

# サンゴ群集海域の環境修復に向けた 海底堆積土砂の現位置分級装置の開発

DEVELOPMENT OF IN-SITE SEDIMENT SEPARATION TECHNOLOGY FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN CORAL COMMUNITY

山内一彦<sup>1</sup>・田中亮三<sup>2</sup>・天間浩之<sup>3</sup>・高崎啓太<sup>4</sup>

Kazuhiko YAMAUCHI, Ryozo TANAKA, Hiroyuki TENMA, Keita TAKASAKI

<sup>1</sup>工修 株式会社東京久栄 海洋エンジニアリング 事業部 (〒810-0072 福岡県福岡市中央区長浜1-3-4)

<sup>2</sup>正会員 株式会社東京久栄 海洋エンジニアリング 事業部 (〒810-0072 福岡県福岡市中央区長浜1-3-4)

<sup>3</sup>株式会社東京久栄 海洋エンジニアリング 事業部 (〒761-8072 香川県高松市三条町173-3)

<sup>4</sup>株式会社東京久栄 海洋エンジニアリング 事業部 (〒810-0072 福岡県福岡市中央区長浜1-3-4)

The area of Tatsukushi bay in Ashizuri Uwakai National Park, is famous for its high coverage of coral community and existence of various ecosystems. However, large volume of mud and soil flowed into the bay by the flooding in 2001 and settled down on the sea bottom. The sediment that remains in the bay now gave serious influences on the coral community.

This research aimed at the development of the device to separate fine grains from sediment efficiently, and to remove fine grains on the sea bottom. We researched, manufactured and developed the practical device for the purpose through the site experiment and the basic examination lasting for several years, and used it in the nature restoration project in 2007 fiscal year.

As a result, it was verified that the sediment of about 20 cm on the sea bottom was removed.

We believe that the development of this method and device could be applied to improve deteriorated tidal flat where sediment settled down etc. and other environmental restorations themes in the future.

**Key Words :** *environmental remediation, sediment separation technology, nature restoration project, coral, turbid water, SPSS, sediment removal, adaptable countermeasure*

## 1. はじめに

河川から流入した微細粒子を含んだ濁水は海域で拡散し堆積する。また赤土やヘドロに代表される海底に堆積した細粒土は、元来の水底土砂と混じり合い、波浪等により容易に舞上がり再懸濁と堆積を繰り返す。そしてこれらは濁りによる光の遮断と岩礁など基盤への沈着という過程により、サンゴなどの海洋生物の生育に悪影響を与える。

本研究は、細粒土を含んだ水底土砂を直接浚渫するのではなく、現場海底において細粒分（シルト・粘土）を効率的に分級し除去する装置（以下、現位置分級装置）の開発を目的とした。本工法は、細粒分を除去し海底面を砂質層・礫質層に改善することで直接的な濁りの発生を抑止すると共に、覆砂の効果も期待するものである。

## 2. 研究の背景

足摺宇和海国立公園竜串海中公園地区（図-1参

照）は、サンゴ群集に代表される多様な生態系が広がる海域である。

しかし平成13年の西南豪雨において、流域の細粒分を多く含んだ土砂（以下、泥土）が湾内に大量流出し、サンゴに壊滅的なダメージを与えた<sup>1)</sup>。

現在、海域環境は回復傾向にあるものの一部湾内に泥土が残留堆積し、サンゴなど海洋生物の成育に悪影響を与え続けている。

このような状況下、竜串ではサンゴ群集の健全成育が可能な環境修復に向け、自然再生の試みが始まった。このうち濁りの原因となる泥土を除去する対策手法では、漁業、観光業またはサンゴ等への影響など周辺環境に配慮した工法として、海底の泥土をダイバーによる人力掘削により丁寧に取除く工法が導入されている。



図-1 対象位置

しかしながら堆積した泥土は、層厚やコーラル・礫・砂など粒度構成が複雑であり、かつ広範囲に分布している。また直接的に吸引・除去する既往の手法では確実性・信頼性は担保される反面、工程やコスト面における制約要因になっていることから、より効率的で効果が高く、環境に優しい新たな工法の研究開発が必要となった。

まず現場海域の環境修復に向けた基礎調査として、多機能音響探査装置による底質判定（岩・サンゴ、砂、細粒土）、湾内の流況シミュレーションならびに水底土砂中に含まれる懸濁物質量を表すSPSS（Content of Suspended Particles in Sea Sediment）<sup>2)</sup>を適用し現場海域のゾーニングを行った<sup>3)</sup>。あわせて周辺サンゴの健全度調査の結果、専門家等の意見を踏まえて海底面の改善目標値としてSPSS 500 kg/m<sup>3</sup>以上を「除去必要」、100～500 kg/m<sup>3</sup>を「改善必要」、100 kg/m<sup>3</sup>以下を「残置（継続観察）」に設定した（図-2参照）。

またSPSS法は、海底面の改質数値目標とするとともに、事業効果評価のためのモニタリングなどにも適用でき、科学的知見に基づく順応的管理<sup>4)</sup>の手段として活用することとした。

本研究を進める上で発端となった現象は、約5年間に及ぶ現地調査の中で、当初は広範囲に厚く堆積していた泥土が、台風等による大きな自然擾乱によりクリーニングされ、海底面の土層が砂質に置換され、下層に残存する泥土の舞上りを抑制しているゾーンが確認されたことである。

そこで本研究では、人工的に擾乱を海底面に作用させて表層部分の土砂を舞上がらせ、沈降速度をパラメーターに細粒分を選択的にポンプで吸引・除去する装置つまり現位置分級装置の開発を研究の方向性とした。

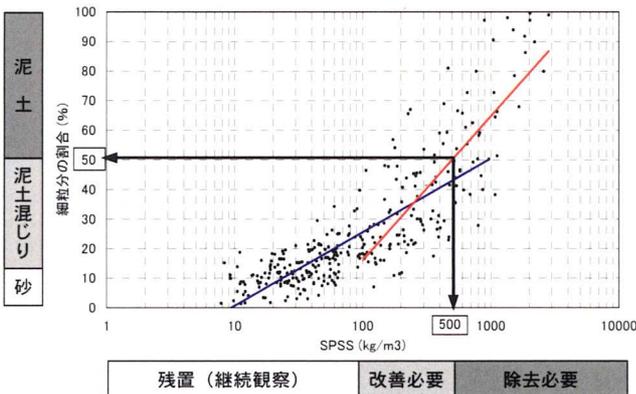


図-2 SPSS値とゾーニング区分

### 3. 基礎現地実験

現位置分級装置の開発に当たって、まず攪拌機の水流による底面攪乱により想定した除去性能が期待できるか、また実機として稼働することを前提に周

辺環境へ与える影響、ダイバーによる作業性等の細部構造に関する課題点を抽出する目的で基礎現地実験を行った。

基礎現地実験を行った地点は、元来、砂礫を中心とした堆積に周辺の細粒土が波浪により舞上がり海浜流により移送され堆積した海域である。海底の底質は、表層に泥土が数mmから数10cmで薄層に堆積し、その下層に砂礫と泥土が10cm程度混合している状況である。

そのため既往の工法（写真-1、図-3参照）では、泥土と同時に礫石を吸引しポンプの閉塞等の非効率的な作業による工程遅延などのリスクが高い。

そこで基礎現地実験用に製作したボックス型装置（以下、基礎実験装置）を用いて基礎現地実験を行い除去性能の評価および課題点の抽出を行った。



写真-1 既往工法による作業状況



図-3 既往工法の概略図

#### (1) 基礎実験装置の特徴

基礎実験装置は、海底に向かって攪拌機による水流により濁りを強制的に発生させ、発生した濁りをサンドポンプにより直接吸引するものである。また濁りが周辺に漏洩拡散することを抑止するため箱型の密閉構造を採用した。なお粗い土粒子は舞上がり高さが低いことを想定し、懸濁して高く舞上がった細かい粒子を選択的に除去する構造とし、分級点を設ける分級機能は保有していない。

処理フローを図-4に示す。

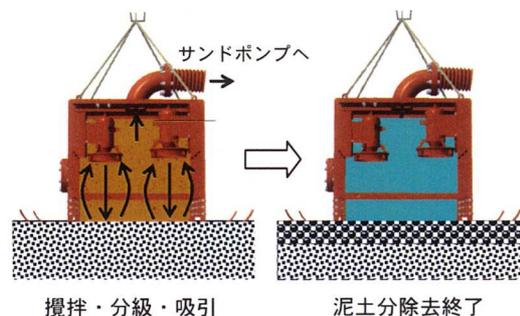


図-4 基礎実験装置の処理フロー

#### (2) 結果および考察

泥土の除去性能評価のため、実験前後における底

質を粒度分析した。代表的な粒度加積曲線を図-5に示す。図-5より実験後の底質は1mm程度の粗砂より粗い粒径にまで分級されていることが判る。あわせて柱状コアサンプリング結果より、実験後では深度20cm程度まで改善できていることが確認された。

この基礎実験装置による泥土の分級除去は既往の工法よりも作業効率性に優れ、礫石等の吸引によるポンプ閉塞などのトラブルも皆無であった。

但し、濁りに寄与しない細砂や中砂の一部も同時吸引されており、濁りの主要因である細粒分（シルト・粘土分）だけの選択的除去は達成できていない。

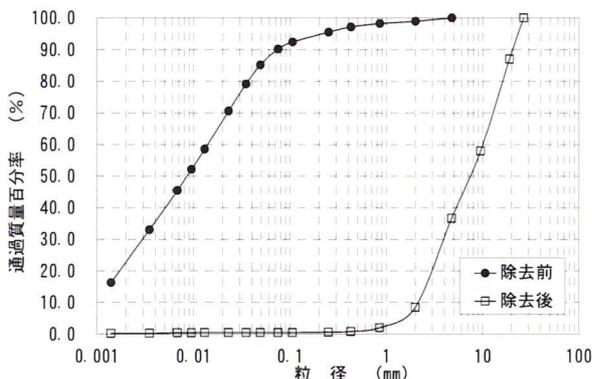


図-5 泥土除去前後の海底の粒度組成

また濁りの漏洩対策として採用した密閉型ボックスは、裾部分からの濁りの漏洩が確認された。これは攪拌機により底面が掘られたことにより、海底面とボックス下部に隙間が生じ、当初想定していた裾部の吸込み流速よりも攪拌機水流の流速影響が勝ったためと推察された。濁りの発生状況を写真-2に示す。



写真-2 濁りの拡散状況

### (3) 課題点の抽出

基礎現地実験により、攪拌機の水流を用い細粒分を選択的に除去する工法は、作業性に優れ発展性・応用性が見込まれると評価した。但し、実用化に向けて以下の課題点が抽出された。

- ・ 攪拌機の水流が及ぼす影響範囲・深さの確認
- ・ 分級性能の積極的な機能付加の検討
- ・ 装置裾部からの濁り漏洩防止対策の検討

## 4. 基礎室内実験

基礎現地実験により抽出された課題点について検討し改良案を導き実機の設計に用いるデータ収集を目的とし、模型による基礎室内実験を実施した。

基礎室内実験は以下の3つを実験テーマとした。

- ・ 攪拌性能（範囲・深さ）の確認
- ・ 分級性能（整流）の評価
- ・ 濁り漏洩防止対策の検討

### (1) 基礎室内実験の概要

実験は1m×1m×1mの模型水槽を製作し、底質材料を水槽に敷き詰めた。底質材料は攪拌機による海底への影響を確認する為に、対象地点に元来堆積していた底質を模擬した。濁りを発生させる細粒分は元来堆積している粗い粒子に比べ攪拌影響の因子として影響が少ないと考え、底質材料には細粒分の少ない砂礫を用いた。対象とした現地の海底は、基礎実験を実施した礫質の海底および今後対策が必要と考えられる砂質の海底の2地点である。また使用した底質材料の粒度組成およびモデルとした海底の粒度組成を図-6に示す。

また攪拌機は基礎現地実験において基礎実験装置で使用した同型の攪拌機を使用した。

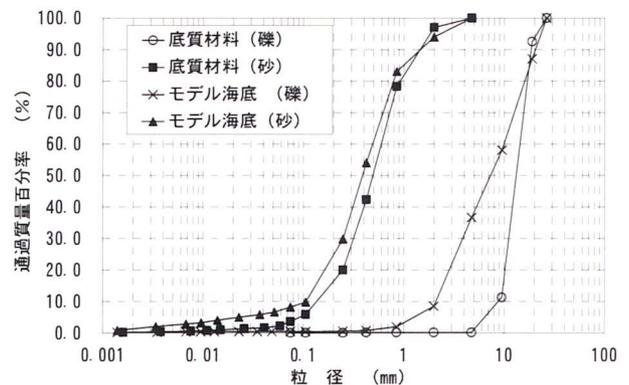


図-6 底質材料の粒度組成

### (2) 攪拌性能の確認

実験は、流速を3段階（回転周波数制御）、底面と攪拌機プロペラとの距離を3段階に設定し、礫、砂の底質において攪拌機による掘り込み影響（深さ、範囲等）を計測した。実験の概要を図-7に示す。

実験の結果、最も掘り込み影響が大きいケースは、底質が礫の場合、攪拌機60Hz運転、底面とプロペラの距離20cmの時であり、深さ22cm、範囲80cmであった（写真-3参照）。また底質が砂の場合、攪拌機60Hz運転、底面とプロペラの距離20cmの時であり、深さ18cm、範囲は水槽全面に達した（写真-4参照）。実験では掘り込み形状安定後の底面形状を計測しているため、実際にはそれ以上の深さまで攪拌機による水流影響が及んでいると推察される。

以上より、攪拌機を用いた場合、回転数60Hz、プ

ロペラ位置を底面より20cm地点にすることで、深度20cm程度までの底質改善効果が確保されることを確認した。

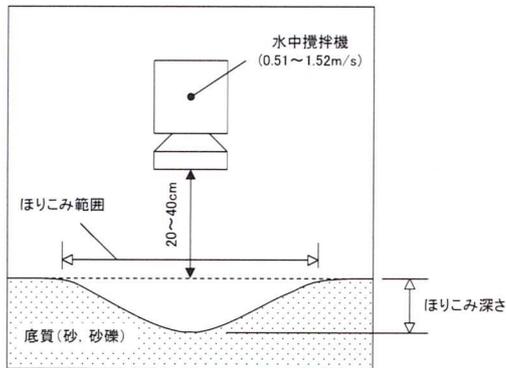


図-7 攪拌性能の確認実験



写真-3 底質材料 (礫) による実験状況

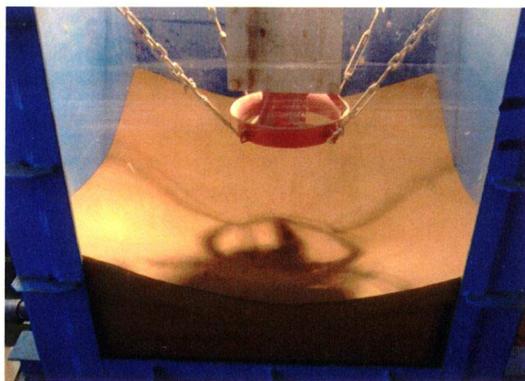


写真-4 底質材料 (砂) による実験状況

### (3) 分級性能の確認実験

基礎実験装置は特に積極的に分級機能を保有することを目指していない。そこで別途に分級装置を付加することにより、分級点の設定が可能なシステムを検討した。分級機構は除去対象の最大粒径の土粒子沈降速度よりも吸込み流速が打ち勝つように、吸込み流速（分級流速）、すなわち分級装置

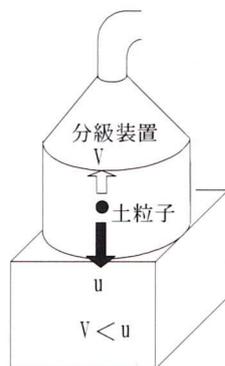


図-8 分級装置のイメージ

の大きさを設定するものである（図-8参照）。

仮に除去対象を細粒分（シルト・粘土）とした場合、分級点は0.075mmであり、その場合の沈降速度は、Rubeyの式より約0.55cm/secで、分級流速はごく微小である。これは装置の形状、作業スピード等を考慮すると非現実的なため、分級点を粒径0.25mm（細砂～中砂）とし、分級流速を3cm/secに設定した。分級装置では、吸込み流速を均等に整流するためのハニカム構造を採用した。実験は分級装置の部分模型を作製して実施した（図-9参照）。

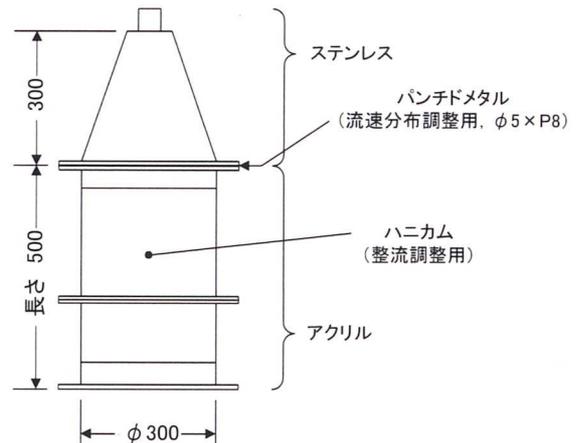


図-9 分級装置の部分模型

実験では、底質材料を入れた水槽を攪拌して懸濁水を吸引し、分級装置の通過有無により吸引した濁水中の粒度組成の違いを分析評価した。実験の状況を写真-5、分級装置の断面を写真-6に示す。



写真-5 分級性能確認実験状況

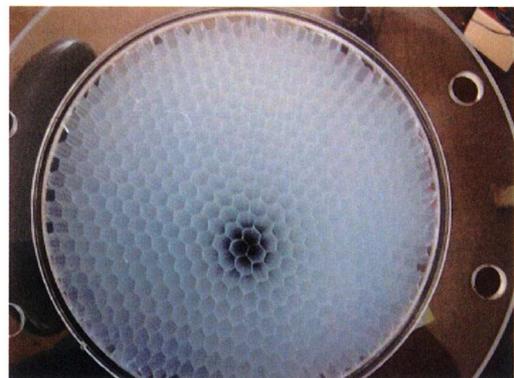


写真-6 分級装置断面

通過土粒子の分析結果を図-10に示す。分級装置を通過しない場合、中砂の一部を吸引しているのに対し、分級装置を通過した場合、細砂以下の分級点の性能確保が確認された。

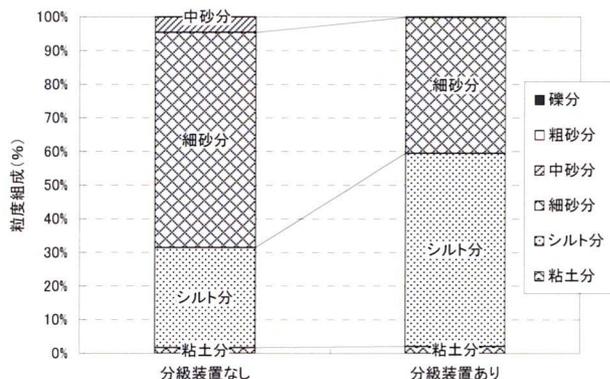


図-10 分級性能確認実験結果

#### (4) 濁り漏洩防止対策の検討実験

実験は装置の片側1/2分を模擬したモデルにより実施した(図-11参照)。裾部からの濁り漏洩防止対策として仕切り板とカーテンの組合せを行い、性能をビデオ撮影により評価した。実験状況を写真-7に示す。

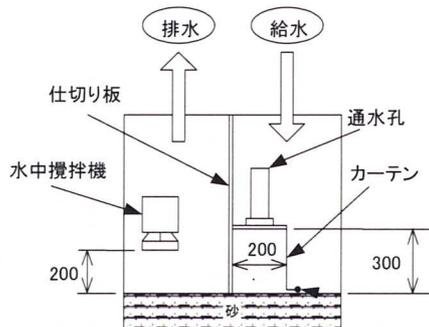


図-11 模型概略図



写真-7 模型外観写真

実験は攪拌機の取付け位置を平面的に移動させ、またカーテンの長さ、カーテン端部のウェイト重量などを比較パラメータとして実施した。その結果、攪拌機を壁側に偏芯させた場合、底面の掘り込み影響が強く現れ、濁り漏洩が発生した。この対策とし

て、可撓カーテンによる二重裾形式を採用し、最適なカーテン長とウェイト重量の選定により濁りの漏洩を防止した。実験状況を写真-8に示す。攪拌機側は攪拌により砂が舞上がり濁りを発生、水流および濁りの影響は二重構造の内側までは確認されるもののカーテンまたは通水孔の外側には漏洩していない。

また本検討実験においては、仕切り板が攪拌機による“掘り込み”範囲を抑制し、カーテンと底面の間隔を保つ機能を果たすことが確認された。密閉ボックスに仕切り板を有した二重構造を採用すること、可撓カーテンにより海底面の不陸に対応する形式であることが、濁り漏洩防止効果の向上に寄与すると評価された。



写真-8 濁り防止対策の検討実験状況

## 5. 実機の概要

基礎現地実験および基礎室内実験を踏まえ、実機の現位置分級装置を製作した。写真-9に外観を示す。

基本構造は、水流発生装置(攪拌機)、分級装置及び濁り拡散防止密閉ボックス、二重締め切り裾部等で構成されている。

基本能力は、最小分級点0.25mm、排水量80m<sup>3</sup>/hr～120m<sup>3</sup>/hrである。

概略寸法は1600mm×1200mm×1550mm、概略重量530kg(空中重量)、0kg～300kg(水中重量)、特に水中ではフロートおよび浮力調整用タンクにより重量調整を可能とし、移動操作性を確保した。



写真-9 現位置分級装置

