

**第2章 鉄鋼スラグ等に関する現状把握**

**2.1 産業副産物等の海域利用に関する現状把握**

産業由来の副産物等のうち、現時点において海域環境改善への利用について検討されている代表的な材料としては、「鉄鋼スラグ」、「石炭灰造粒物」、「カキ殻(焼成したもの)」、「焼却灰溶融スラグ」、「ゼオライト」などがあり、このほか、最近では主に地域レベルでの取り組みとして、「鉄炭団子(鉄粉等と炭を混ぜ合わせ、繋ぎに粘土などを入れて団子をつくり、炭に焼いたもの)」を利用した藻場再生などが全国各地で試みられてきている。

これらの副産物の海域利用の状況や製品化などの現状を整理すると、表- 2.1 のとおりであり、それぞれ以下のようにまとめられる。

表- 2.1 産業副産物等の海域利用の状況や製品化などの現状

	鉄鋼スラグ	石炭灰造粒物	鉄炭団子
海域利用に向けた取り組み状況	かなり以前から、各地で大規模な現地実証事業が行われている。	近年、現地実証事業が行われるようになってきている。	漁業者やNPOなど、地域レベルで広く実海域において利用されている。
製品化の状況	鉄鋼スラグを利用した製品(ブロック等)はこれまでに数多く開発されている。	効果の検証段階であり、石炭灰造粒物を利用した製品開発には至っていない。	「鉄炭団子」そのものが製品であり、実用化されている。
効果や安全性に関する調査研究の状況	かなり以前から、海域環境改善効果や材料の安全性に関する研究が行われており、ある程度知見が集積している。	近年、海域環境改善効果や材料の安全性に関する研究が行われるようになり、ある程度知見が集積しつつある。	環境改善効果の検証など、科学的な研究は他の材料に比べると少ない。
ビジネス化に向けた現状	海域利用について、ユーザーに広く受け入れられているとは言えず、大規模なビジネスとしては成立していない。	効果の検証段階であり、ビジネス展開に至るまでにはまだ時間がかかると考えられる。	ユーザーに広く受け入れられており、ビジネス化に向けて先行している。

	カキ殻(焼成)	焼却灰溶融スラグ	ゼオライト
海域利用に向けた取り組み状況	室内実験、擬似現場実験等で底質改善効果が確認されており、瀬野川河口部などで実証実験が行われている。	焼却灰を利用した人工石材の製造と魚礁としての設置例はあるが、ほとんど利用は進んでいない。	ゼオライト自体は以前から魚礁や養殖場などで使用されている。
製品化の状況	カキ殻(焼成)自体は、肥料として既に製品化されており、そのまま海域利用に転用可能である。	上記の通り、魚礁としての設置例はあるが、製品化は行われていない。	ゼオライトを利用した水質浄化材などの製品が開発・販売されている。
効果や安全性に関する調査研究の状況	室内実験、擬似現場実験等で底質改善効果や材料組成などが研究されている。	環境改善効果の検証など、科学的な研究は他の材料に比べると少ない	ゼオライト自体は以前から魚礁や養殖場などで使用されており、安全性には特に問題がないと考えられる。
ビジネス化に向けた現状	カキ殻の処理・加工業者が海域利用に向けた販路開拓等を検討している段階であるが、ビジネス展開に至るまでにはまだ時間がかかると考えられる。	スラグの重金属含有量は、投入する焼却残渣の成分や溶融方式に依存するので、安全性の検証や海域利用するメリットの検討も含め、現状ではビジネス展開にまで至っていない。	ゼオライトを利用したビジネス化はある程度進んでいるものの、天然ゼオライト資源の発生量が限られているため、大規模なビジネスとして今後発展するかどうかは不明である。



### 「鉄鋼スラグ」

これまでに各地で実証試験や研究が行われており、鉄鋼スラグを利用した様々な製品の開発も行われており、今後大規模なビジネスへ発展する可能性は大きいですが、現時点でユーザー（漁業関係者等）に広く受け入れられているとは言い難く、鉄鋼スラグを利用したビジネスの成立には至っていない。

### 「石炭灰造粒物」

近年、各地で実証試験や研究が行われるようになっており、今後、海域環境改善への利用促進が期待されるが、現状では材料の有効性の検証などの研究開発段階であり、石炭灰造粒物を利用した製品開発や販路開拓などのビジネス展開に至るまでには、まだ時間がかかると考えられる。

### 「鉄炭団子」

科学的な効果の検証については課題が残るものの、ユーザー（漁業関係者等）に広く受け入れられており、実際に海域での利用が盛んに行われている。すなわち、規模は小さいものの一つのビジネスモデルとして先行している。

### 「カキ殻(焼成)」

カキ殻(焼成)自体は肥料として既に製品化されており、元々海にあったものであるため安全性には問題ないと考えられ、そのまま海域に転用は可能である。また、室内実験や擬似現場実験、現地実証実験などで底質改善効果が確認されており、今後の海域環境改善への利用促進が期待されるが、カキ殻を利用した二次製品の開発や販路開拓などのビジネス展開に至るまでには、まだ時間がかかると考えられる。

### 「焼却灰溶融スラグ」

現状では、溶融スラグの海域利用はほとんど行われていない。また、スラグの重金属含有量は、投入する焼却残渣の成分や溶融方式に依存するので、安全性の検証や海域利用するメリットの検討も含め、現状ではビジネス展開にまで至っていない。

### 「ゼオライト」

ゼオライトは昔から水質浄化材や養殖漁場などで使用されており安全性には問題が無いと考えられる。ゼオライトを利用したビジネス化はある程度進んでいるものの、天然ゼオライト資源の発生量が限られているため、大規模なビジネスとして今後発展するかどうかは不明である。

いずれの材料も、今後海域環境改善への利用可能性が高いものであると考えられるが、地場中小企業等による瀬戸内海再生ニュービジネスを早い段階で創出するには、効果の検証や製品開発などがある程度進んでいる「鉄鋼スラグ」の利用について、重点的にビジネス化に向けた検討を行うことが望ましいと考える。

よって、以降の検討では、鉄鋼スラグを利用した瀬戸内海再生ニュービジネス創出の可能性と今後検討すべき課題について整理を行うものとする。

## 2.2 鉄鋼スラグとは

鉄鋼スラグは、鉄鋼の製造過程で発生する粒状の副産物(高温の熔融スラグが冷えて固化したもの)である。鉄鋼スラグには、鉄鉱石から銑鉄を生成する際に同時に生成される**高炉スラグ**と、製鋼過程で生成する**製鋼スラグ**に大別される。

高炉スラグは、冷却の方法により、**徐冷スラグ**と**水砕スラグ**に分けられる。

また、製鋼スラグは、**転炉系製鋼スラグ**(転炉スラグ、溶鉄予備処理スラグ、二次精練スラグ等)と、**電気炉系製鋼スラグ**(酸化スラグ、還元スラグ)に分けられる。

このように、鉄鋼スラグは、炉の種類や冷却方法の違いにより、様々に性状の異なるものが生成されるが、基本的に 1,200°C以上の高温で溶解されているため、有機物を一切含まない。

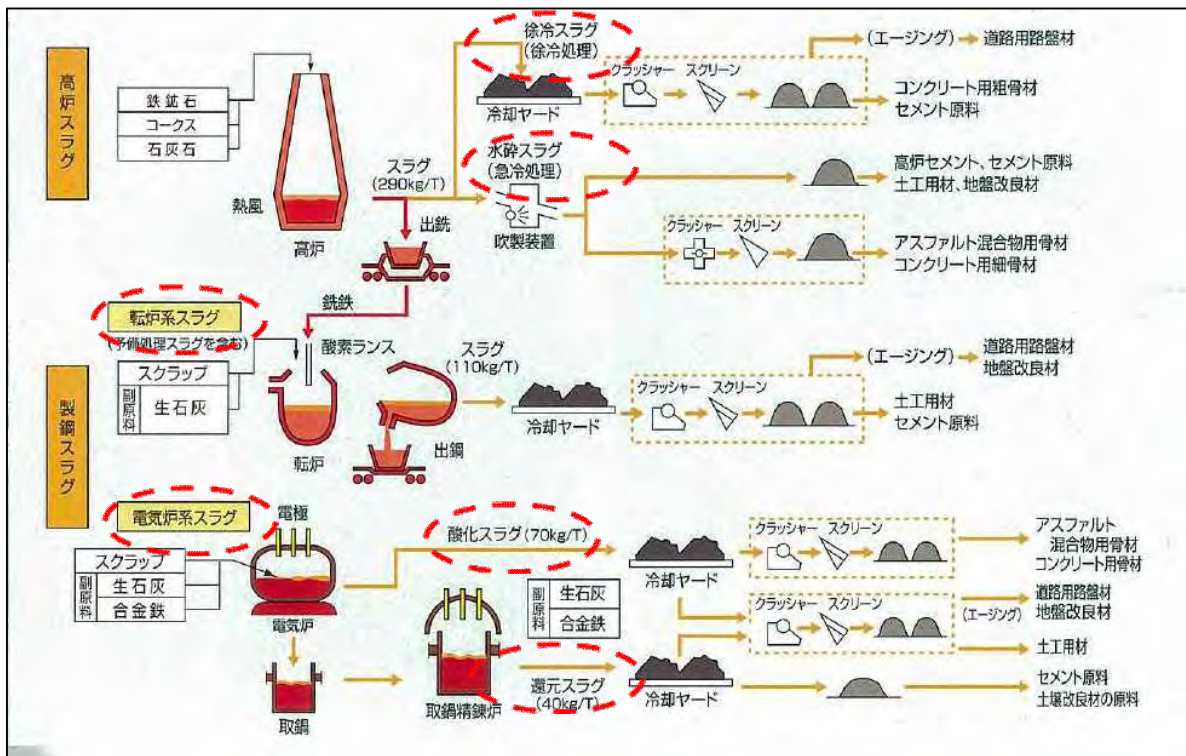


図- 2.1 鉄鋼の製造過程で発生するスラグの種類<sup>1)</sup>

出典1)JFEスチール株式会社ホームページ <http://www.jfe-steel.co.jp/>

表- 2.2 鉄鋼スラグの種類及び概要

種類及び概要		主な用途	
鉄鋼スラグ	<b>高炉スラグ</b> ・鉄鉄を製造する高炉で熔融された鉄鉱石の鉄以外の成分は、副原料の石灰石やコークス中の灰分と一緒に高炉スラグとなり分離回収される。 ・高炉スラグは天然の岩石に類似した成分を有している。(CaO、SiO <sub>2</sub> を主成分としてAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MgO、硫黄などが含まれる) ・また、冷却の方法により徐冷スラグと水砕スラグとなる。	<b>徐冷スラグ</b> ・熔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冷却したもので、結晶質の岩石(塊)状となる。  <b>水砕スラグ</b> ・熔融スラグを加圧水により急冷、粒状化(水砕)したもので、一般にガラス質が主体となる。	・舗装用材 ・コンクリート用骨材(粗骨材)
	<b>製鋼スラグ</b> ・高炉で製造された溶鉄やスクラップから、靱性・加工性のある鋼にする製鋼過程で発生するスラグであり、精錬炉の種類により転炉系製鋼スラグ、電気炉系製鋼スラグに分類される。  ・鉄やマンガンなどの金属元素が酸化物の形でスラグ中に取り込まれたり、遊離石灰として残るものがある。このため、比重が大きく、水と接触した際に膨張する性質を示す原因となる。	<b>転炉系製鋼スラグ</b> ・転炉で鉄鉄を精錬して靱性・加工性のある鋼を製造する際同時に生成するスラグ。 ・CaO、SiO <sub>2</sub> を主成分としてFeO、MgO、MnOなどが含まれる。  <b>電気炉系製鋼スラグ</b> ・製鋼過程で発生するスラグで、電気炉でスクラップを主原料として鋼を製造する工程で生成するスラグ。 ・電気炉精錬では、炉内雰囲気酸化性、還元性に変えることが可能であり、それぞれの過程で発生するスラグを酸化スラグ、還元スラグという。	・舗装用材 ・地盤改良材 ・セメント原料
		<b>転炉スラグ</b> ・左に同じ。 ・転炉精錬の前工程で、リンや硫黄等を除去する溶鉄予備処理工程の普及により減少傾向にある。  <b>溶鉄予備処理スラグ</b> ・溶鉄を転炉に挿入する前に、溶鉄の脱硫、脱珪、脱燐等の処理をする際に生成するスラグの総称。	・舗装用材 ・コンクリート用骨材(細骨材) ・裏込材 ・軟弱地盤の覆土材
		<b>酸化スラグ</b> ・酸化精錬時に生成するスラグ。溶網中に溶かし込んだ酸素と反応して生成された金属酸化物で構成され、化学的に安定している。(CaO、SiO <sub>2</sub> 、FeO、MgO、MnOなど)	・舗装用材 ・コンクリート用骨材
		<b>還元スラグ</b> ・酸化精錬後、酸化スラグを排出し、新たに還元剤、石灰等を装入し溶網中の酸素を除去する還元精錬により発生するスラグで、成分中に石灰を多く含む。	・セメント原料 ・土壌改良材の原料

※製鋼スラグにはこのほか、転炉等から出網した溶網に脱硫、脱燐、脱ガス等の処理をする場合に生成する「二次精錬スラグ」などがある。

表- 2.3 鉄鋼スラグの種類別・特徴別の利用用途<sup>2)</sup>

鉄鋼スラグの種類	鉄鋼スラグの特徴と用途	グリーン購入法特定調達品目
高炉スラグ	◆軽量、高強度(固結特性)、透水性大 ⇒土工用材料、地盤改良材、岸壁裏込め、裏埋め、覆土、(軽量)盛土、サドコパ <sup>®</sup> ケイソウ材、路床etc	◆土工用水砕スラグ
	◆潜在水硬性大: 高炉セメント (JIS R 5211) ◆アルカリ安定性⇒コンクリート細骨材(JIS A 5011) ◆化学成分(CaO, SiO <sub>2</sub> 含む)⇒肥料、セメントカーク	◆高炉セメント ◆高炉スラグ骨材
	◆高強度、水硬性⇒道路用路盤材 (JIS A 5015) ◆化学成分(CaO, SiO <sub>2</sub> 含む)⇒セメントクリッカー、ロックール、肥料 ◆アルカリ安定性 ⇒コンクリート粗骨材(JIS A 5011)	◆鉄鋼スラグ 路盤材
	◆高強度⇒道路用路盤材 (JIS A 5015) ◆地盤改良SCP ◆重量大⇒中仕切堤、截荷盛土材 ◆硬質⇒アスコン骨材 (JIS A 5015) ◆化学成分⇒肥料、ケイ酸原料	◆地盤改良用製鋼スラグ ◆鉄鋼スラグ アスファルト混合物

出典 2) 鉄鋼スラグ協会ホームページ <http://www.slg.jp/>

## 2.3 鉄鋼スラグの発生量及び再利用の現状

## 2.3.1 国内の鉄鋼スラグの発生量

鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生産量の推移を見ると、我が国では平成21年度現在、年間約3,318万tの鉄鋼スラグが生産されている。このうち、高炉スラグが約2,168万t(約65.3%)で、高炉スラグに占める水砕スラグの割合は約81.0%であり、平成19年度をピークに年々上昇傾向にあったが、ここ2年間はやや割合が減少している。

また、製鋼スラグ(約1,150万t)に占める転炉系製鋼スラグの割合は79.7%であり、平成13年度以降は増加傾向となっている。

表-2.4 鉄鋼生産量と鉄鋼スラグ生産量の推移<sup>3)</sup>

(単位:千t)

年度	鉄鋼生産量		鉄鋼スラグ生産量						合計
	粗鋼	銑鉄	高炉スラグ			製鋼スラグ			
			水砕スラグ	水砕化率 (%)	計	転炉系スラ グ	転炉系スラ グの割合 (%)	計	
1990 (H2)	111,710	80,835	15,234	59.2%	25,748	10,236	78.5%	13,043	38,790
1991 (H3)	105,853	77,830	15,414	62.3%	24,733	9,965	79.3%	12,570	37,303
1992 (H4)	98,937	73,029	15,032	65.7%	22,886	9,564	78.9%	12,129	35,015
1993 (H5)	97,095	72,989	14,457	63.3%	22,853	9,843	79.5%	12,380	35,161
1994 (H6)	101,363	74,726	14,458	62.5%	23,151	9,851	78.7%	12,519	35,670
1995 (H7)	100,023	74,637	14,748	62.8%	23,479	10,439	74.6%	13,988	37,467
1996 (H8)	100,793	75,680	15,771	67.4%	23,408	9,739	72.7%	13,388	36,796
1997 (H9)	102,800	78,312	15,636	66.4%	23,542	10,246	73.5%	13,942	37,481
1998 (H10)	90,979	73,553	15,084	68.5%	22,013	9,617	75.0%	12,829	34,842
1999 (H11)	97,999	76,486	15,889	70.8%	22,440	9,922	71.3%	13,912	35,632
2000 (H12)	106,901	80,704	16,874	71.8%	23,498	10,640	75.4%	14,107	37,605
2001 (H13)	102,064	78,969	17,095	73.4%	23,297	10,508	76.6%	13,722	37,019
2002 (H14)	109,789	81,538	18,321	75.7%	24,205	8,839	72.6%	12,168	36,392
2003 (H15)	110,997	82,755	18,318	75.2%	24,359	8,969	72.9%	12,302	36,661
2004 (H16)	112,897	82,894	19,072	78.1%	24,433	9,380	72.6%	12,922	37,355
2005 (H17)	112,718	82,937	19,830	80.1%	24,758	9,933	74.0%	13,427	38,185
2006 (H18)	117,745	84,919	20,411	82.4%	24,769	10,265	74.0%	13,865	38,634
2007 (H19)	121,511	87,867	21,003	82.6%	25,437	10,631	75.2%	14,138	39,575
2008 (H20)	105,500	78,497	18,784	82.1%	22,877	10,195	77.2%	13,208	36,085
2009 (H21)	96,449	72,526	17,551	81.0%	21,675	9,174	79.7%	11,504	33,179

出典3) 鉄鋼スラグ統計年報(平成21年度実績): 鉄鋼スラグ協会、平成22年7月 に基づき作成

2.3.2 鉄鋼スラグの再利用の現状

(1) 高炉スラグ

高炉スラグの使用量(外販+所内使用)内訳をみると、高炉スラグは全て再利用されており(埋立等=0)、その主な用途はセメントが最も多く 14,425 千トン(67.6%)、次いで道路(路盤材等)が 3,091 千トン(約 15.3%)、コンクリート骨材が 2,035 千トン(約 9.5%)、土木(港湾工事、土木工事)が 693 千トン(約 3.3%)などとなっている(図-2.2)。

使用量の経年変化を見ると、最も使用量の大きいセメント用販売量は、輸出も含めると年々増加傾向にあったが、平成 20 年度以降減少しており、平成 21 年度は対前年度比 9.3%の減少となっていた(図-2.3)。

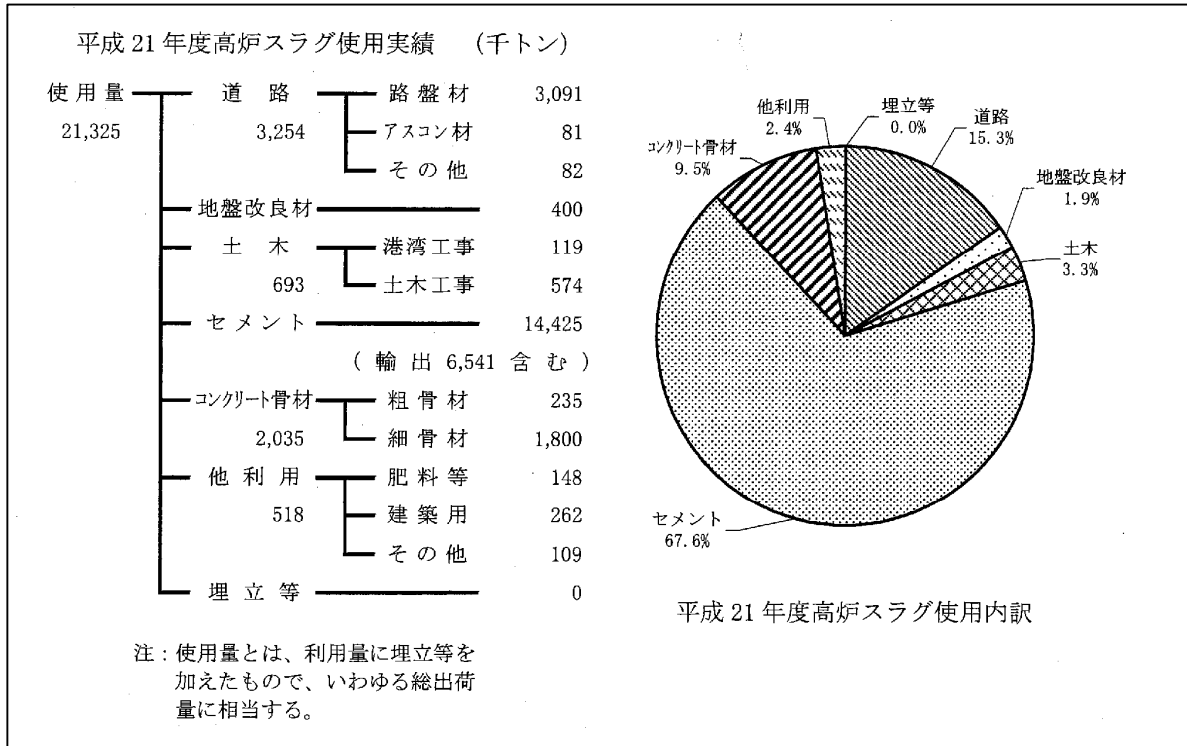


図-2.2 高炉スラグ使用量と使用の内訳(平成21年度)<sup>3)</sup>

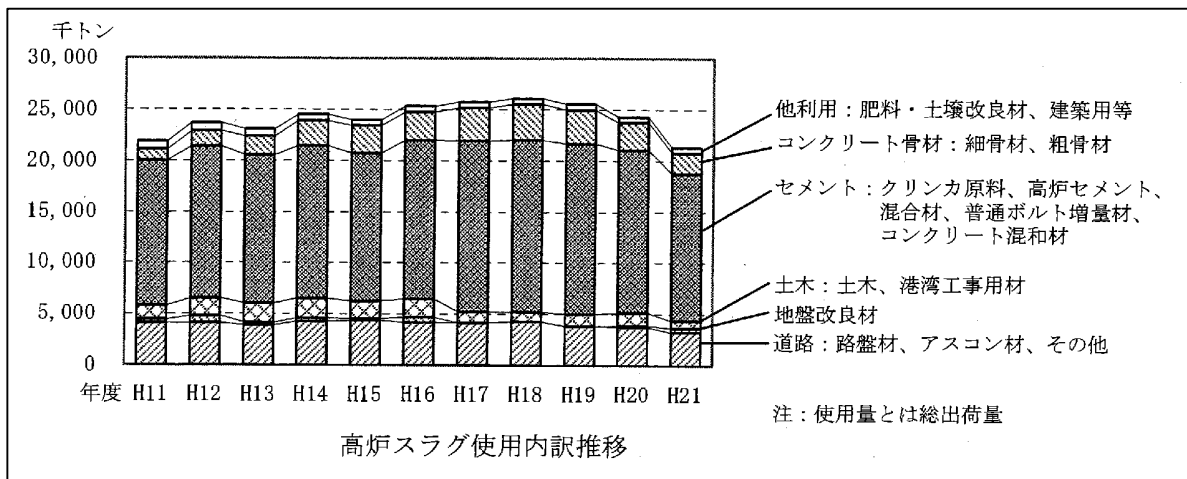


図-2.3 高炉スラグ使用内訳の推移<sup>3)</sup>

(2) 製鋼スラグ

製鋼スラグの使用量(外販+所内使用)の内訳をみると、転炉スラグでは土木(港湾工事、土木工事)用が最も多く約38.5%、電気炉スラグでは道路用が最も多く約43.4%となっており、製鋼スラグ全体では土木(港湾工事、土木工事)用が最も多く約36.6%を占めている(図-2.4)。

埋立等の割合は製鋼スラグ全体では約2.3%であり、98%近くが再利用されているが、転炉スラグは埋立が約1%であるのに対し、電気炉スラグは約7.6%と埋立等の割合が多くなっている(図-2.4)。また、他利用(肥料、土壌改良材、建築用等)の割合は製鋼スラグ全体で約3.0%であるが、海域環境再生への利用といった用途は統計上現れていない。

使用量の経年変化を見ると、土木用の利用は平成19年度までは概ね増加傾向となっているが、特に土木用を中心に、平成20年度以降は減少傾向にある。(図-2.5)。

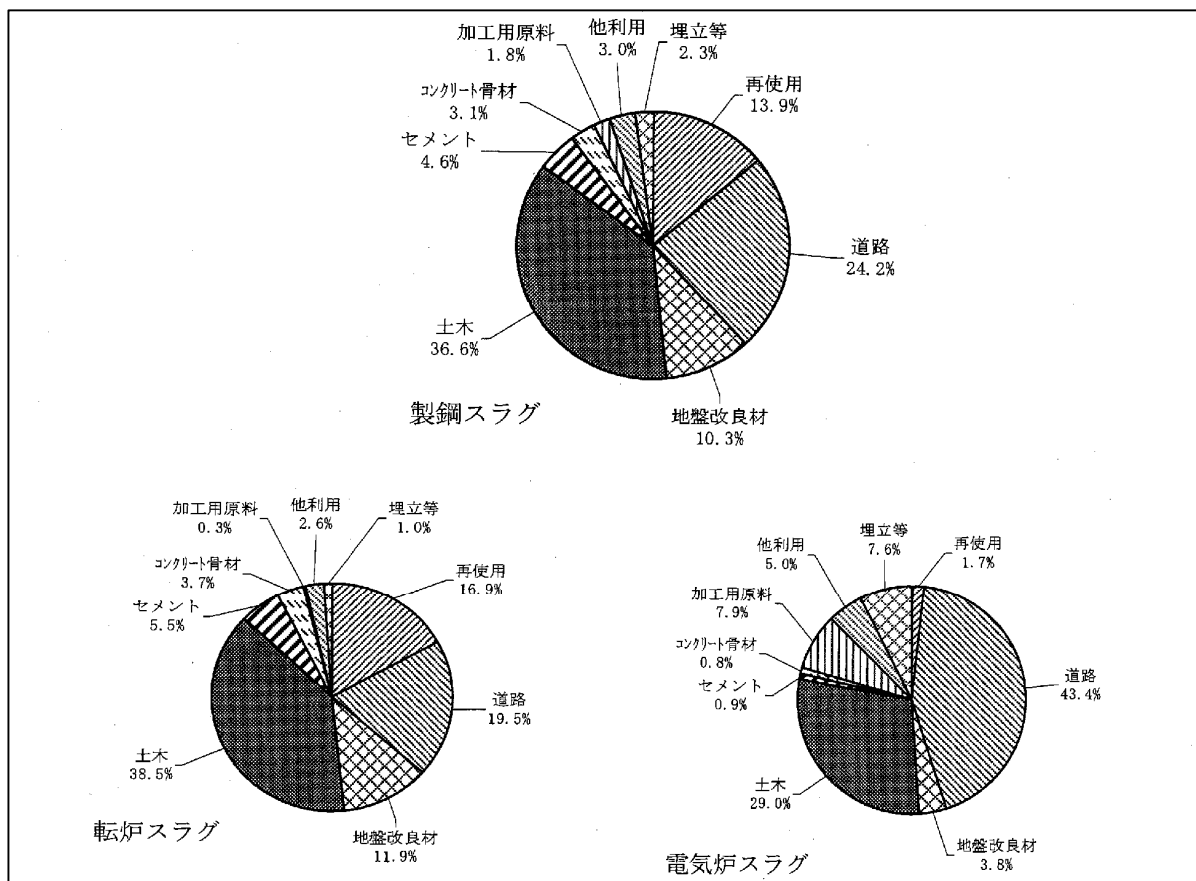


図-2.4 製鋼スラグ使用量と使用の内訳(平成21年度)<sup>3)</sup>

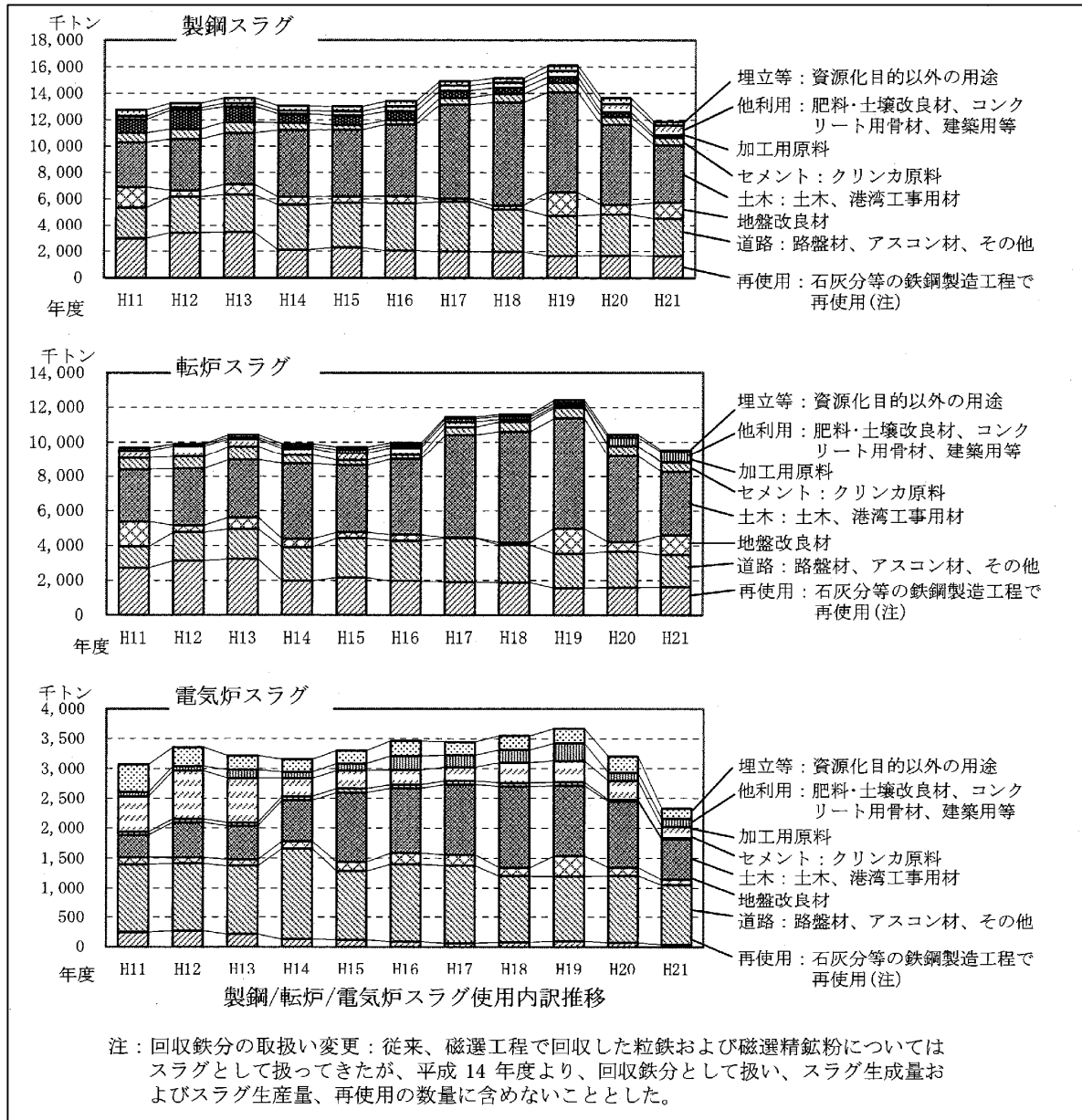


図-2.5 製鋼スラグ使用内訳推移<sup>3)</sup>



2.3.3 鉄鋼スラグの利用に関する品質規格等の策定状況

鉄鋼スラグの利用にあたっては、これまでに多くのJIS規格や設計・施工指針が制定されており、その一覧は表- 2.5 に示すとおりである。

表- 2.5 鉄鋼スラグの規格等一覧<sup>2)</sup>

用途	項目	内容
道路用	JIS制定・改訂	道路用鉄鋼スラグ(1979年, 1992年改訂) JIS A5015
	日本道路協会	アスファルト舗装要綱(1992年改訂)
	鉄鋼スラグ協会	高炉スラグ路盤設計施工指針(1976年, 1982年改訂)
	鉄鋼スラグ協会	路盤用高炉スラグ品質管理要綱(1981年, 1985年改訂)
	鉄鋼スラグ協会	製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針(1982年改訂)
	鉄鋼スラグ協会	加熱アスファルト混合物用製鋼スラグ品質管理要綱(1983年改訂)
	鉄鋼スラグ協会	製鋼スラグ路盤設計施工指針(1985年改訂) 路盤用製鋼スラグ品質管理要綱(1985年改訂)
港湾工事用	鉄鋼スラグ協会 沿岸開発技術研究センター	港湾工事用水砕スラグ利用手引書(1988年)
	沿岸開発技術研究センター	港湾工事用製鋼スラグ利用手引書(2000年)
	沿岸開発技術研究センター	鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(2003年)
コンクリート用	JIS制定・改訂	コンクリート用スラグ骨材 第1部:高炉スラグ骨材(2003年改正) JIS A5011-1
	JIS制定・改訂	コンクリート用高炉スラグ微粉末(1995年制定1977年改正) JIS A6206
	JIS制定・改訂	レディーミクストコンクリート(1998年改正) JIS A5308
	JIS制定	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(2003年制定) JIS A5011-4
	日本建築学会	高炉スラグ砕石コンクリート設計施工指針案同解説(1978年)
	日本建築学会	高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針(1983年)
	日本建築学会	高炉セメントを使用するコンクリートの調合設計・設計指針・同解説(1978年制定2001年改正)
	日本建築学会	高炉スラグ微粉末を使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案)・同解説(1996年制定2001年改正)
	土木学会	高炉スラグ骨材コンクリート施工指針(1993年)
	土木学会	高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針(1996年)
	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(2003年)
セメント用	JIS制定・改訂	ポルトランドセメント(1997年改正) JIS R5210
	JIS制定・改訂	高炉セメント(1997年改正) JIS R5211

2.3.4 鉄鋼スラグを海域利用する場合の法令上の留意事項等

(1) 適用法令等

「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針：国土交通省港湾局、平成16年5月」<sup>3)</sup>では、港湾工事等において鉄鋼スラグなどのリサイクル材料を利用する場合の法令上の留意事項についてとりまとめられている。

表- 2.6 リサイクル材料の発生要因、適用法令<sup>3)</sup>

対象物	発生要因、分類 等	廃棄物処理法 (廃棄物)	リサイクル法 (指定副産物)	建設リサイクル法 (特定建設資材)	グリーン購入法 (特定調達品目)	
建設副産物	建設発生土	対象外		該当しない。	該当しない。	
	浚渫土砂					港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂で、粘性系のものは大半が軟弱な泥土に該当する。
	アスファルト・コンクリート塊	舗装のはぎ取りあるいは削り取りによって生ずるアスファルトがら	産業廃棄物(コンクリートくず、がれき類)	指定副産物に該当(年間の建設工事の施工金額が50億円以上の建設業)。	特定建設資材に該当。	再生加熱アスファルト混合物や再生骨材が該当。
	コンクリート塊					工作物の除去によって生ずるコンクリートの破片
	建設発生木材	木造家屋解体材、廃木製型枠等	産業廃棄物(木くず)			バーク堆肥、パーティクルボード、繊維板が該当。
	建設汚泥	シールド工事、場所打ち杭工法等の掘削工事から発生する泥土で自硬性、非自硬性汚泥に分類される。	産業廃棄物(汚泥)	該当しない。	該当しない。	建設汚泥処理土が該当。
産業副産物等	鉄鋼スラグ	銑鉄を生成する際に発生する高炉スラグと、銑鉄やスクラップから鋼を製造する際に発生する製鋼スラグがある。	産業廃棄物(銑さい)	該当しない。		高炉スラグ骨材、鉄鋼スラグ混入アスファルト混合物・鉄鋼スラグ路盤材、高炉セメント、土工用水砕スラグが該当。
	石炭灰	火力発電所から発生する石炭灰は、炉底に貯まるクレンカーアッシュと電気集じん機等で集められるフライアッシュとがある。	産業廃棄物(クレンカーアッシュは燃え殻、フライアッシュはばいじん)	指定副産物に該当(年間の電力供給量が1億2000万kW以上の電気業)。	該当しない。	フライアッシュセメントが該当。
	非鉄金属スラグ	非鉄金属を精錬する際に発生するスラグで、銅スラグやフェロニッケルスラグ等がある。	産業廃棄物(銑さい)		該当しない。	フェロニッケルスラグ骨材、銅スラグ骨材が該当。
	カキ殻等	食品加工工場で、カキをむき身出荷した際に残る貝殻	産業廃棄物(動植物性残さ)	該当しない。		該当しない。
	一般廃棄物、溶融固化物	都市ゴミを焼却した灰を溶融固化したもの	一般廃棄物			該当しない。
	下水汚泥、溶融固化物	下水汚泥を溶融固化したもの	産業廃棄物(汚泥)			汚泥発酵肥料が該当。

※ 下水道法に規定する下水道から除去した汚泥は、産業廃棄物として取り扱う(S46.10.25課長通知)。  
 ※ 指定副産物とは、リサイクル法第2条13項に基づき政令第1条で定めるものをいう。  
 ※ 特定建設資材とは、建設リサイクル法第2条5項に基づき政令第1条で定めるものをいう。  
 ※ 特定調達品目とは、グリーン購入法第6条第2項第2号に規定されるもので、同法に基づく基本方針に定められる(2002年度積極的に調達する対象として指定されているもの)。  
 ※ 海防法における海域等への排出については、浚渫土砂は有害物質を含む割合(水底土砂の判定基準)により排出方法と排出場所が決められ、その他副産物は廃棄物としての排出は原則禁止されている(廃棄物の処理場所に排出する際はこの限りではない)。

出典3) 港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針：国土交通省港湾局、平成16年5月

(2) 適用法令等

リサイクル材料の廃棄物としての取り扱いについては、廃棄物処理法と海防法等における法的規制を受けるか否かの判断が必要であり、その上でリサイクル材料が廃棄物である場合は、その規定に従い取り扱うことになる。

リサイクル材料を工事で使用する上での廃棄物処理法及び海防法上の留意事項を示す。(以下は、「港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針:国土交通省港湾局、平成16年5月」<sup>3)</sup>に基づき、関連する箇所を抜粋したものである。)

①廃棄物処理法上の取扱い

同法は、占有者が不要とし、かつ他者に有償で売却できなくなった物を廃棄物とし、その取り扱いについて規定している。廃棄物の定義については「建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について」(平成13年6月1日 環廃産276号)で以下のように定義されている。

『廃棄物とは、人間の活動に伴って生じたもので、汚物又は自分で利用したり他人に売却できないために不要になったすべての液状又は固形状のもの(放射性物質及びこれによって汚染されたものを除く。)をいう。ただし、土砂及びもっぱら土地造成の目的となる土砂に準ずるもの、港湾、河川等の浚渫に伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物から除外されている。』

※建設発生土、浚渫土砂を除く建設副産物及び産業副産物等は、有償で売却可能なものであれば、廃棄物処理法で規定される廃棄物に該当せず、通常の材料として活用することができる。しかしながら、有償で売却可能でなければ、廃棄物処理法で規定される廃棄物に該当し、廃棄物処理法に基づいて利用する必要がある。

②海洋汚染防止法上の取扱い

海洋汚染防止法は海洋において船舶または海洋施設から廃棄物を排出することを原則禁止しており、例外的に政令で定める一定の基準に適合する場合においてのみ、船舶または海洋施設から廃棄物を海洋(埋立地を含む)に排出することを許容することとしている。

海洋工事で産業副産物等の利用を図る際には、以下について整理し、客観的に証明することが望ましい。

- 環境保全上の問題がないことの説明
  - ・ 有害物質、pH等の確認
- 積極的に材料として使用することの説明
  - ・ 用途別の材料基準に合致するかの確認。
  - ・ 基準がない場合は基準を作成する。
- 施工者側における十分な管理体制の説明
  - ・ 運搬、仮置き、工事施工における管理・配慮が求められる。
  - ・ 管理マニュアル等があると便利。
  - ・ 但し、万が一管理不十分のため異物や材料基準に合致しないものの混入が認められた場合は廃棄物と見なされ海防法の規制を受ける。

(3) 環境保全上の検討事項

リサイクル材を利用する場合は、環境保全上支障を生じないことが前提であり、有害物質の溶出やpH等の検討を十分に行うことが必要である。

①有害物質

リサイクル材料の環境安全性の評価基準としては含有量と溶出量による方法があり、含有物の中には含有はするが溶出はしない成分がある。従って、リサイクル材料を埋立利用する場合は、溶出量及び含有量を把握した上で、関係法令に基づき適正に扱うこととされたい。(海域に投入する場合は不溶性のものに限る。)

浚渫土砂を港湾・空港等の埋立工事に利用する場合の有害物質の溶出については「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律」の水底土砂判定基準を満足するものでなくてはならない。更に一部の自治体では建設発生土等の受入基準を「土壌の汚染に係る環境基準」を採用しているところもあるため、これらに係る条例等についても留意する必要がある。

特に産業廃棄物等は有害物質が溶出する場合もあることから、排出事業者から溶出試験結果の提出を求め安全性を確認する等の配慮が必要である。また、セメント及びセメント系固化材を使用した改良土(建設発生土、浚渫土砂、建設汚泥)については、六価クロムの溶出が懸念されることから、「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について(港建第 119号 平成 12 年 3 月 27 日及び空建第 54 号 平成 12 年 3 月 27 日)」、「セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領(案)の一部改定について(港建第 118 号 平成 13 年 4 月 20 日)」によって、その取り扱いの方法が規定されている。

②その他

有害物質の溶出の他に環境保全上留意する事項として、海域の水質や底泥に係るものとして次のような基準があり、これらはリサイクル材料を対象とした基準ではないが、海中や底泥中でリサイクル材料を利用する場合に工事区域の海域の利用特性を考慮して工事中の監視目標値を定め、その目標値を満足できるように配慮が必要である。

特に安定処理材料やコンクリート破砕物等の建設副産物および産業副産物等は総じてpHが高いため計画・設計段階で対策を含め十分な検討が必要である。

- ・「水質汚濁に係る環境基準」(水質:pH、ノルマルヘキサン抽出物質等)
- ・「水産用水基準(財団法人日本水産資源保護協会)」(水質:SS・着色・油分等、底質:ノルマルヘキサン抽出物質・硫化物等)

## 2.4 鉄鋼スラグの物理的・化学的特性等

### 2.4.1 鉄鋼スラグの物理的・化学的特性

#### (1) 物理的特性

##### ①高炉徐冷スラグ<sup>4)</sup>

・徐冷したスラグの外観は、岩石状で表面は粗面、気孔があり、角張っている。粒子密度は天然砕石よりやや小さい(絶乾密度:2.2~2.6g/cm<sup>3</sup>)。これは、凝固の過程で発生するガスが逃げ切れずスラグ中に残るためであり、ゆえに空隙を多く含み吸水率はやや高い。

・溶融状態のスラグを冷却ヤードなどに放流する際の層厚や散水などによる冷却方法によって密度や吸水率などの物理特性が変化するため、一定の範囲で製鉄所間、製造ロット間のばらつきが存在する。

・40-0mm、25-0mmの高炉徐冷スラグ路盤材の単位体積重量は、15.4~18.0kN/m<sup>3</sup>の範囲にある。

##### ②高炉水砕スラグ<sup>4), 5)</sup>

・高炉水砕スラグの粒子はガラス質であり、形状も凹凸が激しく角張っている。また、密度等の物性はスラグ温度、冷却水量、水圧をコントロールすることにより、軟質で軽いものと硬質で重いものを造り分けることができる。(硬質のものはコンクリート用細骨材として用いられるのが一般的であり、土工用には軟質のものが用いられる。

・湿潤単位体積重量は天然砂に比べ小さく、製鉄所間で8~13kN/m<sup>3</sup>の範囲の差異が見られ、製鉄所内では±1kN/m<sup>3</sup>程度のばらつきの範囲にある。

・細粒分が少ないため未固結状態では高い透水性を有するが、固結に伴い透水性は低下する。また、固結に伴いせん断強度が増加する。また、内部摩擦角は大きい(港湾工事用水砕スラグ利用手引書によると基準値35°)。

・標準的な粒径は4.75mm以下の砂状であり、細粒分(0.075mm以下)は1~2%程度で極めて少ない。

##### ③製鋼スラグ<sup>4), 6)</sup>

・製鋼スラグは、高炉スラグや天然砂利に比べると密度が大きい。また、遊離石灰を含有するため、水と反応して膨張する性質がある。製鋼スラグは、製鉄所の違いのみならず、製鉄所内においても、製錬工程の違いにより密度や膨張量などの品質に差異が認められる。

・出荷される製鋼スラグは、一般に40mm以下に破碎・整粒されたものであり製鉄所や種類により異なる。粒子密度は概ね3.2~3.6g/cm<sup>3</sup>の範囲である。なお、径5mm以下の粒子はこれより若干小さくなる傾向にある。

・単位体積重量は締固めの程度により密度が異なる。「港湾工事用製鋼スラグ利用手引書」<sup>5)</sup>によると、湿潤単位体積重量について、密な状態で23.0kN/cm<sup>3</sup>、ゆるい状態で21.0kN/cm<sup>3</sup>を基準としている。

・電気炉酸化スラグは、FeOを多く含むため絶乾密度が高く単位体積重量も大きい。

・内部摩擦角は大きい。(φ=40°)

・転炉系製鋼スラグの透水係数は、経時的に低下する傾向にある。ただし、電気炉酸化スラグは透水係数の低下はほとんど見られない。

## (2) 化学的特性

### ①高炉徐冷スラグ<sup>4)</sup>

・高炉徐冷スラグの化学組成は、一般に石灰(CaO)およびシリカ(SiO<sub>2</sub>)の2つを主成分としている。特に自然界の土や石の成分に比べ石灰の含有量が多く、その他には酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、酸化マグネシウム(MgO)などが含まれる。

・スラグが水と接触すると微量の石灰(CaO)やシリカ(SiO<sub>2</sub>)が溶け出し、スラグ表面に緻密な水和物を形成し、さらにアルカリ性の雰囲気のもとでは、酸化アルミニウム(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)が加わった水和物を形成し、これがスラグ粒子をつなぐ結合材となり固結する(水硬性)。

### ②高炉水砕スラグ<sup>4), 5)</sup>

・高炉水砕スラグの化学組成は、高炉徐冷スラグと同様である。

・高炉水砕スラグはガラス質であるため、活性が強く、アルカリ性溶液のもとでは水和物を生成して固化する性質(潜在水硬性)がある。

### ③製鋼スラグ<sup>2), 4), 6)</sup>

・一般に、製鋼スラグは石灰(CaO)とシリカ(SiO<sub>2</sub>)の2つを主成分としている。転炉系製鋼スラグでは、以上の他に酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)などが含まれている。また、酸化鉄等も多く含むため、高炉スラグや天然砂利に比べると比重が大きい。

・化学成分がセメントと類似していることから、高炉徐冷スラグと同様に水硬性があるが、その程度は弱く、水硬性の発現は一様ではない。

・吹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消化のまま遊離石灰(f-CaO)として残るものがある。これらは、製鋼スラグの比重が大きいことや、水と接触した際に膨張する性質を示す等の原因になっている。

→屋外で養生させることで水和反応を促進し、その後の膨張量を減少させる(エージング)

・電気炉酸化スラグは、1550～1600℃の溶鋼中に吹込んだ酸素と反応して生成した金属酸化物で構成されており化学的に安定した物質である。また、石灰分が少ないためエージング処理は不要とされている。

・電気炉還元スラグは、スラグ内に残存する遊離石灰等と水が反応する膨張性の性質がある。また、精練する綱種の違いによる成分格差が大きく、安定した品質が保持しにくいとされている。

鉄鋼スラグの一般的な化学組成は、表- 2.7 に示すとおりである。

表- 2.7 (1) 鉄鋼スラグの化学組成例①<sup>2)</sup>

単位: %

	高炉スラグ	製鋼スラグ			安山岩 (参考)
		転炉系スラグ	電気炉系スラグ		
			酸化スラグ	還元スラグ	
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8
SiO <sub>2</sub>	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3
S	0.8	0.06	0.2	0.4	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	1.7	0.3	0.1	-
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2

鉄鋼スラグは1,200℃以上の高温で溶解されるため、有機物は一切含まない。

表- 2.7(2) 鉄鋼スラグの化学組成例②<sup>7), 8)</sup>

< 高炉スラグ<sup>7)</sup> >

SiO <sub>2</sub>	33.8
CaO	42.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.4
T-Fe	0.3
MgO	6.7
S	0.8
MnO	0.3
TiO <sub>2</sub>	1.0

※T-FeはFeOとして

< 製鋼スラグ(転炉スラグ、電気炉スラグ)<sup>8)</sup> >

	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>	13.8	17.7	27.0
CaO	44.3	26.2	51.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	12.2	9.0
T-Fe	17.5	21.2	1.5
MgO	6.4	5.3	7.0
S	0.1	0.1	0.5
MnO	5.3	7.9	1.0
TiO <sub>2</sub>	1.5	0.7	0.7

< 予備処理スラグ<sup>7)</sup> >

	予備処理スラグ
SiO <sub>2</sub>	15
CaO	34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4
T-Fe	18
MgO	2
S	0.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5

出典4) 港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針: 国土交通省港湾局、平成16年5月

出典5) 港湾・空港における水砕スラグ利用技術マニュアル: (財) 沿岸技術研究センター、平成19年12月

出典6) 港湾工事前製鋼スラグ利用手引書: (財) 沿岸開発技術センター、鉄鋼スラグ協会、平成12年3月

出典7) 鉄鋼スラグ協会資料

出典8) 鉄鋼スラグを用いた固体体の基礎的性状及び港湾構造物への適用性に関する研究: 港湾技研資料 No.990、平成13年6月

(3) 想定される環境への影響

①高炉徐冷スラグ<sup>9)</sup>

■黄濁水の溶出

・石炭(コークス)その他の原料中に含まれる微量の硫黄(S)により、高炉徐冷スラグ中には1%程度の硫黄が硫化カルシウム(CaS)の形態で存在する。このため、高炉徐冷スラグを水中に浸漬すると、硫化カルシウムが加水分解し、さらに逐次反応が進行して多硫化イオン(S<sub>x</sub><sup>2-</sup>)を生成することにより、溶液は黄色を呈し、温泉臭を発するようになる。

・この黄濁水の溶出を抑制するには、エージングと呼ばれる事前安定化処理(あらかじめスラグ中の硫黄を溶出させる)を行うことが必要である。

■pH

・鉄鋼スラグには石灰(CaO)を含有するため、この石灰が水と反応し消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)となり、水中ではカルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)と水酸化イオン(OH<sup>-</sup>)に分解しpHが上昇する。

・高炉徐冷スラグのpHは一般に高く、環境省告示の方法で得た検液のpHは 11.3~12.5 である。我が国の土壌は一般に酸性土壌であるためスラグから溶出したアルカリ成分は土壌に吸着中和される。しかし、スラグに接した水が土壌を介さないで直接水域に流れ込むような場合は、必要に応じ中和等の措置が必要となる。

・また、pH上昇に伴うアルカリ化(pH>9.5 が目安)により、海水中に含まれるマグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)とスラグの石灰分溶出に伴い発生した OH<sup>-</sup>が反応して水酸化マグネシウム(Mg(OH)<sub>2</sub>)が生成され、海水が白濁することがある。(ただし、元々海水中に存在するマグネシウムイオンが引き起こす現象のため無害)

■有害物質の溶出

・高炉徐冷スラグを製造している各製鉄所において、表- 2.8 に示す項目について溶出試験を行っており<sup>9)</sup>、これによると、フッ化物を除き全て不検出であり、フッ化物も水底土砂判定基準値を大きく下回っている。

出典9) 高炉スラグ路盤設計施工指針: 鉄鋼スラグ協会、昭和57年



表- 2.8 高炉徐冷スラグの溶出試験結果(海洋汚染防止法水底土砂基準)<sup>9)</sup>

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界
アルキル水銀化合物	mg/l	不検出	検出されないこと	0.0005	ニッケル又はその化合物	mg/l	不検出	1.2以下	0.01
水銀又はその化合物	#	#	0.005以下	0.0005	バナジウム又はその化合物	#	#	1.5以下	0.1
カドミウム又はその化合物	#	#	0.1以下	0.001	有機塩素化合物	mg/kg	#	40以下	4
鉛又はその化合物	#	#	0.1以下	0.005	ジクロロメタン	mg/l	#	0.2以下	0.002
有機りん又はその化合物	#	#	1以下	0.1	四塩化炭素	#	#	0.02以下	0.0002
六価クロム化合物	#	#	0.5以下	0.4	1,2-ジクロロエタン	#	#	0.04以下	0.0004
砒素又はその化合物	#	#	0.1以下	0.005	1,1-ジクロロエチレン	#	#	0.2以下	0.002
シアン化合物	#	#	1以下	0.1	シス-1,2-ジクロロエチレン	#	#	0.4以下	0.004
PCB	#	#	0.003以下	0.0005	1,1,1-トリクロロエタン	#	#	3以下	0.0005
銅又はその化合物	#	#	3以下	0.005	1,1,2-トリクロロエタン	#	#	0.06以下	0.0006
亜鉛又はその化合物	#	#	5以下	0.01	1,3-ジクロロプロペン	#	#	0.02以下	0.0002
ふっ化物	#	0.3	15以下	0.1	チウラム	#	#	0.06以下	0.0005
トリクロロエチレン	#	不検出	0.3以下	0.002	シマジン	#	#	0.03以下	0.0003
テトラクロロエチレン	#	#	0.1以下	0.0005	チオベンカルブ	#	#	0.2以下	0.001
ベリリウム又はその化合物	#	#	2.5以下	0.01	ベンゼン	#	#	0.1以下	0.001
クロム又はその化合物	#	#	2以下	0.04	セレン又はその化合物	#	#	0.1以下	0.002

※ダイオキシン溶出量については、2事業所で測定した結果、値はTEQ換算で0であった

②高炉水砕スラグ<sup>4)、5)</sup>

■黄濁水の溶出

・高炉水砕スラグの場合は、1,500℃以上の高温溶融状態のスラグを高圧水にて一気に常温まで冷却(急冷処理)し製造されるため、スラグ中の硫黄分は、高炉水砕スラグガラス中に分散固定された状態となっている。そのため、徐冷スラグ中のCaSのように水に溶解せず、黄濁水は発生しないとされている。

■pH

・高炉水砕スラグのpHは、環境省告示46号の方法に準じた溶出試験では、イオン交換水の場合10.4と、高炉徐冷スラグに比べpHは低い値であった。また、海水養生の場合には、イオン交換水に比べ約2程度小さい値となる。

・また、pH上昇に伴うアルカリ化(pH>9.5が目安)により、海水中に含まれるマグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)とスラグの石灰分溶出に伴い発生したOH<sup>-</sup>が反応して水酸化マグネシウム(Mg(OH)<sub>2</sub>)が生成され、海水が白濁することがある。(ただし、元々海水中に存在するマグネシウムイオンが引き起こす現象のため無害)

■有害物質の溶出

・高炉水砕スラグを製造している各製鉄所において、表- 2.9 に示す項目について溶出試験を行っており<sup>10)</sup>、これによると、フッ化物を除き全て不検出であり、フッ化物も水底土砂判定基準値を大きく下回っている。

出典10) 鉄鋼スラグ協会調べ

表- 2.9 高炉水砕スラグの溶出試験結果(海洋汚染防止法水底土砂基準)<sup>9)</sup>

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界
アルキル水銀化合物	mg/l	不検出	検出されないこと	0.0005	ニッケル又はその化合物	mg/l	不検出	1.2以下	0.01
水銀又はその化合物	"	"	0.005以下	0.0005	バナジウム又はその化合物	"	"	1.5以下	0.1
カドミウム又はその化合物	"	"	0.1以下	0.001	有機塩素化合物	mg/kg	"	40以下	4
鉛又はその化合物	"	"	0.1以下	0.005	ジクロロメタン	mg/l	"	0.2以下	0.002
有機りん又はその化合物	"	"	1以下	0.1	四塩化炭素	"	"	0.02以下	0.0002
六価クロム化合物	"	"	0.5以下	0.4	1,2-ジクロロエタン	"	"	0.04以下	0.0004
砒素又はその化合物	"	"	0.1以下	0.005	1,1-ジクロロエチレン	"	"	0.2以下	0.002
シアン化合物	"	"	1以下	0.1	シス-1,2-ジクロロエチレン	"	"	0.4以下	0.004
PCB	"	"	0.003以下	0.0005	1,1,1-トリクロロエタン	"	"	3以下	0.0005
銅又はその化合物	"	"	3以下	0.005	1,1,2-トリクロロエタン	"	"	0.06以下	0.0006
亜鉛又はその化合物	"	"	5以下	0.01	1,3-ジクロロプロペン	"	"	0.02以下	0.0002
ふっ化物	"	0.26	15以下	0.1	チウラム	"	"	0.06以下	0.0005
トリクロロエチレン	"	不検出	0.3以下	0.002	シマジン	"	"	0.03以下	0.0003
テトラクロロエチレン	"	"	0.1以下	0.0005	チオベンカルブ	"	"	0.2以下	0.001
ベリリウム又はその化合物	"	"	2.5以下	0.01	ベンゼン	"	"	0.1以下	0.001
クロム又はその化合物	"	"	2以下	0.04	セレン又はその化合物	"	"	0.1以下	0.002

※現在の所、ダイオキシンの溶出量データは無いが、高炉徐冷スラグと同様、高炉で1,500℃以上の熔融状態から生成されたため、高炉水砕スラグも基準内の低い値と推定される。

### ③製鋼スラグ<sup>2)、4)、6)、11)、12)</sup>

#### ■黄濁水の溶出

・製鋼スラグには硫黄分がほとんど含まれないため、黄濁水の発生はないとされている。ただし、予備処理工程で発生する、硫化物が多く含まれる可能性のある「脱硫スラグ」については、極端に硫化物が介在する恐れがあるので、転炉系製鋼スラグの海域利用の手引き<sup>11)</sup>では利用の対象外としている。

#### ■pH

・製鋼スラグの石灰(CaO)は、水と反応して消石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)となり、これがCa<sup>+</sup>とOH<sup>-</sup>として海水中に溶解してpHは高くなる。環境省告示の方法で得た検液のpHは表- 2.10に示すとおりである。

・高炉スラグよりCaOが多く含まれるため、その水溶液のpHは一般に高炉スラグよりも高くなる(特に転炉系スラグ、電気炉系還元スラグ)。

・pH上昇に伴うアルカリ化(pH>9.5が目安)により、海水中に含まれるマグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)とスラグの石灰分溶出に伴い発生したOH<sup>-</sup>が反応して水酸化マグネシウム(Mg(OH)<sub>2</sub>)が生成され、海水が白濁することがある。(ただし、元々海水中に存在するマグネシウムイオンが引き起こす現象のため無害)

表- 2.10 製鋼スラグ溶出水のpH<sup>12)</sup>

溶媒	転炉	電気炉	
		酸化	還元
純水	12.8～13.2	10.1～12.5	9.5～12.7
人工海水	10.2～10.3	8.6～11.9	8.9～12.4

### ■有害物質の溶出

・海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律による溶出試験を実施した結果<sup>6)</sup>は表- 2.11 に示すとおりであり、これによるとすべての項目で基準値以下である。

・しかし、ごく一部の製鋼スラグには、重金属などの溶出量が基準値を超えるものがある。これについて「港湾工事中製鋼スラグ利用手引書」では、「これら溶出の恐れのあるスラグは、生成条件などが明らかになっており、製造所において分別して管理がされているので、建設資材として一般に流通することはない。」とされている。

・環境基本法に基づく水質汚濁に係る環境基準が平成 11 年に、同じく土壌の汚染に係る環境基準が平成 13 年にそれぞれ改正され、フッ素及びホウ素の基準項目が新たに追加されている。ただし、本基準に係る中央環境審議会の答申(平成 12 年 12 月 26 日)によると、スラグ等の再利用物への適用に関して「道路用等の路盤材や土木用地盤改良材等として利用される場合には、再利用物自体は周辺の土壌と区別できることから(フッ素及びホウ素に関する土壌環境基準は)適用しない」「通常、海域に隣接した地域で施工されている土木用地盤改良材の利用については軟弱地盤に施工されているスラグのサンドパイル全体を囲む改良地盤部分を、それぞれ一体としてとらえ、周辺土壌とは区別するものとする」とされている。

・同審議会土壌農薬部会土壌専門委員会における議事のなかで、スラグの中には環境基準を超えるフッ素を含有しているものがあること、スラグをサンドパイルに使用する場合、地下水と接して溶出する場合があります等が指摘されている。このことから特に内陸部等での使用に際しては使用方法及び水源位置、地下水位等に留意する必要がある。

出典11) 転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き: (社) 日本鐵鋼連盟、平成20年9月

出典12) リサイクル環境保全ハンドブック、環境庁、平成4年5月

表- 2.11 製鋼スラグの溶出試験結果(海洋汚染防止法水底土砂基準)<sup>6)</sup>

試験項目	単位	計量値	判定基準	定量限界	備考
アルキル水銀化合物	mg/l	不検出	検出されないこと	0.0005	・検定方法 海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第5条第1項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる金属等の検出方法(昭48環告14)による。
水銀又はその化合物	"	"	0.005以下	0.0005	
カドミウム又はその化合物	"	"	0.1以下	0.001	
鉛又はその化合物	"	"	0.1以下	0.005	
有機りん又はその化合物	"	"	1以下	0.1	
六価クロム化合物	"	"	0.5以下	0.04	
ひ素又はその化合物	"	"	0.1以下	0.005	
シアン化合物	"	"	1以下	0.1	
PCB	"	"	0.003以下	0.0005	
銅又はその化合物	"	"	3以下	0.005	
亜鉛又はその化合物	"	"	5以下	0.01	
ふっ化物	"	0~4.4	15以下	0.1	
トリクロロエチレン	"	不検出	0.3以下	0.002	
テトラクロロエチレン	"	"	0.1以下	0.0005	
ヘリウム又はその化合物	"	"	2.5以下	0.01	
クロム又はその化合物	"	"	2以下	0.04	
ニッケル又はその化合物	"	"	1.2以下	0.01	
バナジウム又はその化合物	"	"	1.5以下	0.1	
有機塩素化合物	mg/kg	"	40以下	4	・"不検出"とは、定量限界を下回ること。
ジクロロメタン	mg/l	"	0.2以下	0.002	
四塩化炭素	"	"	0.02以下	0.0002	・計量値は11製造所のものである。 ・現在のところ、ダイオキシンの溶出量データは無いが、高炉スラグと同様、1,500℃以上の熔融状態から生成されるため、製鋼スラグも基準内の低い値と推定される。
1,2-ジクロロエタン	"	"	0.04以下	0.0004	
1,1-ジクロロエチレン	"	"	0.2以下	0.002	
シス-1,2-ジクロロエチレン	"	"	0.4以下	0.004	
1,1,1-トリクロロエタン	"	"	3以下	0.0005	
1,1,2-トリクロロエタン	"	"	0.06以下	0.0006	
1,3-ジクロロプロペン	"	"	0.02以下	0.0002	
チウラム	"	"	0.06以下	0.0005	
シマジン	"	"	0.03以下	0.0003	
チオベンカルブ	"	"	0.2以下	0.001	
ベンゼン	"	"	0.1以下	0.001	
セレン又はその化合物	"	"	0.1以下	0.002	

なお、高炉スラグ、製鋼スラグともに、有害物質の溶出については、使用を予定している製鉄所から溶出試験等の材料試験結果を取り寄せるなどして、安全性を確認することが望ましいとされている<sup>4)</sup>。

## (鉄鋼スラグ製品)

鉄鋼スラグを利用した製品として、鉄鋼スラグ水和固化体(製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末及び水を必須材料とし、これらを練混ぜ、水和反応により固化(硬化)させたもの。副産物を材料として利用し、コンクリートと同等な強度を得ることが出来る)の溶出試験結果を表- 2.12 に示す。鉄鋼スラグ水和固化体からの有害物質の溶出は、対象となる全成分について基準値未滿または不検出であり、水底土砂に係わる判定基準を満足している。

表- 2.12 鉄鋼スラグ水和固化体の溶出試験結果の例<sup>13)</sup>

計量の対象	単位	配合 I・T 計量値	配合 I・U 計量値	定量下限値	水底土砂に係わる 判定基準 (環告14)
アルキル水銀化合物	mg/L	<0.0005	<0.0005	0.0005	検出されないこと
水銀又はその化合物	mg/L	<0.0005	<0.0005	0.0005	0.005mg/L以下
カドミウム又はその化合物	mg/L	<0.001	<0.001	0.005	0.1mg/L以下
鉛又はその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	0.05	0.1mg/L以下
有機りん化合物	mg/L	<0.05	<0.05	0.05	1mg/L以下
六価クロム化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	0.5mg/L以下
ひ素又はその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	0.1mg/L以下
シアン化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	1mg/L以下
銅又はその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	3mg/L以下
亜鉛又はその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	5mg/L以下
ふっ化物	mg/L	0.9	0.2	0.1	15mg/L以下
PCB	mg/L	<0.0005	<0.0005	0.0005	0.003mg/L以下
トリクロロエチレン	mg/L	<0.002	<0.002	0.002	0.3mg/L以下
テトラクロロエチレン	mg/L	<0.002	<0.002	0.002	0.1mg/L以下
ベリリウム又はその化合物	mg/L	<0.05	<0.05	0.05	2.5mg/L以下
クロム又はその化合物	mg/L	<0.01	<0.01	0.01	2mg/L以下
ニッケル又はその化合物	mg/L	<0.02	<0.02	0.02	1.2mg/L以下
バナジウム又はその化合物	mg/L	<0.5	<0.5	0.5	1.5mg/L以下
有機塩素化合物	mg/L	<5	<5	5	40mg/L以下
ジクロロメタン	mg/L	<0.002	<0.002	0.002	0.2mg/L以下
四塩化炭素	mg/L	<0.003	<0.003	0.003	0.02mg/L以下
1, 2-ジクロロエタン	mg/L	<0.005	<0.005	0.005	0.04mg/L以下
1, 1-ジクロロエチレン	mg/L	<0.001	<0.001	0.001	0.2mg/L以下
シス-1, 2-ジクロロエチレン	mg/L	<0.002	<0.002	0.002	0.4mg/L以下
1, 1, 1-トリクロロエタン	mg/L	<0.002	<0.002	0.002	3mg/L以下
1, 1, 2-トリクロロエタン	mg/L	<0.003	<0.003	0.003	0.06mg/L以下
1, 3-ジクロロプロペン	mg/L	<0.004	<0.004	0.004	0.02mg/L以下
チラウム	mg/L	<0.006	<0.006	0.006	0.06mg/L以下
シマジン	mg/L	<0.003	<0.003	0.003	0.03mg/L以下
チオベンカルブ	mg/L	<0.02	<0.02	0.02	0.2mg/L以下
ベンゼン	mg/L	<0.001	<0.001	0.001	0.1mg/L以下
セレン又はその化合物	mg/L	0.005	<0.002	0.002	0.1mg/L以下

注) 鉄鋼スラグ水和固化体を材齢 28 日まで封緘養生後破碎処理し、水底土砂に係わる判定基準(環告 14 号)により溶出試験を行った結果。

出典13) 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアルー製鋼スラグの有効活用技術ー(改訂版)、平成 20 年 2 月、(財)沿岸技術研究センター

(鉄鋼スラグ製品の環境 JIS と環境基準)

鉄鋼スラグ製品は、すでに土木資材利用のための材料として、その品質が JIS 化され有効利用されているが、環境安全面での品質基準に係る規格がなかったことから、鉄鋼スラグ協会では、2005 年に制定された「スラグ類の化学物質試験方法 (JIS K 0058-1, -2)」（環境 JIS 法）に準じて、現在鉄鋼スラグ製品 JIS に環境項目を織り込む追加改正に取り組んでいる。

環境 JIS 法による鉄鋼スラグ製品の溶出試験値と含有量試験値を見ると、いずれの項目も土壤環境基準や土壤汚染対策法で定める基準値をクリアしていることが明らかになっている<sup>14)</sup>。

表- 2.13 環境 JIS 法による鉄鋼スラグ製品の溶出試験結果例<sup>14)</sup>

(単位: mg/l)

項目	(参考基準) 土壤溶出基準	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
Cd	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr <sup>6+</sup>	0.05 以下	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
As	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
T-Hg	0.0005 以下	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Se	0.01 以下	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
F	0.8 以下	0.2	0.1	<0.1	<0.1
B	1.0 以下	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

注: < は分析の定量限界以下を示し、不検出を意味する

出典: 「平成 16 年度エネルギー使用合理化システム標準化調査成果報告書」(再生材料・製品中の化学物質試験方式に関する標準化調査研究)

出典14) 環境資材 鉄鋼スラグ: 鉄鋼スラグ協会、平成 22 年 8 月

以上の結果より、鉄鋼スラグの物理的・化学的特性、想定される環境への影響をまとめると、表- 2.14 に示すとおりである。

表- 2.14 鉄鋼スラグの物理的・化学的特性、想定される環境への影響(まとめ)

		物理的特性	化学的特性	想定される環境への影響
高炉スラグ	除冷スラグ	<p>□岩石状、表面は粗面、気孔があり角張っている。</p> <p>□粒子密度は天然岩石よりやや小さい。(絶乾密度2.2~2.6g/cm<sup>3</sup>)</p> <p>□冷却方法により密度や吸水率などの物理特性が変化するため、一定の範囲で製鉄所間、製造ロット間のばらつきが存在する。</p>	<p>□石灰(CaO)及びシリカ(SiO<sub>2</sub>)を主成分とし自然の岩石に比べると石灰の含有量が多い。</p> <p>□水硬性(SiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の水和物の形成による)</p>	<p>□原料中に含まれる硫黄により、水中に浸漬すると黄濁水が発生する。このため、あらかじめスラグ中の硫黄を溶出させる事前安定化処理(エージング)が必要。</p> <p>□石灰(CaO)を含有するためpHが上昇する。</p> <p>□高いpH(pH&gt;9.5)では海水の白濁が起こる(無害)</p> <p>□各製鉄所における溶出試験結果では、水底土砂判定基準を下回る。</p>
	水砕スラグ	<p>□ガラス質、形状は凹凸が激しく角張っている。</p> <p>□密度等の物性はスラグ温度、冷却水量、水圧をコントロールすることにより、軟質で軽いものと硬質で硬いものを造り分けることが出来る。</p> <p>□湿潤単位体積重量は天然砂に比べ小さい。(軽量)</p> <p>□未固結状態で透水性が高く、固結に伴い透水性は低下、固結に伴いせん断強度は増加</p> <p>□内部摩擦角大</p> <p>□標準的な粒径は4.75mm以下の砂状で、細粒分(0.075mm以下)は1~2%程度と極めて少ない。</p>	<p>□化学組成は徐冷スラグと同じ。</p> <p>□潜在水硬性(ガラス質であるため活性が高く、アルカリ性水溶液のもとで水和物を形成し硬化する)</p>	<p>□スラグ中の硫黄分は、高炉水砕スラグ中に分散固定されるため黄濁水は発生しない。</p> <p>□pHは上昇するが、徐冷スラグに比べると低い。</p> <p>□高いpH(pH&gt;9.5)では海水の白濁が起こる(無害)</p> <p>□各製鉄所における溶出試験結果では、水底土砂判定基準を下回る。</p>
製鋼スラグ	(予備処理スラグを含む)	<p>□高炉スラグや天然砂利に比べ密度、単位体積重量が大きい。</p> <p>□出荷される製鋼スラグは一般に40mm以下(製鉄所や種類により異なる)</p> <p>□内部摩擦角大</p> <p>□転炉系製鋼スラグの透水係数は経時的に低下する傾向にある。</p>	<p>□石灰(CaO)及びシリカ(SiO<sub>2</sub>)を主成分とし、転炉系製鋼スラグでは酸化マグネシウム(MgO)、酸化マンガン(MnO)などが含まれる。</p> <p>□予備処理スラグは、その種類によりそれぞれ品質が異なる。</p> <p>□酸化鉄を多く含むため高炉スラグや天然砂利に比べ比重が大きい。</p> <p>□高炉徐冷スラグと同様に水硬性があるが、その程度は弱く発現が一律ではない。</p> <p>□残存した遊離石灰により、水と接触した際に膨張する性質がある。このため、エージング処理が行われる。(エージング処理:屋外で養生することで水和反応を促進し、その後の膨張量を減少させる)</p>	<p>□製鋼スラグには硫黄分がほとんど含まれないため、黄濁水の発生はないとされている。ただし、予備処理スラグのうち、脱硫スラグについては、硫化物が介在する恐れがある。</p> <p>□高炉スラグよりCaOが多く含まれるため、pHは高炉スラグより高くなる。</p> <p>□高いpH(pH&gt;9.5)では海水の白濁が起こる(無害)</p> <p>□各製鉄所における溶出試験結果では、水底土砂判定基準を下回る。</p>
	電気炉系製鋼元スラグ(酸化スラグ、還元)	<p>□酸化スラグは、FeOを多く含むため密度、単位体積重量が大きい。</p> <p>□電気炉酸化スラグは、透水性の経時的な低下はほとんど見られない。</p>	<p>□高炉徐冷スラグと同様に水硬性があるが、その程度は弱く発現が一律ではない。</p> <p>□酸化スラグは溶網中に吹き込んだ酸素と反応して形成した金属酸化物で構成されるため化学的に安定している。</p> <p>□酸化スラグは石灰分が少なく、エージング処理は不要。</p> <p>□還元スラグは、転炉系スラグと同様、残存した遊離石灰により水と接触した際に膨張する性質がある。</p> <p>□還元スラグは、精練する工種の違いによる成分格差が大きく、安定した品質が保持しにくい。</p>	<p>□製鋼スラグには硫黄分がほとんど含まれないため、黄濁水の発生はないとされている。</p> <p>□高炉スラグよりCaOが多く含まれるため、pHは高炉スラグより高くなる。(特に電気炉系還元スラグ)</p> <p>□高いpH(pH&gt;9.5)では海水の白濁が起こる(無害)</p> <p>□各製鉄所における溶出試験結果では、水底土砂判定基準を下回る。</p>

2.5 鉄鋼スラグを海域利用する場合に期待される効果、環境への影響の可能性

既往の知見に基づき、鉄鋼スラグを海域利用する場合に期待される環境改善効果と、環境への影響の可能性を、表- 2.15 に示すとおり整理した。

表- 2.15 鉄鋼スラグの特性、期待される環境改善効果、環境への影響の可能性

種 類	特 性	期待される海域環境改善効果	環境への影響の可能性
高炉スラグ(水砕スラグ)	<input type="checkbox"/> 石灰含有量大(pH上昇) <input type="checkbox"/> SiO <sub>2</sub> の含有 <input type="checkbox"/> 砂に類似した形状 <input type="checkbox"/> 潜在水硬性	<input type="checkbox"/> 海底泥からの硫化物・リン溶出抑制(高pH下で顕著) <input type="checkbox"/> SiO <sub>2</sub> の供給による藻類の繁殖の促進、藻場育成効果 <input type="checkbox"/> 底生生物、アマモなどの生息基盤造成(砂の代替材;覆砂材料) <input type="checkbox"/> スラグ混合による軟弱な浚渫土や海底泥の改良(固化)、底泥の巻き上がり抑制効果など	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高pH下での海水の白濁の可能性</li> <li>・高pHによる生物への影響</li> <li>・pH上昇によるアンモニア態窒素の溶出</li> <li>・製造時に発生する針状粒子</li> <li>・覆砂時に潜在水硬性が発現することによる固結作用</li> </ul>
転炉系製鋼スラグ(予備処理スラグ含む)	<input type="checkbox"/> 石灰含有量大(pH上昇) <input type="checkbox"/> SiO <sub>2</sub> 、鉄分の含有 <input type="checkbox"/> 無機栄養塩の溶出(脱磷・脱珪スラグ) <input type="checkbox"/> 砂に類似した形状 <input type="checkbox"/> 潜在水硬性	<input type="checkbox"/> 海底泥からの硫化物・リン溶出抑制(高pH下で顕著) <input type="checkbox"/> SiO <sub>2</sub> や二価鉄イオンの供給による藻類の繁殖の促進、藻場育成効果 <input type="checkbox"/> 無機栄養塩の供給による底生微細藻類の増殖、光合成活性化→水質・底質環境の改善 <input type="checkbox"/> 底生生物、アマモなどの生息基盤造成(砂の代替材;覆砂材料) <input type="checkbox"/> スラグ混合による軟弱な浚渫土や海底泥の改良(固化)、底泥の巻き上がり抑制効果など	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高pH下での海水の白濁の可能性</li> <li>・高pHによる生物への影響</li> <li>・pH上昇によるアンモニア態窒素の溶出</li> <li>・鉄分の溶出による錆の発生</li> <li>・比重が重いことによる底泥中へのスラグの沈み込み</li> <li>・スラグの種類の違い(脱磷・脱珪・脱炭スラグ)による底質改善効果の発現性の違い</li> </ul>

※高炉スラグ(徐冷スラグ)及び電気炉製鋼スラグについては、海域での適用事例がほとんど無く、海域利用に関する調査・研究がほとんど行われていない。



## 2.6 鉄鋼スラグの海域利用に関する適用事例のレビュー

### 2.6.1 鉄鋼スラグの海域利用に関する国内での適用事例のレビュー

鉄鋼スラグを海域環境改善のために利用する試み(現地での実証試験等)はこれまでに数多く実施されている。ここでは、鉄鋼スラグの種類別、用途別に、鉄鋼スラグの海域利用に関する適用事例を表- 2.16 及び表- 2.17 に整理した。

また、表- 2.16 及び表- 2.17 で整理した事例の中から、公開情報が入手できたものについて、海域利用時の安全性評価、手続き、効果の評価の状況などを表- 2.18 のとおり整理した。

表- 2.16 鉄鋼スラグの海域利用に関する過去の適用事例(高炉スラグ)

種類	用途	実施主体 (①公共、②民間、③大学等)	適用場所	実施時期	概略内容	結果	出典																												
徐冷スラグ	-	-	-	-	<p>■魚礁コンクリートとしての用途のため、ポーラスコンクリート用骨材として利用した事例は散見されるが、海藻の増加効果などを検証した事例や、海域の環境改善を目的とした研究・施工事例は見当たらない。</p>	-	-																												
水砕スラグ	海底覆砂材	国土交通省中国地方整備局(①) JFEスチール(②)	中海	H13～H16	<p>■海底のヘドロを覆うために、水砕スラグ覆砂材(マリンベース)による覆砂を実施。(H13～H16、約165,000t使用、約16ha修復) ※中海浄化覆砂工事;国土交通省中国地方整備局、NKK(JFEスチール)。</p> <p>■中海のほか、三河湾でも高炉水砕スラグを使った実証実験を実施し、アサリの着底状況など良好な結果を得ている。</p> 	<p>■実海域試験において、高炉水砕スラグ覆砂材の硫化水素発生抑制効果、ケイ酸塩供給効果、表面への生物付着効果が確認されている。(中海での効果に関する資料は見当たらない)</p>	15)																												
	海底覆砂材	大阪市(①)	大阪湾奥部	H17	<p>■大阪湾内で堆積泥層の大きな区域において高炉水砕スラグを層厚60cmで覆砂。</p>	<p>■覆砂中の間隙水のpH、硫化物の改善、生物相の多様化など一定の効果を確認したものの、覆砂約1年後には浮泥堆積や材料の潜在水硬性によりその効果が徐々に低下した。</p>	16)																												
	底質改善材	JFEスチール(②) 東海大学(③)	静岡市東海大学臨海実験場地先海域	H11	<p>■海底に、ポリプロピレン製の容器(420L)に高炉水砕スラグを入れたものを設置する実験を1年間実施。</p>	<p>■夏季の抑制効果、ケイ酸塩供給効果が確認されている。(リン吸着についての結果は無し)</p> <p>■水砕スラグ中の底生生物の種類・量は天然砂と同等以上であった。</p>	17)																												
	底質改善材	愛知県水産試験場(③)	室内実験	H17～H18	<p>■愛知県水産試験場において、高炉水砕スラグが固結しない浚渫土の混合割合と効率的な混合方法、アサリを用いて干潟造成材としての適性に関する試験を実施。</p> <table border="1" data-bbox="678 1305 1013 1585"> <thead> <tr> <th>試験区分</th> <th>備 考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2-1</td><td>スラグ100%</td></tr> <tr><td>2-2</td><td>スラグ80%+浚渫土A20%</td></tr> <tr><td>2-3</td><td>スラグ70%+浚渫土A30%</td></tr> <tr><td>2-4</td><td>スラグ60%+浚渫土A40%</td></tr> <tr><td>2-5</td><td>スラグ50%+浚渫土A50%</td></tr> <tr><td>2-6</td><td>スラグ80%+浚渫土C20%</td></tr> <tr><td>2-7</td><td>スラグ70%+浚渫土C30%</td></tr> <tr><td>2-8</td><td>スラグ60%+浚渫土C40%</td></tr> <tr><td>2-9</td><td>スラグ50%+浚渫土C50%</td></tr> <tr><td>2-10</td><td>スラグ40%+浚渫土C60%</td></tr> <tr><td>海砂</td><td>中央粒径0.8mm程度(新規)</td></tr> <tr><td>混合材</td><td>スラグ50%+浚渫土A50%(新規)</td></tr> <tr><td>浚渫土</td><td>クリーム状のヘドロ質(新規)</td></tr> </tbody> </table>	試験区分	備 考	2-1	スラグ100%	2-2	スラグ80%+浚渫土A20%	2-3	スラグ70%+浚渫土A30%	2-4	スラグ60%+浚渫土A40%	2-5	スラグ50%+浚渫土A50%	2-6	スラグ80%+浚渫土C20%	2-7	スラグ70%+浚渫土C30%	2-8	スラグ60%+浚渫土C40%	2-9	スラグ50%+浚渫土C50%	2-10	スラグ40%+浚渫土C60%	海砂	中央粒径0.8mm程度(新規)	混合材	スラグ50%+浚渫土A50%(新規)	浚渫土	クリーム状のヘドロ質(新規)	<p>■スラグ50%+浚渫土50%(スラグ割合50%以下)では固結しないこと、海水による長期的な溶出試験(3ヶ月、6ヶ月)では重金属が検出されなかったこと、スラグ50%+浚渫土50%の混合材では、アサリ幼生の着底状況、生残とも海砂と大きな差がなかったことなどが明らかとなった。</p> <p>■底開式土運船模型による浚渫土砂とスラグ混合投入実験では、固結を防止できるほど十分混合しなかったこと、予め混合させた従来の浚渫土処分費に比べ混合工法による工事費増加分が大きくなるなどの知見が得られた。</p>	18)
試験区分	備 考																																		
2-1	スラグ100%																																		
2-2	スラグ80%+浚渫土A20%																																		
2-3	スラグ70%+浚渫土A30%																																		
2-4	スラグ60%+浚渫土A40%																																		
2-5	スラグ50%+浚渫土A50%																																		
2-6	スラグ80%+浚渫土C20%																																		
2-7	スラグ70%+浚渫土C30%																																		
2-8	スラグ60%+浚渫土C40%																																		
2-9	スラグ50%+浚渫土C50%																																		
2-10	スラグ40%+浚渫土C60%																																		
海砂	中央粒径0.8mm程度(新規)																																		
混合材	スラグ50%+浚渫土A50%(新規)																																		
浚渫土	クリーム状のヘドロ質(新規)																																		
	藻場造成基盤材	産総研中国センター(③) JFEスチール(②) 日本鉱滓(②) 広島大学(③) 水産総合研究センター(③) 他	広島県三津口湾	H16～H17	<p>■高炉熔融スラグに炭酸水を噴霧してスラグ表面を炭酸カルシウム被膜で覆うことで、固結しにくく、針状物のない天然砂に近い人工砂(エコサンド)を製造し、広島県三津口湾でアマモ場基盤材としての実験を行っている。</p> 	<p>■底生生物に関しては天然藻場と同等以上の棲息が確認された。</p> <p>■スラグ100%の試験区では天然区に比べ劣るもののアマモの生育が確認された。</p> <p>■浚渫土を混合した基盤材は、天然区以上のアマモの生育が確認された。</p>	19)																												

表- 2.17(1) 鉄鋼スラグの海域利用に関する過去の適用事例(製鋼スラグ その1)



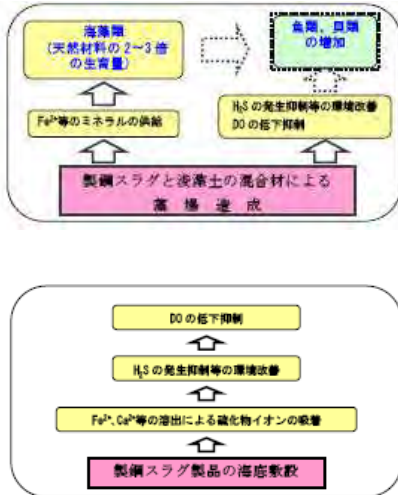
種類	用途	実施主体 (①公共、②民間、③大学等)	適用場所	実施時期	概略内容	結果	出典
転炉系製鋼スラグ(予備処理スラグを含む)	藻場の生育に必要な鉄分供給	新日本製鐵(②)	北海道寿都町、函館市など全国10箇所以上	H16~	<p>■森林土壌中の二価鉄イオンと腐植土中の腐植酸が結合(キレート化)することで生成される腐植酸鉄を、転炉系製鋼スラグと木材チップを発酵させた腐植土等を活用して人工的に生成した施肥ユニットを使用した実海域での藻場(コンブ)生育実験の実施。 (新日本製鐵;ピバリーシリーズ)</p> 	<p>■施肥ユニットの使用により、海藻の生育が促進されることが確認されている</p> <p>■北海道増毛町での実験では、実験区海域の単位面積当たりコンブ生育量が、設置翌年の調査では対照区約226倍となった。</p>	20)
	藻場造成、CO2固定	JFEスチール(②)	広島県因島など	H14	<p>■広島県因島において、製鋼スラグ潜堤材(粒径80mm以下、塊状)、高炉水砕スラグ材覆砂材、鉄鋼スラグ炭酸固化体海藻着底基盤材(マリプロック:粒状の製鋼スラグを成形しCO2を吹き込み、製鋼スラグと反応・固化させたブロック)による人工浅場を造成。 (JFEスチール)</p> 	<p>■モニタリングを行った結果、潜堤材での付着珪藻類の着生量が周辺の天然石より多いこと、ホンダワラ類等の海藻が着生することなどが明らかにされている。</p>	21)
	藻場造成基盤材、底質改善材	JFEスチール(②) JFEMネラル(②)	東京湾(川崎港)	H21	<p>■浚渫土中にキレートをつくるフルボ酸、フミン酸が存在する事に着目し、これらの有機酸でスラグ中の鉄イオンを錯体の形で溶出させる技術。</p> <p>■鉄イオンは植物の光合成に不可欠な微量元素であるため、海藻類の生育促進が期待される。また、製鋼スラグの海底設置により、製鋼スラグ中のCaがP.S等を吸着し、H2Sの発生抑制が図られることが考えられる。 (JFEスチール(株)、JFEMネラル(株))</p> 	<p>■製鋼スラグと浚渫土の混合材による複合的効果については、設置による水環境の悪化は認められず、浚渫土の強度増強効果が確認され、りん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆された。また、冬季の試験区で二価鉄が高くなる傾向となり、大型海藻類のアカモクやワカメの生長促進効果が限定的に確認された。</p> <p>■製鋼スラグ製品を閉鎖性海域の海底に設置した場合、直上水のpHに影響を及ぼしていないことが確認された。また、水質調査、溶出試験により、製鋼スラグ製品によるりん酸イオンの吸着効果と硫化物イオンの捕捉効果が示唆されたが、明確なDOの低下抑制効果の確認には至らなかった。</p>	22)

表- 2.17 (2) 鉄鋼スラグの海域利用に関する過去の適用事例(製鋼スラグ その2)


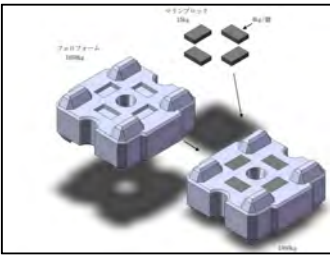
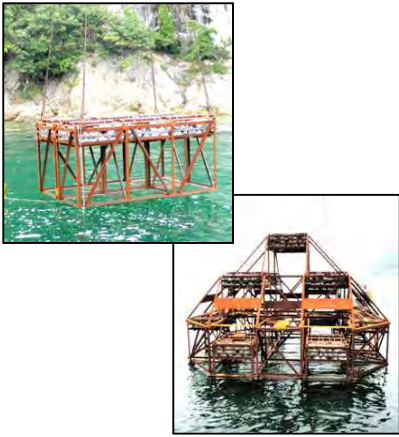

種類	用途	実施主体 (①公共、②民間、③大学等)	適用場所	実施時期	概略内容	結果	出典
転炉系製鋼スラグ(予備処理スラグを含む)	藻場造成、CO2固定	いであ(②) JFEスチール(②) 東京ガス(②) 東京大学(③) 川崎市(①) 国土交通省関東地方整備局(①) 他	川崎港	H21	<p>■川崎市の製鉄所で製造される製鋼スラグと、川崎港の浚渫土砂を材料として、適切な硬さ、強度及び優れた藻場造成能を持つ藻場造成材を開発する。</p> <p>■この藻場造成材を用いて川崎港において実証試験を行い、天然材料に比べて混合材料が海藻類の育成能及びCO2固定能が優れている事を実証することを事業目標としたモデル事業を実施。</p>  <p>製鋼スラグを用いた藻場によるCO<sub>2</sub>固定のイメージ</p>	※調査中	23)
	藻場造成	ランデス(②) JFEスチール(②)	岡山県瀬戸内市牛窓港	H21	<p>■鉄鋼スラグ炭酸固化体及び鉄鋼スラグ水和固化体を用いた海洋藻場造成ブロック(ランデス(株)、JFEスチール(株))</p> <p>■鉄鋼スラグ炭酸固化体と鉄鋼スラグ水和固化体を組み合わせることで、より高強度で構造安定性に優れた海洋藻場造成ブロックを製造する技術。</p> 	※調査中	24)
	藻場魚礁	神戸製鋼所(②)	兵庫県家島群島	H21~	<p>■鉄鋼スラグを組み合わせた製鋼藻場魚礁を家島群島の西島近傍の海域に設置し、海藻の育成、漁場環境の改善を目的とした調査研究を実施。(神戸製鉄所)</p> 	<p>■現在も調査中であるが、海藻の繁茂や魚の回遊が見られるなど、順調な経過となっている。</p> 	25)

表- 2.17 (3) 鉄鋼スラグの海域利用に関する過去の適用事例(製鋼スラグ その3)

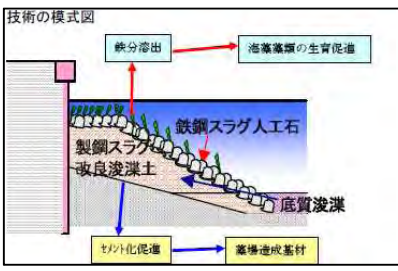
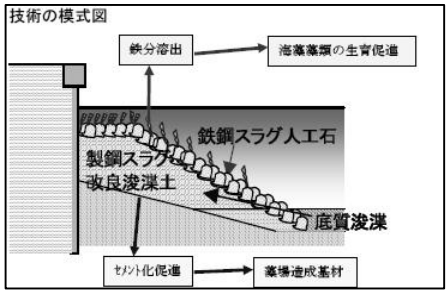
種類	用途	実施主体 (①公共、②民間、③大学等)	適用場所	実施時期	概略内容	結果	出典
転炉系製鋼スラグ(予備処理スラグを含む)	底質改善材	広島大学(③)	広島県阿多田島	H6	■転炉スラグ(粉体)を対象としたスラグ散布による、リンの抑制効果に関する実験及び現場海底域(阿多田島)での検討を実施。	■スラグによるリン吸着効果(高pH・高リン濃度ではリン酸カルシウムの沈殿物生成に伴い海水中のリン濃度が低下)、スラグに吸着したリンの約8割は海水への再溶出もなく安定に保持されること、現場実験より、2年後もリン吸着能があることなどが確認されている。	26)
	底質改善材	JFEスチール(②)	広島県江田島市(江田島湾)	H17	■広島県江田島湾高田港沖合のカキ筏下の海底に、塊状製鋼スラグを入れた容器と同等粒径の花崗岩を入れた容器を設置し、カキ筏下の底質改善状況について調査を実施。(JFEスチール、江田島湾再生協議会)	■スラグ区では底生生物の湿重量が花崗岩区よりも多かった。 ■スラグ区の硫化物濃度は、底層水と中層水において花崗岩区よりも低く、酸化還元電位が高い値となった。 ■以上より、塊状製鋼スラグがカキ筏下の底質悪化を抑制していることが示された。	27)
	底質改善材(軟弱浚渫土の混合技術)	新日本製鐵(②) JFEスチール(②)	東京湾(京浜運河出口付近)	H21	■底質浚渫土と転炉系製鋼スラグを混合した混合土により浅場・干潟を造成(造成面積は約600 m <sup>2</sup> 、土量1,200m <sup>3</sup> )。  ※実証試験では、藻場造成基質として鉄鋼スラグ水と固化体製人工石材、炭酸固化体ブロックを設置するとともに、鉄分供給用の鋼製ユニット(ビバリーユニット)を設置し、転炉系製鋼スラグ製品による軟弱浚渫土の強度向上効果と鉄分の供給による藻場造成技術の複合効果による生物生息環境を改善することを目的としている。  ※環境省 環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術分野の実証済の技術(新日本製鐵(株)、JFEスチール(株))  	■2年の実験後においても浚渫土スラグ混合マウンドからの溶出物質(重金属類10成分)については水底土砂の判定基準を満たしていることが確認された。  ■浚渫土の強度増強効果が認められた。また、設置による水環境の悪化は認められず、りん酸イオンと硫化物イオンの溶出抑制あるいは吸着機能が確認された。  ■閉鎖性海域における転炉系製鋼スラグ製品による藻場造成技術においては、浚渫土スラグ混合マウンドの造成後、基盤の安定化と共に鉄分の供給が示唆された。マウンド設置後、徐々に周辺海域と類似の生物相へ遷移したことが確認できた。なお、本海域においては鉄分が豊富に存在したため、鉄分供給による移植海藻類の生長促進効果は明確には認められなかった。	22)
水質・底質改善材	広島大学(③)	室内試験	H17	■製鋼スラグを担体として表面に底生微細藻(珪藻)を増殖させた環境改善材による、水質、底質の同時改善技術。(広島大学山本教授)	■スラグ(脱磷スラグ)の添加により珪藻 S.costatum の増加を促進させ、渦鞭毛藻 A.tamarense の増殖を抑制することなどが実験的に明らかにされている。	28)	
海底覆砂材、CO <sub>2</sub> 固定	日本鉄鋼連盟(②)	大阪府堺市堺浜	H17	■迅速炭酸化(転炉系製鋼スラグをミキサにより攪拌しながらCO <sub>2</sub> ガスを吸収させ、高pH溶出の原因となるf-CaOを安定的なCaCO <sub>3</sub> に変化させる方法)による安定処理を施した転炉系製鋼スラグ単体を覆砂材として利用。  ■大阪府堺市堺浜で試験施工(天然砂による覆砂との比較)を実施。	■天然砂、製鋼スラグともに沈降や崩壊による顕著な水深変化は見られないこと、製鋼スラグ実験区では覆砂内でのPO <sub>4</sub> -P濃度の低下などが確認されている。	29)	

表- 2.17 (4) 鉄鋼スラグの海域利用に関する過去の適用事例(製鋼スラグ その4)

種類	用途	実施主体 (①公共、②民間、③大学等)	適用場所	実施時期	概略内容	結果	出典
転炉系製鋼スラグ (予備処理スラグを含む)	技術の組合せによる環境改善	日新製鋼(②)	広島県呉市 (阿賀マリノボリス地区)	H21	<p>■ 構造物、資源を複合的に組み合わせることによる生物生息環境の改善</p> <p>① 構造物A: 水平くぼみによる生物多様性向上技術(五洋建設(株)) → 直立護岸の付着生物着生促進</p> <p>② 構造物B: 鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創造技術(日新製鋼(株)) → 砂地を必要とする生物の生息環境の創造(鉄鋼スラグ造粒砂)</p> <p>③ 構造物C: リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術(株) マリンアース → 大型藻類や付着動物の生息環境の創造</p> <p>④ 構造物D: 貝殻を用いた生物付着促進技術(海洋建設(株)) → 小型藻類や付着動物、埋在性ベントスの生息環境の創造</p>	<p>■ 試験区の生物量は湿重量、炭素固定量ともに対照区以上であり、また、生物種も対照区に比べ多様となっていた。各技術を単体ではなく複合的・空間的に配置することで、多様な生物生息空間を創造すること、また、魚類や大型ベントスの増集効果を高めることが確認できた。</p>	22)
電気炉系製鋼スラグ	-	-	-	-	<p>■ 電気炉系製鋼スラグについては、基本的に転炉系製鋼スラグと類似した性質を持つため、海域利用についても転炉系製鋼スラグと同様の可能性があると考えられるが、他のスラグのような海域利用に関する調査・研究事例はほとんど見あたらない。</p> <p>■ また、「転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き」によると、「海水に接する用途に適用する場合は、適用性が検証されていない電気炉系スラグ等については利用の対象外とする」とされており、現状では海域利用に関する検証がなされていない。</p>	-	-

出典15) JFEホールディングス(株)HP  
 出典16) 中平・鬼頭・宮崎・矢持: 底質環境改善対策の実験的な取り組みについて、平成18年12月、(社)日本水産学会近畿支部 平成18年度後期例会資料  
 出典17) 沼田 哲始、宮田 康人、豊田 恵聖、佐藤 義夫、小田 静、岡本 隆: 高炉水砕スラグの底質改善効果: 土木学会第 25 回海洋開発シンポジウム 海洋開発論文集, 16, 345-350 (2000)  
 出典18) 愛知県水産試験場: 人工干潟・浅場造成材の開発: 平成18年度 水産基盤整備調査委託事業報告書、(社)マリノフォーラム21  
 出典19) 高炉スラグを利用した海砂代替砂(エコサンド) 製造技術の開発: 経済産業省地域コンソーシアム研究開発事業共同研究 成果報告書(2004~2005)  
 出典20) 平成21年度「海の森づくり」シンポジウムVI 海洋施肥と海の森づくり 要旨集 2009年5月29日 NPO法人「海の森づくり推進協会」主催、共催: (社)国際海洋科学技術協会、後援: 鉄鋼スラグ協会  
 出典21) 宮田ら: 藻場造成用鉄鋼スラグブロックへの海藻着生: 海洋開発論文集第 20 巻、2004.6  
 出典22) 平成21年度環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術実証試験結果報告書(環境省 環境技術実証事業HP)  
 出典23) 松山: 製鋼スラグを用いた藻場造成によるCO2固定技術開発、(社)日本環境アセスメント協会技術交流会報告、平成21年度  
 出典24) おかやま新環境技術アセスメントシステム(おかやま Netas) ホームページ  
 出典25) 神戸製鋼HP  
 出典26) 伊藤・西嶋・正藤・岡田: 鉄鋼スラグ散布による沿岸海域でのリン除去の基礎的研究—室内実験と長期現場実験—: 水環境学会誌第 19 巻第 6 号、pp.501-507、1996  
 出典27) 宮田・佐藤・清水・小山田: 製鋼スラグによる海域の底質改善、JFE技報 No.19、p.1-5、2008.  
 出典28) 鈴木・山本: 製鋼スラグの添加が珪藻 *Skeletonema costatum* 及び渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす影響に: 鉄と鋼、91、pp.783-787、2005 など  
 出典29) 転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き: (社)日本鉄鋼連盟、平成20年9月

表- 2.18 (1) 鉄鋼スラグの海域利用に関する代表事例(安全性評価、手続き、効果評価の状況など)

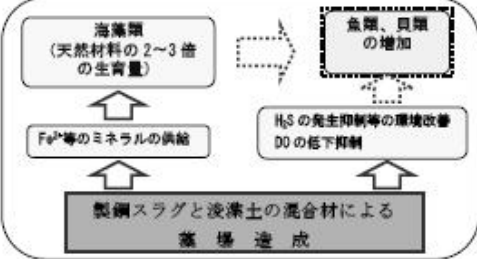
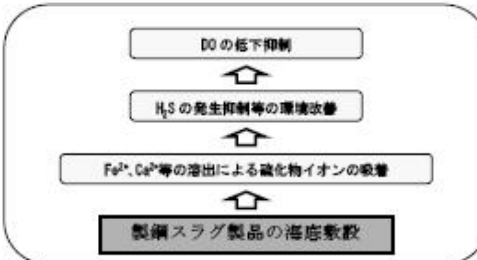
<p>事例: <b>転炉系製鋼スラグ製品による沿岸域の環境改善技術</b> (新日本製鐵株式会社、JFEスチール株式会社)</p>	
概要	<p>■底質浚渫土と転炉系製鋼スラグを混合した混合土により浅場・干潟を造成(造成面積は約 600m<sup>2</sup>、土量 1,200m<sup>3</sup>)。</p> <p>■実証試験では、藻場造成基質として鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材、炭酸固化体ブロックを設置するとともに、鉄分供給用の鋼製ユニット(ビバリーユニット)を設置し、<u>転炉系製鋼スラグ製品による軟弱浚渫土の強度向上効果と鉄分の供給による藻場造成技術の複合効果による生物生息環境を改善することを目的としている。</u></p> 
実施年度	平成 21 年度
適用海域	<p>■東京湾(東京都大田区城南島地先) 京浜運河の出口に位置する城南大橋の内側に位置する閉鎖性の強い入り江部</p>
海域利用にあたっての鉄鋼スラグの品質管理、安全性の評価	<p>■ビバリーシリーズ商品は、<u>海洋汚染防止法に定める水底土砂判定基準に適合した製品として製造されている。</u></p> <p>■水和固化体ブロックは、「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(平成20年2月、(財)沿岸技術センター)において、<u>通常のコンクリートと同様、強度、材料の安全性など厳しい基準が設けられている。</u></p> <p>■鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材のフロンティアストーン、フロンティアロックについては、「港湾関連民間技術の確認審査・評価委員会((財)沿岸技術センター)」において、<u>①準硬石の天然石材と同等の品質を有すること、②非液状化材料であること、③海域で使用する場合、周辺海域のpHへの影響が無いこと、④藻場・緩傾斜護岸において、天然石材と同等の生物付着性を有することのいずれの要件も満足する材料であることが確認されている。</u></p> <p>■本実証試験の実施にあたり、事前に、製鋼スラグ単体(ビバリーユニット用)、鉄鋼スラグ人工石(水和固化体ブロック、炭酸固化体ブロック)、製鋼スラグ+浚渫土の混合土について、<u>溶出試験を行い、以下の基準と比較し、安全性に問題が無い材料を使用している。</u></p> <p>①海洋汚染防止法 水底土砂判定基準(総理府令 6 号) ②土壌汚染対策法 土壌環境基準</p>
適用した事業制度及び手続き	<p>■環境省「環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術分野」において選定された実証対象技術(実証対象技術開発者;上記2社、実証機関;(財)港湾空間高度化環境研究センター)</p> <p>→既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果等を第三者が客観的に実証することにより、環境技術を実証する手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展を促進することを目的とするもの。</p> <p>■本分野では、平成 19 年度から国負担体制として開始し、<u>平成 21 年度から実証申請者に試験手数料を負担いただく手数料徴収体制にて実証試験を実施している。</u></p> <p>■国負担体制では、対象技術の試験実施場所への持ち込み・設置、現場で実証試験を行う場合の対象技術の運転、試験終了後の対象技術の撤去・返送に要する費用は実証申請者の負担とし、対象技術の環境保全効果の測定その他の費用は環境省の負担とする。</p> <p>■手数料体制(実証システムが確立した技術分野)では、<u>上記の申請者の負担に加え、実証試験実施に係る実費(実証機関に発生する測定・分析等の費用、人件費、消耗品費及び旅費)を手数料として申請者が負担する。</u></p>

(続 き)

<p>効果の検証 (評価)</p>	<p><b>①転炉系製鋼スラグ製品による軟弱浚渫土の混合改良技術</b></p> <p><b>[水環境について]</b></p> <p>■浚渫土スラグ混合マウンドにおいて、<u>水和反応に伴う pH の上昇や白濁の発生による浮遊物質の発生は認められなかった。</u></p> <p>■夏季の間隙水中で試験区は対照区より低い傾向を示し、<u>りん酸態りんの吸着効果が示唆された。</u>浚渫土スラグ混合マウンドと天然材マウンドの直上水の水質はほぼ同じ傾向で、かつ周辺水域の環境レベルを保っており、<u>水質環境の維持が図られた。</u></p> <p><b>[底質環境]</b></p> <p>■浚渫土スラグ混合マウンドの底質は天然材マウンドとほぼ同じ傾向で、かつ周辺水域の環境のレベルを保っており、<u>底質環境の維持が示唆された。</u></p> <p><b>[溶出速度等試験について]</b></p> <p>■浚渫土スラグ混合マウンドを現地採取した試料の疑似現場法による溶出速度試験において、<u>硫化物とりん酸態りんの抑制あるいは吸着のポテンシャルが認められ、過去の室内試験を裏付ける結果を得た。</u></p> <p>■浚渫土スラグ混合マウンドからの溶出物質(重金属類 10 成分)については水底土砂の判定基準を満たしており、<u>安全性が確認された。</u></p> <p><b>[強度試験について]</b></p> <p>■浚渫土スラグ混合マウンドの強度は昨年と同程度、あるいはそれ以上であり、目視観察においてもマウンドの形状が維持されていた。</p> <hr/> <p><b>②転炉系製鋼スラグ製品による藻場造成技術</b></p> <p><b>[水環境・溶出速度試験について]</b></p> <p>■鉄分の供給は鋼製ユニット近傍で二価鉄が相対的に高濃度を示し、<u>スラグ製品による鉄分の供給効果が示唆された。</u></p> <p><b>[生物生息環境について]</b></p> <p>■新たな浚渫土スラグ混合マウンドによる着生基盤の提供により、近傍の自然護岸とはほぼ同様の生物相が形成され、<u>海中部では固化体ブロック、鋼製ユニットにおいて、付着生物量が多く、着生基盤効果と生物生息環境の安定化が図られた。</u></p> <p>■底生生物は浚渫土スラグ混合マウンドの後背部において、<u>バックランド及び周辺海域の底生生物と変わらない状況にあることが考えられた。</u></p> <p>■移植海藻類の内、コンブについては浚渫土スラグ混合マウンドで生残した株数が多かったが、<u>鋼製ユニットからの鉄分の供給による効果であるかは明確に確認できなかった。</u></p>
<p>その他</p>	<p>■「環境技術実証事業」の流れ(手数料徴収体制)→右図参照</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>事業の流れ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「実証運営機関」の公募・選定</li> <li>「実証試験要領」の策定／承認</li> <li>「実証機関」の公募・選定／承認</li> <li>「対象技術」の公募・審査／承認</li> <li>必要に応じ「実証試験計画」の策定</li> <li>手数料の納付／「実証試験」の実施</li> <li>「実証試験結果報告書」の作成／承認</li> <li>ホームページでの公表</li> <li>ロゴマーク・実証番号の交付／使用</li> </ul> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>実施主体</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>環境省・環境技術実証事業検討会</li> <li>実証運営機関・分野別WG／環境省</li> <li>実証運営機関・分野別WG／環境省</li> <li>実証機関・技術実証委員会／実証運営機関</li> <li>実証機関・技術実証委員会</li> <li>実証申請者・実証運営機関／実証機関</li> <li>実証機関・技術実証委員会／環境省</li> <li>環境省</li> <li>環境省／実証申請者</li> </ul> </div> </div>



表- 2.18(2) 鉄鋼スラグの海域利用に関する代表事例(安全性評価、手続き、効果評価の状況など)

事例: <b>製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術</b> (JFEスチール株式会社, JFEミネラル株式会社)	
概要	<p>                     ■製鐵スラグと浚渫土の混合材を浅場造成への基盤としての利用、鉄分等のミネラルの供給及び硫化水素の溶出抑制効果によるDOの回復を通じて、<u>これらの複合効果による生物生息環境を改善する。</u> </p> <p>                     ①製鋼スラグと浚渫土の混合材による藻場造成(川崎港海底トンネル東扇島入り江)                 </p>  <p>                     ②製鋼スラグ製品の海底敷設(川崎港浅野運河)                 </p> 
適用海域	<p>                     ■川崎港海底トンネル東扇島入り江(製鋼スラグと浚渫土の混合材による藻場造成)                      ■川崎港浅野運河(製鋼スラグ製品の海底敷設)                 </p>
実施年度	平成21年度
海域利用にあたっての鉄鋼スラグの品質管理、安全性の評価	<p>                     ■本実証試験の実施にあたり、事前に、製鋼スラグ単体(京浜脱炭スラグ、京浜NRPスラグ、千葉転炉スラグ、千葉脱リンスラグ)、鉄鋼スラグ人工石(水和固化体ブロック)、製鋼スラグ+浚渫土の混合土について、<u>溶出試験を行い、以下の基準と比較し、安全性に問題が無い材料を使用している。</u> </p> <p>                     ①海洋汚染防止法 水底土砂判定基準(総理府令6号)                      ②土壌汚染対策法 土壌環境基準                 </p>
適用した事業制度及び手続き	<p>                     ■環境省「環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術分野」において選定された実証対象技術(実証対象技術開発者;上記2社、実証機関;(財)港湾空間高度化環境研究センター) <b>※表-2.18(1)の技術と同じ</b> </p>

(続 き)

効果の検証 (評価)	<p><b>①製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術 鉄イオンの溶出(東扇島入り江)</b></p> <p><b>[水環境について]</b></p> <p>■スラグ混合材を使用した盛土部の直上水の pH、DO、硫化物は環境基準をほぼ満足し、天然砂を使用した盛土部(対照区)との比較において、大きな差は認められず、かつ周辺水域の環境のレベルを保っており、水質環境の維持が図られた。スラグ混合材を使用した盛土部においても、pHの上昇は認められなかった。浮遊物質量は試験区と対照区でほとんど差は認められなかった。</p> <p>■スラグ混合材を使用した盛土部の二価鉄は天然砂を使用した盛土部(対照区)よりも高い傾向が認められた。</p> <p><b>[溶出速度等試験について]</b></p> <p>■現地に設置したスラグ混合材盛土部基材のテストピースを試料とした疑似現場法による溶出速度試験において、硫化物とりん酸態りんの抑制が認められた。また、鉄分の溶出についてはバックグラウンドと同じレベルであった。</p> <p>■スラグ混合材盛土部基材のテストピースを 5 ヶ月後に回収した試料からの溶出物質(重金属類 10 成分)については水底土砂の判定基準を満たしており、安全性が確認された。</p> <p><b>[強度試験について]</b></p> <p>■スラグ混合材を使用した盛土部の強度は一定レベル以上の基準を満足し、十分な強度を保持している事が確認された。</p> <p><b>[生物生息環境について]</b></p> <p>■スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区でアカモクが天然碎石の対照区よりも 3.2 倍の生長となった。</p> <p>■スラグ混合材とフロンティアロックで構成される試験区でワカメが天然碎石の対照区と同等、あるいはそれ以上の生長となった(海底上 0.8m 層)。</p> <p><b>②製鋼スラグを用いた藻場造成・水質改善技術 DO の低下抑制(浅野運河)</b></p> <p><b>[水環境について]</b></p> <p>■製鋼スラグ製品の直上水の pH は環境基準を満たし、対照区と同等であった。間隙水中の pH は上昇するが、対照区も同じ傾向であった。間隙水中の pH の上昇は直上水に影響を及ぼさなかった。</p> <p>■間隙水のりん酸態りんは夏季に対照区よりも低下し、吸着効果が示唆された。</p> <p>■間隙水の浮遊物質量は試験区で季節別、地点間で変動が大きく、対照区が低濃度で推移したのに対して明らかに高値を示した。しかし、直上水に対する影響はなかった。</p> <p>■夏季に試験区において DO がやや高い傾向が認められた。</p> <p><b>[溶出速度試験]</b></p> <p>■施工した製鋼スラグ製品を採取し、溶出試験を行った結果、りん酸態りんについては吸着、抑制効果が認められた。硫化物については抑制効果が示唆された。製鋼スラグ製品からの鉄分の供給効果が示唆された。</p> <p>■試験区設置 7 ヶ月経過後の製鋼スラグ製品からの溶出物質(重金属類 10 成分)については水底土砂の判定基準を満たしており、安全性が確認された。</p>
---------------	---

表- 2.18(3) 鉄鋼スラグの海域利用に関する代表事例(安全性評価、手続き、効果評価の状況など)

事例: <b>製鋼スラグを利用した藻場再生実験(ビバリーシリーズ)</b> (新日本製鐵株式会社)	
概要	<p>                     ■森林土壌中の二価鉄イオンと腐植土中の腐植酸が結合(キレート化)することで生成される腐植酸鉄を、<u>転炉系製鋼スラグと木材チップを発酵させた腐植土等を活用して人工的に生成した施肥ユニット</u>を使用した実海域での藻場(コンブ等)生育実験を実施。(新日本製鐵株式会社;ビバリーシリーズ)                 </p> 
適用海域	<p>                     ■北海道増毛町・寿都町・函館市、東京都三宅島、千葉県館山市、三重県伊勢志摩、和歌山県田辺市・串本町、福岡県北九州市、長崎県松浦市・西海市 など                 </p>
実施年度	平成 16 年度～
海域利用にあたっての鉄鋼スラグの品質管理、安全性の評価	<p>                     ■<u>製作工程で、道路路盤材の JIS 規格に合うようにしており、品質管理、出荷管理がどこでどのようにされているかが分かるようになっている。</u> </p> <p>                     ■<u>製鋼スラグ、鉄鋼スラグ共に、JIS 規格に沿っており、重金属の溶出検査が義務付けられている 13 項目についてはすべてチェックをして出荷している。</u> </p> <p>                     ■スラグを海に入れることの安全性については、<u>環境基準等に従って溶出物質について調査を行っている。</u>また、実際の生物の成長に及ぼす影響について、<u>生物を使った“バイオアッセイ”という調査を全国水産技術協会(全漁連関連先)で実施し、マダイ、クロアワビ、クルマエビに対する安全性を確認している。</u> </p>
適用した事業制度及び手続き	<p>                     ■(増毛町の例)海の緑化に向け産学研究を進めている「<u>海の緑化研究会</u>」の一員として、<u>東京大学、(株)エコグリーン、西松建設(株)とともに、腐植酸鉄溶出ユニットの施肥効果を確認するため、北海道増毛町の増毛漁業協同組合の協力を得て、2004 年 10 月に磯焼けが深刻な舎熊海岸の汀線(波打ち部の陸側)約 15m にユニットを埋設した</u> </p>
効果の検証(評価)	<p>                     ■(増毛町の例)過去数年間、石灰藻に覆われて真っ白な砂漠状態であった同海岸で、<u>ユニット設置部から沖合へ 30 メートルほどの海域にコンブなどが、05 年 3 月以降から豊かに生息を始めたことを確認している。</u> </p> <p>                     ■この成果から、さらにコンブが陸上植物の 3-5 倍と成長速度が速いことから、<u>温暖化ガスの削減にも有効な技術として期待できるとしている。</u> </p>
その他	<p>                     ■(漁業者との調整等)現状では、環境基準等の安全性と製品の付加価値を漁協にアピールし、漁協に事業主体となってもらい、材料費・工事費無料で小規模実証を行っている段階。                 </p>

表- 2.18(4) 鉄鋼スラグの海域利用に関する代表事例(安全性評価、手続き、効果評価の状況など)

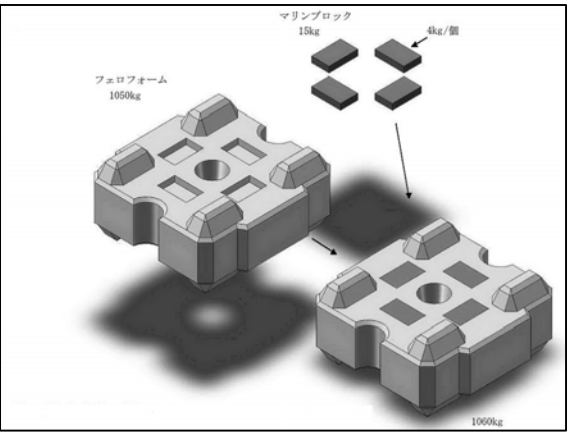
事例: <b>鉄鋼スラグ炭酸固化体及び鉄鋼スラグ水和固化体の組合せによる藻場造成</b> (JFEスチール株式会社、ランダス株式会社)	
概要	■鉄鋼スラグ炭酸固化体と鉄鋼スラグ水和固化体を組み合わせることで、より高強度で構造安定性に優れた海洋藻場造成ブロックを製造する技術。 
適用海域	■岡山県 牛窓港(瀬戸内市内)で試験施工実施中(既存製品との比較評価を行うために、同じ箇所に採択製品と従来型を施工(L=13.85m、N=29個))
実施年度	平成21年度～
海域利用にあたっての鉄鋼スラグの品質管理、安全性の評価	■ <u>「鉄鋼スラグ炭酸固化体利用マニュアル」、「鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル(改訂版)」に準拠し、原材料及び固化体の品質・安全性を検証している。</u>
適用した事業制度及び手続き	■おかやま新環境技術アセスメントシステム(おかやま Netas)に募集・登録(おかやま Netas) 岡山県内で開発された特徴のあるリサイクル素材・製品や、リサイクル素材を活用した技術等について、ユーザーサイドの「採用実績が無い」「長年使用した素材の方が安心」などから生じる商業化に向けた課題を克服するため、 <u>県が公共工事や各試験場で試験的に利用・評価検証する。</u>
効果の検証(評価)	※現在、効果の検証中のためデータ等は公表されていない。

表- 2.18(5) 鉄鋼スラグの海域利用に関する代表事例(安全性評価、手続き、効果評価の状況など)

<p>事例: <b>複合的沿岸環境改善技術</b> (五洋建設(株)、日新製鋼(株)、(株)マリンアース、海洋建設(株))</p>																															
概要	<p>■ 本実証試験の各種生物生息環境改善技術は、それぞれ効果のあることが、適用実験や実証実験により確認されている。各技術は、それぞれ機能、ねらいが異なっており、それらを複合的に配置することにより、各機能が関連し、相乗的な効果(シナジー効果)が生まれることが期待されるが、複合的に配置した場合の効果の評価までは行われていない。そこで本実証試験では、各技術を複合的に配置し、その効果を評価することとした。</p> 																														
適用海域	呉市阿賀マリノポリス地区B-2護岸																														
実施年度	平成21年度																														
海域利用にあたっての鉄鋼スラグの品質管理、安全性の評価	<p>■ 個々の技術のうち、鉄鋼スラグを用いた生物生息場の創出技術(水砕スラグと転炉スラグを混合した造粒砂)について、溶出試験等の安全性確認は開発者である日新製鋼(株)が実施。</p> <p>■ 個々の技術のうち、リサイクル材を用いた付着生物多様性向上技術(マリンアース混和材;産業廃棄物をリサイクルし、新素材活性炭化したものにFe,Alを配合し、磁極を付加したコンクリート混和剤)は、国土交通省の新技術情報提供システム(NETIS)に登録された製品である。また、<u>海域への適用にあたり、環告13号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」に基づき溶出試験を行い、全ての項目において基準値以下であることを確認している。</u></p>																														
適用した事業制度及び手続き	<p>■ 環境省「環境技術実証事業 閉鎖性海域における水環境改善技術分野」において選定された実証対象技術(実証対象技術開発者;上記4社、実証機関;呉市)  <b>※表- 2.18 (1)の技術と同じ</b></p>																														
効果の検証(評価)	<p>■ 試験区では、湿重量、炭素固定量ともに対照区以上となっており、<u>目標である「対照区以上の生物量の確保」が確認できた。</u>また、各技術、設置水深、シーズンごとに異なる生物が付着することが確認され、<u>各技術を空間的に配置した効果が確認された。</u></p> <p>■ 各技術を設置した試験区では、魚類や大型ベントスなど食物連鎖の上位捕食者が多く確認でき、<u>各技術を空間的に配置したことにより、蛸集効果が高まったことが考えられる。</u></p> <p>■ 本実証試験により、<u>各技術を単体ではなく複合的・空間的に配置することで、多様な生物生息空間を創造すること、また、魚類や大型ベントスの蛸集効果を高めることが確認できた。</u></p>																														
その他	<p>■ 海域での実証実験前に、関係漁協へ説明を行った。(漁協では、環境再生の取り組みに前向きであり、スラグを利用することについても特に抵抗はなかった)</p> <p>■ 実証実験参加者の責任分掌</p> <table border="1" data-bbox="678 1675 1380 2027"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>実証試験参加機関</th> <th>責任分掌</th> <th>参加者</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">実証機関</td> <td rowspan="6">(中核機関) 呉市総務企画部企画情報課</td> <td>実証事業全プロセスの運営管理</td> <td>(統括者) 幹事</td> </tr> <tr> <td>技術実証委員会の設置と運営</td> <td>副幹事</td> </tr> <tr> <td>実証試験計画の策定</td> <td>課長</td> </tr> <tr> <td>実証試験の実施</td> <td>課長補佐 企画員</td> </tr> <tr> <td>実証試験データ及び情報の管理</td> <td>課長補佐</td> </tr> <tr> <td>実証試験結果報告書の作成</td> <td>課長</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">品質管理グループ</td> <td rowspan="3">呉市総務企画部総務課</td> <td>実証試験計画の策定補助</td> <td>所長</td> </tr> <tr> <td>実証試験の実施補助</td> <td>コーディネーター</td> </tr> <tr> <td>実証試験結果報告書の作成補助</td> <td></td> </tr> <tr> <td>環境技術開発者</td> <td>五洋建設(株) 外3社</td> <td>実証対象技術の準備、運搬、設置及び撤去並びに当該業務に係る経費負担</td> <td>(代表) 五洋建設土木本部 環境事業部部長 各社担当</td> </tr> </tbody> </table>	区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者	実証機関	(中核機関) 呉市総務企画部企画情報課	実証事業全プロセスの運営管理	(統括者) 幹事	技術実証委員会の設置と運営	副幹事	実証試験計画の策定	課長	実証試験の実施	課長補佐 企画員	実証試験データ及び情報の管理	課長補佐	実証試験結果報告書の作成	課長	品質管理グループ	呉市総務企画部総務課	実証試験計画の策定補助	所長	実証試験の実施補助	コーディネーター	実証試験結果報告書の作成補助		環境技術開発者	五洋建設(株) 外3社	実証対象技術の準備、運搬、設置及び撤去並びに当該業務に係る経費負担	(代表) 五洋建設土木本部 環境事業部部長 各社担当
区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者																												
実証機関	(中核機関) 呉市総務企画部企画情報課	実証事業全プロセスの運営管理	(統括者) 幹事																												
		技術実証委員会の設置と運営	副幹事																												
		実証試験計画の策定	課長																												
		実証試験の実施	課長補佐 企画員																												
		実証試験データ及び情報の管理	課長補佐																												
		実証試験結果報告書の作成	課長																												
品質管理グループ	呉市総務企画部総務課	実証試験計画の策定補助	所長																												
		実証試験の実施補助	コーディネーター																												
		実証試験結果報告書の作成補助																													
環境技術開発者	五洋建設(株) 外3社	実証対象技術の準備、運搬、設置及び撤去並びに当該業務に係る経費負担	(代表) 五洋建設土木本部 環境事業部部長 各社担当																												

2.6.2 鉄鋼スラグの海域利用に関する海外での適用事例のレビュー

(1) 高炉水砕スラグ

海外における高炉スラグの利用状況は表- 2.19 に示すとおりである<sup>30)</sup>。各国ともに高炉スラグは主に徐冷スラグと水砕スラグに処理されており、水砕スラグの用途については、セメントやコンクリートの利用がほとんどである。また、日本のような土木工事事業材料や地盤改良材への利用や海域での利用は、海外では確認されなかった。

表- 2.19 日本と海外での高炉水砕スラグの利用状況の比較<sup>30)</sup>

地域・国名	高炉スラグの生成量	高炉スラグの生成状況	水砕化率	水砕スラグの用途	利用状況(今後の動向など)
欧州	24.6 百万 t (2004 年データ)	水砕スラグ 徐冷スラグ ペレットスラグ	75%	セメント 道路	・ベルギー、イタリア、オランダは水砕スラグのみ生成 ・今後もセメント需要が見込まれることから、フランス、ドイツ、イギリスともに水砕化率が促進
米国	?	水砕スラグ 徐冷スラグ 膨張スラグ	?	セメント 道路 軽量ブロック	・高炉スラグ生成量、水砕化率などの統計データは不明 ・2006 年に販売された水砕スラグの 90% 以上はセメント原料として利用
南洋州 (オーストラリア、ニュージーランド、マレーシア)	2.4 百万 t (2007 年データ)	水砕スラグ 徐冷スラグ	30%	セメント コンクリート 道路	・セメントとしての利用価値を高く評価 ・今後、水砕化率を高めセメントを中心に有効利用 ・水砕スラグの 90% はセメントへの利用
中国	114.0 百万 t (2005 年データ)	水砕スラグ 徐冷スラグ	65%	セメント コンクリート	・水砕スラグは 2010 年までに 100% 目標に有効利用の方針(第 11 次 5ヶ年計画) ・セメント、生コンへの利用を指向 ・水砕化率の向上がポイント
韓国	8.2 百万 t (2001 年データ)	水砕スラグ 徐冷スラグ	72%	セメント	・統計データより、水砕スラグの用途はセメントへの利用と推定
日本	25.4 百万 t (2008 年データ)	水砕スラグ 徐冷スラグ	82.1%	セメント コンクリート 道路 土木 地盤改良材	・水砕スラグの 90% はセメント、コンクリートに利用 ・土木用 4.9%、地盤改良材 0.6% に利用(高炉スラグ全体に対する構成比) ・水砕スラグの土木用・地盤改良材用は裏込め、覆土、盛土、路床、法面保護、サンドコンパクションなど幅広く利用

出典<sup>30)</sup> 高炉水砕スラグの地盤工学的利用促進に関する研究委員会報告書、(社)地盤工学会、平成22年4月

(2) 製鋼スラグ

①韓国での事例<sup>31)</sup>

鉄鋼スラグの海域利用に関する事例としては、韓国で行われている「海中林造成事業」がある。

韓国では、製鋼スラグは主に道路用骨材でよく活用されており、港湾建設材料でも活発に使われている。一方、近年地球温暖化などの気象環境の変化により、韓国の沿岸生態系は変化しており、磯焼け現象によって沿岸海域が砂漠化している。

韓国政府では、これを解決するための様々な努力を行っており、その代表的な事業が「海中林造成事業」である。一般の海中林造成は、コンクリート、鉄鋼材及びセラミックなどで構造体を製作し、該当海域へ投入してから海藻類を移植するのが普通であるが、最近、海中林造成において製鋼スラグ(転炉スラグ)を用いる技術が開発され、実際の海域に適用されている。

1988 年度からはじまった研究開発活動及び大型の試験事業を通じて、製鋼スラグに含まれた鉄分によって海中林の造成に卓越した効果があることがわかり、2005 年からは実用化に成功して大型事業に適用されている。

②欧州での事例<sup>11)、32)</sup>

ドイツでは、1970 年代から川の護岸、浸食川底の充填材、築堤材等の治水工事に、年間約 40 万トンの製鋼スラグが使用されている。ベルギーでもパイプラインの床敷材として、オランダではアイセル川の拡幅工事等に数 10 万トンの製鋼スラグが使用された実績がある。

図- 2.6 に、ライン川での堤防工事の概要を示す。

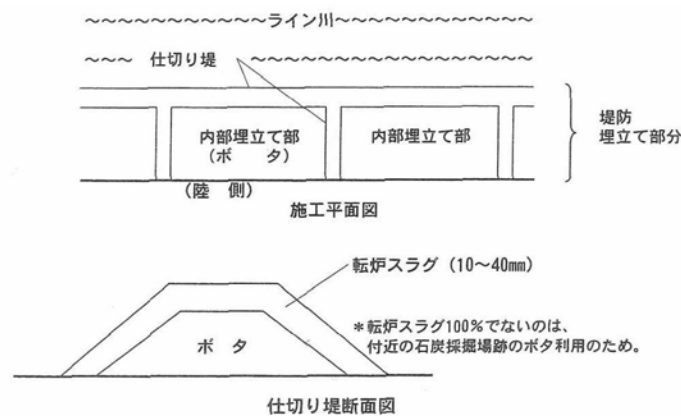


図- 2.6(1) 堤防工事の事例①<sup>11)</sup>

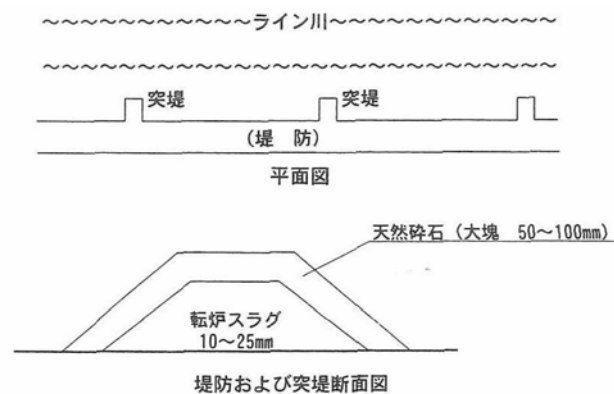


図- 2.6(2) 堤防工事の事例②<sup>11)</sup>

ドイツにおける製鋼スラグの使用基準(1996年 NRW州)は、以下のとおりである。

(ドイツで、治水工事に製鋼スラグが使用される理由)

- ・製鋼スラグは比重が大きいいため、流水に対する抵抗性が大きく、耐摩耗性に優れている。
- ・天然資源の保護

(pH管理)

水域のpHは、9.5以下を基準として、使用条件を表-2.20のように設定している。pH9.5は、生物の生息に支障の無い値として、試験的に設定されており、水/スラグ比(W/S)は、 $pH \leq 9.5$  になるよう設定されている。

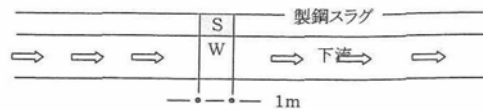
(製鋼スラグの品質基準)

製鋼スラグの品質基準は、表-2.21に示すとおりである。

表-2.20 製鋼スラグ使用条件(ドイツ)<sup>32)</sup>

水域	かさ上げ・ボットホール充填		護岸	突堤・付帯設備	
	10~60	50~150以上	50~150以上	10~60	50~150以上
ライン川等の大河川	50cm厚さの被覆が必要 <sup>1)</sup>	無条件	無条件	50cm厚さの被覆が必要	無条件
小河川	・W/S <sup>2)</sup> ≥ 6 ・流量 <sup>3)</sup> ≥ 1m <sup>3</sup> ・50cm厚さの被覆が必要	・W/S ≥ 6 ・流量 ≥ 0.5	・W/S ≥ 6 ・流量 ≥ 0.5	・W/S ≥ 6 ・流量 ≥ 1 ・50cm厚さの被覆が必要	・W/S ≥ 6 ・流量 ≥ 0.5
運河 (水交換が少ない)	・W/S ≥ 100 ・50cm厚さの被覆が必要	・W/S ≥ 20	・W/S ≥ 20	無条件	無条件
海域 <sup>4)</sup>	無条件	無条件	・W/S ≥ 30	無条件	無条件

注1) 小径の製鋼スラグは流されないように、大塊の50~100mmのもので被覆する。  
注2) W/S : 川の流れ方向1m当りの、静止水量 (m<sup>3</sup>) / スラグ使用重量 (t)



注3) 定位置における流量  
注4) 海域の水量は膨大であり、希釈されるため基本的に制限なし。  
護岸工事のみ施工場所から50m以内の水域を対象とする。

表-2.21 製鋼スラグの品質基準(ドイツ)<sup>32)</sup>

	粒径 (mm)	pH値 <sup>1)</sup>	電気伝導度 (mS/m) <sup>2)</sup>	全クロム (mg/l)	高比重	吸水率	膨張性・安定性
転炉スラグ	10~60	12以下	200以下	溶出値 0.02以下	2.8以上	0.5%以下	20日間の水中浸漬(常温)でき裂割れが5%以下
	50~150	11以下	100以下				
	100~300						
電気炉スラグ	10~60	11以下	80以下	0.03以下	2.8以上	0.5%以下	20日間の水中浸漬(常温)でき裂割れが5%以下
	50~100	10以下	60以下				
	100~300						

注1) pHの測定は、原則として、実際に使用するサイズで実施する。(試験法はDINに規定)  
注2) 電気伝導度はOH<sup>-</sup>と相関があり、生物の生息環境に支障がないよう試験的に設定されている。

出典31) 曹俸碩・李勳河・金亨昔・金起弘:韓国における鉄鋼スラグ骨材の利用と技術の現況、コンクリート工学、Vol.48、No.1、2010。  
出典32) 欧州の鉄鋼スラグの利用と環境問題に関する調査、鉄鋼スラグ協会欧州調査団、1997.9。