



2023年2月21日
中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所
第25回民間技術交流会

防波堤港内側補強工法と

ブルーカーボン

目次

□ 防波堤港内側補強工法

- サブプレオフレーム（SPF）とは
- 設計沖波の見直しに伴う対策工法比較例

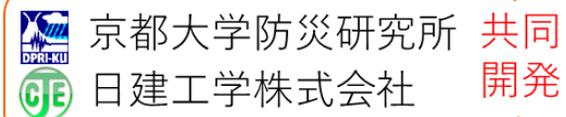
□ ブルーカーボンの可能性

- SPFの環境機能
- 海藻育成に適した構造の工夫

SPFの開発背景

偶発波浪に対する防波堤の簡易で安価な補強工法として

2010年から京都大学防災研究所と共同研究



偶発波浪による被災事例



新潟県新川漁港



福井県敦賀港



伏木富山港
 (2008年寄り回り波)



山口県矢玉漁港

津波による被災事例

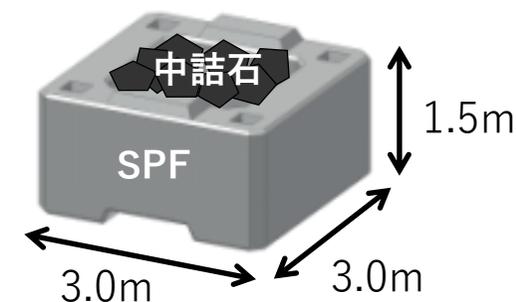
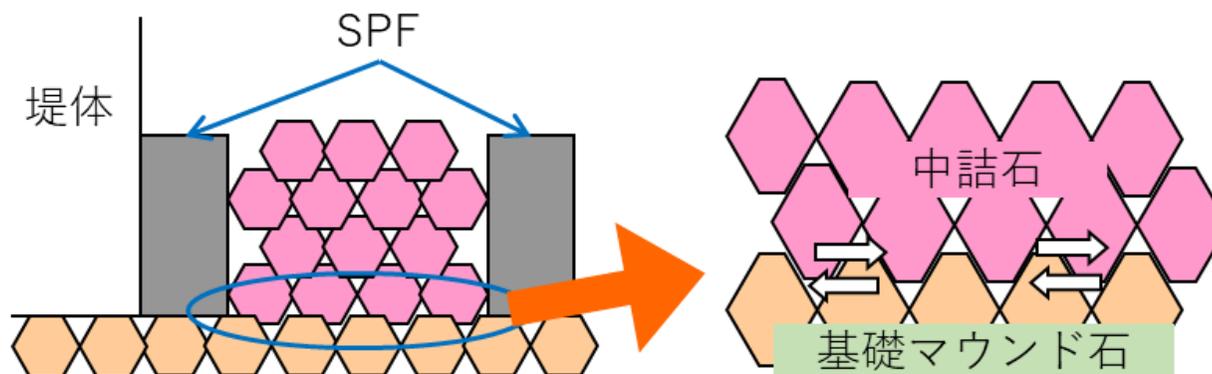
釜石港 (3.11東日本大震災)



メカニズム

SUBLEO FRAME

フレーム形状のコンクリートブロックで、**フレーム内の拘束された中詰石と下層の石が強固にかみ合う**ことにより滑動抵抗力を発揮し、防波堤の耐波・耐津波安定性を向上させる工法

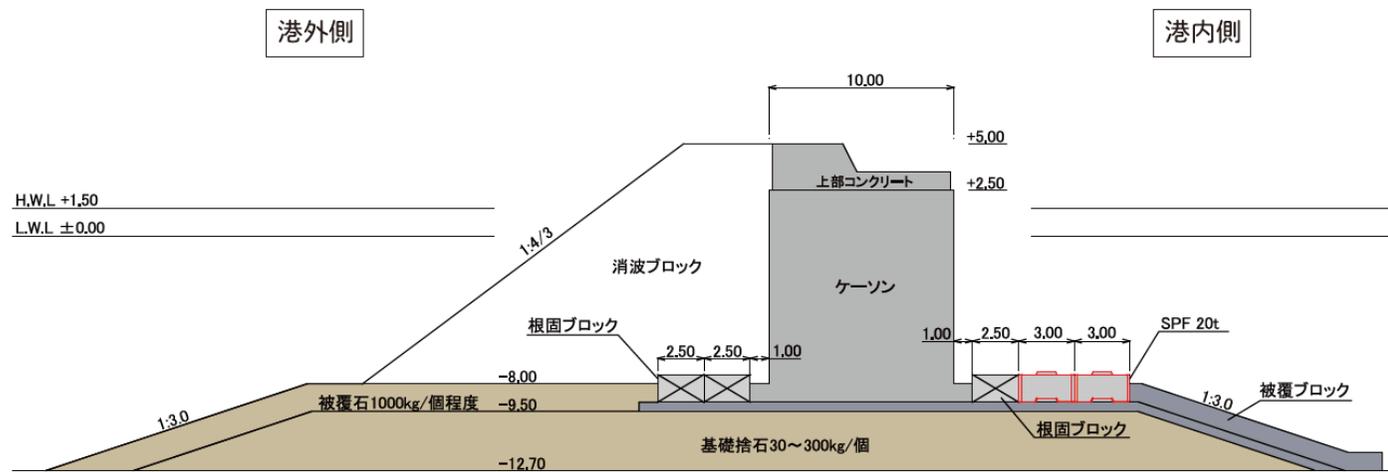


主な実績

青森県八戸港

耐津波

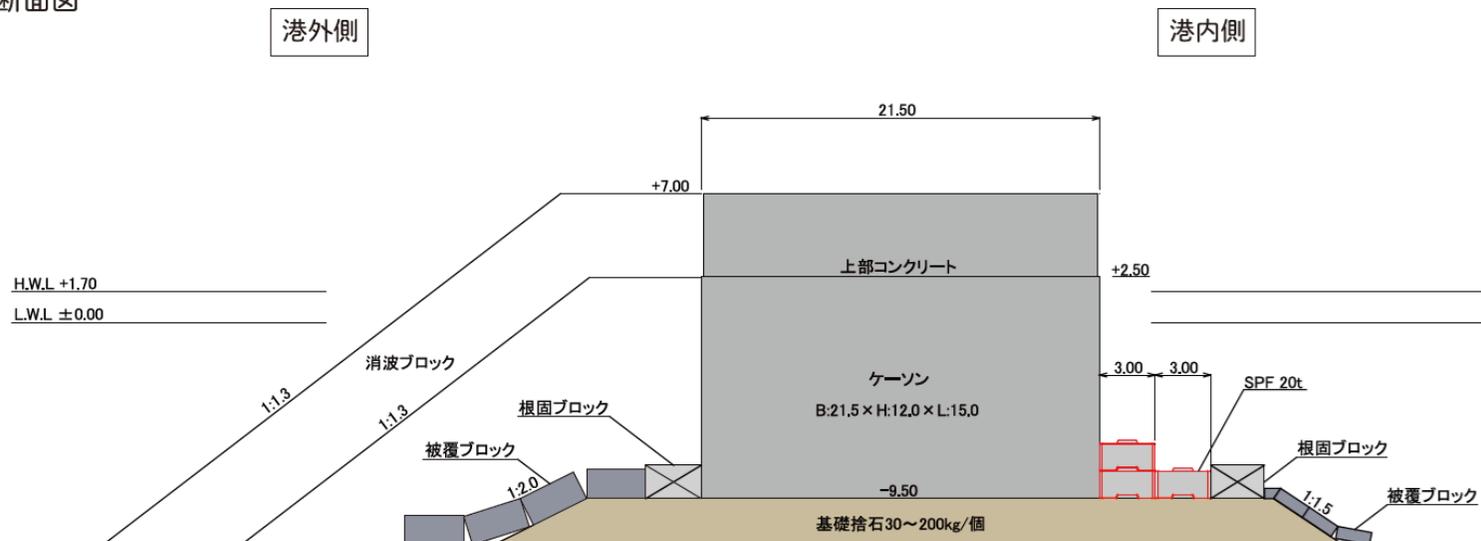
断面図



静岡県焼津漁港

耐津波

断面図



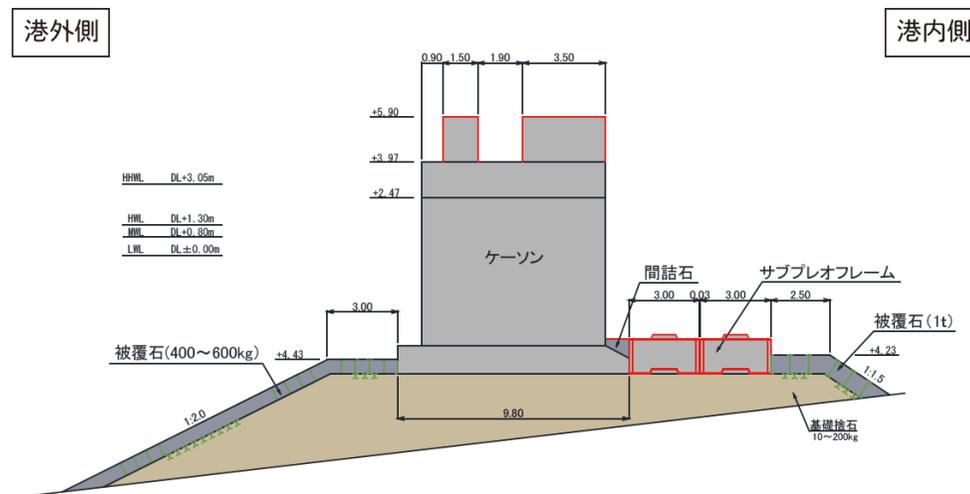
主な実績

兵庫県岩屋港

耐波浪



断面図

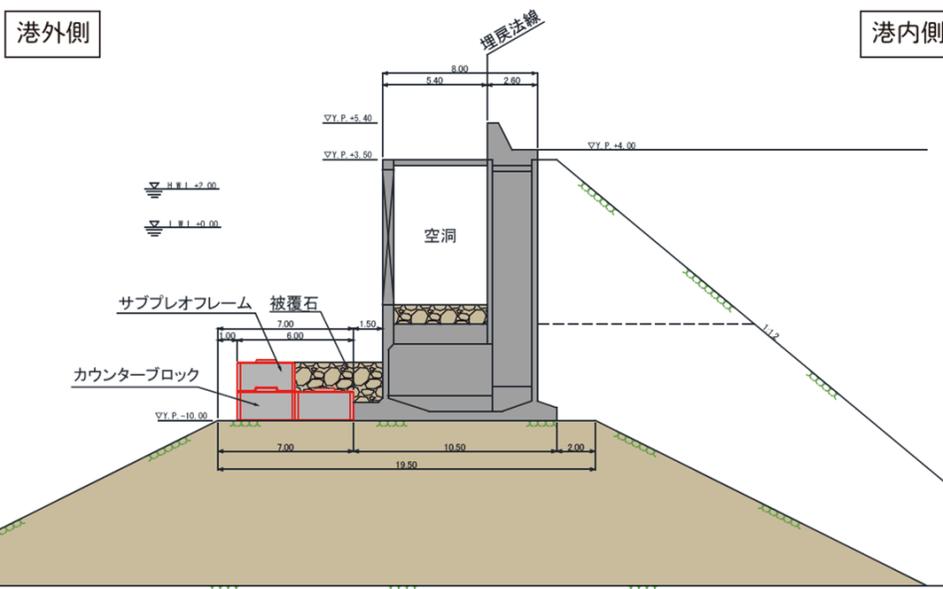


神奈川県横浜港

生物共生型



断面図



滑動抵抗力の設計値

□ 摩擦係数

陸上での引張試験により「 $\mu=0.75$ 」を算出 ※コンクリートと石 $\mu=0.6$



□ 滑動抵抗力

SPFの滑動抵抗力 = (SPFの水中重量 + 中詰石の水中重量) × 摩擦係数

→ SPF = 19.48 t/個、中詰石 = 6.35 t/個

→ ブロック1個あたりの滑動抵抗力 = 107.5 kN/個

→ **延長1.0mあたりの滑動抵抗力 = 35.8 kN/m 【設計値】**

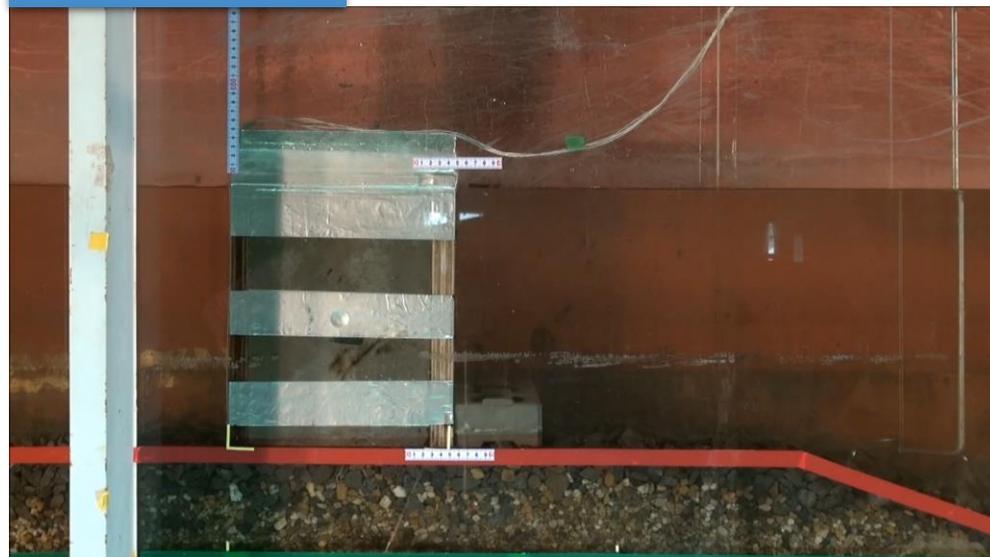
断面あたりの ブロック使用個数(N)	1個	2個	3個	4個	5個	6個
延長1mあたりの 滑動抵抗力(kN/m)	35.8	71.6	107.4	143.2	179.0	214.8

滑動抵抗力の妥当性確認

補強なし



SPF × 1個



SPF 1 個で滑動安全率1.0となる津波（孤立波）を作用

波浪に対する設計法

平成30年版 港湾の施設の技術上の基準・同解説（技術基準）

3.基本的な機能を有する防波堤

3.1 重力式防波堤（混成堤）

防波堤の耐津波設計ガイドライン

3.1.6 直立部の港内側を補強する場合の性能照査及び留意事項

(1) 一般

①代表的な補強方法は、直立部背後に腹付工として割石や方塊を設置することである。これらを適切に設置することで滑動抵抗力や基礎の支持力を大きくできる。腹付工の設置においては、港内の船舶航行、避泊係留等へ支障が無いように注意する。なお、本節に記載した事項は、高橋ら¹⁴⁾及び佐藤ら¹⁵⁾に基づいたものである。なお、近年、割石や方塊以外の対策方法も提案されており、それらについては文献16)を参考とすることができる。

②堤体背後の腹付工を無視した直立部の波力に対する滑動の安定性照査において、部分係数を1.0とした場合の作用耐力比が1.0を下回ることを基本とする。これは、作用耐力比が大きい場合、腹付工から抵抗力が発揮される変位まで滑動したり、引き波時に港外側へ滑動や転倒したりするおそれがあるためである。

③越波や沿い波、津波による越流等により腹付工が被災しないように、十分な被覆を行う。ただし、完全に

技術基準p.933より抜粋

津波に対する設計法

7. 津波防波堤

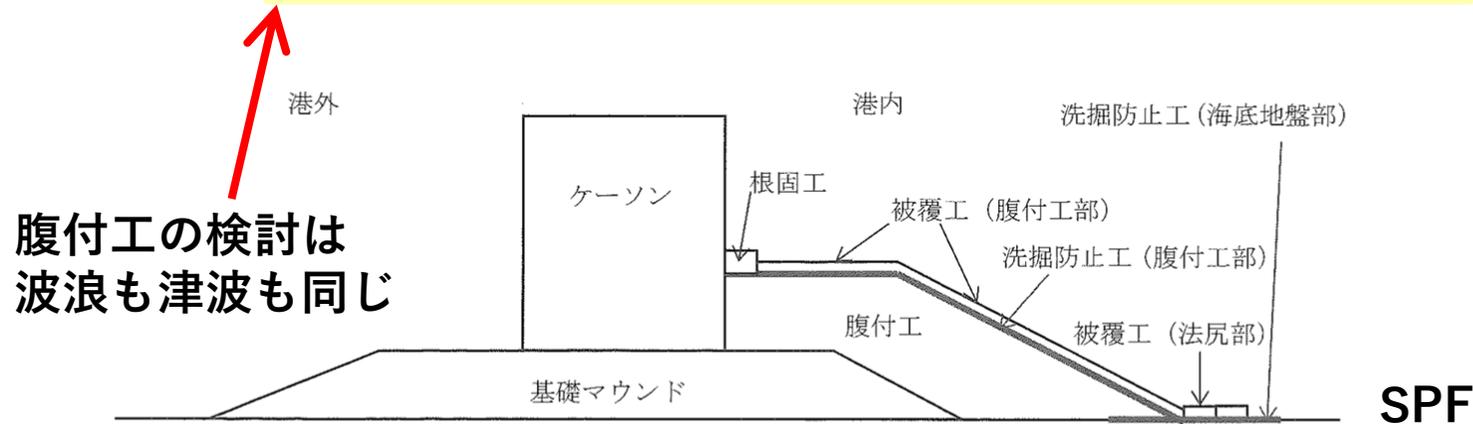
7.4 設計津波の作用

技術基準p.991より抜粋

7.4.5 腹付工

腹付工は直立部の滑動抵抗力と基礎マウンドの支持力を高めるとともに、直立部背後の基礎マウンドや砂地盤の洗掘を低減することができる。そのため、腹付工の設置により、津波の規模が大きくなった際にも倒壊しにくい防波堤構造になると考えられる。

図-7.4.6は腹付工の模式図であり、被覆工、根固工、洗掘防止工の設置により、越流に対する安定性を高めることができる。腹付工の検討方法については、本章3基本的機能を有する防波堤に準じることができる。



腹付工の検討は
波浪も津波も同じ

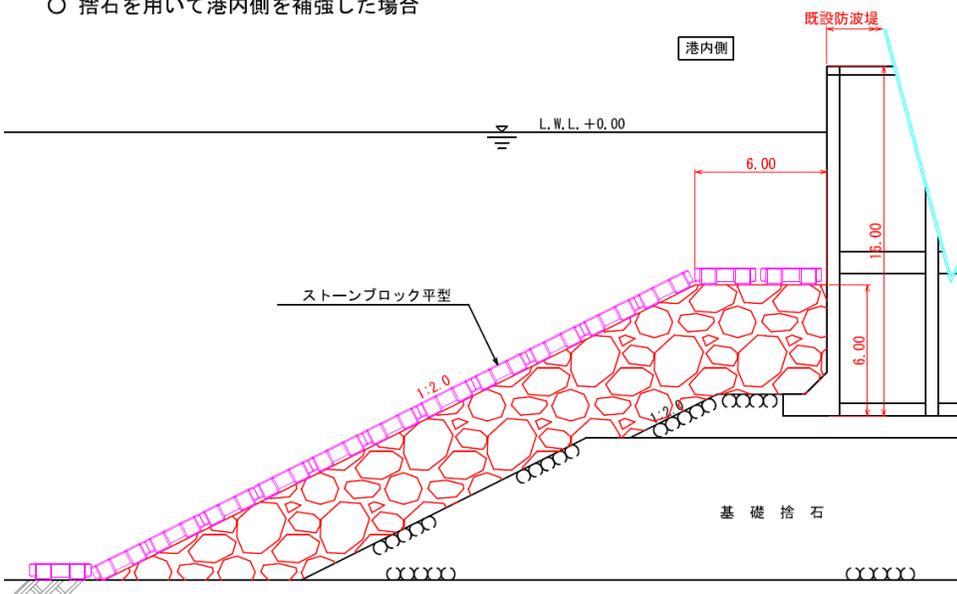
図-7.4.6 腹付工とその被覆工、根固工、洗掘防止工

防波堤背後に航路や泊地がある箇所や防波堤堤頭部など、広範囲な対策工を施すことが困難な場合、津波の越流条件及び防波堤背後の流速条件によっては、鋼管杭やコンクリート製のブロックフレームを用いて、通常の腹付工よりも防波堤断面を小さくすることが提案されている¹³⁾。

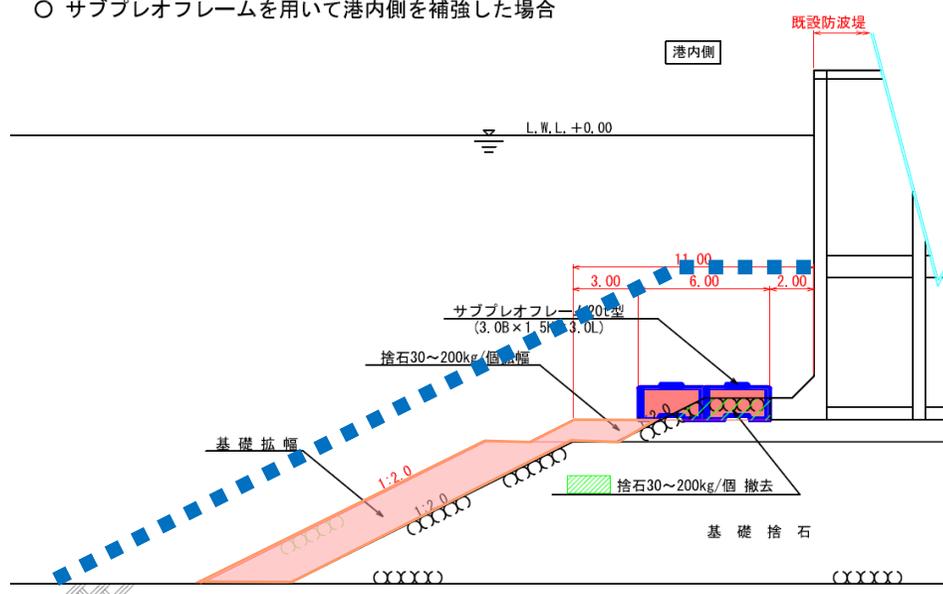
SPFの特長

- ① ブロック 1 個から抵抗力を発揮するため、**コンパクトな断面を構築**し、航路や泊地へ及ぼす影響が小さい

○ 捨石を用いて港内側を補強した場合



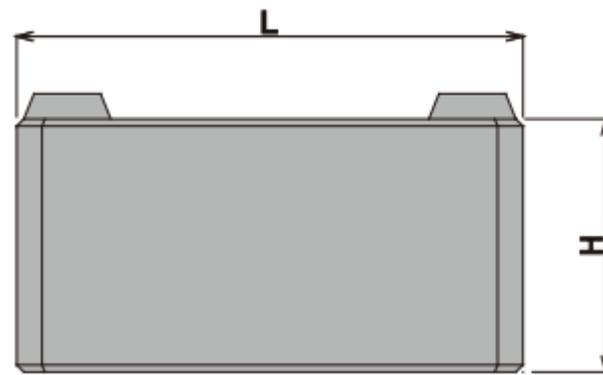
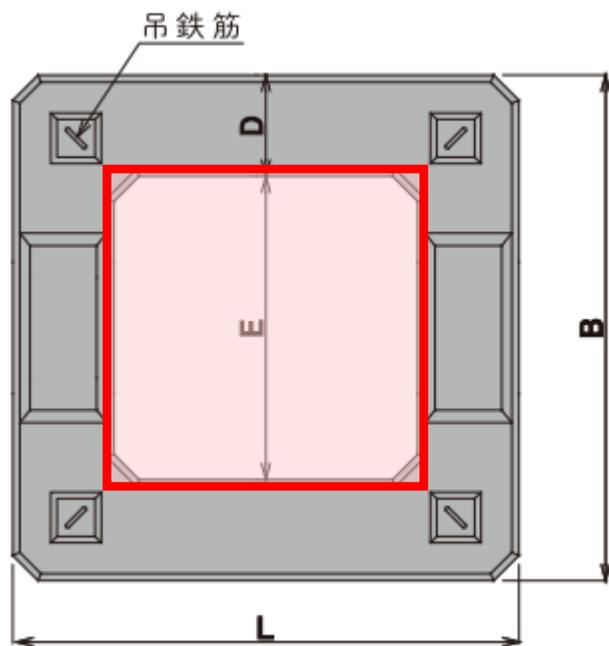
○ サブレオフレームを用いて港内側を補強した場合



- ② 工種が単純で、使用材料も少なく、波浪の影響を受けにくい防波堤基礎部（深部）での施工であるため、**潜水作業を伴う海上作業工程が短縮**できる

SPFの特長

- ③ ブロックは上下方向がオープンであり、中詰石は枠体ブロックにより拘束されているため、**浸透流や揚圧力・波力の影響を受けにくい**



L : 3.0m

B : 3.0m

H : 1.5m

D : 0.6m

E : 1.8m

転倒抵抗力や浸透流の効果は
港湾空港技術研究所と共同研究中

補強工法比較例

対策前

既設堤体（未対策）

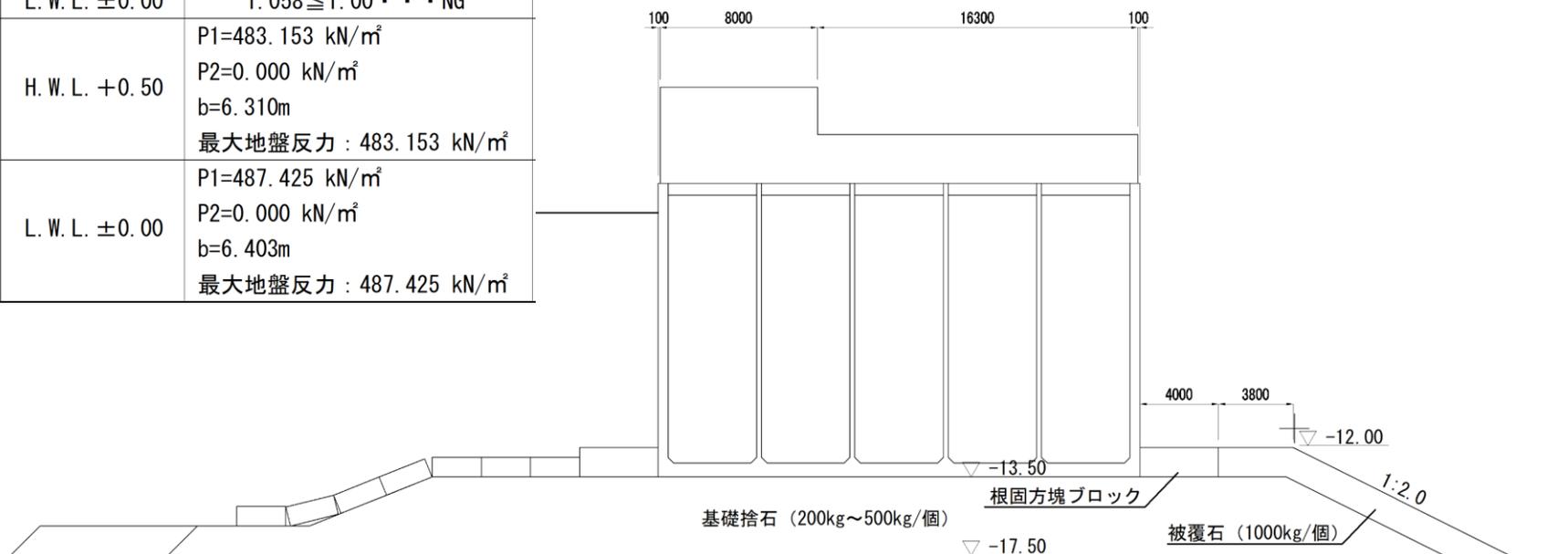
S=1/300, u:m

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	1.040 > 1.00 . . . NG
	L. W. L. ±0.00	1.029 > 1.00 . . . NG
転倒	H. W. L. +0.50	0.560 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.551 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	1.064 > 1.00 . . . NG
	L. W. L. ±0.00	1.058 ≤ 1.00 . . . NG
支持力	H. W. L. +0.50	P1=483.153 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.310m 最大地盤反力：483.153 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=487.425 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.403m 最大地盤反力：487.425 kN/m ²

滑動・偏心傾斜：NG

港内側



補強工法比較例

捨石嵩上げ

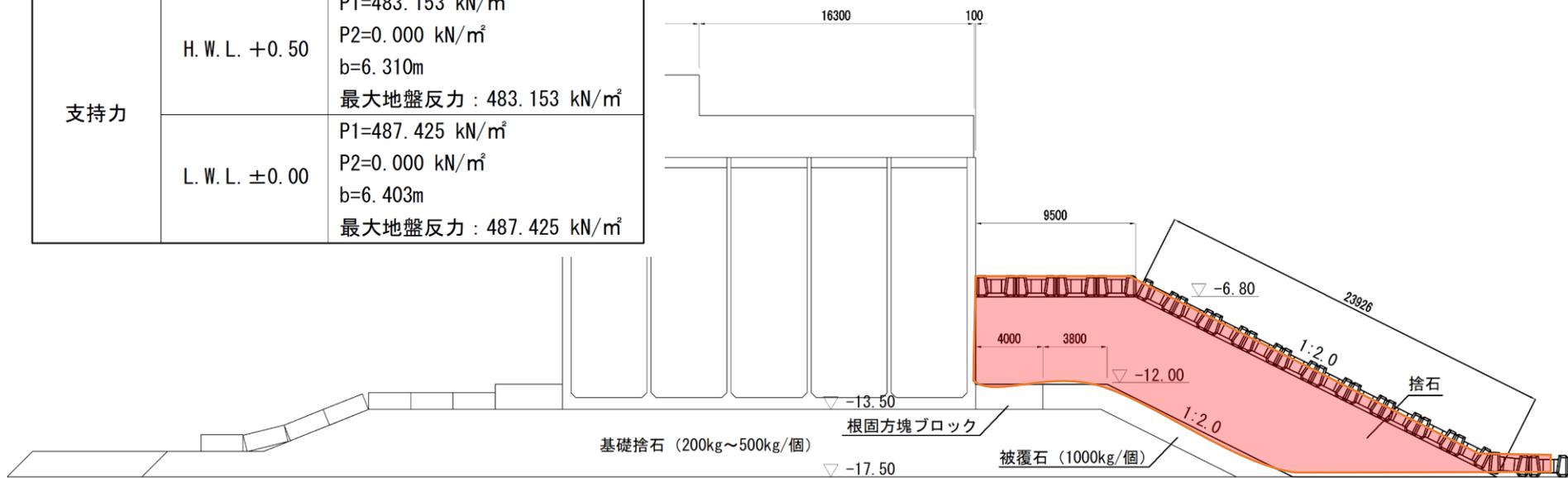
対策工案 捨石嵩上げ $S=1/300, u:m$

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	$0.777 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.772 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
転倒	H. W. L. +0.50	$0.560 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.551 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	$0.759 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
	L. W. L. ± 0.00	$0.759 \leq 1.00 \dots \text{ok}$
支持力	H. W. L. +0.50	P1=483.153 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.310m 最大地盤反力：483.153 kN/m ²
	L. W. L. ± 0.00	P1=487.425 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.403m 最大地盤反力：487.425 kN/m ²

約2,741千円/m

港内側



補強工法比較例

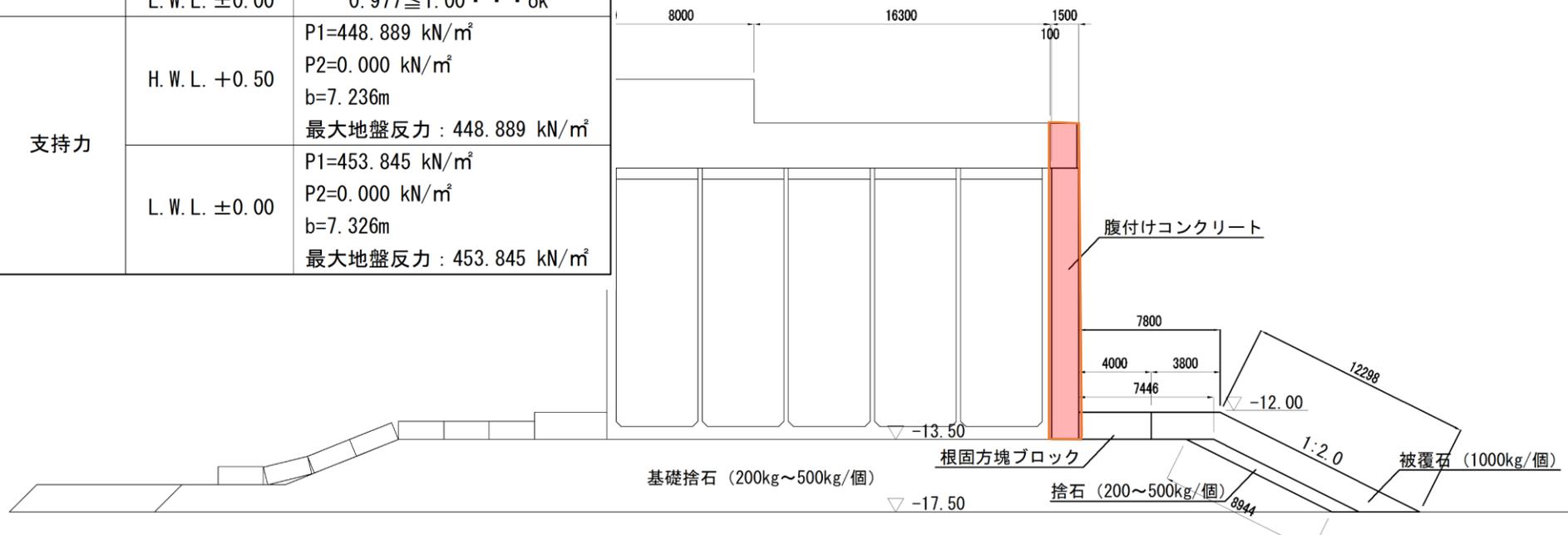
腹付けコン

対策工案 腹付けコンクリート S=1/300, u:m

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	0.976 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.966 ≤ 1.00 . . . ok
転倒	H. W. L. +0.50	0.501 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.492 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
支持力	H. W. L. +0.50	P1=448.889 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=7.236m 最大地盤反力：448.889 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=453.845 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=7.326m 最大地盤反力：453.845 kN/m ²

約2,047千円/m
捨石嵩上げ比：75%



補強工法比較例

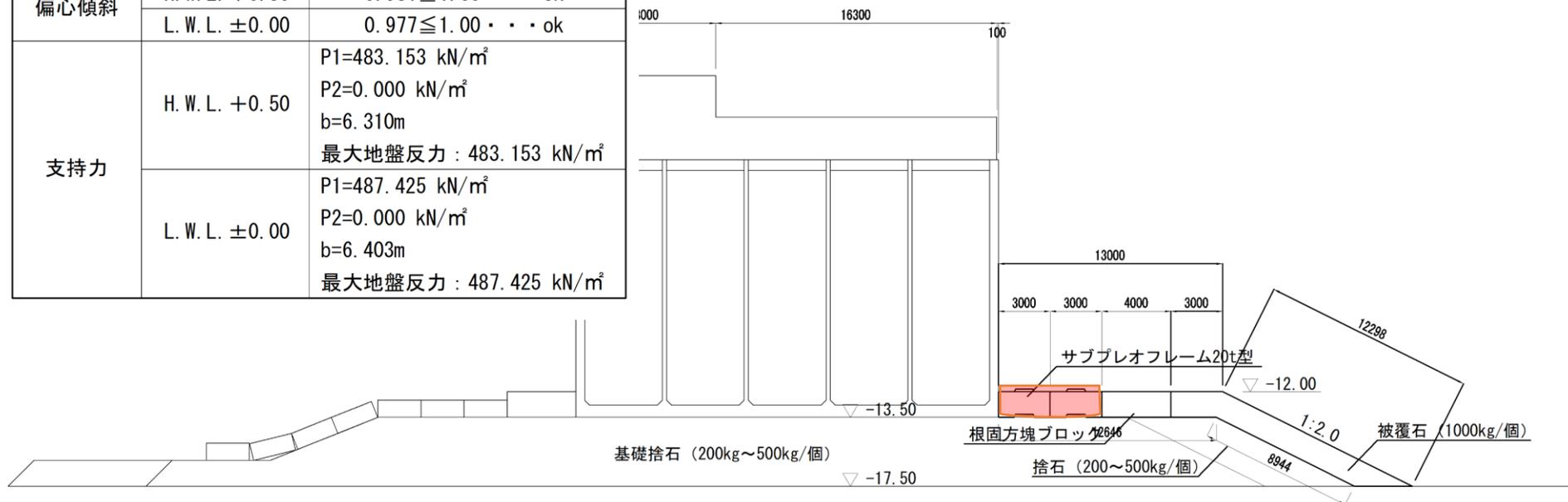
SPF2個並び

対策工案 SPF工法 S=1/300, u:m
(SPF2個並び)

安定計算結果一覧

		作用耐力比
滑動	H. W. L. +0.50	0.938 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.928 ≤ 1.00 . . . ok
転倒	H. W. L. +0.50	0.560 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.551 ≤ 1.00 . . . ok
偏心傾斜	H. W. L. +0.50	0.981 ≤ 1.00 . . . ok
	L. W. L. ±0.00	0.977 ≤ 1.00 . . . ok
支持力	H. W. L. +0.50	P1=483.153 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.310m 最大地盤反力：483.153 kN/m ²
	L. W. L. ±0.00	P1=487.425 kN/m ² P2=0.000 kN/m ² b=6.403m 最大地盤反力：487.425 kN/m ²

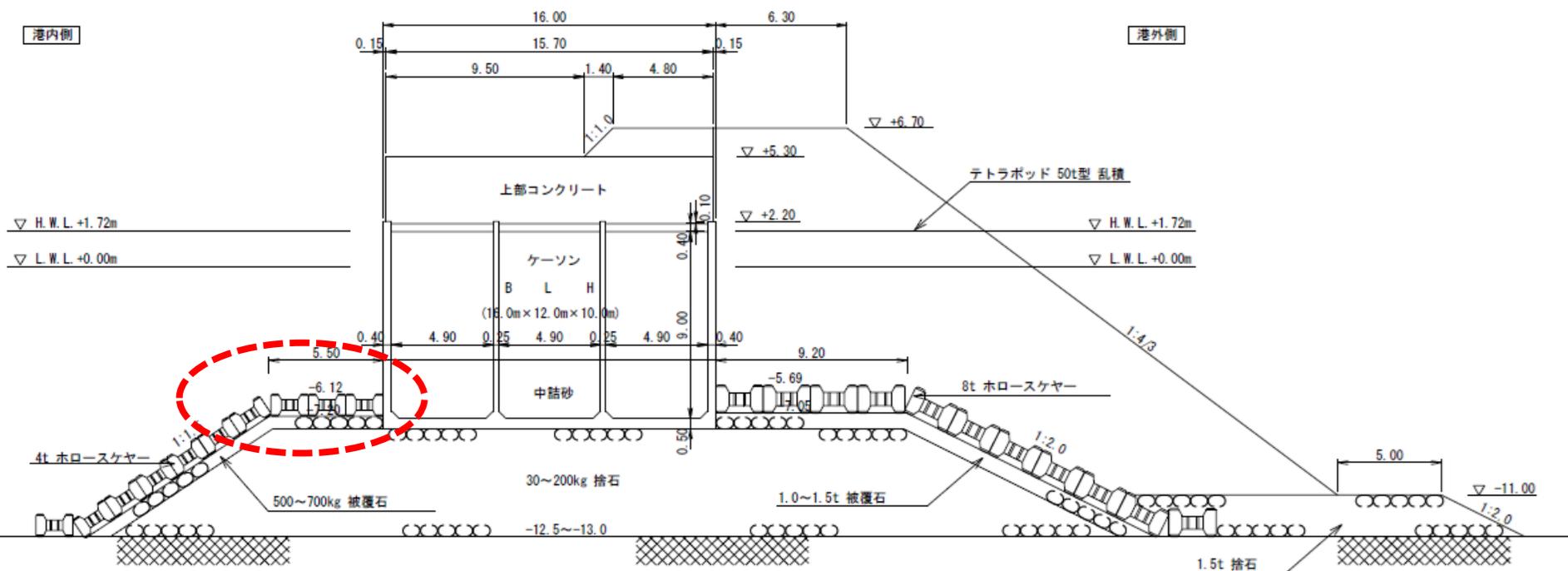
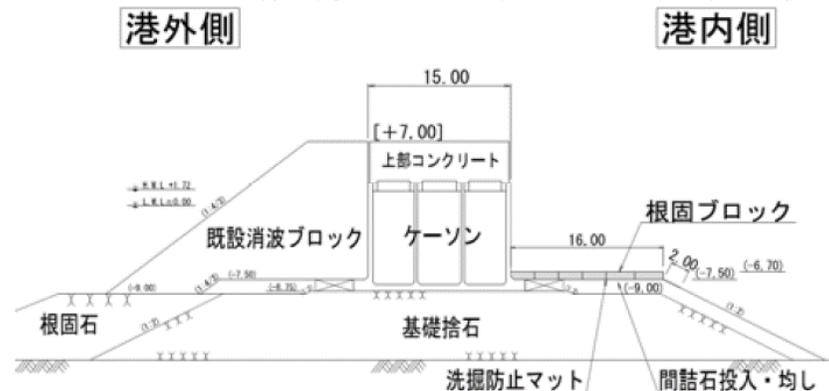
約779千円/m
捨石嵩上げ比：28%



御前崎港女岩地区防波堤(A)

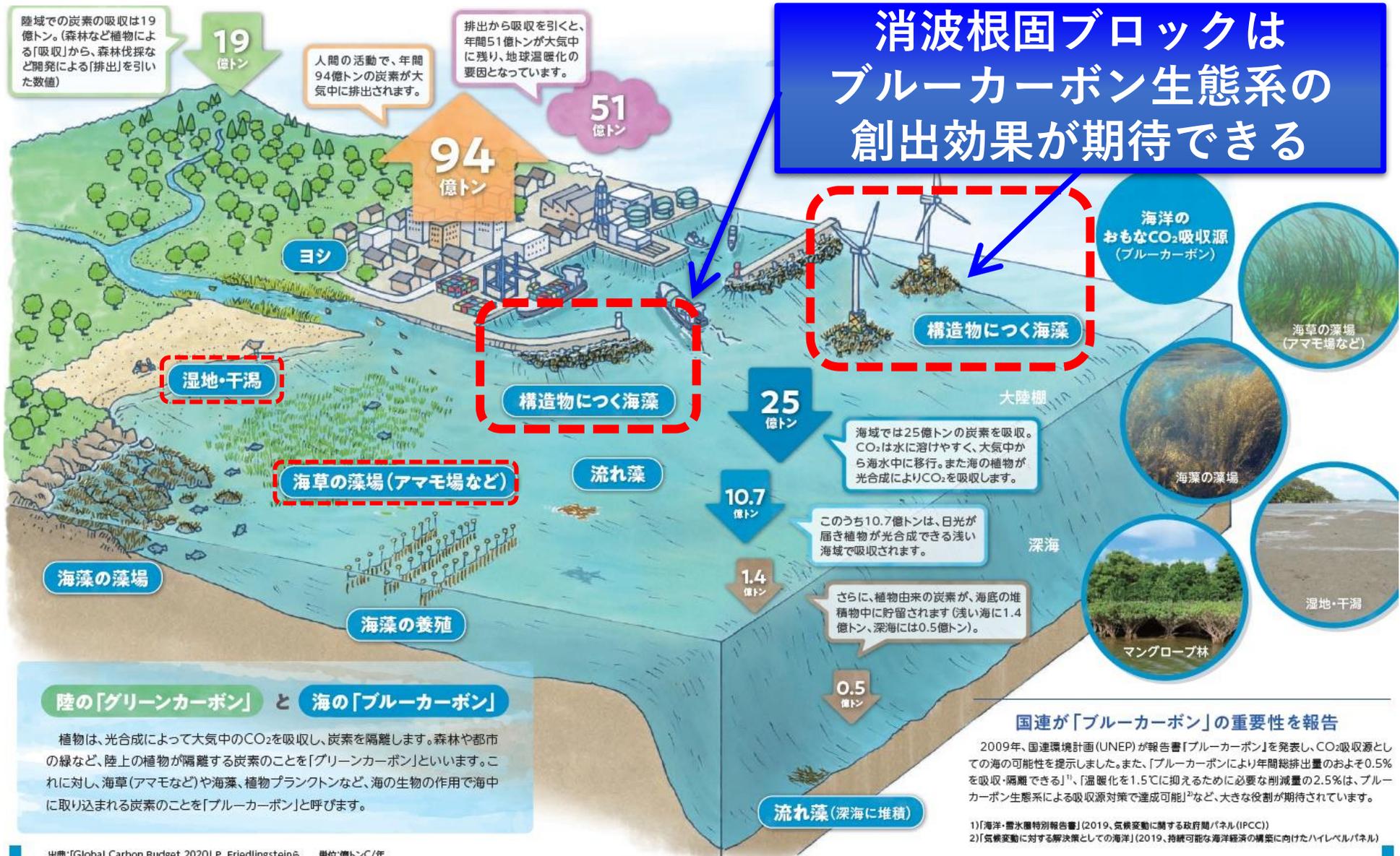


(出典)
御前崎港の防波堤改良工事におけるICT技術の導入と評価について



(出典)
令和4年度御前崎港防波堤予備設計 特記仕様書

港湾におけるブルーカーボン



出典:「Global Carbon Budget 2020」P. Friedlingstein 単位:億トンC/年

SPFの環境機能

食害

ウニ

魚類

堆積物の増加

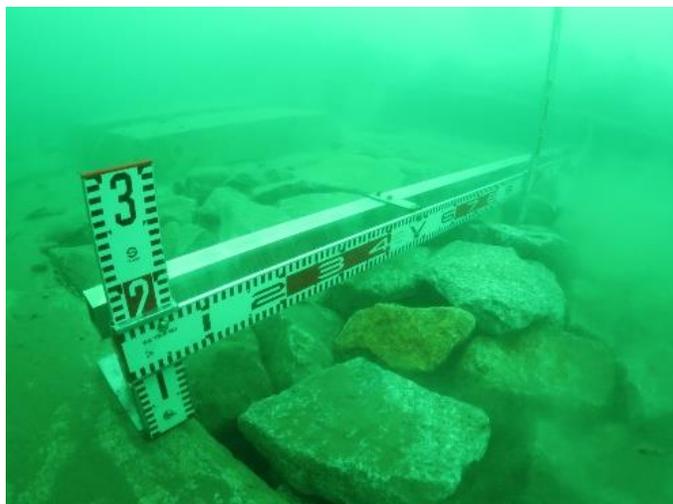
浮泥堆積防止

基質不足

形状工夫

栄養塩不足

栄養塩供給



空隙や凹凸のある多様な表面

根固ブロック



空隙や凹凸のない単調な表面



SPF



空隙や凹凸のある多様な表面



構造の工夫

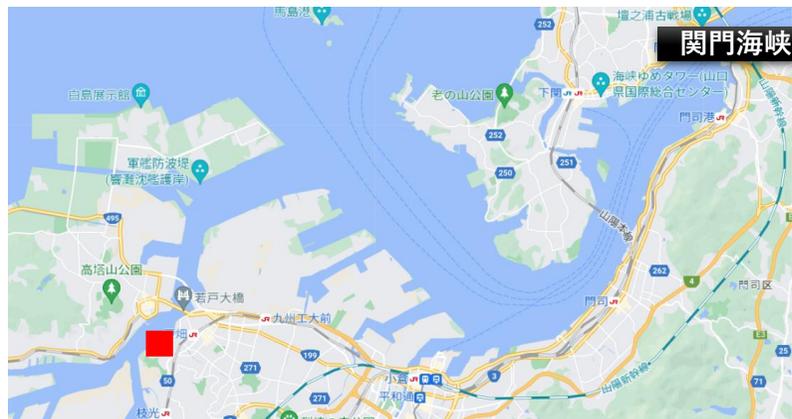
北九州港

形状工夫

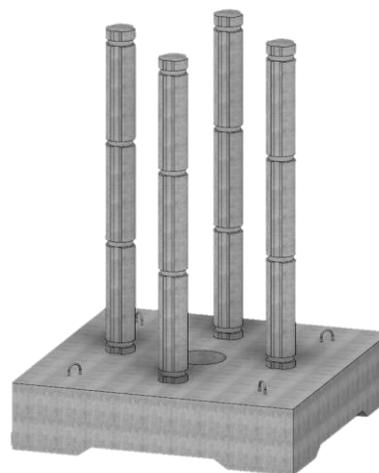
浮泥堆積防止

海藻繁茂水深の確保と浮泥堆積防止として背の高い柱状礁を設置

⇒ 浮泥堆積抑制効果を確認



関門海峡



縦×横×礁高：3.0×3.0×4.1 (m)
重量：14.8 (t)
表面積：30.76 (m²)

生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関する
ガイドライン 資料編に掲載



イメージ写真

ウニに食べられにくい



柱に登るウニは、波による流れに揺られるため、登りづらいことがわかっています。また、柱に海藻が着生すると、はたき効果によって、ウニは登りづらくなります。

浮泥がたまりにくい



浮泥は静穏な水平面に溜まりやすいため海藻の着生を阻害します。しかし、柱の垂直面は浮泥が溜まりづらいので、海藻を着生させることができます。

埋まりにくい



通常、砂地盤に設置すると沈下や埋没が起こり、海藻の着生面が砂に埋まってしまふことがあります。しかし、長い柱は埋没することがないので海藻が育ちます。

海藻がよく生える



海中では光が散光することで、柱の上から下まで光が届きます。また、柱には適度な流れが起こるので、海藻が育ちやすい環境になっています。

陰をつくる



柱に海藻が繁茂することで、光と影のコントラストが生まれ、魚にとって良い住みかを創出します。

ウニ類への給餌効果



柱に着生したコンブは幼体期（冬～春）に食害を受けにくく、大きく生長することができます。ウニ類の活動期に高い給餌効果を発揮し、身入りの改善に役立ちます。

柱状礁の事例

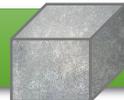
北海道古平町群来

設置水深3m

水温11°C

2020年5月24日

ブルーカーボンの推算例

方形状  **栄養塩供給**

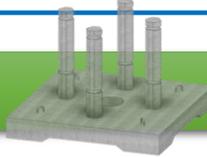


周辺天然礁 実験ブロック

プレート状  **栄養塩供給**
形状工夫



周辺天然礁 実験ブロック

柱状  **浮泥堆積防止**
食害（ウニ）



柱状礁にはホソメコンブが繁茂しています

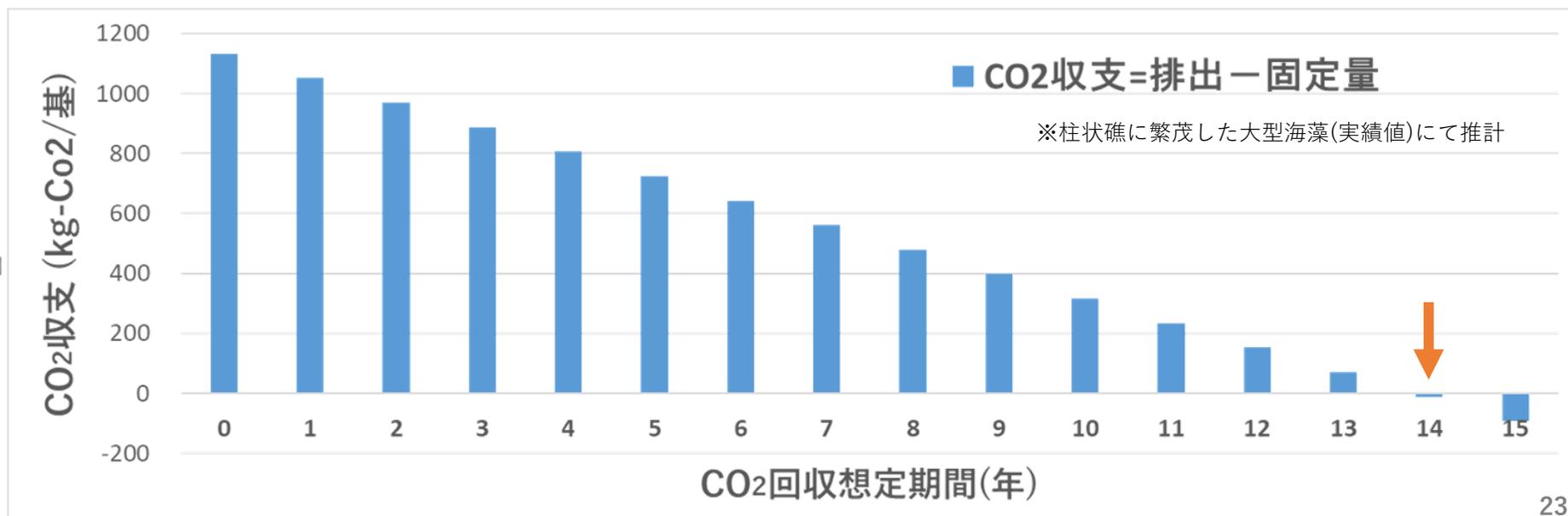
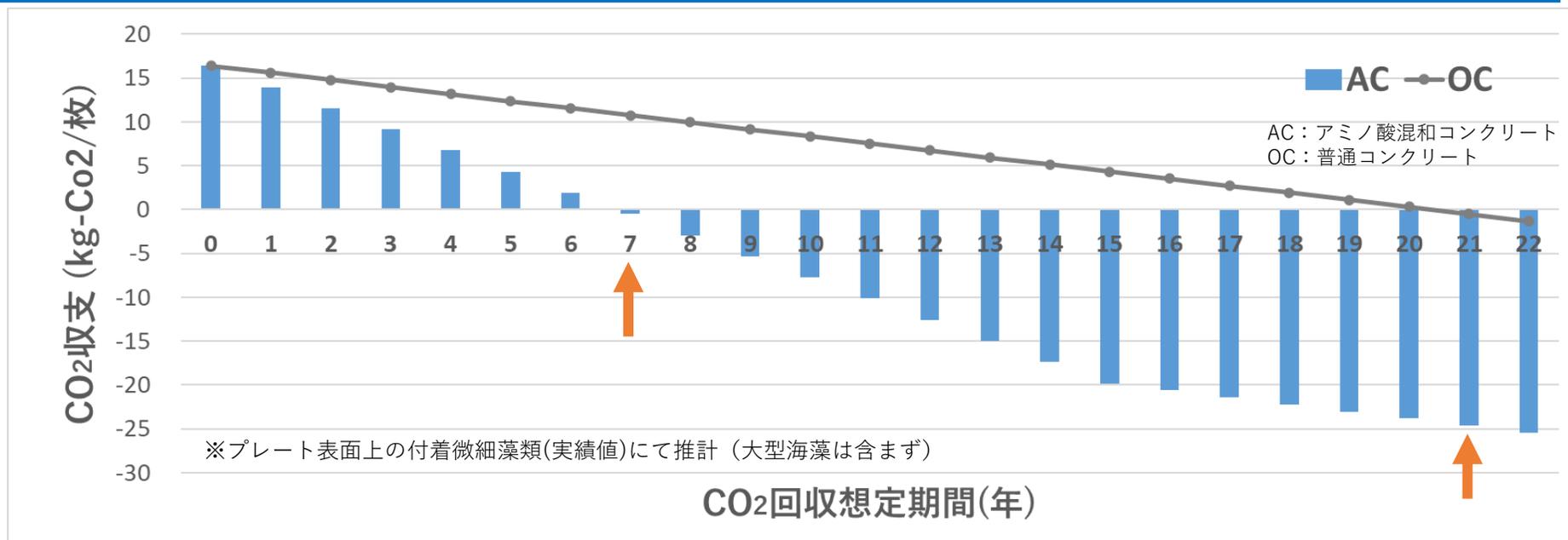
試験ブロックの種類	海藻種	最大現存量 (kg-ww/m ²)	含水率 (%)	P/B _{max}	炭素含有率 (%)	生態系全体への変換係数	残存率 (%)	CO ₂ 吸収ポテンシャル(t-CO ₂ /ha/年)			
								試験ブロック	周辺藻場		
方形状	ホソメコンブ	10.900	85	1.9	30.0	1.5	11.3	5.792	6.371		
	ホンダワラ類	4.070	83	1.4	36.6			2.203	0.441		
								合計	7.995	6.812	
プレート状	2020年 クロメ	—	85	1.9	30.0	1.5	11.3	—	0.399		
	st.1 ホンダワラ類	0.001	83	1.4	36.6			0.001	0.046		
									合計	0.001	0.444
	2018年 クロメ	0.450	85	1.9	30.0	1.5	11.3	0.239	0.299		
st.2 ホンダワラ類	0.025	83	1.4	36.6	0.014			0.041			
								合計	0.253	0.340	
プレート状	2019年 クロメ	0.145	85	1.9	30.0	1.5	11.3	0.077	0.598		
	st.3 ホンダワラ類	0.074	83	1.4	36.6			0.040	0.050		
									合計	0.117	0.648
	2017年 クロメ	—	85	1.9	30.0	1.5	11.3	1.083	1.061		
st.4 ホンダワラ類	0.079	83	1.4	36.6	0.043			0.054			
								合計	1.125	1.115	
柱状	ホソメコンブ	13.878	85	1.9	30.0	1.5	11.3	7.374	0.000		

森林比 約3.6倍

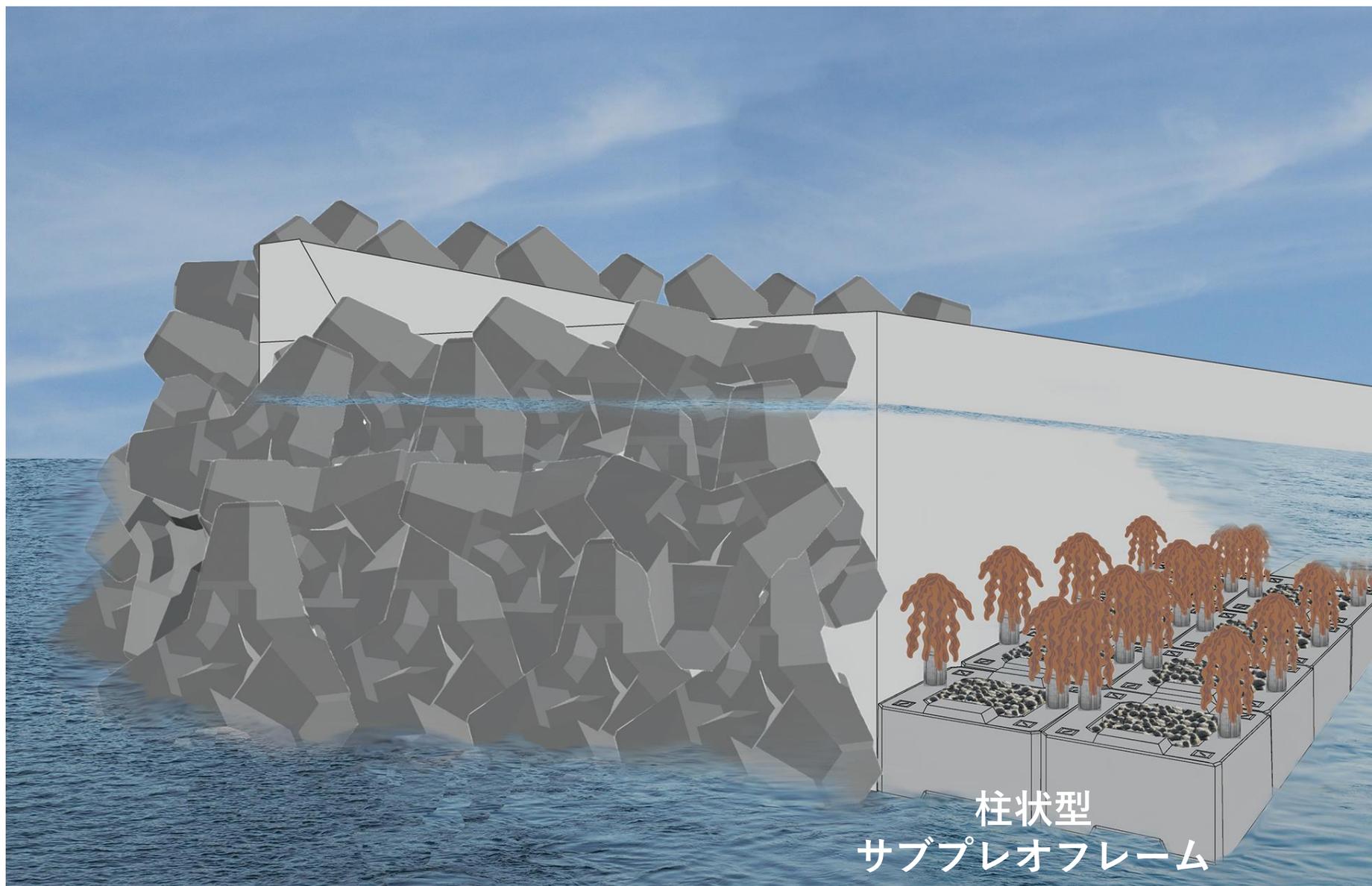
森林比 約0.5倍

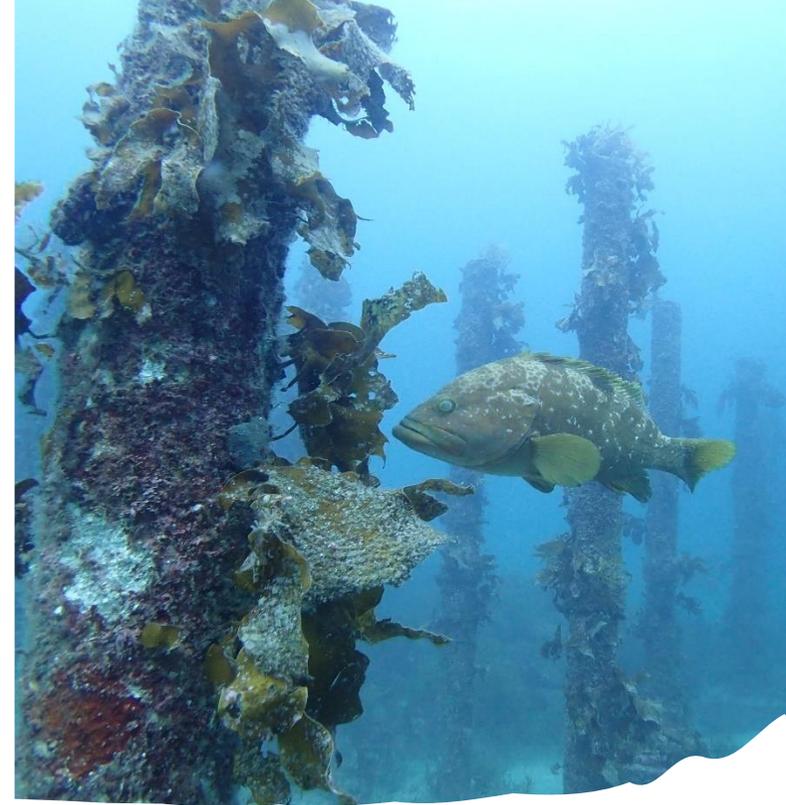
森林比 約3.4倍

CO₂の収支(参考)



防波堤港内側補強工法とブルーカーボン





お問い合わせ先

日建工学株式会社（担当：西村）
nishimura@nikken-kogaku.co.jp