

# 高知県須崎港における生物共生を考慮した港湾整備

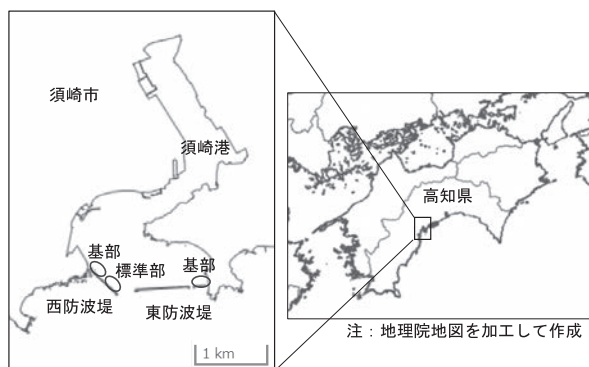
永 友 繁

高知県須崎港では、大規模地震等からの背後住民の生命と財産の防護および港内の静穏性確保を目的に湾口地区防波堤が整備され、現在は、東日本大震災を契機に粘り強い構造への補強等の改良工事が行われている。改良工事の腹付け工の補強により防波堤基部に創出された浅場において、平成 27～令和 4 年度に藻場造成実証試験を実施し、約 0.2 ha の藻場形成に成功した。この造成藻場は、生物の生息場となっているほか、ブルーカーボン生態系として機能し、年間 1.3 トンの CO<sub>2</sub> を固定すると試算された。また、防波堤本体では、リサイクル材である鉄鋼スラグ水和固化体の海藻類の着生基盤としての有効性判定試験も行い、南方系ホンダワラ類とテングサ類の着生に効果があると確認された。以上の結果は、周辺の天然藻場が磯焼け状態に陥っている現状において、港湾整備の大きな可能性を示唆している。

キーワード：港湾整備、環境配慮、生物多様性、藻場造成、磯焼け対策、ブルーカーボン

## 1. はじめに

高知県須崎港（図—1）は、土佐湾のほぼ中央に位置し、リアス式海岸の地形を生かした天然の良港である。湾奥には年間 430 万トンの生産能力をもつセメント工場、また背後には日本有数の石灰石の生産量を誇る鳥形山鉱山を有し、セメントおよび石灰石の積出港として発展してきた。現在は、高知県全体の港湾取扱貨物量の 8 割（令和元年、フェリー貨物を除く）、県下最大の貨物量を取り扱っている。須崎港は、入り口が広く、奥が深く狭いため、過去幾度となく大きな津波被害を受けてきた。そのため、津波から背後住民の生命と財産を防護すること、港内の静穏性を確保することを目的に、昭和 58～平成 25 年度にかけて湾口地区防波堤（西防波堤および東防波堤）が整備された。

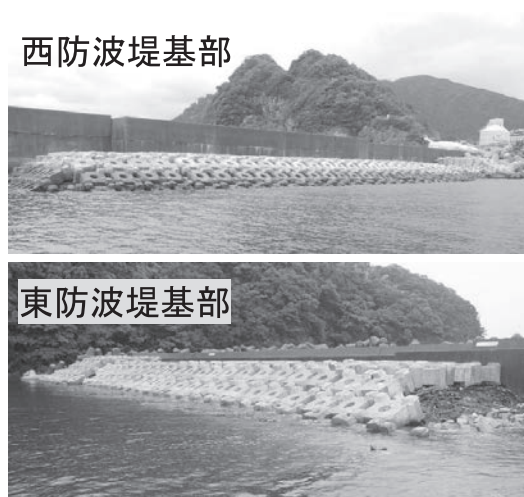


図—1 高知県須崎港（プロジェクト実施場所）

さらに、平成 23 年の東日本大震災以降は、大規模地震・津波に備えた粘り強い構造への補強等の改良工事が進行中である。この改良工事では、防波堤の腹付け工の補強により浅場が創出されたので、その浅場において、平成 27～令和 4 年度に藻場造成実証試験（本プロジェクト）を行った。

## 2. プロジェクト実施場所

藻場造成実証試験の実施場所は、湾口地区防波堤の西防波堤標準部と基部および東防波堤基部の港内側（防波堤背後）の腹付け工（図—2）の補強により創



図—2 西防波堤基部および東防波堤基部の腹付け工

出された浅場である。この防波堤背後の浅場は通常利用されることはなく、本プロジェクトではこの利用水域の有効活用を目指した。なお、防波堤周辺には岩礁域があるものの、植食性動物であるウニ類(ガンガゼ、ムラサキウニ等)が多く、その食害により藻場が衰退した磯焼け状態となっていた。

### 3. プロジェクトの概要と成果

#### (1) 防波堤基部の腹付け工における藻場造成

西防波堤基部および東防波堤基部の腹付け工により創出された浅場において藻場(ガラモ場)造成を実施するにあたり、以下の予備試験および検討を行った。

##### ①対象海藻種の選定

当該場所において、周辺に生育している海藻類(藻場構成種)を中心に移植試験を行い、有望種を選抜した。移植試験に供した種は、温帯性ホンダワラ類(もともと須崎港周辺に生育しているホンダワラ類)のマメタワラ、トゲモク、ヒラネジモクおよびヨレモクモドキ、南方系ホンダワラ類(地球温暖化により分布が北上している種で、土佐湾では20年ほど前から確認されている<sup>1)</sup>)のキレバモクおよびヒイラギモクのほか、コンブ類のカジメ、ワカメおよびヒロメであった。移植後の生育状況をそれぞれ観察して当該場所における藻場造成種としての適性を評価した結果、南方系ホンダワラ類のキレバモクおよびヒイラギモクを適種として選定した。

##### ②食害防止対策

本実証試験では、植食性動物による食害を調査し、その防止対策を検討した。須崎港周辺で調査したところ、ガンガゼやムラサキウニといったウニ類、ブダイやアイゴといった植食性魚類が食害生物として認められ、天然藻場はウニ類の食害を受けて磯焼け(ウニ焼け)状態にあり、植食性魚類の摂食圧も高いことが確認できた。これらの食害の防止対策として、ハード対策としては、大型の食害防止ネット、小型の食害防止カゴの設置を、ソフト対策として、ダイバーによるウニ類の除去を検討した。その結果、ネットおよびカゴは、食害生物の侵入は防ぐことができるが、カゴおよびネットへの付着生物による目詰まりやネットの沈下、高波浪による破損等により長期間の維持管理は困難であると確認された。一方、ダイバーによるウニ類の除去は、一定期間をおいて繰り返すことで効果を持続させられることが確認された。

##### ③環境改善・創造の効果

平成30年度に整備が完了した西防波堤基部腹付け

工区、および令和2年度に整備が完了した東防波堤基部腹付け工区では、令和4年6月の海藻繁茂期に、南方系ホンダワラ類を主体とする藻場(ガラモ場)が全域(計約0.2ha)に形成されていることが確認できた(図-3)。南方系ホンダワラ類は春季を中心に半年ほど繁茂することから、その藻場は「春藻場」と呼ばれる。この時期は植食性魚類の摂食圧が小さい時期に相当し、須崎港周辺では春藻場の形成が有利であったと考えられる。因みに、温帯性のホンダワラ類は周年繁茂し、その藻場は「四季藻場」と呼ばれる。

本実証試験では、防波堤基部の腹付け工の補強により浅場が創出されたこと、植食性魚類の摂食圧が小さい時期に藻場を形成する南方系ホンダワラ類を採用したこと(西防波堤基部ではスポアバッグ法による移植を実施、東防波堤基部は周辺からの自然加入)、および、もう一つの食害生物であるウニ類の除去を継続したことが藻場造成の成功につながった。かつて須崎港周辺に形成されていた四季藻場は、人為的に造成したとしても、ハード対策で植食性魚類の食害から守ることは困難であることを考慮すると、人工造成対象としては不利であろう。同様のことは、防除が難しい植食性魚類の摂食圧が高い海域に共通すると考えられ、ここでは南方系ホンダワラ類の藻場造成が推奨される(須崎モデルと命名)。

須崎港および周辺の岩礁域の天然藻場はほとんど磯焼け状態にある。本実証試験で造成された藻場は、天然藻場に代わって生物の生息場として重要な役割を果たすにとどまらず、ブルーカーボン生態系として機能して年間1.3トンのCO<sub>2</sub>を固定すると試算されている。将来は、この造成藻場が藻類の分布拡大の核となり、カーボンニュートラルポータの実現に寄与することも期待できる。

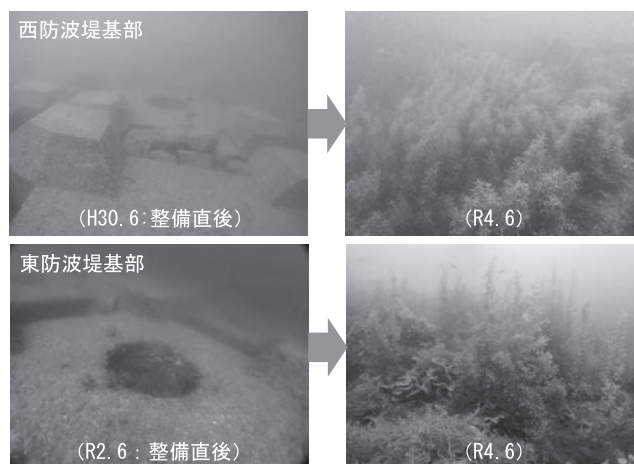


図-3 防波堤基部の腹付け工に造成した藻場



(2) リサイクル材である鉄鋼スラグの効果的活用

本実証試験では、鉄鋼スラグ水和固化体（結合材として高炉スラグ微粉末（セメントの代替）を、骨材として製鋼スラグ（天然石砂の代替）を材料として製造するリサイクル製品：以後、鉄鋼スラグとする）の海藻附着基質としての有効性を見るための海藻類の着生試験も行った。その結果、鉄鋼スラグは、碎石状では天然石と同程度、プレート状ではコンクリートと同程度の着生効果を有することが確認された。その内容は以下のとおりであった。

①西防波堤標準部での検討(人工碎石, 鉄分供給ユニット)：平成 27～令和 3 年度

西防波堤標準部(天端の水深:D.L.-4 m)において、鉄鋼スラグで作製した人工碎石(実験区)と天然石(対照区)を藻礁基盤として海藻類の着生生育状況を比較した。藻礁基盤の粒径はいずれも約 30 cm としたが、人工碎石については粒径約 20 cm および約 10 cm の試験区も設定した。なお、着生効果は、南方系ホンダワラ類およびテングサ類(とてらんの原料)で評価した。その結果、テングサ類では、人工碎石で天然石と同等以上の着生効果が確認され、粒径が小さいほど被度(海藻類を上方から観察して附着基盤に投影し、それが覆う面積の割合)が大きい傾向にあった(図-4)。また、南方系ホンダワラ類では、藻礁基盤上ではほとんど着生はみられなかった。

着生基盤としての機能のほかに、鉄鋼スラグには鉄分供給の機能も期待されている。そこで、鉄分供給ユニット(転炉系製鋼スラグと人工腐植土を混合し麻袋に入れ、その麻袋を鋼製のボックスに入れたもの)を 2 基設置してその効果を評価することとした。その結果、鉄分供給ユニットには明瞭な海藻類の生育促進効果等は確認されなかった。このことは、須崎港では、自然海水中の溶存鉄は不足していないことを示してい

る。以上のことから、須崎港においては、鉄鋼スラグは鉄分供給ではなく、海藻類の着生基盤としての活用を図ることが適当である。

②西防波堤基部での検討(プレート, 人工碎石)：平成 30～令和 4 年度

人工碎石のテングサ類に対する着生効果が確認されたことから、次のステップとして、プレート状の鉄鋼スラグの着生効果を観察した。プレートは被覆ブロックの表面を模したもので、将来の鉄鋼スラグの活用を見据えたものである。

西防波堤基部の水深 D.L.±0~-5 m に設定した藻場造成地に、鉄鋼スラグで作製したプレート状および碎石状の藻礁基盤を同一の 3 区域に設置し、海藻類の着生生育状況を比較した。プレート基盤の設置様式は、以下の 7 通りとした(図-5)。

- ・プレート水平設置(被覆ブロックの天端に貼付け)
  - 3 条件：溝あり、溝なし、コンクリート(ブロック表面：対照区)。プレートの大きさは、縦 40 cm、横 70 cm、厚さ 7 cm、溝の幅と深さは 3 cm。

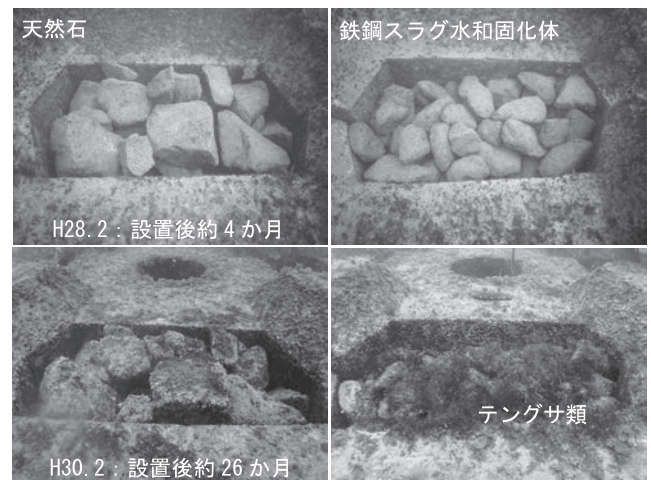


図-4 西防波堤標準部に設置した藻礁基盤(海藻生育状況)

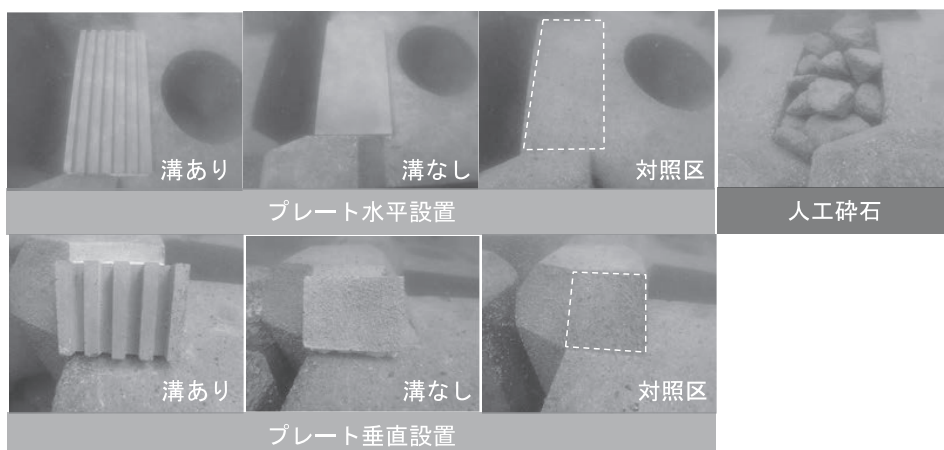


図-5 西防波堤基部に設置した藻礁基盤

- ・プレート垂直設置（被覆ブロックの脚部側面に貼付け）3条件:溝あり、溝なし、コンクリート（ブロック表面:対照区）。プレートの大きさは、縦 27 cm、横 20 cm、厚さ 7 cm、溝の幅と深さは 3 cm。
- ・人工砕石（被覆ブロックの間に間詰め）1条件:粒径約 30 cm。

溝の有無およびプレートの水平垂直方向の設定は、海藻類の生育阻害要因となる細粒分堆積の影響を検討するためのものである。なお、着生効果は、前記試験同様南方系ホンダワラ類およびテングサ類で評価した。

テングサ類の被度は、コンクリートブロック表面に比べて鉄鋼スラグプレートで高く、さらに人工砕石でより高かった。プレートでの被度は、設置後2年ほどはコンクリートに比べて高いものの、他の直立海藻の増加に伴い相対的に低下し、最終的にはコンクリートでの被度と同程度となった。この傾向は、垂直設置・溝ありの条件で顕著であったことから、溝の効果は限定的であることが示唆された。なお、人工砕石では、設置後5年においても被度の高い状態が維持されたことから、鉄鋼スラグのテングサ類に対する着生効果は、砕石状で高いといえる。南方系ホンダワラ類の被度は、プレートとコンクリートではほぼ同程度であり、人工砕石ではほとんど着生はみられなかった。なお、プレートでは、水平設置・溝なしの条件で被度が高い傾向にあった。

#### ③東防波堤基部での検討（プレート）：令和3～4年度

前記の西防波堤基部における試験では、鉄鋼スラグの対照区とした被覆ブロックは藻礁基盤よりも数ヶ月前に設置されていたものであった。そこで、東防波堤基部では、鉄鋼スラグとコンクリートのプレートを同時に設置し、同一条件で南方系ホンダワラ類に対する着生効果を観察した。

東防波堤基部の水深 D.L.-3 m において、鉄鋼スラグおよびコンクリートのプレートを並べて設置し、また、周辺の南方系ホンダワラ類の天然藻場内にも同様の試験区を設けた。プレートの大きさは、縦 30 cm、横 50 cm、厚さ 4 cm、表面は平滑（溝なし）とした。南方系ホンダワラ類の被度は、鉄鋼スラグとコンクリートでほぼ同程度であった（図-6）。

#### ④環境改善・創造の効果

上述のように、鉄鋼スラグには、南方系ホンダワラ類とテングサ類に対する着生効果が確認された。鉄鋼スラグが低炭素型の構造物・リサイクル材であるという特性を考慮するならば、港湾整備においてコンク

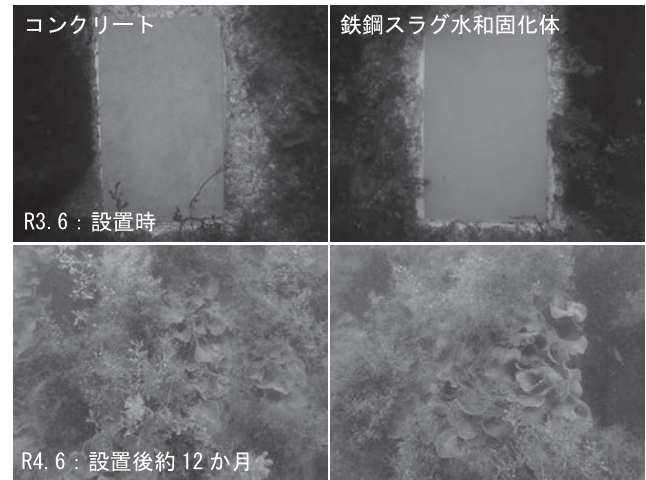


図-6 東防波堤基部に設置した藻礁基盤（海藻生育状況）

リートや天然石材の代替として有効に活用することが期待される。

## 4. 本プロジェクトの新規性

本プロジェクトの新規性として、以下の3点が挙げられる。

- ・防波堤腹付け工において藻場造成に成功したこと。
- ・リサイクル材である鉄鋼スラグの港湾整備における効果的な活用方法を明らかにしたこと。
- ・約8年間の長期間に及ぶ藻場造成実証試験において詳細なモニタリングを行ったこと。

## 5. 本プロジェクトの信頼性・安全性・経済性

本プロジェクトの信頼性・安全性として、以下の4点が挙げられる。

- ・防波堤改良工事において、腹付け工による浅場が創出されたことで防波堤本体の強度が増したこと。
- ・防波堤の腹付け工において活用方法を検討した鉄鋼スラグ（リサイクル材）は、一定の技術的知見、利用実績がある環境資材であること。
- ・鉄鋼スラグの効果を、現地実証試験においてコンクリートおよび天然石を比較対照として、統計解析による有意差判定が可能のように複数サンプルによる現地実証試験を実施したこと。
- ・代替材として鉄鋼スラグを活用するコストは、規模にもよるが、砕石状では天然石、ブロック状ではコンクリートと同程度である。鉄鋼スラグ活用による天然資源の節約、製造時のエネルギー節約・CO<sub>2</sub>排出の抑制等、想定される付加価値は少なくない。

## 6. 社会での活用

本プロジェクトの成果の主な活用実績として、以下の2点が挙げられる。

- ・防波堤の腹付け工に造成した藻場が生物の生息場となっている。具体的には、春～初夏に藻場を形成する南方系ホンダワラ類のほか、テングサ類等が周年生育し、特に後者は須崎港周辺においても水産有用種として価値の高いイセエビの幼生の育成場になっている上に、防波堤そのものはイセエビ成体の生息場として知られている。
- ・防波堤の腹付け工に造成した藻場は、水産庁支援の水産多面的機能発揮対策事業において、地元漁業関係者を主体とした協議会によって利用され、アワビ稚貝の放流事業に貢献していること。

## 7. おわりに

本プロジェクトは、(一財)みなと総合研究財団様、国土交通省四国地方整備局様、高知港湾・空港整備事務所様と共同で実施した。また、プロジェクト実施にあたっては、地元漁業関係者、須崎市、高知県の皆様には多大なご協力をいただいた。共同実施者およびご協力いただいた各位に深く謝意を示します。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 原口展子・山田ちはる・井本善次・大野正夫・平岡雅規. 高知県萩崎地先におけるホンダワラ群落の構成種. *Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.*, No.24, 1-9. 2006.

### 【筆者紹介】

永友 繁 (ながとも しげる)  
三洋テクノマリン(株)  
東京支社 技術部 環境コンサルタントグループ  
グループ長

