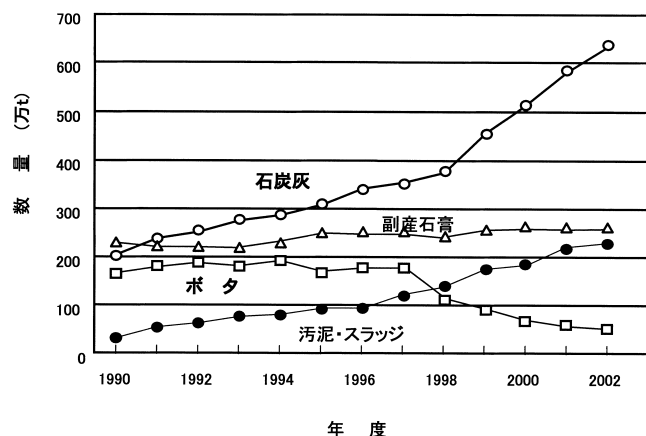


図6 セメントクリンカー原料における廃棄物の使用量の推移<sup>4)</sup>

イクル法)」に基づいて建設副産物が指定副産物に指定され、国土交通省（旧建設省）は1994年に建設副産物対策行動計画「リサイクルプラン21」を策定した。また、2000年には「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）」が制定され、建設工事受注者に対して、建築物等の分別解体と再資源化が義務付けられた。

建設副産物には、建設発生土と建設廃棄物があり、後者にはアスファルトコンクリート塊、コンクリート塊、建設発生木材、建設汚泥、建設混合廃棄物などが含まれる。表2に建設廃棄物の種類別排出量を、表3にその建設廃棄物の発生・再利用・処分量の関係を示す。建設廃棄物の再利用量は、1990年度の3,200万tに対して、1995年度5,800万t、2000年度7,200万tと大幅に増加しており、鉄鋼スラグの販売にとって価格・量の両面で大きな脅威となっている。

道路・土工分野での鉄鋼スラグの需要拡大を図るには、複合路盤材のような建設副産物との共存や、スラグの特徴を活かした新たな用途を開拓して、他のリサイクル材料との差別化を図ることが重要になると思われる。

## 5 鉄鋼スラグの利用に関する今後の展望

### 5.1 鉄鋼スラグを取り巻く社会環境

現在、有効資源として活用されている鉄鋼スラグであるが、土木建築工事の減少や他のリサイクル材の進出によって、その利用量の減少が危惧されている。このため、循環型社会形成基本法の3Rの理念に基づき、スラグ発生量の抑制（Reduce）のためのプロセス開発、およびスラグの再使用（Reuse）と再利用（Recycle）のための利用技術の開発に取り組んでいる。

一方、2000年に「国等による環境物品等の調達に関する法律（グリーン購入法）」が制定され、2001年度に高炉セメント（高炉スラグ使用量30 mass %以上）、2002年度に高炉スラグ骨材、鉄鋼スラグ混入路盤材（道路用鉄鋼スラグ使用）、

表2 建設廃棄物の種類別排出量（2000年度）<sup>5)</sup>

|         | アスコン塊 | コンクリート塊 | 建設汚泥 | 混合  | 木材  | その他 | 計    |
|---------|-------|---------|------|-----|-----|-----|------|
| 発生量（万t） | 3000  | 3500    | 800  | 500 | 500 | 200 | 8500 |
| 比率（%）   | 35    | 42      | 9    | 6   | 6   | 2   | 100  |

表3 建設廃棄物の発生・再利用・処分量の推移<sup>5)</sup>

単位：万t

| 年度   | 発生量   | 再利用量  | 処分量   |
|------|-------|-------|-------|
| 1990 | 7,600 | 3,200 | 4,400 |
| 1995 | 9,900 | 5,800 | 4,100 |
| 2000 | 8,500 | 7,200 | 1,300 |

鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物（加熱アスファルト混合物の骨材として道路用鉄鋼スラグを使用）、ロックウール断熱材（高炉スラグ等再生資源利用率85 mass %以上）、2003年度に土工用水砕スラグが、それぞれ公共工事用資材として品目指定を受けた。

以下に、鉄鋼スラグの利用拡大および利用技術開発への取り組みについて述べる。

## 5.2 鉄鋼スラグの利用拡大

### (1) セメント

高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べて、リサイクル材の活用による天然資源の節約、製造時におけるエネルギーの節約およびCO<sub>2</sub>排出量の抑制などの利点を有し、また高炉セメントを用いたコンクリートは、塩害に対して高い抵抗性、アルカリ骨材反応の抑制効果があるなど、優れた耐久性を示す。

グリーン購入法により品目指定されたことで、さらなる利用の拡大が期待される。なお、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」によれば、高炉セメントは、コンクリートの中性化の抑制対策として普通セメントよりも水セメント比を低くする必要があった。しかし、地下構造物については普通セメントと同じ水セメント比で同等の耐久性を確保できることから、2002年10月に国土交通省からその特別評価方法の認定を受けた。

高炉セメントには高炉水砕スラグの微粉末が用いられる。微粉末にはその比表面積に応じて4000（3000～5000 cm<sup>2</sup>/g）、6000（5000～7000 cm<sup>2</sup>/g）、8000（7000～10000 cm<sup>2</sup>/g）の3種類があり、通常は4000が用いられる。6000と8000は1995年の「JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末」で新たに規定されたものであり、より広い範囲への適用が可能になった。

### (2) 道路用材

建設リサイクル材の路盤材への利用が増加しているが、これらの物性改善のために、鉄鋼スラグを混合した複合路盤材の開発に取り組んでいる。また、水砕スラグが軽量かつ内部摩擦角が大で、水の影響を受けにくいことを利用して、道路の路床への適用も図っている。さらに、透水性舗装などの新しい舗装技術に対応するための技術開発も進めている。

鉄鋼スラグ混入路盤材や鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物がグリーン購入法による指定品目となったことにより、ますますの利用が期待される。

### (3) 骨材

瀬戸内海沿岸では海砂の採取規制が強化され、2006年には海砂の採取が全面的に禁止される見込みであり、海砂代替材としての高炉スラグ細骨材に期待が寄せられている。高炉

スラグ骨材がグリーン購入法による指定品目となったことで今後の利用拡大が期待される。

一方、粗骨材として、これまで道路・土木用を主な用途先としてきた電気炉酸化スラグが、新たにJISのコンクリート用スラグ骨材に加わった。

### (4) 港湾工事事用材料

港湾工事においても、水砕スラグや製鋼スラグが積極的に利用されてきている。水砕スラグに関しては、固結特性を活かした護岸の裏込材としての利用も検討されている。また、あらたに土工用水砕スラグがグリーン購入法による品目指定を受けたことで、利用の拡大が期待される。

さらに、製鋼スラグは天然の砂に比べて単位容積質量や内部摩擦角が大きいという特性を利用して、サンドコンパクションパイル工法や臨海部の土地造成工事などへの利用が期待されている。

## 5.3 鉄鋼スラグの新しい用途開発

2003年に施行された自然再生推進法は、開発等によりダメージを受けた自然環境の修復を目的として制定された。修復に天然の骨材を使用すれば、新たな自然環境の破壊を引き起こす恐れがあり、リサイクル材である鉄鋼スラグの活用はひとつの良い選択肢といえる。

### (1) 製鋼スラグや高炉水砕スラグを用いた

#### 水質・底質浄化材

製鋼スラグは、赤潮の原因となるリン酸（H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>）の濃度を低下させる、青潮の原因となる硫化水素を固定するなどの効果があり<sup>6,7)</sup>、その適用性が検討されている。

また、高炉水砕スラグが硫化水素の発生抑制効果を有するとの報告<sup>8)</sup>があり、水域の底質改善材料としての利用に期待が寄せられている。さらに、島根県宍道湖のシジミ漁場の整備を目的とした試験事業が2000年度から開始されており、そこで高炉水砕スラグはシジミ漁場材として天然砂と同等以上の結果を出している<sup>9)</sup>。

### (2) 鉄鋼スラグを使用した新しい海域利用ブロック

製鋼スラグとフライアッシュを用いたFSコンクリート<sup>10)</sup>や、鉄鋼スラグを主原料とし、リサイクル材のみを用いた鉄鋼スラグ水和固化体による消波ブロック<sup>11)</sup>、製鋼スラグを炭酸化反応で固化・製造した鉄鋼スラグ炭酸固化体による大型海藻附着基盤<sup>12)</sup>など、製鋼スラグを用いた新しい海洋環境修復資材が開発されている。

### (3) 製鋼スラグによる海洋植物プランクトン増殖による

#### CO<sub>2</sub>固定化

燃焼排ガスなどによる地球温暖化の問題に対し、海洋植物プランクトン増殖に必要な栄養塩を多く含む製鋼スラグを、栄養塩が不足している海洋に利用することにより、植物プラ

ンクトンを増殖させCO<sub>2</sub>を固定化しようとする取り組みが行われている<sup>13)</sup>。陸域と同様に海域での製鋼スラグの肥料成分の利用であり、地球環境の改善に寄与する技術として、今後の検討が期待される。

#### 参考文献

- 1) 藤原 稔：鉄鋼スラグの有効利用の現状と今後の課題，第44，45回白石記念講座，日本鉄鋼協会，(2001.1)
- 2) 鉄鋼スラグの特性と有用性，鉄鋼スラグ協会，(2000.1)
- 3) 鉄鋼スラグ統計年報，鉄鋼スラグ協会，(1980～2002年度)
- 4) セメントハンドブック，(社)セメント協会，(2003年度版)
- 5) 国土交通省ホームページ：  
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/001/kekka.html>
- 6) 伊藤一明，西島 渉，正藤英司，岡田光正：水環境学会誌，19 (1996)，501.
- 7) 伊藤一明，西島 渉，正藤英司，岡田光正：水環境学会誌，20 (1997)，670.
- 8) 宮田康人，沼田哲始，豊田恵聖，佐藤義夫，小田静：第15回海洋工学シンポジウム，15 (2000)，339.
- 9) 閉鎖性汽水域における底質・水質改善技術の開発に関する報告書，(社)マリノフォーラム21，(2003.3)
- 10) FS コンクリート利用手引書，(株)沿岸環境開発資源利用センター，(1998.11)
- 11) 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル，(財)沿岸開発技術研究センター，(2003.3)
- 12) 高橋達人：コンクリート工学，38 (2000)，3.
- 13) 製鋼スラグを栄養源として利用した海洋植物プランクトン増殖によるCO<sub>2</sub>固定化，日本鉄鋼協会，(2003.7)

(2003年9月17日受付)