製鋼スラグ製品を用いた藻場・魚礁マウンド への生物着生

ADHESION OF PLANTS AND ANIMALS ON STEEL MAKING SLAG MOUND IN COASTAL SEA AREA

宮田康人¹・本田秀樹²・薮田和哉³・林明夫⁴・山本民次⁵

Yasuhito MIYATA, Hideki HONDA, Kazuya YABUTA,
Akio HAYASHI and Tamiji YAMAMOTO

¹工修 J F E スチール株式会社スチール研究所 (〒721-8510 広島県福山市鋼管町1)

²正会員 工修 J F E スチール株式会社スチール研究所 (〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1)

³工博 J F E スチール株式会社スラグ事業推進部 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-3)

⁴J F E スチール株式会社スチール研究所 (〒260-0835 千葉市中央区川崎町1)

⁵正会員 農博 広島大学大学院生物圏科学研究科 (〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4)

An applicability of steel making slag as material for construction of submerged sea reef was examined in the Seto Inland Sea. Coverage of macroalgae on the artificial sea reef was nearly 100% at 4 months after the construction, which was clearly higher than those of surrounding natural area (<10%). Observations at 11 months later the construction, both in quantity and species number of fish were significantly high at the experimental site compared to the surrounding area. Benthic animals were also rich in species number and quantity at the sea reef, in which some species can be appropriate as feed for fish. It was proven that the artificial sea reef made of steel making slag is promising equipment to provide habitat for fish not only hiding space but also feed for fish.

Key Words : *steel-making slag, steel-making slag block, seaweed reef, the Seto Inland Sea*

1. 概要

日本の内湾沿岸域では、臨海部の埋め立てや海砂の採取、直立護岸化などにより、浅場・干潟の消失、赤潮・青潮の発生などの問題が顕在化している。一方で、海域の栄養塩が減少する貧栄養海域や、これにより水産資源の減少や磯焼けと呼ばれる現象が発生するなどの事例も報告されている¹⁾。

これまでに、鉄鋼生産に伴い副生する鉄鋼スラグの1種である製鋼スラグやその加工製品について、沿岸環境改善技術に関していくつかの研究がなされている。製鋼スラグは海水浄化機能^{2), 3)}、鉄成分などの溶出によるプランクトンや珪藻などの増殖効果^{4), 5)}、腐植土と組み合わせて鉄イオン供給を増やす技術⁵⁾などが報告されている。また、製鋼スラグを主原料とした海洋向けブロックの事例も報告されている^{7), 8), 9)}。一方で、塊状製鋼スラグ(ブロックなどに加工されていないもの)を底生生物の付着基盤とした事例は少なく¹⁰⁾、製鋼スラグ製品を組み合わせた人工マウンドの事例は見当たらない。

本報では、藻場・魚礁造成のため、水深が深い場所を嵩上げするための材料(嵩上げ材)など海域環境修復材として製鋼スラグの適用性を検討するため、

製鋼スラグ製品を組み合わせた人工マウンドを造成し、施工前状況および施工後の生物相の経過調査を行った。

2. 製鋼スラグマウンドの計画概要

設計した製鋼スラグマウンドの模式図および計画断面を図-1に示す。製鋼スラグマウンドはJ F E スチール株式会社西日本製鉄所製のスラグ製品を使用し、天然石、天然砂などを使用しておらず、天然資源採取などの新たな環境負荷を与えないことを特徴とする。粒径13~80mmに粒度調整した塊状の製鋼スラグ、人工石、および鉄鋼スラグ炭酸固化体で構成される。これらの外観を写真-1に、製鋼スラグの化学組成例を表-1に示す。人工石は、骨材に製鋼スラグ、結合材に高炉スラグ微粉末などを用いた鉄鋼スラグ水和固化体を岩石形状に成形したものである⁷⁾。製鋼スラグ炭酸固化体は、粒状の製鋼スラグを成型して二酸化炭素を吹き込み、製鋼スラグと反応・固化させて製造したブロックである^{8), 9)}。水深7.5mの海底に粒径13~85mmに粒度調整した塊状の製鋼スラグ嵩上げ材として敷設し、その上に藻場・魚礁材と

して人工石（人頭大～1m径）および製鋼スラグ炭酸固化体（1m×1m×0.5m、一部それを砕いたもの）を天端が約2.5mとなるように沈設し、すり鉢山状のマウンドを造成した。実海域試験場所は瀬戸内海沿岸部とした。表-2に試験海域の主な水質計測結果を示す、

図-1 製鋼スラグマウンドイメージと計画断面

写真-1 使用した製鋼スラグ製材料

表-1 製鋼スラグの化学組成例

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	T-Fe	TiO ₂	P
12.7	42.2	3.1	6.2	2.7	20.7	0.5	0.81

表-2 試験海域の水質（2009年8月に図-2のSt.1で測定）

	水深 m	pH	濁度 mg/L	DO mg/L	水温 ℃
上層水	0.7	7.99	1.9	6.4	27.0
中層水	4.1	7.99	1.4	6.3	26.7
	8.3	8.00	1.2	6.4	26.7
下層水	10.8	8.01	2.3	6.5	26.6

3. 試験方法

(1) 地盤調査および施工

施工前の2009年8月に、ボーリング調査などの地盤データ採取により、海底面の表層は砂泥質でその下層が岩盤であること、円弧すべりなどの問題が生じないことを確認するとともに沈下量を予測し、必要なスラグ製品の必要量を算出した。施工は2009年9月2日から15日にかけて行った。各スラグ製品の使

用量は、製鋼スラグ嵩上げ材が1100m³、人工石と製鋼スラグ炭酸固化体が計130m³であった。

(2) 生物調査

a) 水中観察による海藻、魚類調査

施工前調査として2009年8月に水中観察により原地盤の生物生息を調査した。施工後の生物観察は、2009年9月（設置10日後）、2009年10月（1ヵ月後）、2010年1月（4ヵ月後）、3月（6ヵ月後）、6月（9ヵ月後）、8月（11ヵ月後）および12月（15ヵ月後）に図-2の人工石および製鋼スラグ炭酸固化体（人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区；St.1）、製鋼スラグ区（St.2、St.5）、原地盤区（St.3、St.4、St.8）、および天然岩礁区（St.7）について海藻着生や魚類の蟄集状況の観察を行った。さらに11ヵ月後（2010年8月）には蟄集した魚類の種類数と数量を約5m×10mの範囲で計測した。

b) 底生生物の定量調査

図-2に示す施工前（△で示す原地盤区3箇所）および施工後（製鋼スラグ2箇所およびマウンドから5m、20m離れた位置の原地盤2箇所）の調査区にて採取した。施工前は2009年8月、施工後は2010年6月、8月および12月に実施した。原地盤区は鉄製方型枠（縦25cm×横25cm×厚み15cm）を差し込んで枠内の底質を採取し1mmメッシュの篩にかけて篩上に残ったマクロベントスの種類、個体数および湿重量を測定した。製鋼スラグ区についても方型枠をスラグ上に置き、枠内の表層部を採取して1mm篩上に残る付着生物を測定した。

図-2 水中観察位置・底生生物サンプル採取位置
海藻類：◆，魚類観察：●
底生生物：△（施工前），▲（施工後）

4. 結果

(1) 藻類・海藻

a) 人工石・製鋼スラグ炭酸固化体

マウンド設置後の人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区の水の中観察結果を写真-2(a)に示す。設置1ヵ月後には表層への藻類着生が観察された。4ヵ月後にはナガミルの着生が観察され、以降、15ヵ月後まで観察された。

b) 製鋼スラグ

製鋼スラグ区の水中観察結果を写真-2(b)に示す。設置1ヶ月後には藻類の着生が認められた。4ヶ月後にナガミルが観察され、6ヶ月後には定着・繁茂し、以降11ヶ月後まで観察されたが、15ヵ月後に衰退していた。

c) マウンド周辺の天然岩礁および原地盤

マウンド周辺の天然岩礁区および原地盤区の水の中観察結果を写真-2(c)および写真-2(d)に示す。砂泥質の原地盤については施工前、施工後全ての観察期間を通じて海藻類は認められなかった。一方、天然岩礁については、人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区と同じ水深において、紅藻類などが認められた。

(a)人工石・鉄鋼スラグ炭酸固化体区

(b)製鋼スラグ区

(c)天然岩礁区

(d)原地盤区

写真-2 海藻類の水中観察例

d) 海藻被度調査

11ヵ月後(2010年8月)の被度調査の結果を表-3に示す。人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区および製鋼スラグ区において、ミルが被度90~100%の被度で着生した。人工石と製鋼スラグ炭酸固化体の被度は

ほぼ同じであった。これに対し、原地盤は0%、天然石岩礁区(同一水深帯)は海藻の種類数は人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区を上回ったが被度は10%未満であった。

表-3 2010年8月における海藻類の被度調査

測定部位		水深(m)	海藻	被度(%)
スラグマウンド部	人工石・製鋼スラグ炭酸固化体(St.1)	人工石1	ナガミル	100
		人工石2	ナガミル	95
		製鋼スラグ炭酸固化体3	ナガミル	100
		製鋼スラグ炭酸固化体2	ナガミル	100
	製鋼スラグ(St.2, St.5)	Et.2-1	-	-
		Et.2-2	-	-
		Et.5-1	ナガミル	100
		Et.5-2	ナガミル	100
		St.7-1	紅藻綱	5
		St.7-2	ナガミル	5未満
比較	岩礁部	St.3-1	-	-
		St.8-1	-	-
	原地盤	St.8-2	-	-
		-	-	-

(2) 魚介類, メガロベントスなど

a) 人工石・製鋼スラグ炭酸固化体

人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区の魚介類・メガロベントスの観察例を写真-3(a)に示す。設置10日後には魚影が観察され、設置1ヶ月後にはウマヅラハギなどの稚魚の群れが観察された。4ヶ月後にはナマコの着生が観察された。6ヵ月後以降にはクロメバル、クロダイ、およびマダイなどが観察された。

(a)人工石・鉄鋼スラグ炭酸固化体区

(b)製鋼スラグ区

(c)天然岩礁区

写真-3 魚介類・メガロベントスの観察例

b) 製鋼スラグ

製鋼スラグ区の観察例を写真-3(a)に示す。設置1ヶ月後以降、ウマヅラハギ、コウイカ、ハゼ類、およびカレイなどの魚介類などが観察された。4ヶ月から8ヶ月後まではマナマコが観察された。

c) 天然岩礁および原地盤

天然岩礁区の観察例を写真-3(c)に示す。水深が浅い部位において、メバル、オコゼなどの魚類やマナマコ、ムラサキウニが認められた。一方、原地盤区はヒトデ類の他はハゼ類がわずかに確認された程度と少なかった。

d) 各区で観察された魚類の比較

11ヵ月後（2010年8月）に蟄集した魚類の種類数と数量を計測した結果を表-4に示す。人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区は5種、製鋼スラグ区は3種、天然岩礁区は4種、原地盤区は0種であり、人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区が最も多かったほか、数量も他区に比較し多かった。

表-4 魚類調査（2010年8月）

	スラグマウンド部		比較	
	人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区 (水深-3~-4m)	製鋼スラグ区 (水深-6~-8m)	天然岩礁区 (水深-3~-4m)	原地盤区 (水深-8m)
メバル	CC		r	
クロダイ	r			
マダイ	rr		rr	
キュウセン	C	r	r	
カサゴ		r		
ウミタナゴ		r		
オコゼの仲間			rr	
稚魚(種不明)	CC			

(3) 製鋼スラグ区および原地盤区の底生生物

製鋼スラグ区および原地盤区における底生生物同定結果を図-3に示す。

図-3 底生生物の種類数、個体数、湿重量の分析結果（施工前原地盤はSt. 1, 4, 6, 施工後原地盤はSt. 3, 4, 製鋼スラグはSt. 2, 5平均）

製鋼スラグ区において、主な出現種は環形動物（多毛綱）ウロコムシ、軟体動物門（二枚貝綱）コケゴロモやユキミノ属、節足動物門（甲殻類）サンカクフジツボやウエノドロクダムシなどであった。とくに12月においてサンカクフジツボは286個体、湿重量92.4gと優占していた。

原地盤区において主な出現種は環形動物（多毛綱）ナガタンザクゴカイ、ケンサキスピオ、軟体動物門（二枚貝綱）シズクガイ、棘皮動物門（蛇尾綱）スナクモヒトデ、および原索動物門（頭索類）ナメクジウオなどなどであった。

製鋼スラグ区と原地盤区の種類数、個体数、および湿重量を比較すると、全期間において製鋼スラグ区が施工前を含めた原地盤区を上回っていた。

5. 考察

(1) 海藻の着生

人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区への海藻着生は多く、これまでの知見通りであった^{7), 10)}。一方、製鋼スラグ区は水深が深く、太陽光が届きにくいいため、海藻の定着は難しいと予想していたが、定着した時期は人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区よりも遅れたものの、製鋼スラグ区にもナガミルが定着した。このことから本種は光量が少ない条件でも生息できるものと考えられる。また、人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区においても、着生した海藻はナガミル1種類に限られた。例えば、ホンダワラなどの幼体は主に春季に着生することが知られており¹¹⁾、9月に設置した製鋼スラグマウンドには着生しなかったと推察される。さらに、比較的早期にミルが優占したため他の海藻の着生が困難であった可能性もある。海藻の種類増加については今後の経過調査を待つ必要がある。

製鋼スラグ区において比較対照となる水深に天然岩礁や転石が無いため同じ海域での比較ができないが、筆者らは、別の海域での調査にて、同一水深・形状の製鋼スラグ、花崗岩およびコンクリートの藻類の量を測定したところ、着生量が花崗岩よりもやや多く、コンクリートよりも顕著に多かった¹²⁾。製鋼スラグ塊は天然石やコンクリートに比べ、微細な凹凸が多いこと、鉄などの供給効果により付着珪藻の着生が促されている可能性がある⁵⁾。

以上より、塊状の製鋼スラグが藻類にとって天然石同等以上の付着基盤となりうる事が推察された。

(2) 基質による底生生物出現傾向

a) 出現種の傾向

底生生物の主要構成群である環形動物門（多毛類）、軟体動物門、節足動物門（甲殻類）の3群は、汚濁が進むほど多毛類の比率が大きくなり、軟体動物門および甲殻類の比率は小さくなる傾向があり、とくに甲殻類は比較的汚濁に弱いとされる¹³⁾。また、

底生生物を指標とした内湾度の表現 が試みられている¹⁴⁾、原地盤区においては、施工前、施工後ともに一部の調査点を除き、出現した動物門の種類は環形動物門（多毛類）の比率が高かったほか、軟体動物門（二枚貝綱）シズクガイや棘皮動物門（蛇尾綱）カキクモヒトデなど汚濁（富栄養化）指標種が出現した。しかし節足動物門（甲殻綱）も出現している点などから、汚濁の進行程度は強くないと考えられた。一方、製鋼スラグ区は、環形動物門（多毛類）、軟体動物門、節足動物門（甲殻類）、およびその他の動物門が比較的バランスよく出現していた。また、底生生物を指標とした汚濁指標種に関しては、中・貧栄養海域の指標となる生物とされる節足動物門（端脚類）ウエノドロクダムシ（ドロクダムシ科に属する）が出現していた。

設置15ヵ月後の原地盤区および製鋼スラグ区の底質粒度を分析（JIS A 1204）したところ、原地盤区は礫分（2mm以上）が約2.9%と少なく、砂分、シルト分、および粘土分が残りを含め、地盤材料分類は「粒分混じり砂」であった。一方の製鋼スラグは礫分が98%を占める「分級された礫」であり、粒子間の隙間が大きかった。北森は、三河湾内の底生生物を調査し、中央粒径が大きい底質ほど底生生物の種類数が増加したことを報告している¹⁵⁾。製鋼スラグの粒子間の隙間が大きいが、浅場区域外の底泥に比べて生物数、重量、種類が多かった要因の一つである可能性がある。また、礫に付着または固着して生息する底生生物が多く観察されたことから隙間が大きくなることにより底生生物が付着・固着しやすい環境となっていることが推察された。

以上より、製鋼スラグ区においては原地盤に比べ、底生生物の種類や量が多いだけでなく、かつ汚濁度が少ない環境が形成されていることが示唆された。

b) クラスタ分析による評価

底生生物の群集構造を解析するため、調査点間の類似度指数（C_π）に基づいたMountfordの平均連結法によるクラスタ分析¹⁶⁾を行い、その結果を図-4に示した。

図-4 クラスタ分析結果

その結果、製鋼スラグ区グループ（ハッチングで示す）と、原地盤グループの2グループに分けられた。従って、クラスタ分析からもスラグ区と原地盤区において、底生生物の生息状況の差があると判断された。

c) 魚類の餌生物としての底生生物

出現した底生生物について魚類の餌生物としての利用が予想される種の一覧を表-5に示した。底生生物を餌生物として利用する魚類の例としては、メバル類やアイナメ類・ベラ類などの小型動物捕食者が相当すると考えられ、主に魚類・多毛類・外骨格のやわらかい甲殻類などを捕食する¹⁷⁾と報告されている。他にも、特にメバルの例ではエビ・カニ類、マダイの例では小型貝類なども捕食する¹⁸⁾。

製鋼スラグ区、原地盤区とも多毛類は安定して出現していたが、製鋼スラグ区は小型甲殻類の種類数が顕著に多く、これらは魚類にとって有効な餌生物となっている可能性が考えられた。一方、コケゴロモ（貝類）やサンカクフジツボ（小型甲殻類）など付着性生物も出現している。これらは成長すると強固な殻を持つことなどから、餌生物として利用できるのは一部の魚種に限られると考えられるが、雑食性のクロダイなどには利用される可能性がある。

表-5 魚類の餌生物と推察される種の一覧

時期	区分	主 な 魚 類 の 餌 生 物				その他
		多毛類 (環形動物門)	貝類 (軟体動物門)	小型甲殻類 (節足動物門)	エビ・カニ類 (節足動物門)	
施工前調査 (8月)	原地盤区	<i>Pista</i> sp. <i>Euclymeninae</i> <i>Amphinome</i> sp. 他	ヒバリガイ属	<i>Euphilomedes</i> -sp. ニッポシスガメ ウミホタル	トリクミアカイゾモトキ ソコシラエビ ラスパニマカニ 他	ガキモヒトデ シニコ科 <i>Cnemidocarpa</i> - <i>miyadii</i> 他
	種数	23	1	3	8	6
施工後調査 (6月)	原地盤区	<i>Capitella</i> sp. ウミイソコ オノミチホリ 他	シズクガイ シジノコショウシヤクシ マメクラシマ 他	フクロスカメ <i>Euphilomedes</i> -sp.	ラスパニマカニ トリクミアカイゾモトキ	イカリマコ科 ガキモヒトデ
	種数	9	6	2	2	2
	製鋼スラグ区	<i>Harmothoe</i> sp. <i>Terebella</i> sp. <i>Polydora</i> sp. 他	コケゴロモ ネズマトイガイ ユキミノ属 他	サンカクフジツボ フクロスカメ ウエノドロクダシ 他	オオシロベシノ	マクワボヤ ネキトデ リネウス科 他
	種数	13	11	10	1	9
施工後調査 (8月)	原地盤区	ケンサキスビ オナカタンサ クモカイ オノミチホリ 他	シズクガイ シジノコショウシヤクシ 他	<i>Euphilomedes</i> -sp. アミ科 スナナリヨコエビ	トリクミアカイゾモトキ メクラカニ	スナクモヒトデ科 ガキモヒトデ ムシモトキ ネキチヤク科
	種数	13	2	3	2	3
	製鋼スラグ区	<i>Harmothoe</i> sp. <i>Nereis</i> sp. <i>Lepidonotus</i> sp. 他	ユキミノ属 コケゴロモ シノモツボ 他	ウエノドロクダシ オキテリレカラ ムカシワラカラ 他	ヨウハモカニ ハヤシロウソクエビ アサナカモエビ 他	<i>Discinisca</i> sp. ネキトデ シロボヤ 他
	種数	8	7	10	5	7
施工後調査 (12月)	原地盤区	チロリ ケンサキスビ オ <i>Notomastus</i> sp. 他	セマタコスモノガイ バハラフマテ アタムズ タマガイ 他	出現種なし	ソコシラエビ トリクミアカイゾモトキ	ムシモトキ ネキチヤク科 ナメタク オウ ムカ ネキモヒトデ 他
	種数	14	9	0	2	4
	製鋼スラグ区	<i>Nereis</i> sp. アノサシバ フタマコガイ 他	コモカ イ ネズマトイガイ ノミナ属	サンカクフジツボ コンボ ソコエビ ウエノドロクダシ 他	ルーケア カニ フトクデ ネジレ カニ マシ ヒメア カニ	<i>Discinisca</i> sp. ナメタク クモヒトデ 多岐腸目 他
	種数	11	10	5	3	13

(3) 製鋼スラグマウンドの藻場・魚礁としての有用性および使用時の留意点

藻場が有する機能は、①（岩礁・転石への）海藻着生場、②魚類の蛸集・稚仔の生育場の形成などが挙げられる¹⁹⁾。本研究において、製鋼スラグマウンドは、製鋼スラグ炭酸固化体・人工石区および製鋼スラグにおいて、①、②の機能が確認された。さらに製鋼スラグ区において、①の機能も確認されたほか、魚類の餌となりうる底生生物が着生していることから間接的に②に関与していることが示唆された。以上より、製鋼スラグマウンドが藻場・魚礁としての有用性が示唆された。今後も調査を継続し、長期的な動植物着生の継続性について検討する必要がある。

なお、製鋼スラグマウンドの嵩上げ材として用いた製鋼スラグは、含有する石灰成分によりアルカリ性を示すため²⁰⁾、周辺海水pHへの影響に留意する必要がある。本試験では、微粒を除去してpH上昇を抑えた塊状製鋼スラグを用いた。施工（製鋼スラグ投入）時の周辺海水pHの上昇が極めて軽微であり、かつ施工後速やかに施工前のpHに戻ることを確認した。

6. まとめ

海域環境修復材として製鋼スラグ製品を組み合わせた製鋼スラグマウンドの適用性を検討するため、実海域試験を計画し、2009年9月に施工した。これまでの調査において、以下の知見が得られた。

(1) 原地盤は砂泥質であり、施工前・後とも海藻類の着生は見られず、観察された動物はヒトデ、ハゼ類などに限られた。

(2) 設置4ヶ月後以降、魚礁・藻場として設置した人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区、嵩上げ材として設置した製鋼スラグ区とも設置4ヶ月後以降ミルが繁茂し、11ヵ月後（2010年8月）の被度調査において100%近い被度であった。これに対し、天然石岩礁区（同一水深帯）は海藻の種類は天然岩礁が上回ったが被度は10%未満に留まった。

(3) 人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区には設置10日には魚影が観察され、設置1ヵ月後以降ではクロダイ、メバルなどの魚類の蛸集が観察された。製鋼スラグ区についてもハゼ類、カレイなどの魚類が観察された。11ヵ月後（2010年8月）に蛸集した魚類の種類数と数量を計測したところ、人工石・製鋼スラグ炭酸固化体区が最も多かったほか、量も他区に比較して多かった。

(4) 製鋼スラグ区の底生生物は原地盤（砂泥質）区よりも個体数、種類数および湿重量とも多い傾向であった。また礫間または礫に固着して生息する甲殻類および二枚貝が多く着生した。これらはメバルなどの摂餌対象の種が多く、魚類の蛸集に寄与している可能性が伺われた。

以上のように、塊状製鋼スラグおよび製鋼スラグ

製品を組み合わせた製鋼スラグマウンドの藻場・魚礁としての有用性が示唆された。ただし設置後15ヶ月までの調査であり、長期的な効果の継続については今後の調査により明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 例えば、海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック その計画・技術・実践 第1巻総論編，株式会社ぎょうせい，2003。
- 2) 伊藤一明，西嶋渉，正藤英司，岡田光正：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，水環境学会誌，19，pp.501-507，1996。
- 3) 伊藤一明，西嶋渉，正藤英司，岡田光正：鉄鋼スラグ散布による沿岸海域底泥からの硫化物抑制とアンモニア性窒素の溶出の検討，水環境学会誌，20，pp.670-673，1997。
- 4) Y.NAKAMURA, A.TANIGUCHI, S.OKADA, M.TOKUDA; *ISIJ International*, 38, pp.390-398, 1998。
- 5) 鈴木雅巳，山本民次：製鋼スラグの添加が珪藻 *Skeletonema costatum* および渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* の増殖に及ぼす影響(社会・環境)，鐵と鋼，日本鐵鋼協會々誌 91(10)，pp.783-787，2005。
- 6) 中川雅夫・越阪部裕也：鉄鋼スラグ(鉄鋼副産物)の利用で藻場を再生，養殖，47.No.5, pp.48-51, 2010。
- 7) 宇田川悦郎，松永久宏：鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材「フロンティアロックTM」，JFE 技報，19, pp. 18-22, 2008。
- 8) 高橋達人：新材料としての製鋼スラグ炭酸固化体版下新材料としての製鋼スラグ炭酸固化体，コンクリート工学，38，pp.3-9, 2000。
- 9) Tsuneo Isoo, Tatsuhito Takahashi and Minoru Fukuhara: Using Carbonated Steelmaking Slag Blocks to Help Reduce CO₂, *American Ceramic Society Bulletin*, pp.73-75, 2001。
- 10) 宮田康人，高橋達人，藪田和哉，戸澤宏一，佐藤義夫：製鋼スラグ潜堤材と製鋼スラグ炭酸固化体への生物着生，日本海学会誌，60, No.3, pp.152-156, 2006。
- 11) 能登谷正浩編：藻場の海藻と造成技術，株式会社成山堂書店，pp.180-189, 2003。
- 12) 宮田康人，沼田哲始，高橋達人，豊田恵聖，佐藤義夫：鉄鋼スラグを用いた沿岸環境改善，第一回海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム論文集，pp.37-42, 2002。
- 13) 桑原連：底生生物からみた生物指標。横浜公害研究所，公害研資料 No.88, pp 199-235, 1989。
- 14) 菊池泰二：環境と生物指標-水界編-。共立出版，1975。
- 15) 北森良之介：内湾の環境科学 下(西條八束編)，培風館，pp.93-115, 1984。
- 16) 木元新作：動物群集研究法 I -多様性と種類組成-。共立出版，1976。
- 17) 西村三郎：海の生態学。築地書館，1972。
- 18) 日本水産資源保護協会：水生生物生態資料，1981。
- 19) 社団法人 海洋産業研究会：多目的干潟・藻場・浅場の造成に関する調査研究報告書(昭和 63 年度後期自主研究事業)，pp.5, 1989。
- 20) 鐵鋼スラグ協会：環境資材鉄鋼スラグ，鐵鋼スラグ協会，1989。