

特別セッションS2.
「ブルーカーボン生態系の増殖技術」

砂地盤上に置かれた石炭灰利用藻礁ブロック の安定性に関する実験的研究

東洋建設(株)

(一財)カーボンフロンティア機構

東京パワーテクノロジー(株)

金澤 剛
○神田 泰成
増田 和輝
竹中 寛
河口 真紀
田中 恒祐
辻 光俊

研究の背景・目的

2050年カーボンニュートラル

石炭火力発電
(まだまだ重要なエネルギー源)



- 高効率石炭火力の導入
- 適切なCCUS (CO₂回収・有効利用・貯留) との組合せ



燃烧残渣=石炭灰が定常的に発生



有効利用

発生した石炭灰の有効利用率：約96 %
 →うち、セメント分野におけるセメント原材料等に利用：約70%
 有用資源として更なる安定した利用
 →土木分野や農林・水産分野における資材
 広い海域を有する日本
 → 陸域で創出される石炭灰（再生資源）を海域で利用
 水産資源の回復と海域環境の改善を図ることは重要な取り組み

浅海域での利用を念頭に、

- 石炭灰の有効活用策の拡大と環境影響の低減を実現できる石炭灰混合材を開発
- その活用策として、石炭灰混合材を用いた岩礁性藻場造成用の藻礁ブロックを開発

⇒砂地盤上に置かれた石炭灰利用藻礁ブロックの安定性を移動床実験で確認

石炭灰利用藻礁ブロック

石炭灰混合材：石炭灰とセメント，産業副産物等と水を混合して製造

→通常のコンクリートより**密度が小さい**（例えば 2.30 t/m^3 に対して 1.90 t/m^3 ）



藻礁ブロックの安定に関して不利 **×** 密度の大きい骨材などを混入して質量増



ブロック形状の工夫によって安定性を確保

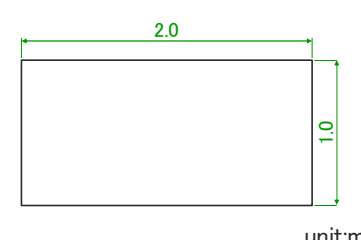
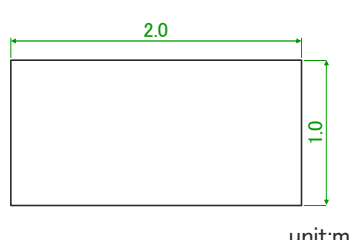
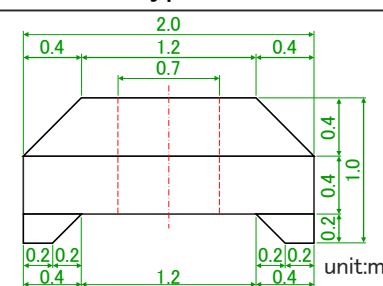
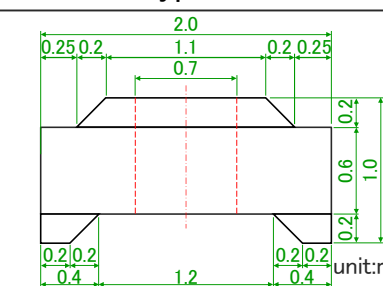
当面の使用目的：ホンダワラ類の藻場が形成されている岩礁に接続する砂地盤に設置して，ホンダワラ類の藻場の拡大を図る

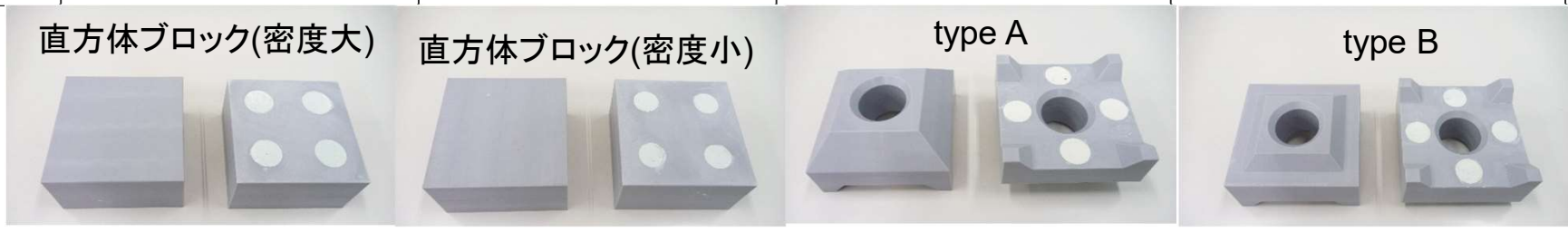
【形状設定】

- 既存の各種被覆ブロックの形状を分析
- ホンダワラ類の幼胚は比較的平坦な面に着底することが多い = **水平面を確保**
- 揚圧力の低減のため**孔**を設けた
- 水平波力を鉛直下向きに変換させるため**斜面**を設けた
- 設置圧の増大とスパイク効果を期待して**脚**を設けた

石炭灰利用藻礁ブロック形状

いずれも代表長は2 m×2 m×1 mで同一

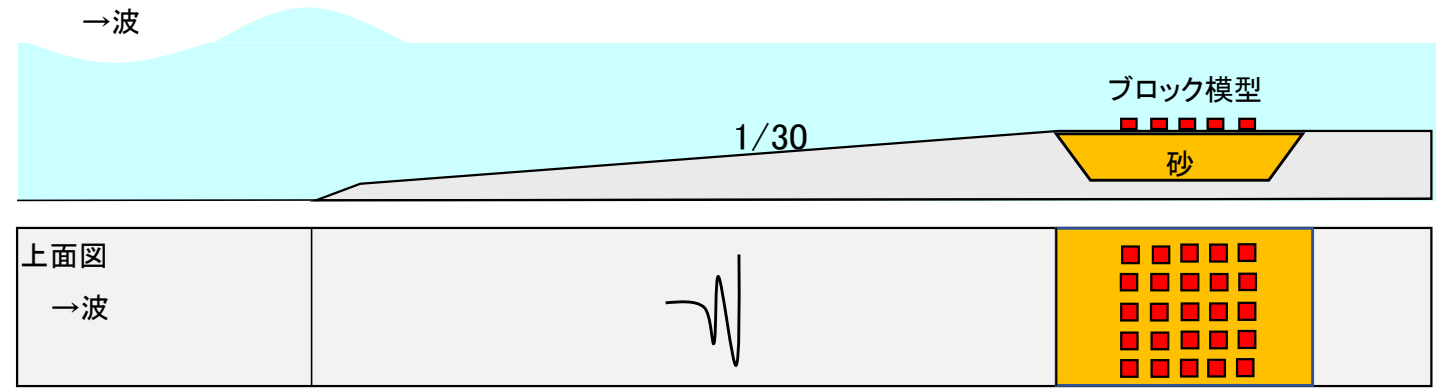
	直方体(密度大)	直方体(密度小)	TypeA	TypeB
形状(側面図)				
体積(m³)	4.00	4.00	2.39	2.49
密度(t/m³)	2.30	1.90	1.90	1.90
質量(t)	9.20	7.60	4.55	4.73
水中重量(kN)	49.83	34.14	20.43	21.25



TypeB：一つの藻礁ブロックに異なる高さの水平面を設定、
 →ホンダワラ類の幼胚の着底に対してバリエーション増
 ⇒製作から運搬、据え付けの過程で重ね置きが可能な形状

水理模型実験の概要

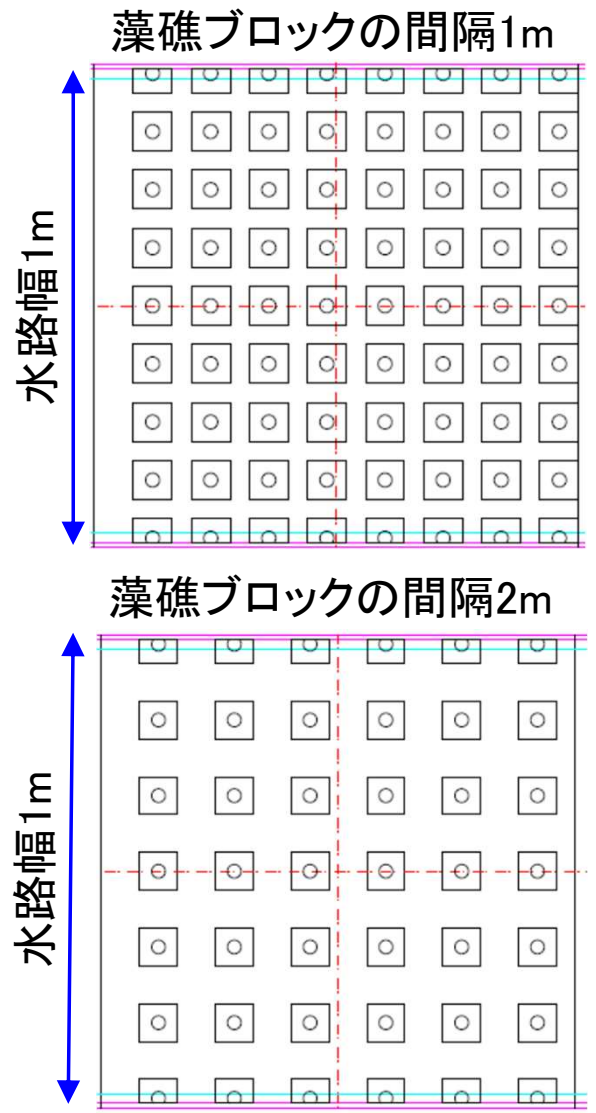
2次元造波水路：長さ55m×幅1m×高さ2m（東洋建設(株)鳴尾研究所）
 1/30勾配斜面に続く一様水深部に
 移動床（ $d_{50}=0.16\text{mm}$ ）を設置



	原型	1/25模型
有義波高	4.14m	16.6cm
有義波周期	13.5s	2.7s
水深	5.0m	20.0cm
潮位H.W.L.	+0.50m	+2.0cm
潮位L.W.L.	-0.06m	-0.24cm

	原型	1/25模型
ブロック長さ	2.0m	8.0cm
ブロック高さ	1.0m	4.0cm
ブロック間隔①	1.0m	4.0cm
ブロック間隔②	2.m	8.0cm

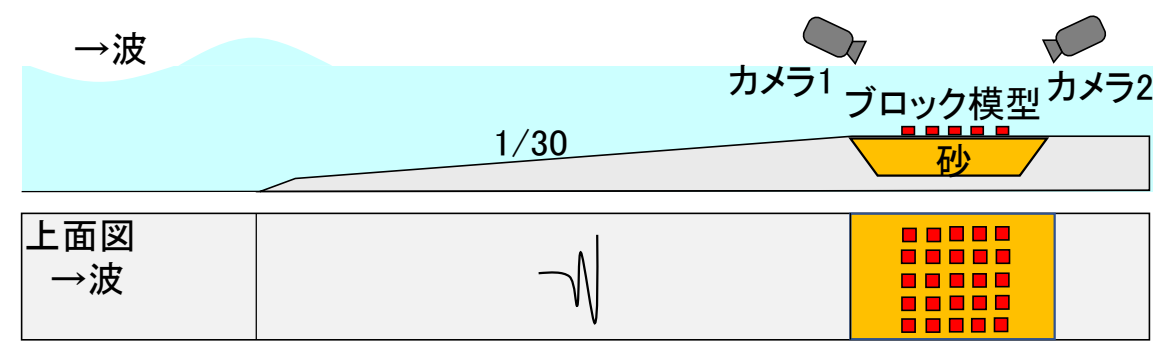
不規則波の波群：3種類
 作用波数：1000波



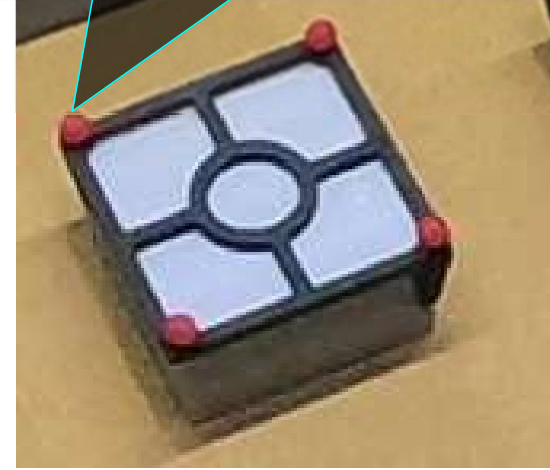
藻礁ブロックの移動量計測

藻礁ブロックの位置

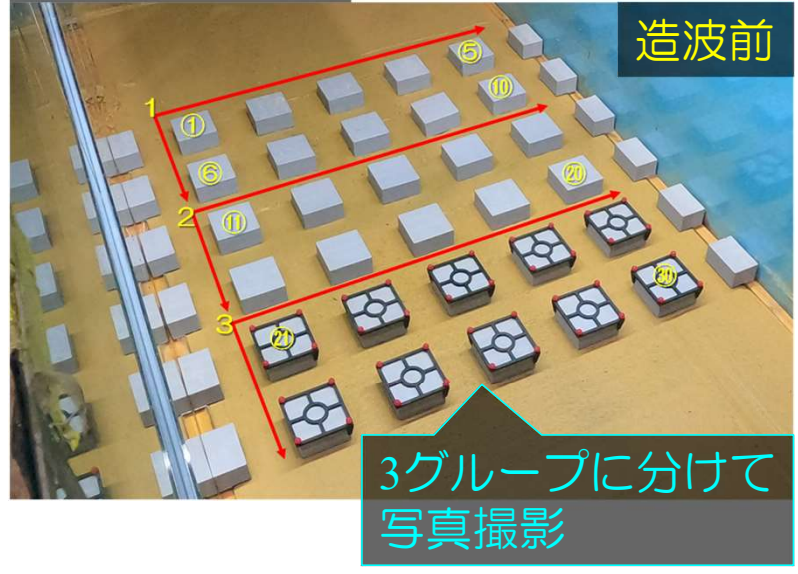
- ✓ 水路上部に2台のカメラを設置
- ✓ ブロック上面4隅にはマーカーを設置
- ✓ 造波前後のブロックの位置を撮影
- ✓ 3次元画像計測（Move-Tr/3D／(株)ライブラリー社製）



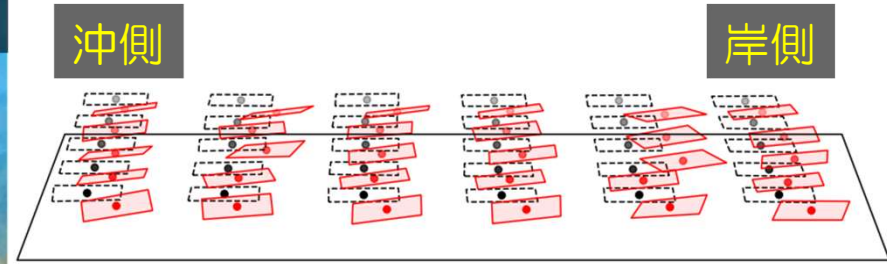
ブロック計測用マーカ



カメラ2の写真



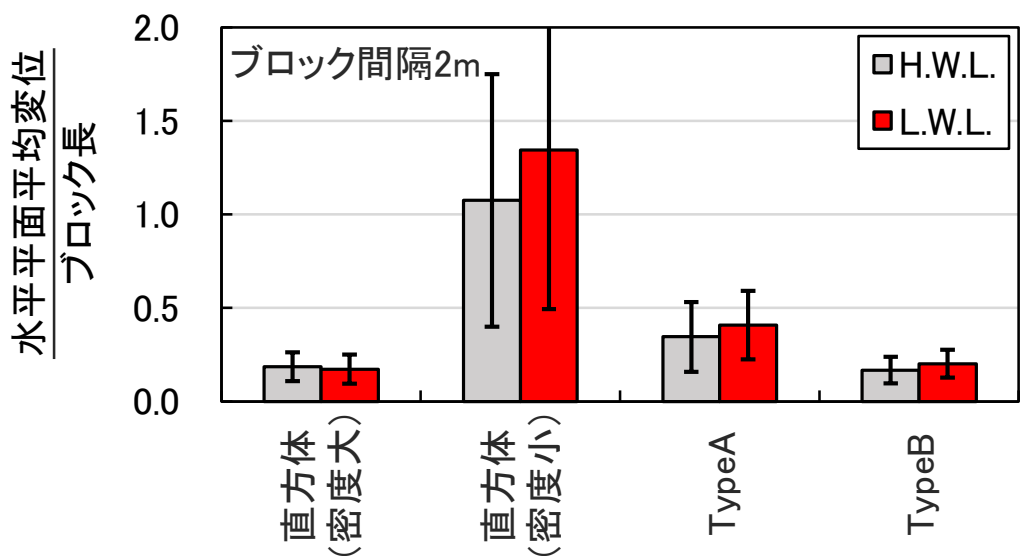
3次元画像解析例（TypeA, H.W.L.）



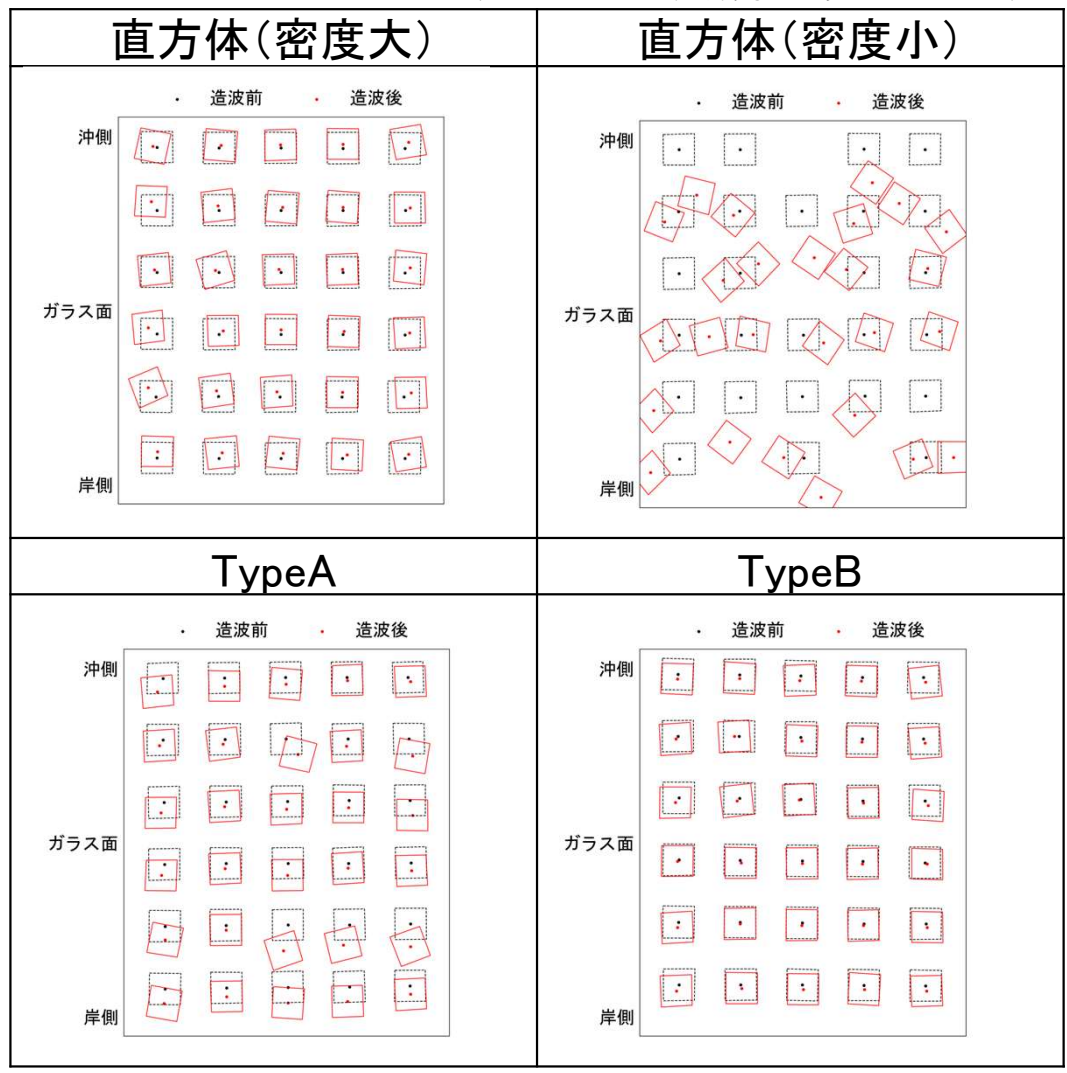
黒：造波前
赤：造波後

実験結果 / 藻礁ブロックの水平方向変位

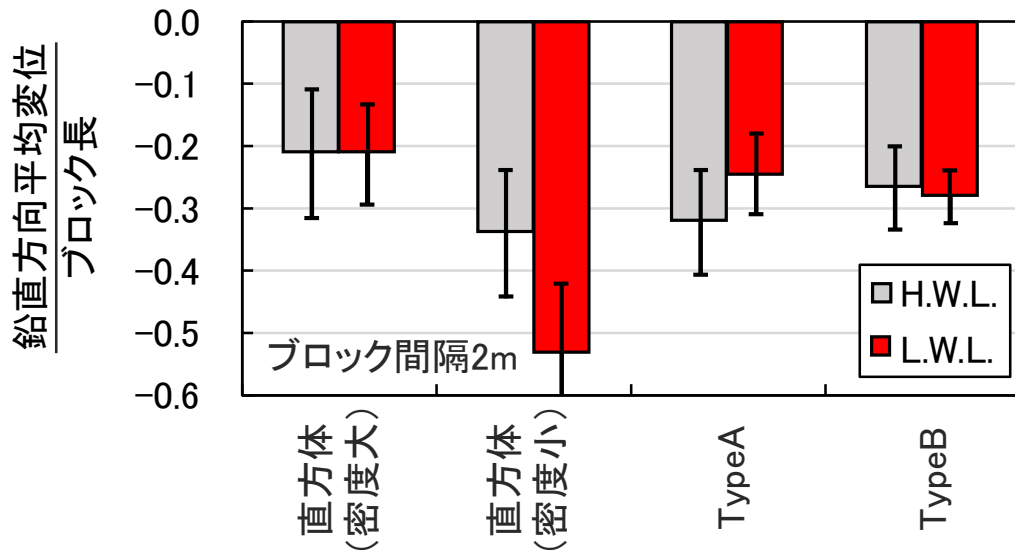
(ブロック間隔2m, H.W.L.)



- ✓ 直方体ブロック (密度小) → ブロック長以上に移動
 → 港湾等の被覆ブロックでは、
 ブロック岸沖方向長の1/2以上の移動は被災
 → 藻礁ブロックの機能が失われるわけではない
- ✓ 直方体ブロック (密度大) → 0.2程度 : **安定**
- ✓ TypeA → 0.5未満
- ✓ TypeB → 0.2程度, 標準偏差も小 : **十分安定**

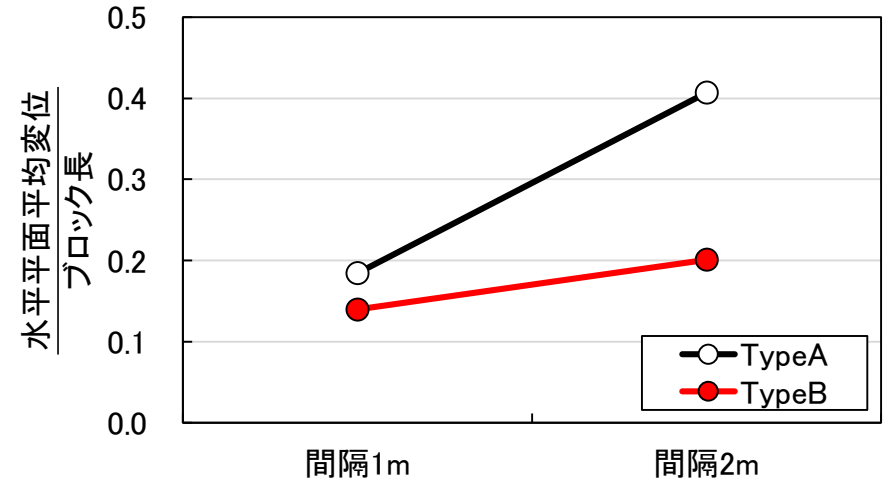


実験結果／藻礁ブロックの鉛直方向変位



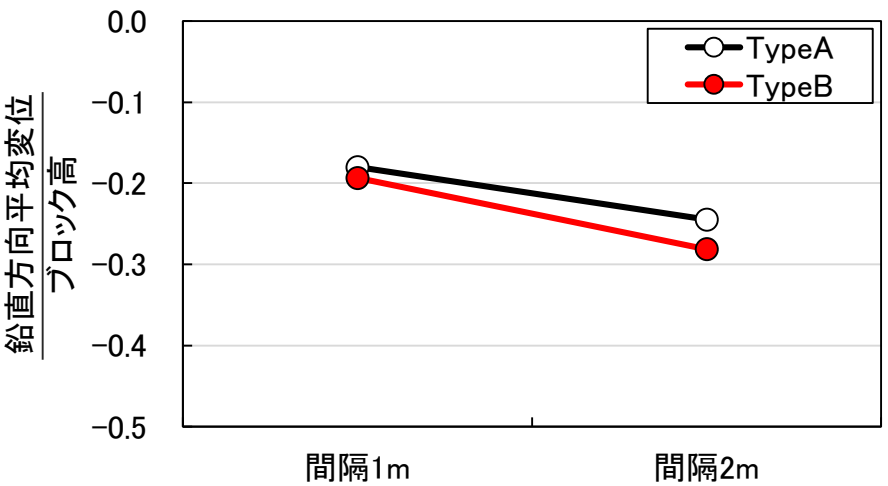
- ✓ 全て沈下
- ✓ 直方体ブロック（密度小） → L.W.L.時にブロック高/2以上に沈下
→ 沈下が水平方向に変位しながらの複合的な沈下過程を経た結果、沈下量が大
- ✓ 直方体ブロック（密度大） → 0.2程度
- ✓ TypeA, B → 0.25～0.3程度
- 港湾等の被覆ブロックでは、
ブロック高さの1/2以上の鉛直移動は被災
- 藻礁ブロックが埋没、上面に砂が堆積しなければ藻礁機能が失われるわけではない
- TypeA, Bの沈下量は許容範囲
 - 波の継続時間によっては更なる沈下も予測
 - 現地では順応的管理が必要

実験結果／ブロック間隔の影響



【水平変位】

- ✓ ブロック間隔が狭いと無次元水平平面平均変位も小さい
- ✓ TypeA → ブロック間隔の影響大
- ✓ TypeB → ブロック間隔の影響小



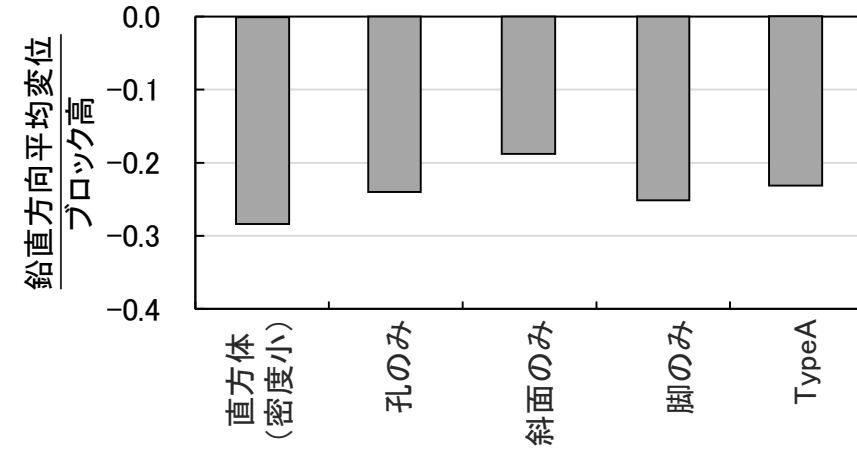
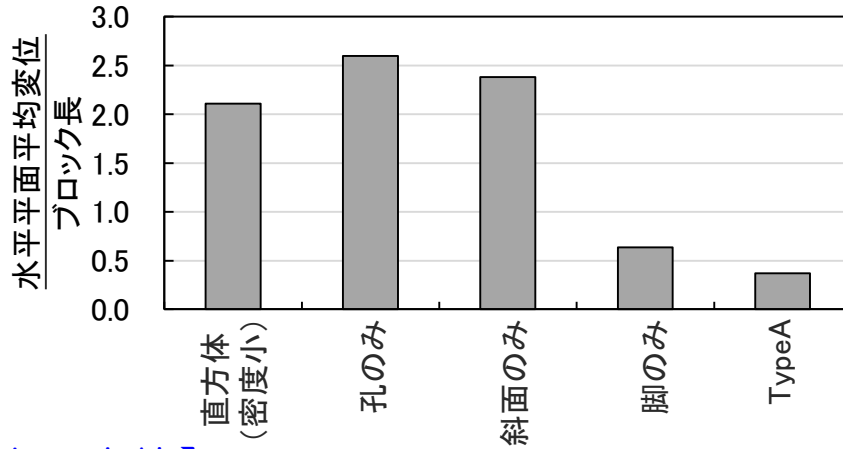
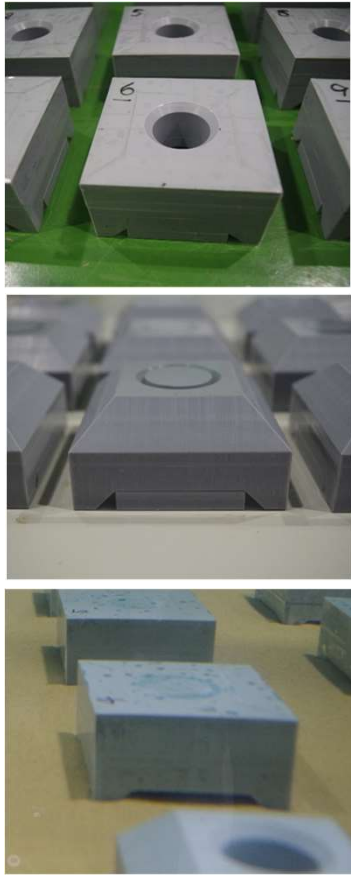
【鉛直変位】

- ✓ 全て沈下
- ✓ ブロック間隔が狭いと沈下量も小さい
- ✓ TypeA, Bの違いは小

実験結果／藻礁ブロックの安定性に寄与する形状要素の影響

TypeAをもとに

①孔のみ，②斜面のみ，③脚のみのブロックに改造



【水平変位】

✓ 脚のみが特徴的に小

- 沖側堤脚部が洗掘に伴い沈下し，沖に前傾した姿勢
- 脚部のスパイク効果が発揮された移動床特有の結果

【鉛直変位】

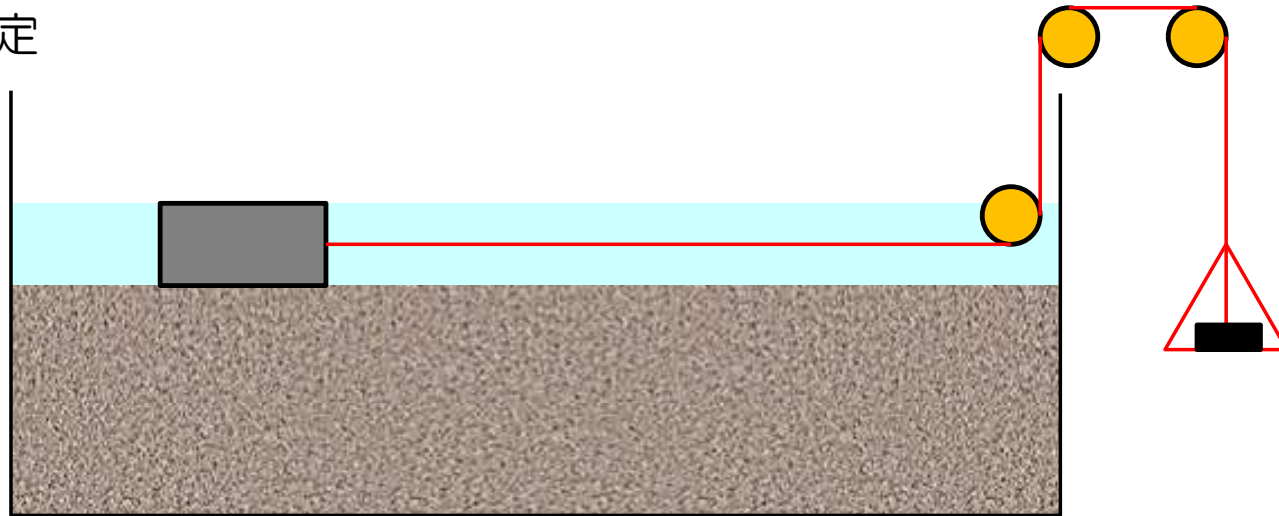
- ✓ 斜面のみが比較的小
- ✓ 脚のみはTypeAと同程度

模型の均質性や対象ブロックの個数等実験的な制約もあり，定性的な評価に留まった。
→ 今後の課題

実験結果／ブロック模型の摩擦係数測定

直方体ブロック（密度小）

- 事前の検討では安定（摩擦係数0.6を使用）
- 実験では大きく滑動
⇒摩擦係数を測定



- ✓ 直方体ブロック（密度大）：摩擦係数0.34, $\mu W/F=2.04 \geq 1.2$
- ✓ 直方体ブロック（密度小）：摩擦係数0.29, $\mu W/F=1.19 < 1.2$

安定計算で使用する摩擦係数
特に通常コンクリートより密度が小さい石炭灰混合材
を用いたブロックの場合には、十分な注意を要する

まとめ

- 提案した藻礁ブロック（TypeA, TypeB）は①揚圧力の低減を期待して孔，②水平波力の鉛直下向きへの変換を期待して斜面，③設置圧の増大とスパイク効果を期待して脚をそれぞれ設けた形状とした。
- 代表長が等しく，通常コンクリートの密度である直方体ブロック（密度大）は，十分安定であった。
- 同一形状だが，石炭灰混合材を想定して通常コンクリートより密度を小さくした直方体ブロック（密度小）では，十分な安定性を確保できなかった。
- 直方体ブロック（密度小）と同じ密度の藻礁ブロック（TypeA, TypeB）は，直方体ブロック（密度大）に近い安定性を示した。
- 藻礁ブロックTypeA, TypeBともに，ブロック設置間隔が狭いと移動量が小さい。
- 藻礁ブロック（TypeA）の水平方向の安定性には，孔，斜面，脚のうち，脚が最も寄与した。
- 実験条件での直方体ブロック（密度大，密度小）の摩擦係数の実測値は，通常使用される海底が平坦な砂礫の場合の0.6より小さく，通常コンクリートより密度が小さい石炭灰混合材を用いたブロックの安定計算においては注意が必要である。

この成果は，国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP16002）の結果，得られたものである。また，藻礁ブロックの形状設定に関わる既存各種ブロックの形状分析ならびに対象波浪の設定について（株）アルファ水工コンサルタンツの協力を得た。