

製鋼スラグ処理と資源化技術

Processing and Reusing Technologies for Steelmaking Slag

堀井 和 弘*
Kazuhiro HORII堤 直 人
Naoto TSUTSUMI北 野 吉 幸
Yoshiyuki KITANO加 藤 敏 朗
Toshiaki KATO

抄 録

鉄鋼製造時の副産物である鉄鋼スラグは日本全体で年間約4 000万トン発生しているが、その成分、機械的性質等の特徴、機能により、セメント原料、路盤材、土木材等の用途にほぼ全量有効活用されている。その用途のほとんどは自然からの新規採取原料の代替品としての機能であり、その点で鉄鋼スラグの利用拡大は環境保全に貢献する取り組みである。一方、社会的な情勢変化により、鉄鋼スラグ市場の需給構造が変化しつつあり、新日本製鐵では、特に転炉系スラグの新機能創出とその活用に向けての利用技術開発を進めている。転炉系製鋼スラグの生産、販売の現況、処理技術、資源化技術について述べた。

Abstract

About 40 million tons of steel slag a year, which is the by-product of iron and steel manufacture, is generated in Japan and the almost all the slag is reused for the materials, e.g. cement raw material, road bed material and civil engineering material, by effectively utilizing its characteristics such as chemical components and mechanical properties. Most of its purposes of uses are to replace the functions of the newly mined raw materials from nature and promoting the use of steel slag is an effort to contribute to environmental conservation in this regard. On the other hand, due to the changes in social situation, supply-demand structure in the steel slag market is changing and Nippon Steel Corporation is developing the technologies to create new features of steel slag and to utilize them, especially in the field of BOF slag. In this report, the current production and sales status, processing and reusing technologies of BOF steelmaking slag are mentioned.

1. はじめに

鉄鋼スラグは、鉄鋼製品製造時の副産物¹⁾であり、ほぼ全量がセメント用材料や道路用路盤材、土工工事用材料、肥料等に有効活用されている。しかし昨今の国内公共事業や建設需要の低迷に加え、競合する他のリサイクル材料の適用奨励や環境基準適合への厳格化といった社会的な情勢変化により、急速に市場の需給構造が変化しつつある。これに対し新日本製鐵(以下、当社)では、鉄鋼スラグ、中でも転炉系製鋼スラグの有する“環境用資材”としての新たな機能創出とその活用に向けての利用技術開発を進めてきた²⁾。

本稿では、特に転炉系製鋼スラグに関して、前半で生産、販売の現況およびスラグ製品製造プロセスを概括し、後半では製鋼スラグ製品の従来用途および新規利用技術開発状況について紹介する。

2. 鉄鋼スラグの概況

2.1 鉄鋼スラグの生成状況

鉄鋼スラグは、鉄鉱石等から鋼を製造する工程において、鉄鉱石や石炭、コークス等原料中の脈石成分と、精錬プロセスにおいてSi, P, S等の不純物の除去や成分調整のために添加されるフラックスに由来し、副次的に生産される。その生産量は、高炉スラグは鉄鉄1 tonあたり約300 kg/t-p、製鋼スラグは溶鋼1 tonあたり約100~150 kg/t-sであり、両スラグ合計では日本全体で年間約4 000万t程度である(表1)。

2.2 鉄鋼スラグの特性

鉄鋼スラグはCaOとSiO₂を主成分とし、その他に高炉スラグではAl₂O₃、MgOやSを含む。製鋼スラグは前記に加え、酸化鉄(FeO, Fe₂O₃)やMnO、P₂O₅等を含む。

* スラグ・セメント事業推進部 企画調整グループ グループリーダー 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

表1 鉄鋼スラグ生産量と販売量(2010Fy)
Production and sales of steel slag (2010Fy)

		Production		Sales		
		Japan	NSC	Japan	NSC	
Pig iron		82,915	32,180	-	-	
Crude steel		110,792	32,716	-	-	
Production	Blast furnace	Air cooled	5,085	1,495	4,362	1,000
		Granulated	19,839	8,279	19,202	8,361
		Sub total	24,924	9,774	23,564	9,360
Production	Steelmaking	BOF	11,674	4,508	10,460	3,445
		EAF	2,842	-	2,254	-
		Sub total	14,516	4,508	12,714	3,445
Grand total		39,440	14,282	36,278	12,805	

(kton)

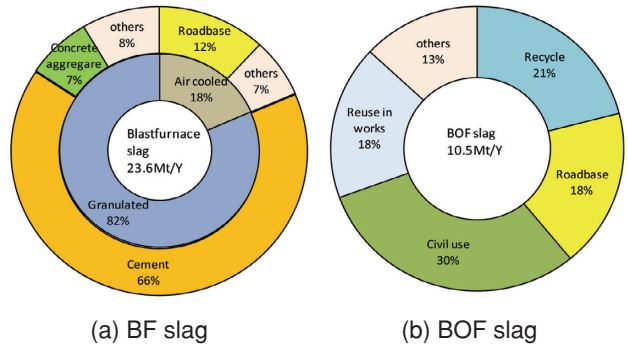


図1 鉄鋼スラグ利用用途実績(国内 2010Fy)
Utilization and sales of slag (in Japan, 2010Fy)

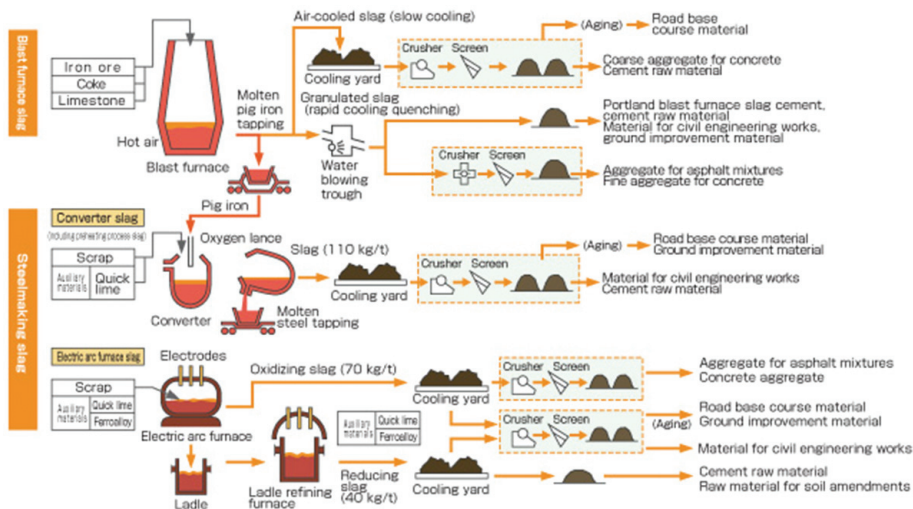


図2 スラグ処理プロセスフロー概略¹⁾
Schematic of slag processing flow

溶銑予備処理の際に発生する予備処理スラグ(脱珪スラグ, 脱燐スラグ, 脱硫スラグ等), 溶鋼取鍋内に転炉から流出したスラグや二次精錬処理時に生成した造塊スラグ(二次精錬スラグ, 取鍋スラグともいう)も製鋼スラグに含まれる。

図1に示すように, 高炉スラグの約8割は, 約1500℃の溶融スラグに高圧水を噴射して急冷処理した水砕スラグであり, ガラス質で粒状(砂状)の外観を呈する。化学成分がポルトランドセメントと類似しており, 水と反応して硬化する性質を有することから, 水砕スラグの約80%がセメント原料として利用されている。また, 高炉スラグの約2割は, 溶融スラグを自然放冷と適度な散水で冷却して製造された徐冷スラグで, これは碎石状の外観および特性をもち, 天然碎石代替品として路盤材やコンクリート骨材等に活用されている。一方製鋼スラグは大部分が冷却ヤードで放冷され碎石状となる。処理および利用用途は後に詳述する。

3. 製鋼スラグ処理技術について

鉄鋼スラグの処理プロセスフローの概略を図2に示す。うち製鋼スラグは下記①～④の4工程の処理を実施している。すなわち, ①高温溶融スラグの冷却処理, ②スラグ中の金属鉄回収を目的とした破碎および磁力選鉱処理, ③スラグ製品製造のための粒度調整を目的とした破碎および篩分級処理, ④スラグ製品品質向上および安定化を目的としたエージング処理である。以下に各処理の概要を説明する。

3.1 製鋼スラグの冷却処理

製鋼スラグは発生時点では1300℃～1700℃の溶融あるいは高温赤熱状態であることから, 発生直後に冷却処理を行う。一般的には冷却ヤードで大気放冷に加え適度な散水により処理されている。しかしこの冷却方法では, 常温までの冷却に長時間を要し処理効率が低いこと, その結果として広大な処理面積を必要とするという課題がある。これ

に対し、熔融スラグに高圧ガスを吹き付けて凝固と粒状化を同時に行う風砕法、高温スラグを銅製ボックスに流し込んで凝固、冷却を促進した後、散水および水没冷却する方法(ISC法³⁾)、処理ドラム内に熔融スラグを注入して散水等により急冷する方法⁴⁾、等の冷却プロセスが実用化されている。また超急冷凝固による凝固制御やスラグ顕熱回収の可能性も期待し、熔融スラグを双ロール間に流し込んで急冷するプロセスも研究、開発されている⁵⁾。

3.2 破碎・磁力選鉱処理

冷却された製鋼スラグには、精錬処理中にスラグ中に懸濁、あるいは処理容器(例 転炉、溶銑/溶鋼鍋、タンディッシュ等)から放流された金属鉄が全発生スラグ重量の10～40%程度(酸化鉄除く)含有される。このため、金属鉄を回収しスクラップ代替品として有効利用するため、また製鋼スラグを土工用途等に有効利用するにあたり金属鉄を不純物として除去する必要があるため、スラグを破碎し磁力選鉱によりスラグと金属鉄を分離、回収している。一般には金属鉄回収量増大や鉄分品位向上を目的として、図3に例示するように、上記破碎・磁力選鉱処理を複数回繰り返して実施している。

3.3 破碎および篩分級処理

製鋼スラグを製品化するにあたっては、客先指定の粒度に加工、調整することが必要である。このため、スラグを破碎し、篩等により所定の粒度に分級、調整を実施している。実プロセスでは図3に例示するように、上記3.2項での鉄分回収工程と同時にスラグの粒度調整を実施できるよう、破碎機、磁選機、篩等が適正に配置された効率的なプロセスが設計されている。

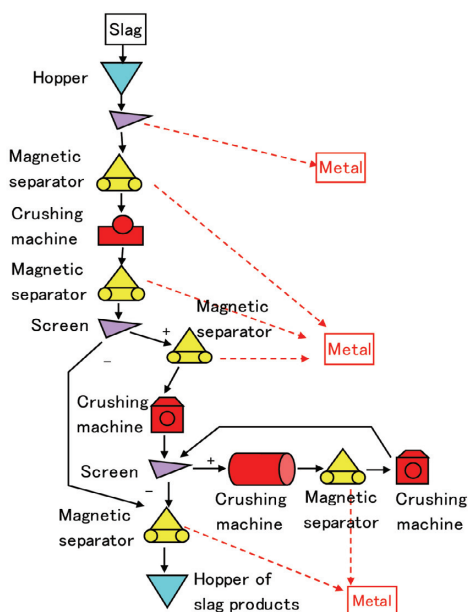
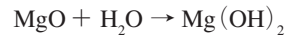
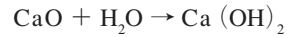


図3 破碎・磁選・分級フロー概略例

Schematic flow of crushing, magnetic separation and classification

3.4 エージング処理

製鋼スラグ中には精錬用フラックスとして添加されたCaOやMgOの一部が未反応のままスラグ中に残留またはスラグ冷却時に晶出して存在する。これらはfree-CaOおよびfree-MgOと呼ばれ、水と反応して水和反応を起こし約2倍に体積膨張することから、この対策として、出荷前に予め水和反応を完了させる処理(エージング)を実施している。



エージング方法には、ヤードで自然の降雨水により水和反応をさせる大気エージング法と、より短期間で水和反応を完了させる促進エージング法がある。促進エージング法には、高温蒸気を使用して処理する“蒸気エージング法”、温水中に浸漬処理する“温水エージング法”、容器内で蒸気と高圧条件(例えば0.6～1 MPa)で反応させる“加圧エージング法”等が実用化されている。近年、国内では路盤材等、膨張が問題となる用途については、製品膨張量の均質・低位安定化を達成するため、蒸気エージングまたは加圧エージング処理を実施して出荷することが多くなっている。

4. 製鋼スラグ資源化状況：従来用途

4.1 道路用材料(路盤材)

道路は通過車両の荷重に長期間耐久できるよう、舗装を行う表面から下方に骨材(路盤材)を敷き詰め、締め固める。この路盤材に1979年には徐冷スラグが道路用鉄鋼スラグ(JIS A 5015)として制定され⁶⁾、1992年には製鋼スラグも適用可能となった。また製鋼スラグは硬質かつ耐磨耗性に優れていることから、アスファルト混合物の骨材としても使用され、2002年度に路盤材とともにグリーン購入法の特定期間品目に指定された。

製鋼スラグを路盤材に使用するには、特に膨張防止が品質管理上の最大のポイントである。そのため、過去の膨張トラブルの原因が前記水和膨張であるとの研究結果をもとに、蒸気エージング処理等、適切なエージング処理を実施した上で、出荷前には80℃温水膨張試験を実施し、残存膨張率1.5%以下の基準を満足していることを確認した上で出荷することにより品質確保を図っている。

4.2 地盤改良材

我が国の沿岸部においては、軟弱な粘性土地盤が堆積していることも多く、この軟弱地盤の改良には強固に締め固めた砂杭を地中に打ち込み造成するサンドコンパクションパイル(SCP)工法が代表的に用いられてきた。しかし1990年半ばから天然砂の枯渇や環境保全の点から代替材の適用が検討され始め、製鋼スラグの港湾工事用材料としての適用技術開発が進められてきた。ここでは、物理的特性以外

に海域へ与える影響の調査も進められ、周辺海域へのアルカリ成分溶出に伴うpH上昇は殆どないことも確認されたことから、天然砂代替としての製鋼スラグの利用可能性が評価され⁷⁾、特に瀬戸内海では自然保護の観点から海砂採取を禁止する自治体が増えたこともあり、各地で漁港の地盤改良に利用された。さらに、当社では天然砂にない鉄鋼スラグ特有の固結性能を確実に発揮しうる水硬性SCP“エコガイアストーン®(固結タイプ)”を開発し、固結特性を有するSCP杭を用いた新たな設計法を公認化した⁸⁻¹¹⁾。

4.3 肥料・土壌改良用途

2010年度の鉄鋼スラグの用途別利用量において、農業向けの肥料・土壌改良用途は、高炉・製鋼スラグを合わせると年間約23万トンで、総利用量の約0.5%にとどまっている。鉄鋼スラグの肥料効果については、けい酸石灰肥料として高炉徐冷スラグの施肥による試験が実施され、①けい酸が水稻の葉や茎の表面に沈積し病原菌や害虫の侵入を防ぎ、②葉を直立させ受光態勢を良くするため光合成を促進する、という増収効果が明らかにされ¹²⁾、以後1955年には、農林水産省が世界で初めてけい酸肥料を公定肥料に認定、肥料取締法の改正時に高炉スラグが普通肥料に位置づけられた。

その後の研究開発¹³⁾を通じて、1981年には転炉系の製鋼スラグも石灰系普通肥料としての認定を受け、当社グループではけい酸質肥料(高炉スラグおよび製鋼スラグ)、石灰肥料(製鋼スラグ)および鉄分を含む特殊肥料(製鋼スラグ)の3種類を製造し、各農業生産者へ販売供給している。とりわけ、製鋼スラグはカルシウム、マグネシア、けい酸以外に、酸化鉄やマンガン等多くの微量元素を含み、またカルシウム起因の即効的なアルカリ分とけい酸カルシウムによる緩効ながら持続的なアルカリ分を供給でき、他の苦土石灰や消石灰といった普通肥料に比べて酸性土壌の改良効果が持続する¹⁴⁾ことが特長である。

さらに、ここ数年、野菜作物の連作に伴い、かびが原因であぶらな科植物(白菜やきゃべつ等)の根がこぶ状となる病原菌被害(根こぶ病)が問題となっている。東京農工大学の後藤教授らは、この根こぶ病に対し持続的なアルカリ供給と欠乏する微量元素をバランスよく供給できる対策資材^{15,16)}として、製鋼スラグ肥料を用いた評価試験¹⁷⁾を進めており、我々製鋼スラグ肥料製造者としては、新たな製鋼スラグ固有の効果としてその研究成果に期待している。

5. 資源化技術、利用技術開発状況：新規用途

前章まで述べたように、我が国における製鋼スラグ利用技術の開発は、路盤材、土木分野への活用を中心に総合的に取り組まれてきた。しかし、公共事業も含め建設投資が減少傾向にある中、厳格化する環境要求にも対応しながら製鋼スラグの有効利用を拡大していくには、社会のニーズ

を先読みした需要創出が必要である。

一方、我が国沿岸では、閉鎖性海域における赤潮や青潮の発生をもたらす“富栄養化”と、北海道の日本海側沿岸を中心とした磯焼けと呼ばれる有用藻場減少の原因の一つに考えられる“貧栄養化”という、相反する二つの環境問題が顕在化していたことから、その課題解決への貢献との観点から、海域への製鋼スラグの利用について検討されていた。その中で、当社は、覆砂材として鉄鋼スラグ単体利用については技術的に難度が高いことに鑑み、材料的課題と海域環境問題とを克服するための幾つかの研究開発を実行してきた。

5.1 鉄鋼スラグ水和固化体

高炉水砕スラグ微粉末をコンクリートのセメント結合剤相当に、また転炉系製鋼スラグを骨材相当に利用し、砂利や砂といった天然骨材を全く使用しない環境負荷の少ないコンクリート代替品を目指したものが鉄鋼スラグ水和固化体である¹⁸⁾。必要に応じて硬化促進のためのアルカリ刺激剤を添加し、これらを水と混合することでコンクリートと同様に施工でき、型枠を用いた無筋コンクリートブロック代替品や、塊状に破碎して人工石材等の自由な形状の製品製造が可能である。主な結合剤が高炉スラグ微粉末であり、塊成化による比表面積低減と相まって海水へのアルカリ成分溶出が少なくpH上昇が抑制できる。

当社は主な製品として、裏込め石、傾斜護岸材、被覆石等に用いられている天然石の代替製品“フロンティアロック®”や“フロンティアストーン®”^{*1)}、および原料である鉄鋼スラグにけい酸や鉄分が含まれるため藻類や水底生物が付着しやすいという特徴を生かした藻場造成用製品“ビバリー®ブロック”“ビバリー®ロック”を開発し商品化している。

さらに、この水和固化という特性の陸上用途への応用として、従来のアスファルト舗装に代わる安価で簡易な舗装材の開発も進めてきた。これは製鋼スラグと高炉水砕スラグ混合材を敷きならし、散水しながらローラーで押し固める舗装工法で、林道や農道、駐車場等に十分な強度が確保できる簡易舗装材(カタマ®SP)として、2010年には大分県リサイクル製品にも認定¹⁹⁾され、徐々に適用が拡大している。さらに本工法は舗装道路、鉄道線路周辺の法面、遊休地等の敷地や太陽光発電(メガソーラ)敷地等における防草といった新たな機能を活用し、適用拡大を進めている。

5.2 藻場造成用鉄分供給材

1970年代以降、我が国の沿岸域において、藻場が大規模に消失する“磯焼け”と呼ばれる現象が全国各地で発生²⁰⁾

*1 “フロンティアロック®”“フロンティアストーン®”はJFEスチール(株)と当社の共同研究成果である。

し、水産業に多大な影響を及ぼしている。磯焼けの原因としては、温暖化に伴う高水温、貧栄養（気象変化）や藻食動物の摂餌圧増大（生物相変化）、河川改修や護岸整備に伴う河川を介した栄養供給が阻害された結果としての海水性質の変化（人間活動の関与）等が複合的に影響を及ぼしていると言われている。

東京大学の定方名誉教授はこの海水の貧栄養化、特に鉄濃度不足の仮説²¹⁾に興味を持ち、山林保全²²⁾や護岸改造といった自然界の治癒（体質改善）までのつなぎの技術（対処療法）として、鉄分を含む栄養塩の供給も必要と考え、藻類が摂取容易な鉄イオンの供給源として製鋼スラグに着目し、2002年から検討を開始した。製鋼スラグを海水に投入した場合のアルカリ溶出に起因する白濁現象の抑制課題について、この問題を克服できるスラグ安定化（炭酸化）処理の開発に目途を得た²³⁾ことから、東京大学、(株)エコ・グリーンおよび西松建設(株)と当社間で製鋼スラグ等を用いた海域への鉄分供給技術の共同開発を開始するに至った。

実海域試験においては、廃木材チップを発酵させた人工腐植土と炭酸化処理した転炉系製鋼スラグを混合したものを透水性のやし袋に詰めたもの（ビバリー®ユニット）、銅製の専用形状箱に詰めたもの（ビバリー®ボックス）を実験海域の適正な位置に設置することにより、製鋼スラグから溶出する2価鉄イオンを人工腐植土中の腐植酸（有機酸）でキレート（錯体）化し、海水中で鉄イオンとして供給することによる藻場再生への効果を調査することを目的としている。2004年秋に北海道増毛町舎熊海岸での試験について、試験開始から約8か月が経過した2005年5月に汀線から沖合に向けた海底観察を実施したところ、かつてこの海域に生息していたほそめこんぶ群落の着生、繁茂が確認²⁴⁻²⁷⁾された。この効果の持続性を確認するため、今日に至るまで、毎年定点観測を実施²⁸⁾しており、7年が経過した2011年もこんぶ場が持続していることを確認²⁹⁾できている。

我々はこの藻場繁殖が本当に鉄イオンの供給によるものか学術的な検討を北海道大学の本村教授とともに取り組み、こんぶ生活環（一生のサイクル）において親こんぶから放出された遊走子（種）が雌雄配偶体（卵と精子）に成熟する際に鉄が必要³⁰⁾であり、用いた鉄分供給ユニットからの抽出物にその効果があることが検証³¹⁾できた。

また、実海域試験開始当初は困難であった海水中の鉄イオン濃度分析についても検討を重ね^{32,33)}、検出感度をppmからppb（10億分の1）のオーダーまで高めることができ、この結果、約5 ppb以上の鉄イオン濃度がこんぶの受精、成長に必要であることや、実際に増毛町の海岸では鉄分供給ユニットの設置で汀線から沖合にかけて、その濃度の鉄分が供給されていることを確認した。

さらに海域に本製品を施工するにあたり、自然環境や生

態系に対する安全性についても、現地での各種測定に加え鉄鋼スラグ海域利用時の安全性や有用性に関する客観的なデータを収集するため、2009年には千葉県富津市の当社総合研究所に海域環境シミュレーション設備（通称：シーラボ）を開設³⁴⁾して各種の検討^{35,36)}を進めてきた。このような多岐にわたるデータの蓄積³⁷⁾により、当社の藻場造成用途向け製品であるビバリー®シリーズ（ユニット、ブロック、ロック）は、全国漁業協同組合連合会が制定する製品安全確認認証制度において安全性に関する製品認証を得るに至った。以上の研究の取り組みや、増毛町での実証試験成果を経て、各地の漁業関係者から本製品に関する問い合わせを得ており、事前討議を通じて製品特性の理解を得られた上で、試用販売、施工を行っており、現在までにその数は、水産庁との共同試験施工を含め、全国で約30か所²⁸⁾に及んでいる。

5.3 浚渫土砂改質技術

前節の藻場造成技術開発と同時期の2004年から2007年にかけて(社)日本鉄鋼連盟においても経済産業省の補助研究事業として“スラグ利用に係る研究開発”を受託、製鋼スラグの海域利用時の環境への影響や環境改善効果に関する室内実験ならびに実海域実験が行われ、以下の成果が得られた。

5.3.1 安全利用のための環境基準適合性

(1) 海域利用時のpH上昇の抑制

製鋼スラグからのアルカリ溶出は海水のpH上昇を誘発するため、海水に直接接する用途に適用するには対策を講じることが必要で、①鉄鋼スラグ水和固化体、②安定化処理（炭酸化や粉分を除く粒度調整等）、および③浚渫粘性土との混合、等の方法が有効であることを確認した。

(2) 重金属溶出に対する安全性

鉄鋼スラグそのものは製鉄所での製造時に品質管理を行い、土壤環境基準等を満足する製品として出荷しているが、底質の改善や浚渫土と混合して浅場造成や浚渫窪地の埋め戻しに適用する場合は、原位置の底質土壌や浚渫土からの含有物質の溶出増大も懸念された。そこで各種の浚渫土と各社の製鋼スラグを混合した場合の溶出試験を実施し、環境基準等に対して悪影響がないことを確認した。

5.3.2 富栄養化物質の発生抑制等、環境改善効果

製鋼スラグから海水に溶出する適度のカルシウムイオンはりんを不溶化して吸着する特性や、硫酸還元菌の活性を阻害し海水中の硫化物濃度が低減するため硫化水素の発生を抑制する特性もあり、富栄養化している底質の改善に有効³⁸⁾である。

5.3.3 軟弱な浚渫粘性土の強度改善効果

アルカリ抑制対策の一つである浚渫粘性土との混合処理時に、改質材からのCaや浚渫土のSiが溶出し水和物を生成することで改質後の材料強度が上昇することを確認した。

このようにアルカリ溶出の適切な制御により、製鋼スラグが安全かつ有効に活用できることの可能性が確認され、これらの成果は“転炉系製鋼スラグ海域利用の手引”³⁹⁾として2008年に刊行されている。本成果のうち、浚渫粘性土との混合処理⁴⁰⁾は、大型船舶の航行に必須な航路浚渫作業で定常的に発生する軟弱浚渫土に、製鋼スラグを原料として成分管理と粒度調整を施したカルシア系改質材を混合するもので、浚渫窪地の埋め戻し材等、富栄養化海域の水質環境修復へ活用できる有効な資材である“カルシア改質土”として製品化された。本製品はpH上昇抑制、りんや硫化物の発生抑制ならびに材料としての強度上昇という3つの特徴を有する。

6. 東日本大震災の復旧支援への鉄鋼スラグの適用性

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、地震のみならず津波により甚大な被害が発生した。2011年7月に環境省から公表された“東日本大震災津波堆積物処理指針”⁴¹⁾にもとづけば、津波被害によって被災6県で発生した災害廃棄物量（大型がれき等）は約2300万トン程度、がれき等が混然一体となった土砂・へどろ物（津波堆積物）は約1300～2800万トンと推計されている。当社は各自自治体で問題となっている津波堆積土処置に関する貢献を目的として、新日鉄エンジニアリング(株)と共同で、がれき等が混じった軟弱な泥土である津波堆積土に、製鋼スラグを原料とし、成分管理と粒度調整を施したカルシア系改質材を加え、回転式破砕混合工法でこれらを攪拌混合してがれき類を取り除くと同時に、軟弱津波堆積土を建設資材として十分な強度を持つ良質な土に再生する技術の開発を進めてきた。

この改質した津波堆積土は、港湾整備の埋め戻し材料や道路の盛土材料等として広く有効利用が可能と評価され、2012年1月には国土交通省の仙台港沿岸災害復旧工事の地盤かさ上げ用の路床材として試験活用された⁴²⁾。当社グループは本技術により復旧工事推進に貢献するため、今後の適用拡大を行政・自治体に働きかけてゆく。

7. 終わりに

製鋼スラグは鉄鋼製造時の副産物ではあるものの、以上に記述したように、その成分、機械的性質等の特徴、機能により、路盤材、土木材、カルシア改質材(地盤改良、土壌改良)、セメント原料や肥料等の用途にはほぼ全量有効活用されている。これら用途の殆どが自然からの新規採取原

料の代替品としての機能であり、その点でスラグの利用拡大は環境保全に貢献する取り組みと考えている。今後、海域利用用途等の新規機能開発を推進し、更なる有効利用拡大を通して社会に貢献していきたい。

参照文献

- 1) 環境資材 鉄鋼スラグ. 鉄鋼スラグ協会, 2010
- 2) 中川雅夫: 第205・206回西山記念講座. 日本鉄鋼協会編, 2011, p. 27
- 3) 例えば web: 北九州イノベーションギャラリー—北九州ものづくり企業—(株)アステック入江
- 4) 例えば web: 北九州イノベーションギャラリー—北九州ものづくり企業—濱田重工(株)
- 5) 明石 ほか: JFE技報. (19), 61 (2008)
- 6) 日本規格協会: 道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015. 1992
- 7) (財)沿岸開発技術センター, 鉄鋼スラグ協会: 港湾工専用製鋼スラグ利用手引書. 2000
- 8) (財)沿岸開発技術センター: 水硬性スラグコンパクション材料(エコガイアストーン). 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書. 第10001号, 2010
- 9) 高橋英紀 ほか: 地盤工学ジャーナル. 6 (1), 81 (2011)
- 10) 木下洋樹 ほか: 広島大学大学院工学研究科研究報告. 59, 1 (2010)
- 11) 木下洋樹 ほか: 地盤工学ジャーナル. 7 (1), 323 (2012)
- 12) 太田道夫: 鉱さいの肥料学的利用に関する研究. 風間書房, 1964
- 13) 倉辺喜一郎 ほか: 製鉄研究. (302), 70 (1980)
- 14) 産業振興(株): くみあいミネカル(転炉さい)の農業技術解説. 1987
- 15) 村上圭一 ほか: 日本土壤肥科学雑誌. 75, 53 (2004)
- 16) 後藤逸男 ほか: 根こぶ病 土壌病害から見直す土作り. 農文協, 2006
- 17) 後藤逸男: 製鋼スラグの新機能探索と海洋環境での利用技術開発シンポジウム. 日本鉄鋼協会編, 2011, p. 22
- 18) (財)沿岸技術研究センター: 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル—製鋼スラグの有効利用技術(改訂版). 沿岸技術ライブラリー, 2008, p. 28
- 19) 大分県: パンフレット“大分県リサイクル製品認定制度”. <http://www.pref.oita.jp/soshiki/13020/katamasp.htm>
- 20) 藤田大介 ほか: 21世紀初頭の藻学の現況. 日本藻類学会編, 2002, p. 102
- 21) 松永勝彦: 水環境学会誌. 26 (10), 614 (2003)
- 22) 畠山重篤: 水環境学会誌. 26 (10), 630 (2003)
- 23) 堤直人 ほか: 新日鉄技報. (388), 107 (2008)
- 24) Yamamoto, M. et al.: J. Jpn. Inst. Energy. 85, 971 (2006)
- 25) 木曾英滋 ほか: 第20回海洋工学シンポジウム. 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, 2008
- 26) 加藤敏朗 ほか: 第20回海洋工学シンポジウム. 日本海洋工学

- 会・日本船舶海洋工学会, 2008
- 27) 堤 直人 ほか: 第20回海洋工学シンポジウム. 日本海洋工学会・日本船舶海洋工学会, 2008
- 28) 堤 直人: 平成22年度磯焼け対策全国協議会. 水産庁, 2010
- 29) 加藤敏朗: 平成23年度磯焼け対策全国協議会. 水産庁, 2011
- 30) Motomura, T. et al.: Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 47 (12), 1535 (1981)
- 31) 植木知佳 ほか: 第21回日本水産学会講演大会. 2010
- 32) 相本道宏: 海洋化学研究. 22 (1), 19 (2009)
- 33) 相本道宏 ほか: 新日鉄技報. (390), 89 (2010)
- 34) 藤本健一郎 ほか: 新日鉄技報. (391), 206 (2011)
- 35) 植木知佳 ほか: 海洋理工学会誌. 17 (1), 49 (2011)
- 36) 植木知佳 ほか: 海洋深層水利用学会. (2012), 受理済
- 37) 加藤敏朗 ほか: 平成22年度日本水産学会春期大会. 2010
- 38) 三木 理 ほか: 水環境学会誌. 32 (1), 33 (2009)
- 39) 日本鉄鋼連盟: 転炉系製鋼スラグ 海洋利用の手引き. 2008
- 40) 日本鉄鋼連盟: 転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き, 別冊. 転炉系製鋼スラグと浚渫土との混合改質工法 技術資料. 2008
- 41) 環境省: 東日本大震災津波堆積物処理指針. 2011, <http://www.env.go.jp/jishin/attach/sisin110713.pdf>
- 42) 新日本製鐵(株): プレスリリース“新日鉄グループが改質した津波堆積土が災害復旧工事に活用”. 2012, http://www.nsc.co.jp/CGI/news/0/whatsnew_detail.cgi?section=0&seq=00021122



堀井和弘 Kazuhiro HORII
スラグ・セメント事業推進部
企画調整グループ グループリーダー
東京都千代田区丸の内 2-6-1 〒100-8071



堤 直人 Naoto TSUTSUMI
技術開発企画部
温暖化対策研究企画グループ
グループリーダー



北野吉幸 Yoshiyuki KITANO
設備・保全技術センター 土木建築技術部
スラグ利用技術グループ グループリーダー



加藤敏朗 Toshiaki KATO
先端技術研究所 環境基盤研究部
主幹研究員 学博