

消波根固ブロックによる水産協調技術

- 当社の取り組みのご紹介 -

2021年11月
(株)不動テトラ

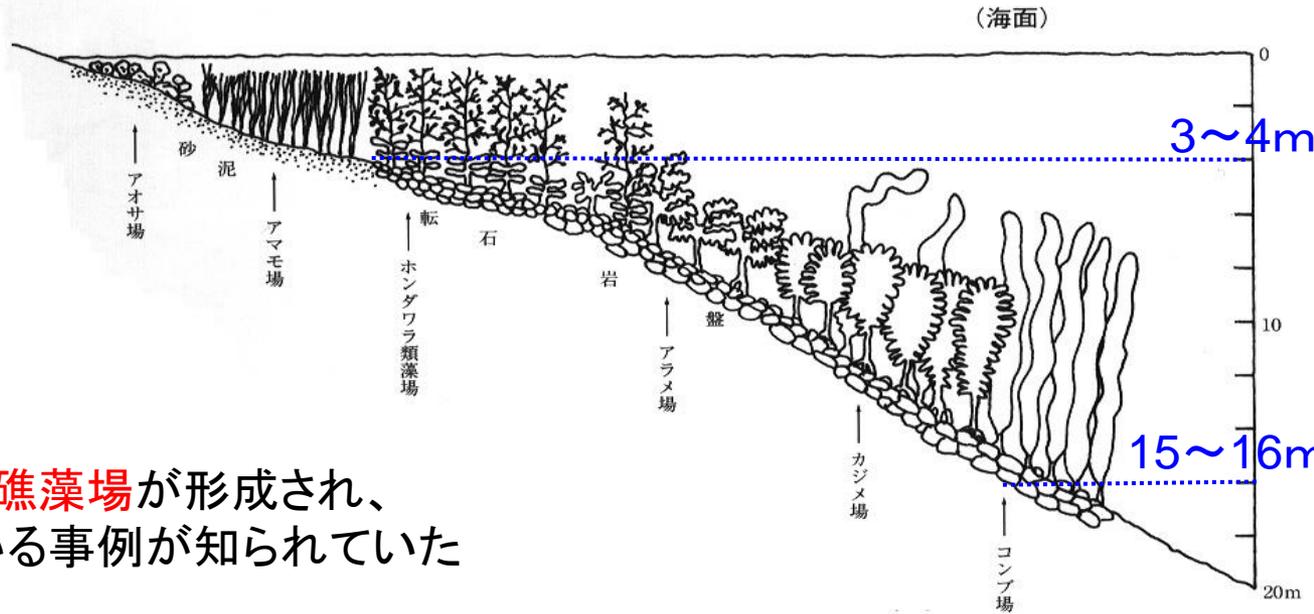
港湾・海岸構造物に使用された消波根固ブロックへの藻場の形成

・消波ブロックの使われる水深帯は、海藻の生育水深帯と同水深

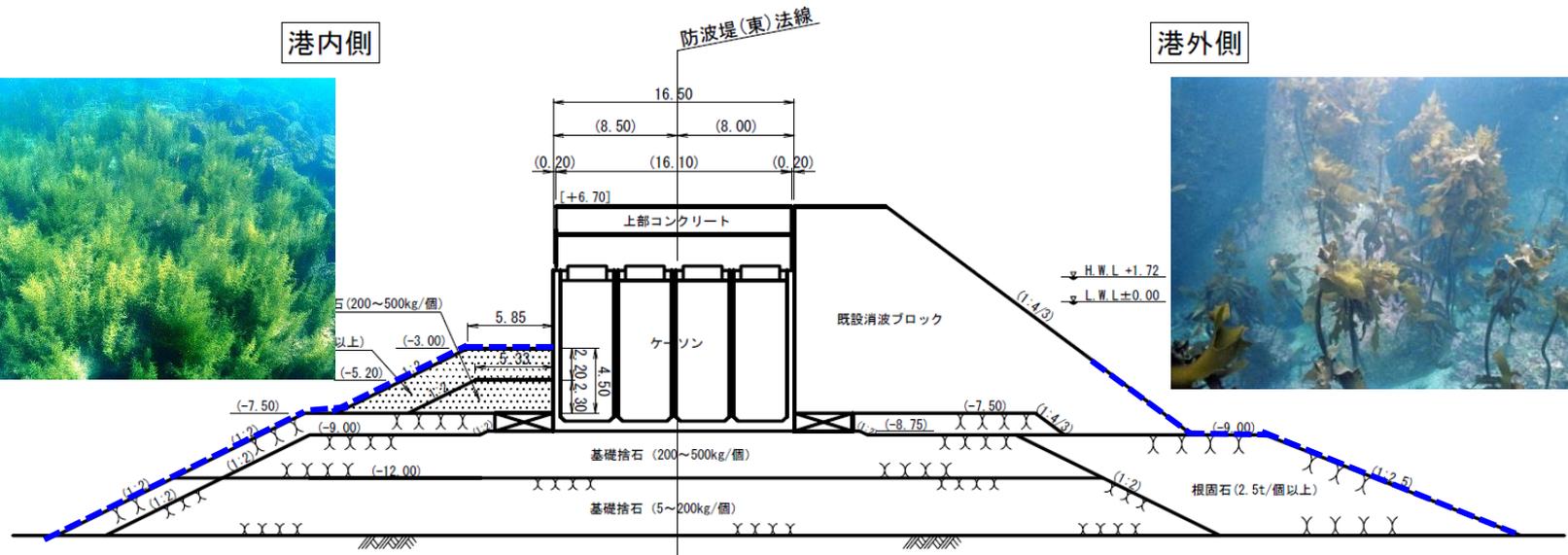
・表面積や空隙が大きく、日光が届きやすい



・従前から海藻が着生して岩礁藻場が形成され、水産生物の生息場となっている事例が知られていた



港内側



港外側



- 港湾行政のグリーン化（平成17年～）
- エコポート事業（平成6年）

環境に配慮した港湾整備の推進

- ・我が国の港湾が持続可能な発展を遂げていくためには、過去に劣化・喪失した自然環境を少しでも取り戻し、**港湾のあらゆる機能について環境配慮を取り込むことが重要**
- ・例えば、環境配慮型防波堤として透過性のあるスリットケーソンの採用や**防波堤背後のマウンドに藻場造成**、浚渫土砂の干潟造成への活用など、**周辺漁業との調和にも配慮した施設整備を推進**

※参考：水産分野「水産環境整備の推進」（水産庁、平成22年～）

- ・これまでの「点」的な漁場整備手法を見直し、生態系全体の生産力の底上げを目指して水産生物の動態、**生活史に対応した良好な生息環境空間**を創出
- ・**漁港は幼稚魚を中心とした利用が確認されており、環境基盤として有効活用を推進**

●「国土交通グリーンチャレンジ」(令和3年7月)

港湾分野: **カーボンニュートラル**の実現・**グリーン化**の推進

カーボンニュートラルポート(CNP)形成の推進

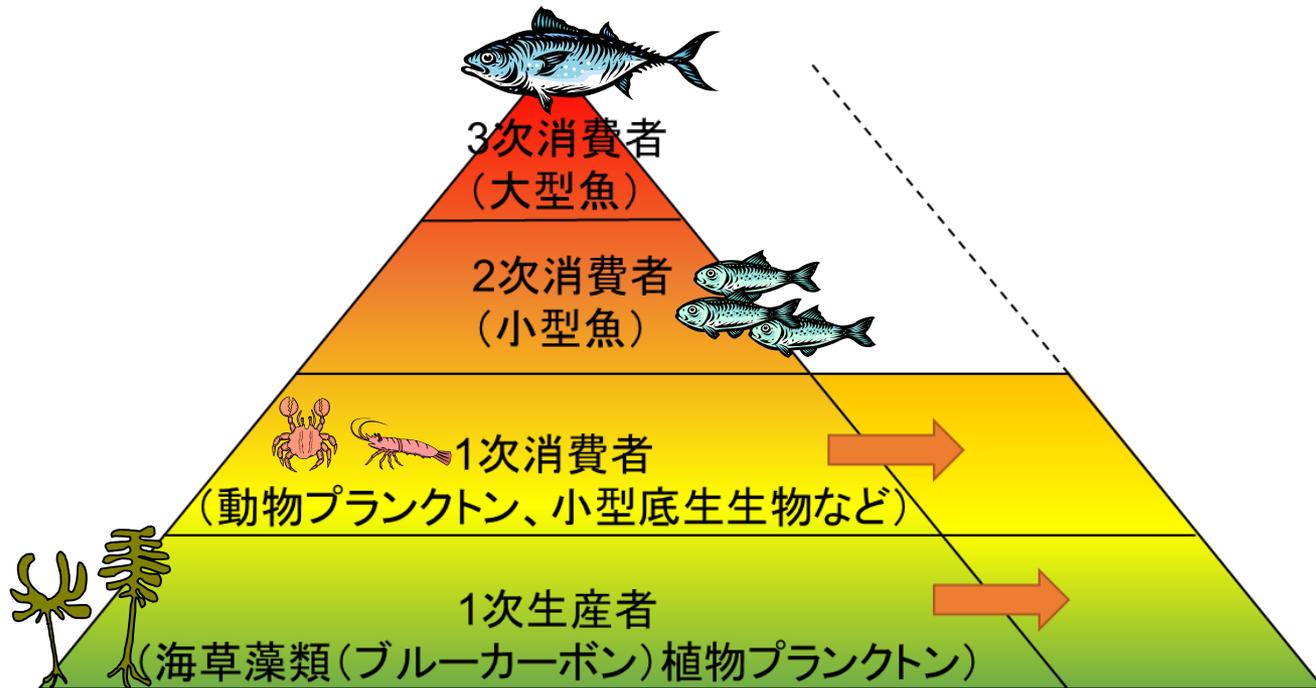
- ・水素・燃料アンモニア等の大量・安定・安価な輸入や貯蔵等を可能とする受入環境の整備や、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化等を推進
- ・名古屋港を含む6地域においてCNP検討会が開催され、今後、CNP形成計画作成のマニュアル策定等により、全国の港湾でCNP形成を推進

※ブルーカーボンを活用したCO₂吸収源対策の推進

- ・「ブルーカーボン」: 藻場・浅場等の海洋生態系に取り込まれた炭素
- ・「地球温暖化防止に貢献するブルーカーボンの役割に関する検討会」(令和元年6月～)
CNP実現に向け、対策項目の一つとしてブルーカーボンを吸収源として活用していくための具体的な検討を実施
- ・「ジャパングループエコノミー技術研究組合(JBE)」設立認可(令和2年7月)
ブルーカーボンに関する試験研究を行う技術研究組合

消波根固ブロックがグリーン化、カーボンニュートラルの実現に寄与できること

生態系ピラミッドの底辺である1次生産者や1次消費者の増加を促進し、生態系全体の生産力の底上げを図ることで、グリーン化、カーボンニュートラルの実現に寄与



そのためには、ブロック本来の**消波機能**に加えて、海藻の着生場所や水産生物の生息場所としての**水産協調機能**も高めて、**同時に発揮**する必要がある



消波根固ブロックへの水産協調機能の付加は、これまで以上に重要 5

内容

1. ブロックへの海藻の着生促進

→ブロックの表面加工や形状の改良

2. ブロックに着生した海藻の生長促進

→ブロックに貼付した水溶性ガラスから鉄やリン等の栄養を継続的に溶出

3. 魚類の餌料培養

→ブロックに貼付した貝殻構造物で魚類の餌となる小型底生動物を培養

4. ブロック工事におけるCO₂排出削減と

供用後の藻場によるCO₂吸収に関する試算(過去の研究紹介)

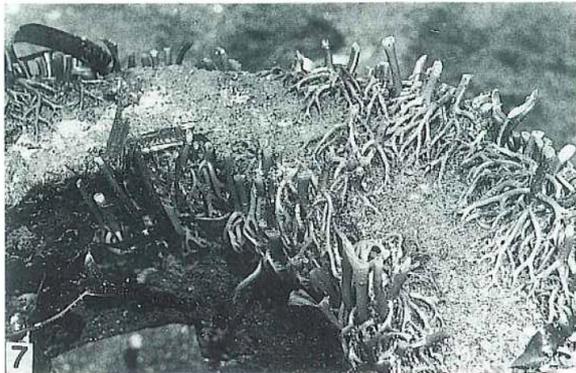
1. ブロックへの海藻の着生促進

アラメ、カジメ等のコンブ科海藻は、天然岩礁でもブロックでも、平面部よりも数cm程度の凸部や稜線部に多い

→稜線部は孢子の着生や幼体の成長を妨げる浮泥の堆積を軽減

→稜線部に着生した海藻は固着力が強く、残存しやすい

ブロックの天端部へのもう一つの着生様式は、上の場合と違って上向きの平面にはほとんどコンブが見られず、その平面の縁辺に沿ってコンブが着生することである。この様式は、縁辺の全周を鉢巻状にコンブが取り囲むこともあり、またその一部だけであることもあるなど様々であるが、とにかく天端面と側面の接する稜角がコンブの着生には好都合な様に見える。ここには円筒型ブロック（図 7）と截頭テトラポッド（図 8）の例を示すが、このように天端平面部の面積とか形にはこの着生様式は関係なく起こることが分かる。また、この着生様式はこれ以外のどのブロックでも見られることは勿論である。



図版 7～8 説 明

ブロック天端の稜角部にのみコンブが着生し、平面部には着生しない例。

(川嶋 1992)



ブロック表面加工や形状改良により、稜線部や凸部を増やし、海藻の着生を促進

①溝付きテトラポッド

- ・テトラポッドに溝をつけて稜線部を形成
- ・溝付きテトラポッドは2～80トン型まで施工実績あり
- ・アラメ・カジメ等のコンブ科海藻のほか、ホンダワラ類、マクサなども着生



カジメの着生



稜線部へのカジメの幼体の着生



ホンダワラ類の着生



マクサ(天草)の着生

溝付きテトラポッド～関空タイプ～

当社と関西空港用地造成(株)の共同開発

・海藻の生育水深帯に、環境共生型ブロックとして、溝付きテトラポッドを設置

2期建設工事の今を伝える 現場レポート 8

海のより良い環境の創造を促す 環境共生型テトラポッド

稚魚の保育に有用な藻場の創造に効果の高い緩傾斜石積護岸。その藻場創造をより早く促進するために開発されたのが環境共生型ブロックです。従来の消波ブロックの一部に溝を設け、藻が繁殖しやすいようになっています。製作コストをできる限りおさえ、環境により配慮した消波ブロックとして、2期事業の護岸部に約3200個設置されます。



環境共生型テトラポッドの施工試験

設計された環境共生型テトラポッドは、実際に型枠を容易にはずせるかなどの施工性を確認するため、試験が行われ、最終的に採用される環境共生型テトラポッドの形状が決定されます。

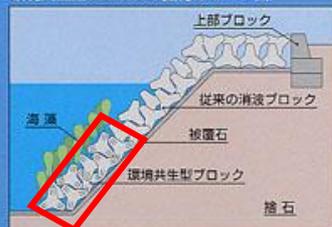


早期に大規模な藻場造成を目指した環境共生型ブロック

環境共生型ブロックは、稚魚の生育場所となるホンダワラやカジメなどの藻場を2期島の護岸部に造成することを目的に改良された消波ブロックです。すでに関西国際空港では1期島に緩傾斜石積護岸を採用し、藻場の造成に成果をあげています。2期事業では、1期島でのこうした実績をふまえ、さらに早期に規模の大きい藻場を造成すべく調査・検討を行なってきました。その結果、カジメなどの多年生の海藻の藻場の造成促進のため、既存の消波ブロックに改良を加えました。改良点は、カジメなどの根の付着機能が高い溝を付けることとし、その角度、溝の深さ、溝の幅など、施工性を確認しながら検討を行ない、最終的な形状を決定しました。



環境共生型ブロックの据付イメージ図



環境共生型ブロックは、比較的海の深いところで生育するカジメ等の藻場となるため、生育に適した水深に据え付けられます。



海の自然環境にやさしい緩傾斜石積護岸



緩傾斜石積護岸にはホンダワラやカジメなどが生育し、藻場が形成されています。また、藻場は小さな甲殻類などの生育場所となり、それを食べる魚のエサ場でもあります。藻場を舞台とした食物連鎖が形作られ、新たな生態系が創造されています。

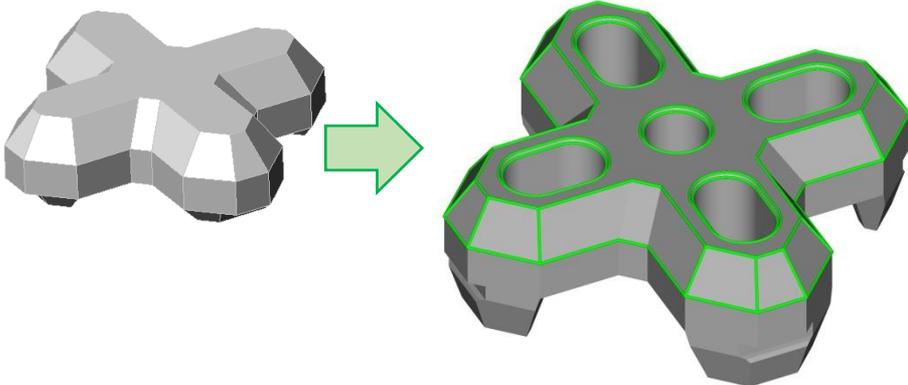
(写真は、1期建設護岸部の状況)



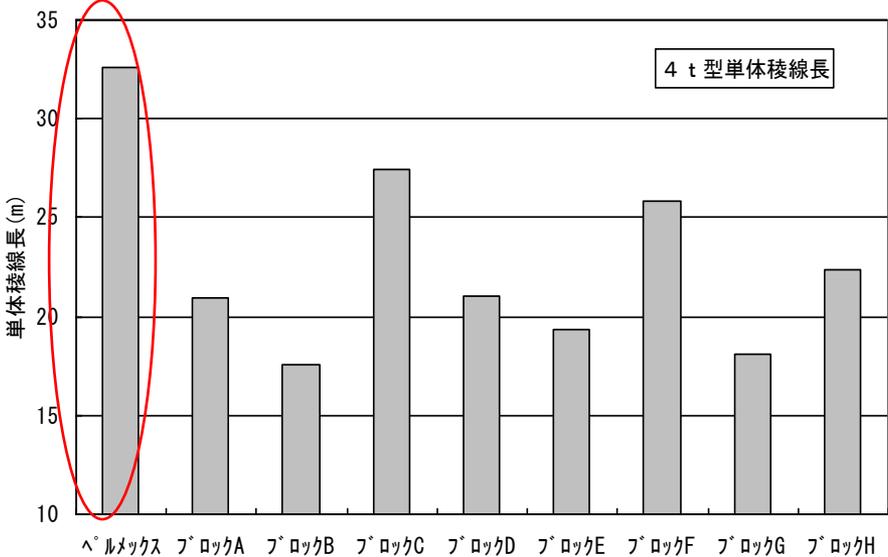
カジメとメバル

② 新型被覆ブロック：ペルメックス

・水理機能とのバランスをとりながら、開発時から**稜線部**（下図の緑色線）や**開口部**を多く配置した形状



ペルメックスにおけるコンブ科海藻が着生しやすい稜線（太陽光が当たる緑線で示す箇所）



ペルメックスと主な被覆ブロックの稜線長（4t型単体での比較）



クロメ幼体の着生状況（稜線部に多く着生が見られる）

1年半後

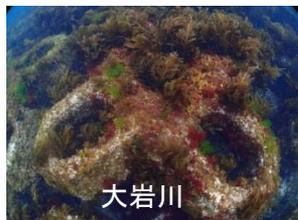
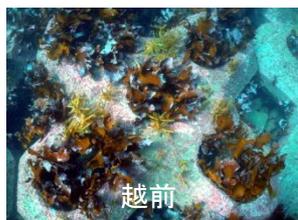


稜線部に着生した海藻が生残・生長

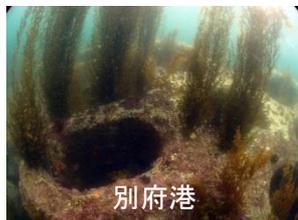
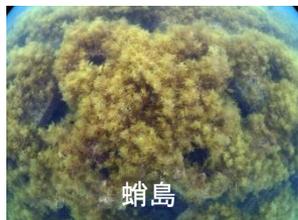
- ・4t型で、ペルメックスと主な既存の被覆ブロックの稜線長を比較
- ・ペルメックスは、4t型で稜線が30m以上

●海藻・水産動物着生事例

・コンブ科海藻の藻場(山形県大岩川漁港、神奈川県小田原漁港、福井県越前漁港)



・ホンダワラ類の藻場(石川県蛸島漁港、大分県別府港海岸)



2. ブロックに着生した海藻の生長促進

●イオンカルチャープレート

・海藻の生長に必要な鉄やリン等を水溶性ガラスにしてモルタルプレートの表面に埋め込み、**ブロックの溝に貼付**

→溝やプレートの稜線部が海藻の着生を促進し、さらに**溶出する栄養分が着生した海藻の生長を促進**

・溶出期間は約10年



イオン溶出型藻類増殖ガラス

イオンカルチャー

イオンで働きかける海の緑化

商品名: イオンカルチャープレート

プレートに埋めこんだエメラルドグリーンのガラスから、海水に溶け出したイオンが藻類に必要な栄養を与えます。

特長

- 1 海藻類や植物プランクトンに必要なリン、ケイ素、鉄等をつづつガラスをプレート化しました。
- 2 ガラスに含まれた栄養素は海水中に溶け出しイオン化されます。特に光合成を促進する鉄分は、藻類の細胞に直接吸収しやすい2価の鉄イオンとなります。
- 3 長期にわたり安定した効果が得られます。耐久性にも優れ、溶出期間の制御も可能です。
- 4 プレート化しているため、施工しやすく、サイズも手頃なため、取扱が容易です。

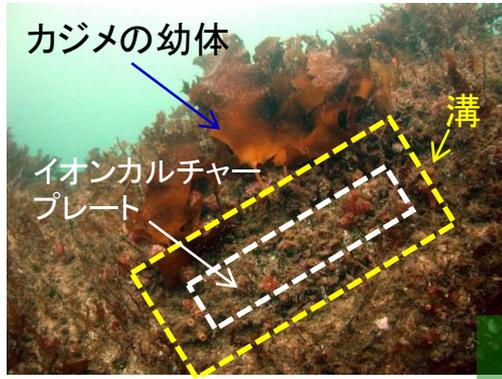
プレート系イオンカルチャーの化学組成

出量
種定年間溶出量 95%

*上記は、粒径0.6mm/20℃の場合です。溶出量は粒径、水温、流速などに影響されます。

(藻類増殖ガラスは、株式会社と東洋ガラス株式の共同開発製品です。)

形状 形状: 250×80×30mm
重量: 約1.4kg



5年後



溝・プレート付近を中心に着生

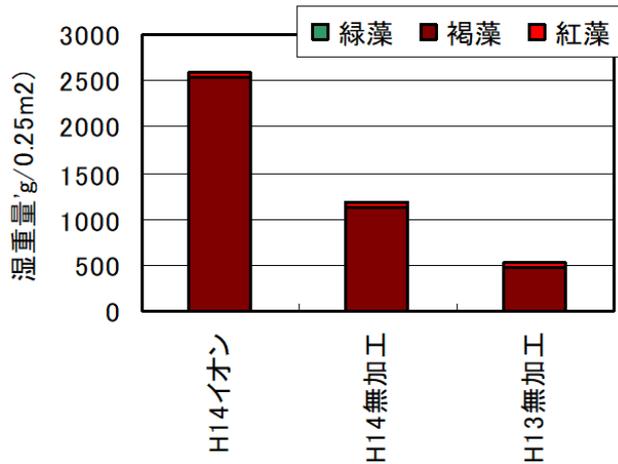
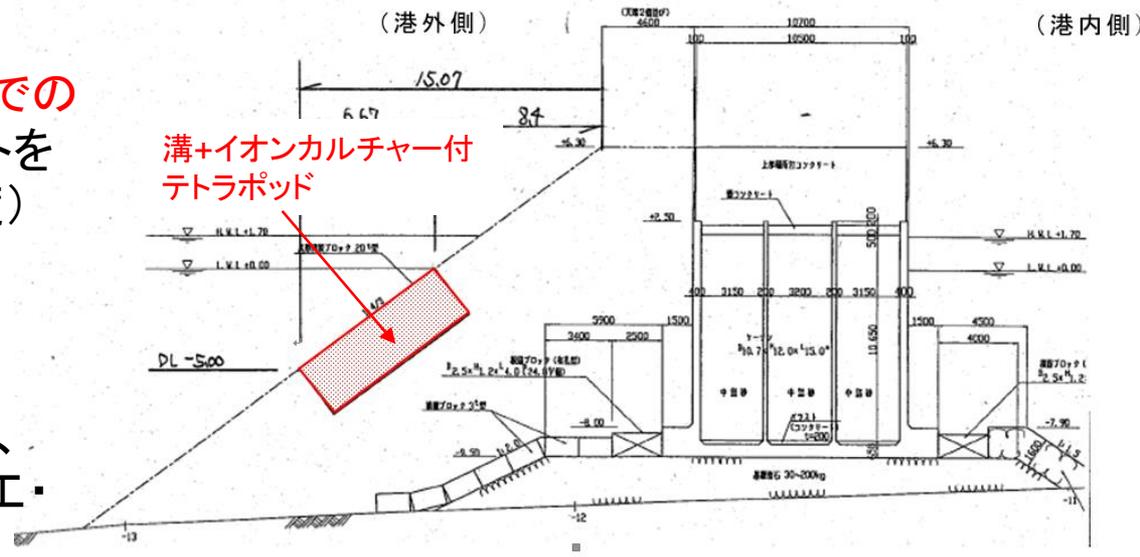
●溝+イオンカルチャー事例

●焼津漁港 南防波堤

・ワカメの着生をねらって、水深5mまでの範囲に、溝+イオンカルチャープレートを設置(平成14年度)

・施工3年後の調査結果

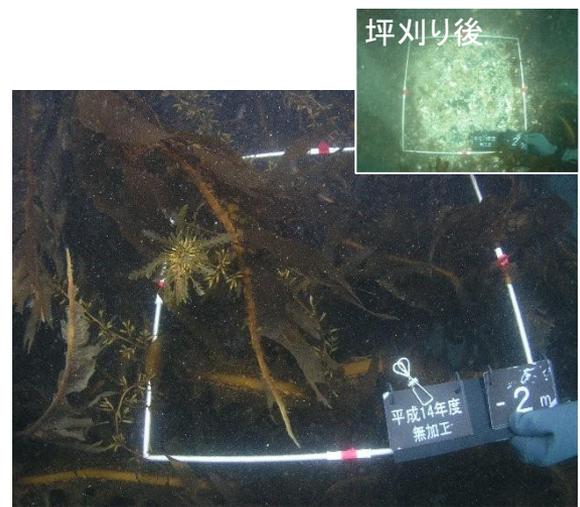
- ・優占種はワカメ
- ・イオンカルチャー付きテトラポッドと、無加工のテトラポッド(平成13年度施工・14年度施工)では、海藻の湿重量に2~5倍の差がついた



水深2mにおける坪刈り結果



H14年度施工の溝+イオンカルチャー付きテトラポッド: ワカメが優占(水深2m)



H14年度施工の無加工のテトラポッド: ワカメが優占(水深2m)

溝に着生した海藻をイオンカルチャーが生長促進

3. 魚類の餌料培養効果

● 貝殻構造物 「シェルナース」(全漁連ブランド品)

・水産系副産物であるマガキ等の貝殻をネットに詰めて海域に設置



・貝殻の小さな空隙に、有用魚類の幼稚魚の餌となる、エビ・カニ類、多毛類などの小型底生動物が多く生息→魚類への餌料の提供

・近年は水産利用のみならず、生物による水質浄化や生物多様性等を目的に、港湾でも採用

- 漁業経営安定対策
Measures for stable fishery management
- 資源管理型漁業
Fisheries oriented for proper resources management
- 水産業・漁村の多面的機能
Multiple functions of the water industry and the fishery industry
- 水産基本法とその計画
Fisheries Basic Act and its plan
- 淺場・干潟・珊瑚礁の保全
Conservation of seaweed beds, tidal flats, coral reef
- WTO対策
Measures for WTO (World Trade Organization)
- 食の安全・安心
Food safety and security
- JFブランド商品の紹介
Introduction of the JF brand products
- オイル
Oil
- ペイント
Paint
- バッテリーシリーズ
Battery series
- シェルナース
Shell nurse
- 東日本大震災復興支援
The Great East Japan Earthquake reconstruction support



貝殻リサイクル魚礁 シェルナース

海のものは海に戻す、これぞ大自然の法則。
貝殻が微生物や小型動物の棲みかとなり、魚を育て、海を育みます。
まさに、大自然の力です。



- 01. リサイクルの推進
水産系副産物である年間100万㎡メートルにもぼるカキ・ホタテ・アコヤなどの貝殻を活用し、再資源化します。
- 02. 漁業者自身が参加

シェルナースは漁業者自身で豊かな海づくりに参加していただけるプロジェクトであり、自らの漁獲増加に貢献します。

全漁連HPより



貝殻構造物への小型餌料動物の蝟集状況



貝殻構造物内の生息する小型エビ類



キジハタ幼魚



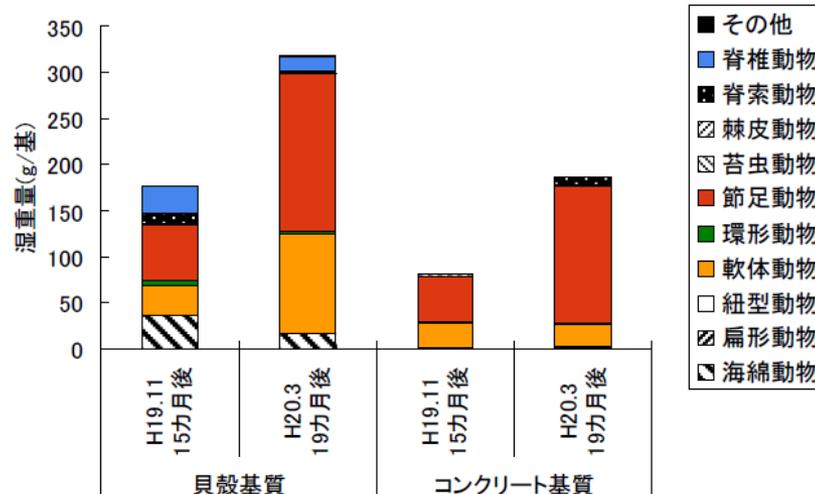
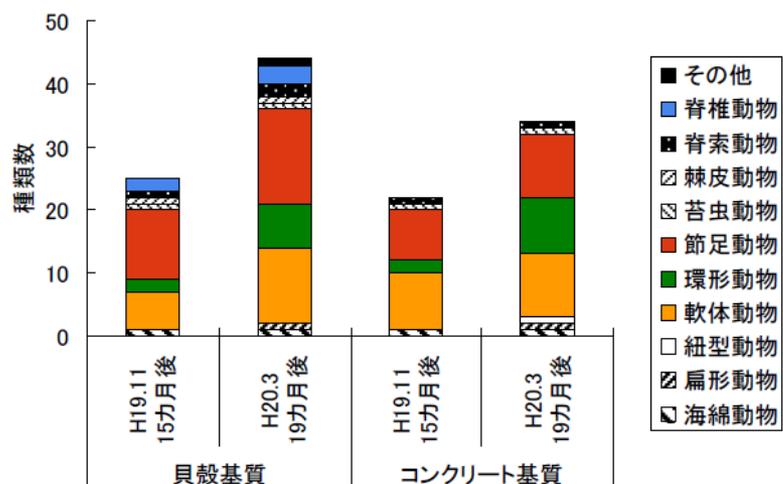
イカの卵囊

●効果調査の例（広島県呉港）

事業目的	生物生息環境の創出
調査海域	呉市阿賀マリノポリス南側護岸 水深: C.D.L.-1.0m.-3.0m
調査対象	貝殻基質および平面形状基質
設置年月	平成 18 年 8 月
調査期間	平成 19 年 11 月～平成 20 年 3 月 計 2 回
実施機関	広島県漁連、海洋建設(株)



▲貝殻基質および平面形状基質

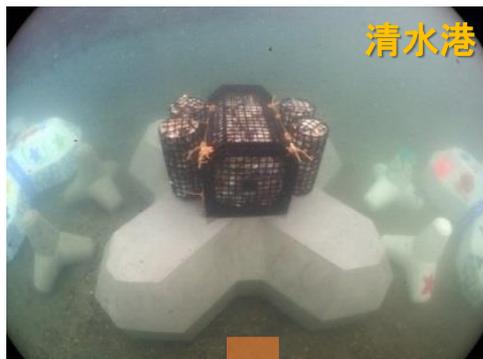


- ・2回の調査とも、コンクリート基質に比べて貝殻基質の方が、種類数・湿重量ともに多い
- ・餌料の観点から魚類が好む節足動物の湿重量も貝殻基質の方が多い

● 貝殻構造物を取り付けたブロック

・大型海藻の生育が難しい場所でも、小型底生生物の増殖により、魚類の餌料培養、生物多様性・生産性の向上、水質浄化等の効果が期待できる

・清水港と新潟港海岸で実証試験を実施し、小型底生生物の増殖効果を検証



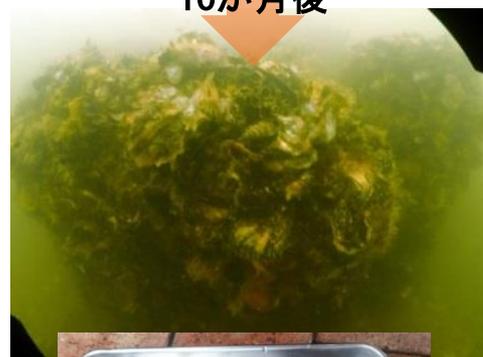
清水港

10か月後



新潟港海岸

2年後



貝殻ケース付きエキスブロック

高い安定性に加えて施工性に優れている「エキスブロック」の天端面に、環境共生効果が高い「貝殻ケース（貝藻くん）」を取り付けました。

「貝殻ケース付きエキスブロック」

特長

- ・基盤となるエキスブロックは、高い安定性と優れた施工性により、長年にわたり全国の港湾・海洋等にご採用いただいております。海藻類やカキ類などの着生効果や、サザエやアワビ、魚類などの増殖効果などを確認しています。
- ・天端面に、環境共生効果が高い「貝殻ケース（貝藻くん）」を取り付け、さらに環境共生機能を強化しました。
- ・エキスブロック 2t 型以上のトン型への取り付けが可能です。
- ・取り付け方法は、エキスブロック製作時の生コンクリート硬化前に、天端部分の所定位置に「貝殻ケース」下部のアンカー部分を埋め込むことで固定します。

（各トン型への取付方法や取付位置など、ご不明な点については、お問い合わせ下さい。）

貝殻ケース付きエキスブロック（4t 型の例）

「貝殻ケース（貝藻くん）」の概要 NETIS 登録番号：CGK-150001-A

特長

- ・「貝殻ケース（貝藻くん）」は、魚類の餌料となる小型生物の生息場を提供することで、それらを餌料とする魚類などが増殖します。
- ・着生した海藻類が伸ばした仮根が固着しやすい網目形状であり、藻場の形成を助長します。
- ・様々な小型生物が生息するので、二枚貝などの濾過性生物による懸濁物質の濾過や、ナマコなどの底生生物による堆積物の除去など、海域の浄化機能も期待できます。

効果事例 …… 全国の漁港等の静穏域において実績があります。

「貝藻くん」イメージ図
寸法：長さ60cm、幅55cm、高さ45cm
 質量：約60kg（水中質量約30kg）
 貝殻容積：31L

増殖したメダリの幼魚

貝殻付きの小型動物類

表面に着生したクロモ

（設置海域によって、着生・増殖する生物は異なります。詳しくはお問い合わせ下さい。）

【問い合わせ先】

株式会社不動テトラ
 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7-2
 TEL 03-5644-8585
<http://www.fudotetra.co.jp>

海洋建設株式会社 水産環境研究所
 〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1-75
 TEL 086-473-5508
<http://www.kaiyoh.co.jp>

護岸への適用イメージ

魚類



イシダイ幼魚



メジナ



メバル類



イカ類

アオリイカ卵囊



餌をとるイカ類

海藻類



カジメ



ホンダワラ類

貝類



イワガキ

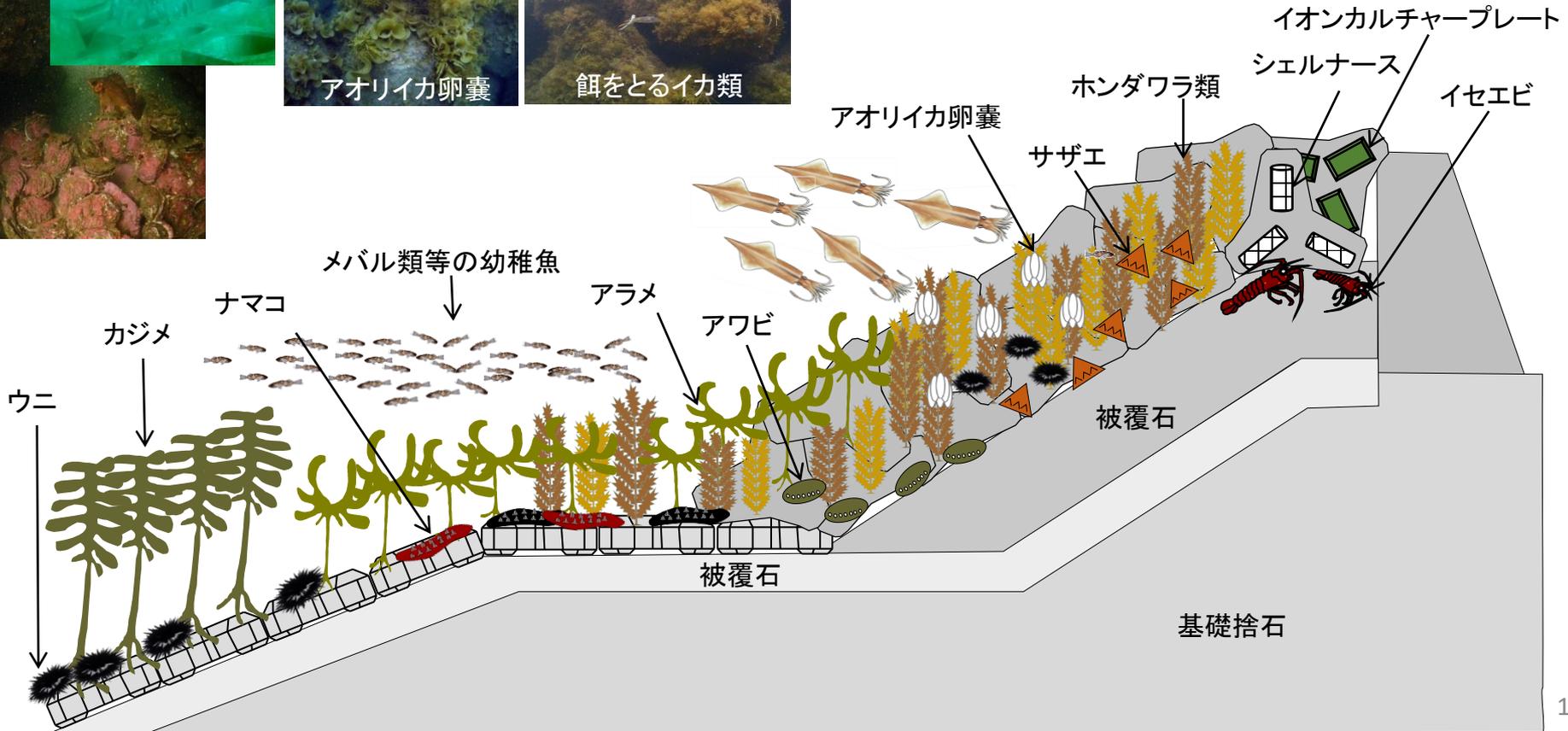
ウニ類



サザエ



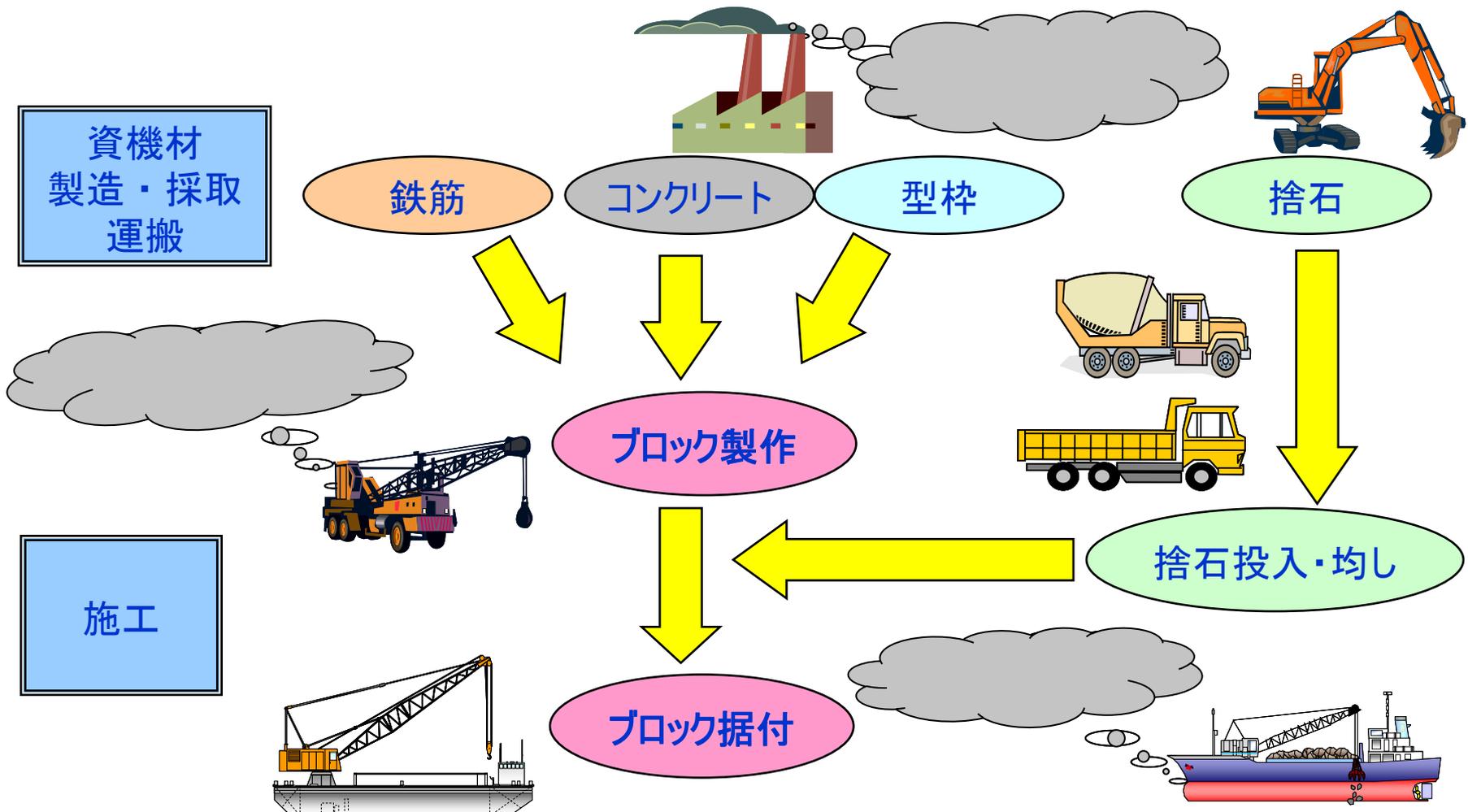
アワビ・ウニ



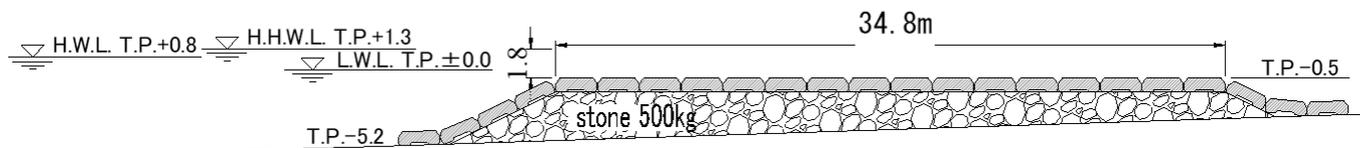
4. ブロック工事におけるCO2排出削減と供用後の藻場によるCO2吸収に関する試算（過去の研究紹介）

① ブロック工事におけるCO2の排出

ブロック工事では、コンクリートの製造や捨石の採取、それらの運搬からブロック施工までの使用機械、船舶等からCO2が排出される



●人工リーフ建設時のCO2排出量の試算



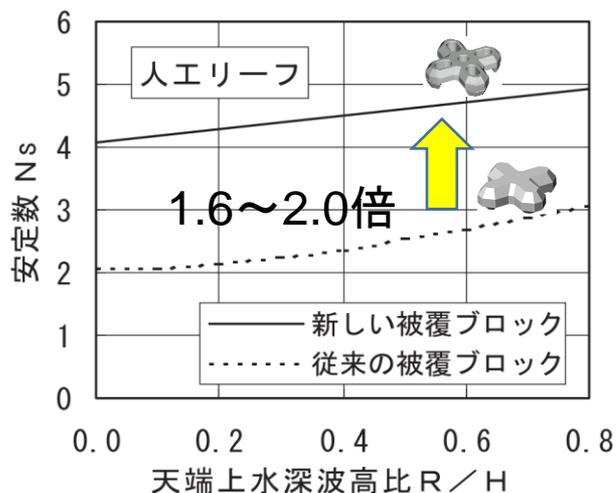
試算の対象とした人工リーフ

設計波周期 $T_{1/3}$	12.0s
換算沖波波高 H_0'	7.5m
設計波高 $H_{1/3}$	4.5m

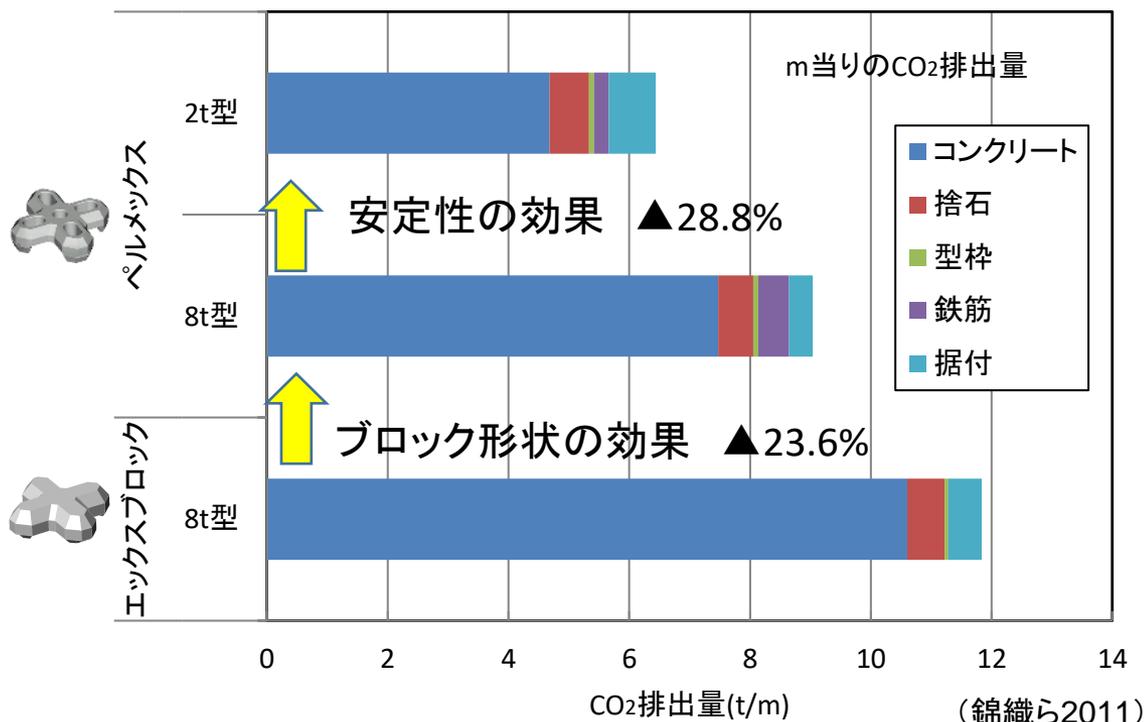
ブロックの所要質量Mを求める
ブレブナー・ドネリー式

$$M = \frac{\rho_r \cdot H_{1/3}^3}{Ns^3 (S_r - 1)^3}$$

ρ_r : コンクリート密度 ρ_w : 海水の密度
 S_r : コンクリートの海水に対する比重 (= ρ_r/ρ_w)
 $H_{1/3}$: 法先水深における設計有義波高
 Ns : 被覆ブロックの安定数



CO2排出量の違いは、
 ほぼ**コンクリート使用量に起因**(他の項目は大きく変わらない)



安定性を高めることにより、使用する**ブロックの小型化**を図れば、**コンクリート量が低減**され、**CO2排出を削減**できる

● 供用後の藻場形成によるCO₂の固定の試算

各藻場の炭素固定量の原単位の例

	長期的な炭素固定量 (kg-C/m ² /年)
ガラモ場	0.68
コンブ場	0.13
アラメ場	1.67

伊藤ら 2009

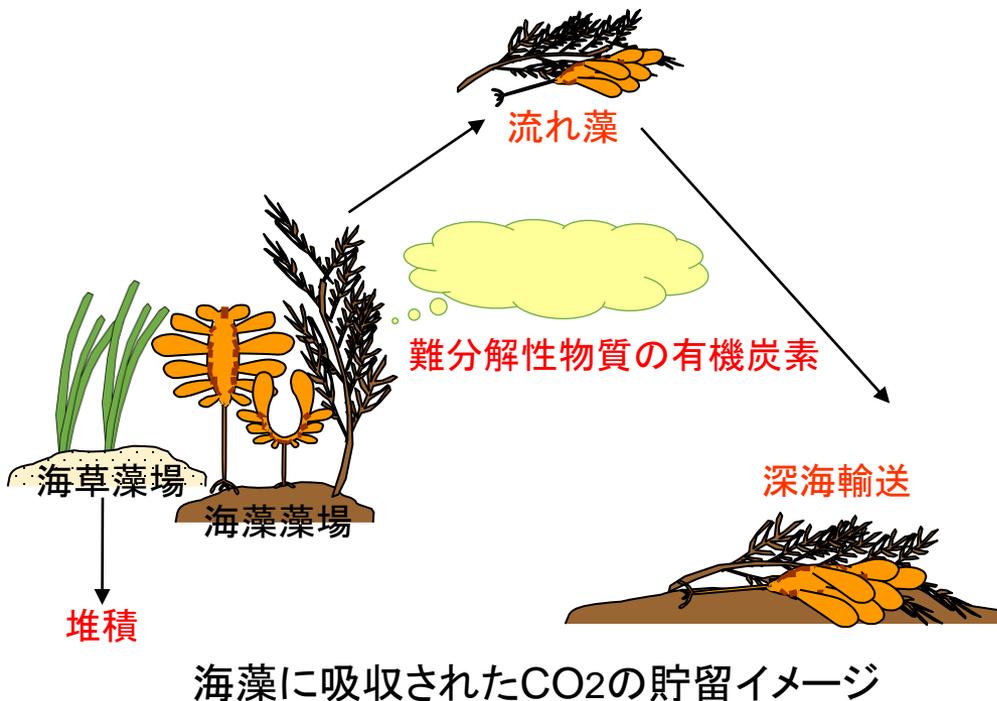


CO₂に換算して試算に使用(錦織ら2012)

IPCCガイドライン 排出係数→吸収係数
 吸収量 = CO₂吸収係数 × 活動量(各藻場の面積)

	吸収係数 (t-CO ₂ /ha/年)	
	平均値	最大値
ガラモ場	2.7	5.1
コンブ場	10.3	36.0
アラメ場	4.2	7.9

桑江ら 2019

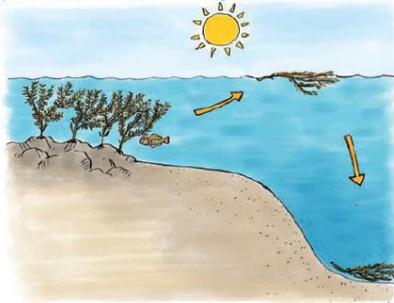


海藻の藻場

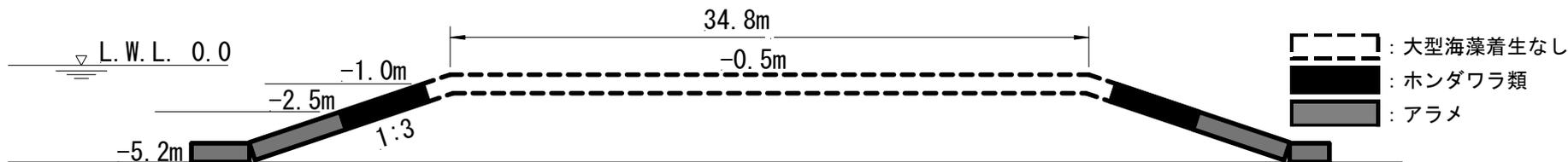
流れ藻は深海にも堆積

海藻も日光で光合成をし、CO₂を吸収する植物です。日本には、ガラモ場(ホンダワラ類)、コンブ場(寒流系のコンブ類)、アラメ・カジメ場(暖流系のコンブ類)などの海藻の藻場があります。

海藻は、ちぎれると海面を漂う「流れ藻」になります。根から栄養をとらない海藻は、ちぎれてもすぐには枯れません。とくに葉に気泡があるホンダワラ類は遠く沖合まで漂流し、やがて寿命を終えて深い海に沈み堆積。深海の海底に貯留された海藻由来の炭素も「ブルーカーボン」です。

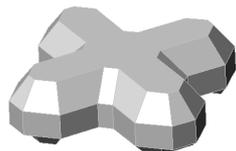


国土交通省港湾局 「海の森ブルーカーボン」より



試算の対象とした人工リーフ(排出量を試算した構造と同じ)

【8t型エックスブロック】



	水深	ブロック 個数 (個/m)	被覆面積 (m ² /m)	CO ₂ 固定量 (kg/m ² /年)	CO ₂ 固定量 (kg/m/年)
天端	-0.5m	5.2	28.1	0.00	0.0
法面	-2.5m以浅	1.1	5.9	2.49	14.6
	-2.5m以深	2.6	13.9	6.12	85.3
法先	-5.2m	1.2	6.2	6.12	38.2
計		10.1	54.1		138.1

ブロック形状の効果(稜線長1.75倍)、CO₂固定量1.42倍



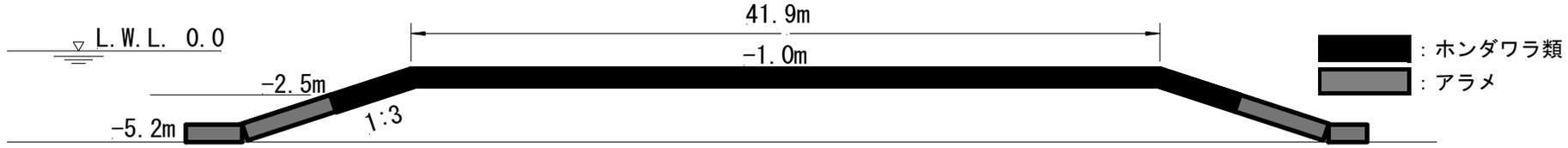
【2t型ペルメックス】



	水深	ブロック 個数 (個/m)	被覆面積 (m ² /m)	CO ₂ 固定量 (kg/m ² /年)	CO ₂ 固定量 (kg/m/年)
天端	-0.5m	9.2	26.4	0.00	0.0
法面	-2.5m以浅	2.3	6.7	2.49	16.6
	-2.5m以深	4.7	13.5	6.12	135.5
法先	-5.2m	1.5	4.4	6.12	44.3
計		17.9	51.0		196.4

(錦織ら2012)

※海藻の生息水深に構造諸元を合わせた場合



【2t型ペルメックス】

	水深	ブロック 個数 (個/m)	被覆面積 (m ² /m)	CO ₂ 固定量 (kg/m ² /年)	CO ₂ 固定量 (kg/m/年)
天端	-1.0m	11.1	31.8	2.49	79.3
法面	-2.5m以浅	1.5	4.2	2.49	10.4
	-2.5m以深	4.7	13.5	6.12	135.5
法先	-5.2m	1.5	4.4	6.12	44.3
計		18.9	53.9		269.4

(錦織ら2012)

●今後の取組み

- ・ここに示したCO₂固定量は、CO₂固定量評価を目的としない既往の調査結果を基にした推定
- ・より詳細な当社ブロックの海藻着生データ、藻場形成後の様々な攪乱による藻場の消長や変化に関するデータを集め、精度を高めていく必要がある
- ・CO₂吸収の最新の原単位を用いた試算
- ・混成堤や護岸などの他の構造物でも試算

まとめ

- 従前より、消波根固ブロックに藻場が形成され、水産生物の生息場となっている事例が知られていたが、**消波機能と同時にこれらの水産協調機能を十分に発揮していくことは、将来のグリーン化やカーボンニュートラル実現に向けて、いっそう重要と**考えられる
- ブロックへの海藻着生促進
 - ・ブロックの**表面加工**や**形状改良**により、**稜線部を増やし、海藻の着生を促進**
- ブロックに着生した海藻の生長促進
 - ・海藻の生長に必要な鉄やリン等を水溶性ガラスをブロックに貼付し、着生した海藻の生長を促進
- ブロックで魚類の餌料培養
 - ・ブロックに貼付した貝殻構造物で小型底生動物を培養
 - ・大型海藻による藻場が難しい場所でも、魚類の餌料培養、生物多様性・生産性の向上、水質浄化等の効果が期待できる
- ブロック工事におけるCO₂の排出削減・供用後の藻場による吸収(試算)
 - ・**安定性が高い**ブロックでは、使用する**ブロックの小型化**が可能となり、建設時の**CO₂排出削減**が期待できる
 - ・**稜線を多く配置した**ブロックの使用、**海藻の生息水深帯に合わせた設計**などにより、供用開始後の**CO₂の固定量の増加**が期待できる