

中海自然再生協議会 第1期実施事業

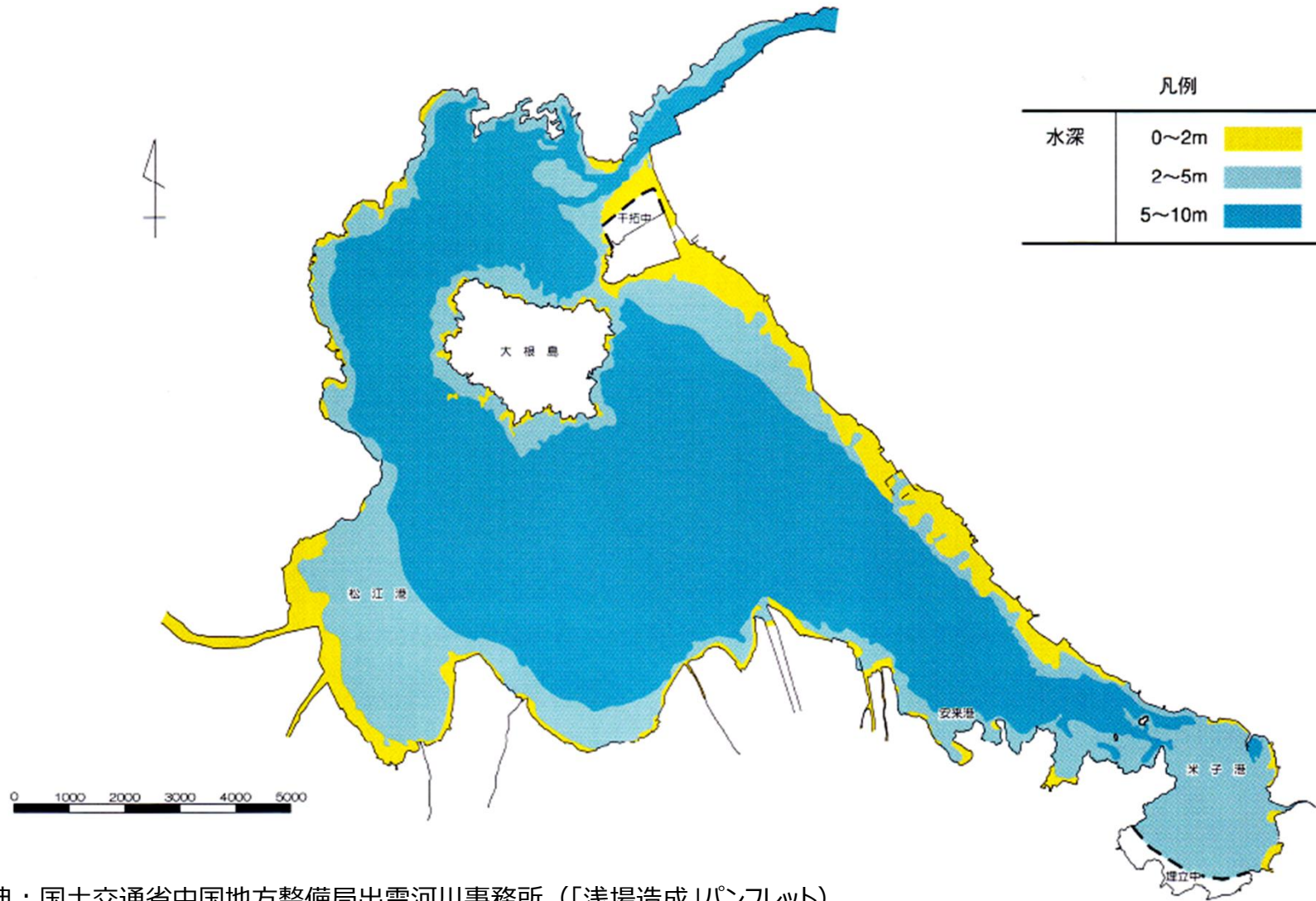
# 細井沖，錦海-穂日島沖浚渫窪地の 全面覆砂の報告

H24（2012）-28（2016）年度

認定NPO法人自然再生センター窪地事業担当  
島根大学学術研究院環境システム科学系（生物資源科学部）  
桑原智之

# 中海：昭和29（1954）年の湖底地形

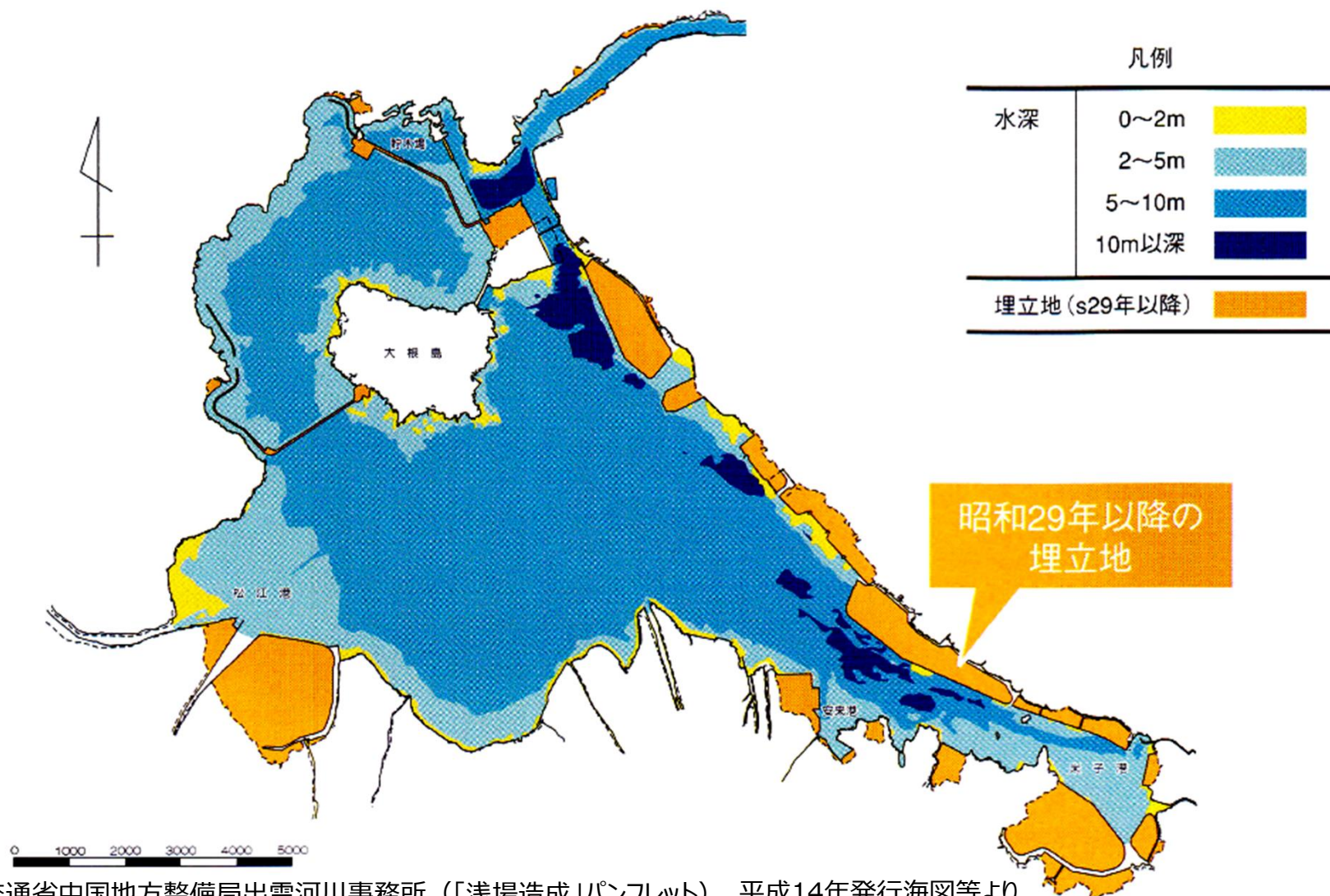
2



出典：国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所（「浅場造成」パンフレット）

# 中海：現在の湖底地形

3



出典：国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所（「浅場造成」パンフレット）平成14年発行海図等より

# 中海の浚渫窪地

- 浚渫窪地全体の面積は約8 km<sup>2</sup>
  - > 中海の面積 (86.79 km<sup>2</sup>) のおよそ10分の1は窪地
- 浚渫窪地全体の体積は約3,000万m<sup>3</sup>と算定
  - > **長大な窪地**～湖底に流れあり
    - 弓ヶ浜干拓地前 水深14 m程度
    - 彦名干拓地前  
水深約10 m, 幅約300 m, 長さ約7 km
  - > **孤立した窪地**～湖底に流れなし
    - 崎津沖, 安来沖, 細井沖, 錦海沖
    - 水深は6 m～15 mで様々

• 孤立した窪地  
湖底の水に流れがなく, 溶出した栄養塩等の濃度が上昇。  
貧酸素～無酸素となり, 生物は生息しない



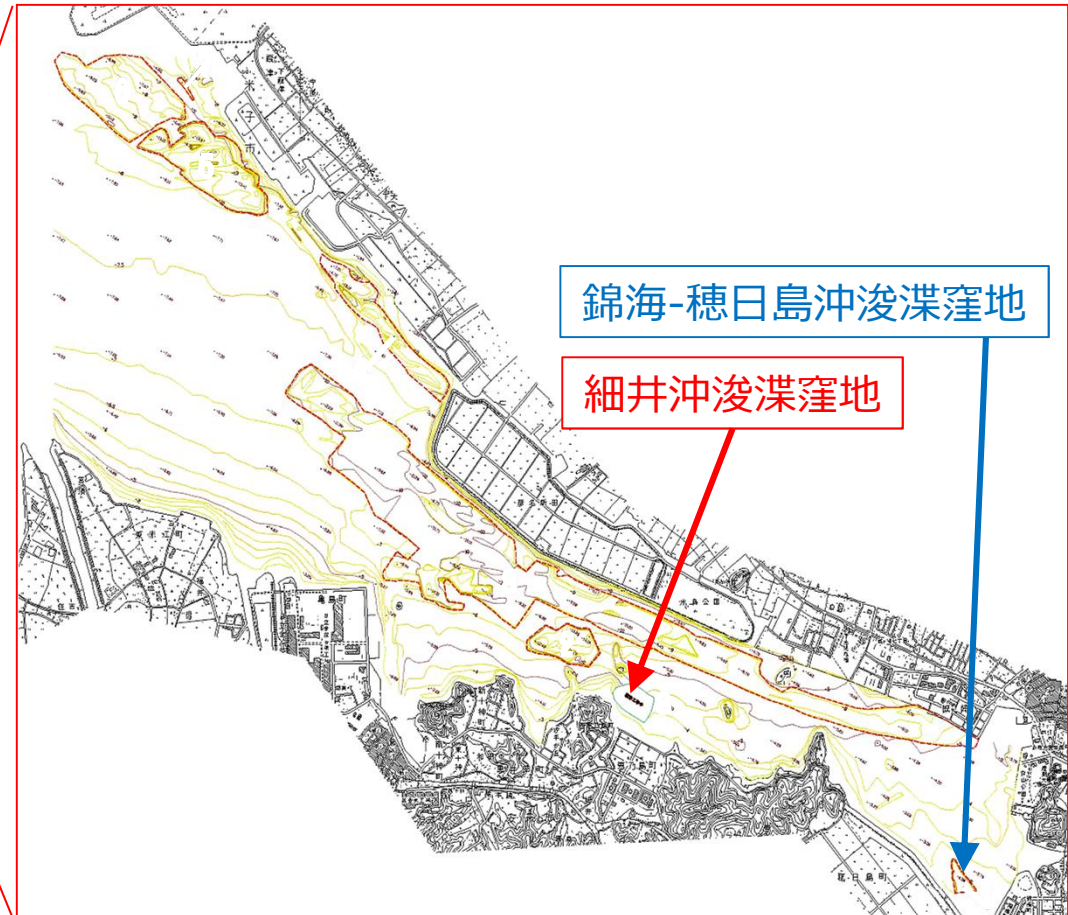
# 浚渫窪地の環境修復事業

## (1) 実施者の名称

認定NPO法人 自然再生センター

## (2) 対象とする区域と位置

- ・細井沖浚渫窪地（島根県安来市恵乃島町沖）
- ・錦海穂日島沖浚渫窪地（鳥取県米子市錦海町沖，島根県安来市穂日島町沖）



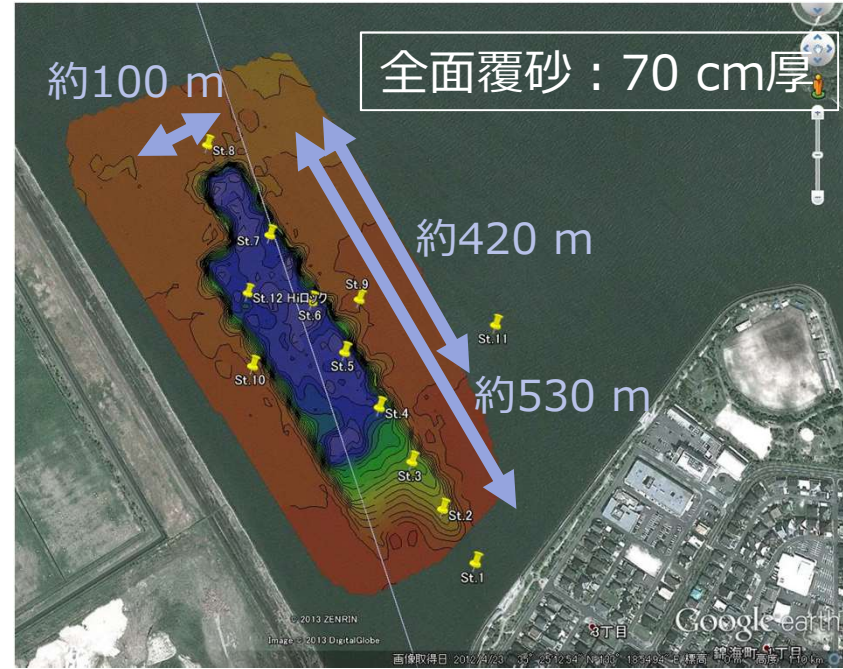
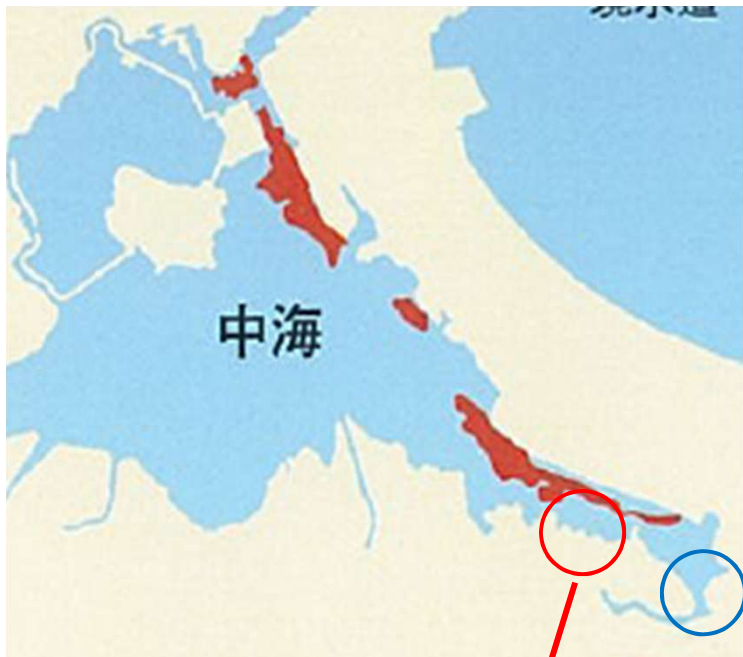


図 錦海穂日島沖浚渫窪地の深浅図

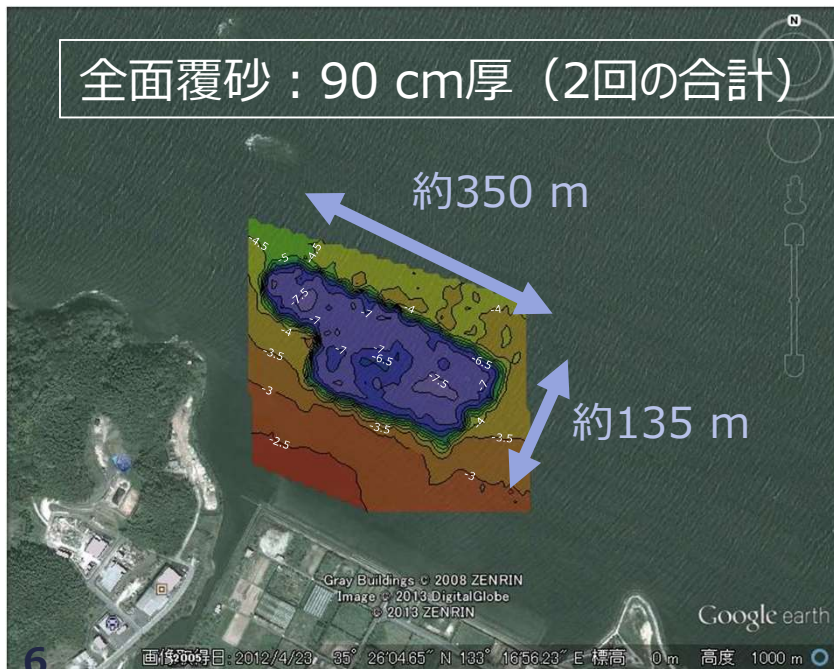
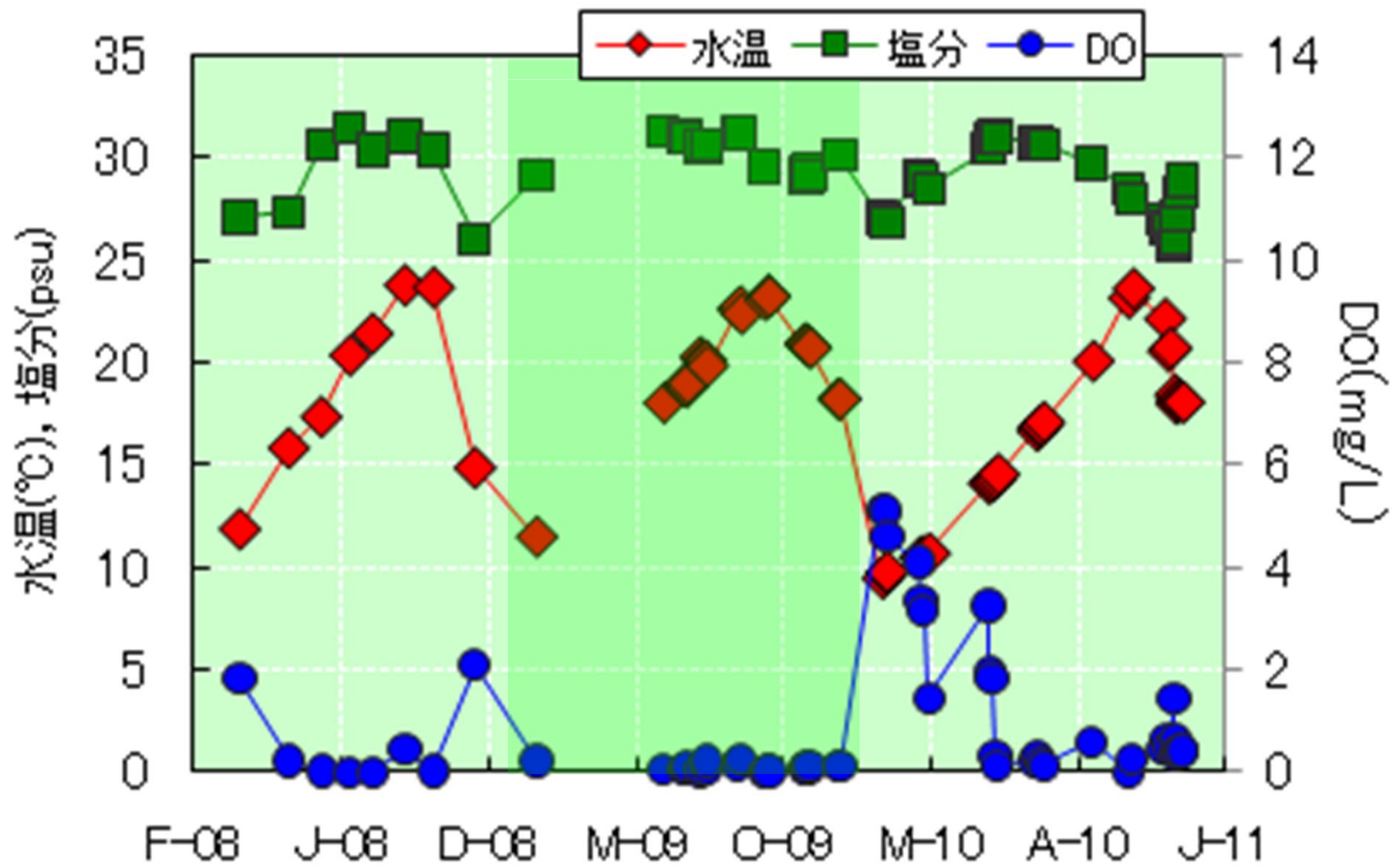


図 細井沖浚渫窪地の深浅図

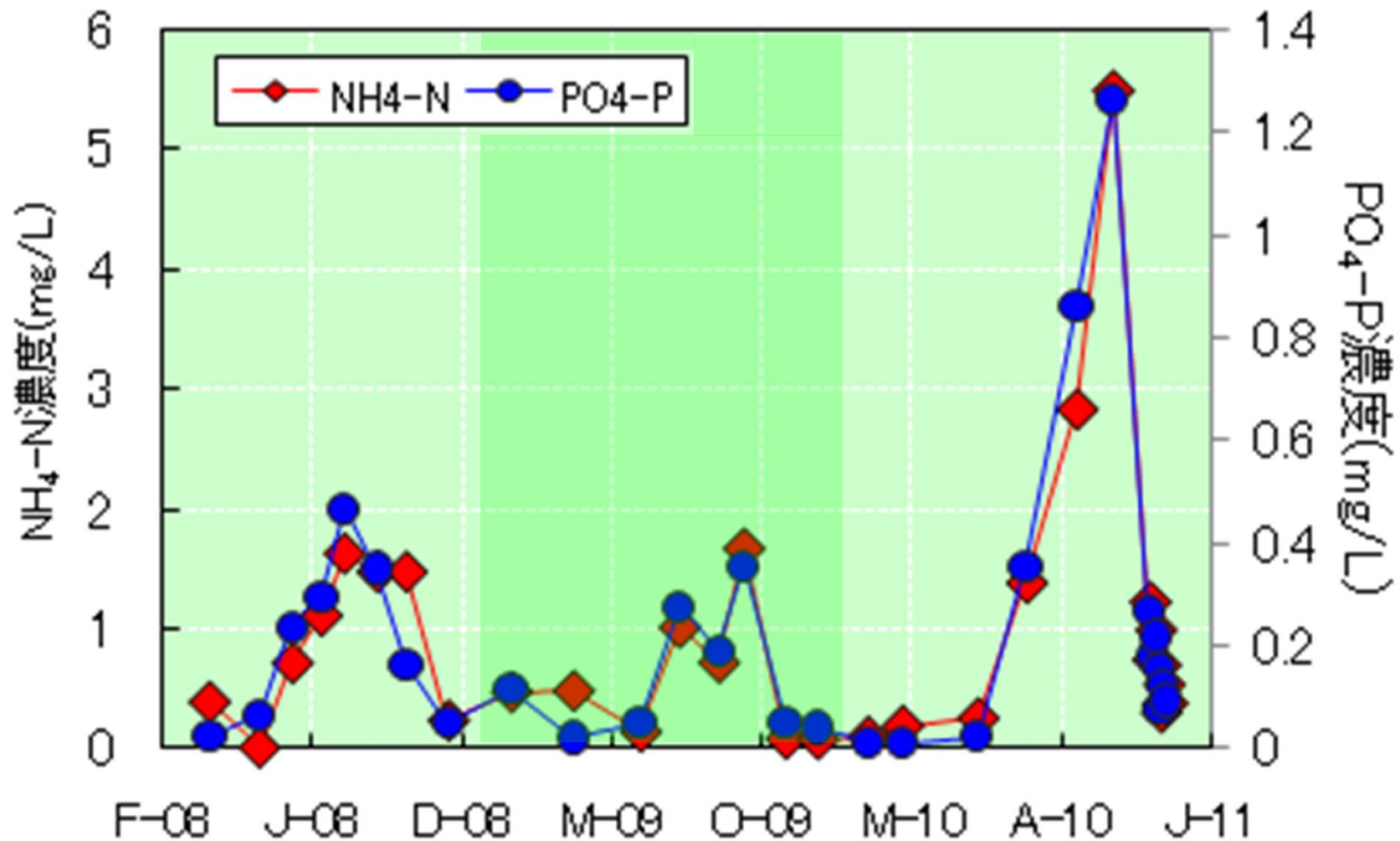
# 細井沖浚渫窪地の底泥直上水

## 水温・塩分・DOの季節変化 (08年04月-10年11月)



# 細井沖浚渫窪地の底泥直上水

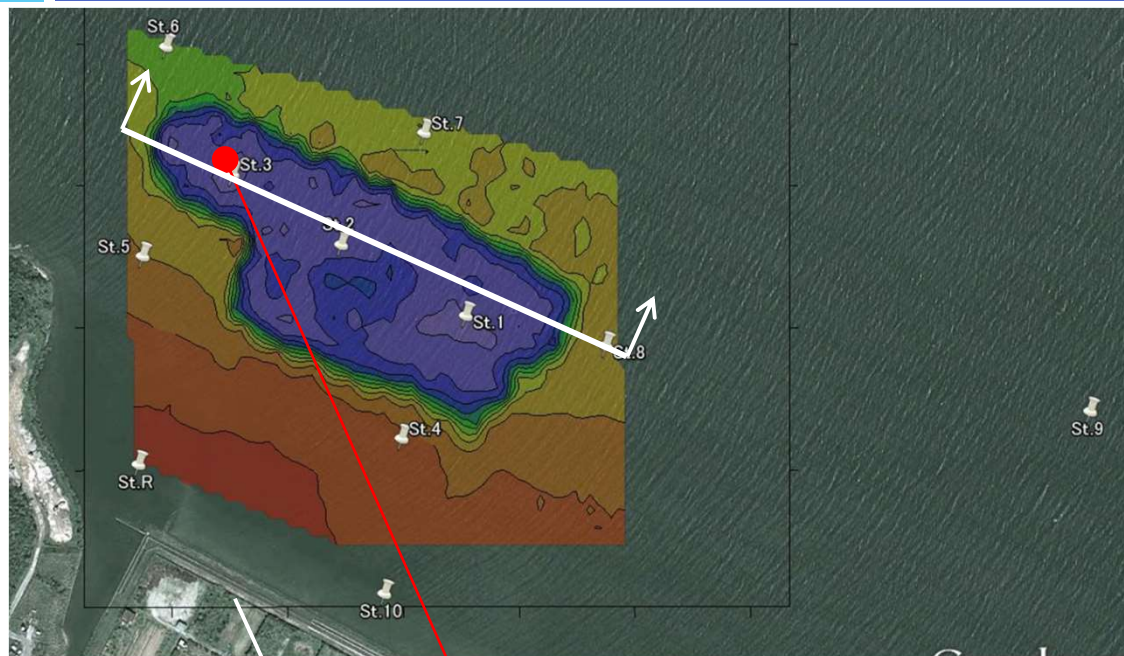
NH<sub>4</sub>-N・PO<sub>4</sub>-Pの季節変化（08年04月-10年11月）





# 調査対象の窪地の状況（細井沖浚渫くぼ地）

9



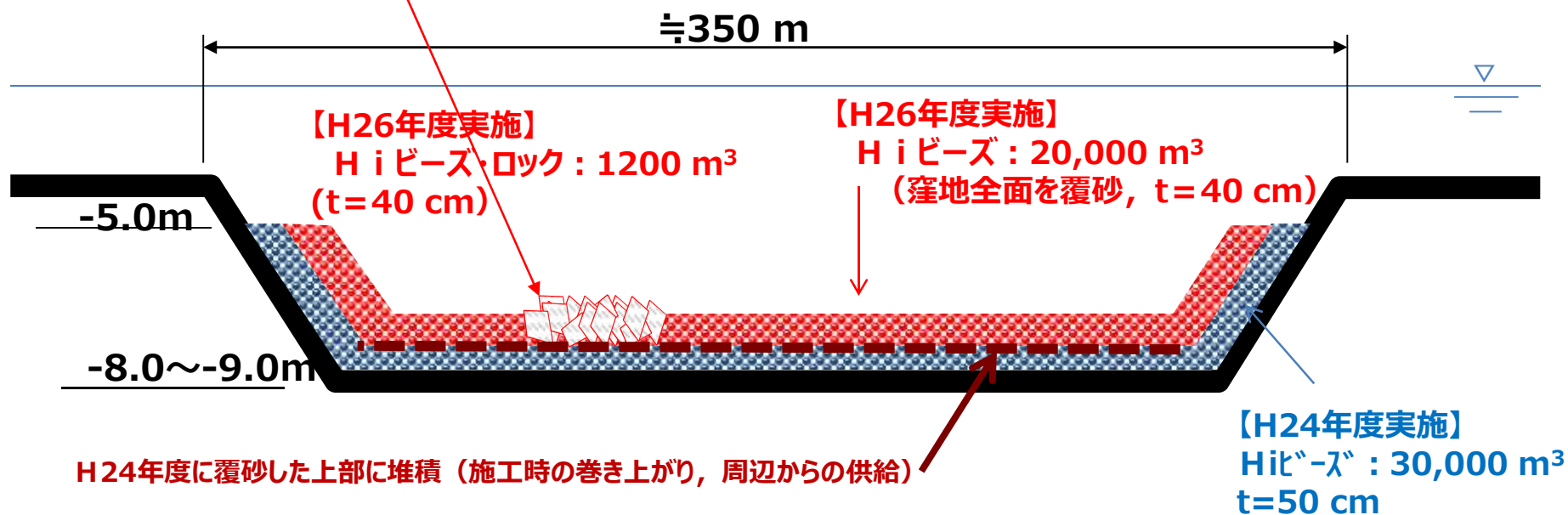
## 対象窪地の諸元

### ■ 細井沖浚渫窪地

窪地面積：約50,000 m<sup>2</sup>

窪地水深：8~9 m

周辺水深：4~5 m



# 調査対象の窪地の状況（錦海-穂日島浚渫くぼ地）

10



## 対象窪地の諸元

### ■ 錦海-穂日島沖浚渫窪地

窪地面積：約43,000 m<sup>2</sup>

窪地水深：3.5～6.5 m

周辺水深：3 m

【H25年度実施】

Hiビーズ：30,000 m<sup>3</sup>

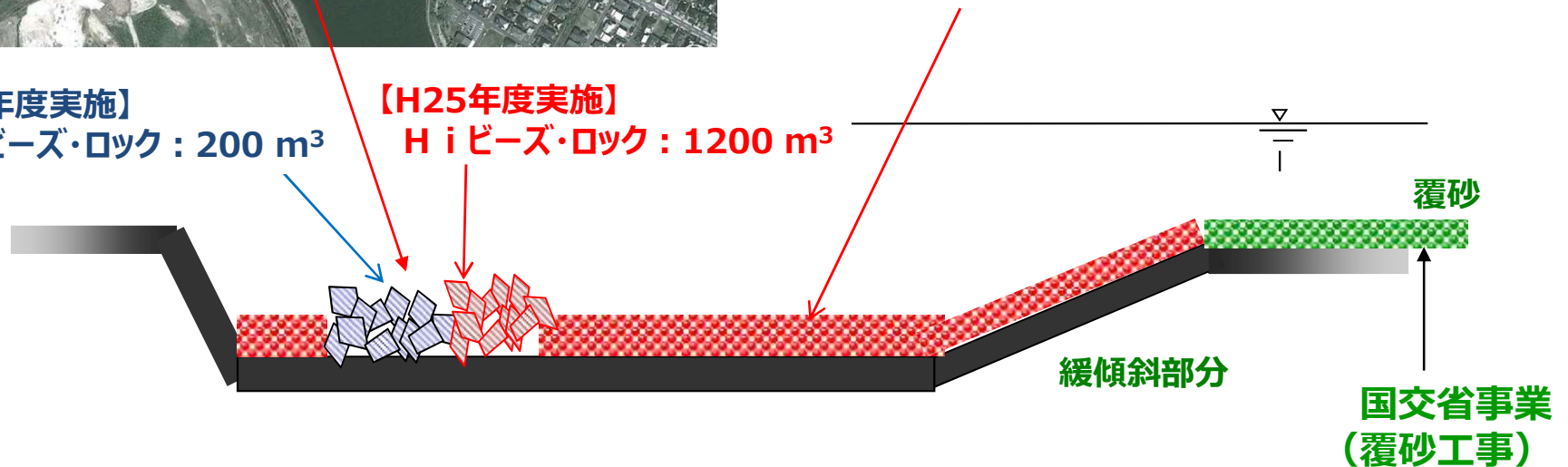
（窪地全面を覆砂，t=70 cm（傾斜部20 cm））

【H24年度実施】

Hiビーズ・ロック：200 m<sup>3</sup>

【H25年度実施】

Hiビーズ・ロック：1200 m<sup>3</sup>



# 調査項目と試験手順

番号	試験内容	試験手順等
①	水質測定 (現場測定)	<b>水温, 塩分, pH, EC, ORP, DO</b> 多項目水質計を用いて, 水深1 m毎に測定
②	水質測定 (栄養塩)	栄養塩( <b>NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P</b> )濃度 ★調査水深: 鉛直奇数m + 湖底直上50 cmより採水。
③	水質測定 (硫化水素)	硫化水素( <b>H<sub>2</sub>S</b> ) 湖底直上水(湖底直上50 cm)をメチレンブルー法により測定
④	底質測定 (底質成分等)	エクマンバージ採泥器により底質採取し, 表層2 cmを対象に底質試験を実施 ・ <b>有機態炭素</b> をCHNコーダーで測定(各地点のC/N比算定) ・ <b>含水率</b> (110°C) ・ <b>強熱減量</b> (IL300°C, IL600°C)
⑤	底質測定 (間隙水)	間隙水中の <b>H<sub>2</sub>S, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P</b> 濃度 ★エクマンバージ採泥器を用いて採取した底質の表層約2 cmを遠沈管に15 mL詰め, 遠心分離して後の上澄みを間隙水とした。
⑥	チャンバー試験 (溶出速度)	チャンバーを設置し数日間の濃度変化により <b>NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, H<sub>2</sub>S</b> の溶出速度を算定
⑦	堆積物厚調査	ダイバーによりHiビーズ上の堆積物厚を計測

# 参考) 試験方法 (連続観測, 流向・流速)

## 【連続観測】

細井沖浚渫くぼ地 連続水質モニタリング

くぼ地内及びくぼ地周辺の「湖底」の水質をロガーで連続観測

くぼ地 : St.2, くぼ地周辺 4箇所 : St.4, 6, 7, 8

### ○設置場所

くぼ地 : 湖底から 0.2 m, 2.5 m, 5.0 m 地点, くぼ地周辺 : 湖底から 0.2 m

### ○測定項目

くぼ地 : 水温, 塩分, DO, ORP, pH の連続測定, くぼ地周辺 : 水温, 塩分, DOの連続測定

測定間隔 : 30 min, 多項目水質計 (MS5, HYDRO LAB) による測定

## 【流向・流速, 地形測量】

項目	調査内容
流向・流速測定	くぼ地内 (1箇所) に流向流速計 (ADP mini, Son Tek) を設置し連続観測 測定範囲 (センサー上部 0.4 m ~ 湖面下0.4 m, セル間隔0.4 m, 計測間隔10 min (120 secの平均)) ※報告書で考察している測定水深 1.2 m, 2.4m, 4.8 m, 7.2 m
地形計測	ADCP (RiverSurveyor M9, Son Tek) による地形調査。 深淺図を作成。

# 底泥チャンバー装置模式図

13

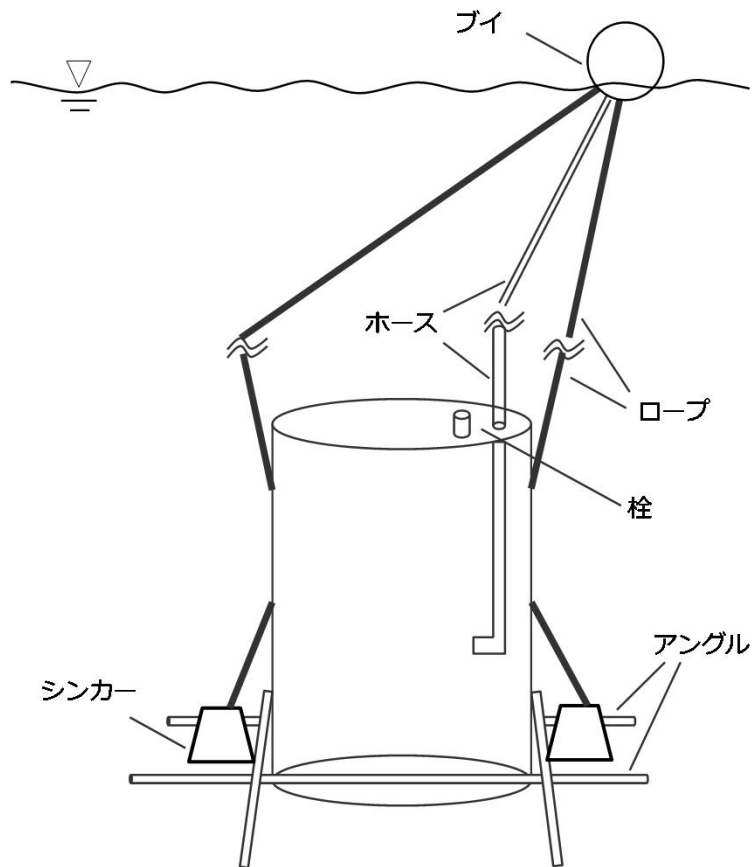
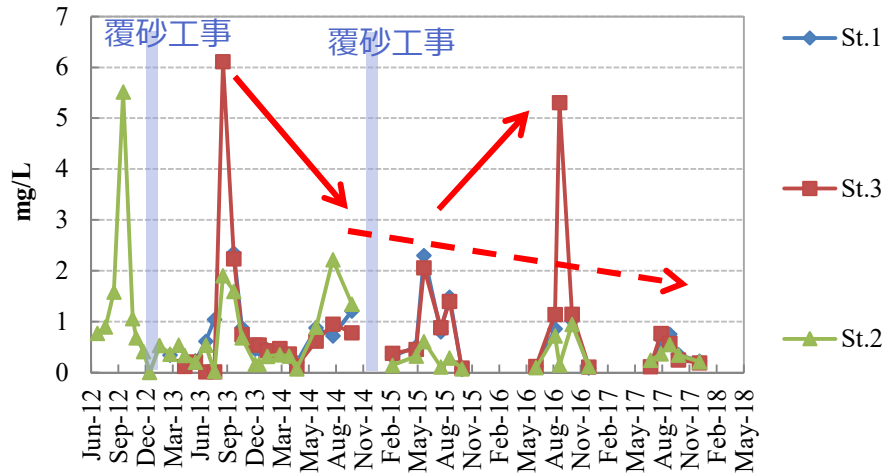


図 底泥チャンバー 容量：約110L

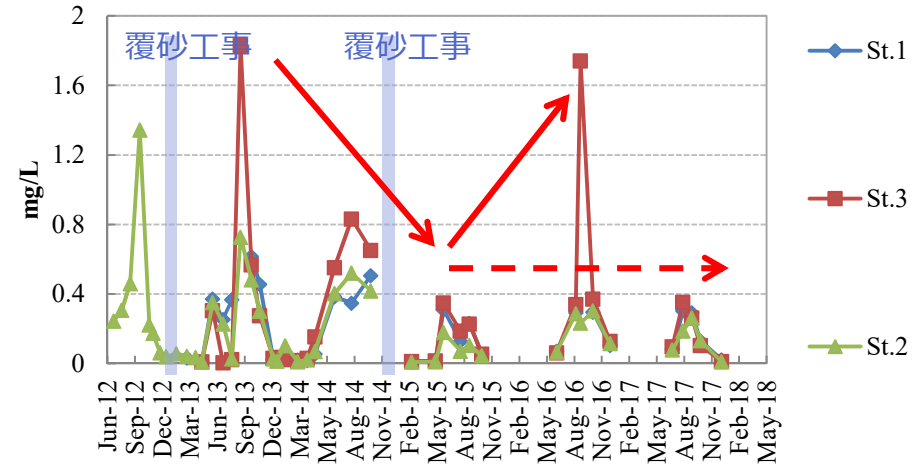
# 細井沖浚渫窪地の水質(直上水)

14

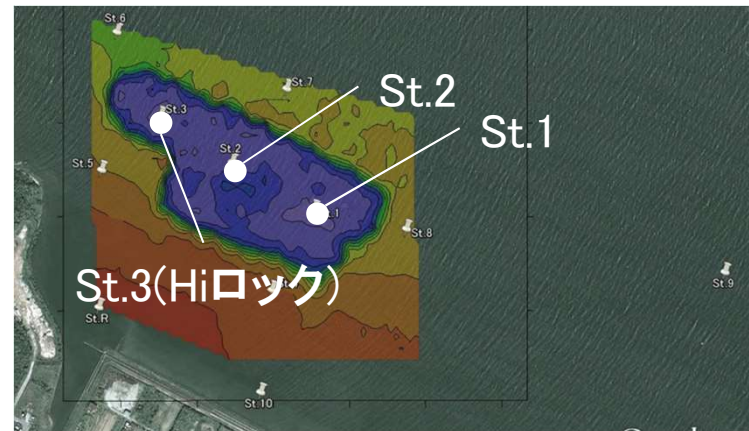
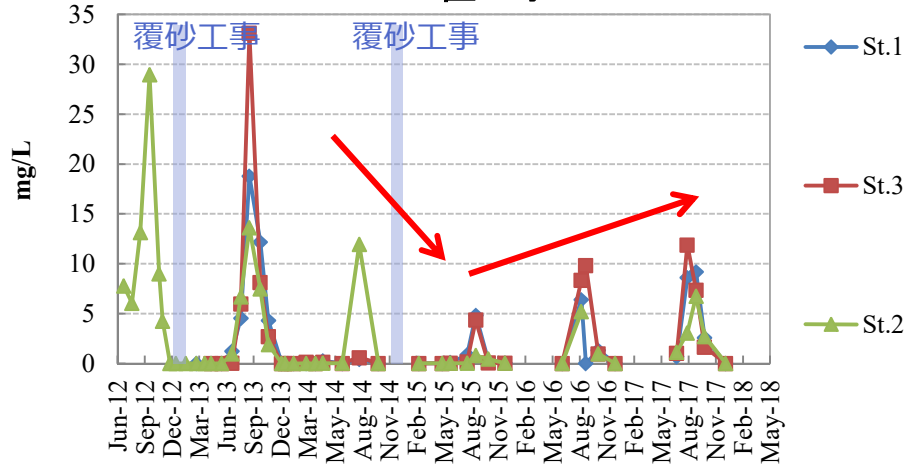
NH<sub>4</sub>-N



PO<sub>4</sub>-P

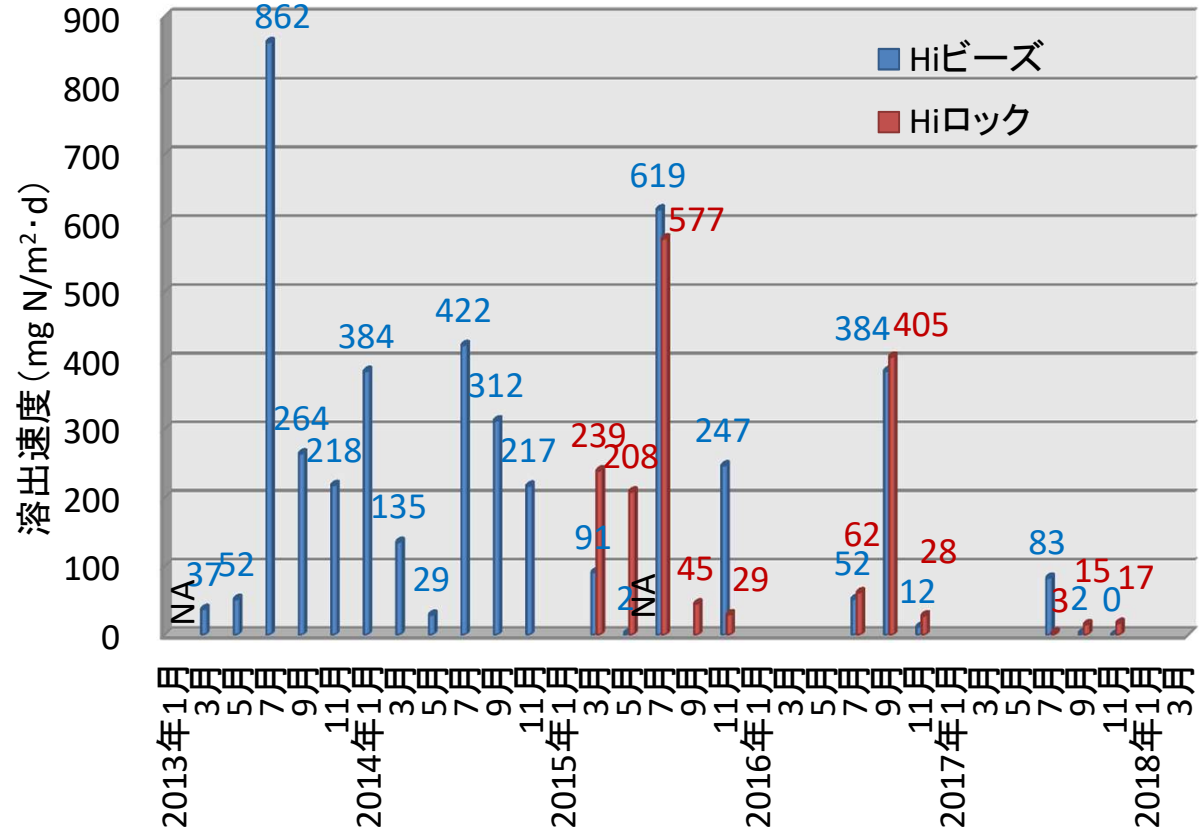
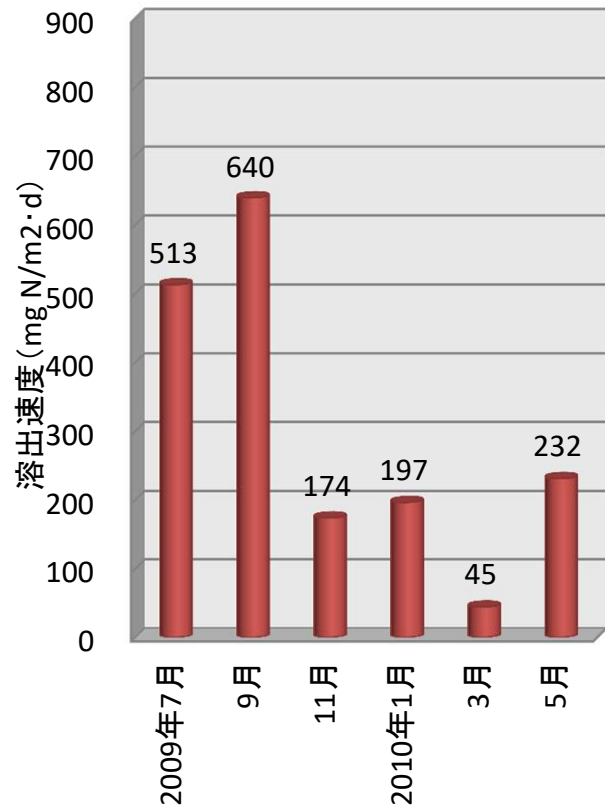


H<sub>2</sub>S 直上水



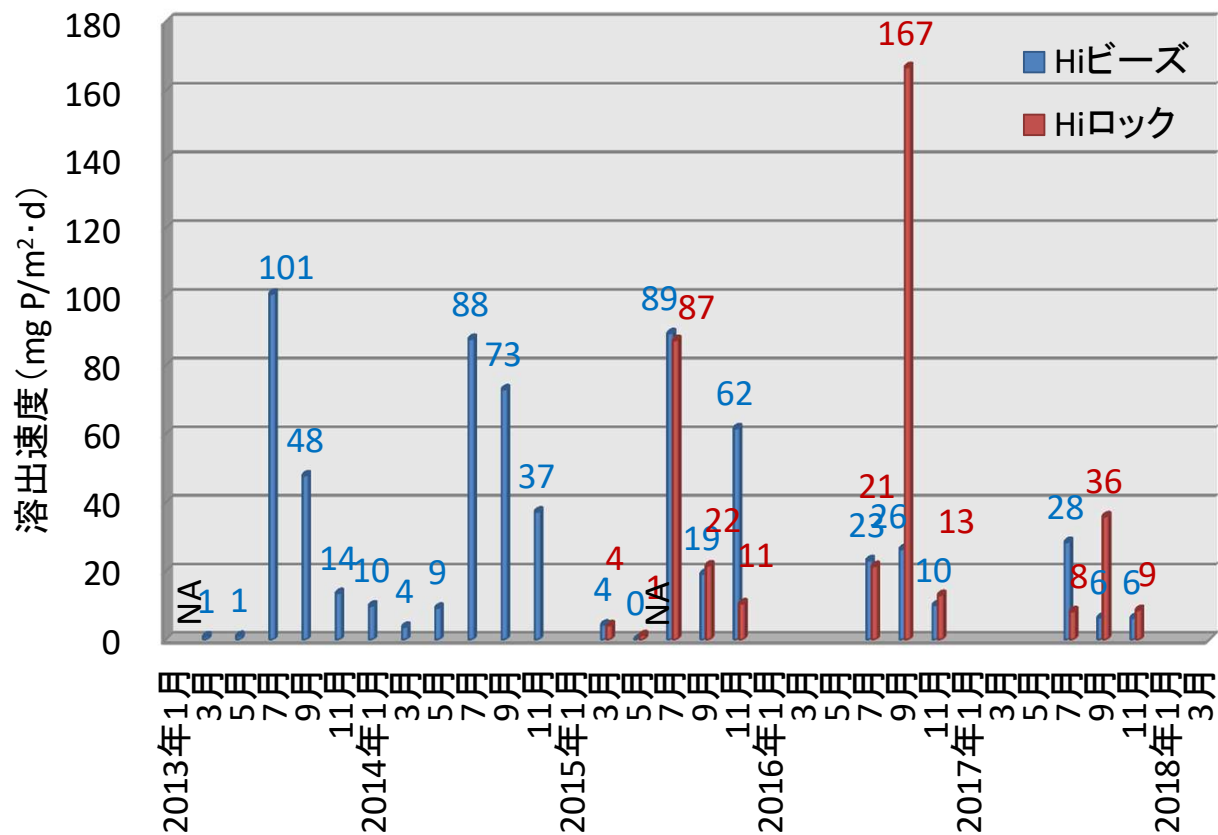
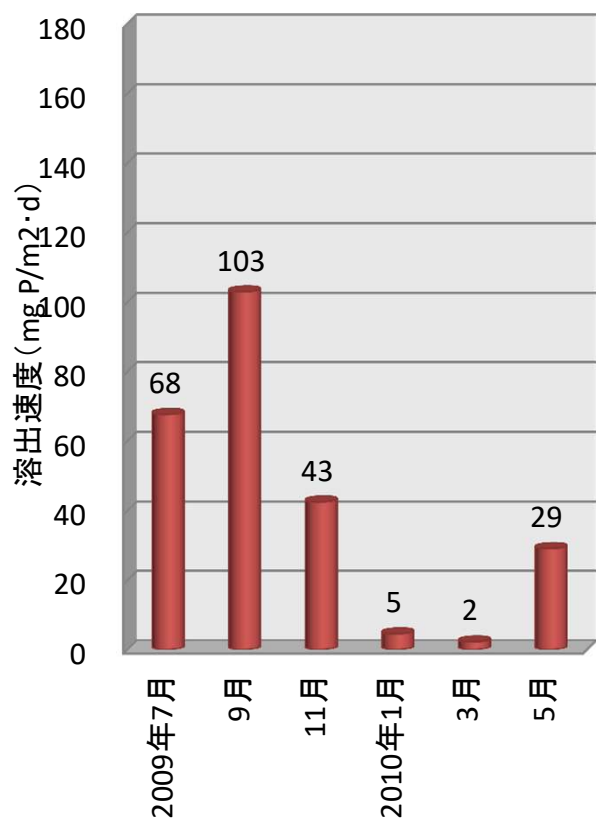
# NH<sub>4</sub>-N溶出速度 細井沖

15



# PO<sub>4</sub>-P溶出速度 細井沖

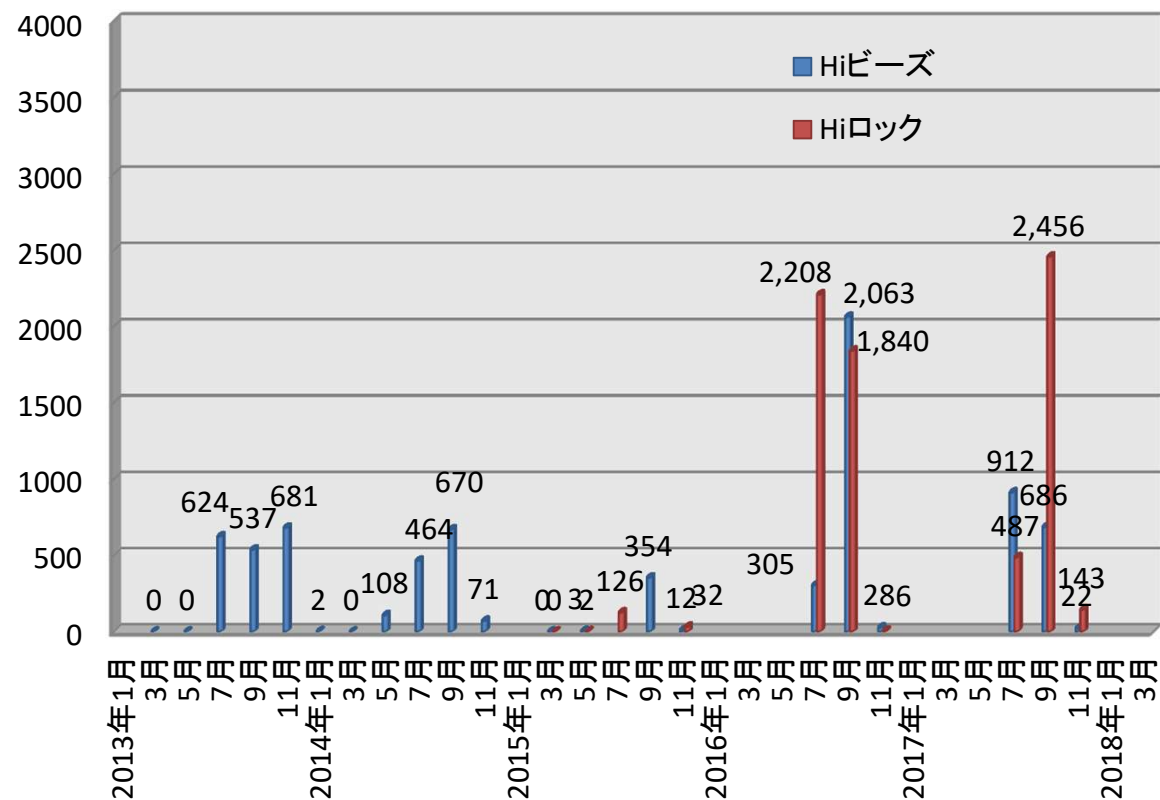
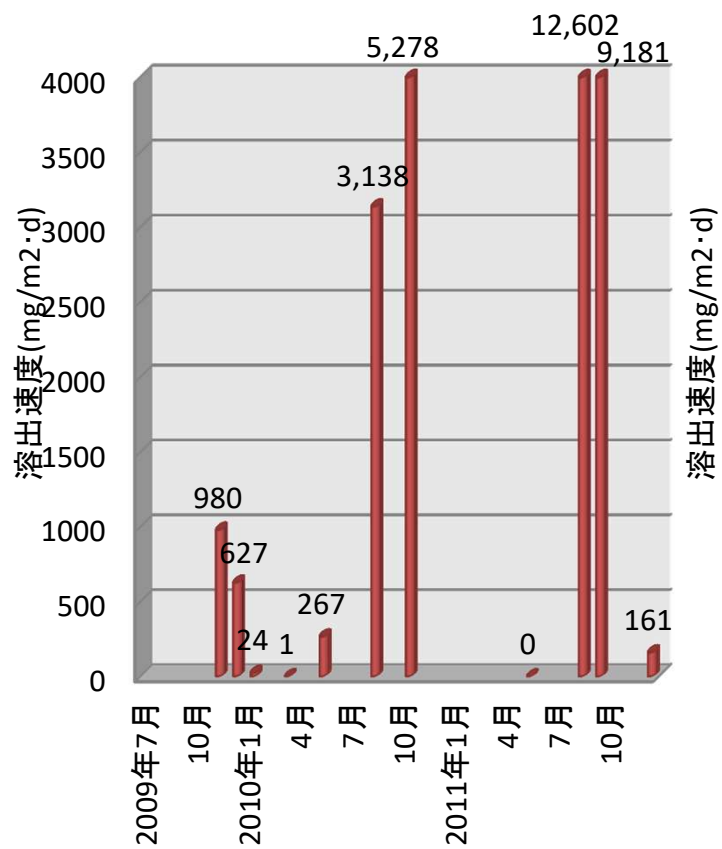
16





# H<sub>2</sub>S溶出速度 細井沖

17



# 溶出速度まとめ（細井沖）

## 覆砂前と覆砂後の比較

表 覆砂前（2009）と覆砂後（～2017年）の細井沖浚渫地の平均溶出速度( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )と削減率(%)

	覆砂前	Hiビーズ	Hiビーズ・ ロック	削減率	
				Hiビーズ	Hiビーズ・ ロック
NH <sub>4</sub> -N					
（全期間）	300	194	148	36	51
（12-5月）	158	104	224	34	-42
（6-11月）	442	235	145	47	67
PO <sub>4</sub> -P					
（全期間）	41.6	29.0	34.4	30	17
（12-5月）	12.0	4.21	2.73	65	77
（6-11月）	71.1	40.5	41.5	43	42
H <sub>2</sub> S					
（全期間）	2933	359	730	88*	75
（12-5月）	180	16.1	0.84	91	99
（6-11月）	6236	531	912	91**	85**

※ 細井沖覆砂前：2009（7, 9, 11月）-2010年（1, 3, 5月）のデータ  
 ※ 細井沖Hiビーズ：2013年3月～2017年11月のデータ  
 ※ Hiビーズ・ロックの覆砂前データはHiビーズと同じ値を使用したため、対応しない調査月を含む。また、12-5月は過去2回分のデータしかない。  
 ※ \*p<0.05, \*\*p<0.01

## 2回目の覆砂前後の比較

表 2014年度と2017年度の細井沖浚渫地の平均溶出速度( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )と削減率(%)

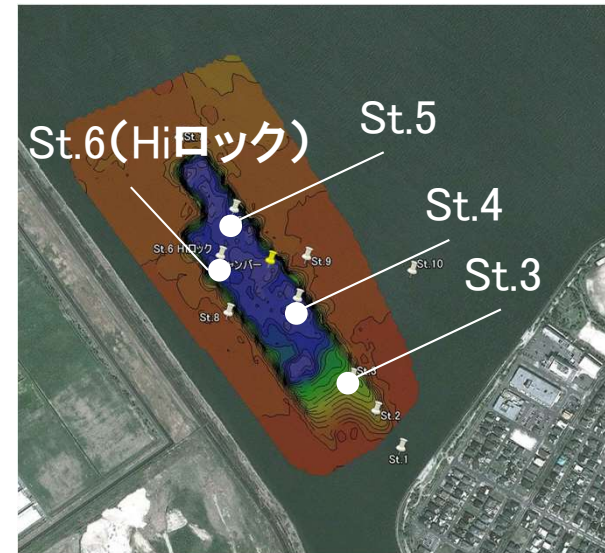
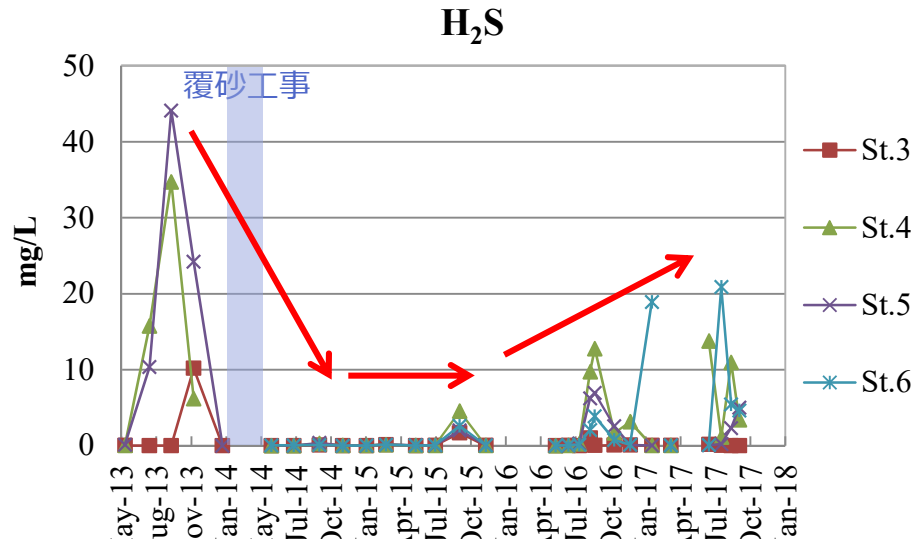
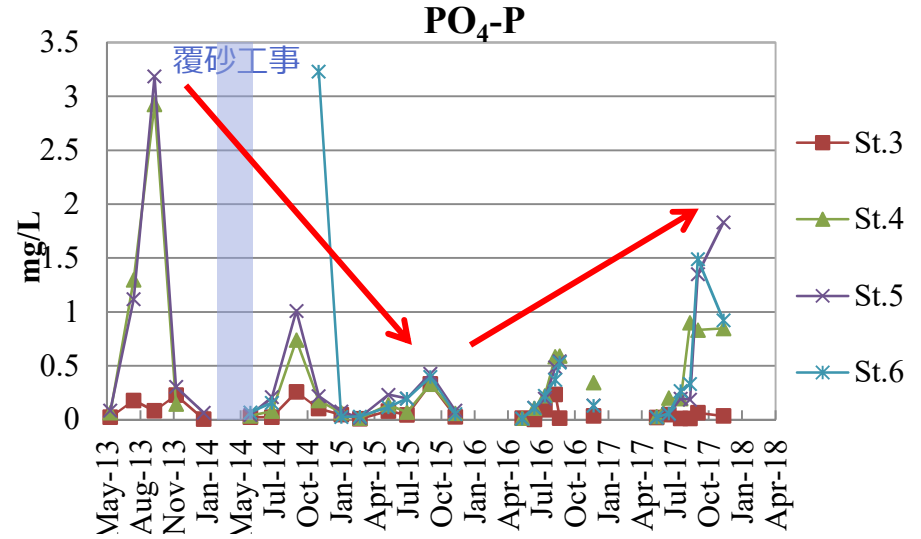
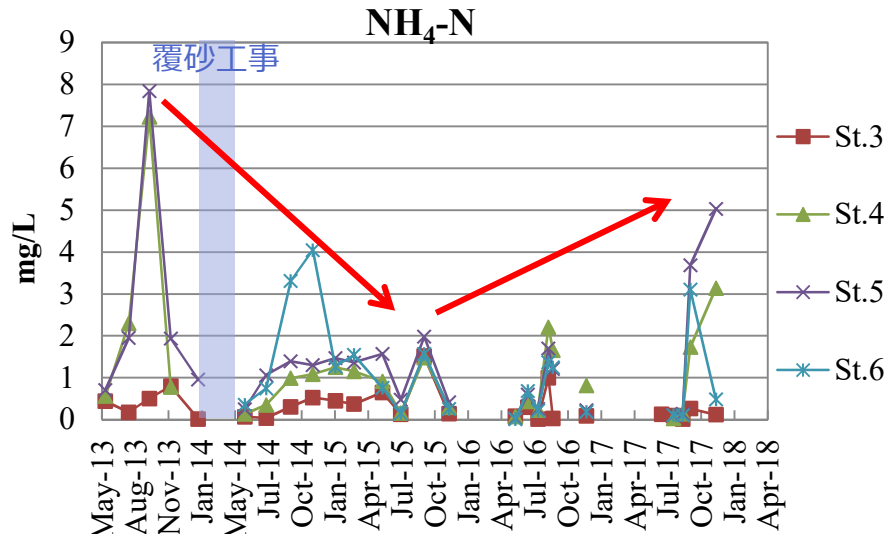
	Hiビーズ	2014 年度	2017 年度	削減率
NH <sub>4</sub> -N				
（6-11月）		317	28.3	91*
PO <sub>4</sub> -P				
（6-11月）		66.0	13.8	79
H <sub>2</sub> S				
（6-11月）		402	540	-36

※ 細井沖2回目覆砂前：2014年（7, 9, 11月）のデータ  
 ※ 2回目覆砂後：2017年（7, 9, 11月）のデータ  
 ※ \*p<0.05, \*\*p<0.01

2回目の覆砂は栄養塩の  
溶出抑制効果を上昇

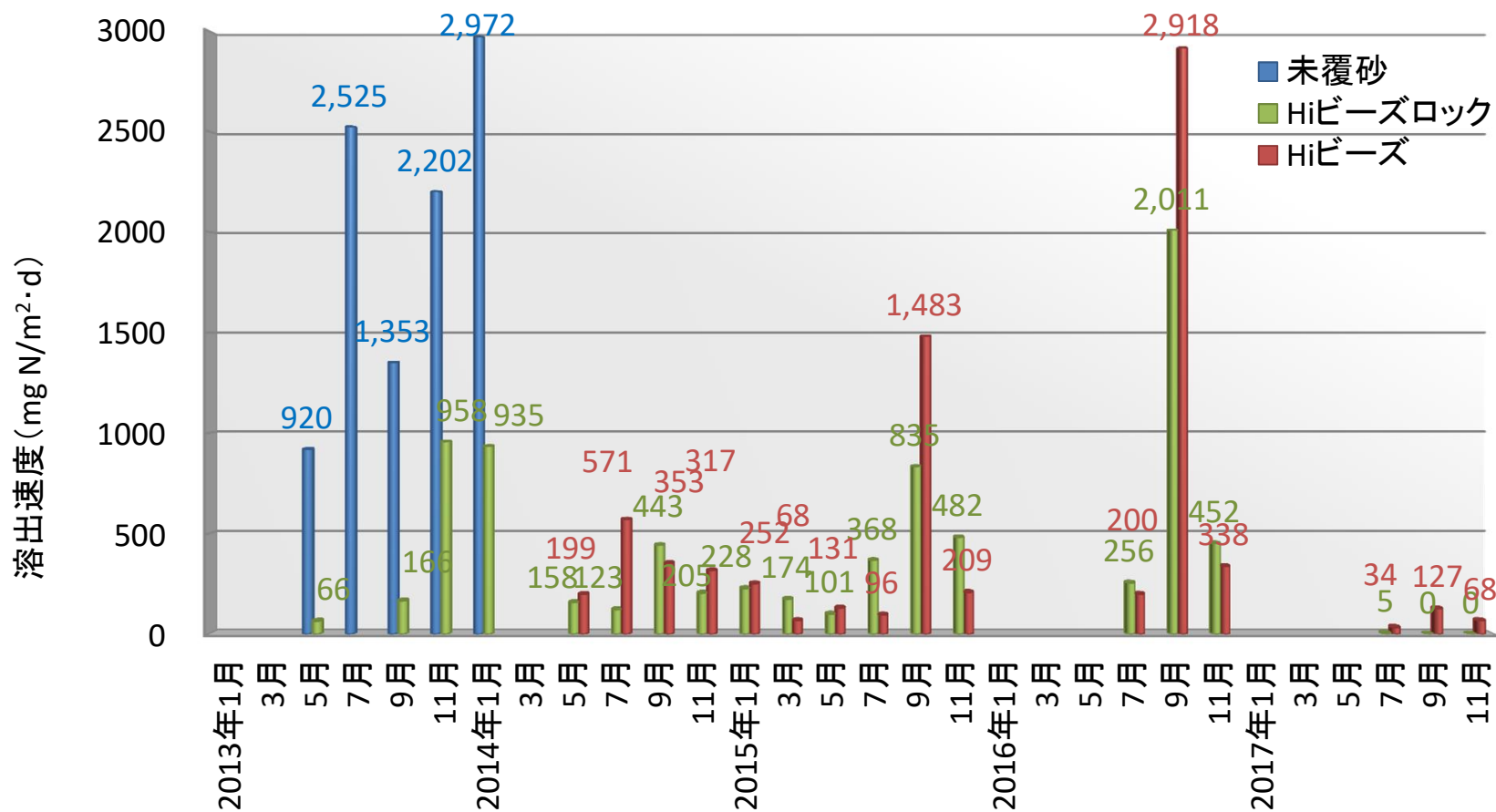
# 錦海-穂日島沖浚渫地の水質(直上水)

19



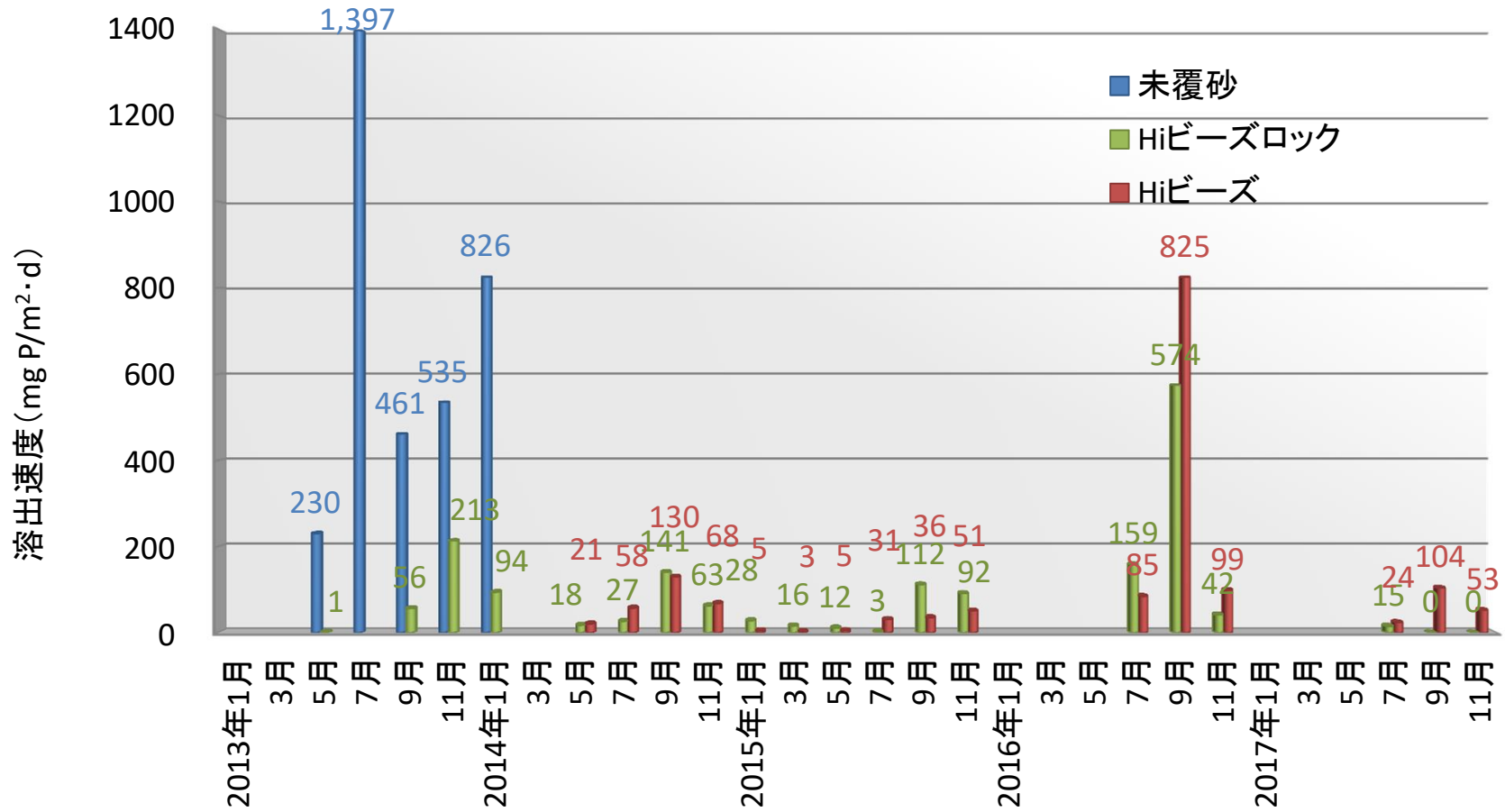
# NH<sub>4</sub>-N溶出速度 錦海-穂日島沖

20

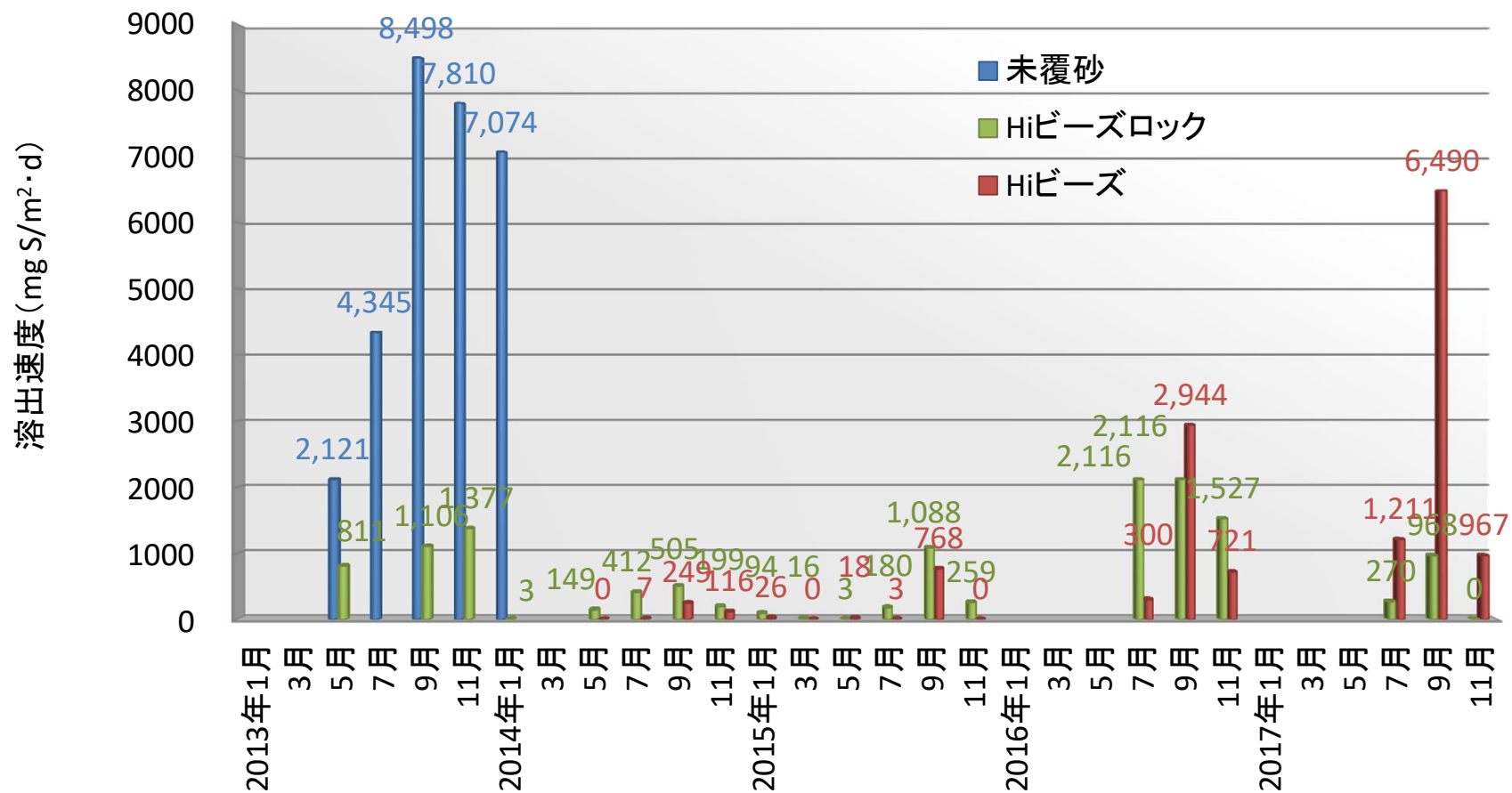


# PO<sub>4</sub>-P溶出速度 錦海-穂日島沖

21



# H<sub>2</sub>S溶出速度 錦海-穂日島沖



# 溶出速度まとめ（錦海-穂日島沖）

23

## 覆砂前と覆砂後平均の比較

80\*\*  
86\*  
78\*

表 覆砂前（2013）と覆砂後（～2017年）の錦海-穂日島  
沖浚渫窪地の平均溶出速度( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )と削減率(%)

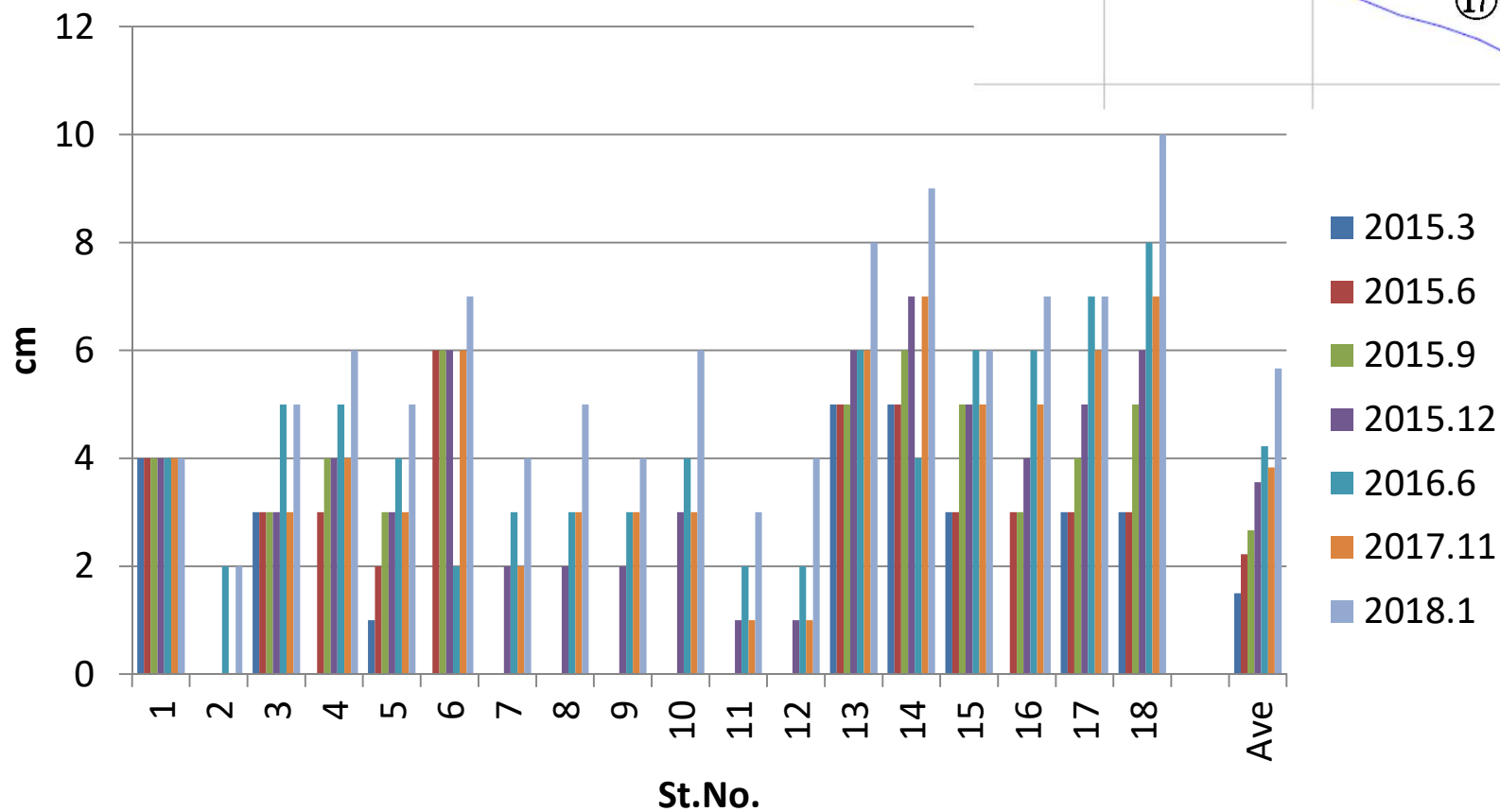
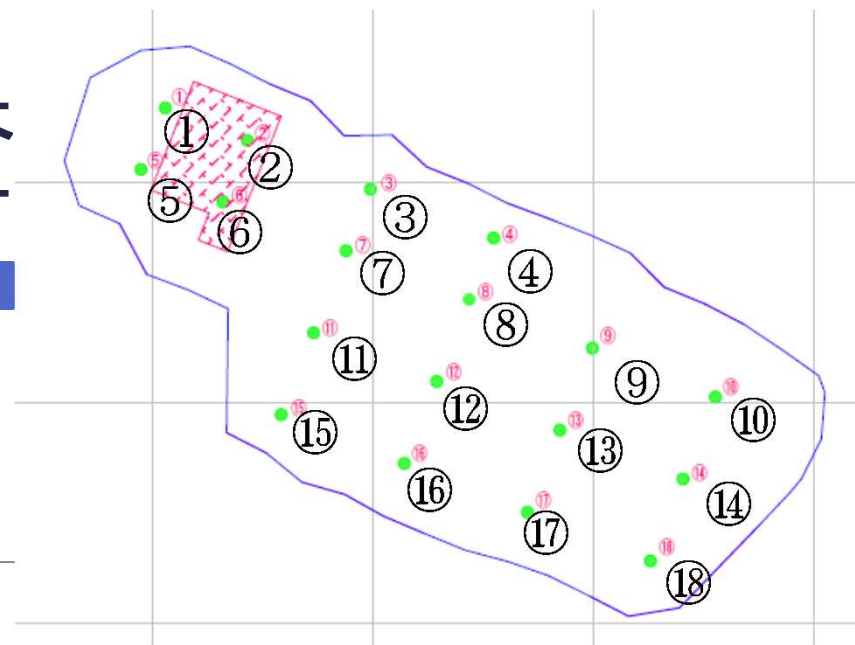
	覆砂前	Hiビーズ	Hiビーズ・ ロック	削減率	
				Hiビーズ	Hiビーズ・ ロック
NH <sub>4</sub> -N					
（全期間）	1994	460	398	77*	80**
（12-5月）	1946	162	277	92*	86*
（6-11月）	2026	560	450	72*	78*
PO <sub>4</sub> -P					
（全期間）	690	99.9	83.3	86**	88**
（12-5月）	528	8.54	28.2	98*	95*
（6-11月）	798	130	107	84**	87**
H <sub>2</sub> S					
（全期間）	5970	864	660	86**	89**
（12-5月）	4597	11.1	179	99*	96**
（6-11月）	6884	1252	866	82*	87**

※ 覆砂前：2013（3, 5, 7, 9, 11月）のデータ  
 ※ Hiビーズ：2014年5月～2017年11月のデータ  
 ※ Hiビーズ・ロック：2013年3月～2017年11月のデータ  
 ※ \*p<0.05, \*\*p<0.01

# 堆積物の蓄積調査

24

細井沖浚渫窪地

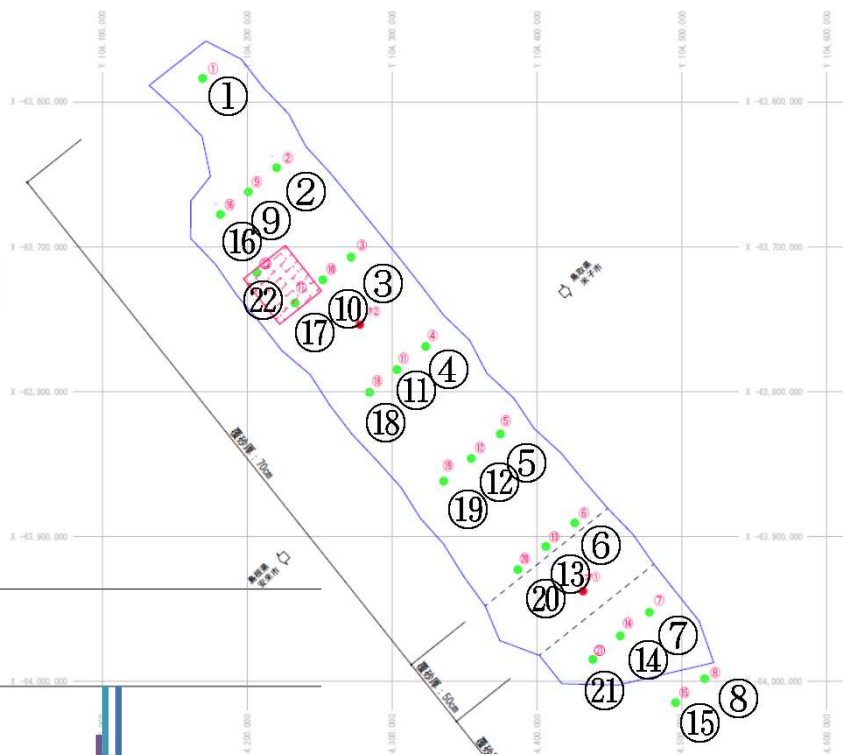
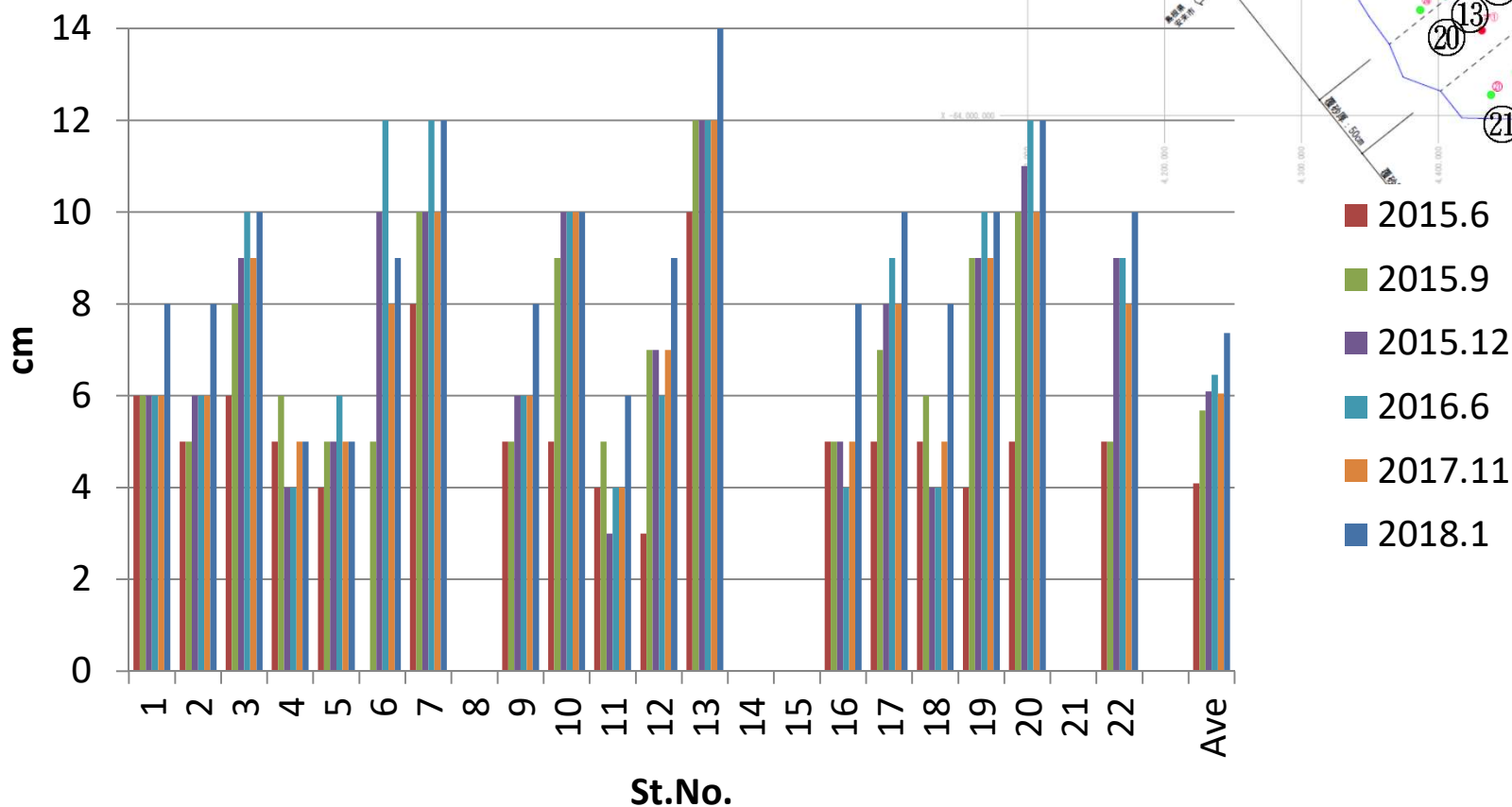




# 堆積物の蓄積調査

25

錦海-穂日島沖浚渫窪地



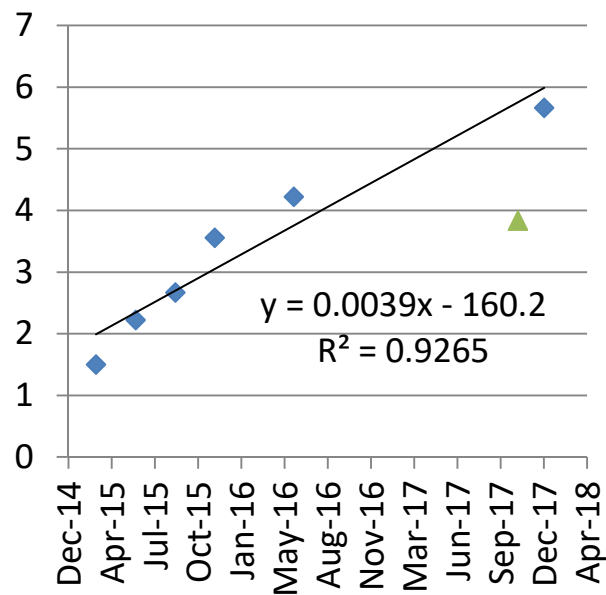
- 2015.6
- 2015.9
- 2015.12
- 2016.6
- 2017.11
- 2018.1

# 堆積速度

26

## 細井沖浚渫窪地

堆積速度 約1.4 cm/年  
( $0.0039 \times 365 = 1.4235\text{cm}$ )

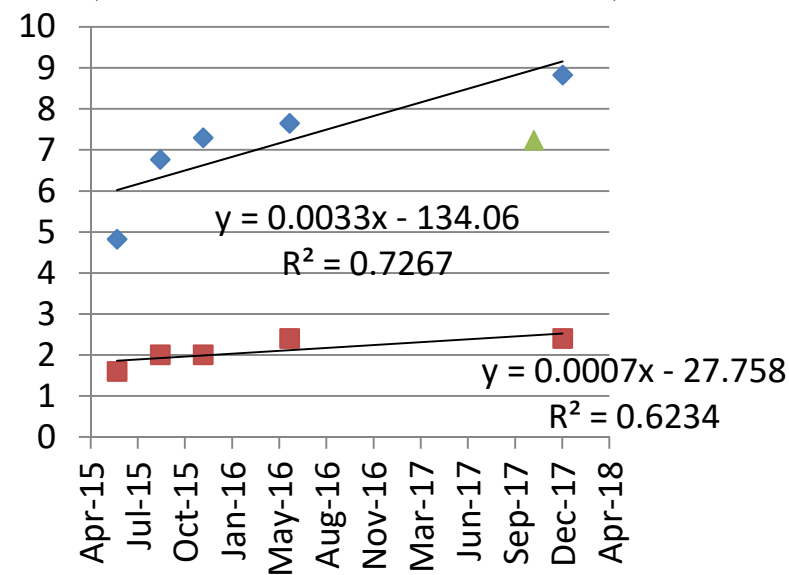


◆ Ave ▲ 外れ値 — 線形 (Ave)

## 錦海-穂日島沖浚渫窪地

窪地堆積速度 約1.2 cm/年  
( $0.0033 \times 365 = 1.2045\text{ cm}$ )

窪地外堆積速度 約0.3 cm/年  
( $0.0007 \times 365 = 0.2555\text{ cm}$ )



◆ 窪地Ave ■ 窪地外Ave ▲ 外れ値

# 第1期 細井, 錦海-穂日島 まとめ

27

- 細井沖浚渫窪地（2回目の覆砂以降について）
  - 栄養塩
    - 溶出速度：低下傾向, 濃度：一定（ただし, 地点間の差は大きい）
  - 硫化水素
    - 溶出速度：増加傾向, 濃度：増加傾向
  - 堆積速度：約1.4 cm/年
- 錦海-穂日島沖浚渫窪地
  - 栄養塩
    - 溶出速度：徐々に増加（最終年度は低下）, 濃度：覆砂3年目から上昇傾向
  - 硫化水素
    - 溶出速度：増加傾向, 濃度：覆砂3年目から上昇傾向
  - 堆積速度：約1.2 cm/年
- HiビーズとHiビーズ・ロック
  - 効果に一定の傾向が認められない。）
    - 材料特性（径の大きさ=間隙の大きさ）の影響はない？
  - 堆積物の蓄積により, 3年目当たりから顕著に溶出抑制効果が低下

# 第2期事業の初年度 (H29) 工法と施工場所の検討

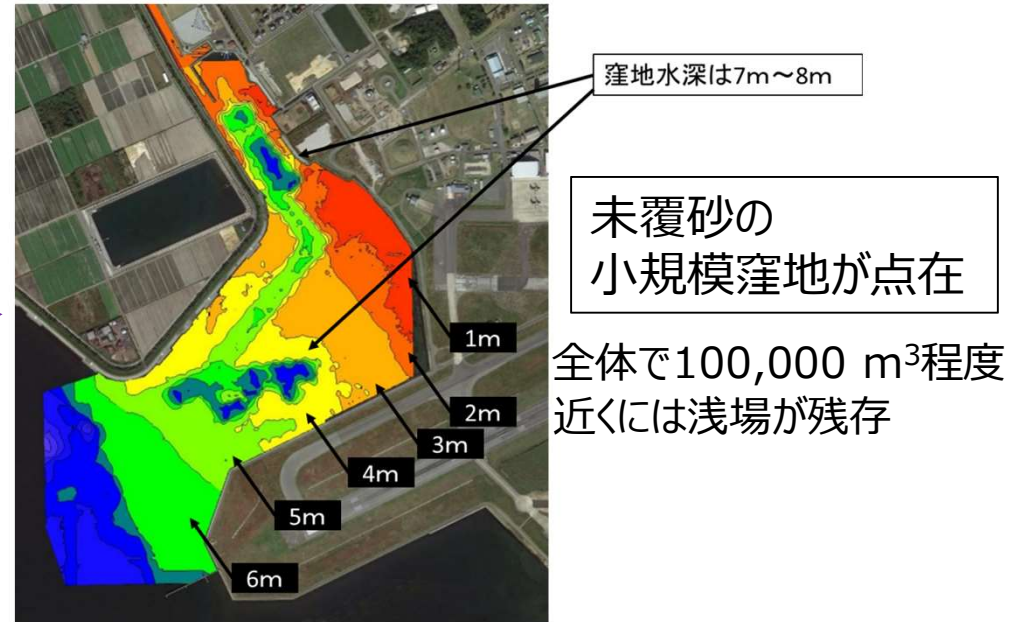
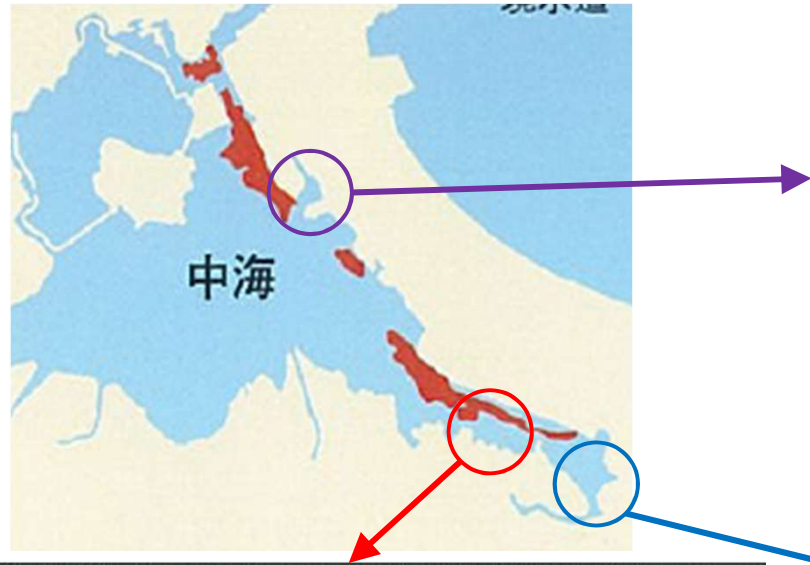


図 米子空港沖浚渫窪地の位置と深浅図

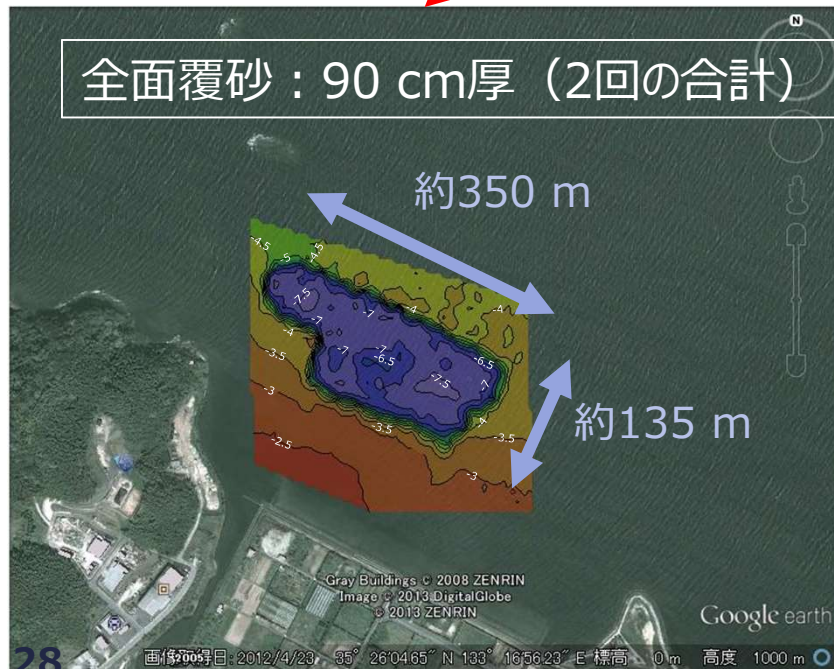


図 細井沖浚渫窪地の深浅図

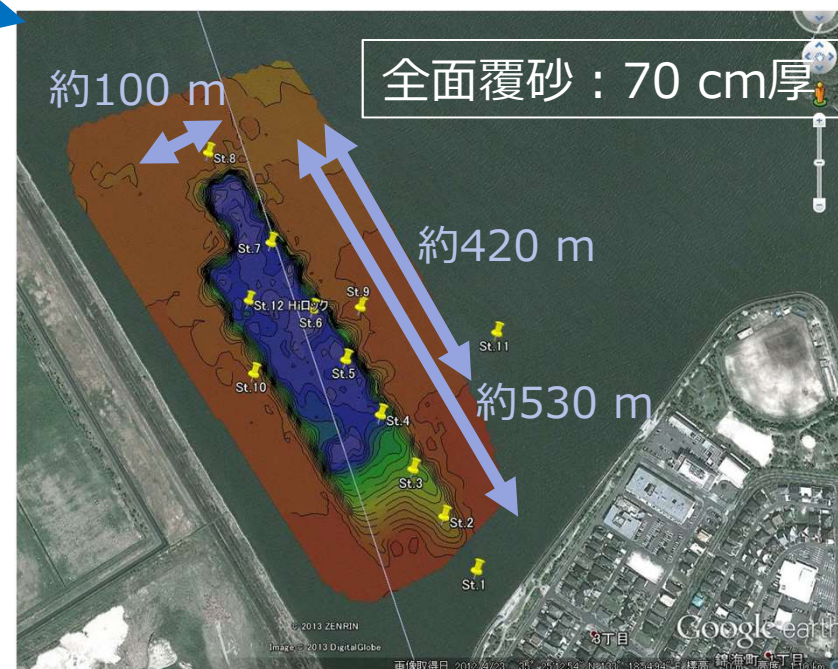


図 錦海穂日島沖浚渫窪地の深浅図

# ① 山型覆砂を施工する窪地の選定と工法の検討

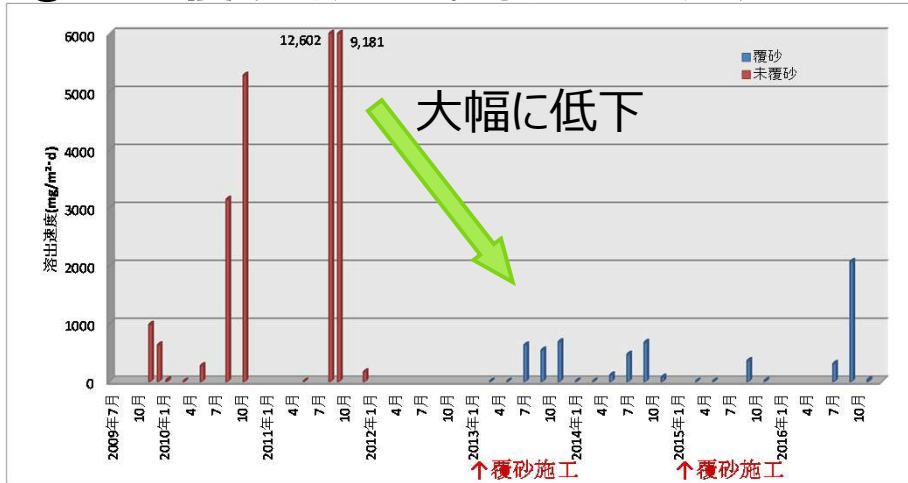


図 細井沖浚渫窪地の硫化水素溶出速度

石炭灰造粒物の全面覆砂により、  
高い硫化水素溶出抑制効果を発揮

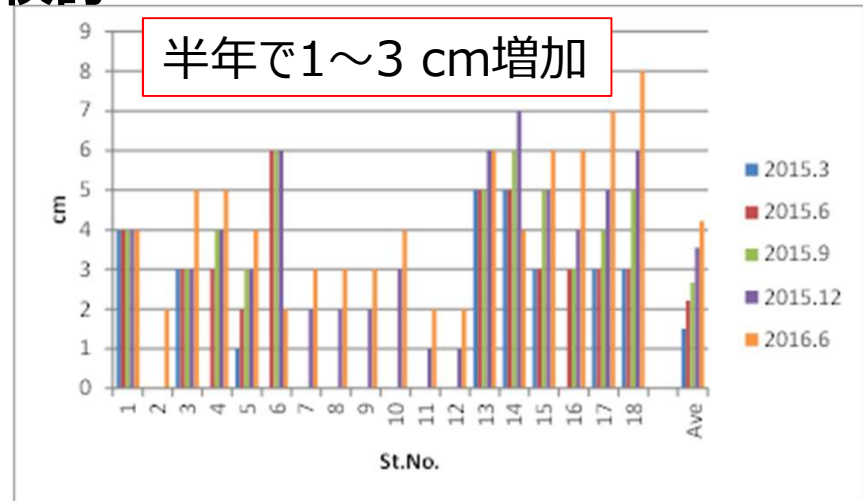
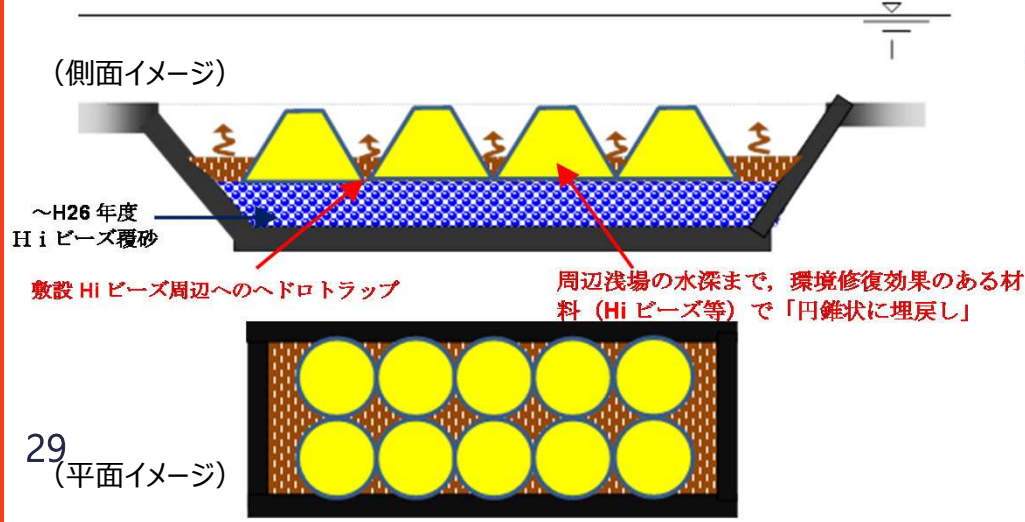


図 覆砂材上の堆積物の厚さ

覆砂材上には徐々に堆積物が蓄積

徐々に溶出抑制効果が低下する恐れ

## ■ 新たな施工方法で覆砂（細井沖） 堆積物の影響を受けにくい施工方法



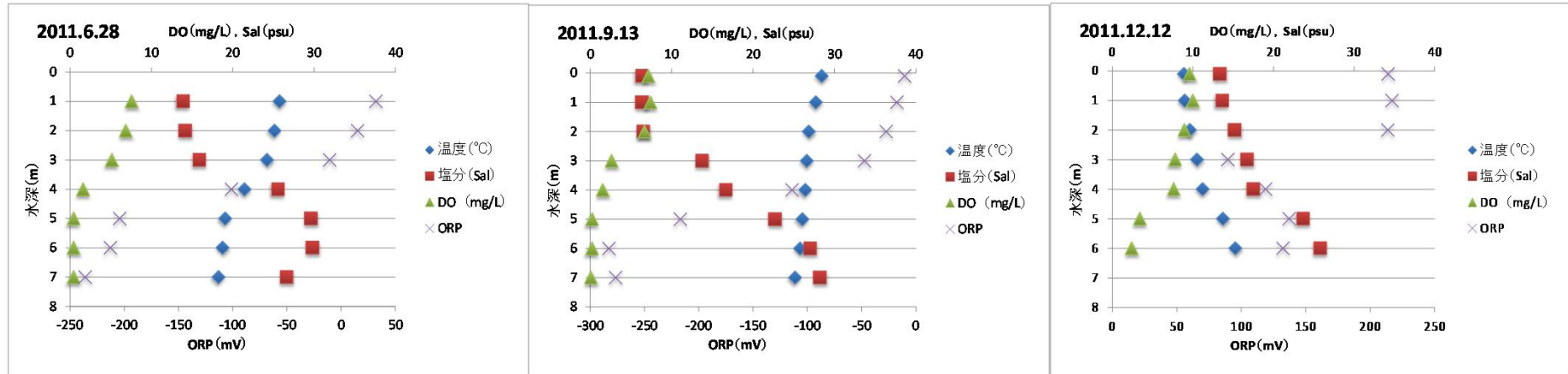
石炭灰造粒物 (Hiビーズ) を円錐状に覆砂

新生堆積物は水深の深い場所に集積

- ・石炭灰造粒物の露出面が増加
- ・溶出面積が減少

- ・単一窪地からの溶出量が減少
- ・覆砂効果の持続性が向上

## ②新たに完全埋戻しの対象とする小規模窪地の選定（候補：米子空港沖浚渫窪地）



- 水深3～5 mに塩分躍層
- 夏季は4 m以深で貧酸素状態
- 酸化還元電位はマイナス

細井沖浚渫窪地等と同様の傾向

- 硫化水素の発生も予想
- 東風による周辺浅場への青潮発生の可能性あり

### ■小規模窪地の完全埋戻しを実施

（米子空港沖浚渫窪地 → 錦海-穂日島沖）

