

コンクリートブロック上に形成された 藻場のCO₂吸収量の算定方法

廣瀬 紀一 株式会社不動テトラ 東京本店 ブロック環境技術営業部

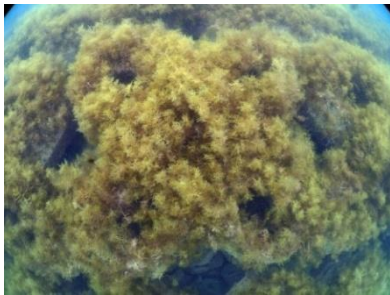


株式会社 不動テトラ

- 1.背景と目的
- 2.実海域のブロック上の海藻着生量の測定
- 3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法
- 4.防波堤におけるCO₂吸収量の算定
- 5.まとめ

【背景】

- 2050年までの政府目標のカーボンニュートラル達成
- 植物などの海洋生物により海中に取り込まれた炭素であるブルーカーボンの増加へ
- 構造物として設置されたコンクリートブロック表面には岩礁性藻場が形成
- ブロックや構造物の形状を考慮した海藻類の現存量やブルーカーボン量を把握した事例がほとんどない



【目的】

- 現地ブロックの設置状態と海藻着生状況の特徴の把握
- ブロック個体や防波堤等の構造物全体のCO₂吸収量の算定を目的

2.実海域のブロック上の海藻着生量の測定

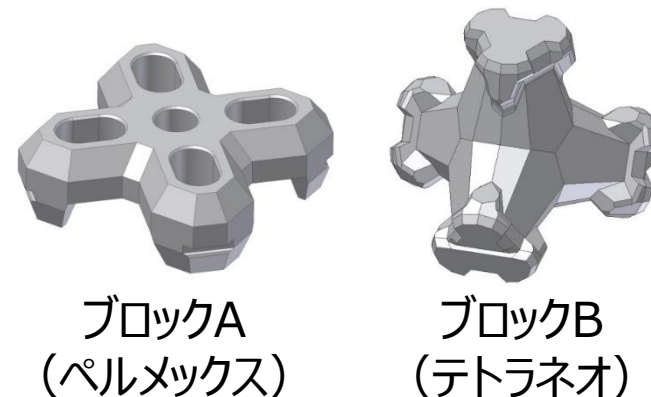
【調査対象】

- 石川県T漁港防波堤を対象
- 2014年1月から平型の被覆ブロックの**ブロックA**と立体型の消波ブロックの**ブロックB**の設置が開始
- 防波堤に各ブロック3か所合計6か所の測点を設定

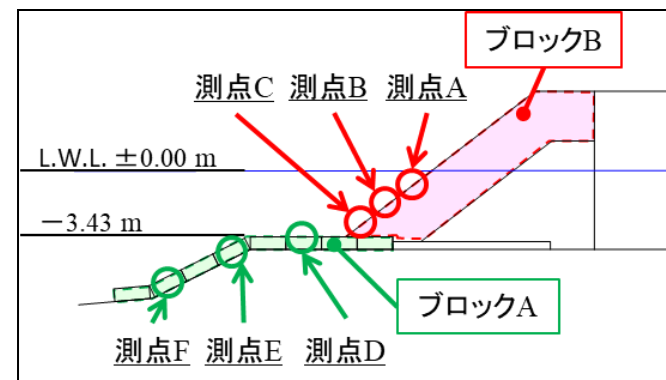


【調査の経過】

- 2015年9月～2022年5月までに4回の現地調査
- 全4回調査でブロック表面の海藻が覆う割合である**海藻被度**を測定
- 第3回と第4回調査では**海藻類を採取**、**海藻種の同定**および**海藻種別の着生量**を測定



調査回	調査時期	被度調査	海藻採取
第1回	2015年9月	●	
第2回	2017年8月	●	
第3回	2021年10月	●	●
第4回	2022年5月	●	●



2.実海域のブロック上の海藻着生量の測定

【海藻被度測定】

- 各ブロックの緑の網掛け部を対象

【海藻採取箇所の設定】

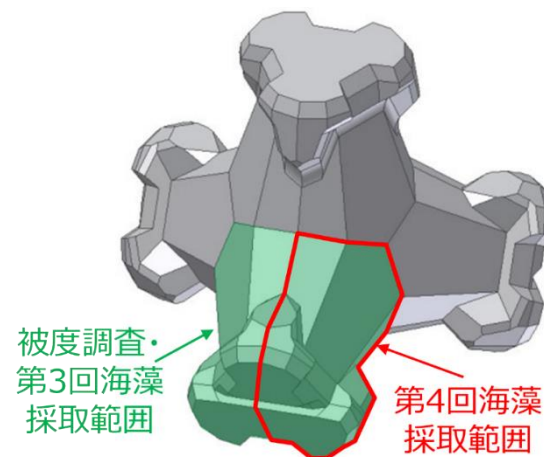
各ブロックで平均的な海藻着生状況の2か所を選定

①平型のブロックA

- 平坦なマウンド上に隣接ブロックと数cm間隔で設置
- 表面に露出した上向き面を採取箇所として設定
- 第3回調査：上向き面の全部
- 第4回調査：上向き面の1/8の範囲

②立体型のブロックB

- 設置範囲内に様々な方向でランダムに設置
- 第3回調査：1脚部分
- 第4回調査：1脚の1/2の範囲
- 鉛直以下面や被遮蔽面が含まれる



裏側に鉛直以下面や被遮蔽面が含まれる

2.実海域のブロック上の海藻着生量の測定

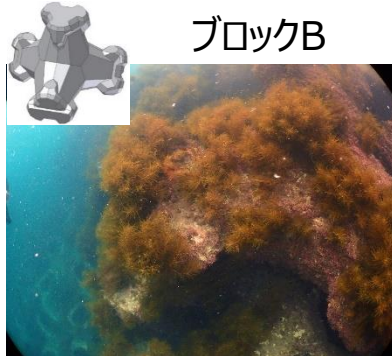
【海藻採取状況（一部）】

第3回調査

ブロックA

ブロックB

採取前

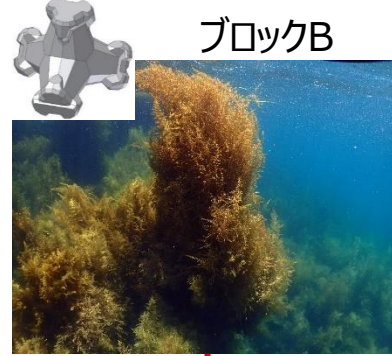
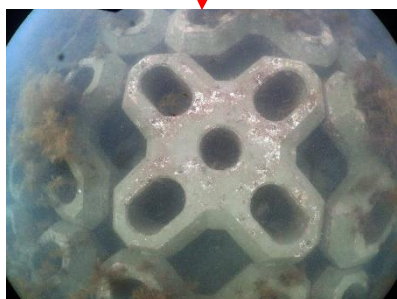


第4回調査

ブロックA

ブロックB

採取後



ブロックBのホンダワラ類着生の特徴

「乱積み」は様々な傾きの面がランダムに配置されているが、ホンダワラ類はほとんど上向き面に着生している。



2.実海域のブロック上の海藻着生量の測定

【現地調査結果】

各ブロックともガラモ場が形成

①被度調査

- 調査時期、対象測点の位置、測点数は異なるが各測点平均57.0~80.3 %
- 各調査時の各ブロックの平均53.9~84.3 %

②海藻採取調査 (1m²あたりの湿重量)

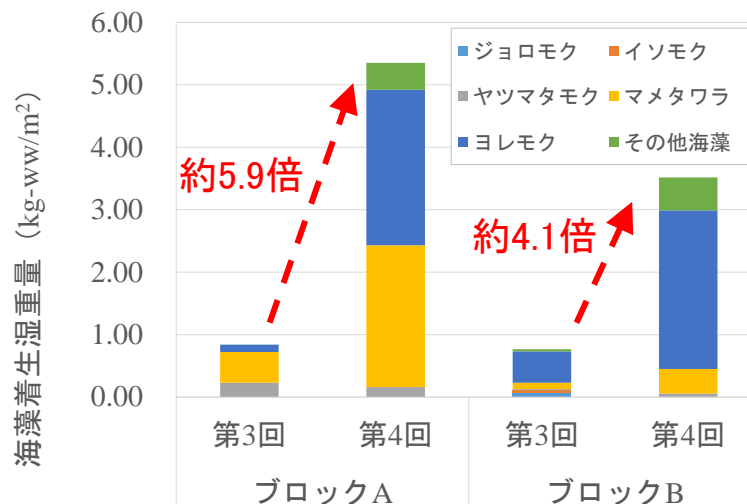
- 第3回：各ブロック1kg未満
- 第4回：ブロックAは約5.9倍 4.92kgに増加
ブロックBは約4.1倍 2.99kgに増加
(ホンダワラ類)
- 時期が異なると着生量が異なる

③海藻着生状況

- ブロックA：上向き面のみ
- ブロックB：鉛直以下面や被遮蔽面にはホンダワラ類の着生が少なく、上向きの面に多く着生

被度調査結果

場所	測点	水深	第1回	第2回	第3回	第4回	平均
			2015年 9月	2017年 8月	2021年 10月	2022年 5月	
ブロックB	A	約1.0 m	45.0	62.5	62.0	58.3	57.0
	B	約2.0 m	87.5	68.8	70.0	95.0	80.3
	C	約3.0 m	82.5	66.3	60.0	87.5	74.1
	平均		71.7	65.8	64.0	80.3	70.4
ブロックA	D	約3.5 m	81.0	82.9	66.0	68.3	74.5
	E	約4.0 m	79.0	82.9	56.0	53.3	67.8
	F	約6.0 m	84.0	87.1	58.0	40.0	67.3
	平均		81.3	84.3	60.0	53.9	69.9



3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法

【海藻着生面積の算定】

①ブロックA（平型）

- 格子状に敷き並べて設置
- 海藻類が上向き面のみ
- 上向き面の面積に単位面積当たりの海藻着生量を乗じて全体の海藻着生量を算定

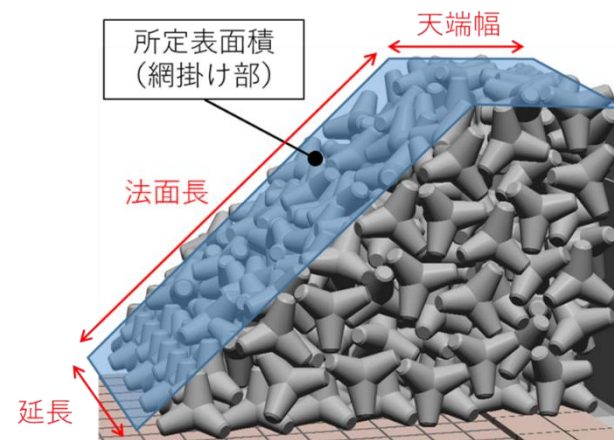
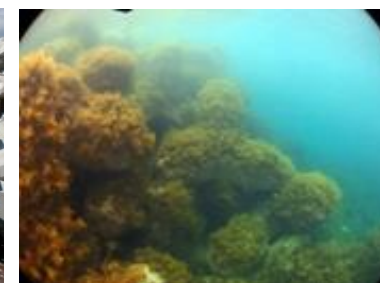
ブ
ロ
ッ
ク
A



②ブロックB（立体型）

- 設置方法「乱積み」
- 設計時の所定の設置範囲である消波工の「天端幅」「法面長」「延長」の平面の表面積を「所定表面積」
- 所定表面積と乱積みの表面積との比率を「立体型ブロック乱積み表面積比（乱積み比）」
- 所定表面積と乱積み比の積に単位面積当たりの海藻着生量を乗じる海藻着生量の算定方法を検討

ブ
ロ
ッ
ク
B



3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法

【乱積み比の検討】

- 立体型ブロックの形状は多種多様
- 個々の形状による算定は容易ではない
- 「**単純形状で簡易的**」「**個々形状で詳細**」の2通り

【単純な形状をモデル化】

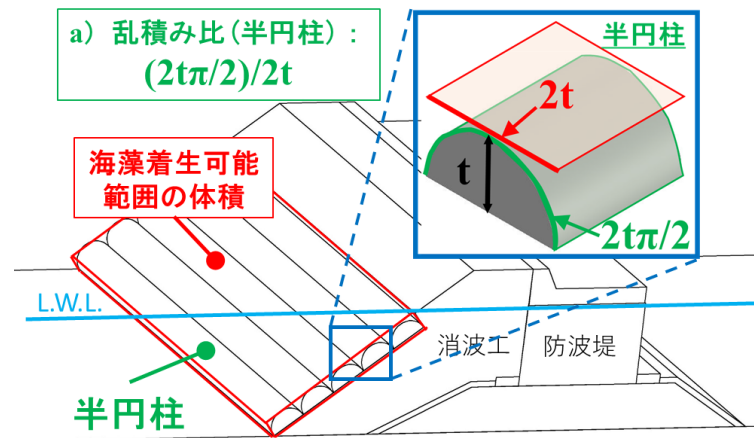
- 簡易的に「乱積み」を単純な形状を用いてモデル化する算定方法を検討
- 消波工の法面から消波工内側垂直方向に「距離t」の範囲に海藻類が着生すると仮定

①半円柱モデル

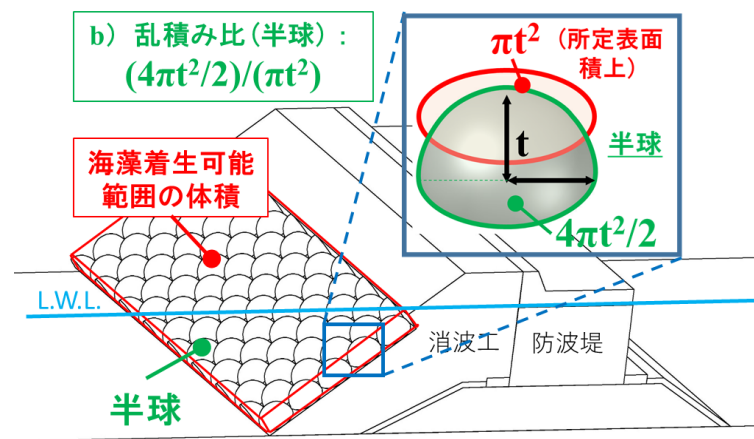
- 半径tの半円柱とした場合
- (円周/2) / 直径 : **乱積み比 (半円柱) 1.57**

②半球モデル

- 距離tの範囲に最大半径tを含めた複数の半球を用いた場合
- 半球表面積/円面積 : **乱積み比 (半球) 2.0**



半円柱モデルのイメージ



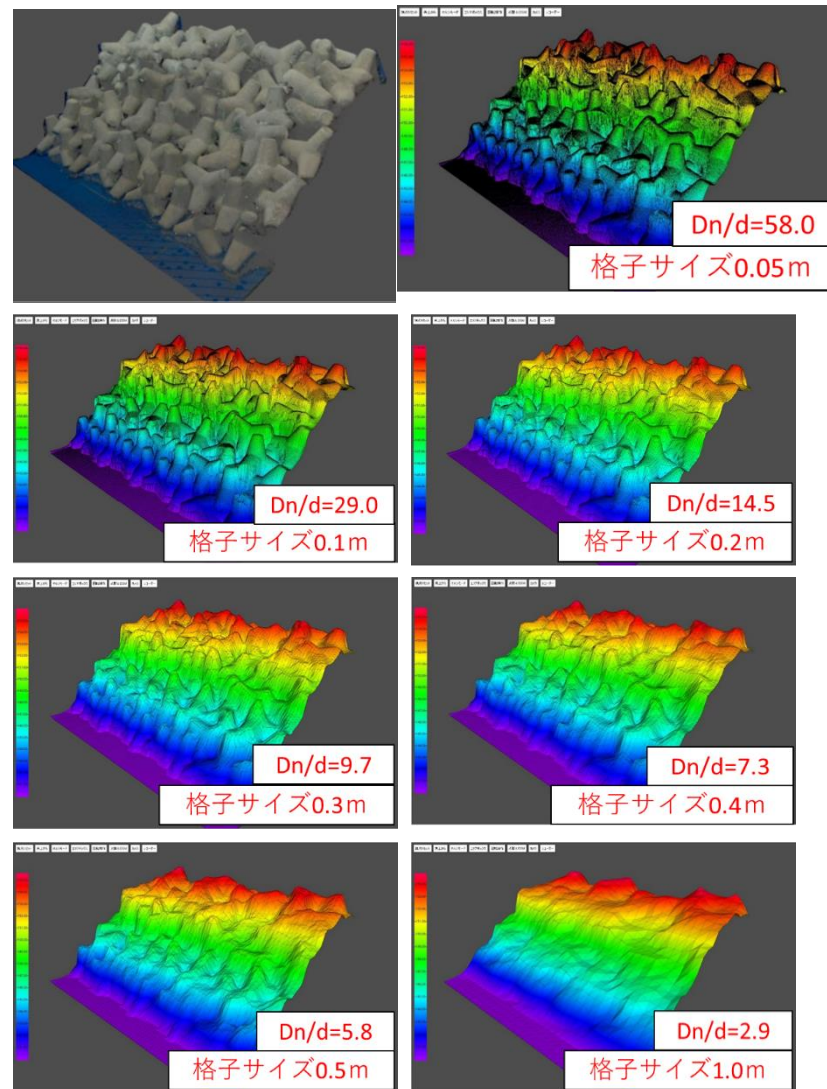
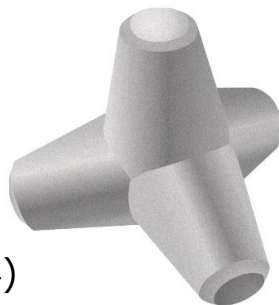
半球モデルのイメージ

3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法

【模型の乱積み3次元データ】

- ブロックCを対象
- ブロックC64t型縮尺1/70模型の乱積み消波工の点群データを3Dハンディースキャナで取得
- 点群データから面データを作成
- 凹凸部含む3次元表面積を「**計算表面積**」とし所定表面積との比 → 乱積み比 (3D) を算出
- 水平面における格子サイズd(m)ごとに10通りの面データを作成
- 同作業を10回繰り返し
- dとブロック体積の3乗根の代表径Dn(m)との比「**Dn/d**」で表示
- dが小さいほど消波工の凹凸が再現され実際の表面積に近づく

ブロックC
(テトラポッド)



3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法

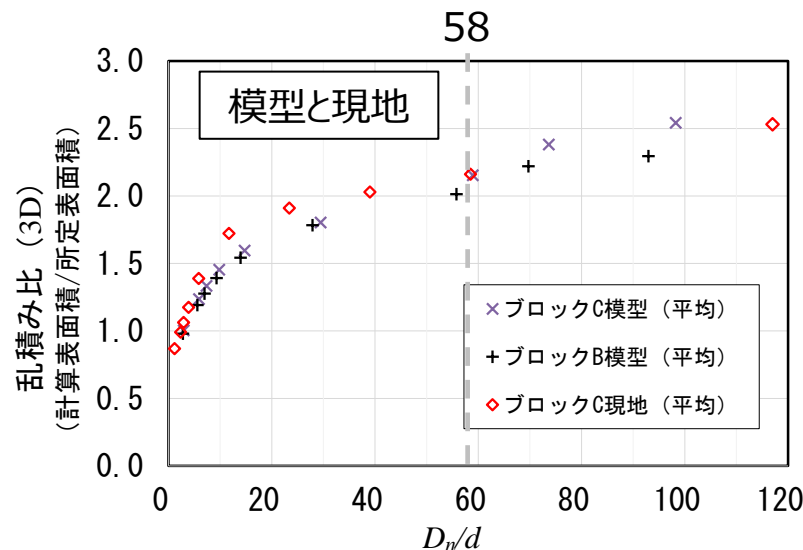
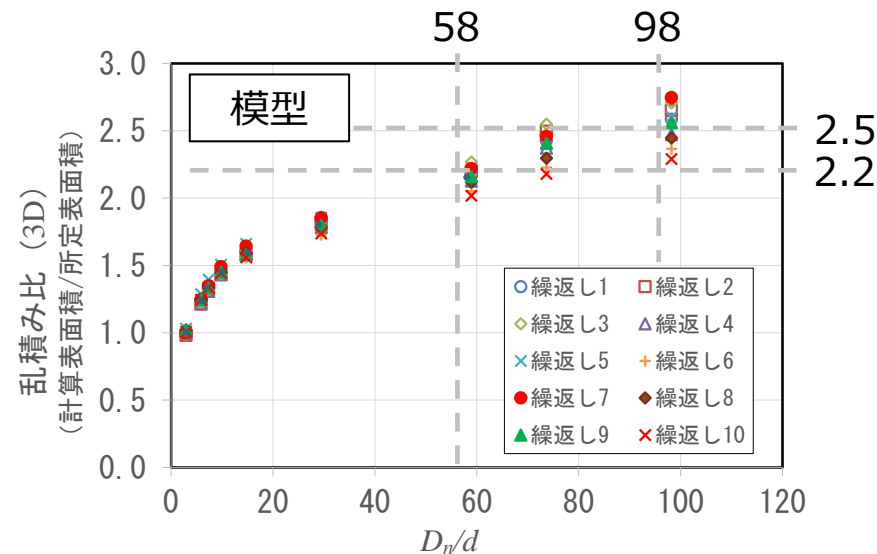
【Dn/dと乱積み比（3D）との関係】

① 模型の乱積み3次元データ

- Dn/dが大きくなると乱積み比も増加
- Dn/d=58で2.2を越えると概ね収束
- Dn/d=98で平均が2.5程度
- Dn/dを58以上で乱積み構造を詳細に再現することが可能

② 現地設置の乱積み3次元データ

- 「模型」結果の検証
- 神奈川県F護岸に設置されたブロックC
- 「DJI社製Phantom 4 Pro V2.0」で写真測量により3次元点群データを取得
- 任意3区間（1区間延長50m）を対象
- 現地（凡例◇）は模型（凡例×）と比較するとDn/d = 58未満では大きく、58以上では同等
- ブロック形状が同じ、設置方法も同じ場合、乱積み比（3D）が同等になると想定



【栄養分付加による海藻着生量の増加技術】

- 藻類の生長に必要な栄養成分の供給技術の利用することで藻類の増殖によりCO₂吸収量が増加する可能性が高い
- 鉄イオン等を供給する藻類増殖材（イオンカルチャー）を実海域試験で検証

イオンカルチャープレート



- 鉄、リン等を溶出するガラスをプレート化
- 長期にわたり安定して成分が溶出

- 25×8×3cm
- 約1.4kg

3.コンクリートブロックにおける海藻着生量の算定方法

【栄養分付加による海藻着生量の増加技術】

①静岡県御前崎港防波堤（東）ブロック

- ブロック上のカジメ伸長度が4か月間で約1.47倍

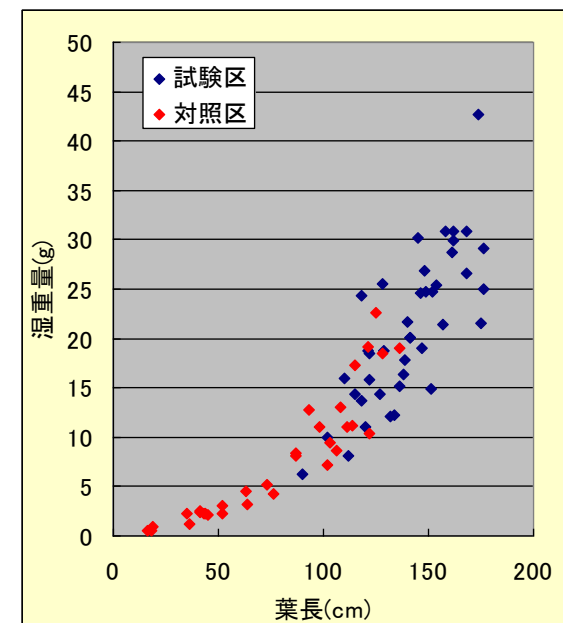


②北海道乙部町で砂地上のブロック上の

- ホソメコンブの平均現存量が対照区の約5.4倍
- ホソメコンブの葉長と湿重量の平均値が対照区との比較で葉長約1.8倍、湿重量約2.7倍



CO₂吸収量の算定のための海藻着生量を試算する場合に乗算できる可能性高い



4.防波堤におけるCO₂吸収量の算定

【JBEの被度階級による海藻着生量の試算】

- 現地調査の海藻被度と海藻着生量とJBEの被度階級の海藻湿重量を比較

①ブロックA

- 第3回と第4回の被度がほぼ同じだが海藻着生量は大幅に異なる
- JBEでは海藻湿重量が同じ
- (上記理由) 着生面より上方向に葉体が伸長するホンダワラ類などは十分に生長していない時期でも海藻被度は高い

②ブロックB

- 第4回調査でブロックAより平均被度は高いが着生量は少ない
- 乱積みにおける被度や採取場所の設置に影響する可能性が高い

対象	調査回	調査時測定		JBE ²⁾		
		海藻着生湿重量	海藻被度平均	被度階級	海藻湿重量	海藻乾燥重量
		kgWW/m ²	%		kgWW/m ²	kgDW/m ²
ブロックA	第3回	0.84	60.0	4	3.43	0.52
	第4回	4.92	53.9	4	3.43	0.52
ブロックB	第3回	0.73	64.0	4	3.43	0.52
	第4回	2.99	80.3	5	11.44	1.72

表 3-6 被度階級と湿重量の関係

藻場タイプ	関係式 ※ () 内はR ² : 決定係数とn: 標本数	整理データ ^{※2}
アマモ場 (アマモ属)	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.9146 × e ⁻ (0.2771 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.0731, n=17)	オオアマモ、タチアマモ、アマモ、コアマモの春季、夏季のデータ
アマモバ (南方系)	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.0176 × e ⁻ (1.0195 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.5043, n=8)	ウミシヨウブ、ベニアマモ、リュウキュウスカモ等の夏季のデータ
ガラモ場	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.0279 × e ⁻ (1.2032 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.684, n=42)	ガラモ場、タマハハキモク、ホンダワラ科の春季データ
ホンダワラ場	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.3782 × e ⁻ (0.3839 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.4339, n=28)	ミツイシコンブ、フジメの初夏、夏季データ
アラメ場	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.0311 × e ⁻ (0.9658 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.4291, n=26)	クロメ、アラメ、ツルアラメの初夏、夏季データ
ワカメ場	湿重量 (kgWW/m ²) = 0.0673 × e ⁻ (0.7658 × 被度階級 ^{※1}) (R ² =0.2758, n=20)	ワカメ、チガイソの春季データ

※1 被度階級は p24 図 3-7 で示す区分を用いました。

※2 整理に用いたデータは以下に示すとおりです。

1) モニタリングサイト 1000 アマモ場調査、環境省、(2010年、2015年、2021年のデータを使用)

2) 港湾空港技術研究所 未発表資料

3) 電源開発株式会社 未発表資料

4) アイランドシティ整備事業 緩傾斜護岸の整備効果に係る調査結果(藻場調査)、令和2年8月、福岡市港湾空港局

JBE : ジャパンブルーエコノミー技術研究組合
Jブルークレジットを認証・発行・管理

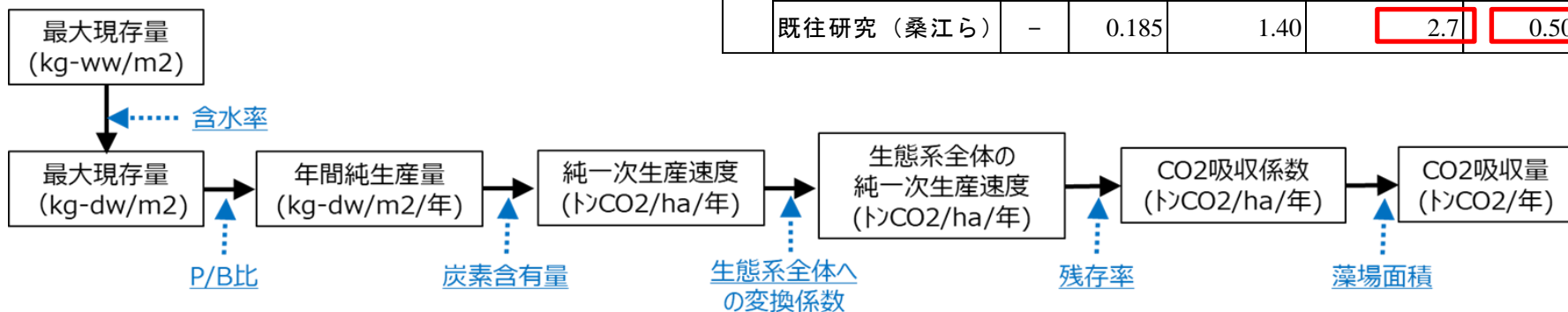
「Jブルークレジット® (試行) 認証申請の手引き」より

4.防波堤におけるCO₂吸収量の算定

【各ブロック上のCO₂吸収量の算定】

- 採取および試算の海藻着生量を使用して既往研究に倣いCO₂吸収係数とCO₂吸収量を算定
- 海藻着生量から算定したCO₂吸収係数
 ブロックA：2.71（既往研究と同等）
 ブロックB：1.66（既往研究を下回る）
- ブロックBのCO₂吸収量は「乱積み比使用」で同等または上回る
- ブロックBは「海藻着生量の測定方法」と「乱積み時の複雑な表面形状における表面積の算定方法」が算定に影響

対象	条件	乱積み比	ブロック面積	海藻生産量	CO ₂ 吸収係数	CO ₂ 吸収量
			ha	(乾燥重量) kg/m ² /年	トンCO ₂ /ha/年	トンCO ₂ /年
ブロックA	第4回着生量	-	0.138	1.37	2.71	0.374
	第3回被度 (JBE)	-	0.138	0.72	1.42	0.200
	第4回被度 (JBE)	-	0.138	0.72	1.42	0.200
	既往研究 (桑江ら)	-	0.138	1.4	2.7	0.373
ブロックB	第4回着生量 (所定表面積)	-	0.185	0.84	1.66	0.307
	a)半円柱モデル	1.57	0.290	0.84	1.66	0.481
	b)半球モデル	2.00	0.370	0.84	1.66	0.614
	c)3次元面データ (D _n /d=58.0)	2.15	0.398	0.84	1.66	0.661
	c)3次元面データ (D _n /d=98.0)	2.54	0.470	0.84	1.66	0.780
	第3回被度 (JBE)	-	0.185	0.72	1.42	0.260
	第4回被度 (JBE)	-	0.185	2.40	4.75	0.880
	既往研究 (桑江ら)	-	0.185	1.40	2.7	0.500

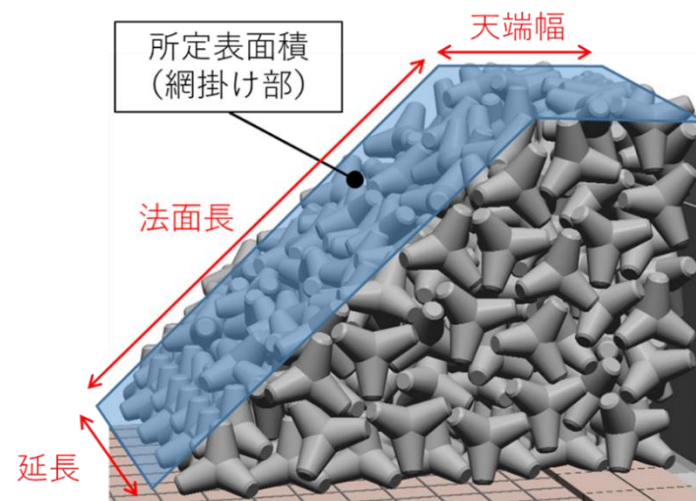
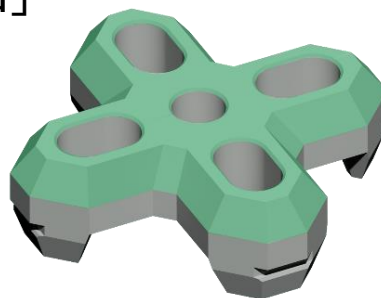
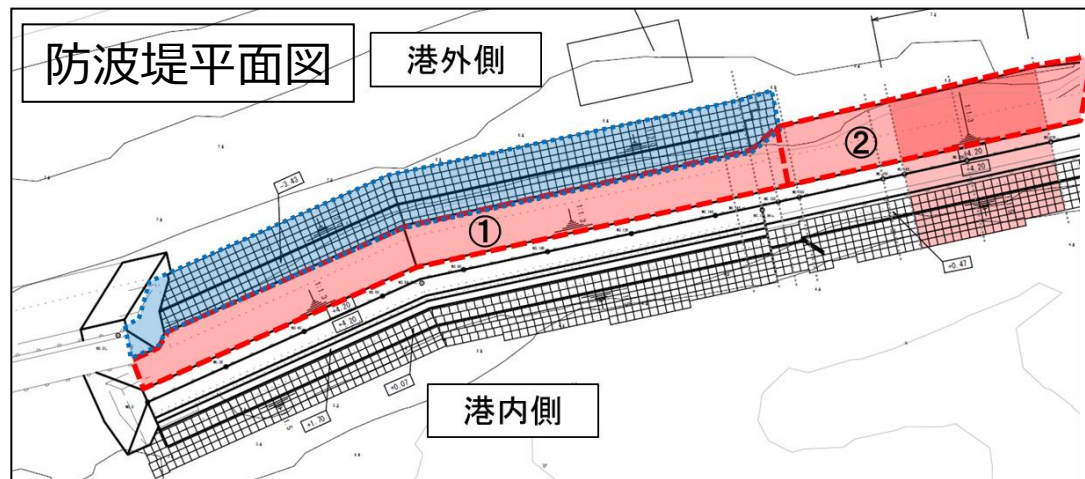


既往研究 桑江ら：浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計,土木学会論文集B2 (海岸工学)

4.防波堤におけるCO₂吸収量の算定

【T漁港防波堤全体の各ブロックの海藻着生面積】

- ブロックAは港外側（青網掛）対象
- ブロック1個の上向き面の「面積2.99m²」×「ブロック個数463個」
= 0.138ha
- ブロックBは異なる断面が2区間①②（赤網掛・点線）
- 「潮位L.W.L.以下の法面長」と「防波堤に設置された範囲の延長」
 - ①5.63m、150.94m
 - ②9.84m、101.35m
- 所定表面積は合計「0.185ha」



4.防波堤におけるCO₂吸収量の算定

【防波堤全体のCO₂吸収量】

- T漁港防波堤のブロックAとブロックBのみを対象
- 各ブロックの和を防波堤全体のCO₂吸収量として整理
- ケース1～5は調査時に採取した海藻着生量を使用
- ケース6と7は被度調査結果からJBEの被度階級を使用した結果
- ケース8は既往研究の結果
- ケース8との比較 :
 - ケース1で下回り
 - 乱積み比使用のケース2で同等
 - ケース3～5で上回り
- ケース6は最小
- ケース7は乱積み比2.0以上を用いたケース3～5と概ね同等

CO₂吸収量の算定

ケース	条件		防波堤のCO ₂ 吸収量		防波堤全体のCO ₂ 吸収量 トンCO ₂ /年
	ブロックA	ブロックB	ブロックA	ブロックB	
			トンCO ₂ /年	トンCO ₂ /年	
1	第4回海藻着生量	所定表面積	0.374	0.307	0.681
2		a)半円柱モデル		0.481	0.855
3		b)半球モデル		0.614	0.988
4		c)3次元面データ ($D_n/d=58.0$)		0.661	1.035
5		c)3次元面データ ($D_n/d=98.0$)		0.780	1.154
6	第3回被度 (JBE)		0.200	0.260	0.460
7	第4回被度 (JBE)		0.200	0.880	1.080
8	既往研究 (桑江ら)		0.373	0.500	0.873

① ブロック上の海藻着生量（ガラモ場）

- 既往研究とブロックAで同等、ブロックBでは下回る（理由あり）

② ブロック上の海藻着生面積算定方法の提案

- 平型ブロックAは上向き面の面積
- 立体型ブロックBは乱積み比を使用した面積

③ 石川県T漁港防波堤のブロック上海藻類のCO₂吸収量

- ブロックAは既往研究と同程度
- ブロックBは既往研究と比較し、半円柱モデル（乱積み比1.57）で同等、3次元面データのDn/d=98（乱積み比2.54）で1.3倍以上
- 立体型ブロックは乱積み比の適用が望ましい
- 乱積み比は、Dn/d=58以上の最大でも2.2～2.5程度が適当

● 今後の課題

- 複数種のホンダワラ類が混成するガラモ場の海藻採取時期の影響
- ガラモ場以外（コンブ場など）の藻場における適用性と算定方法
- 磯焼け対策による海藻着生量の増加効果の適用
など

コンクリートブロック上に形成された藻場のCO₂吸収量の算定方法

ご清聴ありがとうございました