海の森づくり　第9回シンポジウム

鉄鋼スラグによる海域環境再生

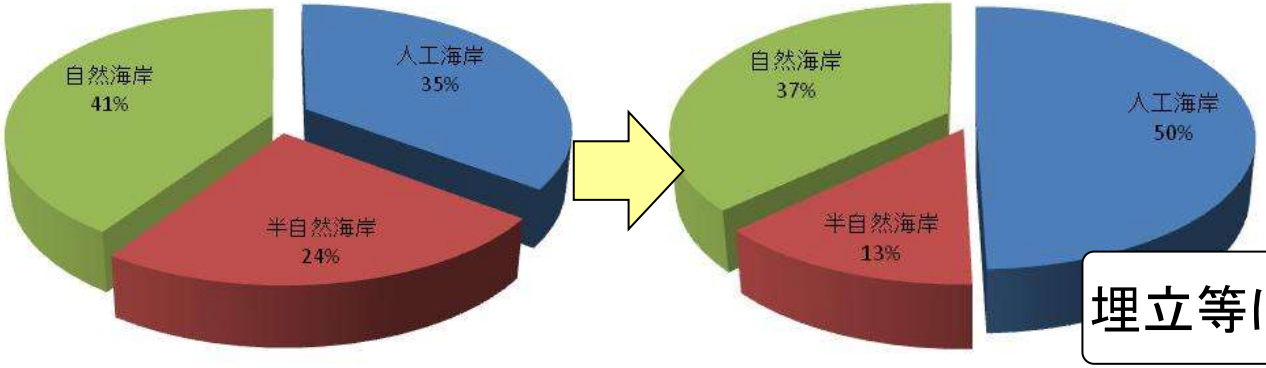
2012年6月2日

新日本製鐵株式會社

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

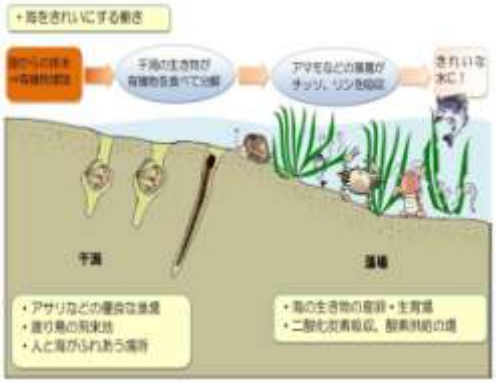
海域環境の変化（漁場の消失）

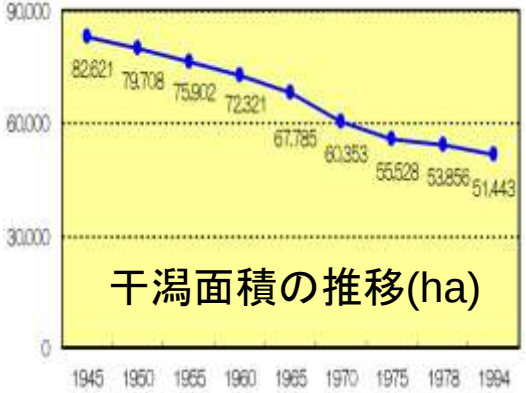
海岸線の変化



埋立等による人工海岸の増加

浅場・干潟・藻場の消失





生物による水質浄化効果の減少

浚渫窪地の出現

貧酸素水塊の発生⇒青潮

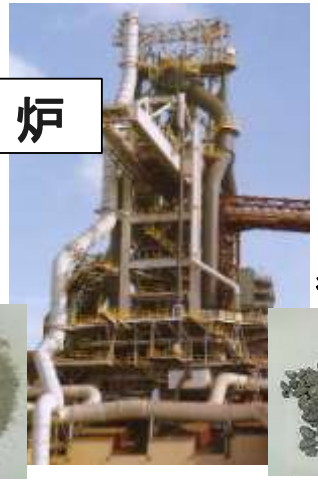
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

新日本製鐵
NIPPON STEEL

鉄鋼の製造工程と鉄鋼スラグ

製銑工程

高　炉



水砕スラグ

徐冷スラグ

鉄鋼スラグとは？

鉄鋼生産工程で、鉄鉱石等の原料に含まれる鉄以外の成分を分別・冷却して製造される副産物。

溶銑予備処理

製鋼工程

転　炉

製鋼スラグ

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

参考：スラグの化学成分（%）

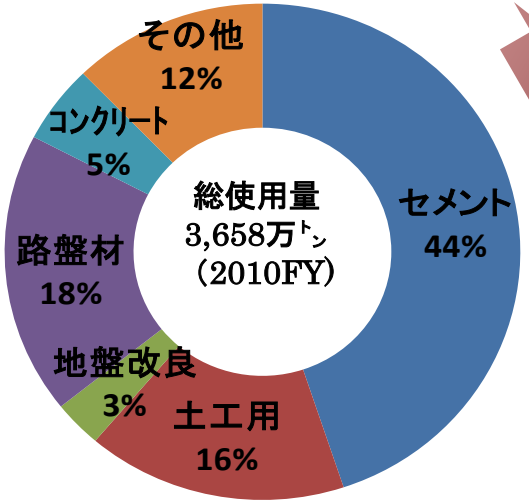
	CaO	SiO2	Al2O3	T-Fe	MgO	TiO2	MnO	S
高炉スラグ	42.0	33.8	14.4	0.3	6.7	1.0	0.3	0.8
製鋼スラグ	44.3	13.8	1.5	17.5	6.4	1.5	5.3	0.1
（参考）ポルトランドセメント	64.2	21.2	5.2	2.0	1.5	0.3	0.1	—
（参考）安山岩	5.8	59.6	17.3	3.1	2.8	—	0.2	—

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

鉄鋼スラグの利用・処分の現状

発生炉別	生産量（2010FY）
高炉スラグ	2,492万ﾄﾝ
転炉スラグ	1,167万ﾄﾝ
電気炉スラグ	284万ﾄﾝ
合計	3,944万ﾄﾝ

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%	



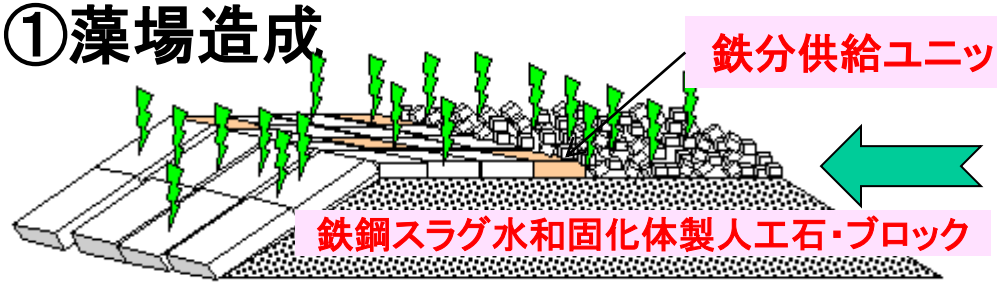
①環境基準(土壌環境基準等)に適合した製品
②グリーン購入特定調達品目指定(9種類)
③国交省・農水省工事仕様書登録
④沿岸技術研究Cの技術審査証明等を取得

循環資源として建設資材に有効利用

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

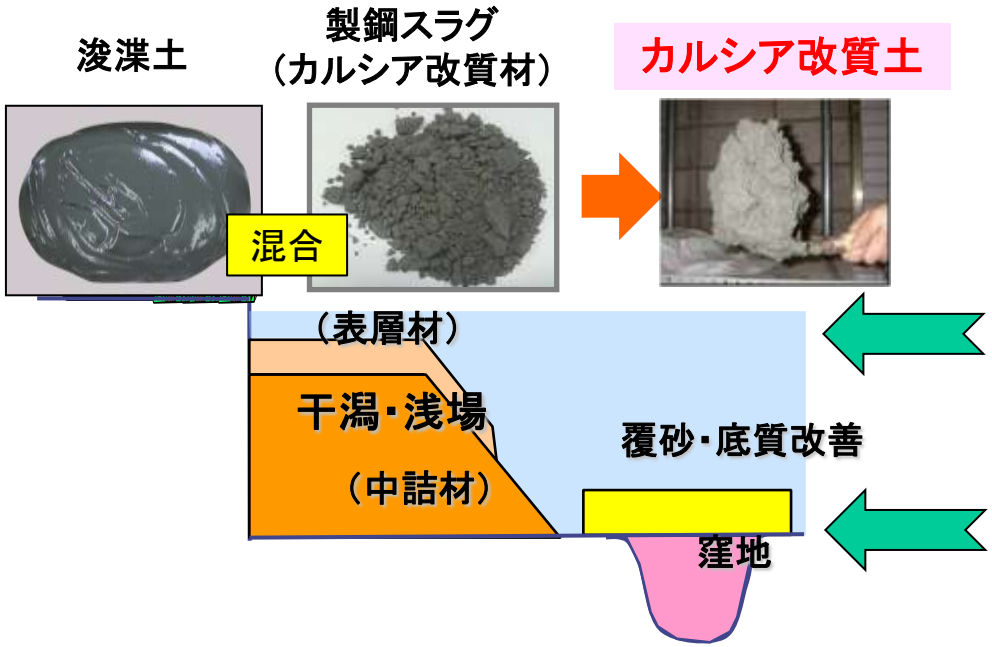
転炉系製鋼スラグの海域環境改善への利用

①藻場造成



藻類育成効果 （藻場・磯焼け対策）
- 二価鉄 （FeO）
- 珪酸 （SiO_2）

②干潟・浅場造成（中詰材）、浚渫窪地修復



スラグの化学成分による水質改善効果
- ①赤潮抑制 （リン抑制）
  - Caによるリンの吸着
- ②青潮抑制 （貧酸素）
  - 高pH、鉄分によるH_2S発生抑制

軟弱浚渫土の強度調整効果
- スラグの固結作用による強度改善
- 礫分、砂分の混入による粒度改善

鉄鋼スラグ固有の特性を活用した安全な海域環境修復技術の確立

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

新日鉄の藻場造成製品

【藻場礁・漁礁用マウンド材】

鉄鋼スラグから製造した人工石・ブロック。藻類の付着に優れる。

ビバリーブロック・ビバリーロック

ビバリーユニット　（ビバリーバッグ・ビバリーボックス）

【海藻用肥料】
海藻類の生育に必要な「鉄イオン」を海に供給する海藻用サプリメント

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

藻場造成技術 水和固化体製 人工石材・ブロック

製造方法

製鋼スラグ
高炉スラグ微粉末
水
・アルカリ刺激材
（消石灰、セメント等）
・フライアッシュ
・高炉水砕スラグ（細骨材）

→ 練混ぜ → 打込み → 養生固化 → 鉄鋼スラグ水和固化体

性能

①準硬石の割ぐり石の規格を満足

②低アルカリで海域へのpH影響なし
（pH：11～12 ⇒ 9以下）

③生物着生性能に優れている

用途

人工石材
（羽田再拡張Projに
100万トン適用）

無筋ｺﾝｸﾘｰﾄ代替ブロック

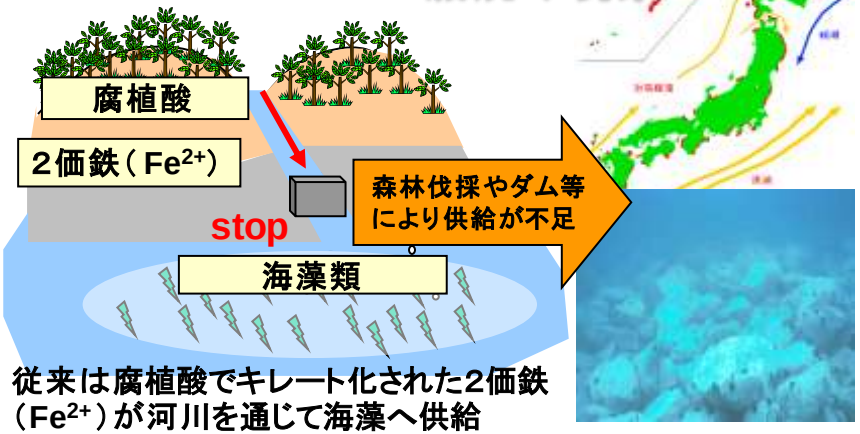
【公認化】
★沿岸技術ﾗｲﾌﾞﾗﾘｰNo.16 (沿岸技術研究ｾﾝﾀｰ)
★港湾関連民間技術確認審査 第07001号
★NETIS登録
★グリーン購入法特別調達品目指定（2010年）
★漁場造成・再生用資器材の技術認定（全水技協）
★鉄鋼スラグ製品安全確認認証（全漁連）

2009年度 国土技術開発賞 優秀賞を受賞

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

鉄分供給による藻場造成技術開発の概要 （新日鉄）

磯焼け現象



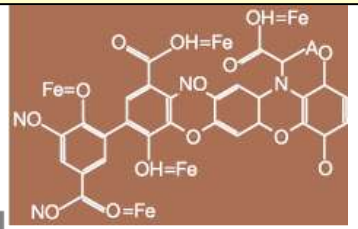
従来は腐植酸でキレート化された2価鉄（Fe^{2+}）が河川を通じて海藻へ供給

人工的な鉄分供給技術の開発

転炉系製鋼ｽﾗｸﾞ(Fe 2+)

腐植土 (腐植酸)

ﾋﾞﾊﾞﾘｰﾕﾆｯﾄ（腐植酸鉄）



メカニズム解明研究

○海藻育成効果のメカニズム研究

- 培養実験
- 水槽実験

○微量鉄計測技術の開発

実海域における実証実験（北海道増毛町）

施肥前
(H16/7)

汀線への施肥ﾕﾆｯﾄ埋設
(H16/10)

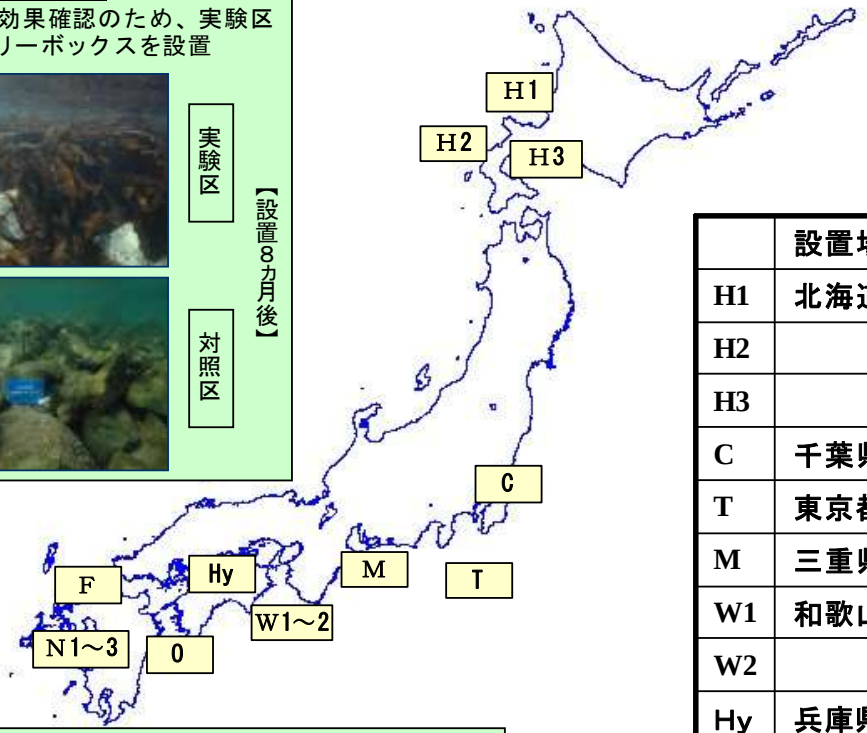
コンブの生育確認
(H17/6)

（本技術開発は、東京大学（故定方正毅教授）、㈱エコ・グリーン、西松建設㈱、新日本製鐵㈱の共同研究として実施）

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

全国各地のビバリーシリーズ実験状況

H2：北海道寿都町
コンブ生育効果確認のため、実験区にのみビバリーボックスを設置



N1：長崎県松浦市鷹島
ワカメ・ホンダワラ類生育効果確認のため、ビバリーユニットを沈設した実験区と無施肥の対照区を比較

実験区　【設置2年2ヶ月後】　対照区

	設置場所	設置時期	対象海藻
H1	北海道増毛町	H16.11～	コンブ
H2	寿都町	H18.12～	コンブ
H3	函館市	H18.11～	コンブ
C	千葉県館山市	H18.3～	アラメ･カジメ
T	東京都三宅島	H20.9	テングサ
M	三重県志摩市	H20.1～	アラメ等
W1	和歌山県田辺市	H18.10	ホンダワラ類
W2	串本町	H18.10	ホンダワラ類
Hy	兵庫県(広畑製鐵所)	H21.3	ワカメ等
F	福岡県北九州市	H20.3	アラメ･ワカメ
N1	長崎県松浦市鷹島	H18.3	ワカメ等
N2	西海市瀬川町	H18.10	ホンダワラ類
N3	西海市西彼町	H18.10	ホンダワラ類
O	大分県姫島	H20.12	ヒジキ等

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

浅場・干潟造成と窪地埋戻における課題

良質砂の減少

- 海砂採取規制
- 浚渫土の内、砂質土は約13%
  （東京・大阪・伊勢湾の年間浚渫土量約670m^3（H20)のうち）

浚渫泥土の活用

使用時の課題	
課題1	投入時の濁りが発生しやすい
課題2	施工後も波浪や船舶航行により巻き上がりや流失が発生しやすい
課題3	リン・硫化物の富栄養化物質の溶出（赤潮、青潮の発生が懸念）
課題4	軟弱すぎて成形が困難で、沈下や覆砂の潜り込みが生じる

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

カルシア改質土の特徴

浚渫工事

浚渫土

製鉄所

カルシア系改質材

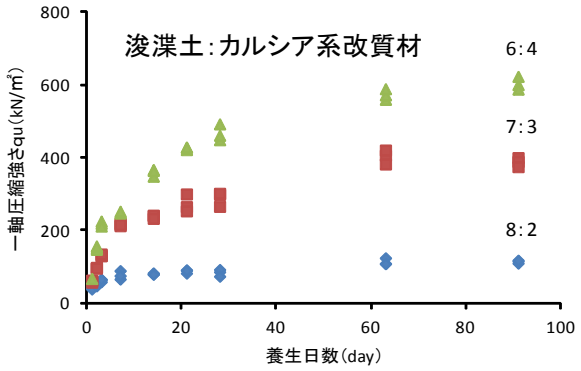
混合

20～30%

カルシア改質土

【特徴】

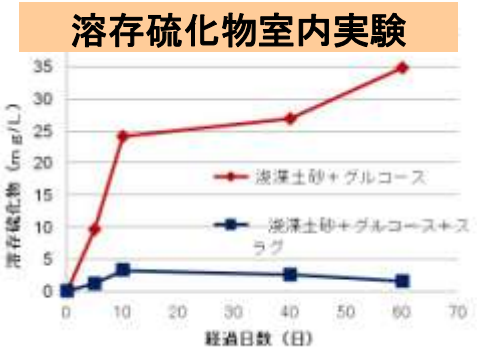
浚渫土強度向上（濁り抑制）



pH上昇抑制

カルシア改質土（混合あり）	カルシア系改質材のみ（混合なし）
白濁なし	白濁あり
pH　8.5	pH　10.0

リン・硫化物の溶出抑制



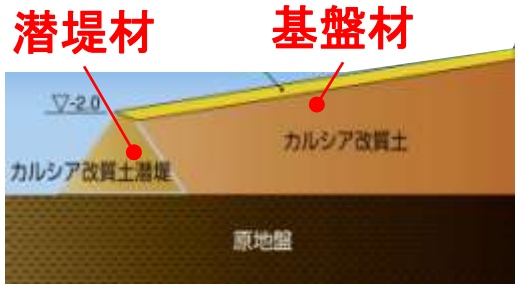
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

新日本製鐵
NIPPON STEEL

カルシア改質土の適用用途と効果

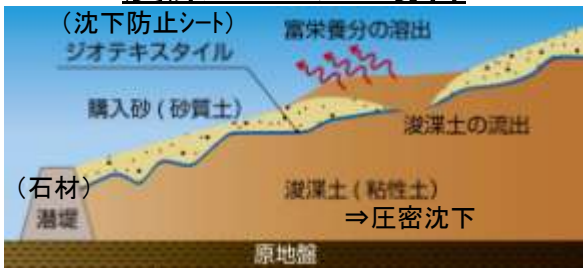
海域自然再生

①浅場・干潟

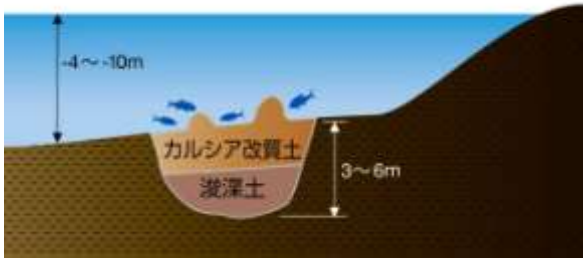


＜課題＞
- 覆砂のくい込み抑制
- 富栄養化物質の溶出抑制
- 沈下軽減

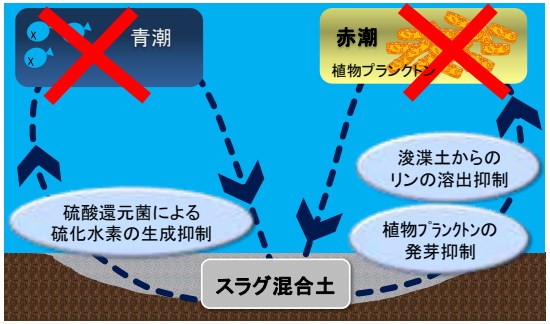
浚渫土のみの場合



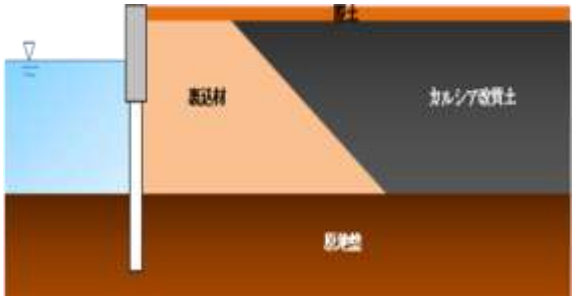
②深掘り窪地埋戻



＜課題＞ （環境基盤研）
- リン溶出による植物ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝ異常発生（赤潮）を抑制
- 硫化水素（青潮）の発生抑制
- 埋戻時の濁りの発生抑制
（底開バージでの施工可能）

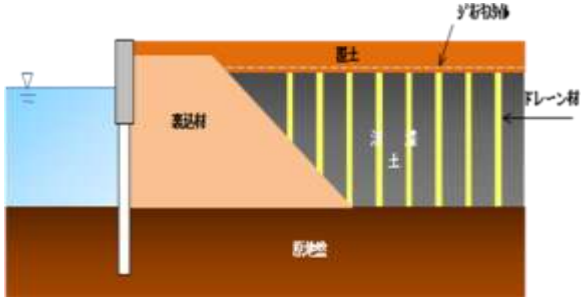


③埋立



＜課題＞
- 強度発現による短工期化
（工程：約▽11ケ月）
- コスト削減（約▽10%）
- 長期的な圧密沈下抑制

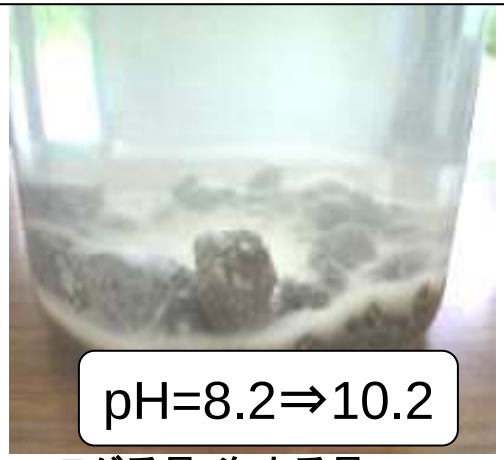
浚渫土のみの場合



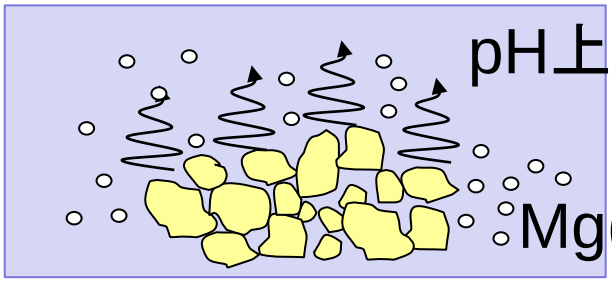
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

カルシア改質土によるpH上昇の抑制効果

製鋼スラグを直接海水へ投入



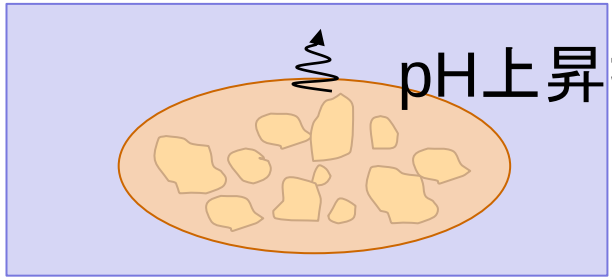
スラグ重量：海水重量＝1:10



①スラグが直接海水と接触し、pHを上昇させる
②海水中の水酸化マグネシウムの溶解度が
　低下し、析出（白濁が発生）

カルシア系改質材として浚渫土へ混合後海水へ投入

スラグ重量：海水重量＝1:10



①浚渫土による包み込み効果により、
　pH上昇が抑制される
②水酸化マグネシウムの析出は生じず、
　白濁の発生も抑えられる

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

濁り抑制効果　試験結果

<浚渫土のみ>

濁度：56.0FTU

<カルシア改質土>

混練 1hr後

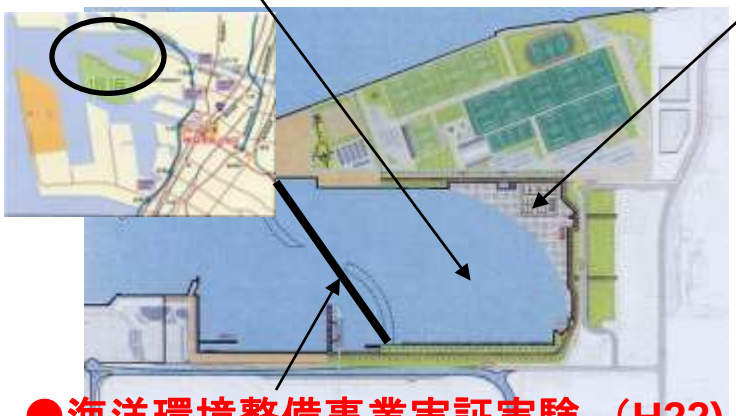
濁度：16.5FTU

カルシア改質土による投入時の濁り抑制効果有り

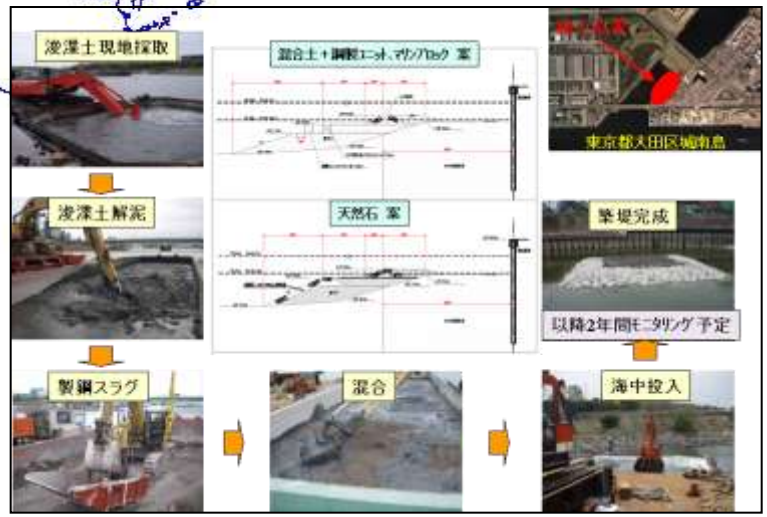
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

カルシア改質土の実海域への適用事例

●大阪湾堺浜実海域実験(H17～19)
（日本鉄鋼連盟）



●堺市人工海浜造成実験(H24予定)
（日本鉄鋼連盟）



●海洋環境整備事業実証実験 （H22)
（国土交通省近畿地方整備局）

●城南島ETV
(～H22/3)

●備讃瀬戸味野湾（H21）
環境改善試験工事
（国交省中国地方整備局）

●博多港航路浚渫工事（H23）
浚渫土改良試験工事
（国交省九州地方整備局）

●川崎ETV
(～H22/3)

●新日鉄名古屋埋立工事
H24.4～（新日本製鐵）

●伊勢湾（H24.5～）
鬼崎漁港埋立工事
（国交省中部地方整備局）

●東京湾藻礁石材設置工事 H21）
（国交省関東地方整備局）

●君津西護岸浅場造成工事（H23）
（新日本製鐵）

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

カルシア改質土の実証試験（東京港城南島）

“環境省による環境技術実証（ETV）事業”

◆場所：城南島（東京湾）

◆期間：2008年4月～2010年3月

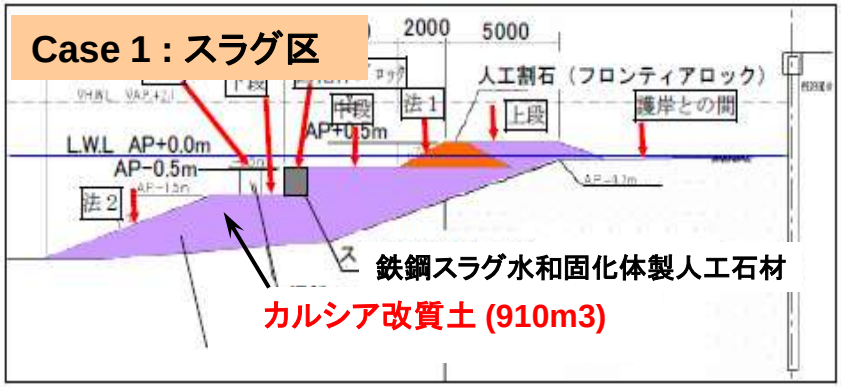
◆実行元：新日本製鐵、JFE

◆検証項目（カルシア改質土）

・有害物質溶出、pH溶出に対セ売る安全性

・有用性（土の強度、水質等）

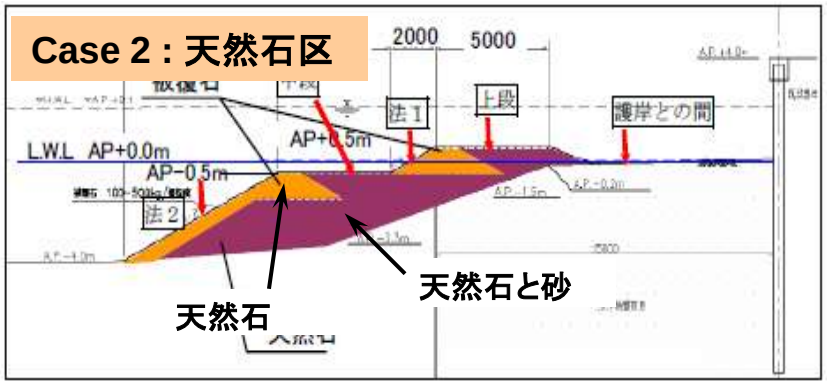
Case 1：スラグ区



浚渫土

スラグ混合

Case 2：天然石区



人工石施工

混合土施工

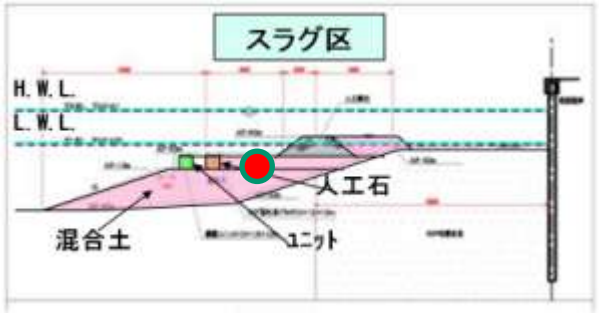
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

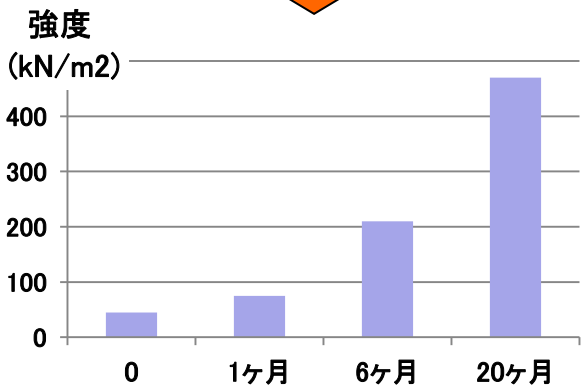
カルシア改質土の実証試験（東京湾）

カルシア改質土の安全性

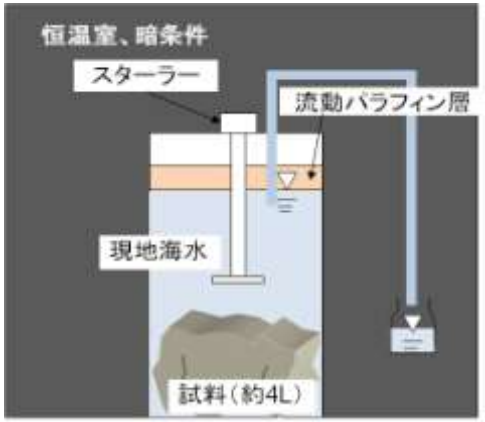
	溶出	基準値
Hg	<0.0005	0.005
Cd	<0.01	0.1
Pb	<0.01	0.1
Cr^{6+}	<0.05	0.5
Cu	<0.1	3
Zn	<0.1	2
Be	<0.1	2.5
Cr	<0.1	2
Ni	<0.1	1.2
V	<0.1	1.5
pH	<8.4 (1m 上側)	

カルシア改質土の強度





S硫化物とPリンの吸着



SとPの変化

	(mg/m²/day)	
	硫化物	リン酸
スラグ+浚渫土	5.2	-33.6
浚渫土のみ	93.3	85.8

カルシア改質土は周辺への悪影響はなく、軟弱粘土の強度増進させ、富栄養化した海域における水質改善に適応可能であると政府機関により立証された。

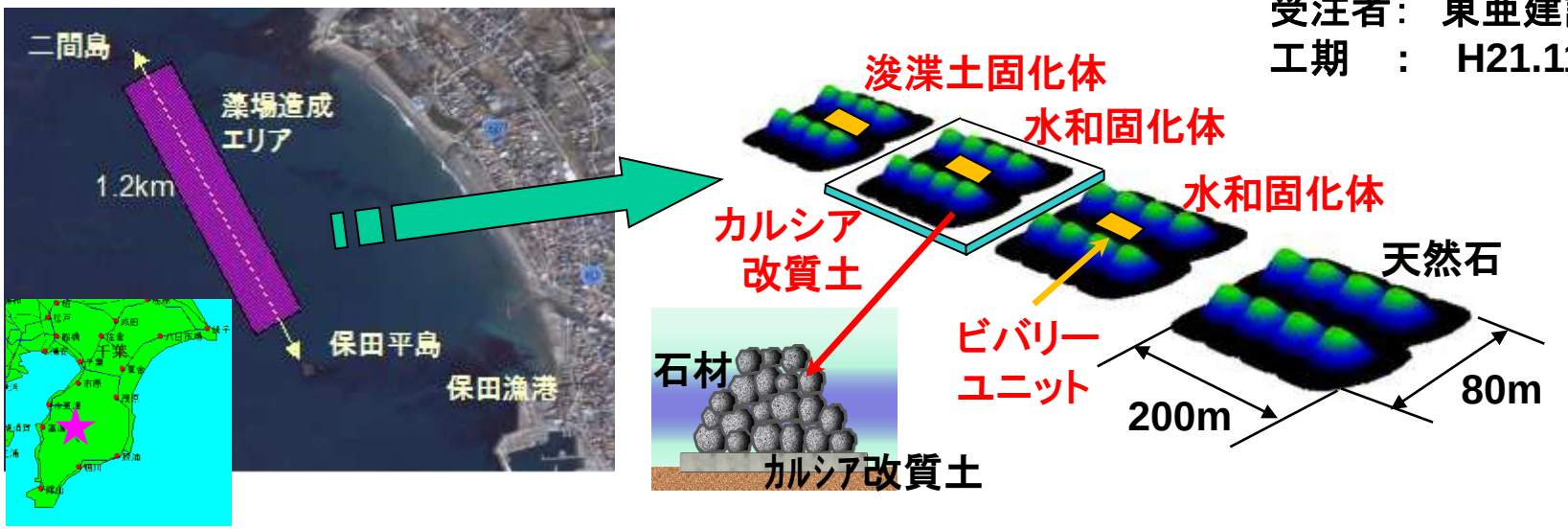
環境技術実証事業 ETV 環境省
http://www/env.go.jp/policy/etv/

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

新日本製鐵
NIPPON STEEL

東京湾藻礁石材設置工事

発注者：　国交省関東地整局
受注者：　東亜建設工業(株)
工期　：　H21.11～H22.3



水和固化体

製鋼ｽﾗｸﾞ(約20千t)
＋高炉ｽﾗｸﾞ微粉末

20,800m³

浚渫土固化体

製鋼ｽﾗｸﾞ(約5千t)＋浚渫土
＋高炉ｽﾗｸﾞ微粉末

10,400m³

カルシア改質土

製鋼ｽﾗｸﾞ(約5千t)＋浚渫土

9,700m³

ビバリーユニット

3基

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

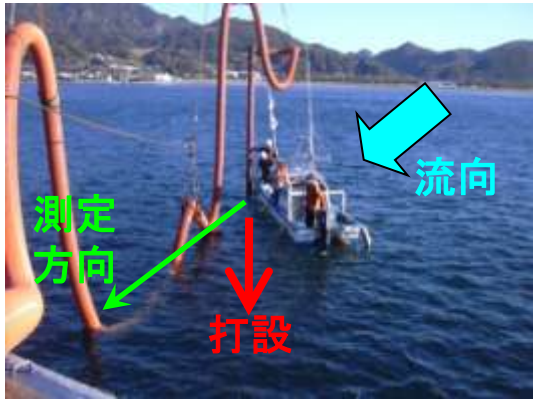
適用事例 ： 東京湾藻礁石材設置工事

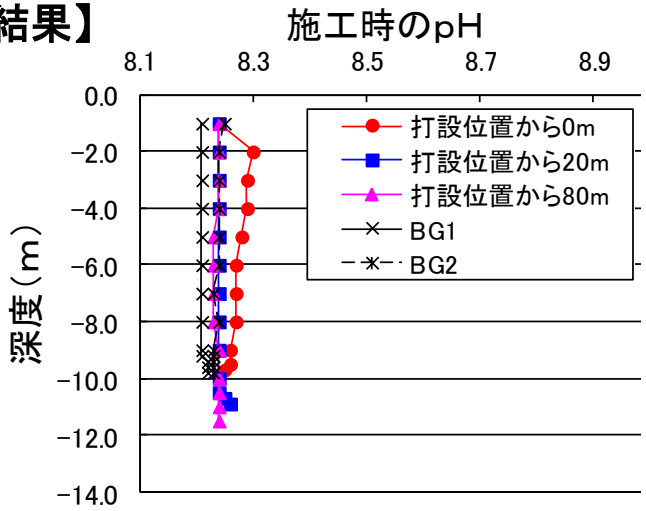
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

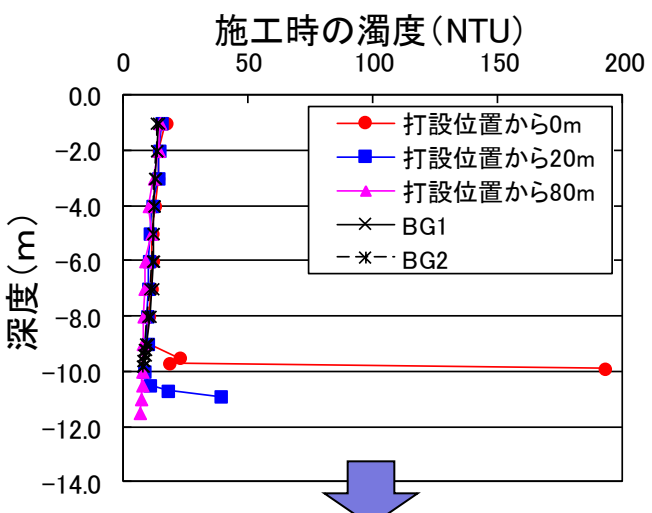
新日本製鐵
NIPPON STEEL

東京湾藻礁石材設置工事モニタリング

【施工中のpHと濁度の測定結果】

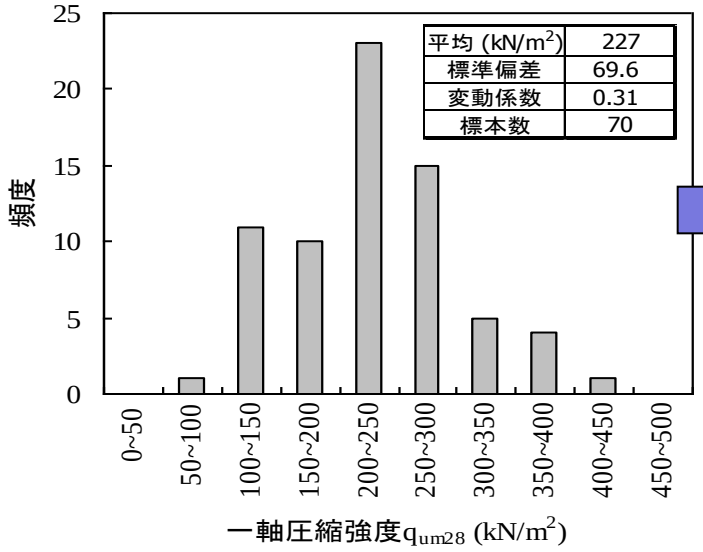






トレミー管先端部からの
改質土の突出状況

【施工28日後の強度測定結果】



○施工時のpH上昇は、ごくわずかであり、施工完了後のpH上昇はない。

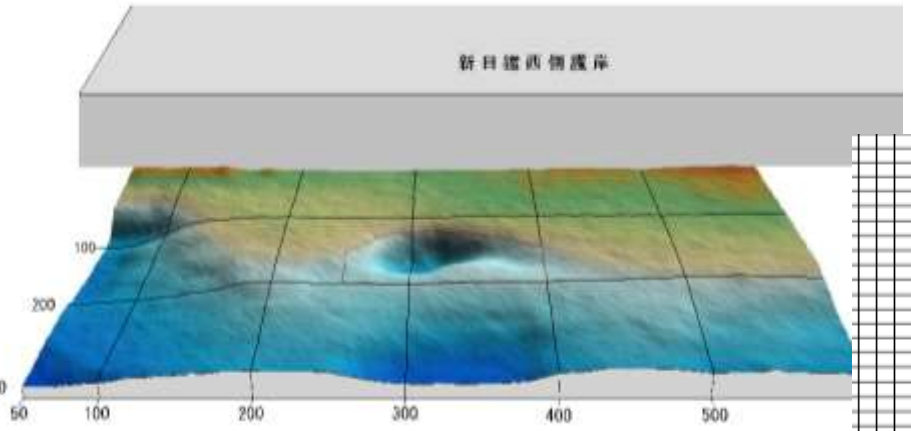
○施工時の濁り発生は、施工場所のごく近傍に限られる。

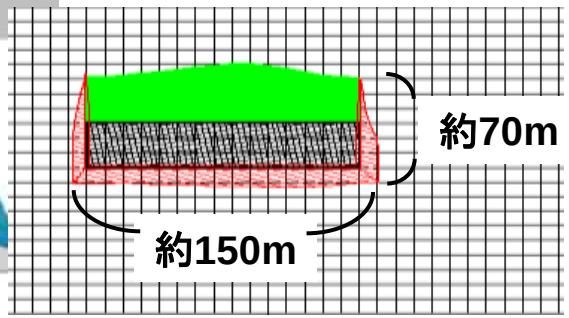
○一軸圧縮強さで50kN/m²（コーン指数では200kN/m²）以上の強度上昇が確認できた。

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

君津西護岸　浅場造成の施工場所と施工方法

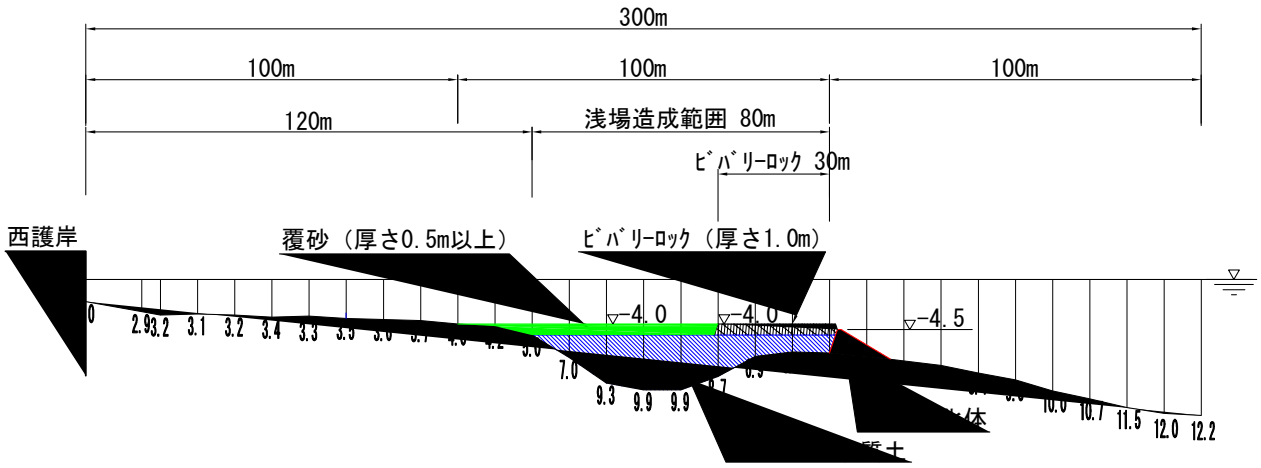
浅場造成場所





・水深：5～10m（一部、窪地）

・造成規模：沿岸方向に約150m、岸沖方向に約70m



築堤工（水和固化体）
2,800m^3

カルシア改質土混合投入工
15,200m^3

覆砂工
12,000m^2

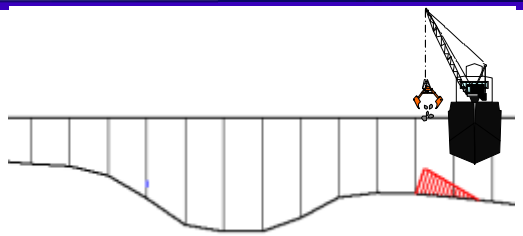
藻場造成工（ﾋﾞﾊﾞﾘｰﾛｯｸ）
5,900m^3

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

浅場造成の施工方法 【施工フロー】

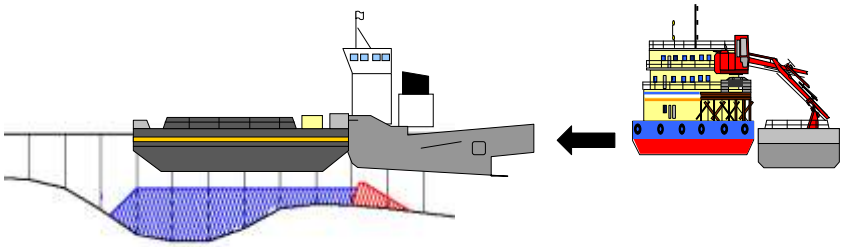
築堤工

カルシア改質土が投入区域から漏出しないよう、深掘部の外周に築堤する。



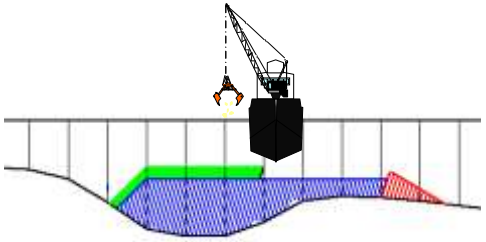
カルシア改質土混合投入工

深掘部をカルシア改質土にて埋め戻し、浅場を造成する。



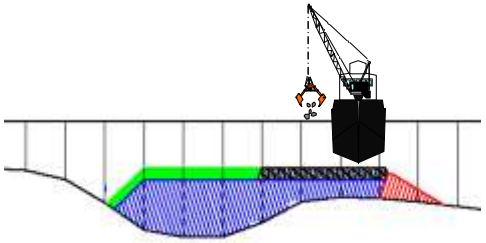
覆砂工

カルシア改質土の表面のうち約半分の範囲を、山砂にて覆砂する。



藻場造成工

カルシア改質土の表面の残り半分の範囲を、ビバリーロックで覆い藻場を造成する。



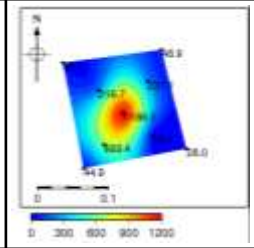
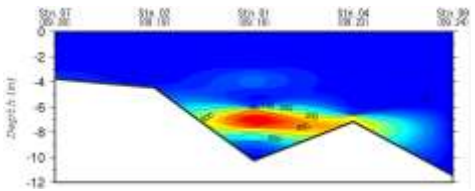
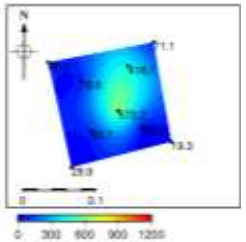
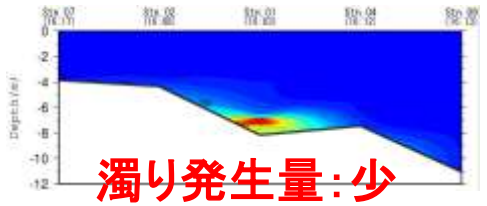
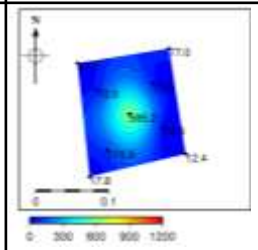
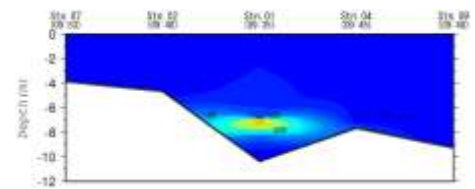
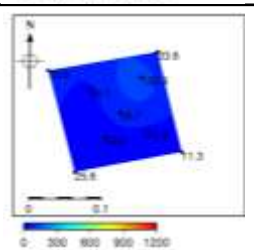
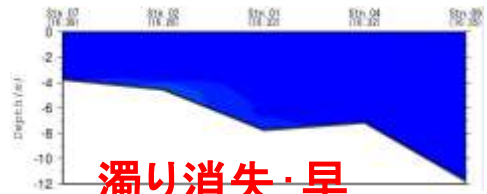
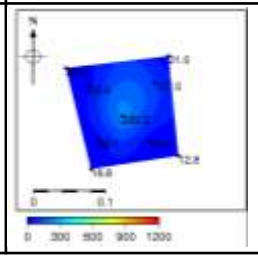
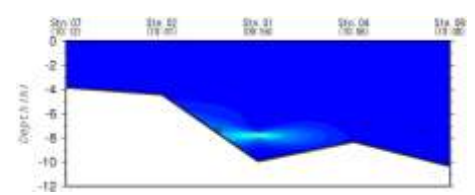
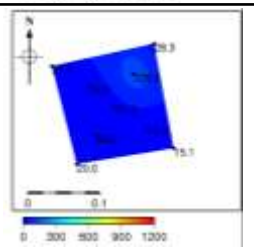
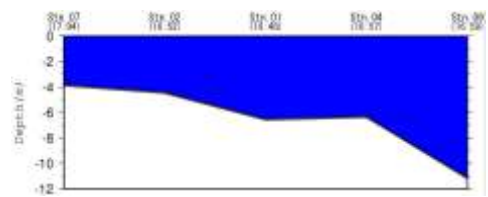
© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

君津浅場造成実験(VTR)

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

設計施工データ【濁り抑制効果】

施工時の濁り抑制効果の実海域計測結果

	浚渫土単独		カルシア改質土	
	平面	断面	平面	断面
投入直後				 濁り発生量：少
30分後				 濁り消失：早
1時間後				

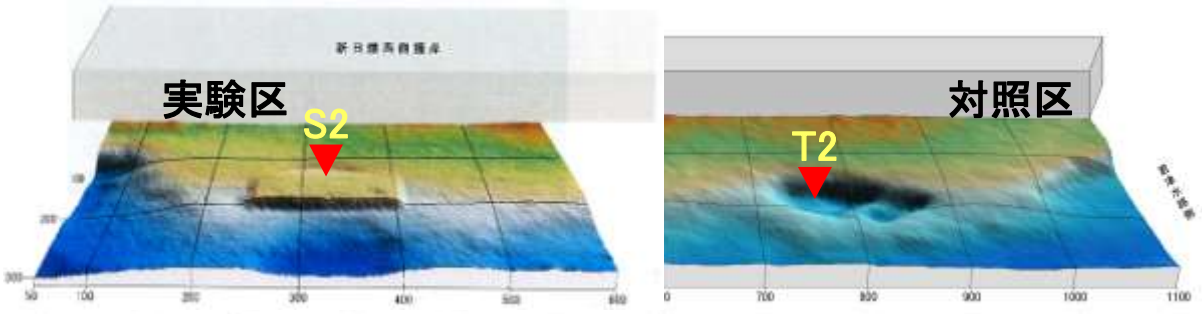
濁り発生量が3割程度に低減

※図中の数値はSS(mg/l)

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

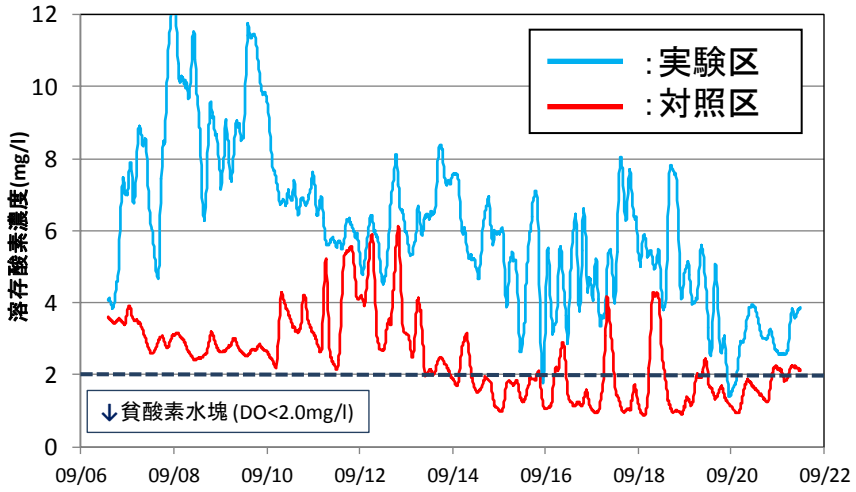
6.造成直後（造成後1ヶ月）の状況

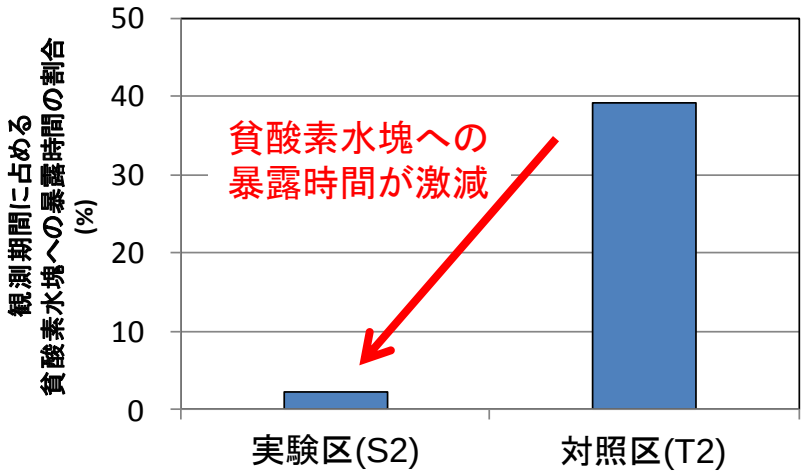
②底生生物の生息環境は変化するか



・生息環境の指標として溶存酸素濃度に着目

・実験区（S2）と対照区（T2）において溶存酸素濃度を15日間連続測定





© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

君津浅場造成実験（設置4ヶ月後の映像）

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

浅場造成による水環境改善効果の評価

水環境改善効果の評価にあたっての着眼点

モニタリングの着眼点	評価方法	比較
① 底生生物の生息状況は変化するか	底生生物、水産対象生物の生息量（生物調査、試験操業）	S1～S3 vs T2(T1)
② 底生生物の生息環境は変化するか	水中の溶存酸素濃度、硫化水素濃度、底泥中の硫化物濃度等（水質調査、底質調査）	S1～S3 vs T2(T1)
③ 海藻類は繁茂するか	ビバリーロック上に植え付けた海藻類の生育状況を測定（藻場調査）	S4
④ 浅場・藻場造成による水質浄化量はどの程度か	底泥による酸素消費量、栄養塩の溶出量、底生生物による有機物除去量を算定（速度試験、底質調査、生物調査）	S1～S3 vs T2(T1)
⑤ カルシア改質土から覆砂材への環境面の効果、影響はあるか	底泥中の硫化物濃度、pH（底質調査）	S1～S3 vs T1
⑥ 浅場上の覆砂材は流出しないか	覆砂上に設置した砂面レベル計にて、覆砂厚を測定（海底状況の確認）	S1～S3
⑦ 浮泥は堆積するか	砂面レベル計にて、覆砂上に堆積する浮泥厚を測定（海底状況の確認）	S1～S3

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.

本日はご清聴ありがとうございました。

（お問合わせ先）

新日本製鐵㈱　スラグ・セメント事業推進部

nakagawa.masao@nsc.co.jp

© 2011 Nippon Steel Corporation. All Rights Reserved.