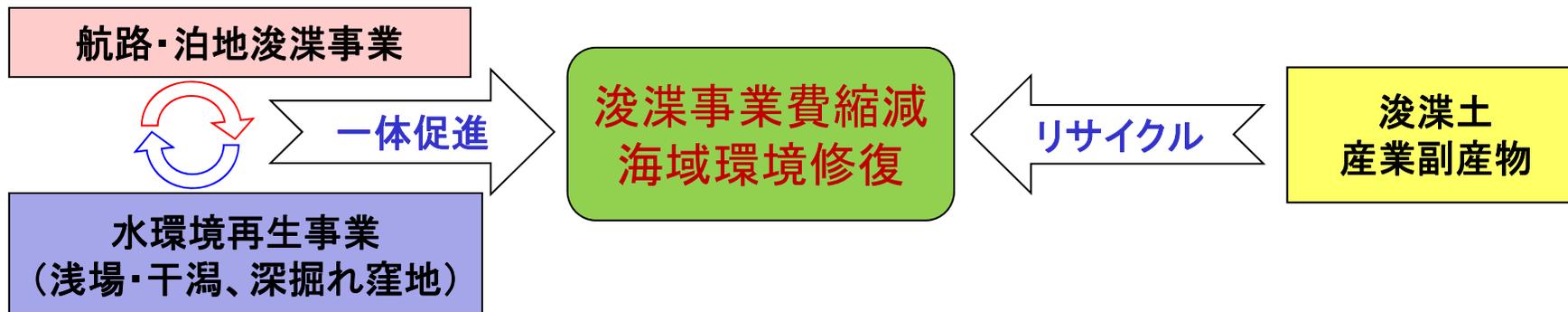


# カルシア改質土による 海域環境修復技術

平成22年10月26日  
カルシア改質土研究会

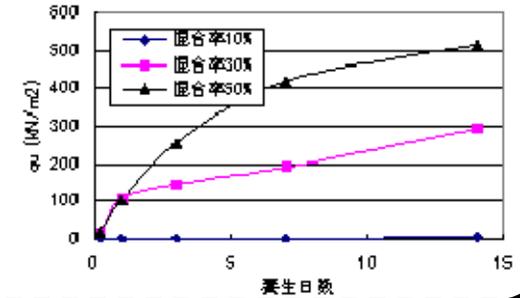
# カルシア改質土適用の概要



# カルシア改質土の技術的特徴



## 強度の向上



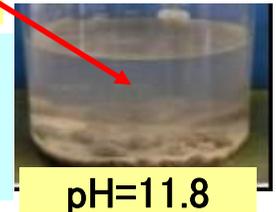
## pH低減

混合した改質土を  
海水に浸漬



## 白濁発生

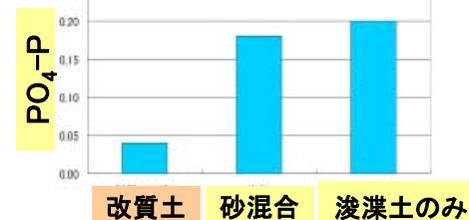
混合なし  
(カルシア系改質材のみ)



## リン・硫化物の吸着

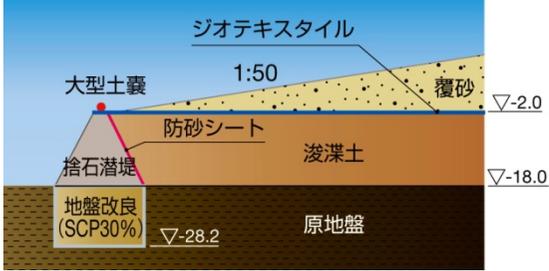
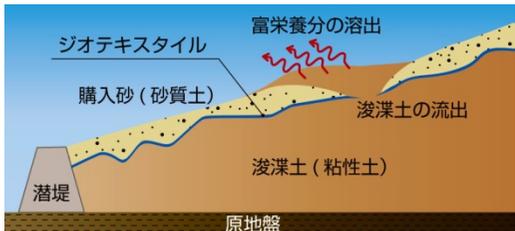
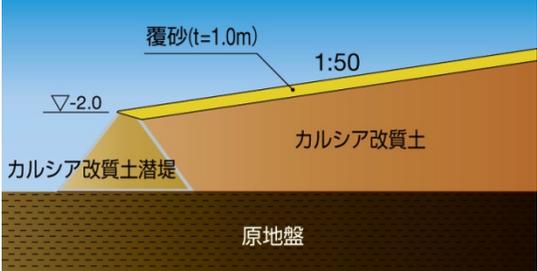
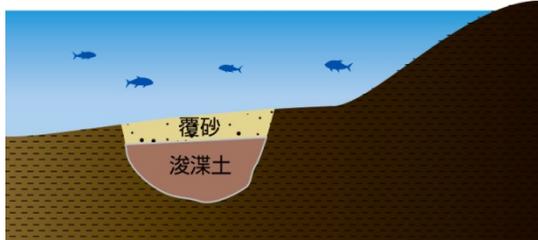
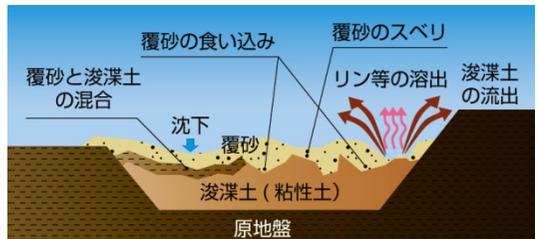
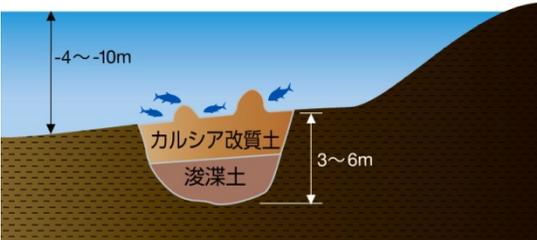


## 室内実験結果



特徴を活かして、干潟・浅場・深掘り埋戻・埋立へ活用

# カルシア改質土の特徴を活かした適用例

	浚渫土のみを材料とした場合	カルシア改質土を材料とした場合
<p><b>浅場干潟</b></p>	<p><b>適用概要</b></p>  <p><b>課題</b></p> 	 <p><b>コスト</b> 0.7程度</p> <p>①覆砂のくい込みが無い ②圧密沈下量が軽減 ③法留め潜堤が不要 ④耐波安定性の向上(流出無し)</p>
<p><b>深掘り埋戻</b></p>	<p><b>適用概要</b></p>  <p><b>課題</b></p> 	 <p><b>コスト</b> 0.7~0.9程度</p> <p>①覆砂なしでリン・硫化水素の発生抑制が可能 ②耐波安定性の向上 ③圧密沈下量が軽減(覆砂くい込み減) ④凹凸のある表面地形の創出が可能</p>

# これまでの利用技術開発の取組状況

## これまでの海域における利用技術開発の取り組み状況

【H16～19年度】

経済産業省補助研究事業  
「スラグ利用に係る研究開発」

<研究体制>

経済産業省 製造産業局  
鉄鋼課 製鉄企画室

(社)日本鉄鋼連盟

製鋼スラグの海域利用における  
安全性・環境改善効果検討WG

主査: 新日本製鐵(株)  
委員: JFE、神鋼、新日鐵、住金、日新  
オブザーバ: 建設会社 コンサルタント会社

調査計画  
調査結果

技術検討  
の委嘱

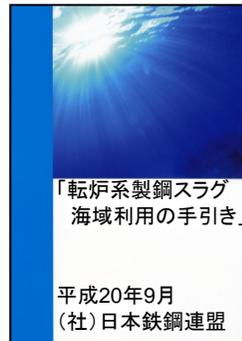
【技術検討委員会】

委員長: 港湾空港技術研究所 中村由行 領域長  
委員 ・国土技術政策総合研究所 ・東北大学 大学院  
・港湾空港技術研究所 ・広島工業大学 大学院  
・水産総合研究センター ・大阪府港湾局  
・国土交通省神戸港湾空港技術調査事務所

オブザーバ

・経済産業省 ・水産庁  
・海上保安庁 ・堺市  
・環境生態工学研究所 ・大阪府漁連

各種用途への  
適用性評価



【H20年度～】

カルシア改質土研究会  
(新日鐵、JFE、マリコン4社)

カルシア改質土の実用化開発

- ・効果・安全性の確認
- ・設計法、施工法の確立
- ・実証実験とパイロット事業創出

<研究成果>

転炉系製鋼スラグを海域に利用するための  
安全性・環境改善効果の検討・評価

用途の開発

・浅場造成、深掘り部埋戻しへの適用

安全性・環境改善効果の評価

- ・魚介類、藻類への安全性を生化学的に確認(重金属・pH)
- ・大規模施工時のpHシミュレーション技術の開発
- ・リン・硫化物吸着効果、浚渫土強度改善効果の確認

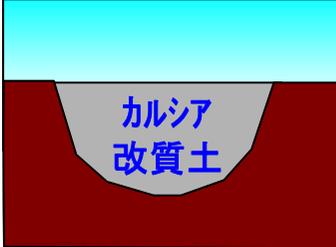
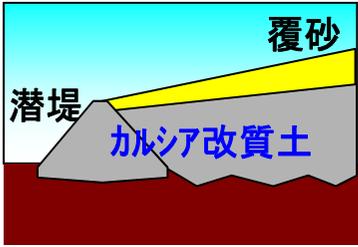
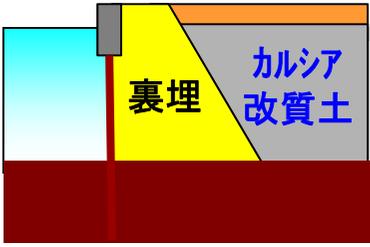
実海域試験による適用性の検討

・実用的施工技術の開発と試験施工(大阪府堺浜)

「海域利用の手引き」の作成

・品質基準や適用上の留意事項を記載

# カルシウム改質土の適用用途と要求性能

適用	深掘り埋戻	浅場・干潟	埋立
概要			
要求性能	<b>溶出特性</b> 有害物質の溶出管理基準(水底土砂基準)を満足		
	<b>pH</b> 周辺海域に影響を与えるようなpH上昇が生じない		
	<b>強度</b> あまり固化せずに、生物生息可能 ※強度目安: 100kN/m <sup>2</sup> 以下	・圧密沈下抑制 ・円弧滑り等に対する耐荷力 ※強度目安: 潜堤材: 200kN/m <sup>2</sup> 浅場材: 100~200kN/m <sup>2</sup>	・圧密沈下抑制 ※強度目安: 200kN/m <sup>2</sup> 程度
	<b>濁り抑制</b> 施工中や施工後に、波浪や船舶航行で巻き上がらない。	施工中に巻き上がらない	
<b>富栄養化物質の溶出抑制</b>	リン等の富栄養化物質の溶出が抑制される。	—	—

# 重金属溶出に対する安全性(経産省補助研究)

①カルシア系改質材(製鋼スラグ)のみ(5種類)

②混合材料(製鋼スラグ30Vol.%(5種類)×浚渫土70Vol.%(2種類))

## 海洋汚染防止法水底土砂基準への適合性

(製鋼スラグは環境対発第070928001号に準じ、溶融スラグの試験項目としている)

単位:mg/L(有機塩素化合物はmg/g)

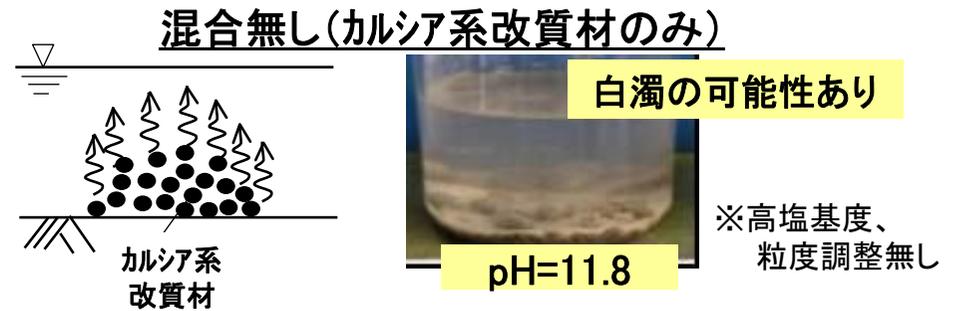
試験項目	①	②	判定基準	試験項目	①	②	判定基準
アルキル水銀化合物	—	不検出	検出されないこと	バナジウム又はその化合物	—	不検出	1.5以下
水銀又はその化合物	不検出	不検出	0.005以下	有機塩素化合物	—	不検出	40以下
カドミウム又はその化合物	不検出	不検出	0.1以下	ジクロロメタン	—	不検出	0.2以下
鉛又はその化合物	不検出	不検出	0.1以下	四塩化炭素	—	不検出	0.02以下
有機りん又はその化合物	—	不検出	1以下	1,2-ジクロロエタン	—	不検出	0.04以下
六価クロム化合物	不検出	不検出	0.5以下	1,1ジクロロエチレン	—	不検出	0.2以下
砒素又はその化合物	不検出	不検出	0.1以下	シス-1,2-ジクロロエチレン	—	不検出	0.4以下
シアン化合物	—	不検出	1以下	1,1,1トリクロロエタン	—	不検出	3以下
PCB	—	不検出	0.003以下	1,1,2トリクロロエタン	—	不検出	0.06以下
銅又はその化合物	—	不検出	3以下	1,3-ジクロロプロペン	—	不検出	0.02以下
亜鉛又はその化合物	—	不検出	5以下	チウラム	—	不検出	0.06以下
ふっ化物	0.1~2.3	0.1~1.4	15以下	シマジン	—	不検出	0.03以下
トリクロロエチレン	—	不検出	0.3以下	チオペンカルブ	—	不検出	0.2以下
テトラクロロエチレン	—	不検出	0.1以下	ベンゼン	—	不検出	0.1以下
ベリリウム又はその化合物	—	不検出	2.5以下	セレン又はその化合物	—	不検出	0.1以下
クロム又はその化合物	—	不検出	2以下	ダイオキシン類	—		
ニッケル又はその化合物	—	不検出	1.2以下				

➡ カルシア系改質材, 浚渫土混合材料ともに, 重金属の溶出は基準値以下

# pH上昇に対する適用限界の設定(安全性確認)

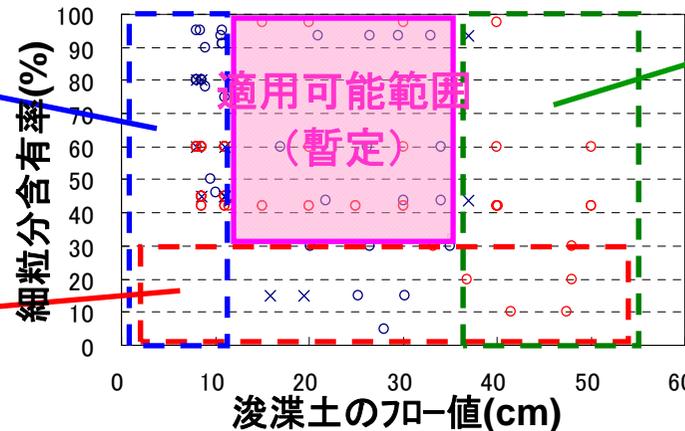
## pH上昇の傾向

浚渫土がカルシア系改質材を**包み込む効果**により、pH上昇を抑制



フロ-値が小さい  
(浚渫土が硬い)と  
混練が難しく、  
包み込み効果が小さい

細粒分が少ない  
(砂っぽい)と  
透水性が高く、  
包み込み効果が小さい



フロ-値が大きい  
(浚渫土が軟弱)と  
材料分離し、  
混練困難

○ : pH < 9.0  
× : pH ≥ 9.0

## フロ-値の概要

フロ-コン(径8cm)内に  
試料を充填し、引上げ

8cm

試料が変形・流動した  
範囲を測定

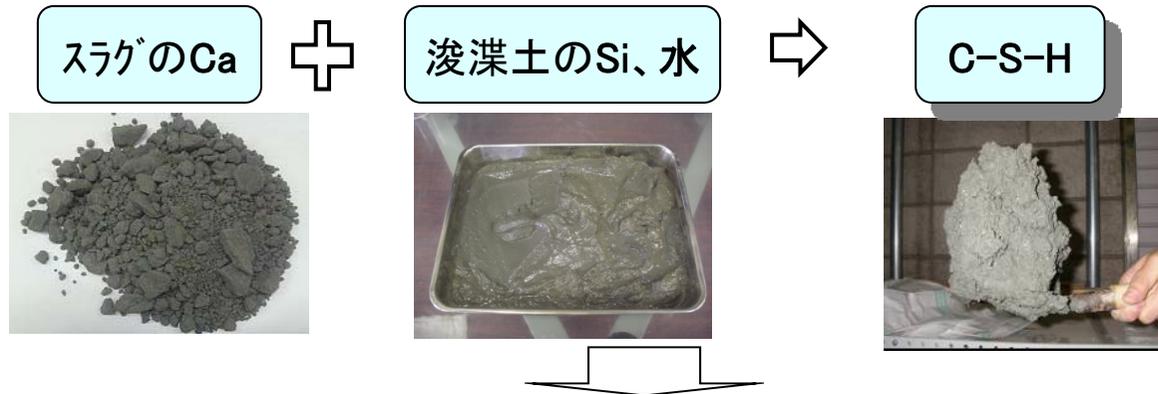
フロ-値

ほとんどの浚渫土でpH上昇の抑制が可能

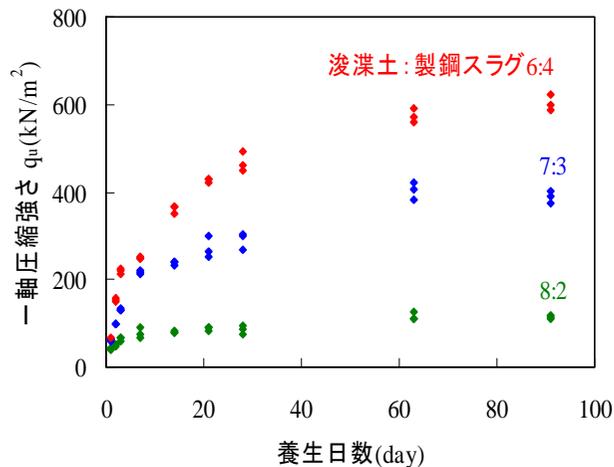
# 強度特性 混合率と強度の関係

## 強度発現メカニズム

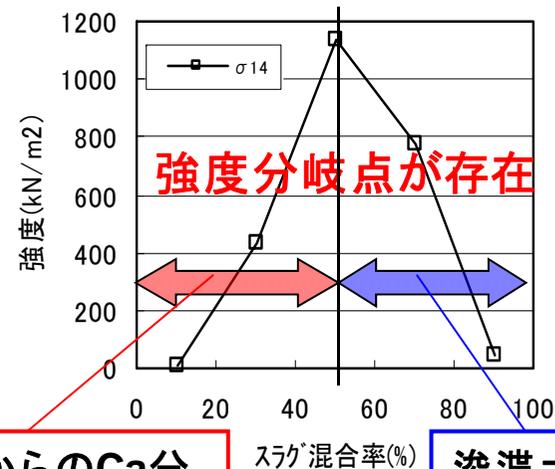
浚渫土のシリカ分と転炉系製鋼スラグからのf-CaOが水和固化して、カルシウムシリケート系水和物(C-S-H)やカルシウムアルミネート系水和物(AFm)が形成されて固化する。



## 製鋼スラグの混合率と強度の関係の明確化



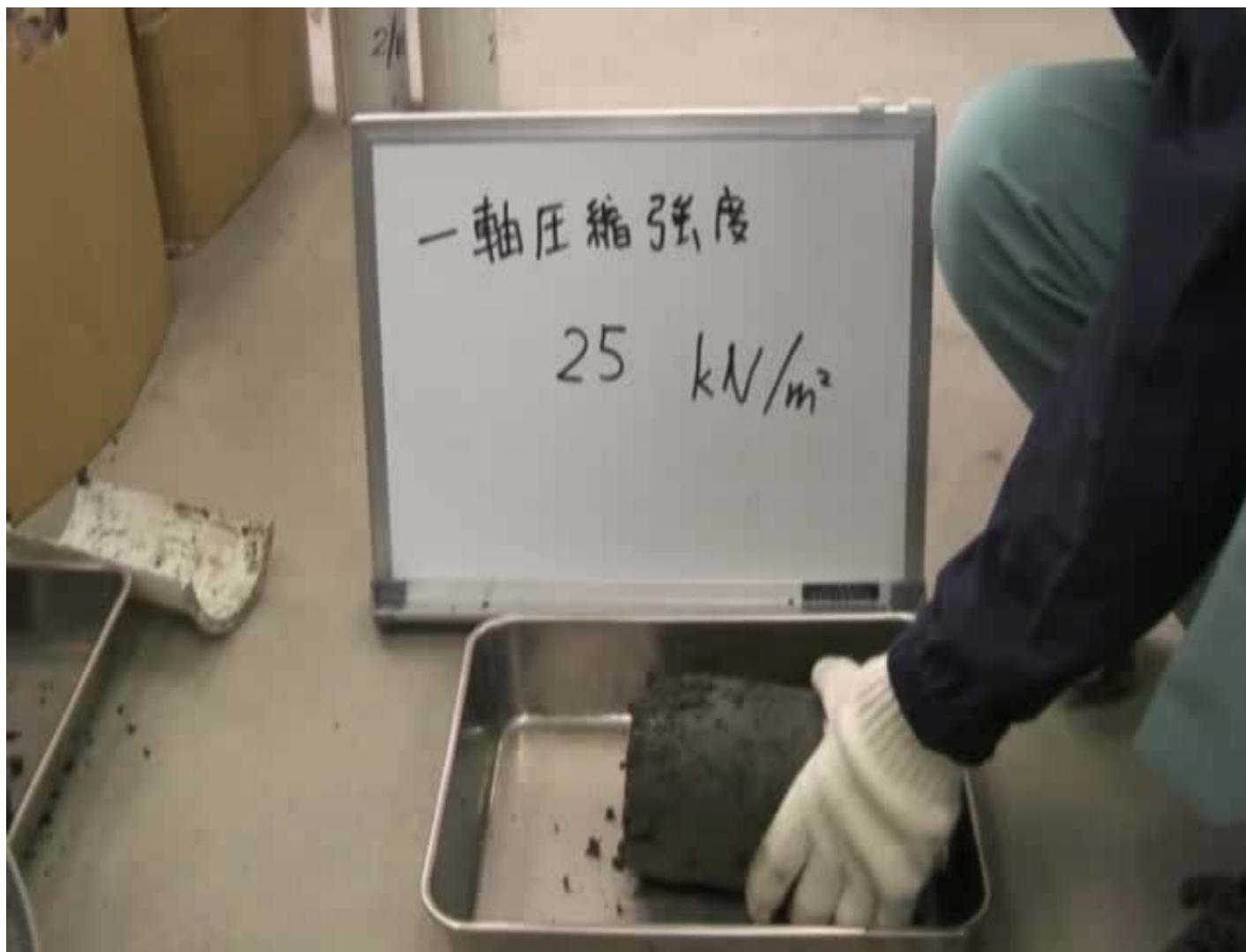
製鋼スラグの混合割合: 大となると、  
混合土の強度: 大



スラグからのCa分  
供給が増加

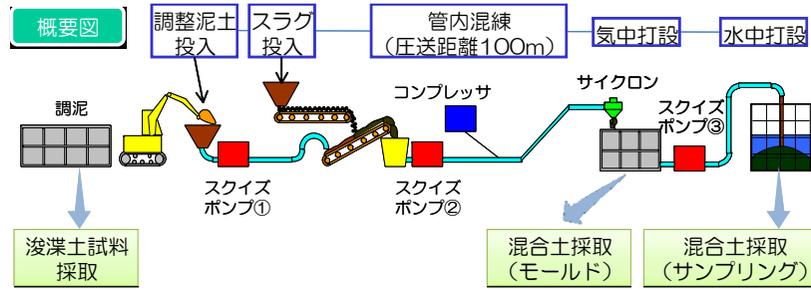
浚渫土からの  
Si分供給が不足

## カルシア改質土の強度発現状況

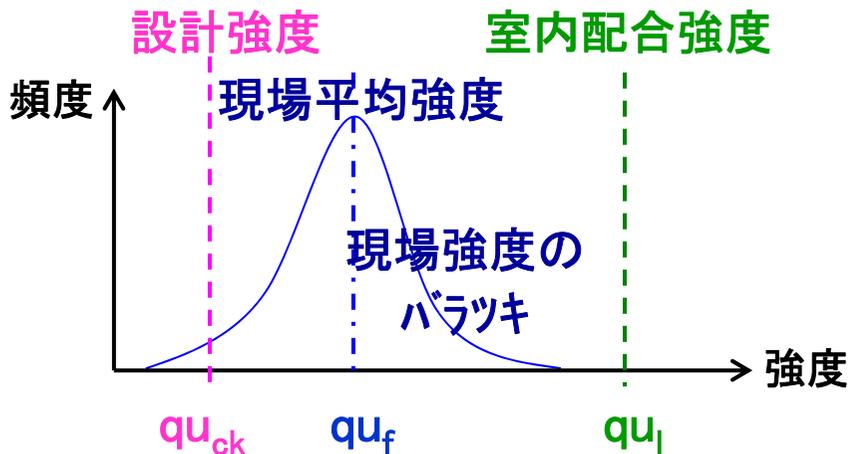


# 強度特性：設計強度と現場強度の関係（定量化）

## 管中混合工法のミプラント施工試験



**強度のバラツキ: 小**  
(セメント混合改良と同程度)



**変動係数 :  $v = 0.04 \sim 0.16$**

	室内配合試験		気中打設試験		水中打設試験	
	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)
データ数	25	25	25	25	25	25
平均 $qu_{28}$	435.1	838.6	399.1	693.3	388.2	704.5
標準偏差 $\sigma$	22.4	33.2	20.0	75.6	62.1	41.8
変動係数 $v$	0.052	0.04	0.05	0.109	0.160	0.059

**現場平均強度:  $qu_f$**   
 $qu_f = qu_{ck} / (1 - \alpha \cdot v)$   
**変動係数  $v$**   
 $\alpha$ : 不良率からきまる係数

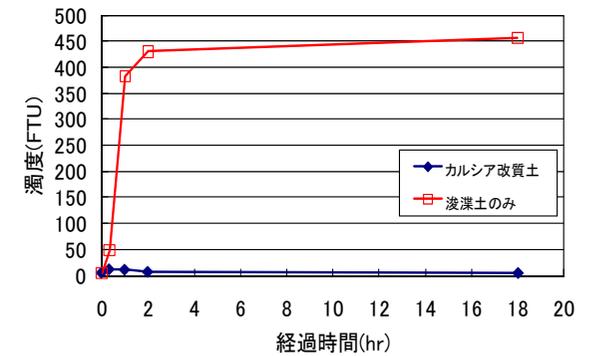
**室内配合強度:  $qu_i$**   
 $qu_i = qu_f / \beta$   
 **$\beta$ : 現場/室内強度比**

**現場/室内強度比 :  $\beta = 0.87$ 程度**

	室内配合試験		気中打設試験		水中打設試験	
	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)	Case 1 (軟)	Case 2 (硬)
平均 $qu_{28}$	435.1	838.6	399.1	693.3	388.2	704.5
現場/室内強度比 $\beta$	-	-	0.917	0.827	0.892	0.840
			平均 (気中) 0.872		平均 (水中) 0.866	

# カルシア改質土の濁り抑制効果

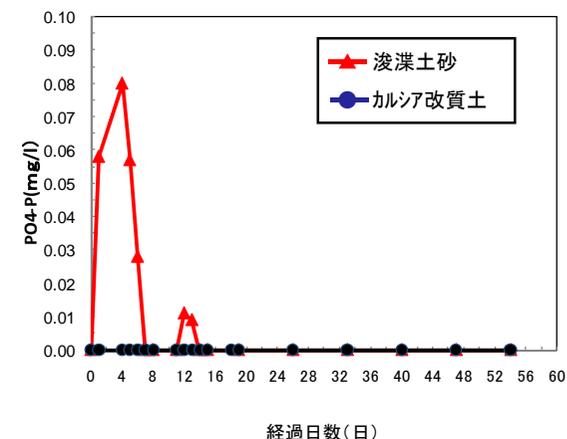
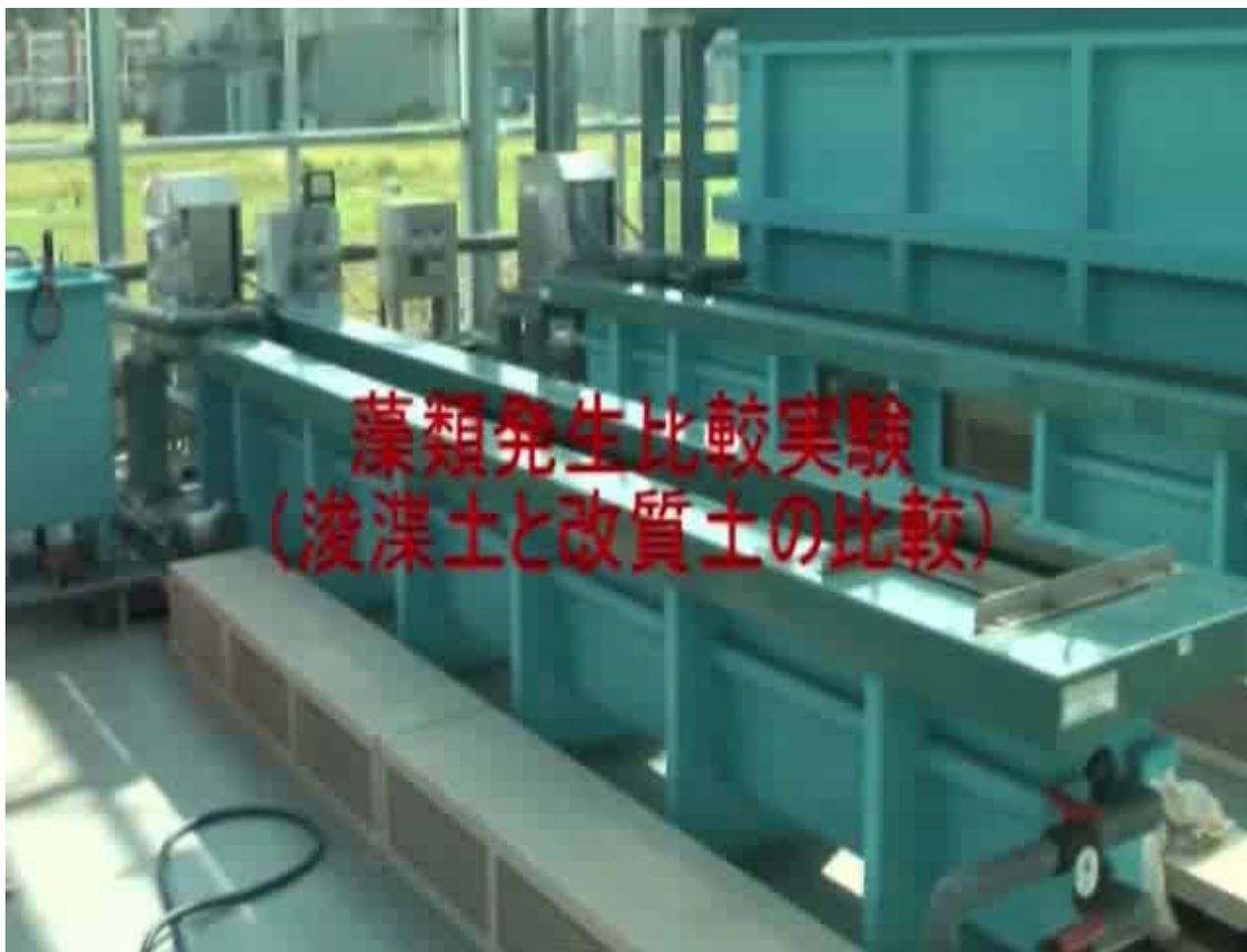
## 強度発現による耐波浪性の向上



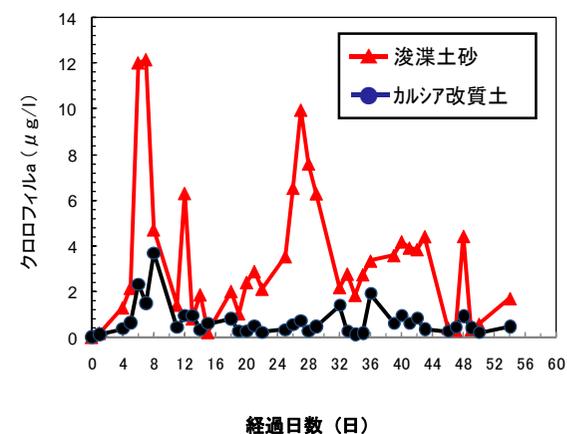
濁度～経過時間関係

# カルシア改質土の富栄養化物質の溶出抑制

## リンの吸着による富栄養化(藻類異常発生)の抑制



リンの経日変化例

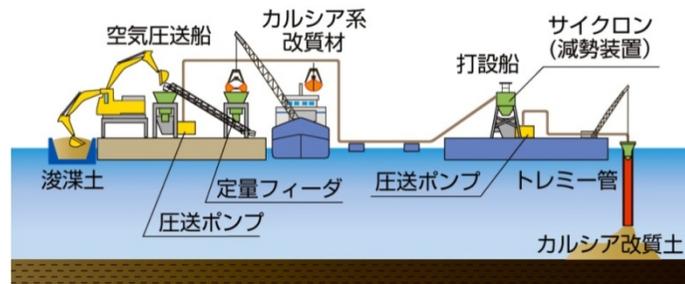


浮遊藻類量の経日変化

# カルシア改質土の施工方法の代表例

## ●管中混合工法

空気圧送船にて浚渫土砂を揚土する際にカルシア系改質材を添加し、圧送管内で発生するプラグ流による乱流効果を利用して、浚渫土砂とカルシア系改質材を攪拌混合し、トレミー管にて打設する工法。



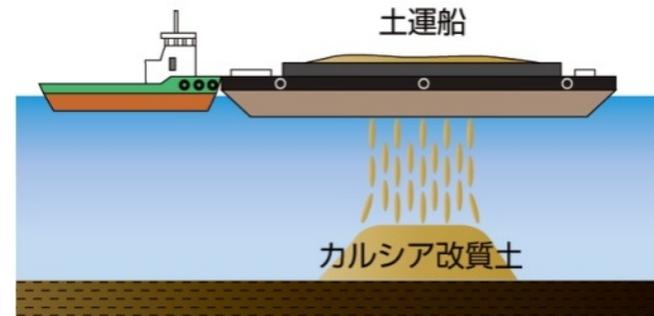
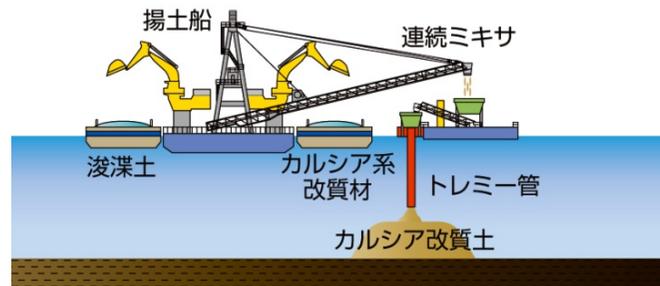
## ●バックホウ混合+底開バージ投入

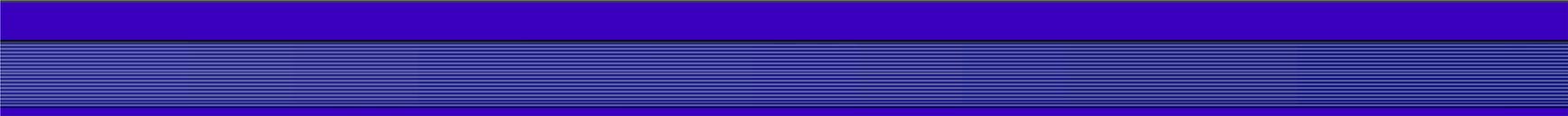
土運船内にてバックホウによりカルシア系改質材と浚渫土を混合攪拌し、混合土を土運船から底開にて直接投入して、打設する工法。



## ●連続ミキサー混合工法

揚土船のベルトコンベアにて、浚渫土とカルシア系改質材をトレミー船へ搬送し、連続式ミキサーにて、浚渫土とカルシア系改質材を混合し、トレミー管で海底に投入する工法。





# カルシア改質土の実海域適用検討

# 実海域施工実験(経産省補助研究)

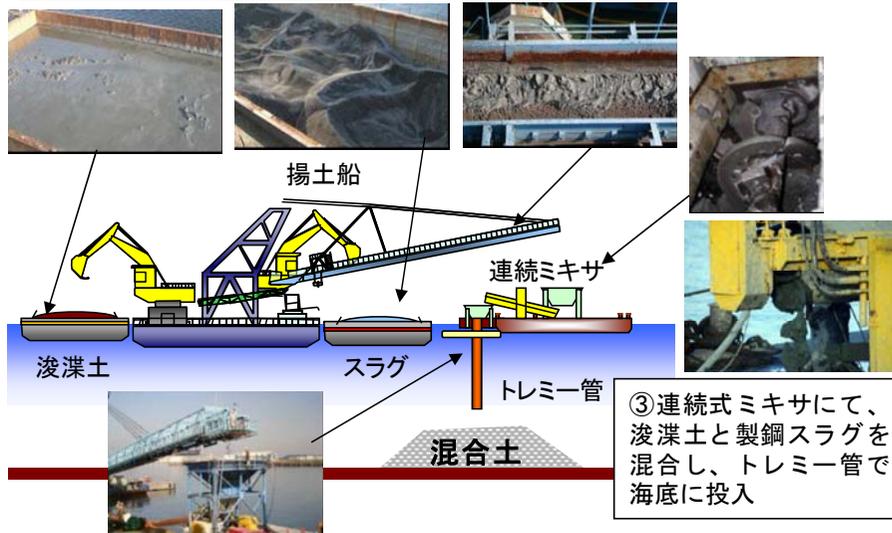
## カルシア改質土【堺浜実海域施工実験(H19年10月)】

リクレーマ船での浚渫土とカルシア系改質材の定量切出し(7:3)およびトレミー船へ搬送と、トレミー船での連続式ミキサ混合および海中投入を連続的に行い、マウンドを造成



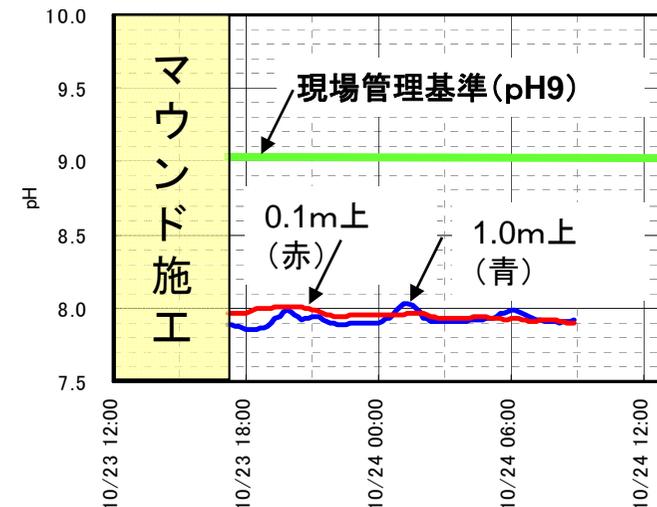
①揚土船にて、浚渫土と製鋼スラグを土運船から揚土

②ベルトコンベアにて、浚渫土と製鋼スラグをトレミー船へ搬送



③連続式ミキサにて、浚渫土と製鋼スラグを混合し、トレミー管で海底に投入

### 【混合度直上のpH測定結果】



# 環境省ETV事業 実証取得

## 環境省 環境技術実証事業(ETV)とは

適用可能な段階の有用環境技術で、  
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技術

第三者機関が環境保全効果等を客観的に実証

環境省がロゴマークを交付(普及を手助け)

### 技術実証委員会

- ・実証事業の実施に関する検討・助言

委員:

国交省 国総研  
国立環境研究所  
東京都環境科学研究所  
東京農業大学  
NPO首都東京みなと創り研究会

### 環境省

- ・助言
- ・委員会報告書の承認
- ・ロゴマークの交付(普及の手助け)

### WAVE(港湾空間高度化環境研究C)

- ・事業の公募・審査
- ・実証実験計画策定
- ・実証試験の実施
- ・報告書作成

第三者機関

### 実証申請者(NSC,JFE)

- ・申請
- ・実証手数料納付
- ・ロゴマークの使用

# 環境省ETV事業 実証取得

## 実証場所 城南島実験の概要

### ■人工浅場試験区の概要

Case 1 : スラグ区

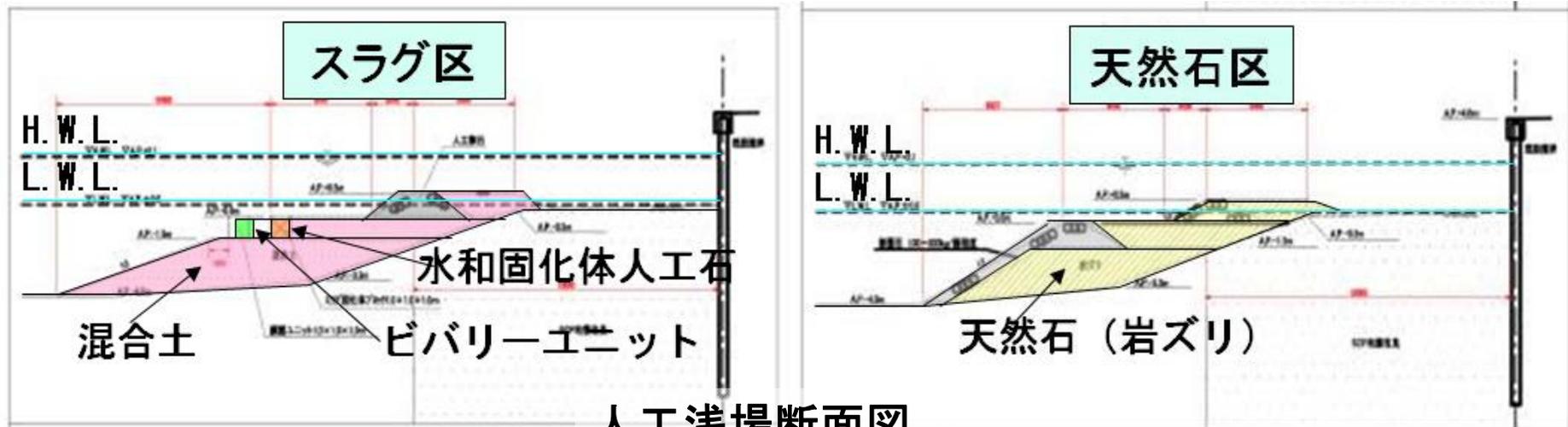
- 浚渫土混合材マウンド (910m<sup>3</sup>)
- + 水和固化体人工石 (31m<sup>3</sup>)
- + ビバリーユニット (2 t)
- + マリンブロック (1個)

Case 2 : 天然石区

- 天然石マウンド(岩ズリ450m<sup>3</sup>)



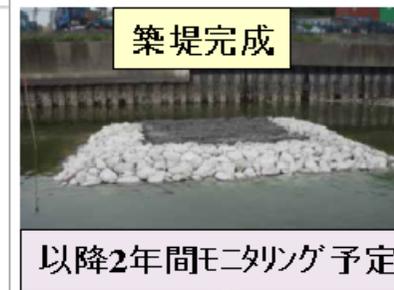
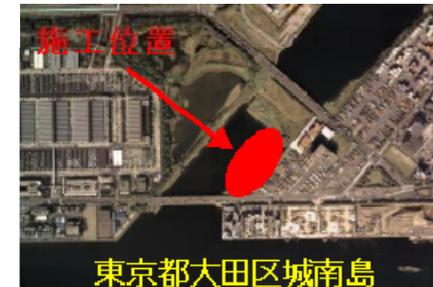
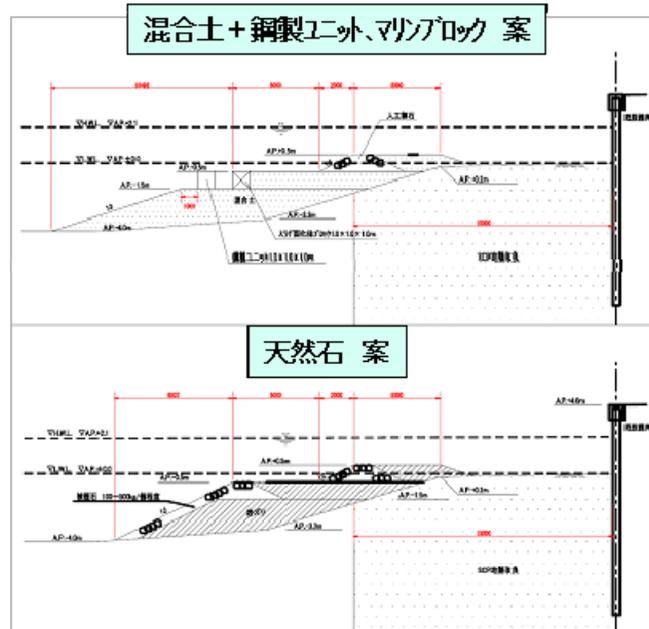
実施位置



人工浅場断面図

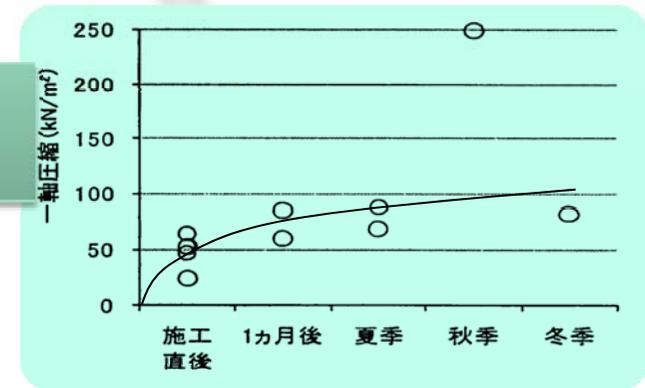
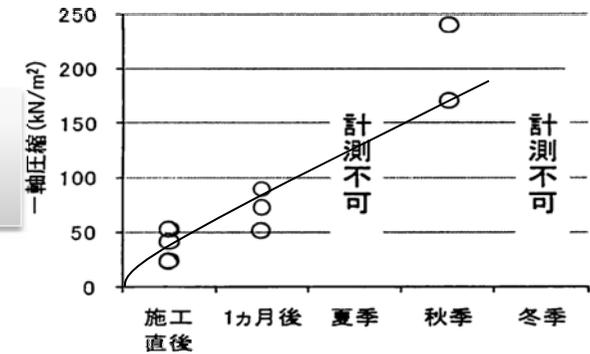
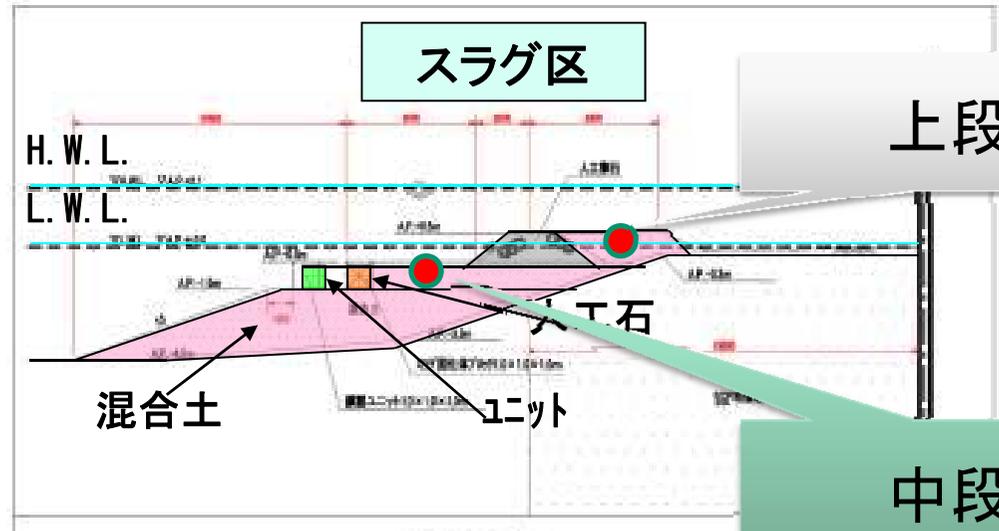
# 環境省ETV事業 実証取得

## 城南島 実験マウンド造成の状況 (H20年5月)



# 環境省ETV事業 実証取得

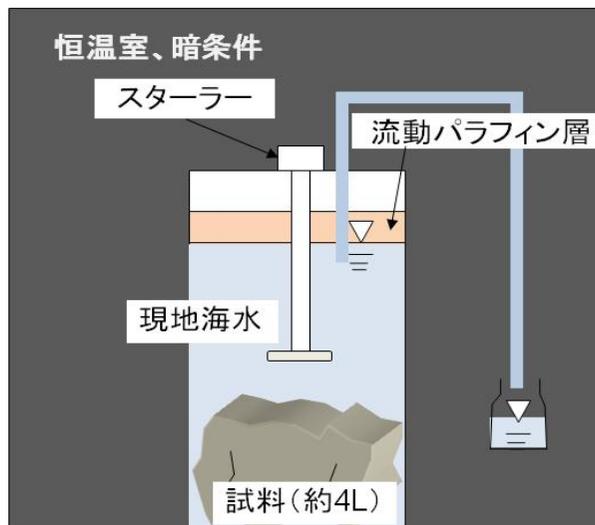
## カルシア改質土の安定性



設置時の形状を保持しており、安定を確認  
上段では、昨年よりもさらに強度が増進

# 環境省ETV事業 実証取得

## りん、硫化物の吸着効果



### 実験条件

水温	夏場の現場水温
DO	貧酸素条件(<0.5mg/L)
試料	A. 浚渫土混合材(現地採取) B. 近傍底質
溶媒	現地海水(ろ過後、ばっ気)
測定期間	0~10日
分析項目	pH、DO、NH <sub>4</sub> -N、NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N、PO <sub>4</sub> -P、硫化物、全鉄、二価鉄

### 硫化物

	変化量(mg/m <sup>2</sup> /日)		
	①	②	平均値
A.混合材	10.3	0.0	5.15
B.近傍底質	83.6	103.0	93.3

### PO<sub>4</sub>-P

	変化量(mg/m <sup>2</sup> /日)		
	①	②	平均値
A.混合材	-35.0	-32.1	-33.6
B.近傍底質	84.7	86.9	85.8

硫化物、りん酸態りんについては、抑制あるいは吸着が認められた

# 環境省ETV事業 実証取得

## 実証試験の結論

### 【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】

軟弱浚渫土の混合改良技術においては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。また、浚渫土の強度増強効果が認められた。設置による水環境の悪化は認められず、リン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。

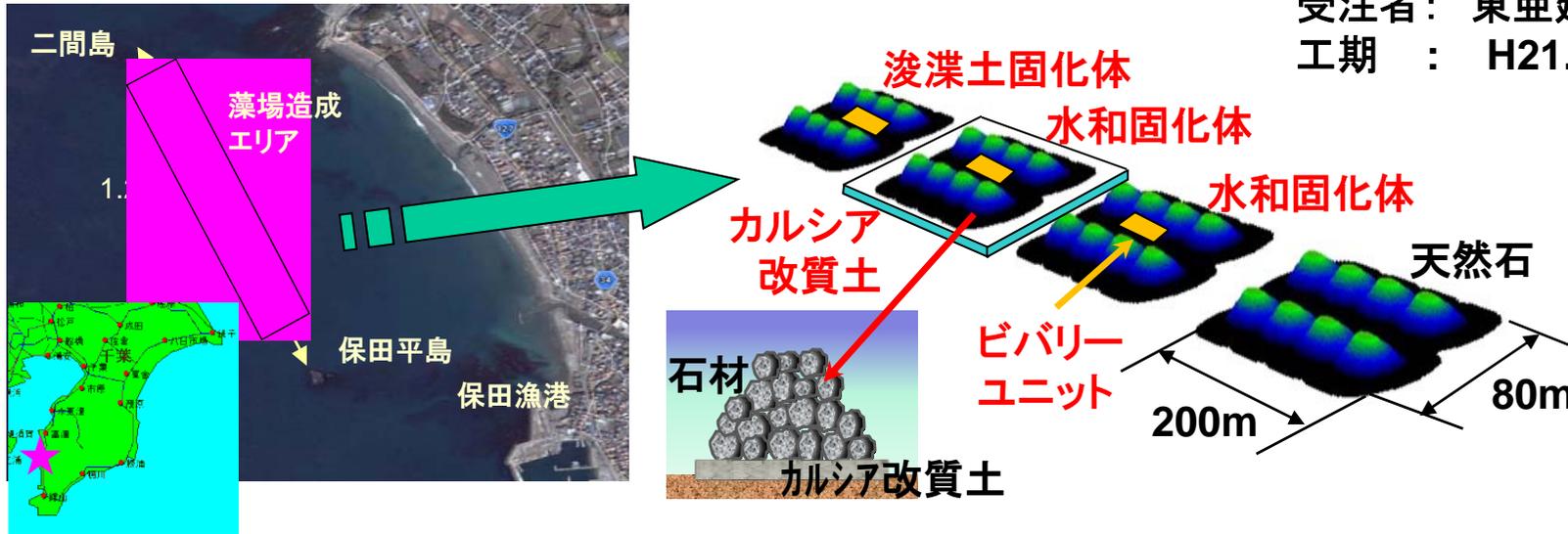
⇒ 環境負荷に配慮した干潟・浅場造成材として適用できる技術であると評価される。

実証のロゴマーク ⇒



# 取組紹介 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

製鋼スラグ(約20千t)  
 + 高炉スラグ微粉末



## 浚渫土固化体

製鋼スラグ(約5千t) + 浚渫土  
 + 高炉スラグ微粉末



## カルシア改質土

製鋼スラグ(約5千t) + 浚渫土



## ビバリーユニット



# 取組紹介 東京湾藻礁石材設置工事

## ①カルシア改質土



## ②浚渫土固化体製石材



## ③水和固化体製石材

