

# 港湾工事に用鉄鋼スラグ

2009年2月12日



# 鉄鋼スラグとは・・・



# 鉄鋼の製造工程と鉄鋼スラグ

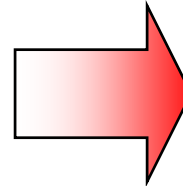
製鉄工程

高炉



製鋼工程

転炉

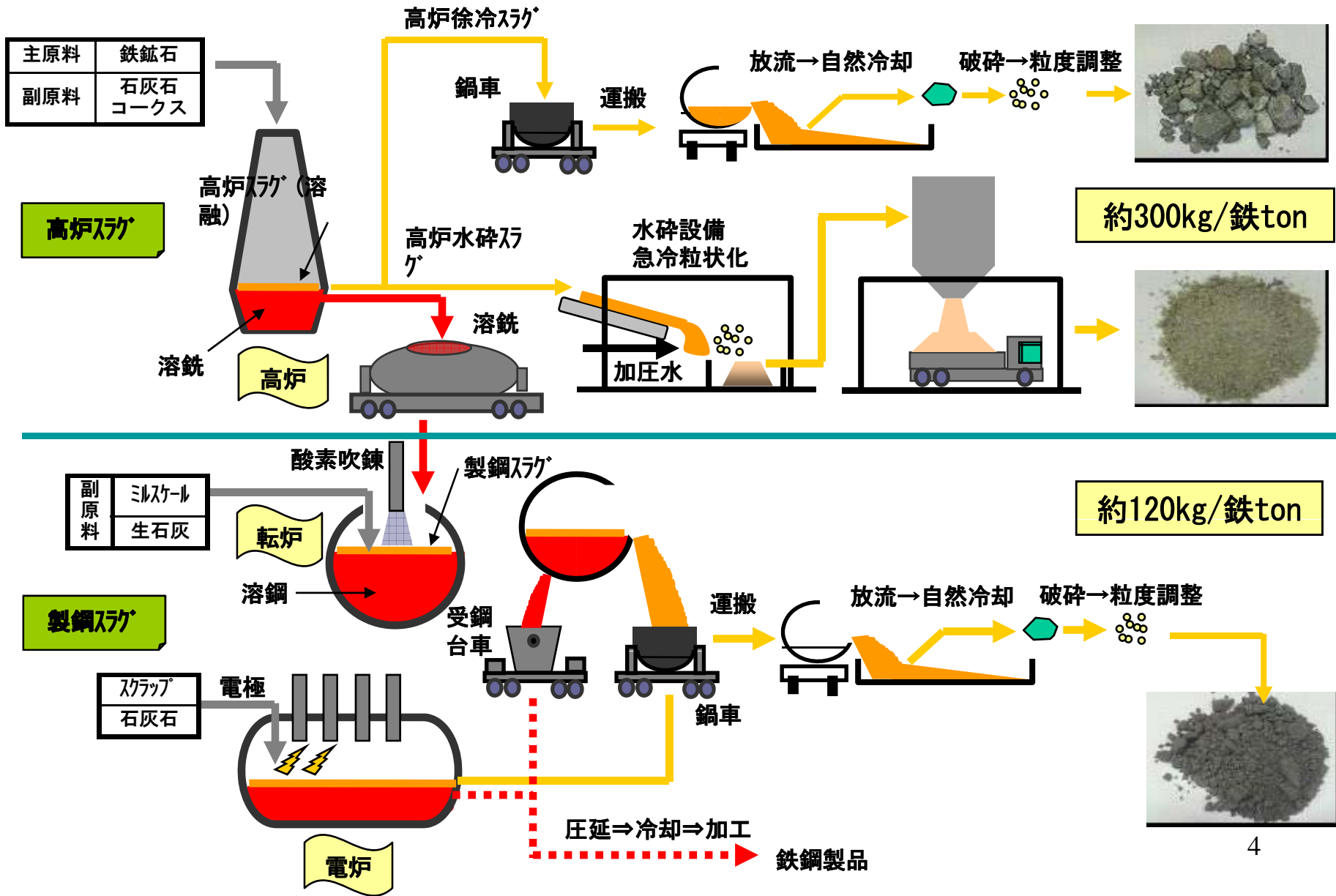


鉄鋼スラグ

**高炉スラグ (水砕・徐冷)**  
鉄鉱石(焼結鉱)とコークスを高炉に投入し銑鉄をつくる工程で生成

**転炉系製鋼スラグ**  
転炉や予備処理炉で銑鉄から不要分を取り除き鋼片を製造する工程で生成

# 鉄鋼スラグ製品の生成と分類

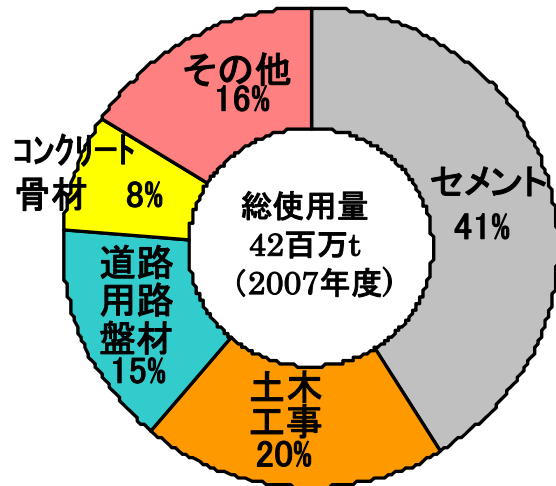


# 鉄鋼スラグの利用の現状

発生炉別	年間生産量 (2007年度)
高炉スラグ	2,548万トン
転炉スラグ	1,074万トン
電気炉スラグ	366万トン
合計	3,988万t






分類	販売・処理形態	比率	分類
製品	鉄鋼会社が製品として直接販売	96%	鉄鋼スラグ製品
廃棄物	中間処理業者が加工処理し製品として販売	3%	再生利用製品
	最終処分	1%	



鉄鋼スラグ協会統計資料より

- ① JIS規格比率: 68%
- ② グリーン購入特定調達品目比率: 70%
- ③ 国交省・農水省工事仕様書登録: 15件
- ④ 土工用製鋼スラグ碎石団体規格

# 鉄鋼スラグ製品の種類と特性

		水砕スラグ	徐冷スラグ	製鋼スラグ
概観 (粒径)		 (5mm)	 (30mm)	 (30mm)
粒子密度g/cm <sup>3</sup>		2.6~2.8	2.6~2.8	3.2~3.6
単位体積重量kg/l		1.3	1.5~1.7	2.1~2.4
化学的 性質	水硬性*1	大	中~小	中
	溶出水のpH	pH=10程度	pH=10~11	pH=12程度
	その他			P,S吸着,膨張

スラグの化学成分 (鉄鋼スラグ協会パンフレットより)

\*1:水と接触することで固結する現象

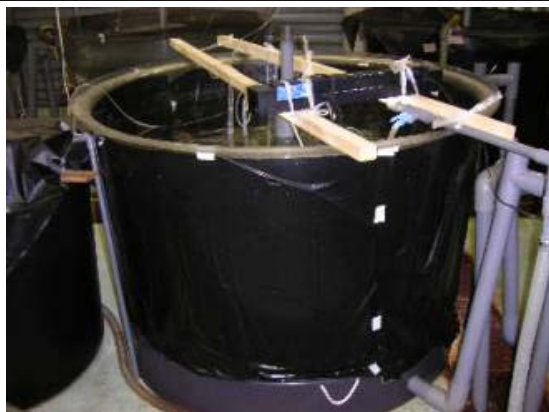
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T-Fe	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	S
高炉スラグ	33.8	42.0	14.4	0.3	6.7	1.0	0.3	0.84
製鋼スラグ	13.8	44.3	1.5	17.5	6.4	1.5	5.3	0.07
安山岩(参考)	59.6	5.8	17.3	3.1	2.8	-	0.2	-



# 魚介類の生体への影響調査

経産省補助事業(H16年~H19年) <(独)水産総合研究センターに委託>

## ①毒性試験 (急性、慢性)



海水: 1t(1t/day循環)  
炭酸化スラグ、天然石砂(比較): 200kg

- ①キス: 4尾
  - ②ネズミゴチ: 6尾
  - ③マミチヨグ: 5尾
  - ④ヒラメ: 20尾
  - ⑤ヒトデ: 5匹
  - ⑥イソギンチャク: 適当数
  - ⑦アサリ20個×3箇所 (籠に入れて設置)
  - ⑧カキ: 2個×2箇所 (中、底部に籠に入れて設置)
- ◆3週間、無給餌で生残率を調査(急性)  
◆3ヶ月給餌しながら生残率を調査(慢性)  
⇒いずれも異常なし

## ②魚介類の生体への影響詳細調査

100リットル水槽にヒラメ20尾ずつ飼育  
4ヶ月給餌しながら飼育(慢性毒性)

- ①製鋼スラグ10% (飼育水に対する質量比)
- ②対照区(製鋼スラグ0%)

- ①生育状況
- ②体成分組成(重金属)
- ③ストレス誘導性遺伝子

4ヶ月間調査⇒異常なし

ヒラメ胚発生⇒異常なし

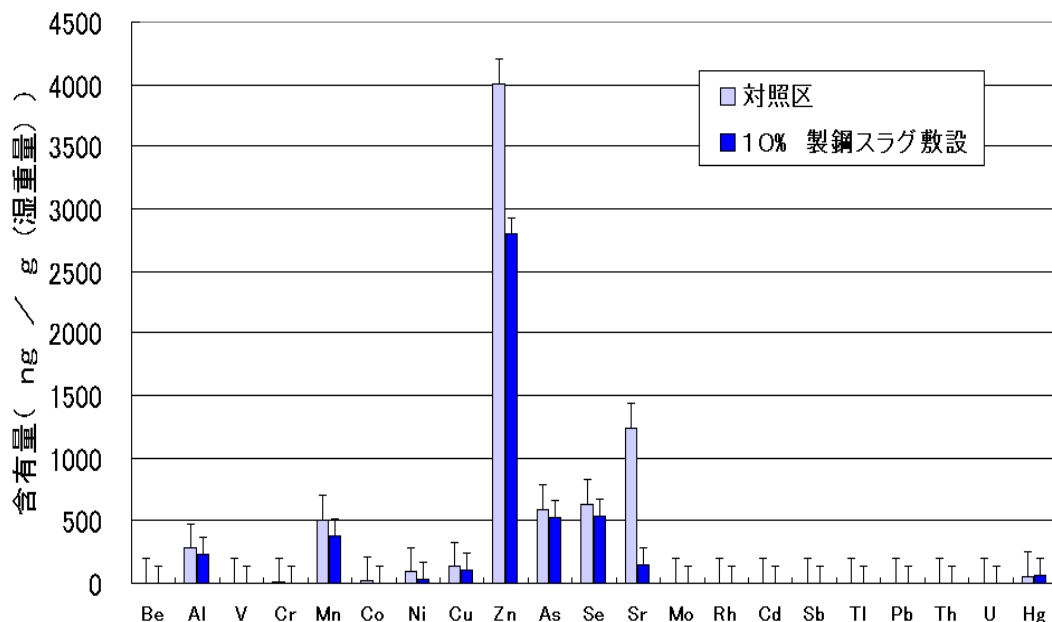
# 魚介類の生体への影響調査

経産省補助事業(H16年~H19年) <(独)水産総合研究センターに委託>

## ③可食部への重金属蓄積性有無の調査

製鋼スラグを敷設した水槽で魚類(ヒラメ)、貝類(アワビ、タカニシ)、棘皮動物(ウニ)を長期間(4~6ヶ月間)飼育。可食部の重金属含有量を測定。

4ヶ月間飼育ヒラメ筋肉重金属含有量



ヒラメ、アワビ、タカニシ、ウニ  
有害重金属の蓄積異常なし  
(可食部)



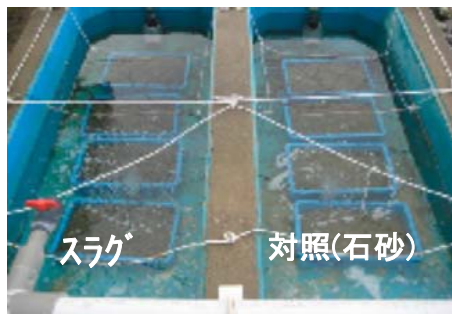
ヒラメ、アワビで血中鉄濃度  
の増加が確認された

海産魚介類に対して悪影響は認められなかった

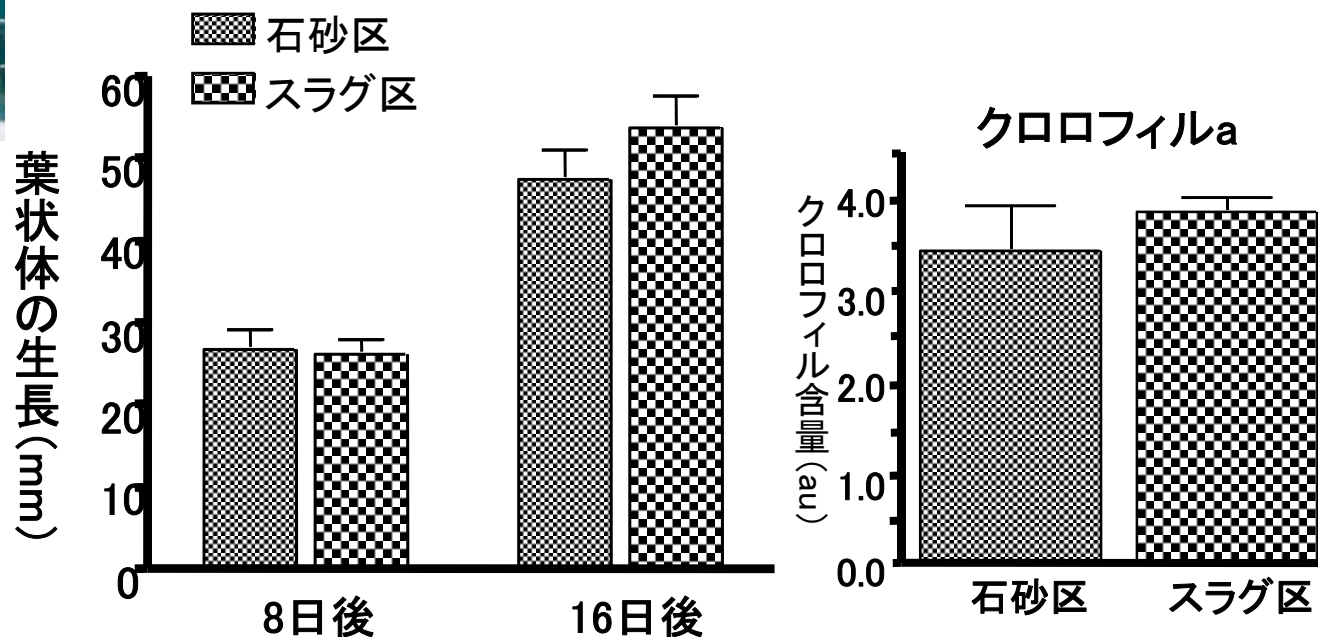


# 藻類（スサビノリ）生長への影響

経産省補助事業（H16年～H19年）＜（独）水産総合研究センターに委託＞



2トン水槽に製鋼スラグを80kg敷設 天然海水掛け流し条件（流速毎時2トン）でスサビノリの生長観察（水温：15-16℃）

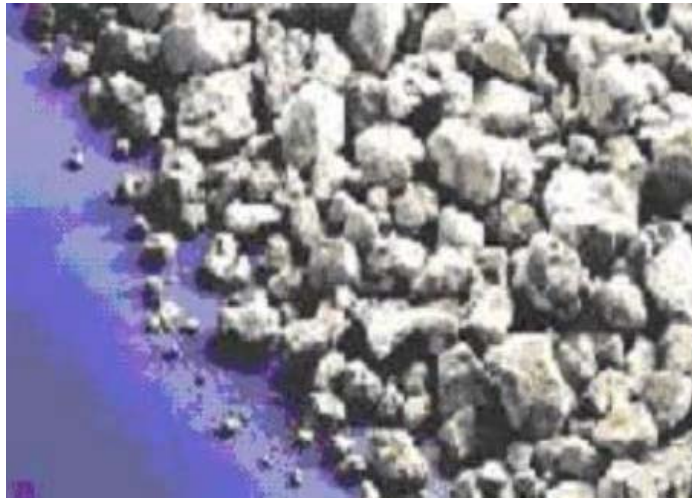


製鋼スラグ試験区においてスサビノリは順調に生育した。  
ノリは黒くなった。

## 本日ご紹介する商品

- ①製鋼スラグを用いた軟弱浚渫土の  
固化技術
- ②製鋼スラグを用いた港湾工事使用例
- ③水砕スラグを用いた港湾工事使用例
- ④鉄鋼スラグ炭酸固化体
- ⑤鉄鋼スラグ水和固化体

# 製鋼スラグを用いた 軟弱浚渫土固化技術



# 浚渫土固化用製鋼スラグの基準類

経産省補助事業(H16年～H19年) <(社)日本鉄鋼連盟>

- (社)日本鉄鋼連盟編  
「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」(平成20年9  
月)



# 浚渫土と製鋼スラグの混合効果

経産省補助事業(H16年~H19年) <(社)日本鉄鋼連盟>



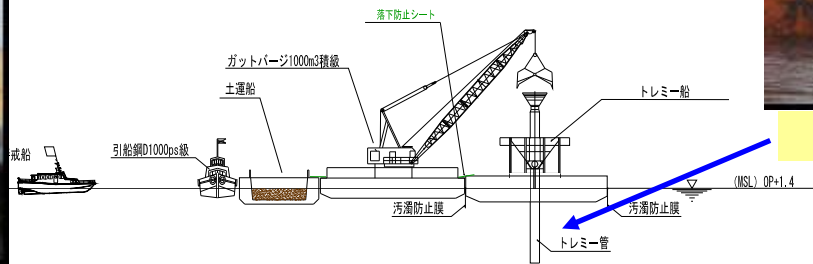


# 実海域施工実験 (その1)

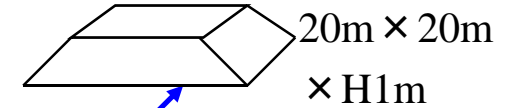
経産省補助事業(H16年~H19年) <(社)日本鉄鋼連盟>



材料投入



浅場マウンドの造成



混合改良土



トレミー管による海中投入



混合



改良土の掘み取り

(社)日本鉄鋼連盟「転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き」より

# 実海域施工実験 (その2)

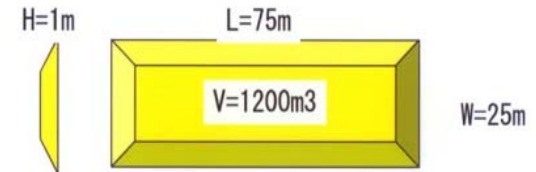
経産省補助事業(H16年~H19年) <(社)日本鉄鋼連盟>

リクレーマ船で、浚渫土と製鋼スラグを定量(7:3)切出し、トレミー船へ搬送。トレミー船の連続式ミキサで混合し、トレミー管で連続的に海中投入。マウンドを造成。



リクレーマ船

トレミー船

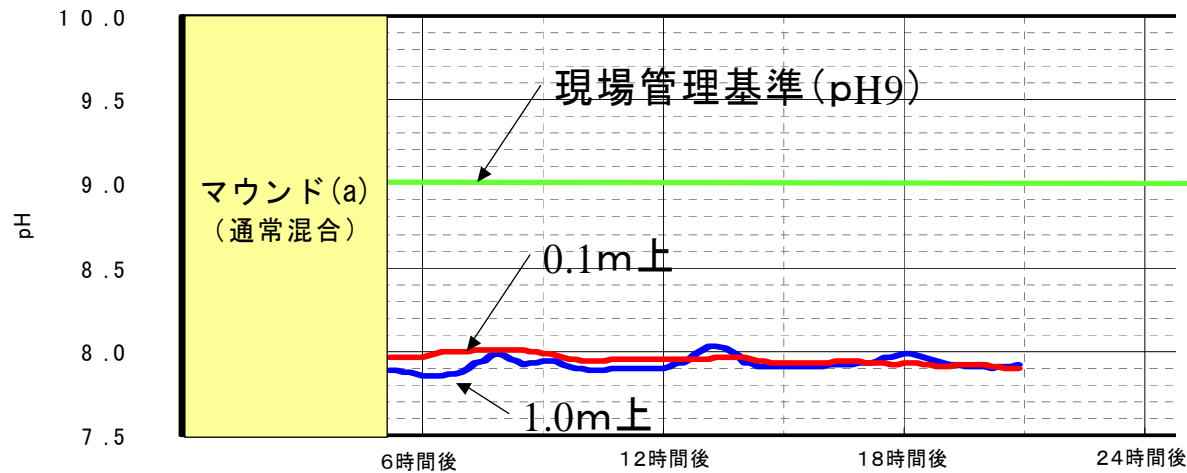


混練時間を変えた3マウンドを造成

$$1200\text{m}^3 \times 3\text{マウンド} = 3600\text{m}^3$$

製鋼スラグ使用量: 1000m<sup>3</sup> (約2000t)

## 施工直後のpH測定結果



施工時の海水の濁り(SS)  
施工から24時間で、施工前  
と同レベルに回復した。  
⇒問題なし

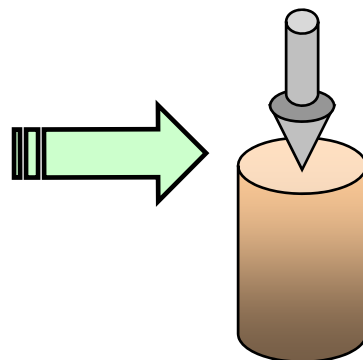
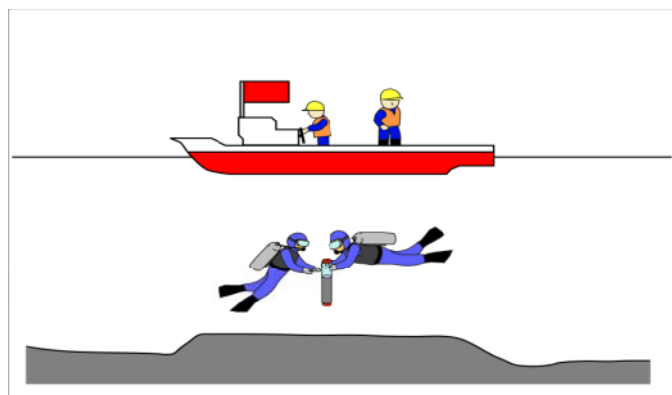
pH、濁り(SS)とも、  
問題なし。



# 実海域施工実験（その2）

経産省補助事業（H16年～H19年）＜（社）日本鉄鋼連盟＞

原位置サンプルのコーン貫入試験（施工後100日経過）



原位置コアのコーン貫入指数（5cm以深の平均値）

コーン貫入試験

マウンド	コーン指数 ( $\text{kN/m}^2$ )	一軸圧縮強度 (コーン指数より推定)
a (混合大)	1034	207
b (混合少)	649	130
c (混合なし)	0～957	0～191

浚渫土と製鋼スラグを混合し、  
造成したマウンドのコーン指数は、  
施工後100日で650～1000  
 $\text{kN/m}^2$ を示す。

＜参考＞

- 「建設発生土利用技術マニュアル（独）土木研究所」
- ・高規格堤防に必要な強度： $400\text{kN/m}^2$ 以上
  - ・宅地造成に必要な強度： $200\sim 400\text{kN/m}^2$ 以上

（社）日本鉄鋼連盟 「転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き」より

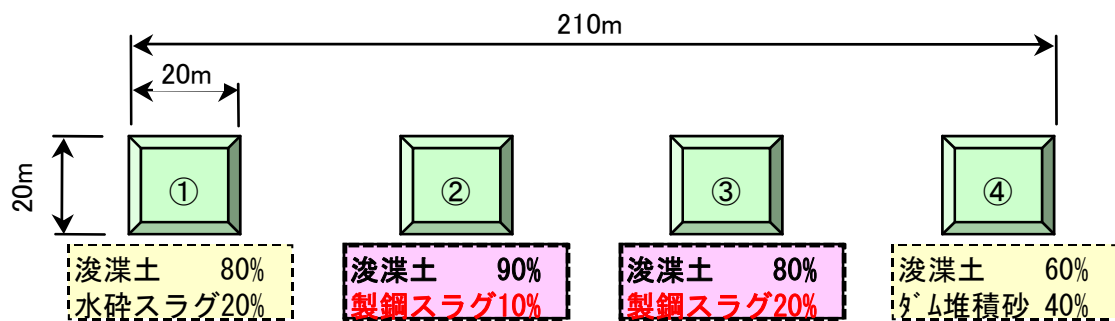
# 三河湾自然再生事業への適用評価実験

国土交通省中部地方整備局(H19年~H20年)

## ■ 浚渫土と製鋼スラグの混合材による浅場造成実証実験

海域環境創造事業(シーブルー事業:H11~H16)への地元からの継続要望に対し、中山水道浚渫土砂に代わる造成材料を検討

水深約2mの試験区に、リサイクル材を用いた、4種類の浅場(高さ1m)を造成



### 環境修復技術検討調査委員会

委員長：牛嶋龍一郎（独）港湾空港技研

委員：水谷法美（名古屋大学）

中村由行（港湾空港技研）

渡部要一（港湾空港技研）

石田基雄（愛知県水試）

関係者：国土交通省中部地方整備局

愛知県

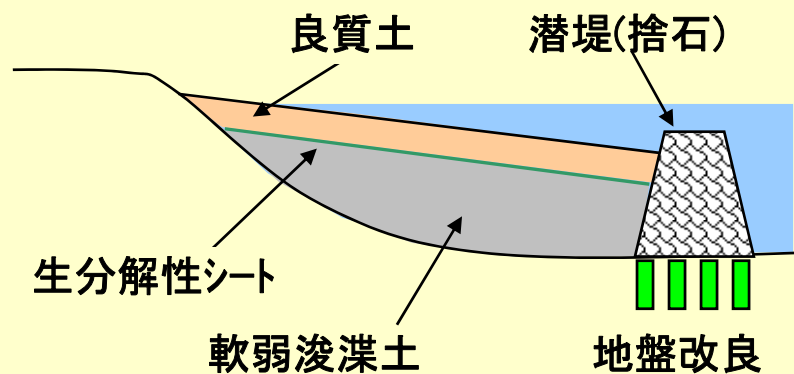
パートナー：日本鉄鋼連盟

## 造成後3ヶ月間のモニタリング結果(中間報告)

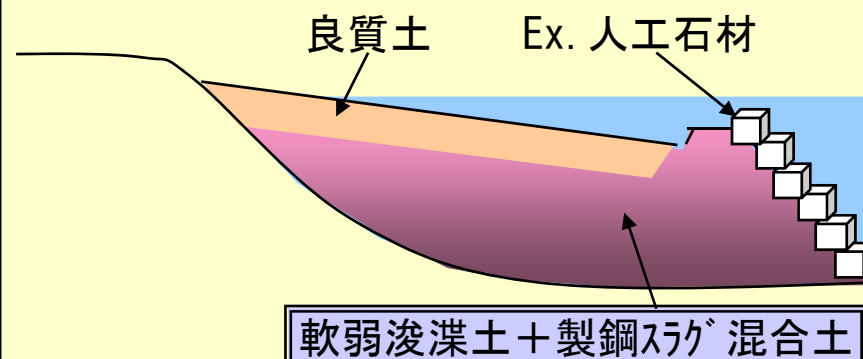
- 混合材が生物生息の場としての機能があることを確認。
- 今後もモニタリングを継続し、生物生息の場としての適性を検討。

# 本開発技術の事業貢献イメージ

## 従来法



## 製鋼スラグ混合固化法



- 安価なマウンドの造成
- 副産物を利用した、環境に優しいマウンドの造成
- 水質改善効果（リン・硫化物の吸着）が期待（赤潮・青潮対策）

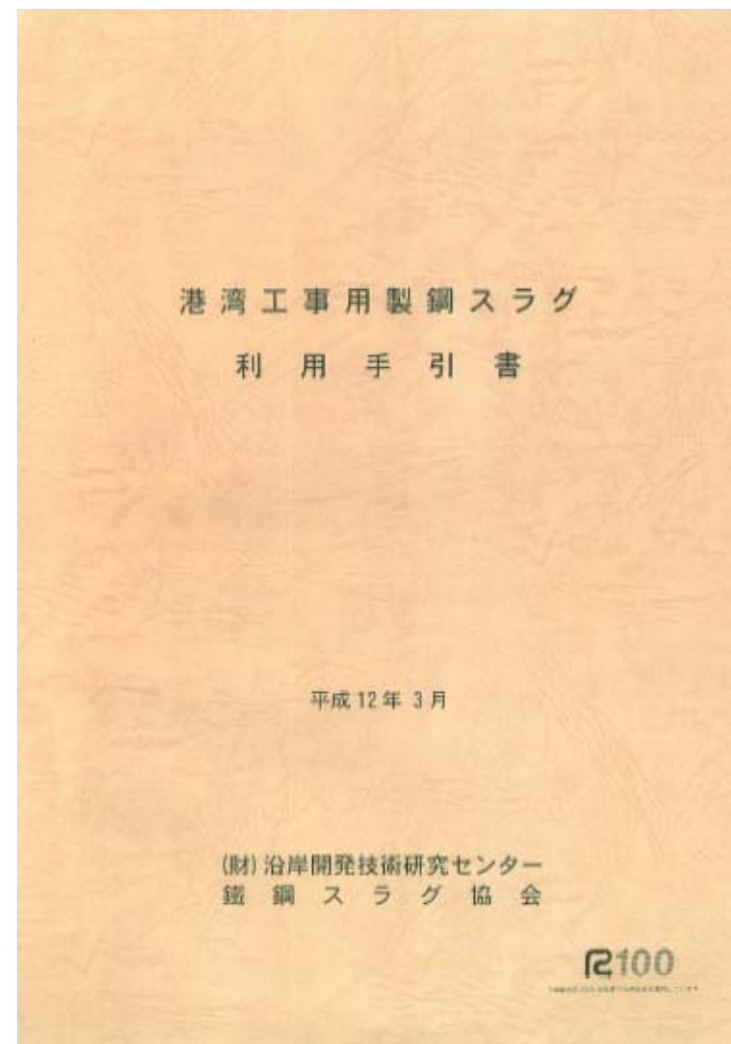
- 軟弱浚渫土の安価処理
- 人工浅場・干潟・藻場
- 長周期波対策マウンド
- その他

# 製鋼スラグを用いた 港湾工事使用例



# 港湾工事に用製鋼スラグの基準類

- (財)沿岸技術研究センター,  
鉄鋼スラグ協会編  
「港湾工事に用製鋼スラグ  
利用手引書(平成12年3  
月)」



# 製鋼スラグを用いた中仕切り堤

## 製鋼スラグ中仕切り堤の特徴

- ①重い（耐波浪性）
- ②噛合せが良い（安息角大）
- ③天然材と比べ安価

施工状況



完工検査時の状況（満潮時）



施工6ヶ月後の状況（干潮時）





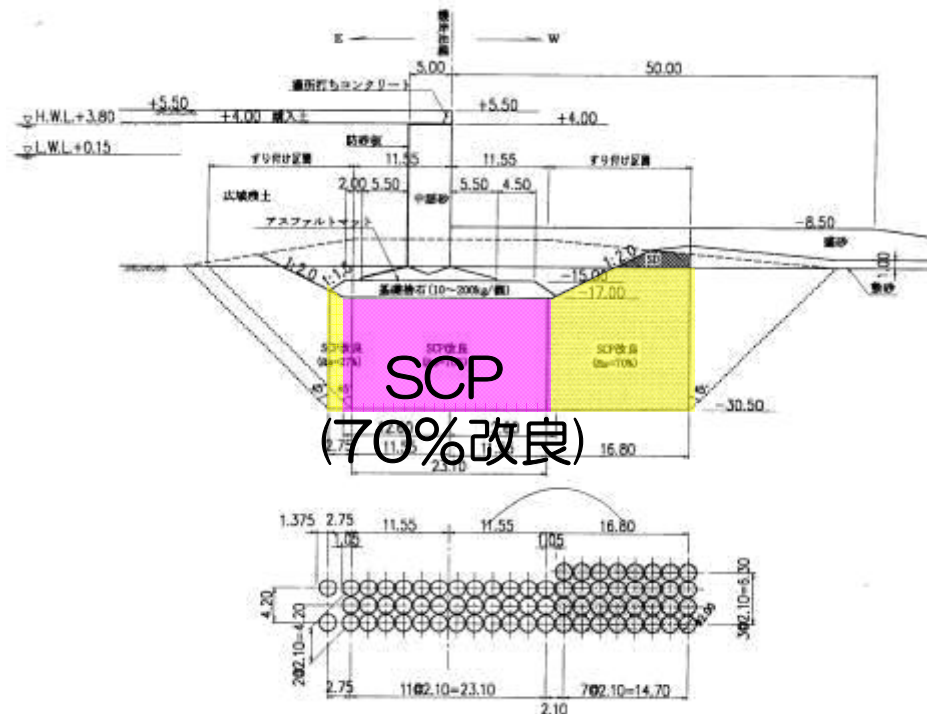
# 製鋼スラグを用いたSCP工法

## グリーン購入法「特定調達品目」

- サンドコンパクションパイル工法(SCP)用材料（置換率70%以上に適用）

- ① 内部摩擦角は  $\phi \geq 40^\circ$
- ② 粒子密度は  $3.3 \sim 3.6 \text{g/cm}^3$  と天然石材と比較して大きい値。
- ③ 単位体積質量は湿潤状態で  $21 \sim 23 \text{kN/m}^3$ 、水中で  $14 \sim 16 \text{kN/m}^3$  と重い。

### 広島港での事例



### 施工状況





# 製鋼スラグを用いた石炭ヤード

北海道十勝港石炭ヤード (200m×200m)



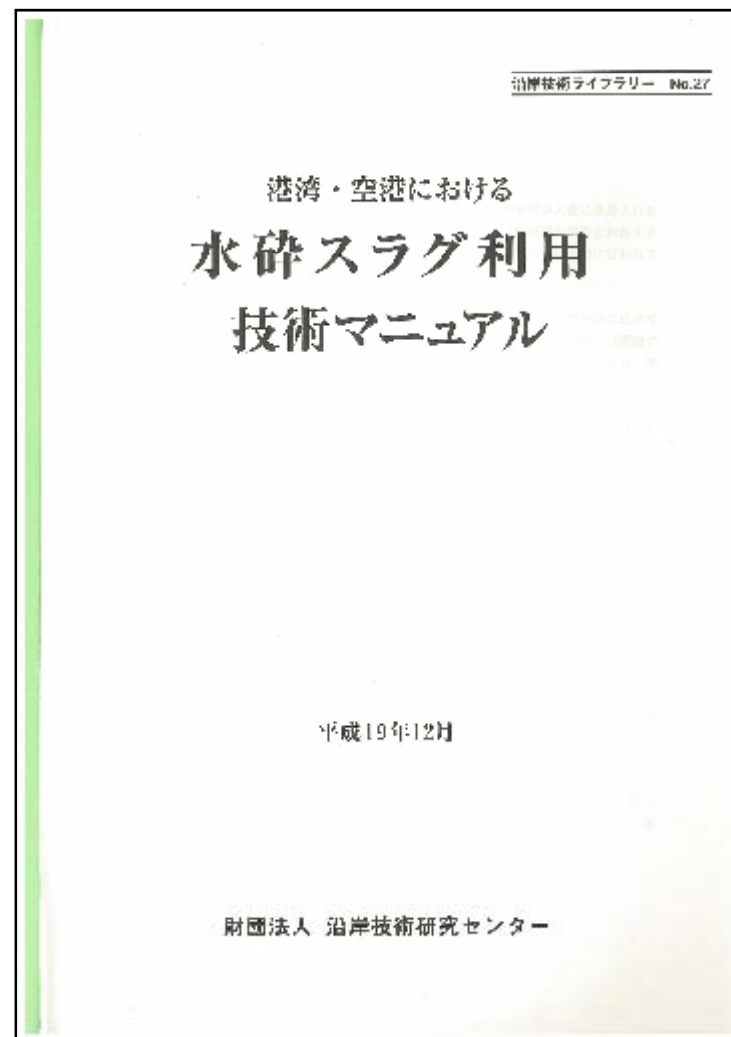
# 水砕スラグを用いた 港湾工事使用例



# 港湾工事用水砕スラグの基準類

グリーン購入法「特定調達品目」

- (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  
(平成19年12月)」

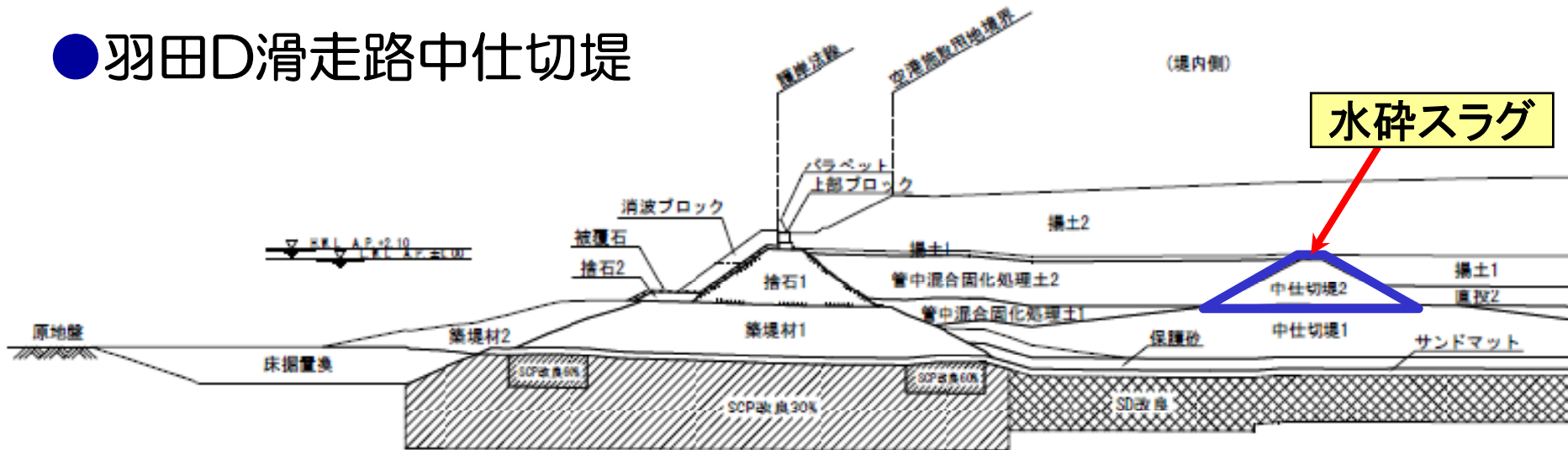


# 水砕スラグを用いた中仕切り堤

## グリーン購入法「特定調達品目」

- ①軽量（単位体積重量  $\gamma_t=14.5\text{kN/m}^3$   $\gamma_{\text{sub}}=17.5\text{kN/m}^3$ ）
- ②せん断強度特性（固結が確実な場合  $\phi=38^\circ$ 、 $C=25\text{kN/m}^2$ ）
- ③水硬性有り（ $q_u \geq 100\text{kN/m}^2$ で非液状化材料）
- ④透水性大
- ⑥繰り返し荷重に対して安定
- ⑦締固め後の水の浸入による強度低下無し

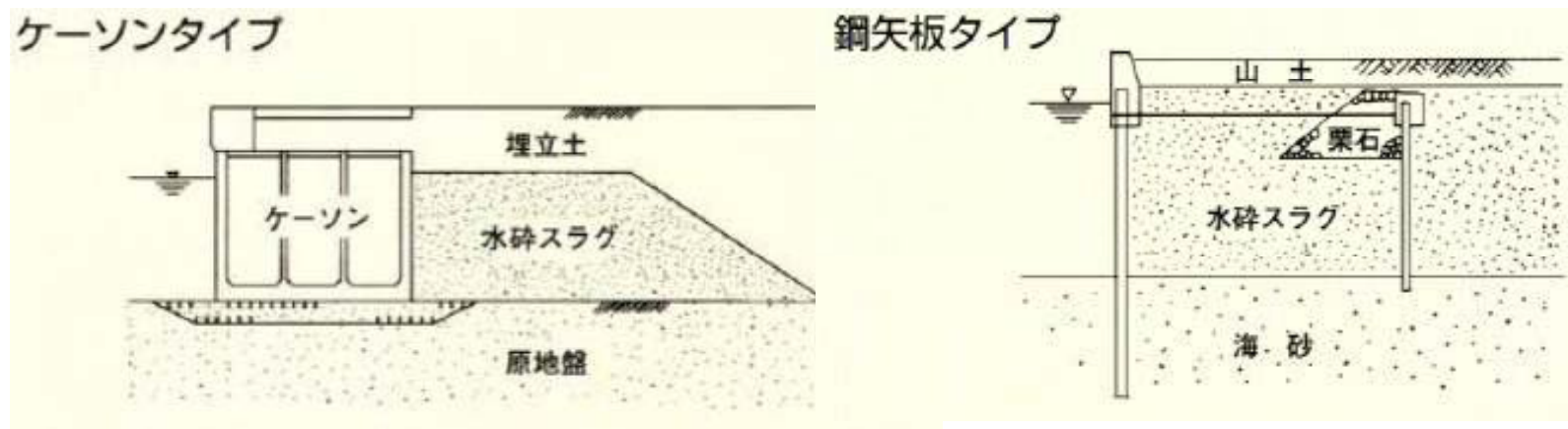
### ●羽田D滑走路中仕切り堤



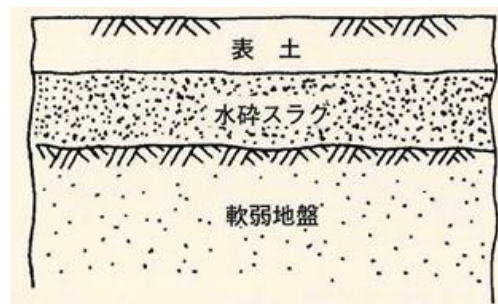
標準断面図：国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所ホームページより

# 水砕スラグの用途例

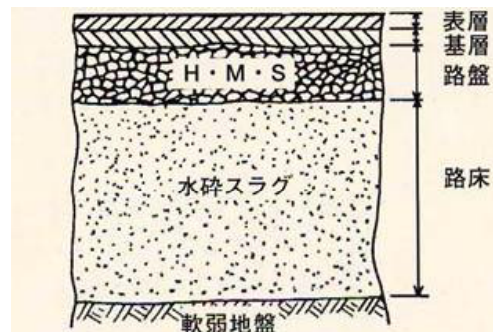
## ●裏込め



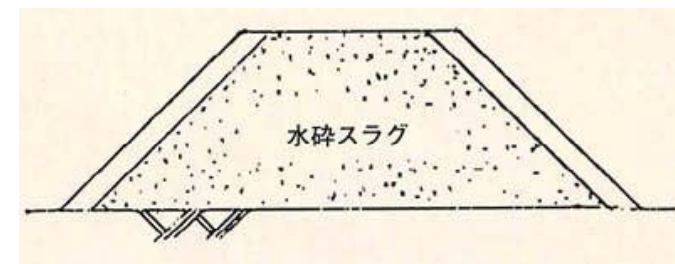
## ●覆土



## ●路床



## ●軽量盛土

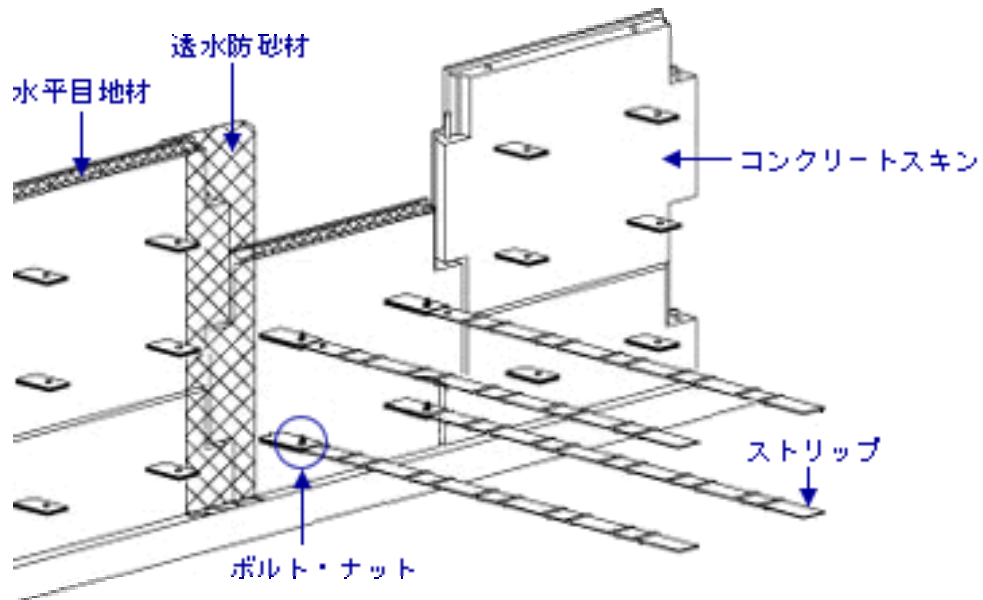


鐵鋼スラグ協会パンフレットより



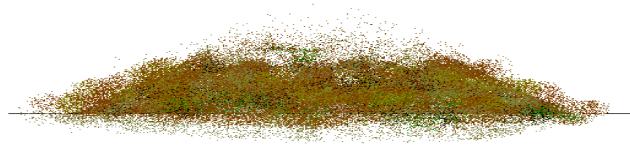
# 水砕スラグの用途例Ⅱ

## ●補強土(テールアルメ)壁

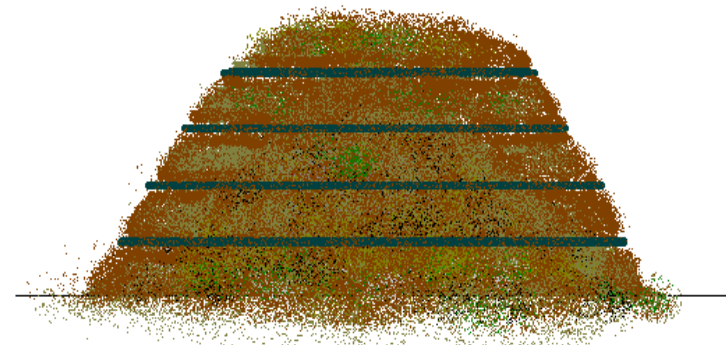


### 特徴

- 地震に強い
- 沈下に追従
- 高壁高でも経済的
- 施工が早い



補強なし



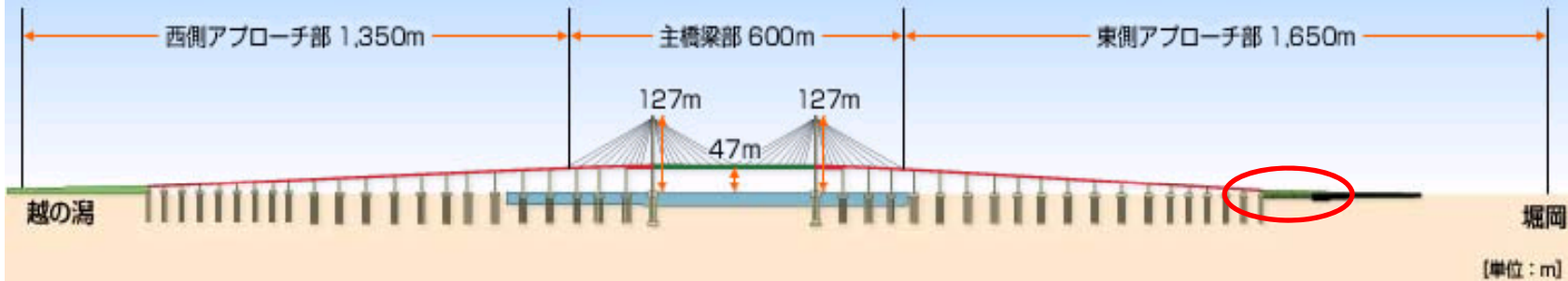
テールアルメ

# 水砕スラグの用途例Ⅱ

## ●補強土(テールアルメ)壁



全体側面図



伏木富山港臨港道路東西線



# 鉄鋼スラグ固化体

— 鉄鋼スラグ炭酸固化体 —

NETIS KT050059-A



# 鉄鋼スラグ炭酸固化体の基準類

- (財)港湾空間高度化環境研究センター,  
「鉄鋼スラグ炭酸固化体  
利用マニュアル  
—藻場・サンゴ礁の再生に向けて—  
(平成16年3月)」

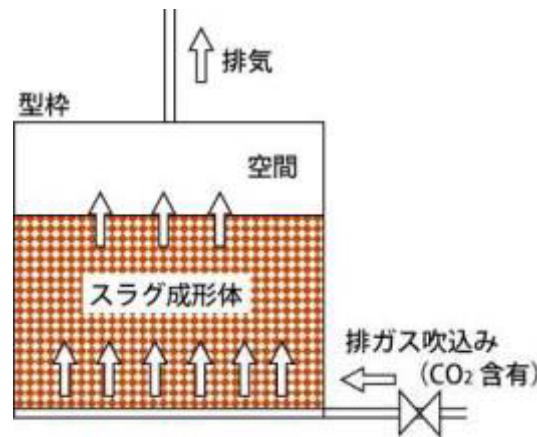


# 鉄鋼スラグ炭酸固化体の概要

- 鉄鋼スラグ炭酸固化体とは、製鋼スラグを加圧成形し、CO<sub>2</sub>を吸収させることでブロック化。海藻やサンゴの着生基盤材に使用されています。



製鋼スラグ



製造概念図



鉄鋼スラグ炭酸固化体

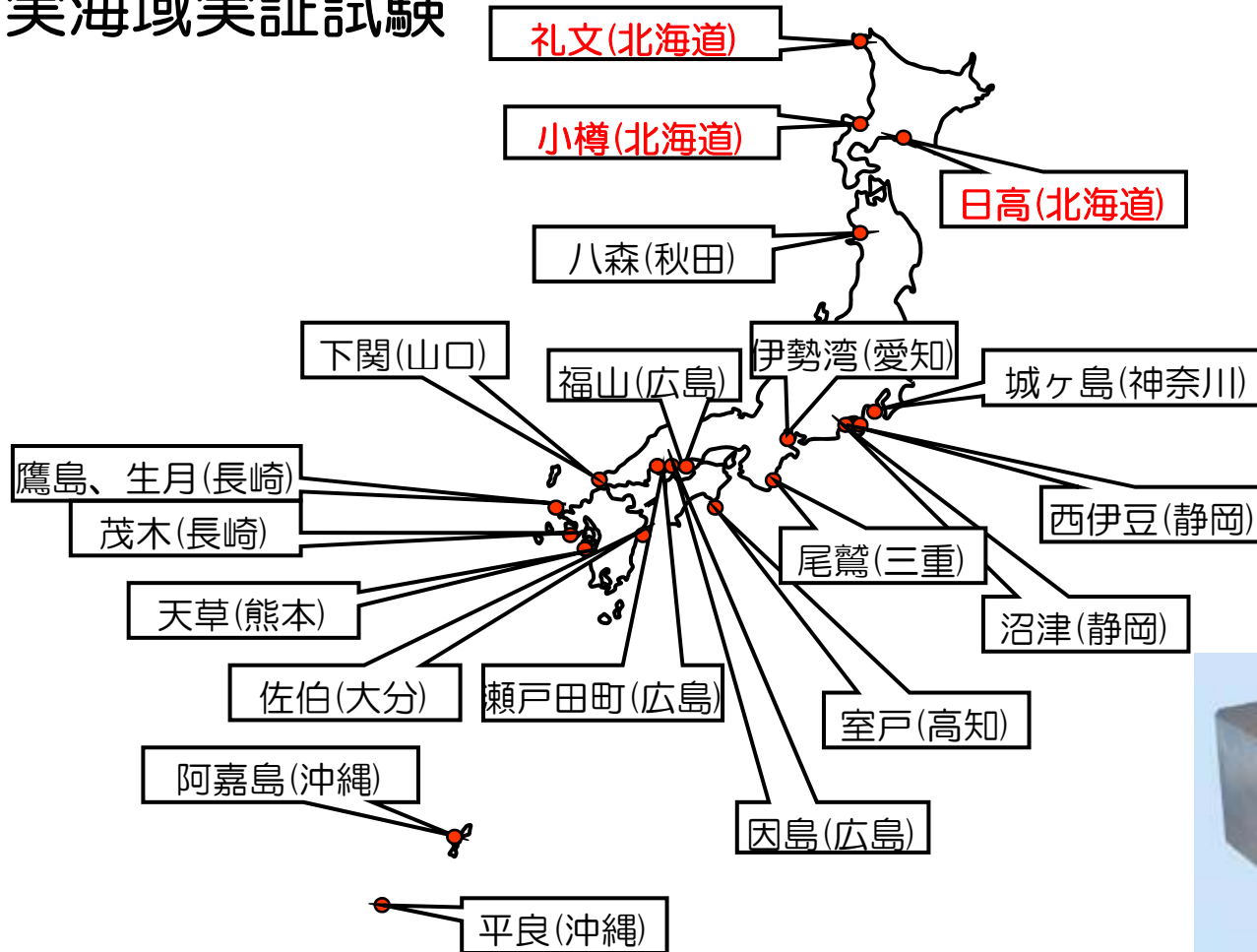
## 鉄鋼スラグ炭酸固化体の特徴

- コンクリート同等以上の海藻・サンゴ着生機能が  
あります。
- 表面が貝殻やサンゴの主成分と同じ炭酸カルシウム  
で覆われています。
- 25～42%の連続気孔(径0.05～0.5mm)の多孔質  
です。
- 単位体積重量は、普通コンクリートと比較して、  
気中でほぼ同じ、水中でやや重い値です。
- 強度は一般的なポーラスコンクリートと同程度です。
- 海水へのアルカリ影響はありません。

# 鉄鋼スラグ炭酸固化体の主な納入先

NEDO実用化補助事業（2001～2003年度）

## 全国実海域実証試験



標準型炭酸固化体  
(1m×1m×0.5mH 約1t)





# 鉄鋼スラグ炭酸固化体の主な納入先

NEDO実用化補助事業（2001～2003年度）

北海道(日高)



パネル (25×25×5cm)

秋田(八森)



パネル (30×30×5cm)

神奈川(城ヶ島) ブロック上面



コンクリートブロック  
ブロック (1×1×1m)



マリネブロック

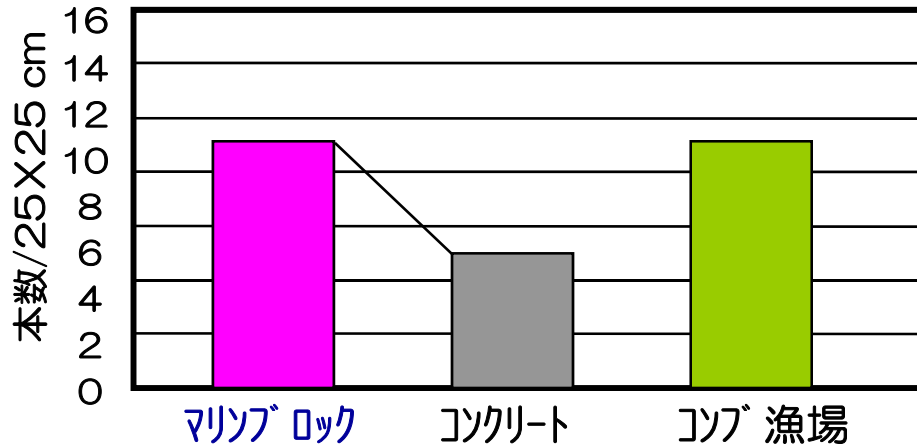
沖縄(阿嘉島)/サンゴ



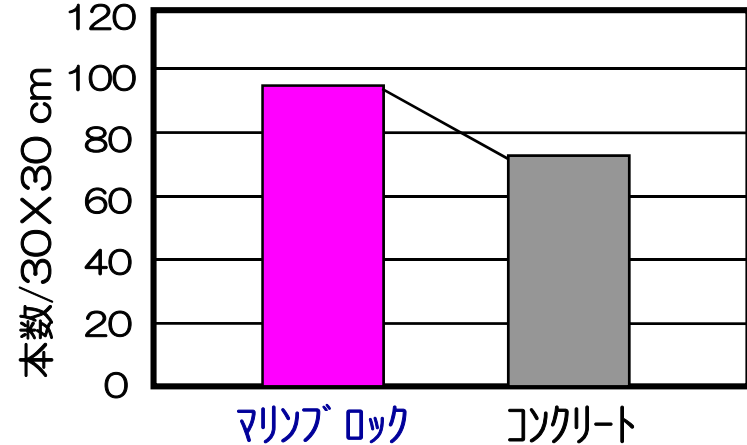
プレート (10×10×2cm)

# 鉄鋼スラグ炭酸固化体モニタリング結果

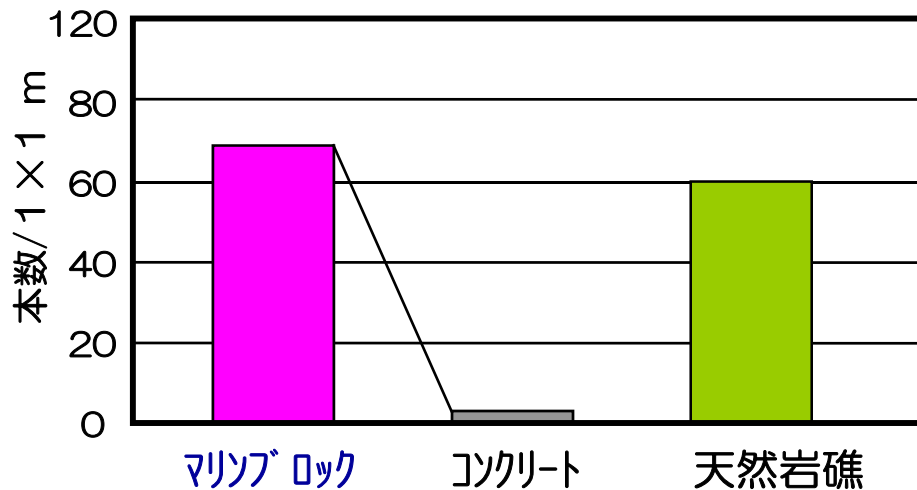
## ミツイシコンブ/北海道(日高)



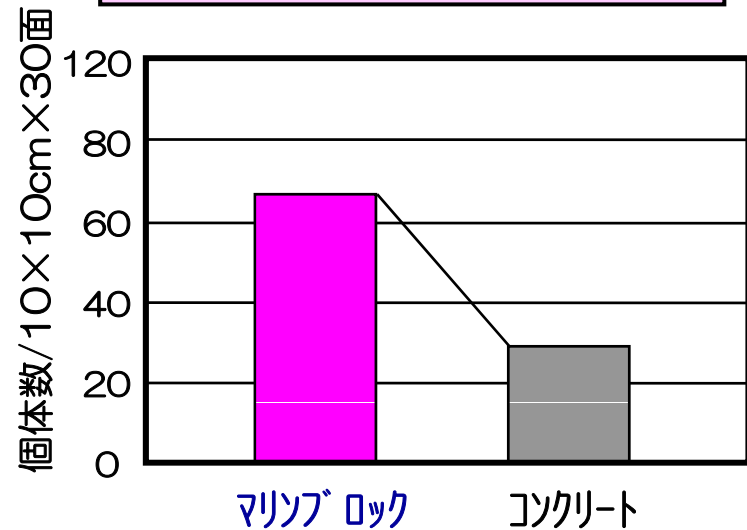
## ホンダワラ/秋田(八森)



## カジメ/神奈川(城ヶ島) ブロック上面



## サンゴ/沖縄(阿嘉島)



# 鉄鋼スラグ固化体

— 鉄鋼スラグ水和固化体 —

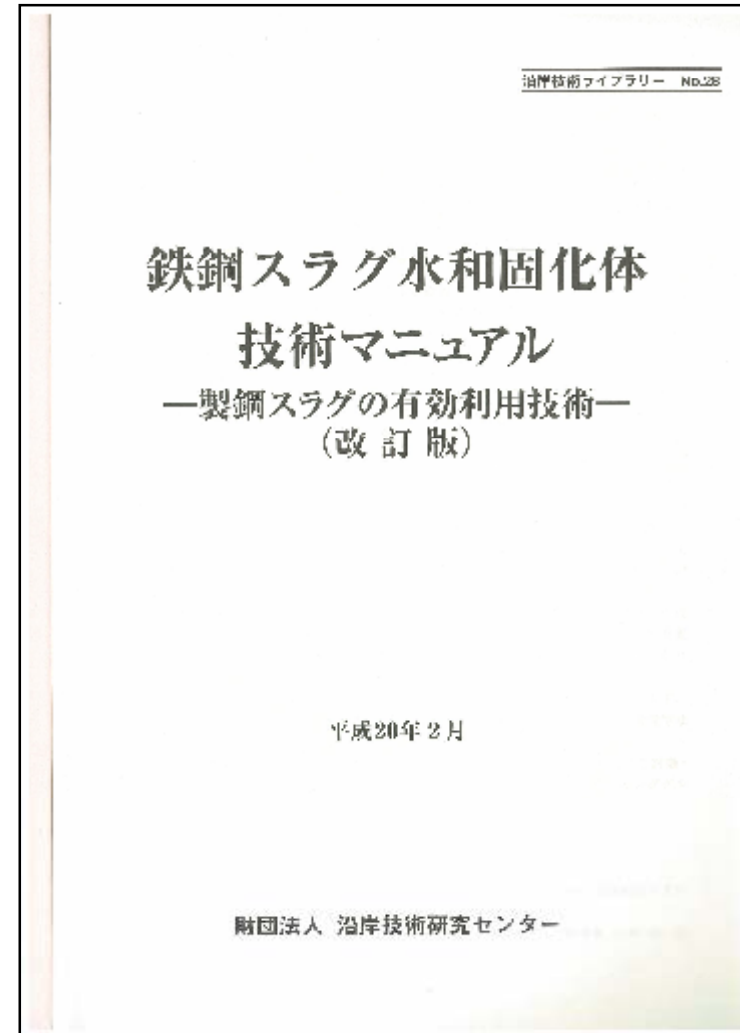
グリーン購入法「特定調達品目候補群（ロングリスト）記載

NETIS SKK-030001



# 鉄鋼スラグ水和固化体の基準類

- (財)沿岸技術研究センター,  
「鉄鋼スラグ水和固化体  
技術マニュアル  
—製鋼スラグの有効利用技術—  
(平成20年2月)」





# 鉄鋼スラグ水和固化体の施工事例

施工場所：水島港

施工延長：653m

根固め石投入



水和固化体ブロック海上運搬



完成状況



ブロック据付

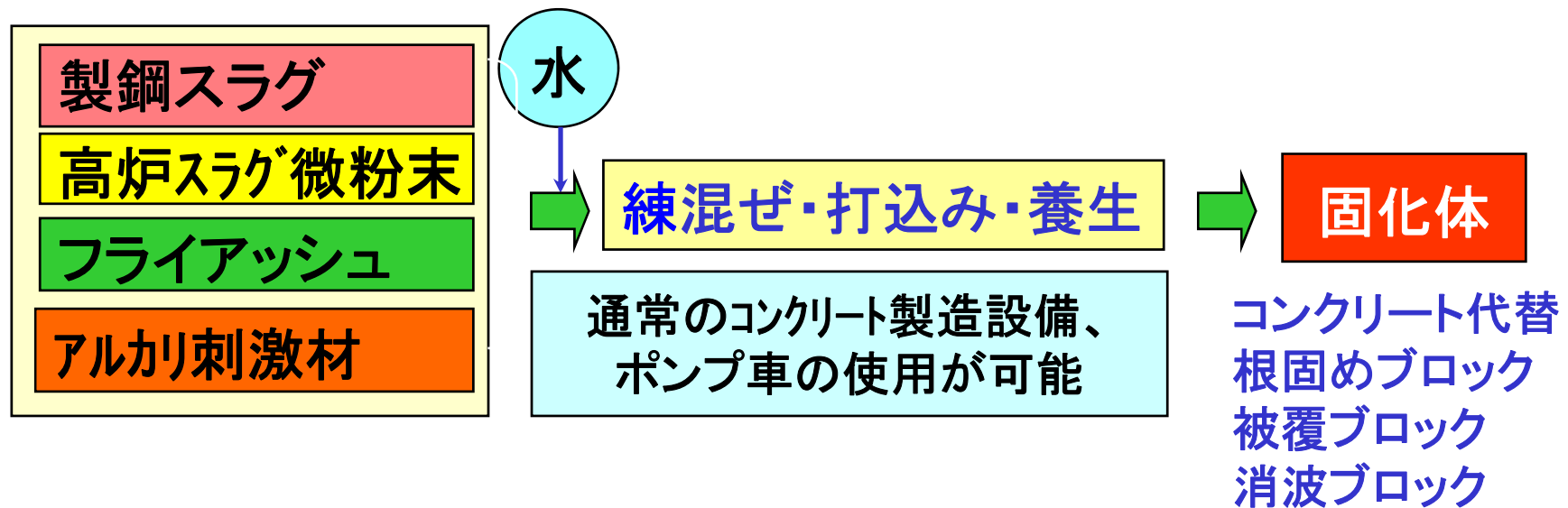




# 鉄鋼スラグ水和固化体の概要

## ●鉄鋼スラグ水和固化体とは、

高炉スラグ微粉末を主結合材、製鋼スラグを骨材、フライアッシュ等を混和材に用いた、pHの低いブロック。



## 鉄鋼スラグ水和固化体の特徴

- コンクリートと同様な装置，工程で製造できます。
- 材料の98%以上がリサイクル材です。
- 高密度（ $2.4\sim 2.7\text{t/m}^3$ ）であり，波浪安定性に優れます。
- 普通コンクリートと比較して、耐磨耗性に優れます。
- アルカリ成分の溶出性が低いです。
- 生物付着性に優れます。

以上

お問い合わせは

JFEミネラル株式会社 技術サービス部 鷹野 明

TEL03-4455-2259 E-mail:[a-takano@jfe-mineral.co.jp](mailto:a-takano@jfe-mineral.co.jp)