

環境資材 鉄鋼スラグ

S L A G

鉄鋼スラグ協会

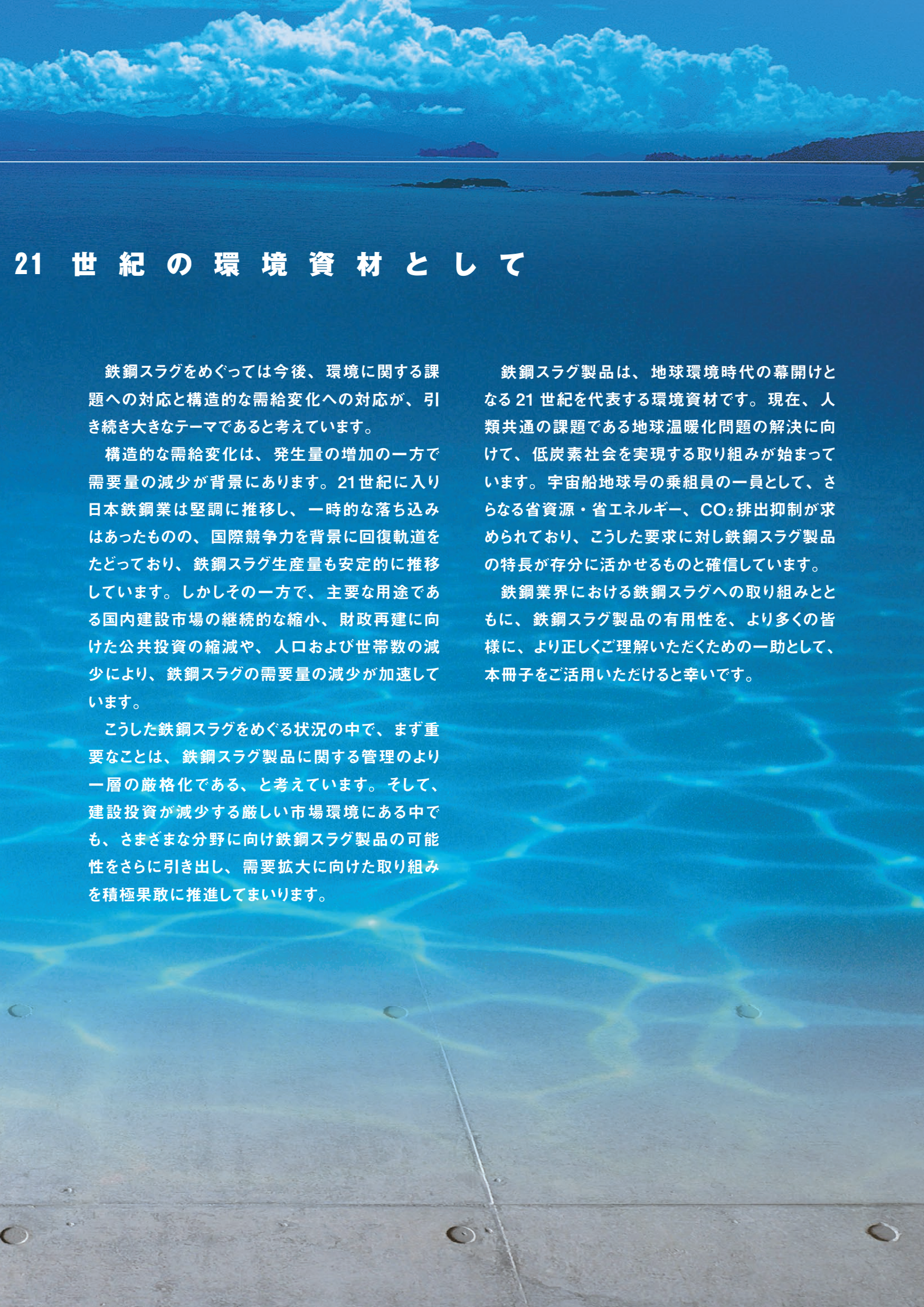
鉄鋼スラグ — 地球にやさしい

鉄鋼スラグ製品は、現在さまざまな用途に応じて製造・品質管理が行われ、環境安全品質を満足し、今やその大半が JIS (日本工業規格) 適合品またはグリーン調達の特定期間品目として市場に提供されています。その結果、日本各地の道路・港湾・空港などのインフラを支える建設資材として、また海や土壌などの環境修復・改善につながる環境資材として、鉄鋼スラグ製品は大きな役割を果たしています。

わが国での鉄鋼スラグ利用の歴史は約 100 年に及びます。1901(明治 34) 年に官営八幡製鉄所でアジア初の銑鋼一貫製鉄が始まると、1910(明治 43) 年に高炉セメントの試験製造が開始され、鉄鋼生産の拡大とともに鉄鋼スラグの用途開発も同時に推進されてきました。

その後、日本製鉄業の発展に伴い、1960 年代までは主に臨海製鉄所の建設資材として活用されていました。製鉄所の建設が一段落すると、1973 年のオイルショック以降の省エネルギー・省資源の社会ニーズに応じて鉄鋼スラグの製品化が飛躍的に進展し、幅広い用途に活用されるようになり現在に至っています。

製鉄プロセスにおいて、現在では高品質の鉄鋼スラグを生成することも鉄鋼生産の操業・設備設計上の重要な要素に位置づけられています。現在、約 99% の資源化を達成し、需要家のさまざまな品質要求に適合した鉄鋼スラグ製品を供給できるようになりました。その間、国や地方自治体、関係学協会をはじめ多方面からの支援を得て、鉄鋼スラグ利用の普及・促進に向けた技術開発、製造・加工設備の整備、公的認知活動を推進してきました。



21 世紀の環境資材として

鉄鋼スラグをめぐるのは今後、環境に関する課題への対応と構造的な需給変化への対応が、引き続き大きなテーマであると考えています。

構造的な需給変化は、発生量の増加の一方で需要量の減少が背景にあります。21世紀に入り日本鉄鋼業は堅調に推移し、一時的な落ち込みはあったものの、国際競争力を背景に回復軌道をたどっており、鉄鋼スラグ生産量も安定的に推移しています。しかしその一方で、主要な用途である国内建設市場の継続的な縮小、財政再建に向けた公共投資の縮減や、人口および世帯数の減少により、鉄鋼スラグの需要量の減少が加速しています。

こうした鉄鋼スラグをめぐる状況の中で、まず重要なことは、鉄鋼スラグ製品に関する管理のより一層の厳格化である、と考えています。そして、建設投資が減少する厳しい市場環境にある中でも、さまざまな分野に向け鉄鋼スラグ製品の可能性をさらに引き出し、需要拡大に向けた取り組みを積極果敢に推進してまいります。

鉄鋼スラグ製品は、地球環境時代の幕開けとなる21世紀を代表する環境資材です。現在、人類共通の課題である地球温暖化問題の解決に向けて、低炭素社会を実現する取り組みが始まっています。宇宙船地球号の乗組員の一人として、さらなる省資源・省エネルギー、CO₂排出抑制が求められており、こうした要求に対し鉄鋼スラグ製品の特長が存分に活かせるものと確信しています。

鉄鋼業界における鉄鋼スラグへの取り組みとともに、鉄鋼スラグ製品の有用性を、より多くの皆様に、より正しくご理解いただくための一助として、本冊子をご活用いただけると幸いです。

Contents

OUTLINE 概要

- I. 鉄鋼スラグとは
- II. 鉄鋼スラグの種類と特性
- III. 鉄鋼スラグの需給
- IV. 鉄鋼スラグ利用の歴史と変化する市場環境
- V. 環境対応型資材として
- VI. 社会から信頼される環境資材として

PRODUCTS 製品・プロジェクト

- I. 鉄鋼スラグ製品の市場・需要分野
- II. 大規模プロジェクトでの採用例

FUTURE 新たな挑戦

- I. 環境・グローバル時代に注目される利用技術開発
- II. 鉄鋼スラグ製品規格・基準類一覧
- III. 鉄鋼スラグ利用のあゆみ

鉄鋼スラグ協会について

1. スラグの種類	P6
2. 鉄鋼スラグができるまで	P7
1. 高炉スラグ（徐冷、水砕）	P10
2. 製鋼スラグ（転炉系、電気炉系）	P11
3. 鉄鋼スラグの特性と用途	P12
1. 鉄鋼スラグ需給概要	P13
2. DATA 集	P14
1. 1910年～ 高炉セメント製造開始	P16
2. 高度経済成長期～ 埋め立て・土地造成用資材として	P17
3. オイルショック以降～ 資源化への絶え間ない技術開発	P17
4. 環境変化への対応 ～更なる進化を目指す鉄鋼スラグ～	P18
1. 省資源・省エネルギー、CO ₂ 排出削減への寄与	P19
2. グリーン購入法指定調達製品	P21
1. 環境基準への適合	P22
2. 生成から需要家における使用までの品質管理	P25
3. 出荷から需要家使用までの管理	P27
4. スラグ製品利用時の環境対策	P28

1. セメント	P30
2. コンクリート用骨材	P32
3. 道路	P34
4. 土木・港湾	P36
5. 地盤改良	P38
6. 肥料	P40
7. ロックウール	P41
1. 東京国際空港 D 滑走路建設外工事	P42
2. 大震災復興工事への貢献	P43
3. 大規模プロジェクトの採用例	P44
4. その他の主な採用例	P44

1. 海域環境改善・修復への貢献 ～鉄とともに豊かな海をつくる	P47
2. 低炭素社会への貢献	P53
	P55
	P56





OUTLINE

概要

I 鉄鋼スラグとは	P6
II 鉄鋼スラグの種類と特性	P10
III 鉄鋼スラグの需給	P13
IV 鉄鋼スラグ利用の歴史と変化する市場環境	P16
V 環境対応型資材として	P19
VI 社会から信頼される環境資材として	P22

I 鉄鋼スラグとは

1 スラグの種類 — 金属製造工程起源スラグと廃棄物加熱溶融起源スラグ

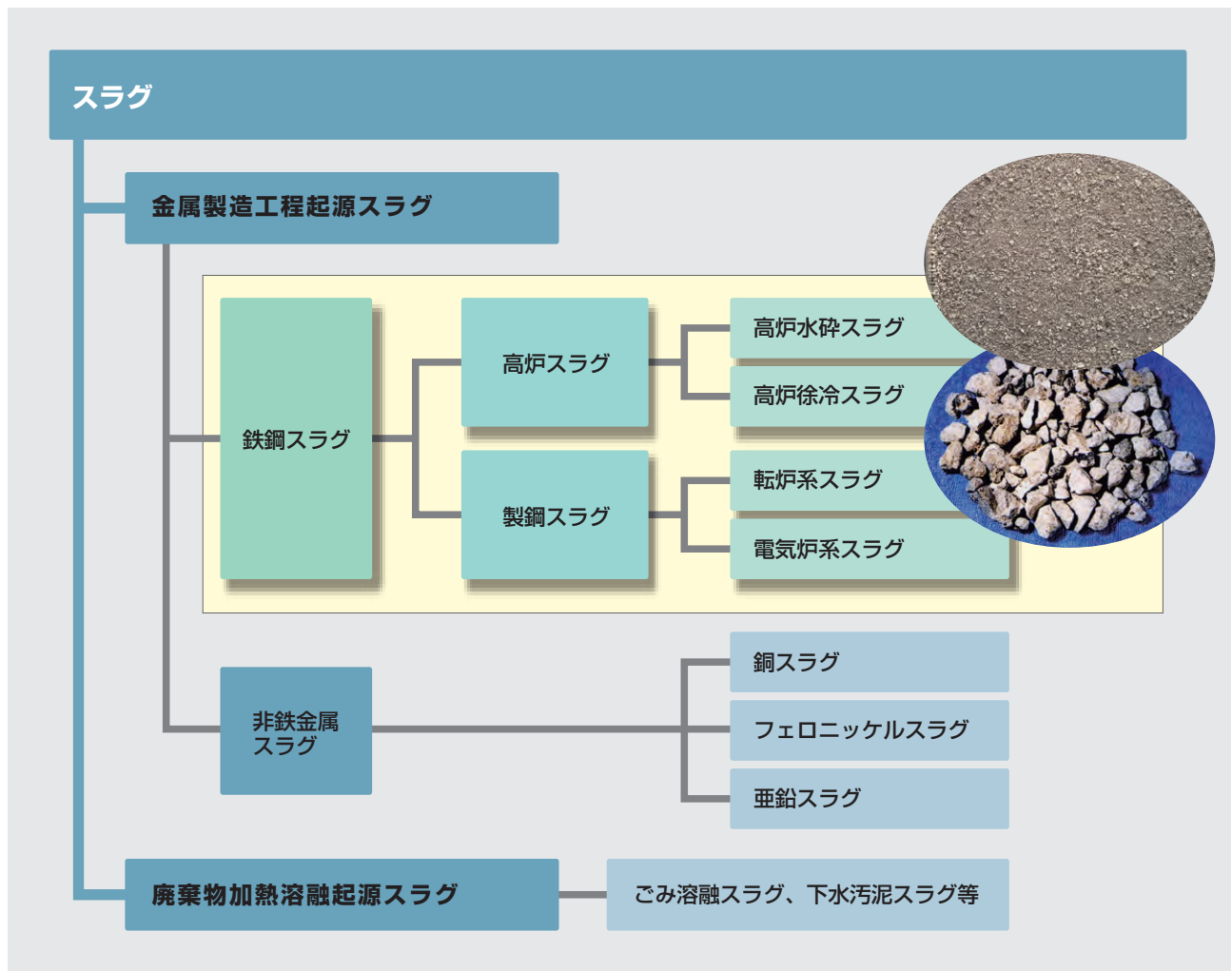
スラグは、鉱石から金属を還元・精錬する際に、特定の成分が溶融・分離してできたものである。

スラグは本来金属製造工程起源のものであるが、ごみなどを焼却施設で処分したときに発生する廃棄物加熱溶融起源のものもスラグと呼んでいる。さらに、金属製造工程起源のスラグは鉄鋼スラグと非鉄金属スラグに分けられ、鉄鋼スラグは、鉄鋼製品の

製造工程で生まれたものを指す。

鉄鋼スラグは、鉄鉱石から鋼を作り出す還元・精錬段階で生まれるシリカ (SiO₂) などの鉄以外の成分が、石灰 (CaO) と溶融・結合した副産物であり、工場生産による安定した品質をベースに、省エネルギー・省資源、CO₂削減を可能にする「地球にやさしい資材」として利用されている。

スラグの種類



2

鉄鋼スラグができるまで

製鉄の副原料「石灰石」がルーツ

一見製鉄とは関係がないように思われる石灰石は、製鉄プロセスにおいて必要不可欠な副原料である。

従来から日本の鉄鋼業が使用する石灰石は日本国内で採掘されてきた。太平洋上の海洋プレートにあったサンゴ礁、石灰岩などがプレート移動で日本列島の海溝に潜り込む際に、日本列島各地の地盤に付加されたもので、現在でも豊富な埋蔵量を誇る。広い海洋で生まれた不純物の少ない日本の石灰石は、その品質の高さから、海外にも輸出されている。

鉄を還元する際には、鉄鉱石に含まれるシリカやアルミナ(Al_2O_3)などの他成分を取り除く必要がある。石灰石を加えるとそれらの成分と溶融し融点が下がるため、鉄と分離・回収しやすくなる。この回収物が鉄鋼スラグとなる。

石灰石



鉄鋼スラグが生まれる過程

鉄鋼スラグは、高炉で鉄鉱石を溶融・還元する際に発生する高炉スラグと、鉄を精錬する製鋼段階で発生する製鋼スラグに大別できる。

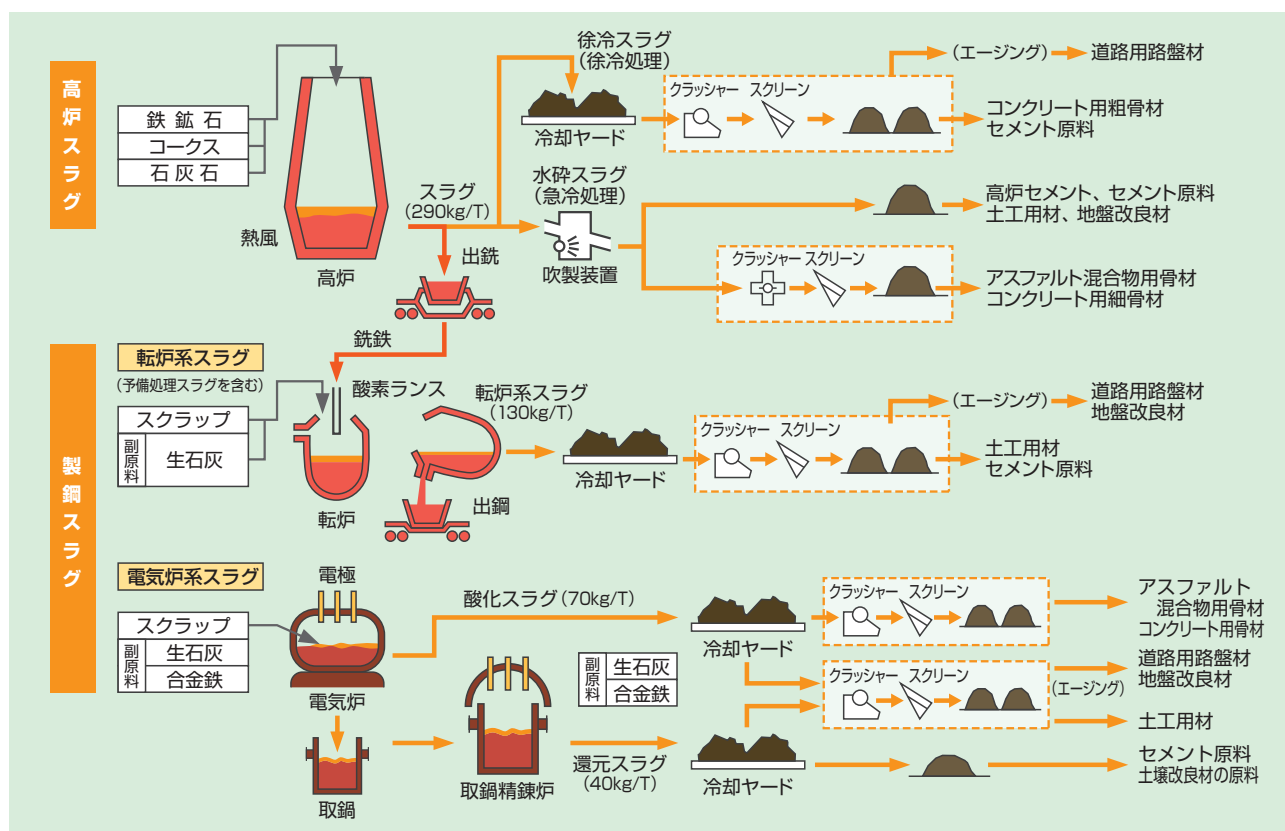
高炉スラグは、鉄鉱石に含まれるシリカなどの鉄以外の成分や還元材として使われるコークスの灰分が、副原料の石灰石と結合したものである。密度が銑鉄よりも小さく、溶融状態では銑鉄の上部に浮かび上がってくるため容易に分離・回収できる。この高炉スラグは銑鉄1tあたり約290kg生成される。高炉から取り出されたスラグは約1,500℃の溶融状態だが、冷却方法によって異なる特徴を持ったスラグになる（詳細はP10参照）。

製鋼スラグは、高炉で生まれた銑鉄を、靱性、加工性の高い「鋼」にする製鋼工程で生成される。石灰などの副原料を加えて酸素を吹き込み、銑鉄に含まれる炭素やリン、硫黄などを取り除き、粘り強い鋼に精錬するときに生まれた酸化物が製鋼スラグとなる（転炉系）。また鉄スクラップを溶融・精錬した際にも製鋼スラグは生成される（電気炉系）（詳細はP11参照）。製鋼スラグは粗鋼1tあたり約120kg生成される。

鉄鋼スラグの化学組成

鉄鋼スラグは石灰（CaO）とシリカ（SiO₂）を主成分としている。その他の成分として、高炉スラグはアルミナ（Al₂O₃）、マグネシア（MgO）と少量の硫黄（S）

鉄鋼スラグ製品の製造フロー



(注) 銑鉄・高炉スラグが生産される高炉では、廃プラスチック等のリサイクル資源が副原料として有効利用されている。



を含み、製鋼スラグは酸化鉄(FeO)、マグネシア(MgO)を含有している。製鋼スラグの場合、金属元素が酸化物の形でスラグ中に取り込まれているが、精錬時間が短く石灰含有量が高いため、副原料の石灰の一部が未溶解のまま遊離石灰(free-CaO)として残るものもある。

これらの成分は、地殻や天然岩石、鉱物など自然界に存在するものであり、化学組成は普通ポルトランドセメントに類似している。鉄鋼スラグの形状や物理的特性は、一般の碎石または砂と似ているが、化学成分や冷却プロセスの違いなどにより、スラグ特有の幅広い性質を持たせることができる。例えば、アルカリ刺激があると硬化する特性を持つものなど、その物理的・化学的特性を活かした用途が開発され、多方面で利用されている。

鉄鋼スラグの組成例

(単位: mass %)

種類 成分	高炉スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ		安山岩	普通セメント
			酸化スラグ	還元スラグ		
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO ₂	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al ₂ O ₃	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S	0.8	0.06	0.2	0.4	—	2.0
P ₂ O ₅	<0.1	1.7	0.3	0.1	—	—
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	—

II 鉄鋼スラグの種類と特性

1 高炉スラグ (徐冷、水砕)

高炉スラグは、銑鉄を製造する高炉で溶融された鉄鉱石の鉄以外の成分と、副原料の石灰石やコークス中の灰分と一緒に分離回収されたもので、銑鉄1tあたり290kg生成される。高炉から取り出されたスラグは、約1,500℃の溶融状態にあり、その冷却方法によって異なった性状の徐冷スラグと水砕スラグに分類される。

【徐冷スラグ】

溶融スラグを冷却ヤードに流し込み、自然放冷と適度の散水により徐冷処理することで、結晶質の岩石状の徐冷スラグとなる。

【水砕スラグ】

溶融スラグに加圧水を噴射して急激な冷却処理することにより、ガラス質で粒状の水砕スラグとなる。

徐冷スラグ



水砕スラグ



高炉



2

製鋼スラグ（転炉系、電気炉系）

製鋼スラグは、銑鉄やスクラップから成分を調整し、韌性・加工性に優れた「鋼」を製造する製鋼工程で生成される。製鋼スラグには、転炉から生成する転炉系スラグと、スクラップを原料とする電気炉製鋼工程で生成される電気炉系スラグがある。

転炉系スラグは、高炉徐冷スラグと同様に冷却ヤードで放冷や散水により徐冷処理された後、加工され各種

用途に利用されている。転炉鋼1tあたり約130kg生成される。近年では転炉精錬の前工程でリン(P)や硫黄(S)を除去する溶銑予備処理が普及し、ここで生成するスラグも転炉系スラグに分類される。

電気炉系スラグは、鉄スクラップを溶解・精錬する際に生成し、酸化精錬で発生する酸化スラグと還元精錬で発生する還元スラグがある。1980年頃までは、一つの電気炉内で両精錬が行われており、両スラグを分離することが困難であった。その後、取鍋精錬炉が広く導入され、両精錬工程が明確に区別されるようになり、両スラグを分離して取り出すことができるようになった。現在では、電気炉酸化スラグは電気炉鋼1tあたり約70kg、還元スラグが約40kg生成されている。

製鋼スラグ（転炉系）



転炉



電気炉



3 鉄鋼スラグの特性と用途

【高炉徐冷スラグ】

水と反応して固まり、時間とともに強度が向上する水硬性を有しているため、土木構造体として大きな支持力が期待できることから砂利と同様に路盤材に使用されている。アルカリ骨材反応(*)を生じる恐れがなく、さらには粘土・有機不純物を含まないため天然骨材と同様にコンクリート用粗骨材としても利用されている。

【高炉水砕スラグ】

高炉徐冷スラグ同様、水硬性があり、アルカリ骨材反応を生じる恐れはない。潜在水硬性を有しており、微粉碎によって潜在水硬性が大きく活性化することから、高炉セメントなどに使用されている。高炉スラグ微粉末は、セメントに半分程度混合することで普通セメン

ト(ポルトランドセメント)と遜色のない性能を持つ高炉セメントとなり、長期間にわたり強度が増進される、水との反応時の発熱速度が遅い、化学的な耐久性が高い、などの特徴を活かし、港湾などの大型土木工事をはじめ幅広く使われている。

【製鋼スラグ】

水硬性があり土木構造体として大きな支持力が期待できることから、路盤材として用いられる。粒子密度と硬度が高く耐摩耗性に優れていることから、アスファルトコンクリート用骨材に使用されている。また、せん断抵抗角が大きく粒子密度と単位体積重量が大きいことから、土工用材・地盤改良材(サンドコンパクションパイル用材)としても使用されている。

鉄鋼スラグの主な特性と用途

		特 性	用 途
高炉スラグ	徐冷スラグ	水硬性 非アルカリ骨材反応 低 Na ₂ O、低 K ₂ O 繊維化すれば断熱・保温・吸音性 肥料成分 (CaO、SiO ₂)	路盤材 コンクリート用粗骨材 セメントクリンカ原料 (粘土代替) ロックウール原料 珪酸石灰肥料 (ケイカル)
	水砕スラグ	微粉碎による強い潜在水硬性 低 Na ₂ O、低 K ₂ O 潜在水硬性 軽量、せん断抵抗角大、透水性大 塩化物を含まない非アルカリ骨材反応 肥料成分 (CaO、SiO ₂)	高炉セメント原料 ポルトランドセメント混合材 コンクリート用混和材 セメントクリンカ原料 (粘土代替) 土工用材・地盤改良材 (裏込め材・覆土材・盛土材・路床改良材・グラウンドの排水層等) コンクリート用細骨材 珪酸石灰肥料 (ケイカル) 土壌改良材
製鋼スラグ	転炉系・電気炉系スラグ	硬質、耐摩耗性 水硬性 せん断抵抗角大 FeO 分・CaO 分・SiO ₂ 分 塩化物を含まない非アルカリ骨材反応 肥料成分 (CaO、SiO ₂ 、MgO、FeO) 硫化物イオンやリンイオンの吸着 Fe 供給	アスファルトコンクリート用骨材 ブロック・人工石材用骨材 (鉄鋼スラグ水和固化体、鉄鋼スラグ炭酸固化体) 路盤材 土質改良材 (カルシア改質土) 土工用材・地盤改良材 セメントクリンカ原料 コンクリート用細骨材・粗骨材 (電気炉酸化スラグ骨材) 肥料用および土壌改良材 環境 (底質) 改善材 藻場造成用鉄分供給ユニット

*アルカリ骨材反応：セメント中のアルカリにより骨材が膨張する反応。コンクリート構造物のひび割れや崩壊を招く場合がある。

III

鉄鋼スラグの需給

1

鉄鋼スラグ需給概要

鉄鋼スラグの年間生産量は、近年3,800万t程度で推移し、過去40年間の総外販量は約12億tにのぼっている。鉄鋼スラグの生産量は粗鋼生産量にリンクしている。21世紀に入り日本鉄鋼業は堅調に推移し、リーマンショックによる一時的な落ち込みはあったものの、国際競争力を背景にその後回復しており、鉄鋼スラグ生産量も安定した推移を辿っている。

鉄鋼スラグの需要分野は、1970年代までは道路用路盤材向けが中心であったが、第二次オイルショック以降は省資源・省エネルギー・環境保全などのニーズが加速し、需要の中心はセメント向けにシフトしている。中でも、高炉スラグ微粉末とポルトランドセメントを混合した高炉セメントは、セメント製造の焼成工程における製造エネルギーを40%以上削減するなどの省エネルギー効果が高く評価されている。また、減少する路盤

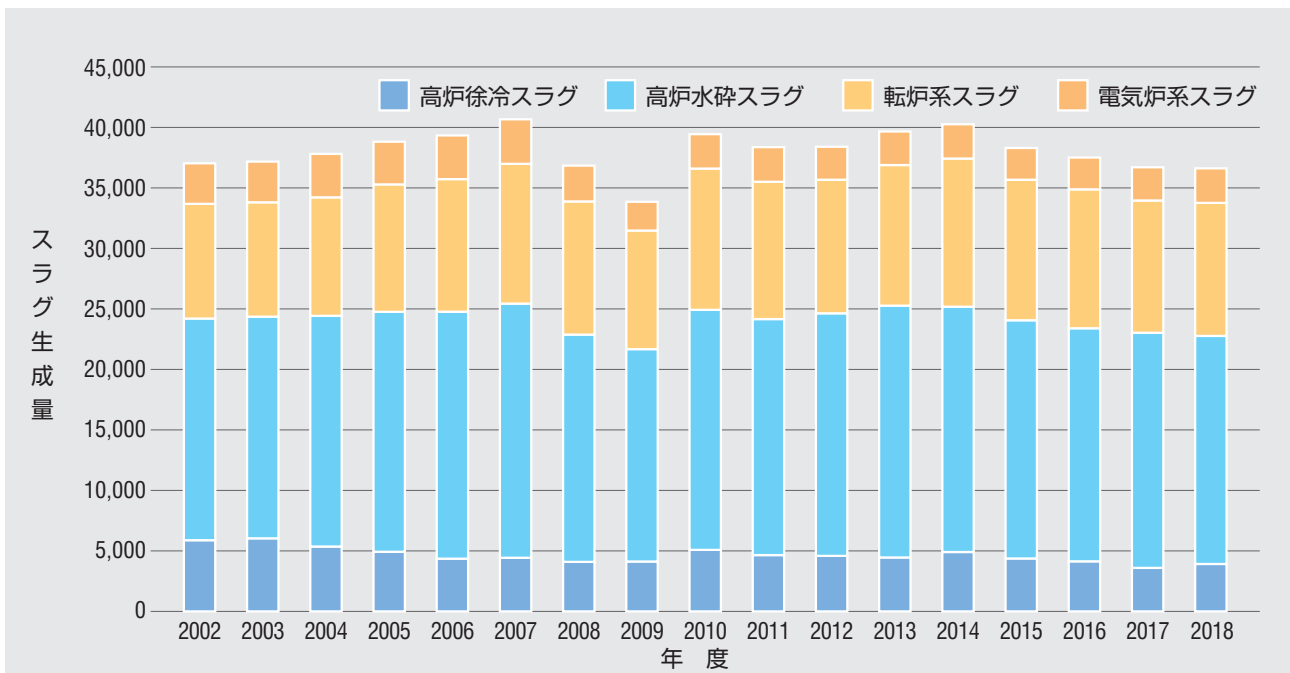
材需要の中で、廃コンクリートや廃アスファルトの物性改善のために鉄鋼スラグを混合した新しい複合路盤材の需要は増えている。

現在、鉄鋼スラグの省資源効果に着目した新たな需要開拓が図られている。例えば、鉄鋼スラグ骨材は、瀬戸内海の手砂採取規制など天然材料の減少に伴い、その代替材として大きな期待が寄せられている。また、沿岸・港湾域における大規模港湾工事プロジェクトは、鉄鋼スラグを製造する臨海部の製鉄所から海上で遠方輸送が容易であり、大量かつ短期間で納入できることから、今後の鉄鋼スラグ需要が最も期待される需要分野となっている。

さらに最近では、諸外国におけるセメント用原料の需要増加に対応し、水砕スラグの輸出も拡大している。

各種鉄鋼スラグの生産量推移

(単位：千t)

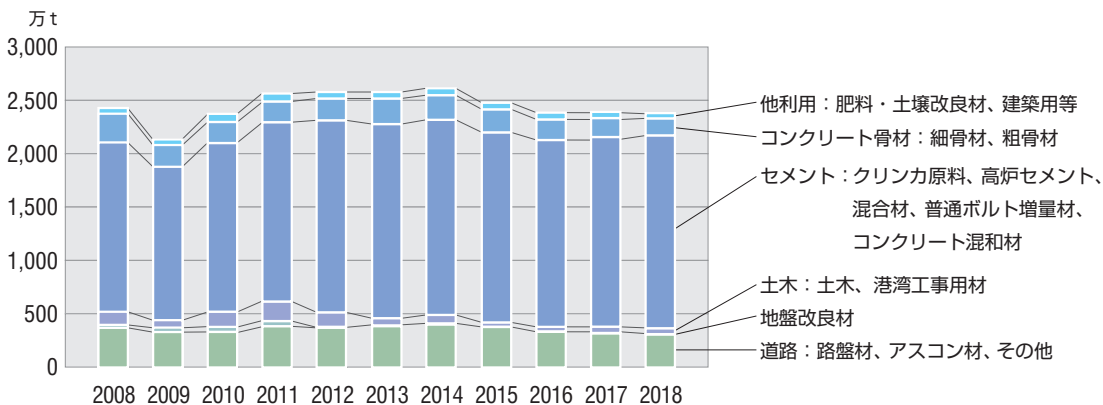


2

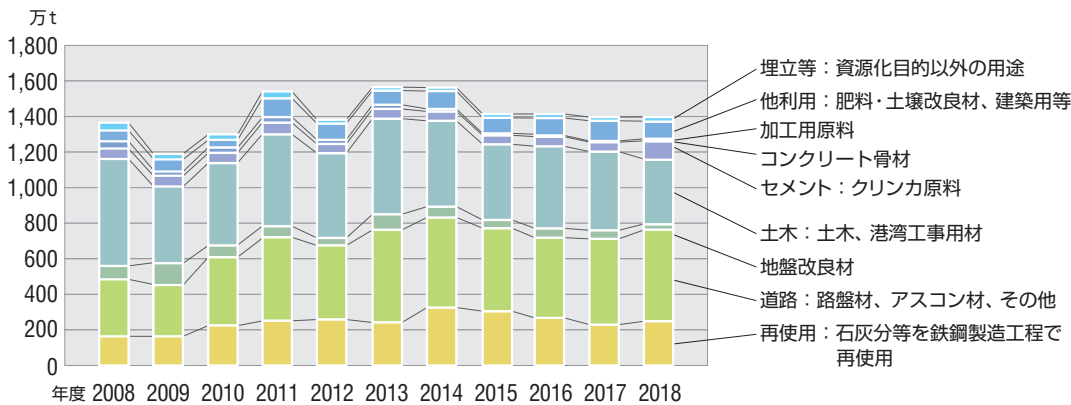
DATA集

高炉スラグと製鋼スラグの使用内訳推移

高炉スラグ使用内訳推移

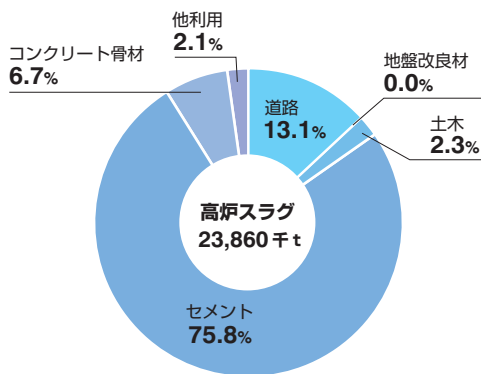


製鋼スラグ使用内訳推移

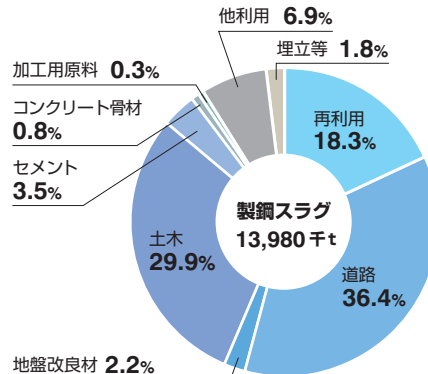


高炉スラグと製鋼スラグの用途別使用内訳(2018年度)

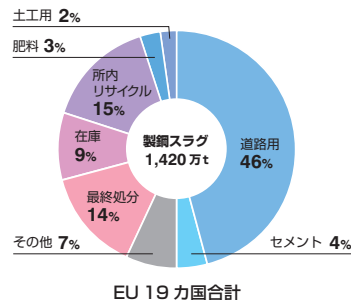
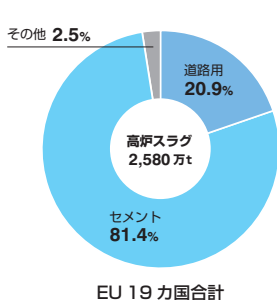
高炉スラグ使用内訳



製鋼スラグ使用内訳

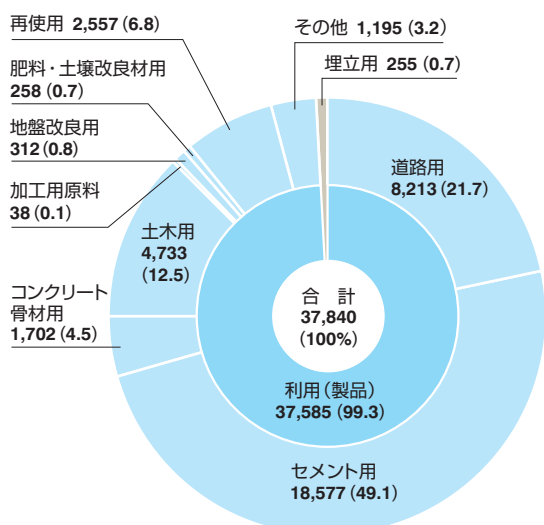


【参考】欧州の高炉スラグ・製鋼スラグの利用状況(2016年)

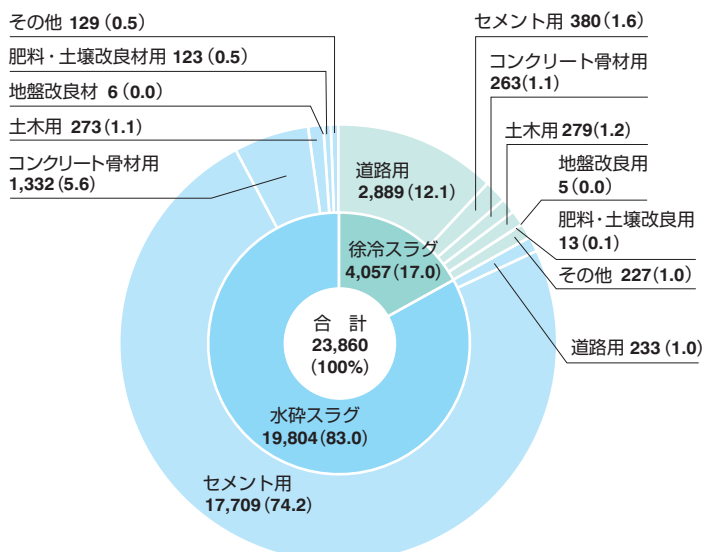


鉄鋼スラグの用途別使用量 (2018年度実績)

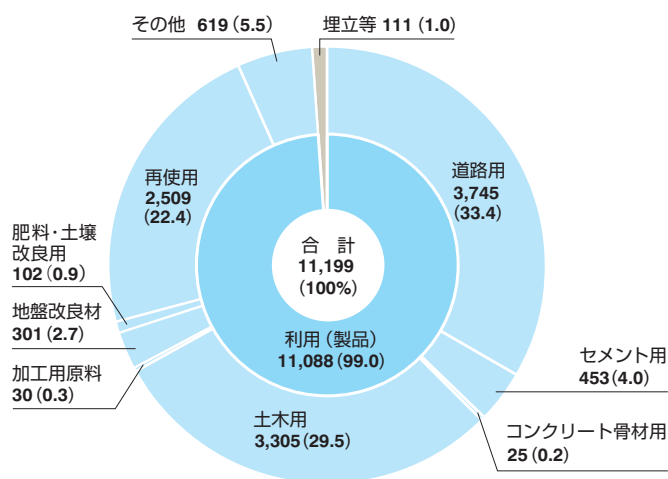
(単位: 千 t (%))



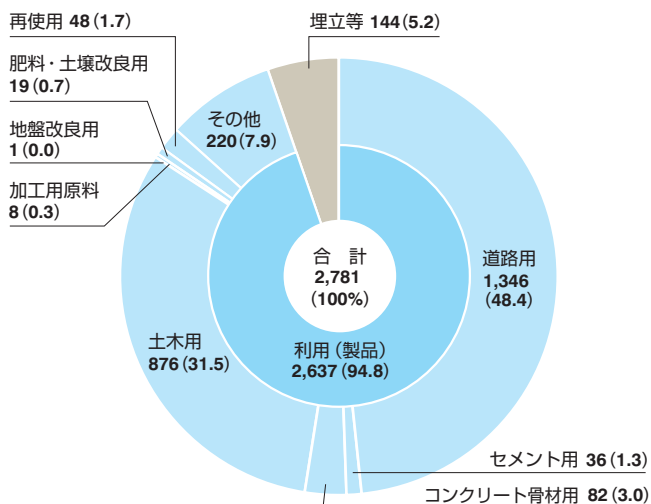
用途別総使用量



高炉スラグの用途別使用量

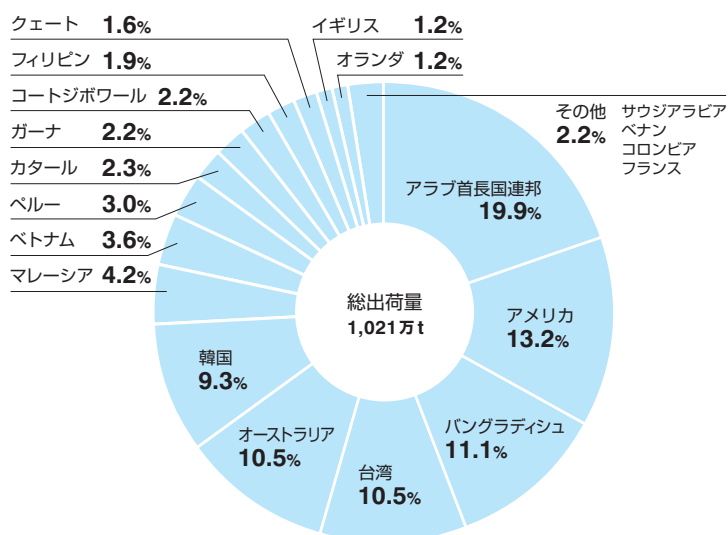


転炉系スラグの用途別使用量

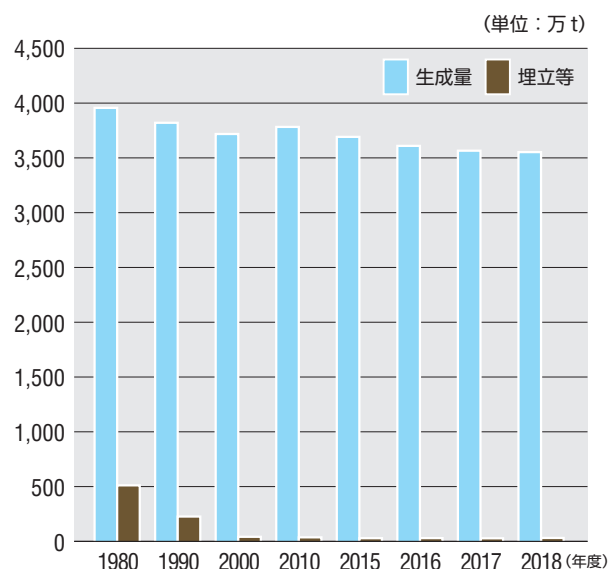


電気炉系スラグの用途別使用量

セメント向け高炉スラグ輸出先内訳 (2018年度)



鉄鋼スラグの生成量・埋立量推移



IV 鉄鋼スラグ利用の歴史と 変化する市場環境

1 1910年～ 高炉セメント製造開始

鉄鋼製品は、社会基盤を担う重要な資材として生産されてきた。この鉄鋼生産に伴って副生される鉄鋼スラグもまた、長年にわたる研究によって有効利用が図られ、現在では有用な資材として各方面で活用されている。以下にわが国での利用の歴史を概観する。

わが国における鉄鋼スラグ資源化の歴史は古く、その歩みは約100年に及ぶ。1901(明治34)年に官営八幡製鉄所で鉄鋼一貫操業が始まると、1907(明治40)年には消石灰と水砕スラグを混合して鉍さい煉瓦が製造されるようになり、1910(明治43)年に試験製造が始まった高炉セメントは、1913(大正2)年から本格生産が始まり、当初はその大半が製鉄所内の建設工事に利用された。1926(大正15)年には高炉セメントの日本標準規格(JES第29号)が制定された。

昭和初期の高炉セメント工場



製鉄所



2

高度経済成長期～ 埋め立て・土地造成用資材として

1960年代の高度経済成長期に入ると、鉄鋼生産量は飛躍的に増加し、既存製鉄所の拡張のための土地造成、相次いで建設された新しい臨海製鉄所の埋め立て資材として大量に使用されることとなった。鉄鋼ス

ラグはこの時期に土木工事用資材としての有効活用のノウハウを蓄積していった。また、一般道路の路盤材としての利用が、この頃から開始された。

3

オイルショック以降～ 資源化への絶え間ない技術開発

1970年代前半に粗鋼生産量が1億tを超えると、大量に生成される鉄鋼スラグ資源化の必要性が顕在化した。鉄鋼各社は鉄鋼スラグの資源化を経営の重要な課題と位置づけ、鉄鋼スラグ製品の技術開発や市場開拓のための活動に着手した。「余り物としてスラグを処理する」のではなく、「新しい営業品目」として品質的にも数量的にも安定供給を保証する体制の整備に取り組んだ。

鉄鋼スラグの資源化は、1973年のオイルショック以降、省エネルギー・省資源の重要性が社会的にクローズアップされ始めるに伴いさらに飛躍的に進展した。

鉄鋼業界の組織的な資源化活動は、販売会社を主体とする「日本スラグ協会」を発展的に解散し、鉄鋼会社と一緒に、1978年に「鉄鋼スラグ協会」を発足させ、JIS化などの公的認知活動に取り組むことで一段と進んだ。最近では港湾および海域での用途拡大ならびに環境側面への対応について、(一社)日本鉄鋼連盟とも連携しつつ活動を強化している。

鉄鋼各社は、鉄鋼スラグの資源化推進体制を整備していく過程で、鉄鋼スラグ製品を単なる天然資源の

代替物としてではなく、その優れた特性を活かした付加価値の高い工業製品として、より一層の品質向上、利用技術の開発、製品の安定供給に努めてきた。鉄鋼スラグは、こうして100年にわたり培ってきた技術と信頼によって、セメント用材や道路用材、土木工事、港湾工事用材、コンクリート用骨材など幅広い用途に使用されるようになり、社会基盤充実の一翼を担っている。さらに、全鉄鋼スラグ生成量の99%が資源化された現在でも、社会環境の変化に対応すべく新たな利用技術開発や製造技術の改善に邁進している。

東京湾アクアライン



4 環境変化への対応 ～更なる進化を目指す鉄鋼スラグ～

鉄鋼スラグ製品はセメントの原材料や道路用の工事資材等として、主に建設分野で利用されている。しかし、日本の建設需要は経済の成熟化に伴い中長期的に低迷しており、また将来の労働力人口の減少などを踏まえると需要の伸びは期待できず、また、競合資材の建設資材市場への参入もあり、鉄鋼スラグ製品の販売環境は非常に厳しいものとなっている。

一方、世界に目を向けると、近年時代の転換点ともいえる環境に関わる大きな動きが起きている。

2015年9月の国連サミットにおいて、「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され、「2030年を期限とする17の持続可能な開発の為の目標(SDGs)と169のターゲットが定められた。目標12では「持続可能な生産消費形態を確保する」ことが掲げられ、有限である天然資源の枯渇問題および資源利用による間接的な環境負荷の増大など、より環境負荷の少ない資源の利用、如何に無駄なく資源を利用するかが求められ持続可能な生産消費を確保することが目標となっている。我が国においても、総理大臣を本部長とするSDGs推進本部が設置され、優先課題の中に「循環型社会の構築」が挙げられており、副産物である鉄鋼スラグを原料として製造・加工された鉄鋼スラグ製品が、改めてその価値を認めたい機会でもある。

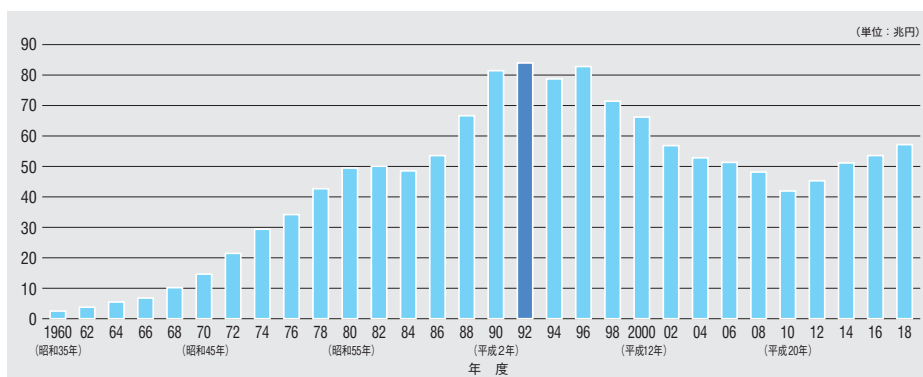
また、気候変動問題では、パリ協定を踏まえ、我が国の温室効果ガス排出削減の目標として2030年度までに2013年度比26%削減を掲げるとともに、長期的目標として2050年までに80%の削減を掲げている。こうした取り組みは、鉄鋼スラグ製品とも関係しており、高炉セ

メントを拡大するため、経済産業省が「混合セメントの普及拡大方策」を検討するとともに、2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」に「混合セメントの利用拡大」が施策の一つに織り込まれている。

日本では2000年の「循環型社会形成推進基本法」制定から、循環資源の概念が導入され、循環型社会実現への取り組みが進み、同年に制定された「資源の有効な利用の促進に関する法律」において鉄鋼業は特定省資源業種に指定され、鉄鋼スラグは、一層の有効利用が求められてきた。業界では、鉄鋼スラグ製品の規格化、利用マニュアル類の整備などの標準化を進め、また2001年に施行された「国等による環境部品などの調達に関する法律」(グリーン購入法)で、公共工事における特定調達品目(環境負荷低減に資する製品等)に多くの関連製品が指定を受け、鉄鋼スラグ製品の利用の促進が図られてきた。

今後は、従来の取り組みをさらに充実させるとともに、国際的な市場動向にも注目し、鉄鋼スラグ製品の国際的利用の推進や、ブルーカーボン生態系によるCO₂吸収への鉄鋼スラグ製品の貢献など、より多面的な取り組みにより、鉄鋼スラグ製品の価値を向上させる努力が必要である。

日本の建設投資額の推移



国土交通省の報道発表資料を元に作成。

1

省資源・省エネルギー、CO₂ 排出削減への寄与

環境問題への意識の高まりの中で、鉄鋼スラグ製品は省資源、省エネルギー、CO₂削減の観点から、環境負荷を低減させる資材として、高く評価されている。

例えば、高炉水砕スラグを45%混合した高炉セメント使用による環境負荷低減について、普通セメントと比較してみると、次の4つの優位性が挙げられる。

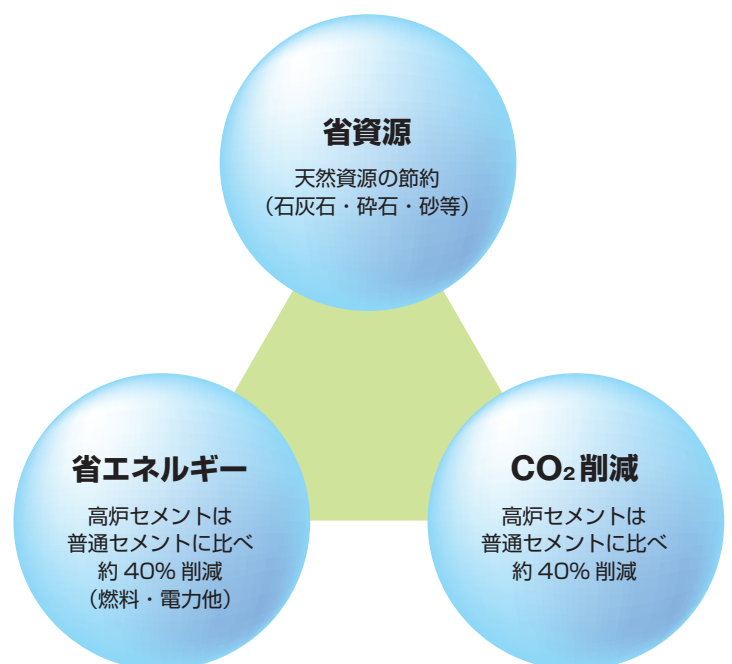
- ①高炉水砕スラグの混合量相当の普通セメント使用量が削減され、その原料である石灰石を約40%節約することができ、省資源と自然環境の保全につながる。
- ②高炉水砕スラグは焼成工程が不要のため、セメント製造時に使用する石炭や電力の消費量を約40%低減することが可能で、省エネルギー効果を上げることができる。
- ③石灰石やエネルギーの消費量が少ないため、CO₂の排出量を低減することができる。セメント1tあたりのCO₂排出量では335kgも少なく、年間1,100万tの高炉セメントの生産で約370万tのCO₂削減となる。
- ④化学抵抗性に優れ、塩素イオンの拡散係数・透水係数が小さく、またアルカリ骨材反応抑制効果があるため、耐久性のある構造物ができる。

鉄鋼スラグ製品全般についても、鉄鋼スラグを天然資源の代替材に活用することにより、天然資源の節約および採取時におけるエネルギーの節約を通じて、自然環境の保全に寄与できる。実際に、天然の石や砂を採取する際、大量のエネルギーを消費しCO₂を排出する重機械で自然の山や海底、川底を削り取るため、生態系や自然環境の破壊が大きな問題となっている。

鉄鋼スラグ製品は、こうした環境保全に資する材料として、すでに認知されており、多くの鉄鋼スラ

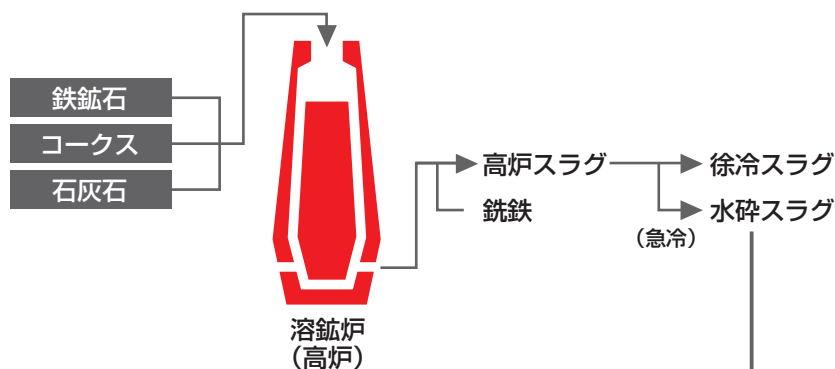
グ製品が公共工事向けグリーン購入法の特定調達品目に指定されている。

グリーン購入とは、調達する物品の環境配慮を促進する取り組みで、国連や各国の公共機関から始まった。日本では、2001年4月に「国等による環境物品等の調達の推進に関する法律」（グリーン購入法）が施行された。国や独立行政法人のグリーン購入は責務とされ、地方公共団体でも環境物品の調達推進に努めることになっている。さらに企業においても、環境マネジメントシステムISO14001の要求事項にグリーン購入の内容及び、ISO14001を取得した組織のグリーン購入促進にも影響を与えている。

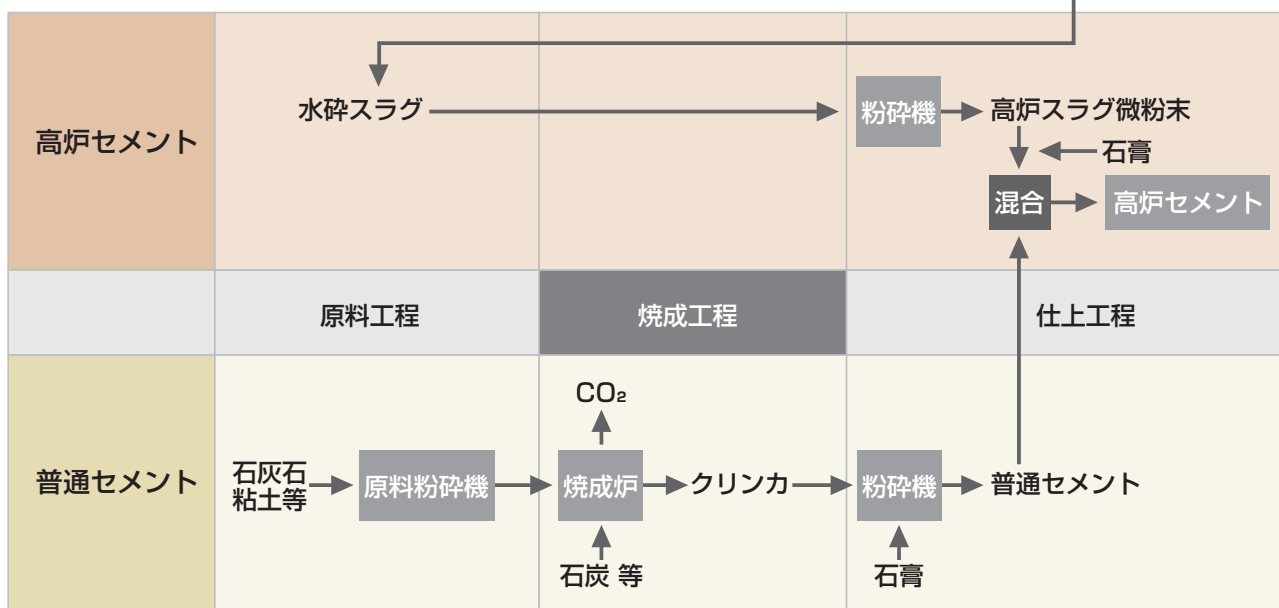
「省資源・省エネルギー・CO₂ 排出削減」の特徴

高炉セメントの高炉スラグ分量は45%として試算。

高炉セメントと普通セメントの製造比較および CO₂ 排出量比較



高炉セメントと普通セメントの製造比較



セメント1tあたりのCO₂排出量 (単位: kg)

CO ₂ 排出源	ポルトランドセメント CO ₂ 排出量 ①	高炉セメントB種 CO ₂ 排出量 ②	CO ₂ 削減量 ①-②	CO ₂ 削減率 (%)
石灰石	480	269	211	44
電力・エネルギー	288	169	119	41
計	768	438	330	43

(2018 公表データ)

2

グリーン購入法指定調達製品

鉄鋼スラグ製品の多くは、環境面での優位性や長年の使用実績が高く評価され、2001年に施行された「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」（グリーン購入法）の公共工事における特定調達品目

（環境負荷低減に資する製品等）に指定されている。

グリーン購入法によって、国や地方自治体による積極的な調達が図られ、土木資材として全国各地で有効利用が進展している。

特定調達品目	条 件	環境面のプラス
高炉セメント (2001年度指定)	30%を超える高炉スラグを使用した高炉セメント	<ul style="list-style-type: none"> ● 石灰石資源の節約 ● 省エネルギー効果 ● CO₂発生量抑制
高炉スラグ骨材 (2002年度指定)	天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂や砕石の代替として使用する高炉スラグ骨材	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護 ● 破砕加工時に使用される化石燃料削減とCO₂削減
鉄鋼スラグ混入路盤材 (2002年度指定)	路盤材の道路用鉄鋼スラグ	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護
鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物 (2002年度指定)	加熱アスファルト用の道路用鉄鋼スラグ骨材	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護 ● 破砕加工時に使用される化石燃料削減とCO₂削減
鉄鋼スラグを原料としたロックウール (2002年度指定)	ロックウールで、鉄鋼スラグを85%以上使用したもの	<ul style="list-style-type: none"> ● 高断熱性でエネルギーを削減 ● アスベストの代替材料
土工用水砕スラグ (2003年度指定)	天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂や砕石の代替として使用する土工用水砕スラグ	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護 ● 破砕加工時に使用される化石燃料削減とCO₂削減
地盤改良用製鋼スラグ (2004年度指定)	サンドコンパクションパイル工法における、天然物(海砂、山砂)の代替として使用する製鋼スラグ	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護 ● 破砕加工時に使用される燃料削減とCO₂削減
コンクリート用電気炉酸化スラグ骨材 (2005年度指定)	天然砂(海砂、山砂)、天然砂利、砕砂や砕石の代替として使用する電気炉酸化スラグ骨材	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護 ● 骨材運搬、重量コンクリート施工による化石燃料削減とCO₂削減
鉄鋼スラグブロック (2008年度指定)	骨材として製鋼スラグを重量比50%以上、結合材に高炉スラグ微粉末を使用した水和固化体制のブロック、石材	<ul style="list-style-type: none"> ● 自然環境の保護、石灰石資源の節約 ● コンクリート製造時のCO₂発生量抑制 ● 海域利用時における生物付着性が良好

VI | 社会から信頼される環境資材として

1 環境基準への適合

① 鉄鋼スラグ製品の環境安全品質

鉄鋼スラグ製品は、1979年に物理的性状を中心とした道路用 JIS が制定され、それ以降も種々の土木材料としての製品規格が策定され、土木資材として使用されてきた。一方、環境安全品質についてはその規格化が遅れていたが、環境安全品質試験方法として「スラグ類の化学物質試験方法 (JIS K 0058-1,2)」が2005年に制定されたことを受け、鉄鋼スラグ協会では、鉄鋼スラグ製品の JIS 規格への環境安全品質の織り込みに取り組んでいる。鉄鋼スラグ製品の環境安全品質は、製品使用時の

暴露環境を考慮して、その環境における土壌、地下水、海水等が環境基準等を満足するよう規定するものである。

「道路用鉄鋼スラグ (JIS A 5015)」および「コンクリート用スラグ骨材 (JIS A 5011-1,-4)」の JIS 規格は、2013年の改正において、環境安全品質の織り込みが終了した。さらに、2015年1月に改正した「鉄鋼スラグ製品の管理に関するガイドライン」において、使用場所・用途に応じて適用する環境安全品質をより明確にして整理している。

道路用鉄鋼スラグ (JIS A 5015) の環境安全品質基準

項目	溶出量 mg/L	含有量 ^{a)} mg/L
カドミウム	0.01 以下	150 以下
鉛	0.01 以下	150 以下
六価クロム	0.05 以下	250 以下
ひ素	0.01 以下	150 以下
水銀	0.0005 以下	15 以下
セレン	0.01 以下	150 以下
ふっ素	0.8 以下	4,000 以下
ほう素	1 以下	4,000 以下

コンクリート用スラグ骨材 (JIS A 5011-1,-4) の環境安全品質基準

一般用途の場合

項目	溶出量 mg/L	含有量 ^{a)} mg/L
カドミウム	0.01 以下	150 以下
鉛	0.01 以下	150 以下
六価クロム	0.05 以下	250 以下
ひ素	0.01 以下	150 以下
水銀	0.0005 以下	15 以下
セレン	0.01 以下	150 以下
ふっ素	0.8 以下	4000 以下
ほう素	1 以下	4000 以下

港湾用途の場合

項目	溶出量 mg/L
カドミウム	0.03 以下
鉛	0.03 以下
六価クロム	0.15 以下
ひ素	0.03 以下
水銀	0.0015 以下
セレン	0.03 以下
ふっ素	15 以下
ほう素	20 以下

注 a) ここでいう含有量とは、同語が一般的に意味する“全含有量”とは異なることに注意を要する。

② 使用場所・用途に応じて適用する環境安全品質

陸域で使用される鉄鋼スラグ製品については、道路・鉄道用、コンクリート骨材用、地盤改良材、土木・陸上工事、水和固化体、その他の6種に分類し、JIS規格品又はJIS規格相当品、土壌と区分可能な用途か否か等によって、適用される環境安全品質の試験方法と判定基準値、試験頻度を定めている。一方、

港湾・海域に使用される鉄鋼スラグ製品についても、コンクリート骨材用、地盤改良材、港湾・海域工事、水和固化体の4種に分類し、JIS規格品又は相当品、水底土砂基準が適用される用途か否か等によって、適用される環境安全品質の試験方法と判定基準値、試験頻度を定めている。

スラグ類の化学物質試験方法（JIS K 0058-1）による鉄鋼スラグ製品の溶出試験結果例

（単位：mg/L）

項目	（参考基準） 土壌溶出基準	高炉スラグ製品		製鋼スラグ製品	
		徐冷スラグ	水砕スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ
カドミウム	0.01 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
鉛	0.01 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
六価クロム	0.05 以下	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
砒（ひ）素	0.01 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
総水銀	0.0005 以下	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002
セレン	0.01 以下	0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
ふっ素	0.8 以下	0.2	0.1	< 0.1	< 0.1
ほう素	1 以下	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

注：<は、分析の定量下限値未満を示す。

土壌環境基準（環告46号）による鉄鋼スラグ製品の溶出試験結果例

(単位：mg/L)

項目	土壌溶出基準	高炉スラグ製品		製鋼スラグ製品	
		徐冷スラグ	水砕スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ
カドミウム	0.01 以下	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
鉛	0.01 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.005
六価クロム	0.05 以下	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.02
砒(ひ)素	0.01 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.005
総水銀	0.0005 以下	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
セレン	0.01 以下	0.004	< 0.002	< 0.002	< 0.005
ふっ素	0.8 以下	0.26	0.16	0.62	0.32
ほう素	1 以下	0.12	0.10	0.02	0.3

注：<は、分析の定量下限値未満を示す。

水底土砂基準（環告14号）による鉄鋼スラグ製品の溶出試験結果例

(単位：mg/L)

項目	土壌溶出基準	高炉スラグ製品		製鋼スラグ製品	
		徐冷スラグ	水砕スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ
水銀またはその化合物	0.005 以下	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
カドミウムまたはその化合物	0.1 以下	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
鉛またはその化合物	0.1 以下	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.005
六価クロム化合物	0.5 以下	< 0.4	< 0.4	< 0.4	< 0.01
ひ素またはその化合物	0.1 以下	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.002
ふっ化物	15 以下	0.3	0.26	0 ~ 4.4	< 0.2
セレンまたはその化合物	0.1 以下	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.002

注：<は、分析の定量下限値未満を示す。

2

生成から需要家における使用までの品質管理

① 鉄鋼スラグ製品の製造管理

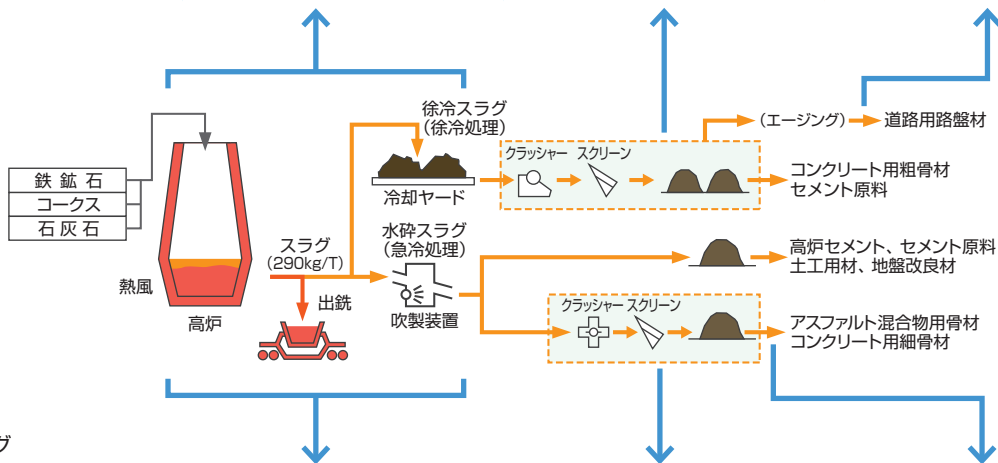
鉄鋼プロセスは、かつて銑鉄や鋼を製造するために設計されていたが、現在では高品質の鉄鋼スラグ製品を製造することも、鉄鋼生産の操業・設備設計上の重要な要素と位置づけている。鉄鋼各社は、さまざまな用途

に応じて JIS 規格など品質仕様に適合した鉄鋼スラグ製品を製造するため、各工程で対策を講じ、厳格な製造管理を行っている。

高炉スラグ製品の製造工程での品質管理例

高炉徐冷スラグ

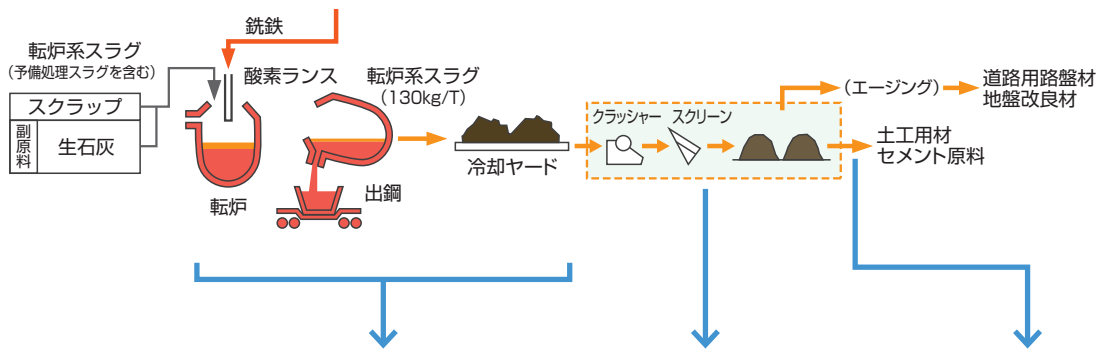
工程	原料・溶解・冷却	加工	出荷
品質を制御する手段	原料配合 溶解スラグ温度 散水方法	破碎・分級 エージング	検査・分析
品質管理項目	化学成分 気孔率	粒度 修正 CBR すりへり減量 絶乾密度 単位容積質量 粗粒率	環境安全品質 用途別の規格 (黄水呈色試験など)



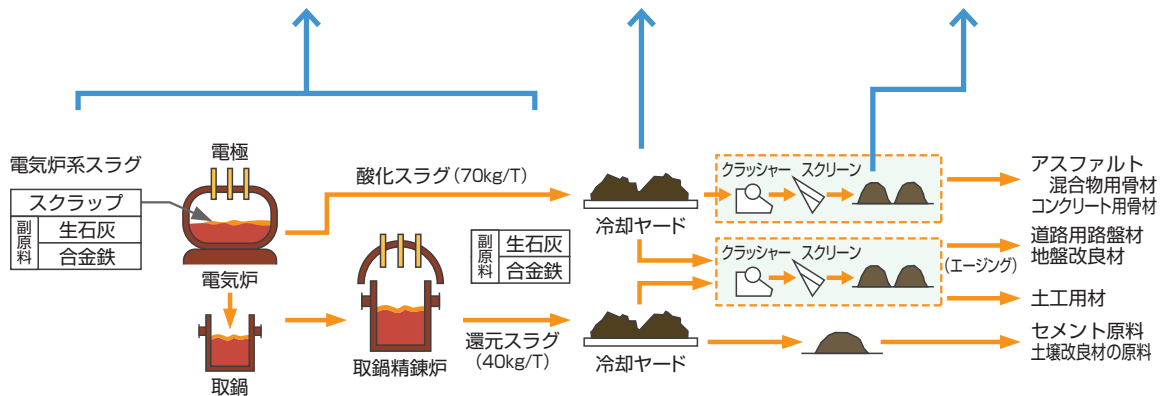
高炉水砕スラグ

工程	原料・溶解・冷却	加工	出荷
品質を制御する手段	原料配合 溶解スラグ温度 吹製水圧力	破碎・分級 コーティング	検査・分析
品質管理項目	化学成分 ガラス化率 気孔率	粒度 絶乾密度 単位容積質量 粗粒率	環境安全品質 用途別の規格 (貯蔵安定性試験など)

製鋼スラグ製品の製造工程での品質管理



工程	原料・溶解・冷却	加工	出荷
品質を制御する手段	スクラップの選別 精錬条件の選択 ・生石灰使用量 ・ドロマイト使用量 ・精錬促進剤使用量 散水方法	破碎・分級 磁力選別 エージング	検査・分析
品質管理項目	化学成分 膨張安定性 塩基度 粉化防止	鉄分 粒度 修正 CBR すりへり減量 絶乾密度 単位容積質量 粗粒率	環境安全品質 用途別の規格 (水浸膨張試験など)



3

出荷から需要家使用までの管理

鉄鋼スラグ協会では、鉄鋼スラグの製造から需要家での使用までのそれぞれの工程において、会員各社が実行すべき管理項目について、「鉄鋼スラグ製品の管理に関するガイドライン」(以下、ガイドライン)を2005年に制定した。鉄鋼スラグ協会会員各社は、このガイドラインに基づいて、鉄鋼スラグ製品の製造、品質検査、輸送、構外保管、使用それぞれの段階の管理を行うことで、需要家の皆様の安心の向上を図っている。

ガイドラインは2005年の制定後、2015年までに7回の改正を行っており、管理体制のさらなる強化に努めている。

鉄鋼スラグ協会の会員各社は、ガイドラインに準拠した自社の製品管理マニュアルを整備し、実行管理する体制を確立している。さらに、社会に対する鉄鋼スラグ製品の信頼性向上を図るため、鉄鋼スラグ協会では、各会員事業所の製品管理マニュアルに基づく品質管理状況について、第三者機関による審査制度を導入しており、ガイドラインに準拠した鉄鋼スラグ製品管理を行っていることの審査状況の一覧を公開している。

鉄鋼スラグ製品の管理に関するガイドライン

目次

1. 目的
2. 適用範囲
3. 各会員の責務
4. スラグ製品の品質管理
5. 鉄鋼スラグ製品の販売管理
6. 施工後の調査
7. 行政・住民等からの指摘・苦情等が発せられたとき及びその懸念が生じたときの対応
8. マニュアルの整備と運用遵守状況の点検及び是正措置
9. 鉄鋼スラグ協会への報告
10. ガイドラインの定期的な点検・整備

(2015年1月14日改正 鉄鋼スラグ協会)

4 スラグ製品利用時の環境対策

ガイドラインでは、需要家が、不適切な使用により生じ得る環境負荷に関する理解を深めるために、需要家に対して鉄鋼スラグ製品の品質特性と使用上の注意事項（pH特性、粉じん特性等）を説明することとしている。

さらに、鉄鋼スラグの施工量、施工場所や利用用途等の特徴に応じて、受注前・施工中および施工後の自主的な現地調査の必要性を判断し、実施することとしている。

ガイドラインに記載されたpH特性・粉じん特性の留意事項（ガイドラインより抜粋）

1. pH特性

(1) 留意点

◎【陸域での使用】

- 鉄鋼スラグ製品に接した水が土壌を介さないで、外部に流出する恐れがある場合には、コンクリート再生路盤材やセメント安定処理土を使用する場合と同様、アルカリ吸着能の高い土壌で覆土したり、炭酸ガス等で中和処理した後に排水する等の対策を実施する必要があります。

◎【海域での利用】

- 鉄鋼スラグ製品が海水に直接投入する場合、水酸化マグネシウムが析出することによって海水が白く濁る可能性があります。事前検討により、環境に支障を及ぼさないことを確認した上で使用して下さい。

(2) 技術情報

- 鉄鋼スラグ製品は、含有する石灰の影響で、水と反応するとpHが10～12.5に上昇し、コンクリート再生路盤材、セメント安定処理土と同等のアルカリ性を示します。
- わが国の土壌は一般的に酸性土壌であるため、鉄鋼スラグ製品から溶出したアルカリ成分は、土壌に吸着中和されます。

2. 粉じん特性

(1) 留意点

- 鉄鋼スラグ製品の内、バルクタンクローリー車での輸送やサイロでの保管がなされない製品については、乾燥状態や風速により、粉じんが発生する可能性があり、輸送～保管～施工までの間で環境に支障が生じないよう対策を実施して下さい。



PRODUCTS

製品・プロジェクト

I 鉄鋼スラグ製品の市場・需要分野 P30

- | | |
|-------------|-----|
| 1 セメント | P30 |
| 2 コンクリート用骨材 | P32 |
| 3 道路 | P34 |
| 4 土木・港湾 | P36 |
| 5 地盤改良 | P38 |
| 6 肥料 | P40 |
| 7 ロックウール | P41 |

II 大規模プロジェクトでの採用例 P42

- | | |
|-------------------|-----|
| 1 東京国際空港D滑走路建設外工事 | P42 |
| 2 大震災復興工事への貢献 | P43 |
| 3 大規模プロジェクトの採用例 | P44 |
| 4 その他の主な採用例 | P44 |

I 鉄鋼スラグ製品の市場・需要分野

1 セメント

コンクリート構造物の耐久性を向上

鉄鋼スラグ製品は現在、その特性を活かし、各方面で利用されているが、その最大の需要分野はセメントである。鉄鋼スラグ製品の約50%、高炉スラグだけで見ると約70%がセメント原料に使われている。

高炉セメントを使用したコンクリートは、普通セメントを



高炉セメントは、セメント輸送専用車や袋詰めして出荷

使用したものに比べて長期強度が大きい特長を持っており、多方面の用途に使われている。さらに優れた性質として、アルカリ骨材反応の抑制効果、海水や化学物質に対する耐久性が高い、塩素イオンによる鉄筋の腐食が少ない、発熱速度が小さい、環境への負荷が少ない、などが挙げられる。

高炉セメントはこれらの性質が高く評価され、護岸やダムなどの海洋・河川構造物、道路・鉄道構造物、各種土木、建築基礎、地盤改良工事などに使われており、国土交通省・農林水産省の直轄土木工事では、セメント・生コンとして90%以上の使用実績がある。これはグリーン購入法の特定期調達品目への指定、公共工事仕様書への記載などが大きな要因となっている。

また、最近では、建築工事での使用も増加している。杭や基礎、地中梁、連続壁などは、一般に部材断面が大きいこと、コンクリートの養生期間が取りやすいこと、かぶり厚さが比較的大きいことから、高炉セメントの使用が適している。東京都建築物環境配慮制度や政令指定都市などで実施されているCASBEE(※)では、大型の建築工事

高炉セメントが使用された構造物

小山ダム(茨城県)



明石海峡大橋



※ CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency、建築物総合環境性能評価システム)：2001年、国土交通省の主導のもとに、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された委員会が開発された、省エネルギー、省資源など環境負荷削減に加え、室内の快適性、景観など環境品質・性能の向上も含めた、建築物の環境性能を総合的に評価するシステム。

への高炉セメントの使用が推奨されている。東京都では同制度が2002年度から始まり、これまでに対象となる特定建築物の35%に高炉セメントが採用された。

CO₂の発生量を低減

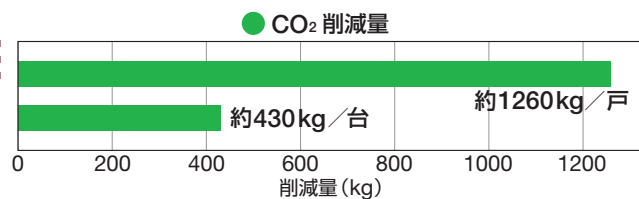
日本のセメント産業は、温室効果ガスの総排出量の約4%に相当するCO₂を排出しています。この殆どは、セメントの中間製品であるクリンカを製造する過程で、

石灰石を焼成することにより発生します。高炉セメントは、普通セメントに高炉スラグ微粉末を多量に混合させるため、クリンカの構成比を大幅に引き下げることによって、CO₂が削減できます。

政府は地球温暖化対策として、高炉セメントを拡大するため、経済産業省が「混合セメントの普及拡大方策」を検討するとともに、2016年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」に「混合セメントの利用拡大」が施策の一つに織り込まれています。

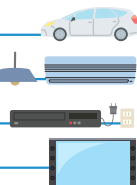
● 高炉セメントの場合

マンション一棟の20%に高炉セメントを使用すると
生コン車一台分を高炉セメントにすると



● 他の身近な取組み

マイカー通勤を1年間やめると(片道4km)と
一世帯で暖房照明を20%削減すると
一世帯で待機電力を80%削減すると
1日2時間テレビ利用を減らすと



東京湾アクアライン



国立国会図書館関西館



2 コンクリート用骨材

高炉スラグ骨材と電気炉酸化スラグ骨材

鉄鋼スラグから製造されるコンクリート用骨材としては、高炉スラグ骨材と電気炉酸化スラグ骨材があり、それぞれに粗骨材と細骨材がある。熔融状態の高炉スラグを徐冷し、粒度調整したものが高炉スラグ粗骨材、水で急冷した水砕スラグを粒度調整したものが高炉スラグ細骨材である。電気炉酸化スラグ骨材は電気炉から取り出された熔融スラグを徐冷または水や空気などで急冷し、粒度調整して造られた骨材である。

高炉スラグ骨材は、1977年に粗骨材、1981年に細骨材のJISが制定され、さらに日本建築学会や土木学会の各種指針に織り込まれ、主要なコンクリート骨材の一つとして広く使用されている。電気炉酸化スラグ骨材も2003年にJISが制定され、利用が進みつつある。

鉄鋼スラグ骨材の特徴

鉄鋼スラグ骨材は適切な品質管理のもとで製造された工業製品であり、コンクリートの耐久性に影響を及ぼす有機不純物や粘土、貝殻などを含まないこと、品質のばらつきが少ないこと、アルカリシリカ反応によ

る膨張が認められないことなどの優れた特徴がある。

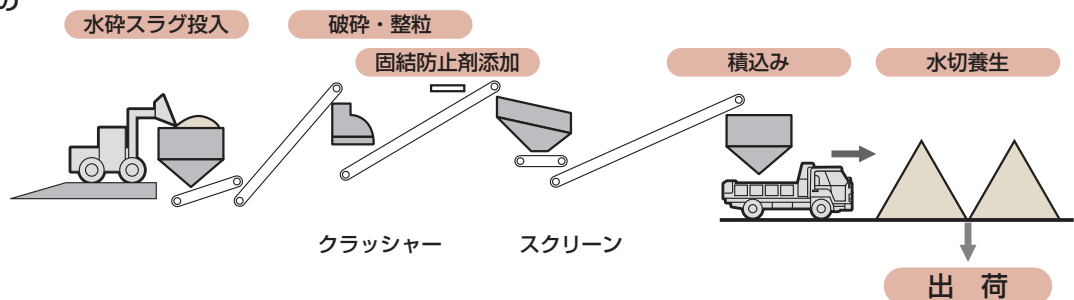
これらに加えて、高炉スラグ細骨材にはコンクリートの乾燥収縮を抑制する効果があることが注目されている。乾燥収縮はコンクリートのひび割れの主要な要因の一つであり、コンクリートの耐久性向上への寄与が期待される。電気炉酸化スラグ骨材は、絶乾密度が約 3.6g/cm^3 と他の骨材に比べて高いという特長を生かし、放射線遮蔽用コンクリートや重量コンクリートにも適用されている。

2013年には両骨材のJISが改正され、環境安全性の観点から溶出量、含有量の規定が導入されたことから、環境に対する安全性の高いコンクリート用資材として認知されている。

天然骨材の代替材として環境保全に貢献

2006年の瀬戸内海における海砂採取全面禁止や海外砂の輸入停止を契機に、天然骨材枯渇への対応という社会的ニーズが高まり、鉄鋼スラグ骨材の販売量は大幅に増えた。高炉スラグ骨材は2002年度、電気炉酸化スラグ骨材は2005年度にグリーン購入法に基づく特定調達品目に指定されており、天然資源の開発抑制による環境保全や天然資源採掘時の使用エネルギー及びそれに伴い発生する CO_2 削減に貢献する環境資材として高く評価されている。

高炉スラグ細骨材の製造フロー例



細骨材と粗骨材



高炉スラグ細骨材



高炉スラグ粗骨材



電気炉酸化スラグ細骨材



電気炉酸化スラグ粗骨材

適用例



神戸港メリケンパークで敷き詰められたインターロッキングブロック (高炉スラグ細骨材)



広島港護岸工事のプレキャストブロック (高炉スラグ細骨材)



消波ブロック (電気炉酸化スラグ骨材)

鉄鋼スラグ骨材の特徴

- 有機不純物、粘土、貝殻などを含まない、均一な化学成分の工業製品である。
- 反応性シリカを含まないため、アルカリシリカ反応を起こさない。
- 天然砂利や碎石の代わりとして使用することで貴重な天然資源の保全に貢献する。

3 道路

優れた耐久性と経済性

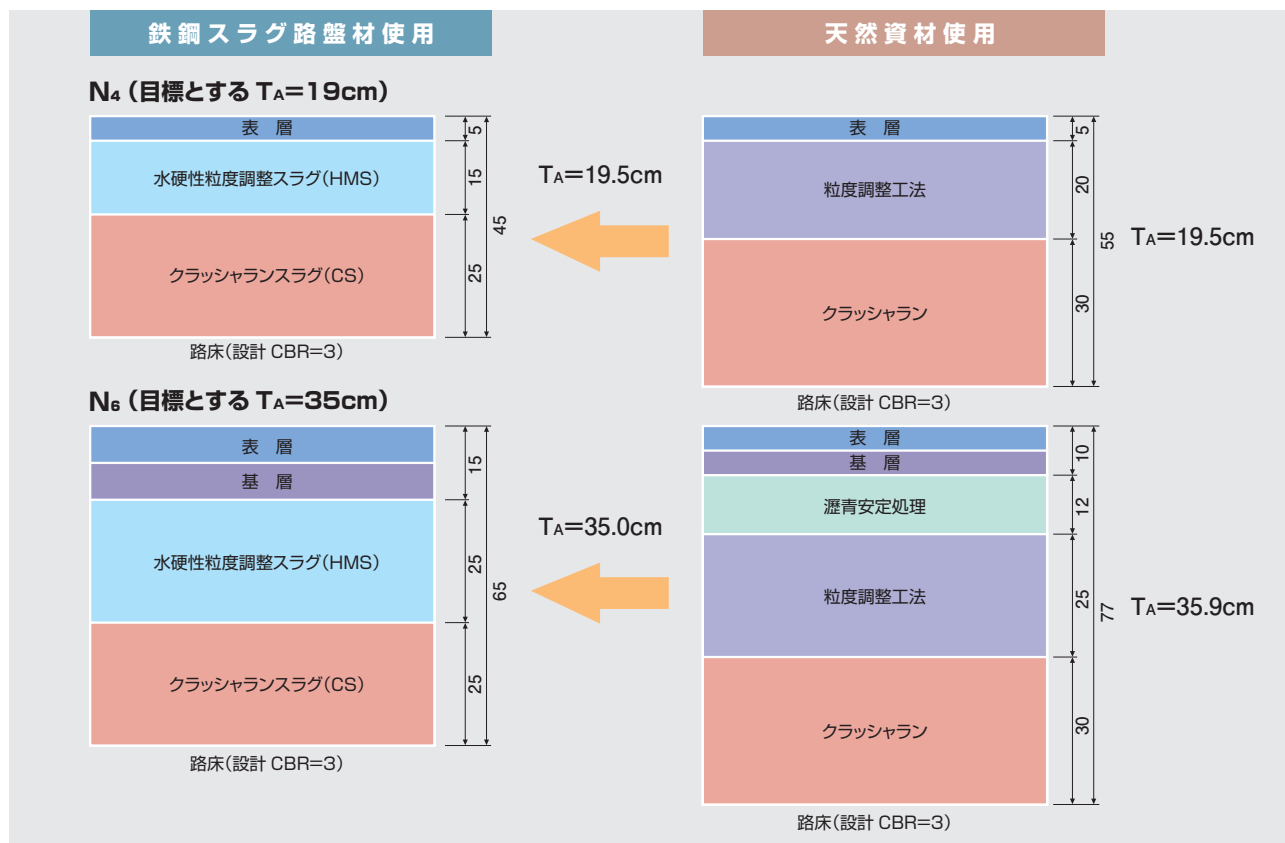
道路用鉄鋼スラグは、高炉スラグおよび製鋼スラグを破碎・整粒し舗装用素材として製造するもので、それぞれを単体または混合して製造する路盤材や、製鋼スラグから製造するアスファルト混合物用骨材として使用されている。

鉄鋼スラグの道路用材料への活用は、1960年代から研究が開始され、エージング技術、粒度構成など

の重要な技術が開発された。その結果、設計施工指針が作成され、アスファルト舗装要綱に組み込まれた。さらに1979年にはJISが制定され、環境安全面での品質基準を取り入れる等、数回の改正を経て現在のJIS A 5015に至っている。

代表的な鉄鋼スラグ路盤材である水硬性粒度調整スラグ「HMS-25(※)」は、長期にわたって硬化するため、その特長を活かした利用により、一般の碎石(粒度調整碎石)よりも断面を薄くすることができる。また、施工直後の交通解放が可能、作業中に雨が降

鉄鋼スラグ路盤材と天然資材との比較



※ HMS-25: 鉄鋼スラグを 0~25mm に粒度調整した上層路盤材。

り出した場合にも路盤の締め固め作業が通行可能など、良好な施工性も高く評価されている。製鋼スラグは、路盤材としての利用の他、硬質かつ耐摩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ている。

2002年度には鉄鋼スラグ混入路盤材と鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物が、グリーン購入法における特定調達品目に指定されており、環境保全に資する材料としても広く認知されている。

黄色水・膨張崩壊対策は エージングで解決

高炉スラグには少量の硫黄が含まれている。硫黄は水と接触すると黄色に変色したり、温泉臭がすることがあるが、この現象を防止するため、破碎後に空気と硫黄を反応させ安定したチオ硫酸イオンや硫酸イオンに酸化させたり、炭酸ガスで中性化し黄色水の色や臭気を消失させるエージングを行っている。エージングは、破碎・ふるい分けした製造直後品を安定するまでヤードに積み付ける方法で実施されている。

製鋼スラグもまたエージングを行っている。製鋼原料（銑鉄、スクラップ）の精錬に用いる生石灰は、十分に溶解されないと不安定なままスラグ中に残存する場合がある。この溶解不十分な生石灰は遊離石灰と呼ばれ、水と反応すると体積が膨張するため、アスファルトが下から押されて破壊される花咲き現象（ポップアウト）を起こす場合がある。この現象を防止するため、エージングによって事前に遊離石灰を水分と反応させて消石灰に変え、体積を安定させている。エージングには蒸気または高圧蒸気の高温と水を利用して反応を促進する方法や破碎後安定化するまでヤードに積み付ける方法がある。

膨張安定性評価の指標である水浸膨張比の規格値は、平成27年の「鉄鋼スラグ路盤設計施工指針」発刊時に検討し、規格値を1.5%から1.0%に厳格化した。

施工例



鉄鋼スラグ混入路盤材

使用例



東九州自動車道（NEXCO 西日本提供）



東九州自動車道（NEXCO 西日本提供）

4 土木・港湾

天然砂より軽量

土工用水砕スラグは、護岸の裏込め、軟弱地盤対策用の覆土、路床、盛土などに利用されている。

砂状の水砕スラグは、天然砂と比べて軽量、せん断抵抗角が大きいといった物理的、力学的特性を有する。さらに、経時的に水和して固結する水硬性を有しており、地震時の液状化に対する抵抗性が大きくなる。護岸の裏込め、裏埋め材料として水砕スラグを用いると、軽いことと、せん断抵抗角が大きいことが効果的に作用して、前面の矢板などに働く主働土圧を大幅に減少させ、矢板の断面を小さくすることができる。

また、完全に固結すれば地震時に液状化しなくなるため、液状化対策が不要となる。軟弱地盤の覆土による改良に水砕スラグを用いた場合、軽いこと、水の影響を受けないこと、トラフィカビリティーに優れることから、軟弱層の側方流動の危険性や圧密沈下量も減少する。

土工用水砕スラグの特徴

- 天然砂と比べて軽量
(湿潤単位体積重量11~16 kN/m³)
- せん断抵抗角35°以上、設計CBR20~30%で、天然砂以上の強度を有する
- 水硬性により長期強度や耐久性が向上
- 固結していない場合の透水係数10⁻²~10⁻⁴ m/sであり、良質な砂と同等以上

水砕スラグで造成した路床は、軟弱地盤に適した軽い路体で、交通荷重に対して大きな変形を起こさず、十分な支持強度を有する。また水硬性の発現により、繰り返し交通荷重の作用の下でも浸透水による強度低下を起こさないなどの特長があり、経済性、施工性はもちろんのこと、道路構造物としての耐久性にも優れている。

水砕スラグで盛土をする場合は軽量であること、せん断抵抗角が大きいことから、軟弱地盤上の盛土工事においては、設計上有利となる場合がある。

裏込め材の軽量化でコスト縮減 —名古屋港飛鳥ふ頭南地区岸壁—

2005年に共用開始された名古屋港飛鳥ふ頭南側コンテナターミナルは、水深16mの耐震強化岸壁であり、1万TEU(*)超のコンテナ船の接岸も可能な国内最大級のものである。

この岸壁の裏埋め材を砕石などから水砕スラグに設計を見直すことで、前面の鋼管矢板や控え杭の断面を小さくすることができ、工事コストを大幅に縮減(国土交通省名古屋港湾事務所公表値:約18%縮減)した。

超軟弱地盤の沈下対策 —北九州空港—

2000~2002年にかけて、北九州空港の軟弱地盤改良工事で約150万tの高炉水砕スラグが使われた。北九州空港は周防灘の沖合約3kmに建設され、北九州港や荻田港などの航路整備で発生する浚渫土を埋め立てに活用したため、超軟弱地盤の沈下対策が求められた。浚渫土は自然状態のままでは強固な地盤になるまでに、相当長期間かかる

* TEU: コンテナ船の積載能力を示す単位。1 TEUで20フィートコンテナ1個分に相当。

と言われている。超軟弱地盤を早期に強固な地盤にするため、空港建設ではサンドマットを施工し、ペーパードレーン工法による地盤改良が行われた。高炉水砕スラグは、天然材に比べて軽量であるため、埋立地の沈下量を低減させることが評価され、サンドマット材の一部に採用された。工事は新門司沖の第一工区で海砂層 90cm 厚の上に高炉水砕スラグ 60cm 厚(約 55 万 m³)、第二工区で海砂層 90cm 厚の上に高炉水砕スラグ 90cm 厚(約 65 万 m³)が敷設された。

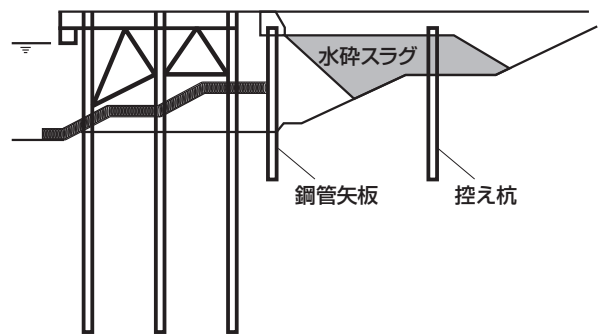
北九州空港



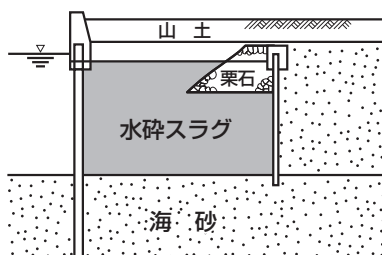
名古屋港飛島ふ頭



名古屋港飛島ふ頭南地区岸壁



裏込め鋼矢板タイプとケーソンタイプ



5

地盤改良

周辺海域への影響を実証

鉄鋼スラグ協会は、1993年度から(財)沿岸技術研究センターと共同で製鋼スラグの港湾工用材料としての適用技術の研究に着手し、2000年に『港湾工用製鋼スラグ利用手引書』を作成、2015年2月には、(財)沿岸技術研究センターより『港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル』が発刊されている。

この研究では、物理特性だけでなく、神戸ポートアイランドで陸上サンドコンパクションパイル(SCP)、広島港で海上SCPの試験工事を行い、海域に与える影響も調査した。SCPとは、軟弱地盤中に締め固めた砂の杭を打ち込むことで地盤の強度を上げる地盤改良工法である。地盤改良用製鋼スラグは、天然の砂に比べて単位体積質量とせん断抵抗角が大きいという土質工学的特性を活かし、地盤改良工事の工費低減を可能とすることがわかった。

また、製鋼スラグの適用による海域への環境影響については、製鋼スラグからの溶出水のpHは通常高い値を示すものの、SCP中詰材として利用した場合にはケーシングパイプ中に封じ込められて施工され、海水と直接接触することがほとんどないため周辺海域のpHの上昇はほとんどないことが確認されている。

SCP材料に天然砂の代替として製鋼スラグが利用可能と評価されたことで、各地の港湾で利用された(P44表参照)。特に、瀬戸内海などでは、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、SCP中詰材として地盤改良用製鋼スラグは急速に普及することとなった。

広島県の大竹港東栄地区の多目的国際ターミナル岸壁(-11m)の整備では、重力式護岸下の沖積粘土層約20m厚の地盤改良において、製鋼スラグを中詰材としたSCP工法(改良率70%)が採用された。その結果、約5%のコスト削減が図られるとともに、周辺海域への環境影響を考慮し、工事期間中は環境監視、使用材料については海洋汚染防止法に基づく溶出試験を行い、全て基準値をクリアしていることが確認できた。

液状化対策としての利用

—名古屋港鍋田ふ頭岸壁—

陸上におけるSCP工法での利用事例として、2009年名古屋港鍋田ふ頭岸壁(-12m)地盤改良工事に採用された。従来の天然砂を用いた場合と同等の施工性で材料費が安価であることから、全体で約10%のコスト改善に寄与した。(国交省中部地方整備局 資料「公共事業コスト構造改善プログラム」【施策名：Ⅱ計画・設計・施工の最適化【2】施工の見直し施策11】) 使用材料の変更によるコスト改善 より)

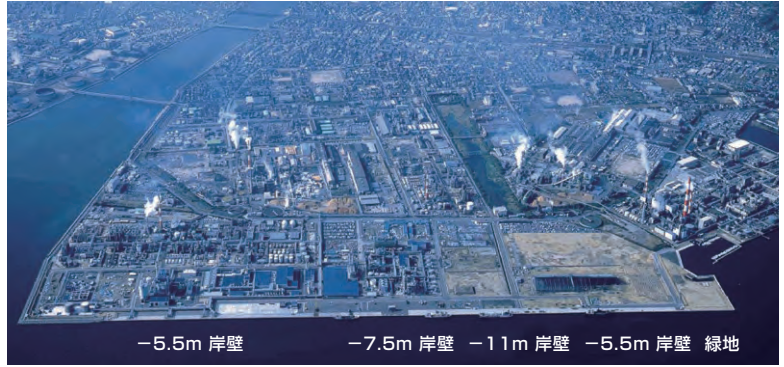
地盤改良用製鋼スラグの特徴

- 形状は稜角に富み、表面は粗で、天然の碎石や砂に類似
- 粒子密度は $3.2 \sim 3.7 \text{ g/cm}^3$ と天然石材と比べて大きく、単位体積質量も湿潤重量(含水比5%)で $19 \sim 26 \text{ kN/m}^3$ 、水中で $14 \sim 16 \text{ kN/m}^3$ と重い
- せん断抵抗角 40° 以上

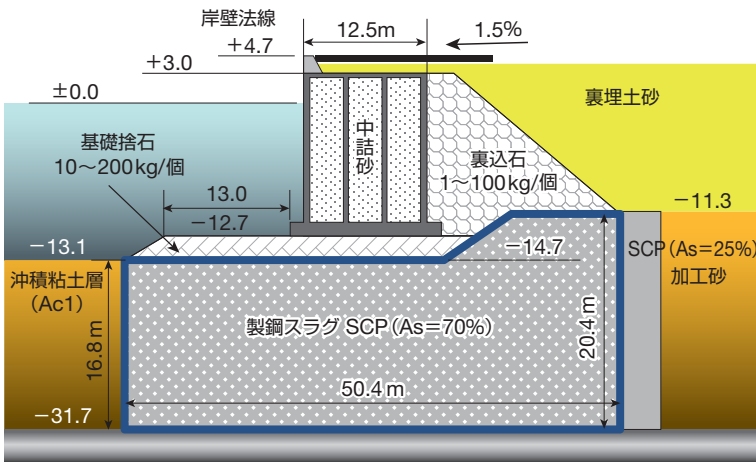
広島県大竹港東栄地区 多目的国際ターミナル岸壁（-11m）整備



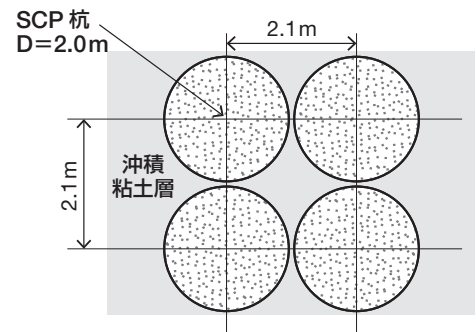
海上SCP施工状況



大竹港東栄地区岸壁全景（広島湾再生プロジェクトHP）



大竹港東栄地区岸壁断面

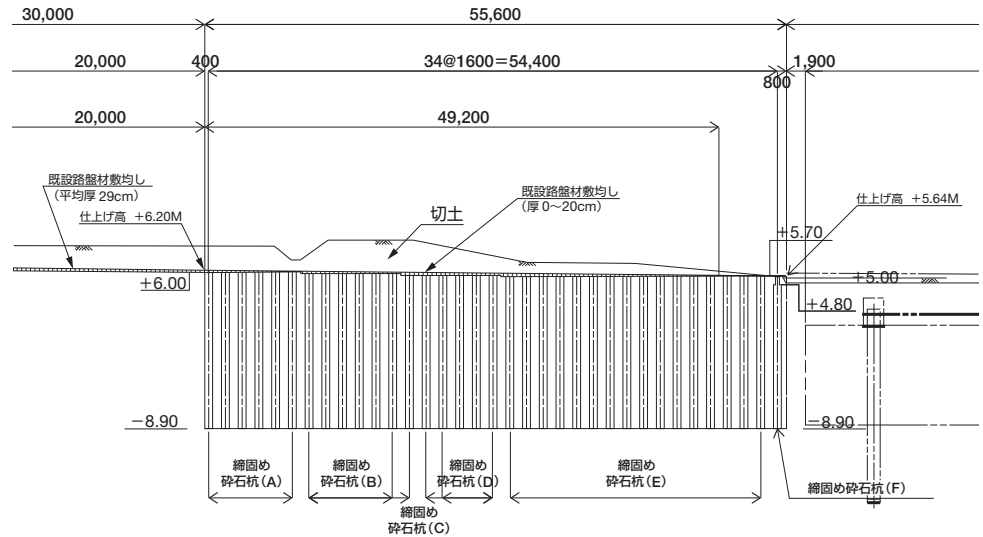


SCP平面配置

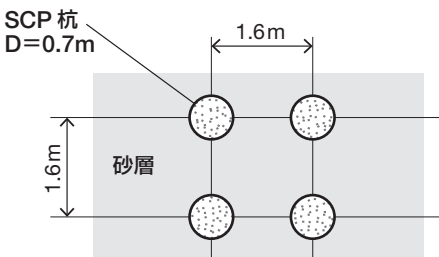
名古屋港鍋田ふ頭岸壁（-12m）地盤改良工事



陸上SCP施工状況



製鋼スラグSCP施工断面の一例



鍋田埠頭SCP配置図

6 肥料

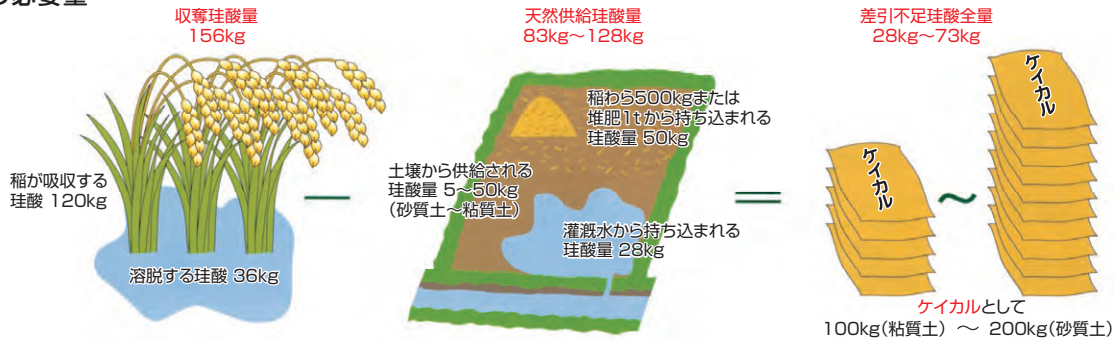
高炉スラグは肥料成分である CaO 、 SiO_2 、 MgO を含んでいるため、「鉱さいけい酸質肥料」（ケイカル肥料）として稲作用に使われている。製鋼スラグもまた、これら3成分のほかに FeO 、 MnO 、 P_2O_5

などを含んでおり、稲作用のほかに、畑作、牧草用として幅広く利用されている。

さらに、アルカリ分の作用により、土壌の酸性を改善する。

珪酸の必要量

(10aあたり)



特性と優位性

〈ケイカル肥料〉(高炉スラグ利用)

珪酸による丈夫な稲づくり

- ・葉の受光態勢が向上し、光合成が促進する
- ・根の活力が旺盛になり、下葉の枯れ上がりを抑える
- ・茎が丈夫になり、倒状を防ぐ
- ・葉の表皮にケイ化細胞ができ、いもち病を防ぐ

乾物生産が旺盛

- ・生育中期 もみ生産効率の向上 (もみ数の増加)
- ・生育後期 登熟の向上 (千粒重の増加)

収量・外観品質・食味の向上

- ・もみ数と千粒重の増加で増収
- ・外観品質の向上で一等米比率が増加
- ・登熟の向上で食味が良くなる

〈転炉石灰肥料〉(製鋼スラグ利用)

水田

- ・酸化鉄・マンガンにより根に活力を与える
- ・珪酸・石灰・リン酸・苦土により丈夫な稲を作る
- ・鉄分欠乏土壌の改良(根腐れ・ゴマ葉枯れ・秋落田)に効果的

畑

- ・珪酸・酸化鉄・石灰をはじめ、苦土・リン酸・マンガン・ホウ素などの作物が必要とする沢山の肥料成分をバランスよく含んだ総合的土づくり肥料
- ・酸性・老朽土壌の改良に役立ち、塩基を増やすだけでなく有機物の分解を促進しバランスの良い土づくりが可能

製品



水砕スラグを用いた肥料



転炉石スラグを用いた肥料

ケイカル散布の様子



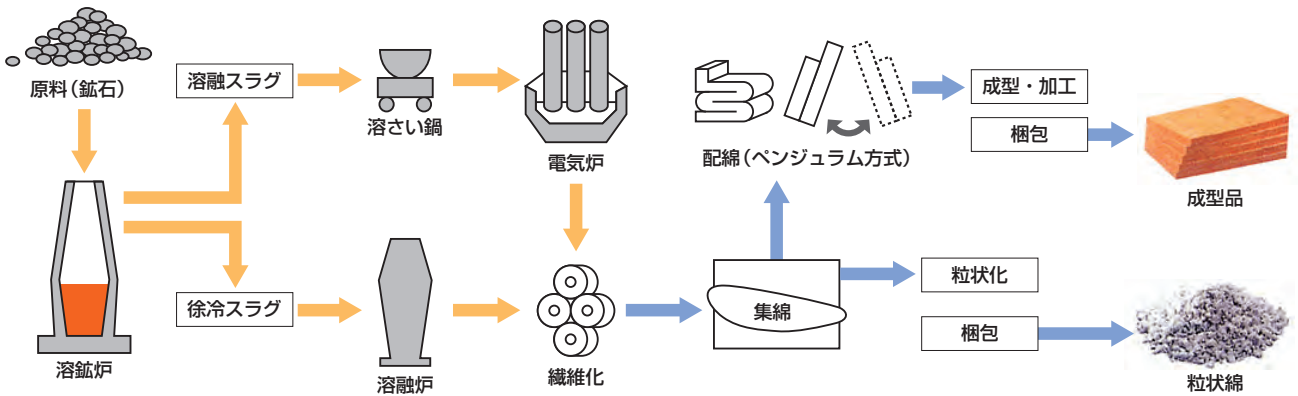
7

ロックウール

高炉スラグなどの原料をキュポラや電気炉で高温で再溶融し、吹き飛ばして繊維状にする。繊維状にしたロックウールは集綿室で集綿され、用途に応じて解繊・粒状化して「粒状綿」に、バインダーを添加

して硬化炉で固めて、一定の密度・厚さに調整して、ボード状、住宅用のマット状などの「成型品」に加工し、製品にする。

製造フロー図



ロックウールと断面図



ロックウール適用例



II 大規模プロジェクトでの採用例

1 東京国際空港 D滑走路建設外工事

東京国際空港D滑走路は、現在の空港島の沖合に全長3,120mの空港島を造成し、そこに2,500mの滑走路を整備するもので、空港島は、1,100mは鋼製ジャケットを用いた栈橋構造、2,020mは埋立構造とする2つの構造体をあわせたハイブリッド構造となっている。この埋立工事の地盤材として、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材をはじめとする鉄鋼スラグ製品（約180万トン）が、中仕切堤、液状化対策材、仮設道路材用途に使用された。

東京国際空港 D 滑走路建設外工事



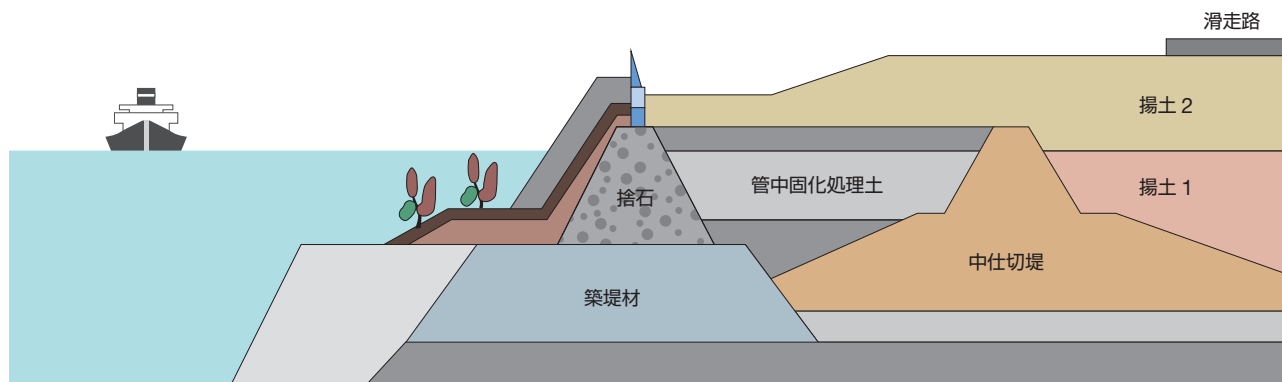
鉄鋼スラグ製品使用数量

(万トン)

	鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材	高炉水砕スラグ	製鋼スラグ	合計
中仕切堤	23	74		97
揚土 1 (液状化対策材)	19			19
揚土 2 (仮設道路材)	60		9	69
合計	102	74	9	185

※他に、管中混合固化処理土用に、高炉セメントが36万トン使用されています。

東京国際空港 D滑走路建設外工事における鉄鋼スラグ製品の適用部位



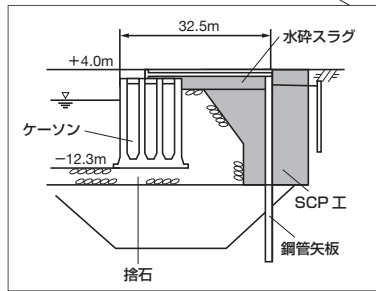
2

大震災復興工事への貢献

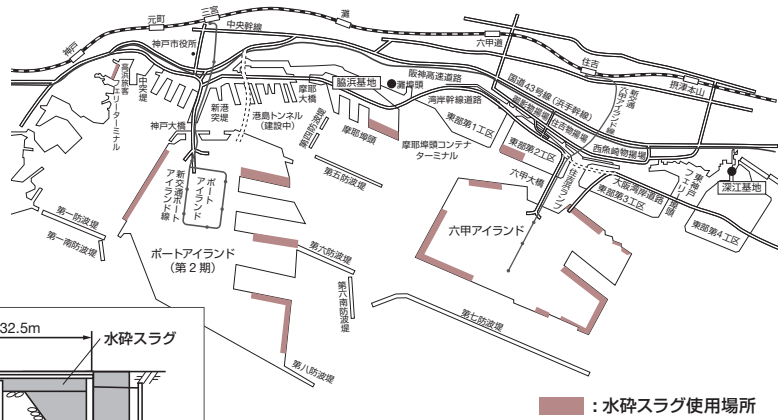
阪神淡路大震災

—神戸市六甲アイランド

1995年に起きた阪神淡路大震災では、神戸港岸壁復旧工事に約110万tの高炉水砕スラグが使われた。神戸港六甲アイランド地区岸壁は、当時、ケーソンと呼ばれる構造物を支える基礎が大きく変位する被害を受けた。復旧に際しては、既設構造物に加わる荷重をできるだけ低減させる必要があったため、土圧軽減を図るべく、幅約19mの範囲に高炉水砕スラグで埋め戻す工法が採用された。



神戸港復旧工事での水砕スラグ使用場所



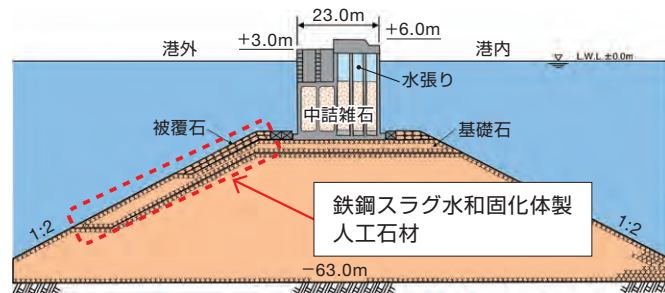
神戸港岸壁復旧工事（神戸市六甲アイランド）

東日本大震災

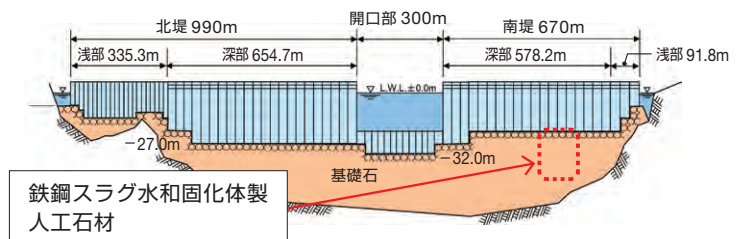
—釜石湾口防波堤

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の防波堤への適用事例として、東日本大震災で被災した釜石湾口防波堤の復旧工事では、防波堤ケーソンのマウンドの被覆石として採用された。湾口防波堤の災害復旧は、南堤 370m（全長 640m）、北堤 870m（全長 990m）、開口部 300m の区間が対象となり、2018年3月末に完成し、約20万m³の固化体人工石材が採用された。

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の使用部位（被覆石）



釜石湾口防波堤の側面図



3 大規模プロジェクトの採用例

名称	使用量(単位:m ³)	用途(スラグの種類)	施工時期(年)
阪神淡路大震災復興工事	1,200,000	岸壁の耐震性強化(水砕スラグ製品)	1996
北九州空港	1,380,000	軟弱地盤改良(サンドマット)(水砕スラグ製品)	2000~2002
中部国際空港	1,170,000	滑走路路盤材等(水砕スラグ製品、製鋼スラグ製品)	2001~2004
神戸空港	900,000	滑走路路盤材等(製鋼スラグ製品、水砕スラグ製品)	2003~2004
関西国際空港2期工事	510,000	滑走路路盤材等(製鋼スラグ製品、水砕スラグ製品)	2004~2007
東京国際空港D滑走路工事	1,180,000	中仕切堤、仮設道路材等(水和固化体人工石材、水砕スラグ製品、製鋼スラグ製品)	2007~2010

4 その他の主な採用例

土工用水砕スラグ製品 (100,000m³以上)

名称	使用量(単位:m ³)	用途	施工時期(年)
下津港工事	227,000	覆土	1998
三島・川之江金子地区工事	203,000	護岸裏込め	1998~
茨城県南東部市町村工事	296,600	路床、排水路基礎等	2000~2004
名古屋飛島第2岸壁工事	100,000	護岸裏込め	2006~2007
新北九州空港	184,000	軟弱地盤改良(サンドマット)	2010~2011

地盤改良用製鋼スラグ製品 (100,000m³以上)

名称	使用量(単位:m ³)	用途	施工時期(年)
名古屋港鍋田埠頭西5区工事	125,000	SCP	1997~1998
尾道糸崎港貝野地区岸壁工事	158,000	SCP	1998~2000
大竹港修築岸壁工事	146,000	SCP	1998~2000
呉市阿賀マリノポリス工事	268,000	SCP	1998~2000
尾道糸崎港貝野地区岸壁工事	110,000	SCP	1999~2000
大竹港東栄地区岸壁築造工事	242,000	SCP	2001
大竹港東栄地区岸壁築造工事	210,000	SCP	2002
新居浜港廃棄物護岸築造工事	168,000	SCP	2002
東京港10号地工事	231,000	SCP	2007
長崎港(小ヶ倉柳地区)岸壁地盤改良工事	120,000	SCP	2009
愛知県鍋田埠頭	120,000	SCP	2009~2010
長崎港改修工事	342,500	SCP	2009~2011
宮城県北上川下流部堤防	150,000	SCP(陸域)	2013~2014
羽田空港沖合展開工事	1,366,000	載荷盛土・舗装	1985~1993
横浜港大黒ふ頭コンテナヤード	205,000	載荷盛土・舗装	1990
横浜市大黒ふ頭二期地区工事	144,000	載荷盛土・舗装	1991~1992
神戸市ポートアイランド	257,000	埋立材	2004~2005
寒川東部臨海土地造成工事	370,000	中仕切り堤	2005~2007
福山港本航路地区仮設通路工事	250,000	仮設道路・裏埋め	2006~2007
福山港本航路地区	644,800	盛土	2006~2008

※) 使用量は、港湾工事推奨用リサイクル製品便覧リサイクルポート推進協議会、鉄鋼スラグニュース(鉄鋼スラグ協会)より抜粋。

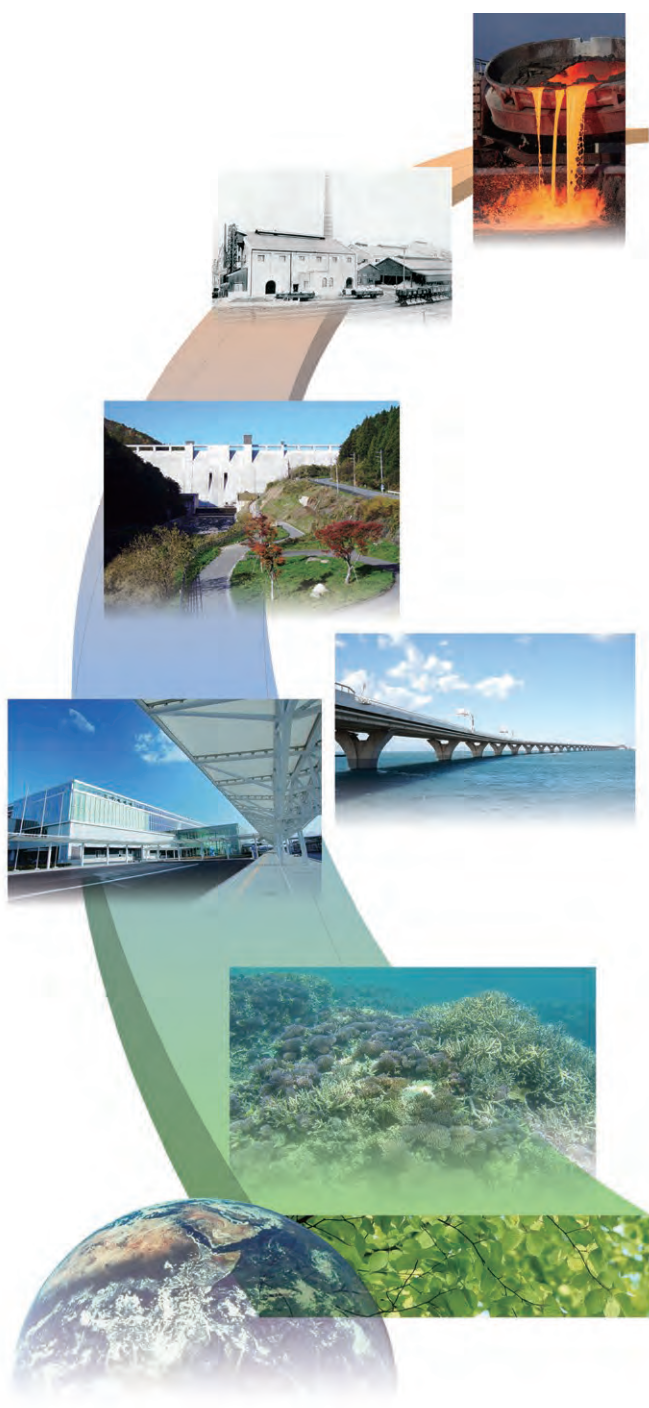
FUTURE

新たな挑戦

I 環境・グローバル時代に注目される利用技術開発	P46
1 海域環境改善・修復への貢献	P47
2 低炭素社会への貢献	P53
3 他材料との組み合わせによる利活用	P54
II 鉄鋼スラグ製品規格・基準類一覧	P55
III 鉄鋼スラグ利用のあゆみ	P56

I 環境・グローバル時代に 注目される利用技術開発

未来に向けて、 環境資材「鉄鋼スラグ」



わが国における鉄鋼スラグの利用技術開発は、セメント分野、道路分野などを中心に、約1世紀にわたり取り組まれてきた。しかし、経済や産業が成熟し、社会インフラへの新規投資などが減少傾向にある中で、今後とも鉄鋼スラグの有効活用を継続するためには、社会のニーズに適応した安定的な需要を創出する用途の開発と市場の開拓を行っていく必要がある。鉄鋼スラグ協会は、従来からの利用をより深化していくことに加えて、鉄鋼スラグのさまざまなポテンシャルを発揮するため、以下のような観点が今後ますます重要になると考え開発を進めている。

- 鉄鋼スラグの持つ環境修復効果を活用する。特に海域においては、埋め立てなどによる開発に重点が置かれてきたが、今後は、港湾地域の自然災害への対応や、失われた海域の自然環境を修復することも重要なテーマである。鉄鋼スラグが含有する鉄分やミネラル成分は、海域の環境修復に効果的との知見が得られている。
- 地球環境問題の重要性が増す中で、改めて鉄鋼スラグの活用による省エネルギーやCO₂削減効果の極大化を図る。例えば、高炉セメントに代表される、高炉スラグ微粉末の結合材としての活用によるCO₂削減は、今後の地球温暖化防止対策の一つとして考慮する余地がある。
- 様々な鉄鋼スラグの組み合わせや、鉄鋼スラグと他の素材の組み合わせなど、複数の素材の掛け合わせによるハイブリッドな効果の発揮を追求する。単体では得られなかったさまざまな長所が生まれ、多方面での実用化が期待される。

こうした利用範囲の拡大は、わが国の循環型社会のさらなる推進、持続可能な発展を図ることへも貢献することとなる。鉄鋼スラグ協会および加盟各社は、公共事業をはじめとする各種工事に継続して活用いただくため、国・地方公共団体はもとより、大学・研究機関など、関係各方面のサポートもいただき、皆様のご理解を得ながら積極的に普及・拡大に取り組んでいく。ここからは最近の利用技術開発事例を紹介する。

1

海域環境改善・修復への貢献 ～鉄とともに豊かな海をつくる

鉄鋼スラグ水和固化体製 ブロック・人工石材 (JFEスチール & 新日鐵住金)

鉄鋼スラグ水和固化体とは、セメントコンクリートの代替物として開発されたもので、結合材としてセメントの代わりに高炉スラグ微粉末、骨材として天然石砂の代わりに製鋼スラグ、必要に応じてアルカリ刺激材や混和材を混合して製造するリサイクル製品である。ほとんど全ての原材料にリサイクル品を使用することから、セメント製造時のCO₂発生の抑制や天然骨材採取による環境影響の抑制が期待できる。

鉄鋼スラグ水和固化体は、基本的にコンクリート製品と同じプロセスで製造される。コンクリートプラントと同様の設備を用いて混練し、型枠に流し込むことで任意の形状のブロックを製造することができる。また硬化後に破碎することで任意の大きさの石材を製造することもできることから、主に港湾工事における消波ブロックや被覆ブロック、石材代替材に適用されている。施工実績としては国土交通省のブロック工事や羽田D滑走路工事、東日本大震災後の護岸復興工事、各製鉄所の

護岸工事など140万m³(2016年度実績)以上に達している。なお、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材(フロンティアストーン[®]、フロンティアロック[®])は、(一財)沿岸技術研究センターから港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書第07001号を取得しており、グリーン購入法特定調達品目にも指定されている。鉄鋼スラグ水和固化体の特長を以下に示す。

①密度

鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材の密度は1.8～2.7 t/m³で、使用する原料や配合により異なる。また、鉄鋼スラグ水和固化体製ブロックは、標準的な配合で2.3～2.6 t/m³(普通コンクリート約2.3 t/m³)と大きく、波浪安定性に優れる。

②機械的特性

28日強度で、準硬石相当の天然石材と同等の9.8 N/mm²以上、配合によっては30 N/mm²程度の強度発現が可能であり、普通コンクリートよりも長期強度の伸びが大きい。曲げ強度や引張強度は、同じ圧縮強度の普通コンクリートと同等である。また、すりへり係数は普通コンクリートよりも小さく、耐摩耗性に優れる。

鉄鋼スラグ水和固化体製ブロック、人工石材の概要

項目	鉄鋼スラグ水和固化体製 ブロック	鉄鋼スラグ水和固化体製 人工石材
主な用途	異形ブロック、根固方塊、捨ブロック、 上部工(無筋コンクリート)など	割ぐり石(緩傾斜護岸・被覆石)、 裏込石、埋立材
密度	2.3～2.6 t/m ³ (単位体積質量)	1.8～2.7 t/m ³ (絶乾密度)
圧縮強度 ※28日強度(標準養生)	18 N/mm ² 以上が可能*)	9.8～35 N/mm ²
環境 適合性	pH	9.0以下**)
	生物付着性	普通コンクリートと同等級以上
		天然石材と同等

*) 一般的な異形ブロックの設計基準強度 **) 海水溶媒 固液比1:10

③低アルカリ

主な結合材が高炉スラグ微粉末であるため、海中でのアルカリ成分の溶出が少ない。

④優れた生物付着性

原料の製鋼スラグには、鉄や珪素などの生物に必須の元素を多く含まれるため、海洋環境下における付着生物の種類数、付着生物量が同等以上に多くなる傾向が確認されている。

向が確認されている。

⑤任意の形状・粒度の石材供給が可能

発注者・使用者のご要望に応じて、粒径や粒度分布のつくり込みが可能となる。例えば、粒度分布を整えることで、せん断抵抗角 ϕ_0 は 35° 以上が確保でき、また、10%通過粒径(D_{10}) $\geq 1\text{mm}$ と管理することで非液状化材料として利用できる。

フロンティアロック®を用いた港湾修繕工事



鉄鋼スラグ水和固化体製ブロックを用いた護岸補強工事



出荷前のフロンティアロック®



フロンティアロック®への海藻類付着状況と観察されたイシモチの群れ





軟弱浚渫土の有効活用技術 (カルシア改質土)

カルシア改質土は、航路浚渫工事などで大量に発生する“軟弱な浚渫土”に、転炉系製鋼スラグを原料として成分管理と粒度調整を施した“カルシア改質材”を混合することにより、物理的・化学的性状を改質した材料である。

カルシア改質材を浚渫土と混合すると、浚渫土のシリカ分・アルミナ分とカルシア改質材からのカルシウム分が水和固化してカルシウムシリケート系水和物 (C-S-H) やカルシウムアルミネー系水和物 (AFm) が形成され、浚渫土の強度が改善される。

また、カルシア改質材は、浚渫土に混合すると即時に浚渫土の水分を吸収し、材料分離を抑制する作用を発揮するため、混合直後のカルシア改質土を海水中に投入する場合においても、濁りの発生が抑制される。

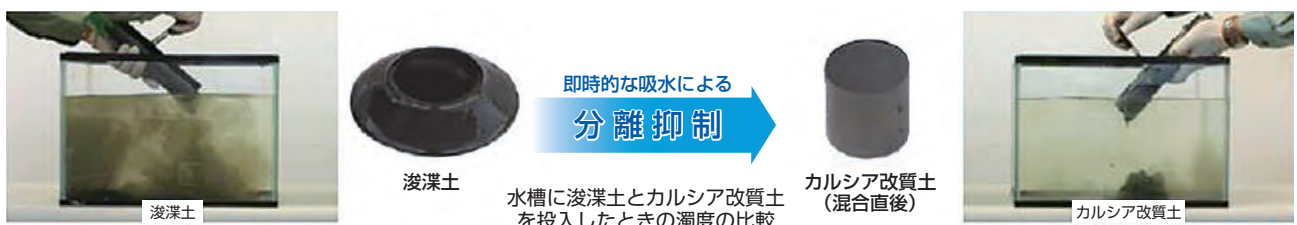
他にも、カルシア改質土は以下のような特長を有するため、様々な用途への活用が可能である。

- 法面勾配の形成が可能である
- 液状化に抵抗できる
- 海水中で長期的な劣化が生じない（耐久性を有する）

例えば、

- ①海面に人工の地盤を造成する「埋立」に用いた場合、強度発現が早く圧密沈下も小さいため、埋立工期の短縮が可能となる
 - ②生物の産卵や生育の場であるとともに、生物による水質浄化の場となる「浅場や干潟の基盤造成」に用いた場合、自然の海岸のように勾配を設けることが可能であり、かつ強度を有するために表面に設けた生物生息空間（覆砂や築磯等）を安定的に保持できる
 - ③大規模な埋立工事を区分けして効率的に施工していくために設ける「中仕切り堤」に使用した場合、埋立材のみならず従来は天然石を使用していた中仕切り堤にも浚渫土を有効活用することができる
 - ④護岸の安定性を増すために背後を拡幅する「腹付け」に使用した場合、護岸背面の液状化が抑制されるのみならず、難透水性であるために防砂シートを使わずに背後の埋め立て用材の流出を防止することも可能である
- 等である。

濁りの抑制効果の比較



カルシア改質土の用途事例（左：埋立材、中：腹付け材、右：浅場・干潟基盤材）



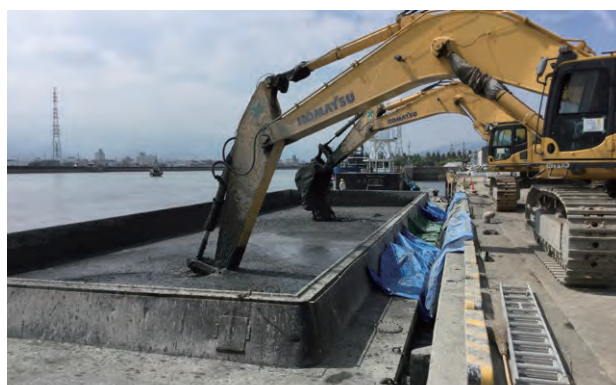
カルシア改質土の開発は、2004年度から2007年度にかけて（一社）日本鉄鋼連盟にて実施した経済産業省補助金事業での基礎研究に始まった。大阪府堺市の北泊地で行われた3,000m³規模のマウンド造成とモニタリング調査により、室内試験や水槽実験で確認した有用性・安全性が実施工でも得られることを確認しており、得られた技術的な知見は「転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き」および「転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き 別冊 転炉系製鋼スラグと浚渫土との混合改良工法 技術資料」にとりまとめられた。なお、これらの成果は、2012年度に実施した50万m³規模の大規模埋立て工事等によってさらなる知見の蓄積がはかられたことにより、「設計・施工マニュアル(カルシア改質土研究会)」の発刊へとつながった。

その後、さらなる施工実績の積み重ねを経て、「設計・施工マニュアル」は、その確からしさが実証され、2016年度には（一財）沿岸技術研究センターから「沿岸技術

ライブラリー“港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル”」が発刊されるに至った。

現在では国土交通省の事業への採用が開始され、四国地方整備局が愛媛県西条市の東予港中央地区にて実施した耐震強化岸壁築造工事では、雑石と同等の液状化抵抗性を持つ材料として岸壁の裏埋め材としての活用がなされた。

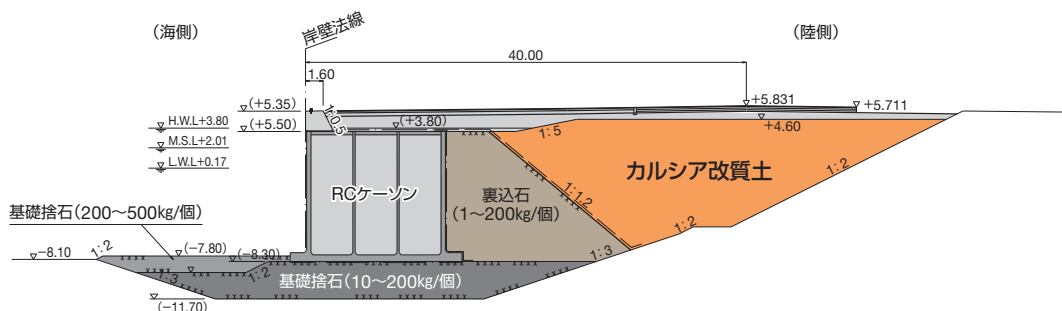
東予港耐震強化岸壁築造工事での適用状況



管中混合施工による大規模埋め立て



出断面図（東予港中央地区 耐震強化岸壁築造工事）



鉄分供給ユニット 「ビバリー®ユニット」(新日鐵住金)

近年、日本各地の沿岸では、「磯焼け」という現象が発生し、沿岸漁業に打撃を与えている。磯焼けとは、沿岸の磯のコンブやカジメなどの大型海藻類が枯死消失し、代わりに無節・有節の石灰藻類が岩面を覆うことにより、一面が白くなってしまう状態を言う。

磯焼けは、海水温の上昇、これによる植食動物の過剰な活性化、水質汚濁などの様々な複合要因で起こるといわれているが、原因の1つとして、河川の上流での木々の伐採により、それまでは落ち葉が堆積してできていた腐植土中で生成し、河川を通じて海へと供給されていた「腐植酸鉄」が減少したこともあげられている。

新日鐵住金では、水に溶けやすい鉄分が多く含まれているという製鋼スラグの特徴に着目し、製鋼スラグと廃木材チップの発酵物との混合物を袋詰めした腐植酸鉄の生成ユニット「ビバリー®ユニット」を開発した。このユニットを活用して、鉄分が不足している海域での“海の森”の再生に取り組んでいる。

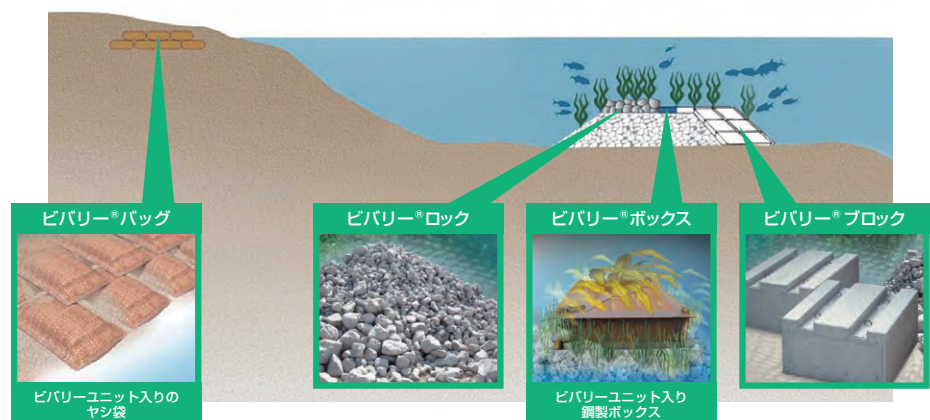
ビバリー®ユニットによる鉄分供給効果を確認するため、海の緑化に向けて産学共同を進めている「海

の緑化研究会」において、東京大学等とともに、2004年の北海道増毛町での実海域実験を皮切りに、全国で実験を実施してきた。増毛町での実験では、一面が無節石灰藻類に覆われて真っ白であった海底が、波打ち際にビバリー®ユニットを埋設後半年ほどで、沖合30m程度までコンブが豊かに生育する様子が確認され、メカニズムについても北海道大学による鉄分が海藻の生育に及ぼす影響の研究などから解明が進んでいる。

試験後のコンブの生育状況



ビバリー®ユニット等の鉄鋼スラグ製品を利用した藻場造成のイメージ



鉄鋼スラグ炭酸固化体 「マリブロック®」(JFE スチール)

マリブロック®は、製鋼スラグにCO₂含有ガスを供給することで、スラグ中の酸化カルシウムとCO₂の反応で生じた炭酸カルシウムがスラグ粒子間を結合することにより、固化させたブロックである。炭酸カルシウムは貝殻やサンゴと同じ成分であることから、マリブロック®は、海の生物との親和性が高く、サンゴ造成礁や藻場造成礁としての活用が期待できる。また、製造時にCO₂含有ガスを使用するため、CO₂排出削減にも寄与できる。

近年、世界のサンゴ礁は、陸からの土砂の流入、オニヒトデなどの捕食生物の爆発的な増大、さらに地球温暖化に伴う海水温の上昇などにより、深刻な危機にさらされている。JFE スチールは、マリブロック®上に、

サンゴ幼生の着床具を取り付けたサンゴ造成礁を用いて、サンゴ礁を再生するための実証研究を行っており、宮古島での実証試験では、マリブロック®への稚サンゴの着生や約20cmに成長したサンゴ(ミドリイシ、3.5年経過時点)を確認している。また、マリブロック®が多孔質体であることや原料の製鋼スラグには鉄分や珪素などの栄養成分が含まれることから、海藻の着生基盤材料としての有効性を確認しており、海中林の創出や再生、水産資源拡大に貢献する基盤材料として、利用拡大に向けた取り組みを推進している。

マリブロック®の基礎特性などに関しては、(一財)港湾空港高度化環境研究センターから「鉄鋼スラグ炭酸固化体利用マニュアル」が発行されており、利用手引書として活用されている。

マリブロック®を利用した海域環境の修復・改善への取り組み状況



マリブロック®へのサンゴ着床具設置状況



マリブロック®上のカジメ生育状況(神奈川県城ヶ島)



「ハナヤサイ」に集まる熱帯魚(沖縄県宮古島)



直径20cmに成長した「ミドリイシ」(沖縄県宮古島)

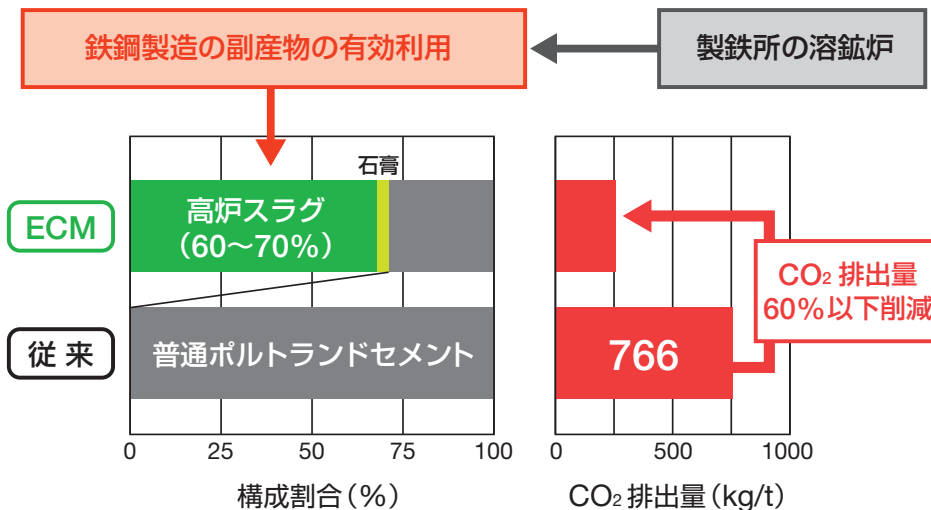
2

低炭素社会への貢献

ECM (エネルギー・CO₂ミニマム) セメント・コンクリートシステム

国内で排出される温室効果ガスの総排出量の約4%はセメント産業に由来すると言われており、その大半はポルトランドセメントの中間製品であるクリンカを製造する過程で、石灰石を焼成することにより発生している。

ECMセメントにより想定されるCO₂排出量削減量



そこで、コンクリート工事全体の環境負荷を小さくするために、ポルトランドセメントを環境負荷の小さい高炉スラグ微粉末やフライアッシュに置き換えることでセメント製造時のクリンカの構成比を大幅に引き下げ、セメント製造時のエネルギー消費量を削減する試みが各方面で行われている。ここで紹介する ECM セメント・コンクリートシステムもその一つであり、このような建設業における環境対策としての混和材利用の取り組みは、(一社)日本建設業連合会の「低炭

素型コンクリートの普及促進に向けて」(※1)というパンフレットにまとめられている。

ECMセメント・コンクリートシステムとは、セメント中に60~70%程度混合させる高炉スラグ微粉末を水和反応の主材とする ECM (エネルギー・CO₂ミニマム) セメントを用いてコンクリートを製造、施工するシステムである。従来は、このような高炉スラグ微粉末を高い比率で含有するセメントを使用した場

合、施工と品質上の課題があった。そこで、ECMセメント・コンクリートシステムの開発では、高炉スラグ微粉末を単純に混合するだけではなく、化学成分の調整や粒度構成の研究、混和剤の適正化といったセメント技術の開発と、これを使う建設技術の開発を融合させ、コンクリートの製造・施工システム全体として課題の解決を行うべ

く、NEDOの補助事業として産学の共同研究チーム(※2)による課題解決に取り組んだ。これにより、セメント生産におけるエネルギー消費量と二酸化炭素(CO₂)排出量を従来のセメントよりも6割以上削減することに成功した。

また、ECMセメントシステムは、エネルギー・CO₂削減以外にも、以下のような特徴が挙げられ、これらの特徴を活かして建築の地下躯体や土木構造物、地盤改良材などへ適用が図られている。

- ①水和反応が小さく従来の高炉セメントよりも低発熱であるため、温度ひび割れ抵抗性に優れる
- ②コンクリートの乾燥収縮が小さく、収縮ひび割れの抑制に効果がある
- ③塩化物や酸などに対する化学抵抗性が高いため、海水の影響を受ける地域や凍害防止剤を使用する構造物などに適している

以上から、ECMセメント・コンクリートシステムは、「環境にやさしい」技術として、国土技術研究センターの国土技術開発賞をはじめとするいくつかの賞を受賞しており、今後もますます、その普及の拡大が期待されている。

ECMコンクリートの打ち込み後の状況



塩害による鉄筋の腐食に対する寿命が1.5倍となることから、岸壁上に構築するコンクリート構造物に適用された

ECMセメント・コンクリートを用いた杭の例



ECMセメント・コンクリートの耐圧盤への適用事例



(※1) <http://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=237> (一社)日本建設業連合会 環境委員会, 2016年4月

(※2) 東京工業大学, (株)竹中工務店, 鹿島建設(株), (株)デイ・シー, 日鉄住金高炉セメント(株)(現・日鉄高炉セメント(株), 太平洋セメント(株), 日鉄住金セメント(株)(現・日鉄セメント(株)) および竹本油脂(株)

II

鉄鋼スラグ製品規格・ 基準類一覧

道路用

JIS	道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015 (2018年)
(公社) 日本道路協会	アスファルト舗装要綱 (2006年)
(一財) 土木研究センター	鉄鋼スラグ路盤設計施工指針 (2015年)

港湾工事用

(公社) 日本港湾協会	港湾の施設の技術上の基準・同解説 (2018年)
(一財) 沿岸技術研究センター	港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル (2007年)
(一財) 沿岸技術研究センター	港湾・空港・海岸等における製鋼スラグ利用技術マニュアル (2015年)
(一社) 日本鉄鋼連盟	転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き (2008年)
(一社) 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良工法技術資料 (2008年)
(一財) 沿岸技術研究センター	港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル (2017年)

鉄鋼スラグ水和固化体

(一財) 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 (改訂版) (2008年)
-----------------	---------------------------------

土工用

(一財) 建材試験センター	土工用製鋼スラグ砕石 JSTM H 8001 (2016年)
---------------	--------------------------------

コンクリート用

JIS	コンクリート用スラグ骨材・第1部：高炉スラグ骨材 JIS A 5011-1 (2018年)
JIS	コンクリート用スラグ骨材・第4部：電気炉酸化スラグ骨材 JIS A 5011-4 (2018年)
JIS	レディーミクストコンクリート JIS A 5308 (2019年)
JIS	コンクリート用高炉スラグ微粉末 JIS A 6206 (2013年)
(一社) 日本建築学会	高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針 (案)・同解説 (2017年)
(一社) 日本建築学会	高炉スラグ砕石コンクリート施工指針案・同解説 (1978年)
(一社) 日本建築学会	高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説 (2013年)
(一社) 日本建築学会	電気炉酸化スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針 (案)・同解説 (2005年)
(公社) 土木学会	高炉スラグ骨材コンクリート施工指針 (1993年)
(公社) 土木学会	高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計・施工指針 (2018年)
(公社) 土木学会	電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針 (案) (2003年)
(公社) 土木学会	混合材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針 (案) (2018年)
(公社) 土木学会	高炉スラグ細骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の設計・製造・施工指針 (案) (2019年)

セメント用

JIS	ポルトランドセメント JIS R 5210 (2009年)
JIS	高炉セメント JIS R 5211 (2009年)

研削材用

JIS	ブラスト処理用非金属系研削材 JIS Z 0312 (2016年)
-----	-----------------------------------

III

鉄鋼スラグ利用のあゆみ

1900

1901	官営八幡製鉄所(現 新日鐵住金八幡製鉄所)で銑鋼一貫製鉄開始
1907	消石灰と水砕スラグでスラグレンガ製造
1910	高炉スラグを用いたセメント製造開始
1925	商工省の高炉セメントに関する通達
1955	けい酸石灰肥料(ケイカル)の規格
1966	鋳滓製品研究会創立 1968 日本鋳滓協会に改称、1976 日本スラグ協会に改称
1976	日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会設置
1977	コンクリート用高炉スラグ粗骨材 JIS A 5011 制定
1978	高炉スラグ碎石コンクリート施工指針(案) 発刊(日本建築学会・土木学会) アスファルト舗装要綱に鉄鋼スラグの組入れ/鉄鋼スラグ協会設立(日本スラグ協会発展的解散)
1979	ポルトランドセメントの JIS R 5210 改正/道路用スラグ JIS A5015 制定 日本建築学会標準仕様書・土木学会標準示方書改訂
1981	コンクリート用高炉スラグ細骨材 JIS A 5012 制定
1982	高炉スラグ路盤設計施工指針発刊/製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針発刊
1983	高炉スラグ細骨材を用いた設計施工指針(案) 発刊(日本建築学会・土木学会)
1985	製鋼スラグ路盤設計施工指針発刊
1987	港湾工事用水砕スラグ利用手引書発刊
1989	アルカリ骨材反応の抑制対策で高炉セメントが採用(建設省通達)
1992	JIS A 5011 「コンクリート用スラグ骨材」改正/JIS A 5015 「道路用スラグ」に製鋼スラグが織り込まれる
1995	JIS A 6206 「コンクリート用高炉スラグ微粉末」制定 高炉スラグ微粉末を使用するコンクリートの調査設計・施工指針(案) 発刊(日本建築学会)
1997	JIS A 5011-1 「コンクリート用スラグ骨材」改正
1998	JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」改正
2000	港湾工事用製鋼スラグ利用手引書発刊(沿岸技術研究センター、鉄鋼スラグ協会)
2001	高炉セメントがグリーン購入法の特定調達品目として初めて指定
2002	電気炉酸化スラグ骨材のコンクリートへの利用設計・施工指針発刊(土木学会)
2003	JIS A 5011-4 「コンクリート用スラグ骨材:電気炉酸化スラグ」制定
2005	ベトナム建設省とのスラグセメント規格化共同研究契約締結 電気炉酸化スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針(案)・同解説発刊(日本建築学会)
2007	港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル発刊(沿岸技術研究センター)
2008	JSTM H 8001 「土工用製鋼スラグ碎石」制定(建材試験センター)
2009	JIS A 5308 「レディーミクストコンクリート」改正
2013	JIS A 5015 「道路用鉄鋼スラグ」改正/JIS A 6206 「コンクリート用高炉スラグ微粉末」改正 高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調査設計・施工指針・同解説発刊(日本建築学会)
2015	鉄鋼スラグ路盤設計施工指針発刊(土木研究センター)
2016	JSTM H 8001 「土工用製鋼スラグ碎石」改正(建材試験センター)
2017	高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末を用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針(案)・同解説 発刊(日本建築学会)
2018	JIS A 5011-1 「コンクリート用スラグ骨材・第1部:高炉スラグ骨材」改正 JIS A 5011-4 「コンクリート用スラグ骨材・第4部:電気炉酸化スラグ骨材」改正

2000

鐵鋼スラグ協会について

協会の目的と事業

当協会は、需要業界、官公庁および学協会の方々に鉄鋼スラグを理解していただき、その有効利用を図ることを目的としています。

普及活動を通して「リサイクル社会の構築」「地球温暖化対策」「天然資源の保護」等、社会に貢献するため、次の事業を推進しています。

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. 鉄鋼スラグ製品に関する品質および技術の調査・研究 | 2. 鉄鋼スラグ製品の生産・需給に関する情報収集・普及活動 |
| (1) 品質の維持・改善のための調査研究 | (1) 鉄鋼スラグ製品に関する各種統計の作成 |
| (2) 利用技術に関する調査研究 | (2) 鉄鋼スラグ製品に関する普及広報活動 |
| (3) 用途開発と各種用途の規格化の推進 | |

協会の沿革

1966年 2月	大阪市に「鋳滓製品研究会」創立
1968年 7月	「日本鋳滓協会」と改称
1975年 4月	協会本部を東京都に移設 大阪事務所開設
1976年 5月	「日本スラグ協会」と改称
1978年 10月	「日本スラグ協会」を発展的に解散、鉄鋼メーカーも加盟し「鉄鋼スラグ協会」を設立
1981年 4月	普通鋼電炉工業会、特殊鋼部会専業会社が団体加盟
1984年 4月	日本鉄鋼連盟スラグ資源化委員会の業務を継承

鉄鋼スラグ協会会員各社・団体 (現会員数 22社および 2団体)

エスメント関東(株)	日本製鉄(株)	日鉄日新製鋼(株)
エスメント中部(株)	清新産業(株)	日鉄高炉セメント(株)
協材碎石(株)	大同特殊鋼(株)	日鉄スラグ製品(株)
(株)神戸製鋼所	(株)テツゲン	日鉄セメント(株)
山陽特殊製鋼(株)	(株)デイ・シイ	日本磁力選鉱(株)
JFE スチール(株)	東方金属(株)	濱田重工(株)
JFE ミネラル(株)	(株)中山製鋼所	(一社)日本鉄鋼連盟
神鋼スラグ製品(株)	日清鋼業(株)	普通鋼電炉工業会

環境資材 鉄鋼スラグ

2019年12月1日 11版発行

発行者 鉄鋼スラグ協会
編集・制作 株式会社日活アド・エイジェンシー
デザイン オムニデザイン

本誌掲載の写真および図版・記事の無断転載を禁じます。



鐵鋼スラグ協会 <http://www.slg.jp/>

本 部 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館5階
TEL : 03-5643-6016 FAX : 03-5643-6018

大阪事務所 〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-10-27 肥後橋三宮ビル4階
TEL : 06-6448-5817 FAX : 06-6448-5805