

鉄鋼スラグ水和固化体を用いた 藻場造成ブロックの適用性に関する検討

鹿児島大学

現:(株)オリエンタルコンサルタンツ

鹿児島大学学術研究院
CRS(株)

○鴨井里佳

審良善和、山口明伸
桐野正人



株式会社 **オリエンタルコンサルタンツ**

はじめに

課題 日本の沿岸域の磯焼け対策，藻場の再生

長期的な目的 鉄鋼スラグ水和固化体（SH）を用いた藻場造成ブロックによる水産資源環境の改善やブルーカーボン

藻場造成ブロック

普通コンクリート（CC）



鉄鋼スラグ水和固化体（SH）



利点

- ・アルカリ成分の溶出が少ない
- ・ミネラル分（Fe, Si）の溶出に伴う生物の成育促進
- ・セメントの使用量が少ないためカーボンニュートラルに繋がる
- ・天然骨材の採取量も低減

はじめに

課題 日本の沿岸域の磯焼け対策，藻場の再生

長期的な目的 鉄鋼スラグ水和固化体（SH）を用いた藻場造成ブロックによる水産資源環境の改善やブルーカーボン

藻場造成ブロック

普通コンクリート（CC）



鉄鋼スラグ水和固化体（SH）



- ①鉄鋼スラグ水和固化体の海洋用途への適用を検討
- ②鉄鋼スラグ水和固化体の使用材料や構造を改善
→より効果的な藻場造成ブロックの開発
適用性について検討

研究のフロー

① 固化体の
形状および配合検討



② 固化体の
有害物質の溶出確認



藻場および漁礁としての適用性検討

③ 小型水槽での
毒性実験



④ 小型ブロックによる
海中沈設実験



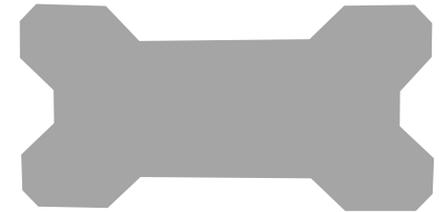
⑤ 小型供試体による
海中暴露試験



鉄鋼水和スラグ固化体の形状

コンクリートブロック

要求性能	
強度 構造体	重量 海中利用



藻場・漁礁としての効果を高める

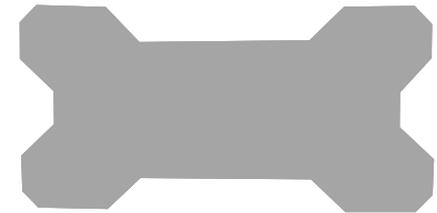


空隙の多いポラスコンクリート

鉄鋼水和スラグ固化体の形状

コンクリートブロック

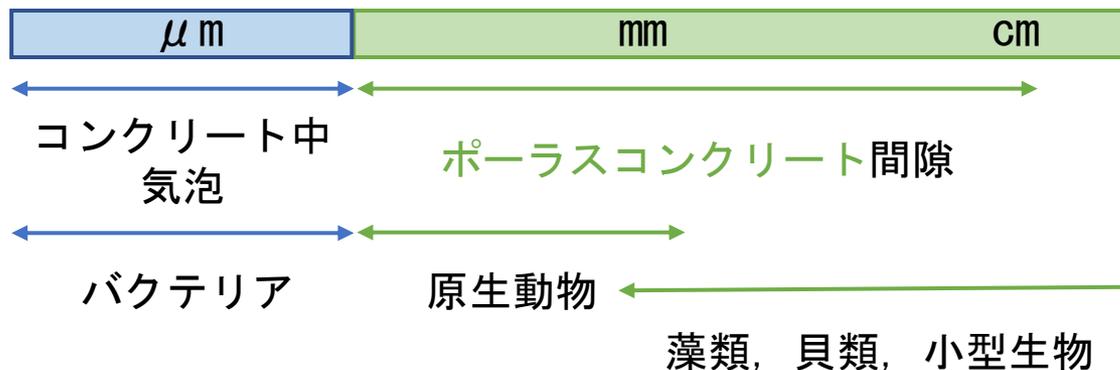
要求性能		
強度	重量	空隙
構造体	海中利用	生物付着性



藻場・漁礁としての効果を高める



空隙の多いポーラスコンクリート



鉄鋼水とスラグ固化体の配合検討

製造に適する配合

	W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C*%)	
			W	高炉スラグ微粉末	C	製鋼スラグ		シラス
SH-P	45	4	200	311	133	1598	353	-
SH								6.00%

※SH-P：ポーラス型SH

SH：スランプ10cm以上

SH-P, SHの性能評価

要求性能	強度 (圧縮強度)	重量 (単位容積質量)	空隙 (全空隙率)
目標値	設計上の基準として, 18N/mm ² 以上 (材齢28日)	2.4t/m ³ 以上	20%以上
SH-P	-	-	21%
SH	29N/mm ²	2.5t/m ³	-

いずれも目標とした要求性能を満足していることを確認

この配合をベースとして検討を実施

研究のフロー

① 固化体の
形状および配合検討



② 固化体の
有害物質の溶出確認



藻場および漁礁としての適用性検討

③ 小型水槽での
毒性実験



④ 小型ブロックによる
海中沈設実験



⑤ 小型供試体による
海中暴露試験



実験概要

目的 環境に影響を及ぼす有害物質の溶出の有無の確認

スラグ類の化学物質試験方法 - 第1部：溶出量試験方法 (JIS K 0058-1)

	成型体	粉体
試料	 <p>SHの円柱供試体 ($\Phi 100 \times 200\text{mm}$)</p>	 <p>2mm以下に 粉碎したもの</p>
方法	<p>かくはん装置</p>  <p>毎分約200回転で6時間</p>	<p>振とう機</p>  <p>毎分約200回で6時間振とう</p>

結果および考察

調査項目

環境基準に関わる全項目を調査

- ・ 水底土砂に係る判定基準
- ・ 港湾用途溶出量基準

・ すべての項目において、基準以下、検出なしであった



鉄鋼スラグ水和固化体の
環境への影響は極めて小さい

	項目	水底土砂に係る 判定基準 (mg/L)	港湾用途 溶出量基準 (mg/L)	SH	
				成型体	粉体
1	アルキル水銀化合物	検出されないこと		-	-
2	Hg	0.005	0.0015	0.00002	0
3	Cd	0.1	0.009	-	-
4	Pd	0.1	0.03	-	-
5	PH ₃	1		<0.1	<0.1
6	六価クロム化合物	0.5	0.15	<0.05	<0.05
7	As	0.1	0.03	<0.004	<0.004
8	シアン化合物	1		<0.1	<0.1
9	Cu	3		-	-
10	Zn	5		0.003	0.001
11	F	15	15	0.02	0.14
12	PCB	0.003		<0.0005	<0.0005
13	トリクロロエチレン	0.3		-	-
14	テトラクロロエチレン	0.1		-	-
15	Be	2.5		-	-
16	Cr	2		-	-
17	Ni	1.2		-	-
18	V	1.5		-	-
19	有機塩素化合物	40			<4(含有量mg/kg)
20	ジクロロメタン	0.2		-	-
21	四塩化炭素	0.02		-	-
22	1,2-ジクロロエタン	0.04		-	-
23	1,1-ジクロロエチレン	0.2		-	-
24	シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4		-	-
25	1,1,1-トリクロロエタン	3		-	-
26	1,1,2-トリクロロエタン	0.06		-	-
27	1,3-ジクロロプロペン	0.02		-	-
28	チウラム	0.06		<0.006	<0.006
29	シマジン	0.03		<0.003	<0.003
30	チオベンカルブ	0.2		<0.02	<0.02
31	ベンゼン	0.1		-	-
32	Se	0.1	0.03	<0.01	<0.01
33	B	1	20	-	-
34	1,4-ジオキサン	0.5		-	-

検出なし：-

研究のフロー

① 固化体の
形状および配合検討



② 固化体の
有害物質の溶出確認



藻場および漁礁としての適用性検討

③ 小型水槽での
毒性実験



④ 小型ブロックによる
海中沈設実験



⑤ 小型供試体による
海中暴露試験



実験概要

目的

海水魚を飼育し、供試体からの溶出物による生体への影響を調査

生体なしで水質を安定



生体投入

pHやアルカリの溶出の影響がメイン



環境の変化に強い
デバスズメダイ
(10匹)



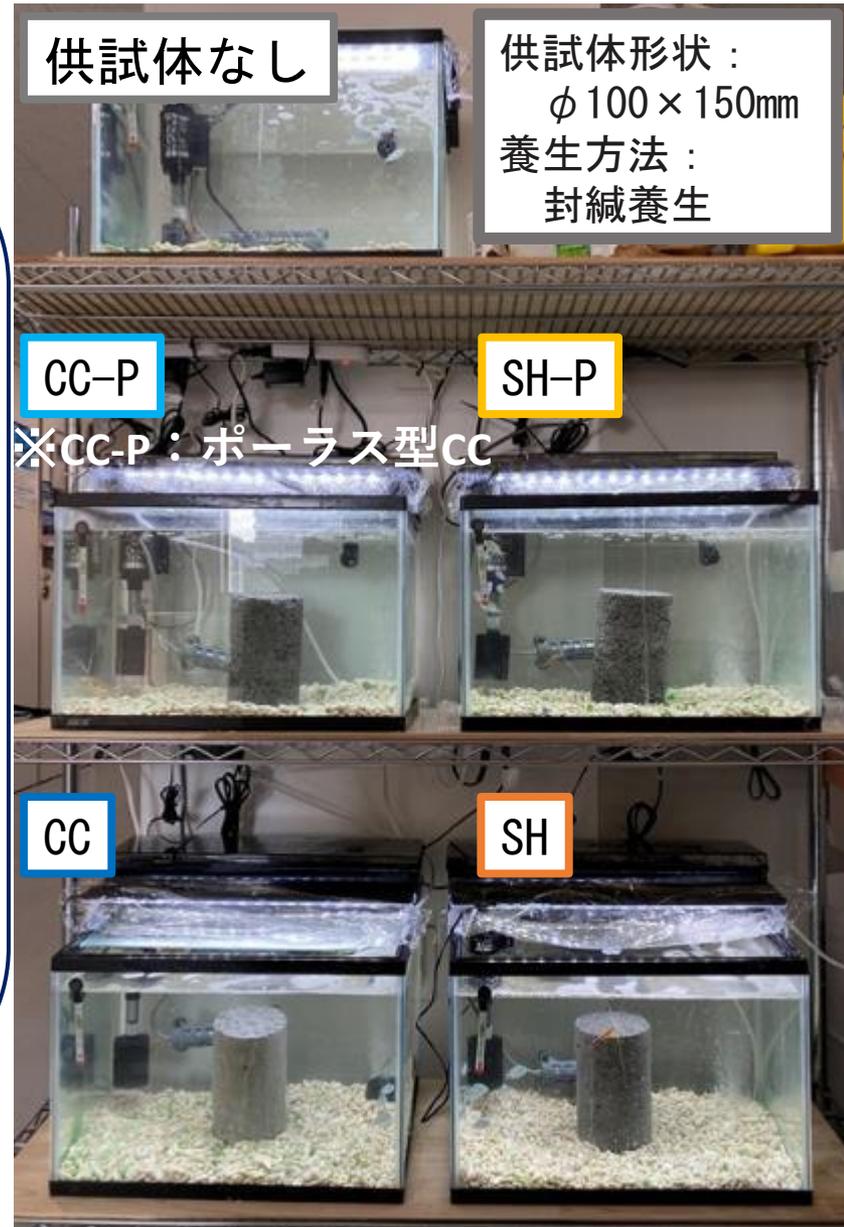
水質の悪化に敏感
アカシマ
シラヒゲエビ
(1匹)

2週間の生育期間



供試体投入

・ pHの測定, 生体の生存確認



実験結果

pH測定

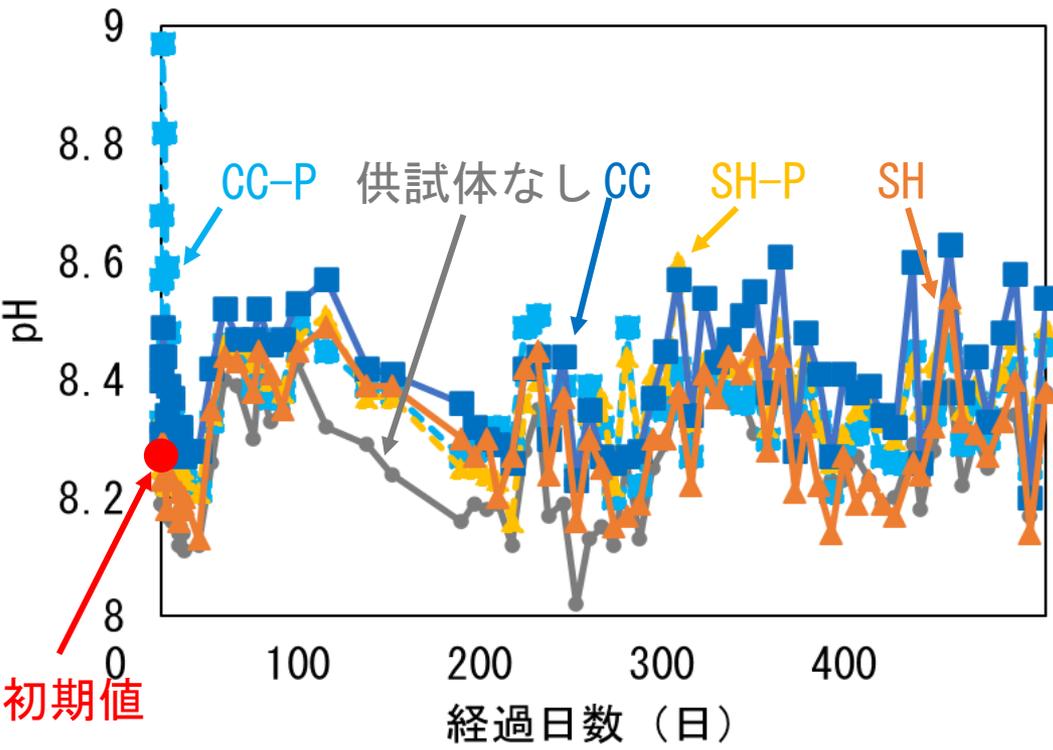
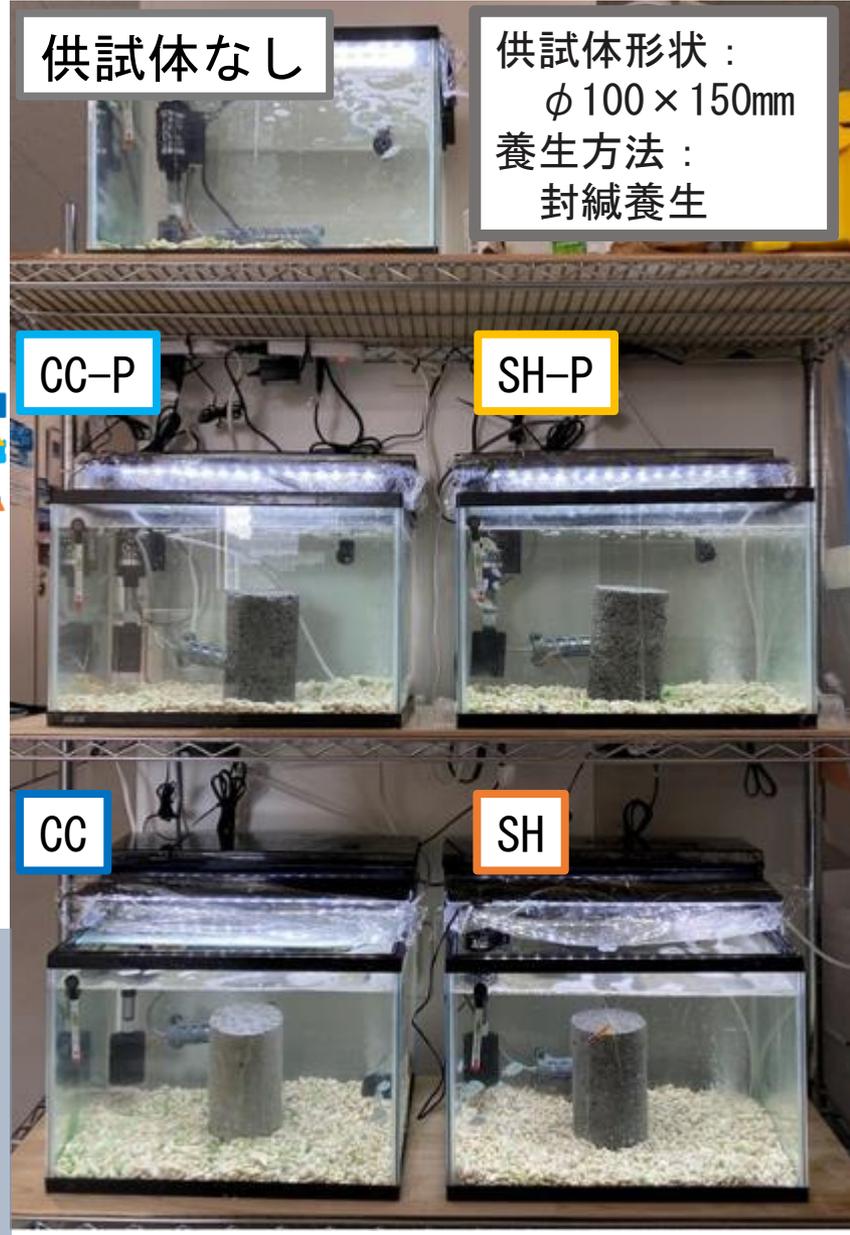


図 pHの経時変化

水替え後に急激なpH値の変化はなし
SHを使用したものでは
pHの大きな変化は確認されなかった

↓
環境影響は小さい



実験結果

生体の状態確認

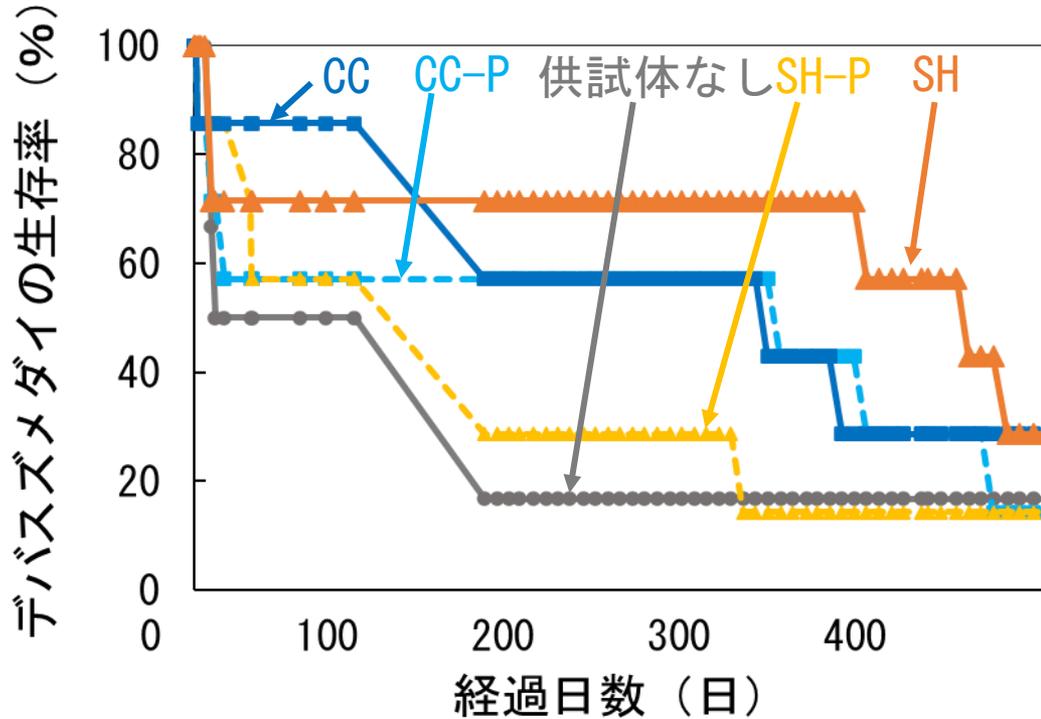


図 デバスズメダイの生存率経時変化

- ・ いずれも500日程度で生存率は30%以下
- ・ 供試体なしの生存率が最も低かった
→他の水槽との環境条件（生体が隠れる供試体がない）が異なったことが影響

実験結果

生体の状態確認

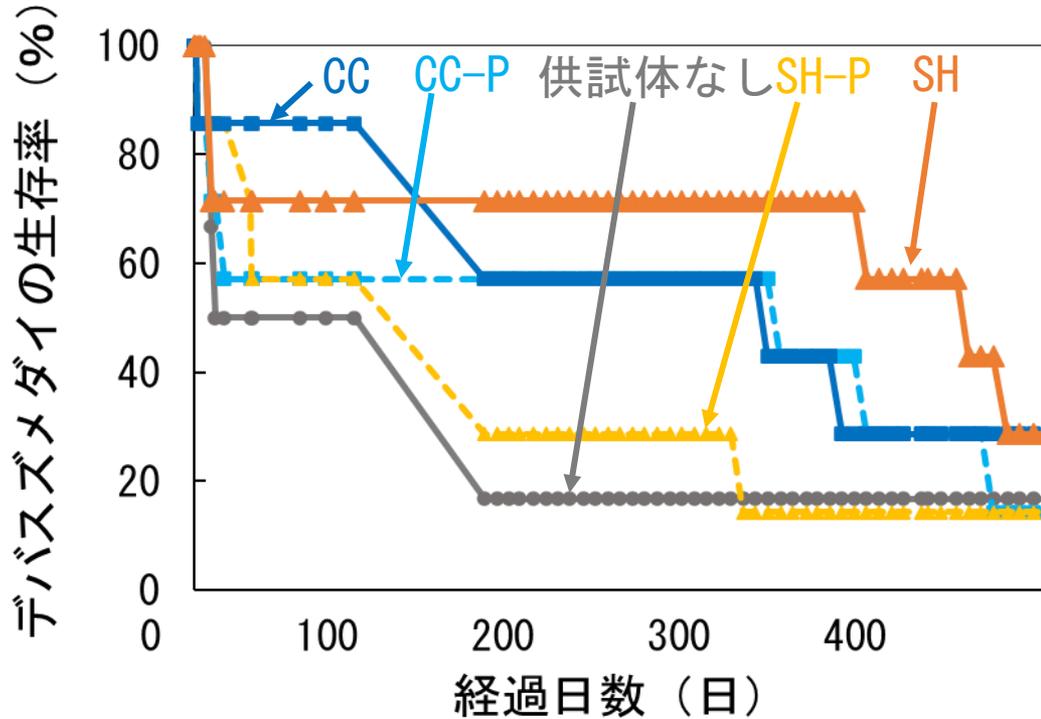


図 デバスズメダイの生存率経時変化

環境（供試体）差による影響は明確に確認されなかった
全水槽において生体の生存を確認できた



いずれの供試体を海洋に投入しても**生体に与える影響はない**と予想

研究のフロー

① 固化体の
形状および配合検討



② 固化体の
有害物質の溶出確認



藻場および漁礁としての適用性検討

③ 小型水槽での
毒性実験



④ 小型ブロックによる
海中沈設実験



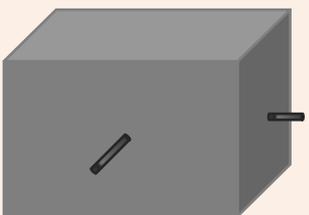
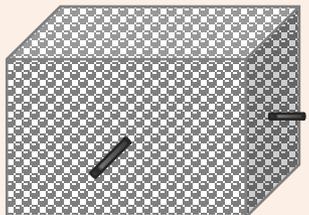
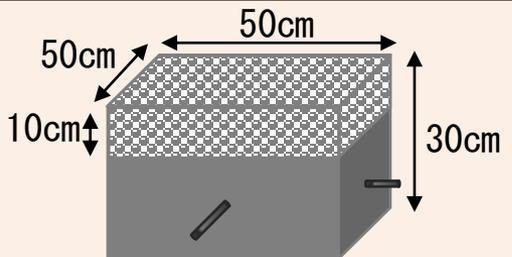
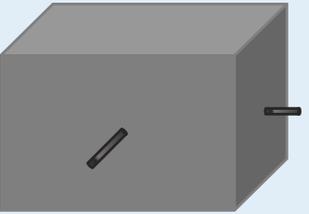
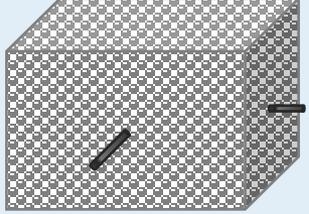
⑤ 小型供試体による
海中暴露試験



実験概要

供試体概要

SHとSH-Pの二層体

	① SH	② SH-P	③ SH&-P
鉄鋼スラグ 水和固化体			
	④ 普通コンクリート (CC)		⑤ ポーラスコンクリート (CC-P)
普通 コンクリート			

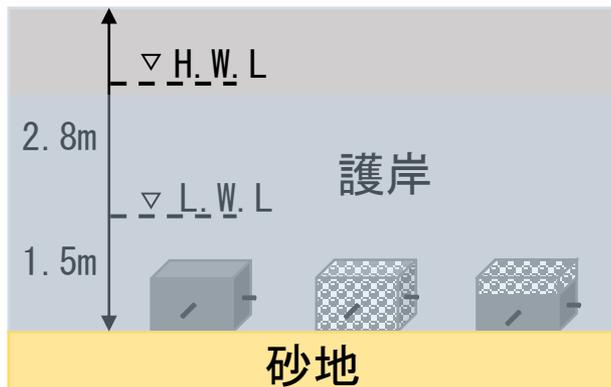
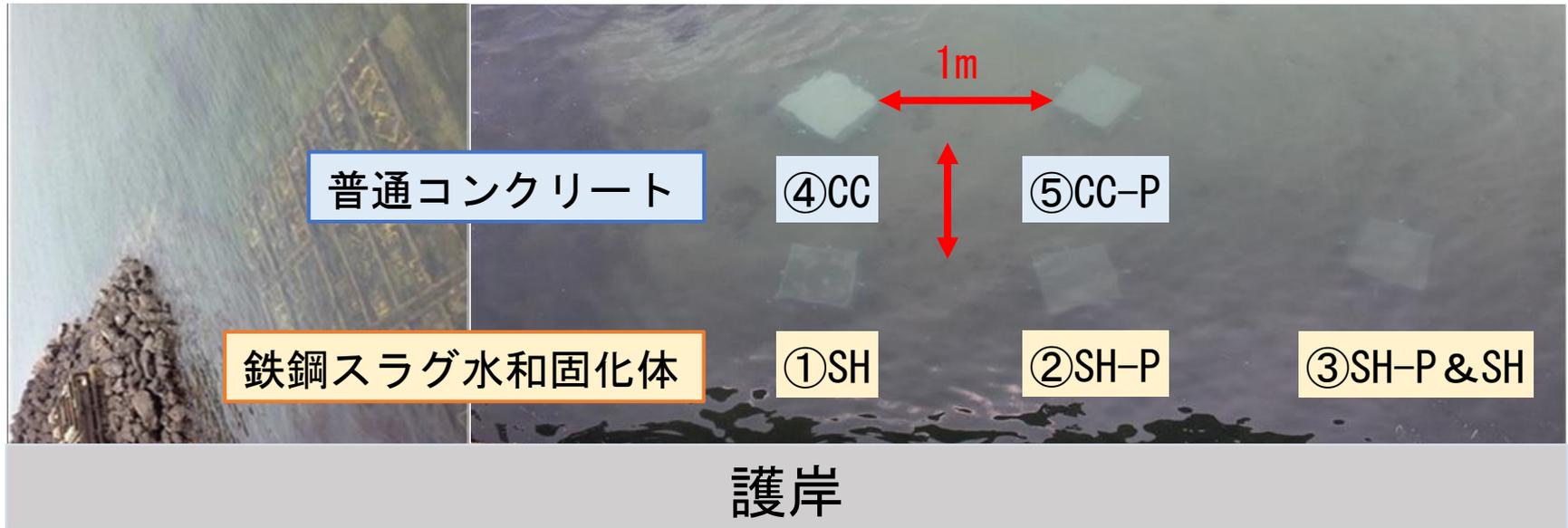
	W/C (%)	s/a (%)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)								高性能 AE減水剤 (C*%)	AE 減水剤 (C*%)	AE剤 (C*%)
				W	C	高炉スラグ 微粉末	砕砂 (未)	砕砂	粗骨材	製鋼スラグ	シラス			
SH	45	-	4	200	133	311	-	-	-	1598	353	6.00%	-	-
SH-P												-		
CC	50	41	4	175	350	-	-	731	1039	-	-	-	0.10%	0.01%
CC-P	45	-		200	444		1610	-	-				-	-

CC : スランプ10±2.5cm, 空気量4±1.5%

約1ヶ月室内で封緘養生を行ったのち, 一般大気環境に2ヶ月間保存

実験概要

鹿児島県谷山港海洋暴露場にて，2021年4月下旬に暴露開始

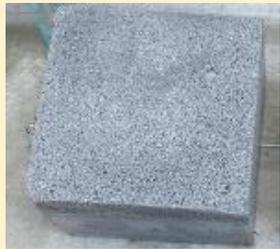
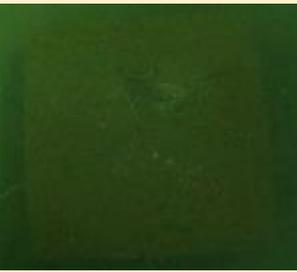
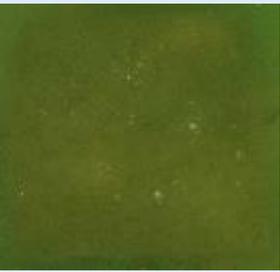


暴露開始から2, 4, 9, 13, 16 ヶ月後

→水中カメラによる藻の生育状況の観察

藻類等の繁殖なし

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
開始時					
2か月					
4か月					

試験開始後 4 か月までの藻の生育状況は概ね同程度

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
9 か 月					
					
13 か 月					

全体的な傾向として、SHのほうが生育が良い

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
9 か 月					
					
13 か 月					

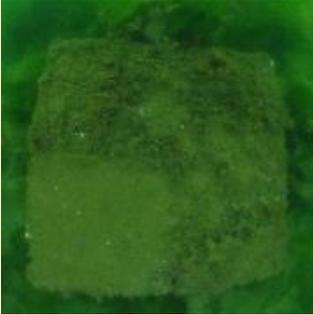
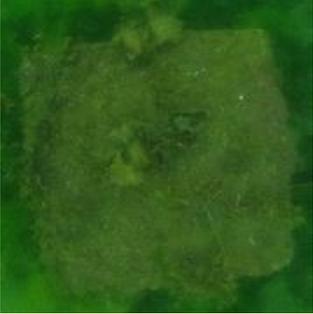
CCの藻類の成長はあまり期待できない

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
9 か 月					
					
13 か 月					

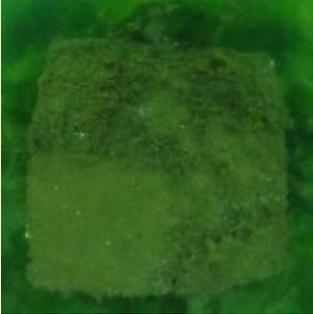
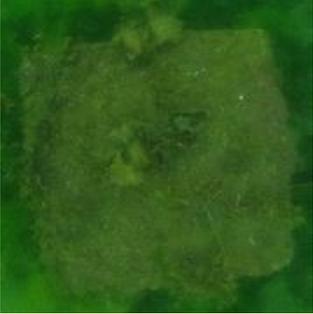
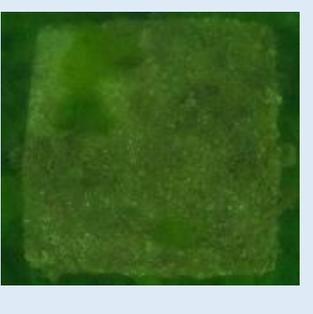
普通に比べポーラスのブロックの成長がよい

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
16 か 月					

いずれのブロックも16か月後に夏枯れが発生

生育状況

	① SH	② SH-P	③ SH&-P	④ CC	⑤ CC-P
16 か 月					
25 か 月 後					
					

25か月後には再び藻類の成長を確認

研究のフロー

① 固化体の
形状および配合検討



② 固化体の
有害物質の溶出確認



藻場および漁礁としての適用性検討

③ 小型水槽での
毒性実験



④ 小型ブロックによる
海中沈設実験

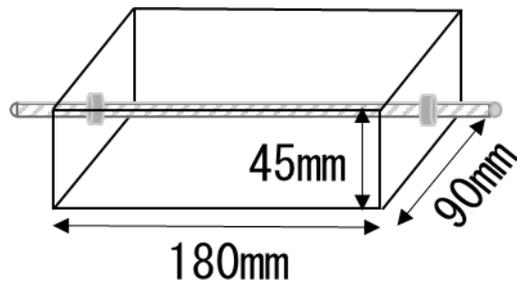


⑤ 小型供試体による
海中暴露試験



実験概要

供試体概要



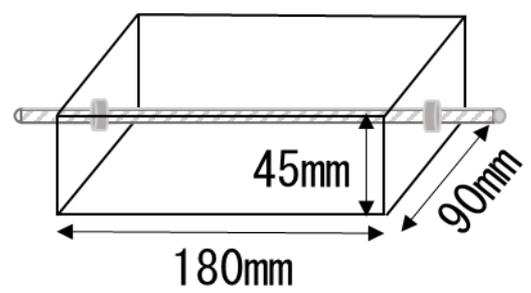
	W/B (%)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)							AD (C*%)	AC (W*%)			
			W	C	BP	砕砂	PTC	SRS	フルボ酸					
CC	45	4	255	567	-	1497	-	-	-	-	-			
CC-P				444		1764								
SH			200	133	311	-	1598	353		-		6		
SH-P												-		
SH-P18			40	190	143		333			352			5	0.5
SH-PF			45	200	133		311			799		353	196	-

CC (普通コンクリート)	CC-P (普通ポーラスコンクリート)	SH
SH-P	SH-P18 (18N/mm ² を満したSH-P)	SH-PF (顆粒フルボ酸を使用のSH-P)

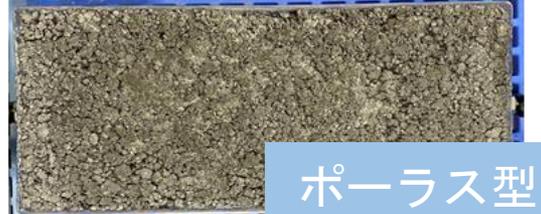
暴露面

実験概要

供試体概要



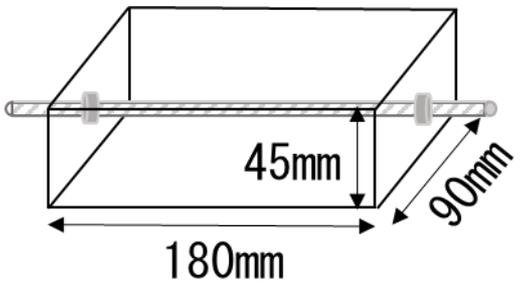
	W/B (%)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)							AD (C*%)	AC (W*%)	
			W	C	BP	砕砂	PTC	SRS	フルボ酸			
CC	45	4	255	567	-	1497	-	-	-	-	-	
CC-P				444		1764						
SH			200	133	311	-	1598	353				6
SH-P												-
SH-P18	40		190	143	333			352	5	0.5		
SH-PF	45		200	133	311		799	353	196	-	-	

CC (普通コンクリート)	CC-P (普通ポーラスコンクリート)	SH
 ノーマル型	 ポーラス型	 ノーマル型
SH-P	SH-P18 (18N/mm ² を満したSH-P)	SH-PF (顆粒フルボ酸を使用のSH-P)
 ポーラス型	 ポーラス型	 ポーラス型

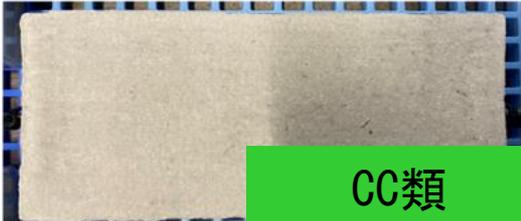
暴露面

実験概要

供試体概要



	W/B (%)	Air (%)	単体量 (kg/m ³)							AD (C*%)	AC (W*%)	
			W	C	BP	砕砂	PTC	SRS	フルボ酸			
CC	45	4	255	567	-	1497	-	-	-	-	-	
CC-P				444		1764						
SH			200	133	311	-	1598	353				6
SH-P												-
SH-P18	40		190	143	333			352	5	0.5		
SH-PF	45		200	133	311		799	353	196	-	-	

CC (普通コンクリート)	CC-P (普通ポーラスコンクリート)	SH
 CC類	 CC類	 SH類
SH-P	SH-P18 (18N/mm ² を満したSH-P)	SH-PF (顆粒フルボ酸を使用のSH-P)
 SH類	 SH類	 SH類

暴露面

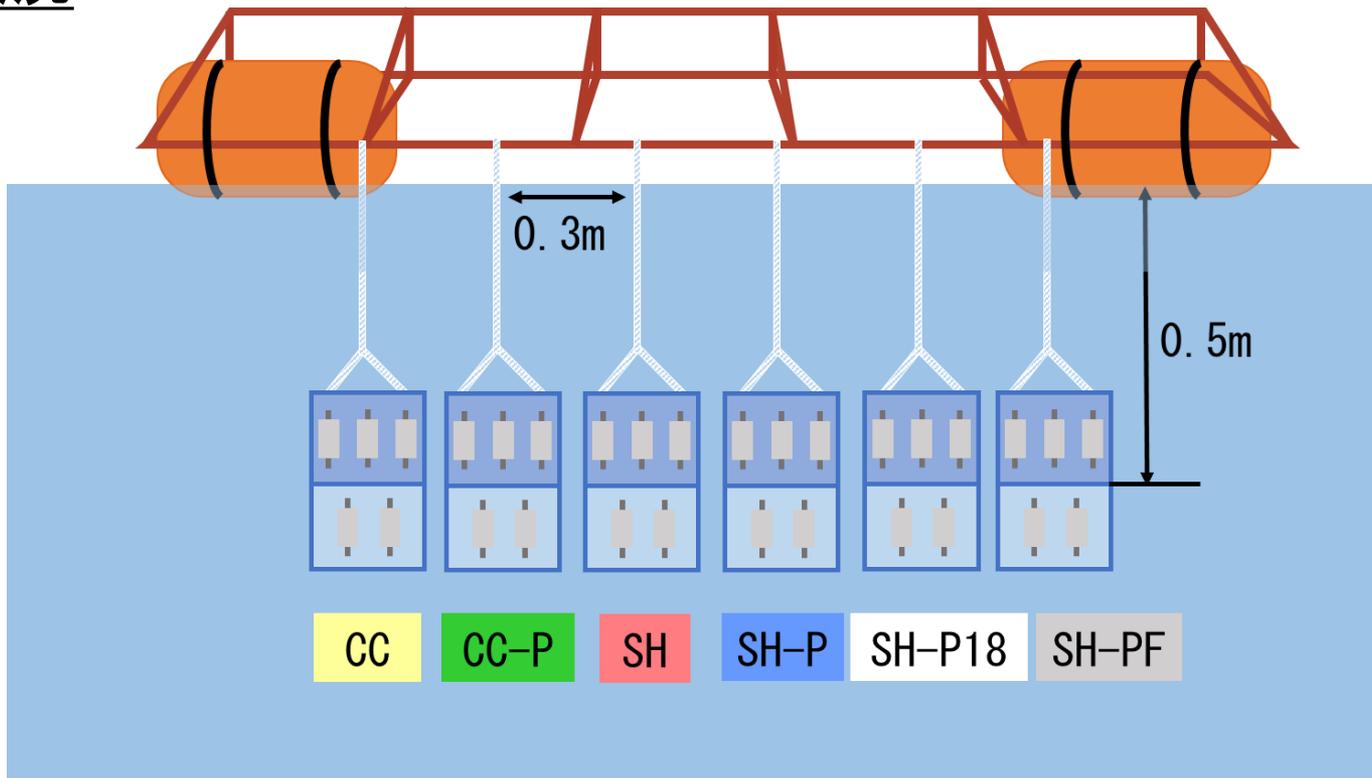
実験概要

暴露場

鹿児島県長島町諸浦暴露場



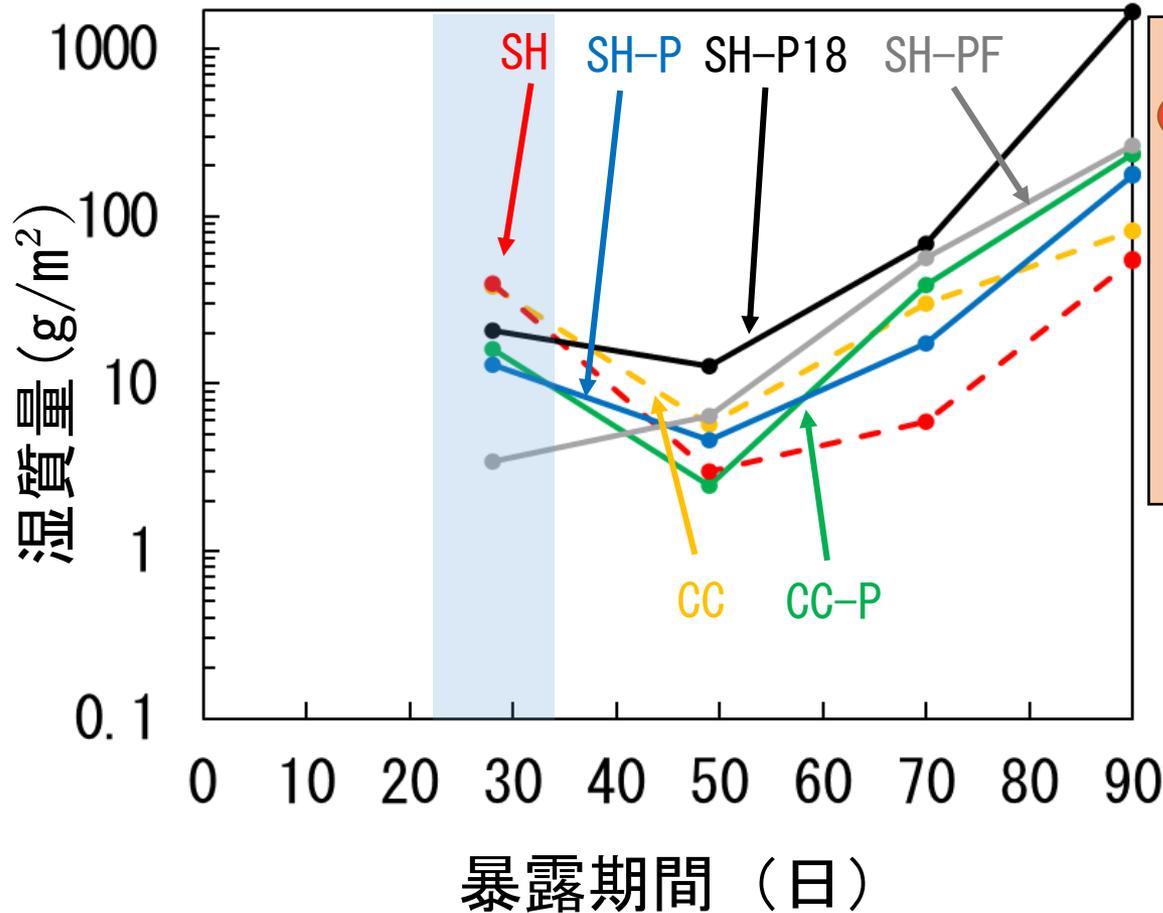
設置状況



28, 49, 70, 90日後に供試体を回収し，藻類の付着量（湿質量）を計測

結果および考察

《暴露後28日》



供試体別藻の付着量

藻の付着良好

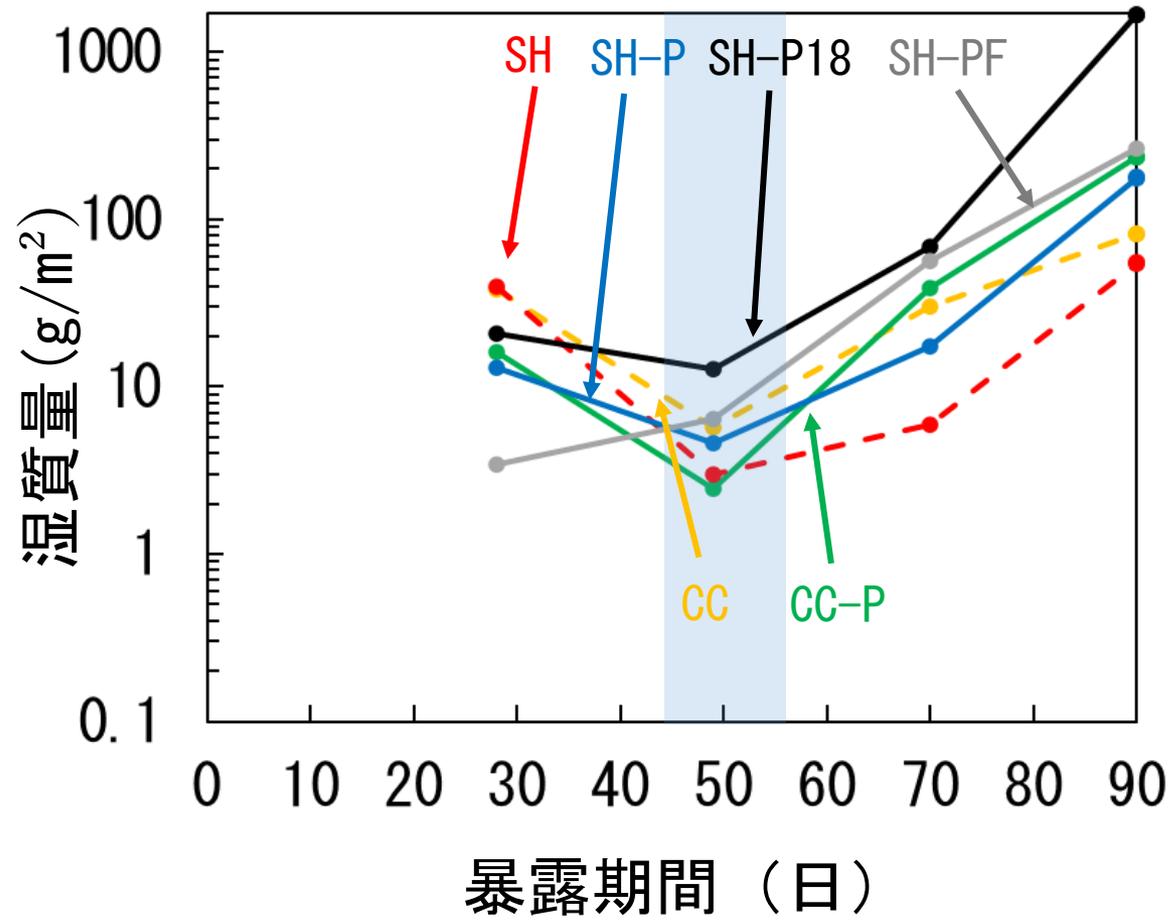
ノーマル型 (SH, CC)

シリオミドロのような糸状藻類が付着しやすい



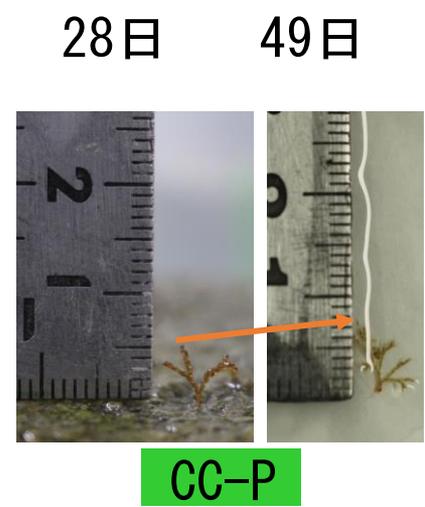
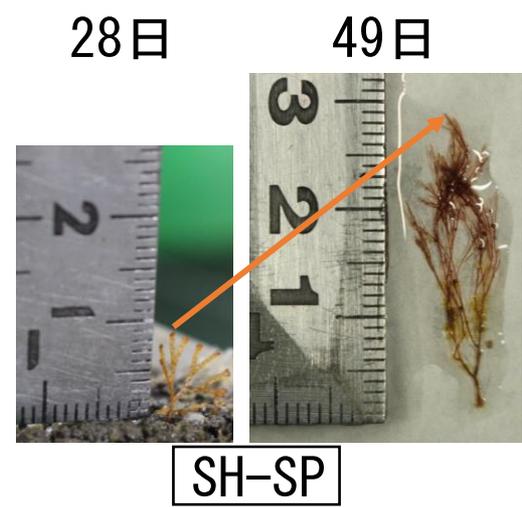
糸状藻類

結果および考察



供試体別藻の付着量

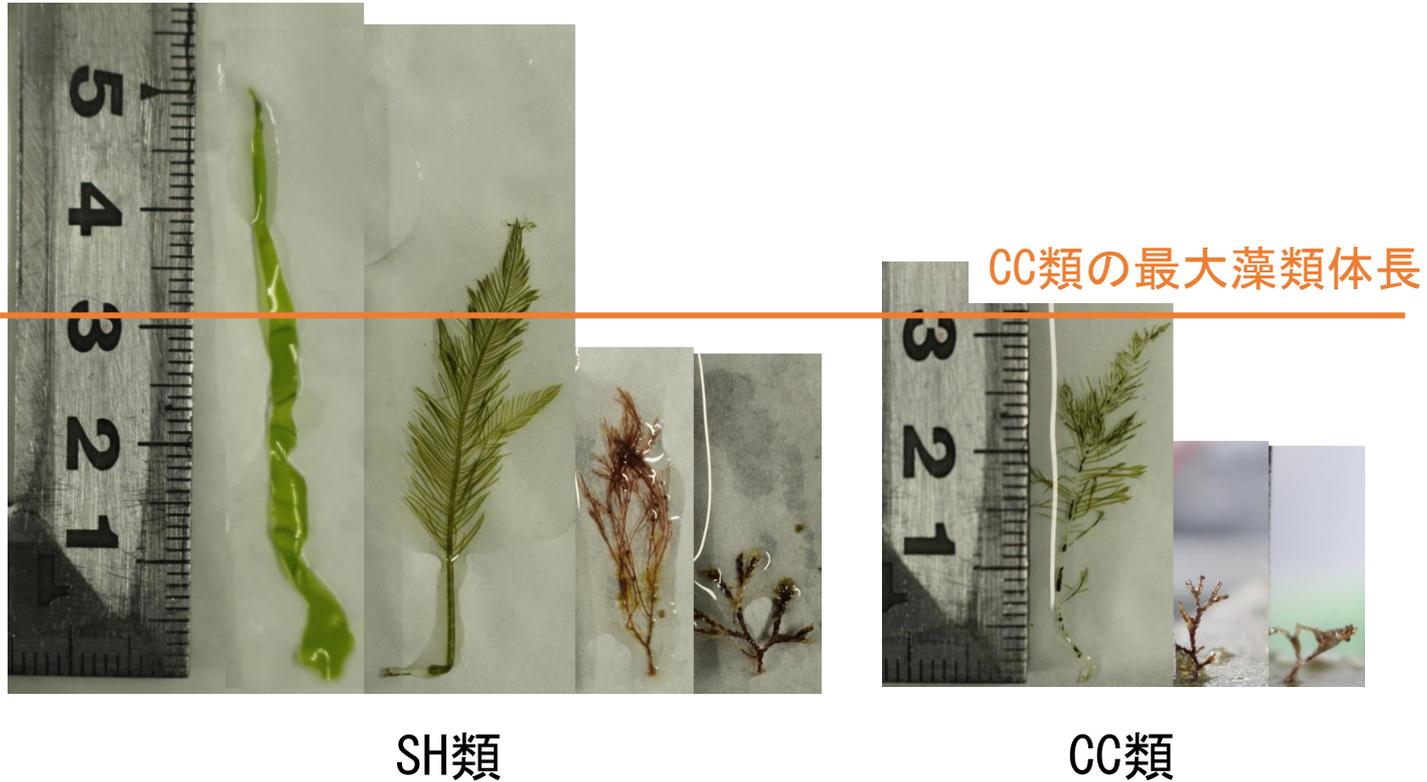
《暴露後49日》



28日よりも藻の体長 増

結果および考察

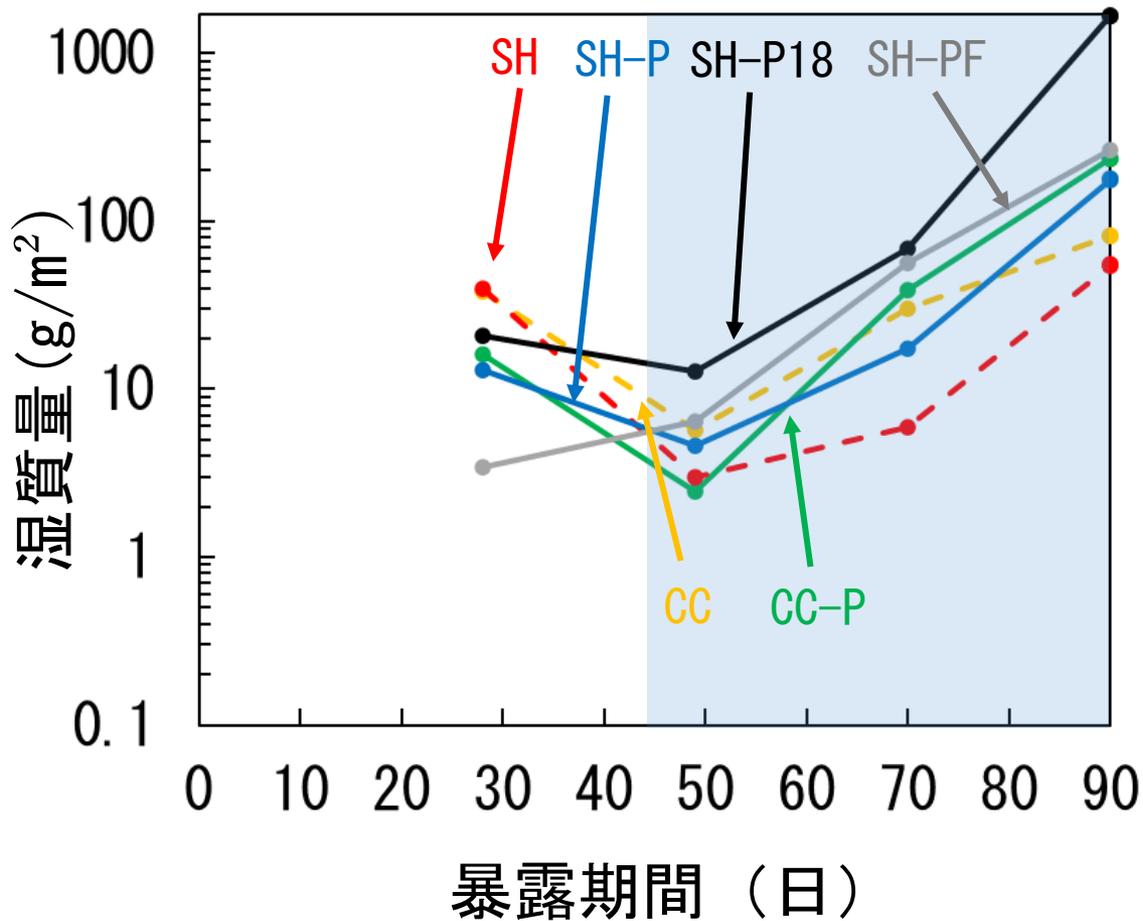
《暴露後49日》



成長良好 SH類

生物の生育に必要なFeやSiを多く含んでいるため

結果および考察



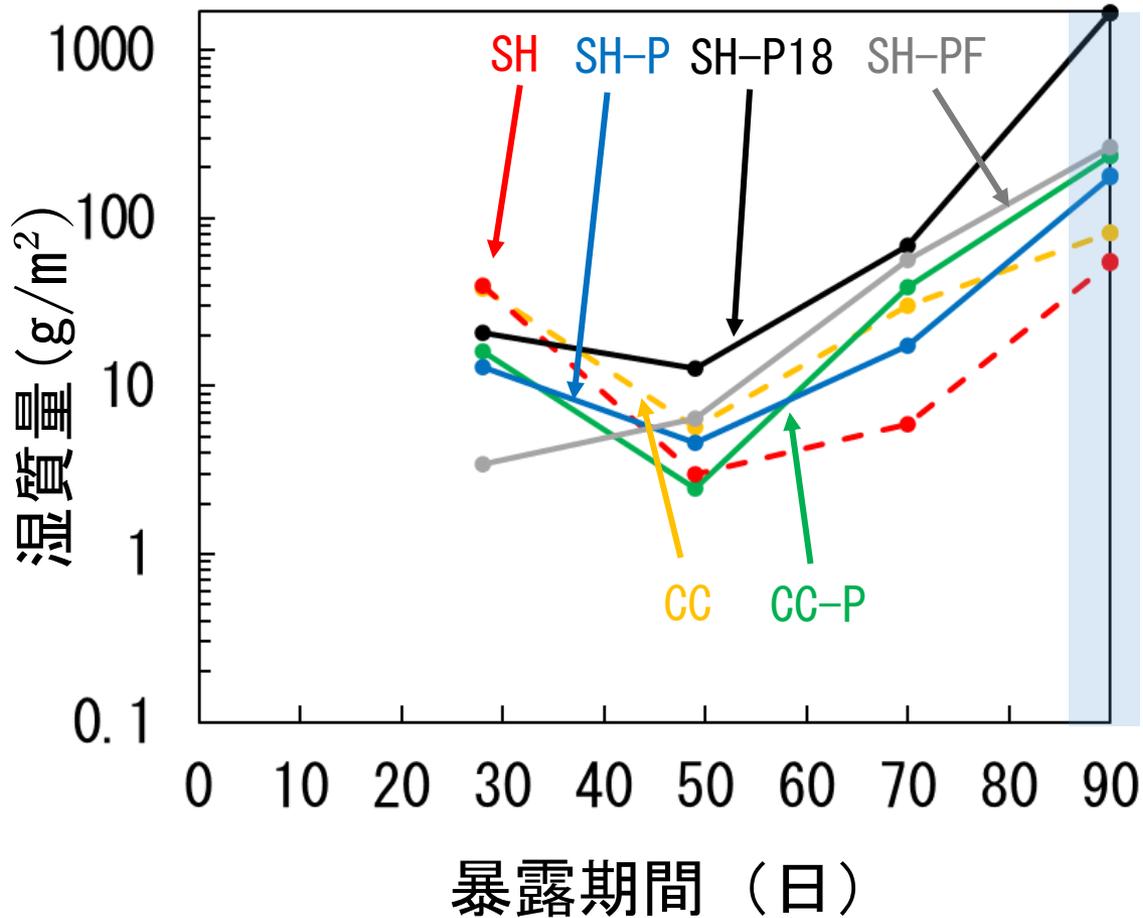
《暴露後49, 70, 90日》

藻の付着量良好

SH-P18

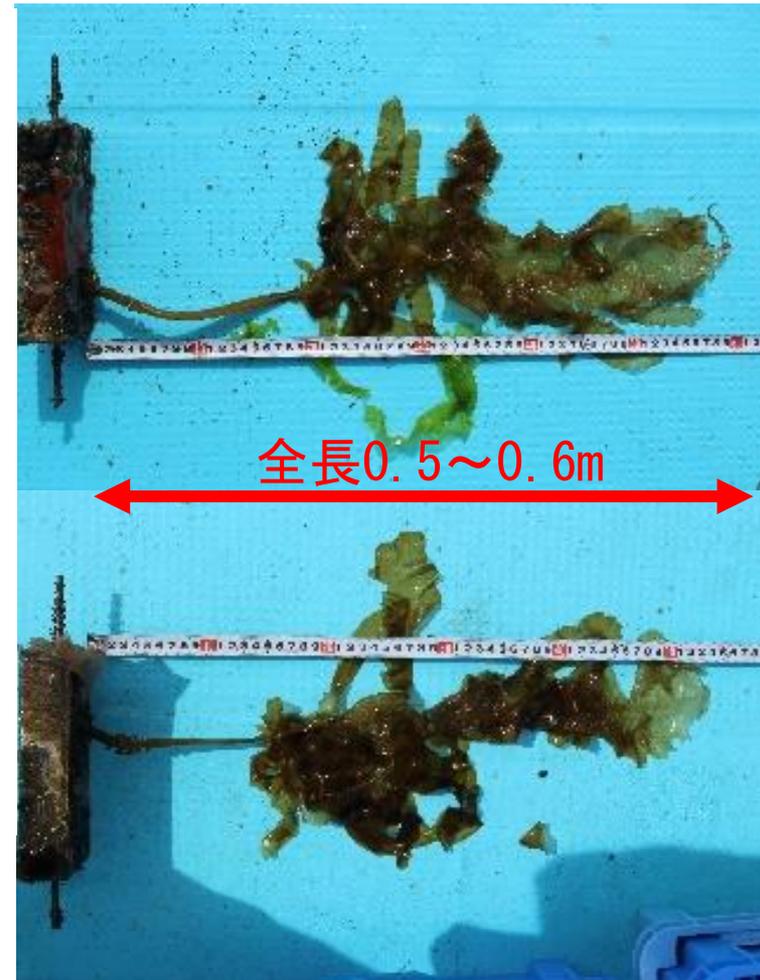
供試体別藻の付着量

結果および考察



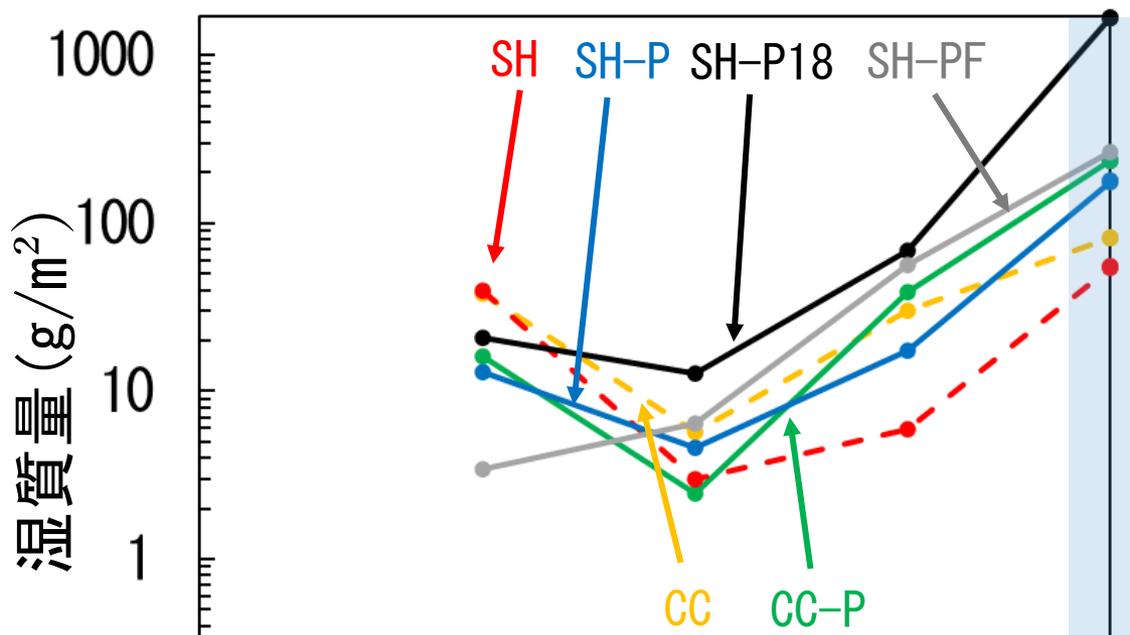
供試体別藻の付着量

《暴露後90日》

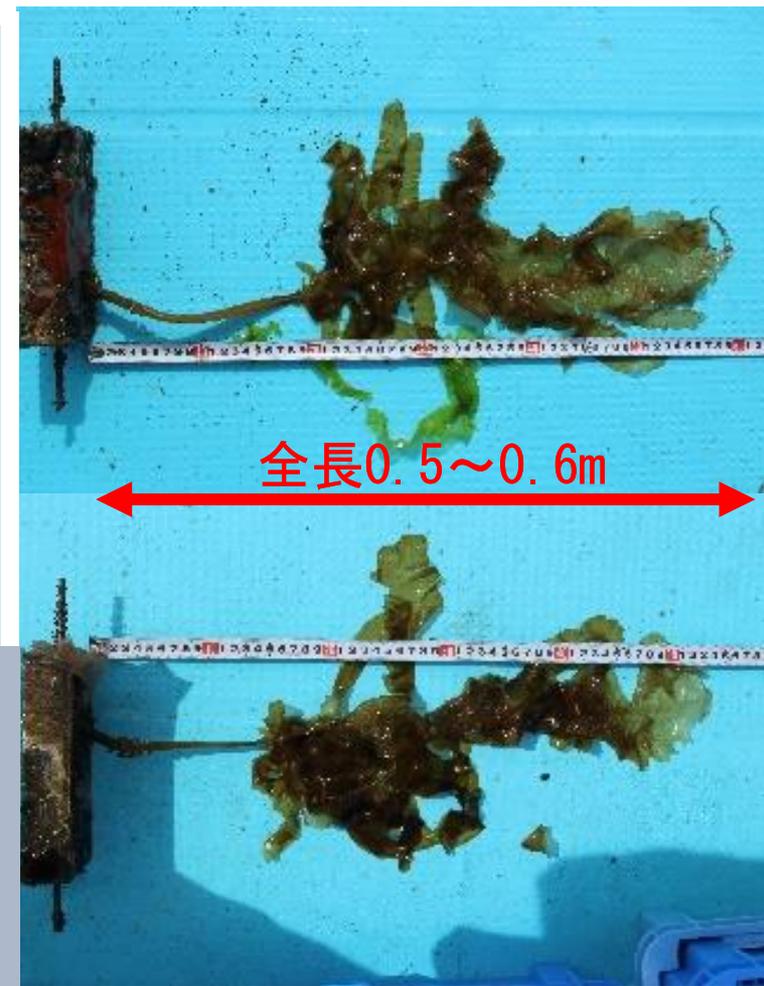


SH-P18で確認したワカメ

結果および考察



《暴露後90日》



藻の付着量良好

SH類 ポーラス状

ある程度の強度を保持している固化体が藻場造成には有効であると推察

SH-P18で確認したワカメ

結果および考察

ポーラス型供試体の暴露面



ヨコエビの棲管

ヨコエビの棲管やホヤ等の海生生物の付着の確認

→小さいながらも生態系を形成し、
食物連鎖による漁礁としての有効性も確認

まとめ

固化体の形状および配合検討

固化体の
有害物質の溶出確認

鉄鋼スラグ水和固化体が環境へ
影響を与えることは極めて小さい

藻場および漁業としての適用性検討

小型水槽での毒性実験

固化体からの
溶出物質が生体に
与える影響はない

小型ブロックによる
海中沈設実験

暴露初期段階→ポラス型
が藻の付着生，成長良好
長期的傾向→SH類が藻類の
付着，成長良好
藻場造成ブロックとして
利用可能

小型供試体による
海中暴露試験

藻の成長→SH類が早い
藻の付着率→ポラス型が
良好
ポラス型は漁礁としての
効果が期待できる

①鉄鋼スラグ水和固化体の海洋用途への適用可能

②ポラス型鉄鋼スラグ水和固化体が藻場造成ブロックに最適

統計解析などによる定量化は今後の課題とする

ご清聴ありがとうございました。