

二重堤方式における海面の活用方策とその効果

渡部 壮史¹・井元 忠博²・前田 優³

¹北海道開発局 網走開発建設部 紋別港湾事務所 工務課 (〒094-0003 北海道紋別市弁天町1丁目2-10)

²北海道開発局 稚内開発建設部 稚内港湾事務所 第2工務課 (〒097-0001 北海道稚内市末広町3丁目5-33)

³独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地技術推進室 道北支所 (〒078-0031 北海道旭川市1条9丁目50-3)

防波堤や護岸等の港湾・漁港施設は防波機能などの本来有すべき機能に加えて、周辺海域の自然環境と調和した環境共生型機能の付加が求められている。北海道の港湾及び漁港は外海に面しているものが多く、その外郭施設は波圧低減や越波抑制のための消波ブロックで被覆された構造となっているものが多い。本報文では、防波堤、護岸本体と消波ブロックを一定の空間を空けて設置した二重堤方式について着目し、整備事例から藻場創出効果を検証し、環境共生型構造物としての二重堤方式の有効性を確認した。

キーワード：環境共生、藻場創出、二重堤、海面の活用

1. はじめに

近年、藻場が形成されない磯焼けに対する問題が深刻化している。藻場は、水産上有用な魚介類やその他の多様な生物にとって産卵や幼稚魚の保護育成場、無脊椎動物や魚類の生息場、摂餌場、隠れ場の提供など重要な生息場となっている。

一方で、港湾・漁港施設等の整備を行う際に、周辺の自然環境と調和を図るために小段を設けるなど積極的に藻場環境の創出機能を付加した工夫がされるようになった。

防波堤・護岸への藻場創出機能の付加については、北海道開発局監修の下、平成10年度に「寒冷地における自然環境調和型沿岸構造物マニュアル」が刊行され、北海道ではこれまでに藻場21港(図-1)の整備が行われている。

本報文では、これまでに事例の少ない二重堤間における藻場創出機能について杓形港、元稲府漁港の事例を紹介するとともに、この方式における効果及び導入検討時の課題について報告する。

2. 二重堤方式による環境共生型構造物の概念

外海に面した海域に設置される防波堤には、「消波ブロック被覆堤」が広く採用されている。そのため、消波ブロック被覆堤の小段方式(前面or背後)などにみられるように僅かな細工を施すことで可能な環境共生型構造物の事例が多く報告されている。

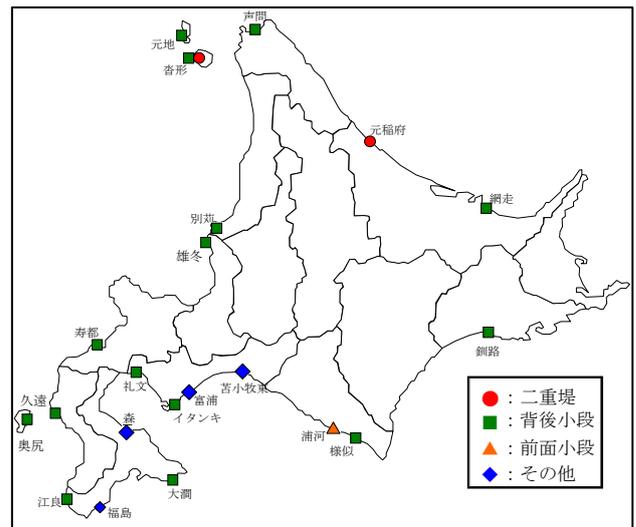


図-1 藻場創出機能整備港

表-1 従来方式と二重堤方式の比較

	従来方式 (消波ブロック被覆堤)	二重堤方式
防波機能	実績が多くある一般的な構造である。また、波浪条件によっては高天端となり景観性が損なわれる場合がある。	事例が少ないが、内側の防波堤・護岸の低天端化や越波抑制に対して効果的である。
施工性	一般的な構造であり、施工上は特に問題なし。	一般的な構造であり、施工上は特に問題なし。
環境共生構造物として	前面・背後小段方式において実績があり、特に背後小段の事例が多い。	事例が少ないが、二重堤間の海面を有効活用することで藻場の創出が可能である。従来工法に比べ、 藻場の創出される面積が広い。
経済性	二重堤構造に比べ、建設コストは安くなる。	従来構造に比べ建設コストが高くなる傾向にあるが、藻場の創出される面積が広いことや、労働環境の改善効果が期待できる。

しかしながら、高波浪な場所へ消波ブロック被覆堤を設置した場合には、天端が高くなることから、港外の監視及び管理上の観点からの眺望に対する要望や越波を抑制するために非現実的な高天端となる場合等においては、防波堤や護岸本体と消波ブロックを一定の空間を空けて設置した二重堤方式が効果的な対策の一つである(表-1)。

これまで二重堤方式は、消波ブロック被覆堤よりも建設コストが高いとされており、施工事例は少ないが、低天端化が可能で、二重堤方式より創出される水域(遊水部)の基質面を浅くするなどの有効な活用により、水産生物の生息増殖の場として効果的であり、数多く採用されている小段方式(前面or背後)よりも藻場の創出面積が大きい利点や環境と共生が可能な構造物であることが特徴とされる。

3. 二重堤方式における藻場創出効果の検証

(1) 杓形港

a) 二重堤整備概要

杓形港では、既設護岸(防波)施設からの越波が激しく荒天時には港湾施設用地が利用不可能に近い状態であった。これらを解消するためには既設護岸の天端を嵩上げする方法が一般的であるが、施工箇所が国立公園区域の特別地域内に隣接していることから景観上の制約を受け、これ以上の護岸天端の嵩上げは困難であった。そこで、平成8年度から平成10年度にかけて図-2に示す沖側に潜堤(延長238m)の整備を行い二重堤構造(図-3)とした。

b) 増殖場造成事業

北海道は平成13年度に増殖場造成事業として、二重堤間に大割石(数量4,812m³、延長115m)を投入し水深を浅くすることによって、海藻類のより活発な光合成が行われ藻場の増大(藻場創出効果)を期待して実施している。

c) 藻場創出効果について(モニタリング調査)¹⁾

潜堤設置前の平成7年度から完成までの平成14年度にかけて藻場調査(図-4)をしたA,B,Cの3測線の内、基部側のA測線による海藻類の年度別現存量と出現比率を図-6に示した。なお、平成8年度は同地点で調査を行っていないため比較対象外とした。

潜堤が設置される前の平成7年度は、ウガノモク、エゾヤハズ、マクサを主体とする群落を形成しており、種類数はA測線で21種と比較的多種からなる海藻群落を形成していた。また海藻類の現存量は約2.0kg/m²と少ない傾向を示していた。その後、潜堤建設中である平成9年度から10年度にかけては、リシリコンブ群落

の占める割合が高くなった。特に潜堤が完成した平成10年度は、その他海藻群落からリシリコンブ群落への変換期であったことが遷移過程として推測される。平成11年度からは前年度に比べ海藻類の現存量が約半分となったが、これらは潜堤設置による静穏域の拡大と海藻類の現存量が増加したため、その豊富な餌料を求めてウニ類が増加したためと考えられる。図-5にウニ類の生息密度の経年変化を示した。潜堤が完成した平成10年度はウニの生息密度が増加していることがわかる。平成11年度はウニの密度が減少したが、平成14年度は再び増加している。これらのことから、海藻類現存量の年変動は、ウニによる食圧が一つの要因と考えられる。

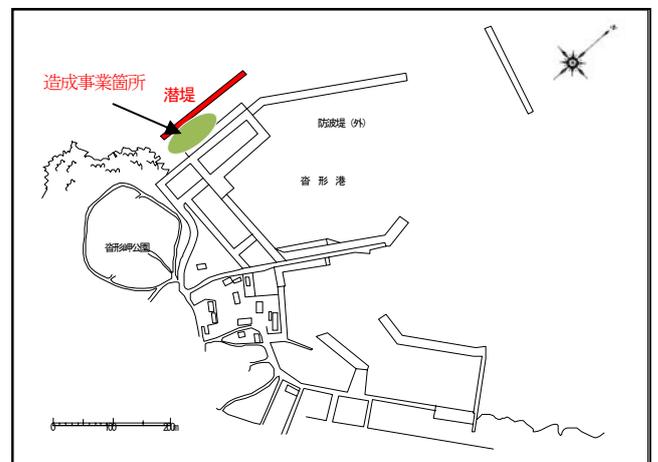


図-2 杓形港潜堤位置図

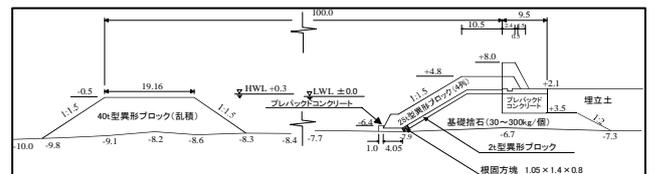


図-3 二重堤標準断面図

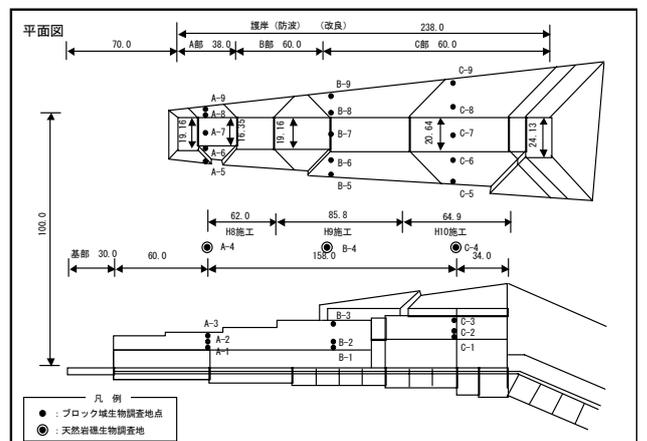


図-4 藻場調査平面図

一方で、**図-7**に示した潜堤部における海藻類の年度別現存量と出現比率では、潜堤完成前の平成7年度は約2.0kg/m²に対して、完成後の平成10年度では約18kg/m²となっており、3年間で9倍もの海藻類が増加した。これは、波当たりの強い環境であることが一つの要因と考えられる。一般的に海藻に対する波浪の作用として考えられることは、栄養塩の補給、代謝老廃物の排除、懸濁物質の堆積の防除等があげられる。また、強い波浪環境下では、ウニの食圧が抑制されることが報告されている。これらの好適条件が重なり、遊水部よりも多い海藻類の現存量が確認された。

以上のことから、二重堤方式によって創出される遊水部空間に藻場環境を造成することにより、藻場創出効果があることが確認された。また、杓形港では沖側の構造を潜堤にすることにより構造自体にも海藻類が繁茂しており、二重堤建設前よりも全体的に海藻類の現存量が増加した。

d) 整備効果

二重堤方式の整備による効果を下記に示す。

- ①平成21年度現在までに、護岸（防波）からの越波による被害はない。構造を二重堤方式とすることで、既設護岸（防波）天端を嵩上げせずに越波を抑制できた。
- ②二重堤の整備により遊水部の藻場創出機能が付加され現地でも藻場の繁茂状況が確認された。
- ③遊水部に藻場が創出されることにより、安定した漁場の確保ができる。
- ④今後更なる漁業者の高齢化が進むと考えられ近隣に漁場（**図-8**）が確保されることにより、漁業者の作業負担が軽減される。

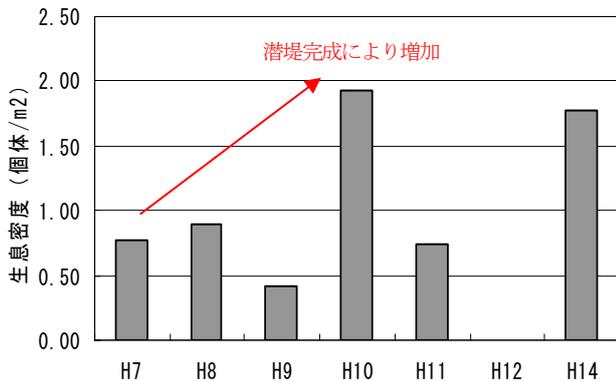


図-5 ウニ類の生息密度の経年変化

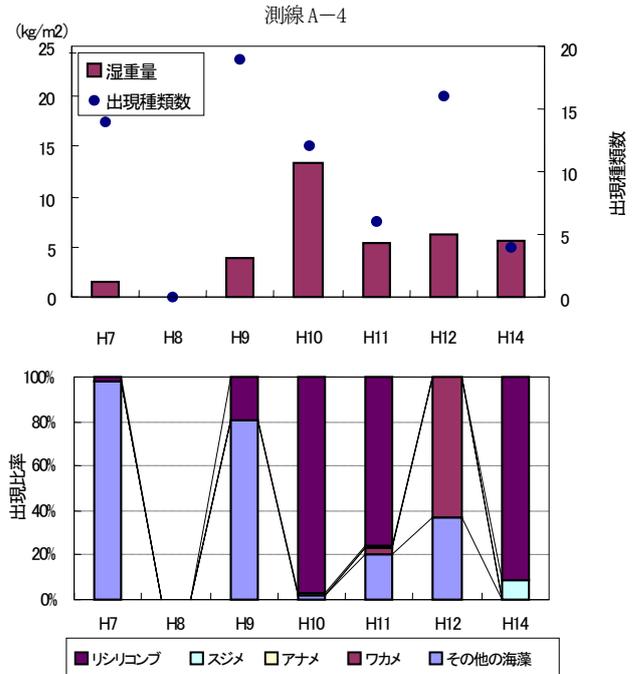


図-6 年度別現存量と出現比率グラフ（遊水部）

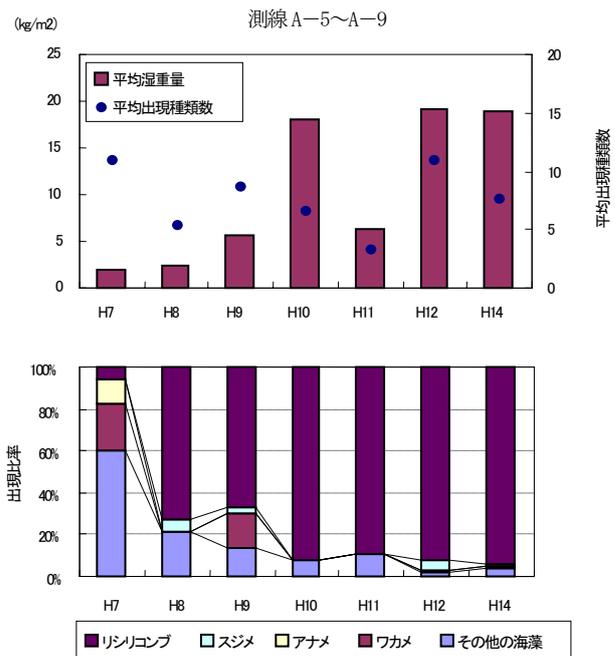


図-7 年度別現存量と出現比率グラフ（潜堤部）



図-8 二重堤間コンブの収穫状況

(2) 元稲府漁港

a) 二重堤整備概要

元稲府漁港では、長周期波の影響により漁業活動に支障をきたしていることから、これらを解消するために港内水域の拡大を図り、平成 15 年度より長周期波対策の整備を行っている。その際に整備する新規外郭施設の整備にあたっては自然調和型漁港づくり推進事業に基づき、現状と課題を踏まえ、二重堤方式とし二重堤間に創出される遊水部を藻場として造成し新たな漁場として利用している。また、浚渫により発生する浚渫岩を二重堤間に再利用してコンブ・ウニの生育に適した藻場環境の造成とコスト縮減を図っている（図-9, 11）。



図-9 二重堤整備イメージ

b) 現状と課題

二重堤を整備する前の課題を下記に示す。

- ①本漁港周辺では、磯根資源はあるものの、コンブの繁茂が少ない。
- ②漁獲対象にならない稚ウニや実入りの悪いウニが多い。
- ③漁業者は、コンブ・ウニを求めて遠方での操業（片道 5km、0.4h）となり作業効率が悪い。

以上による問題について二重堤の整備により解消されることが期待される。

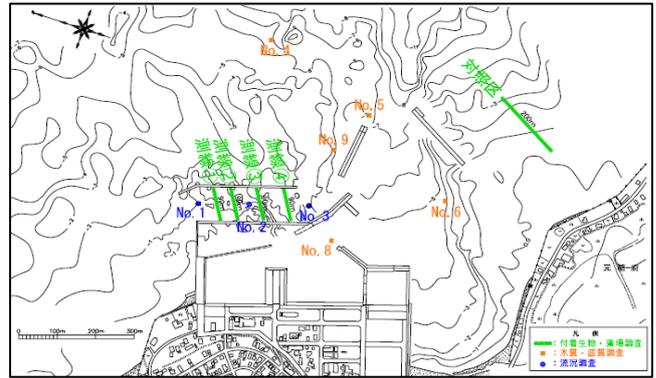


図-10 元稲府漁港藻場調査箇所図

c) 藻場創出効果（モニタリング調査）²⁾

元稲府漁港では、二重堤建設前の平成 15 年度から藻場及び付着生物調査（図-10）を継続して実施している。

施設配置の変遷としては、平成 15 年度に傾斜堤 310m が沖側に配置され、静穏域が拡大している。平成 16 年度に北防波堤 300m が延伸され、現在の港形となっている。

二重堤方式の遊水部におけるリシリコンブの湿重量とエゾバフンウニの生息密度の関係を図-12 に示した。リシリコンブは平成 18 年度で最も湿重量が多い結果となった。平成 16 年度は傾斜堤が完成したことで、調査領域の静穏域が拡大し浅海域にウニの個体数が増加し

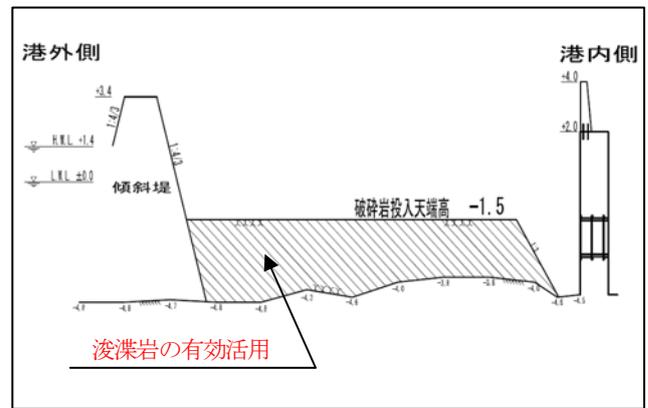


図-11 二重堤標準断面図

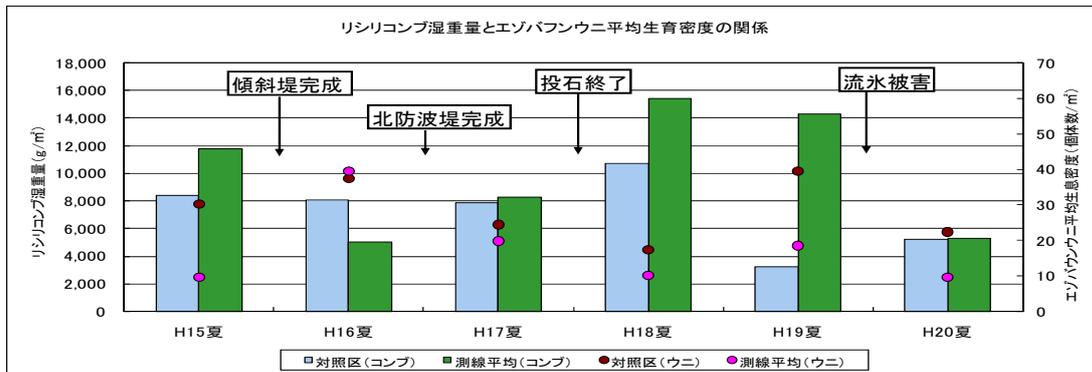


図-12 リシリコンブの湿重量とエゾバフンウニの生息密度の関係

たため、リシリコンブの分布は平成 15 年度より減少した。平成 17 年度は北防波堤が完成し、藻場造成のための投石が進むことにより着底基質が増え、藻場環境が整ったことで、リシリコンブの湿重量が増加した。その後、平成 18 年度から平成 19 年度にかけては順調にリシリコンブが増加したが、平成 20 年度の流水被害により、リシリコンブの湿重量が大幅に減少した。

次に、藻場が増大するにあたり影響が大きいウニの生態について調査した。ウニと流れの関係については、川俣³⁾らがエゾバフンウニは 0.25m/s (図-14) 以上の流速が生じると摂餌行動が激減し、町口⁴⁾らはエゾバフンウニの稚ウニは流速 0.20m/s で待避行動を起こすことが報告されている。二重堤堤内の流速分布 (表-2) を確認すると、約 90%以上が 0~0.05m/s となっているため、ウニの生息に適していることがわかった。図-13 にエゾバフンウニの殻内の状況を写真で示した。二重堤内の方が対照区よりも食用となる生殖巣が多いことが確認された。よって二重堤内はウニにとって最適な生息環境であり、ウニの実入りが良いことがわかった。

以上のことから、二重堤方式によって創出される遊水部空間に藻場環境を造成することにより、リシリコンブとエゾバフンウニの現存量および質の向上が確認された。しかし、平成 20 年度は流水被害やウニによる摂餌のため、コンブの現存量および漁獲量が大幅に減少した (図 12, 15)。そのため、今後は流水流入防止対策等が必要と考えられる。

d) 整備効果

二重堤方式の整備による効果を下記に示す。

- ①二重堤間の藻場環境創出により、ウニ、リシリコンブの現存量および漁獲量が増加した (図-12, 16)。
- ②静穏水域での操業により、安全性の向上、労働環境の改善がなされた。
- ③移動距離が短縮 (片道 0.9km、0.07h) され、作業効率が改善された。
- ④漁業者よりウニの実入りの状態が良いとの好評を得られた。
- ⑤浚渫により発生する浚渫岩を二重堤間に流用することによりコストの縮減が図られ、藻場の増大効果が促進された。

表-2 二重堤内流速分布

	観測機器	設置水深	調査時期
流況調査	電磁流速計	海底から1m程度	8月(15昼夜連続)

流速 (m/s)	H19夏			H20夏		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
0~0.05	92.0%	93.4%	98.9%	71.9%	87.9%	91.6%
0.05~0.1	7.9%	6.6%	1.2%	23.8%	12.0%	8.3%
0.1~0.15	0.0%	0.0%	0.0%	3.7%	0.2%	0.2%
0.15~	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%



対照区 二重堤内

図-13 エゾバフンウニの殻内の状況

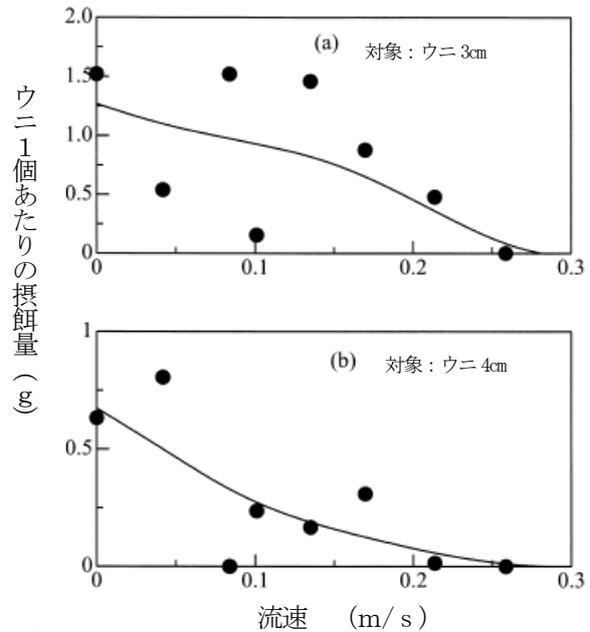


図-14 流速とエゾバフンウニの摂餌量の関係³⁾

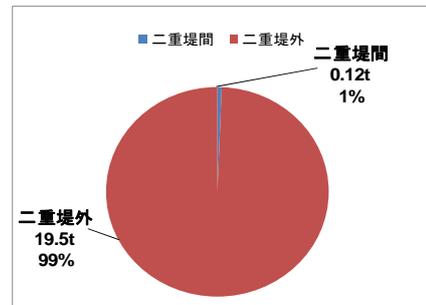


図-15 コンブ漁実績 (H20)

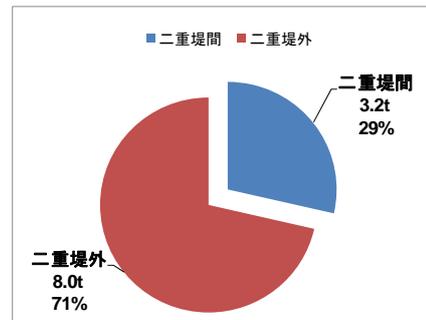


図-16 ウニ漁実績 (H20)

4. 二重堤方式による環境共生型構造物の可能性

杓形港と元稲府漁港におけるモニタリング調査結果より、二重堤間に新たな藻場環境が創出され環境共生型構造物として有効であることが確認された。新たな藻場が創出し、二重堤方式導入前よりも藻場が増大した要因は、二重堤間の海面に雑割石を投入し基質面の水深を浅くすることにより、生育に必要な光子量が増加したためと考えられる。

今後における二重堤方式による環境共生型構造物の可能性は、従来工法（消波ブロック被覆堤）との経済比較が構造を決定する重要な要素だが、建設コストは従来工法より高いとされており、建設コストの外に藻場創出効果の付加などを含めた総合的な評価が必要となってくる。また、好漁な漁場となっている場所では、漁場が消失するリスクもあるため二重堤建設において環境条件の分析と地域ニーズの把握が重要と考える。

以上を踏まえて、二重堤方式による環境共生型構造物導入の可能性について、チェックリスト（表-3）を一つの例として提案する。

5. まとめ

二重堤方式については、これまで実施事例が少なく遊水部の藻場創出効果についての報告がなされていない現状だが、本報文は新たな環境共生型構造物として藻場創出効果を確認した貴重な報告と考える。

また、漁業従事者のさらなる高齢化問題など、今後の社会情勢変化を見据えて近隣に漁場を造成することにより、移動距離の短縮及び安全性の向上などの労働環境改善なども期待できる。

しかしながら、藻場を維持していくためには、ウニの摂餌によるコンブの湿重量低下に対し、今後なんらかの管理対策が必要と考える。

以上のことより、新たな環境共生型構造物として二重堤方式が、今後広く活用されることを期待する。

参考文献

- 1) 平成 14 年度 杓形港海域生態調査業務報告書
- 2) 平成 20 年度 元稲府漁港海域生態調査業務報告書
- 3) 川俣茂・足立久美子・山本政昭（1994）：キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響、日本水産工学会学術講演論文集
- 4) 町口祐二、山下卓也、伊藤公人、谷野賢二（1998）：岩礁性底生生物の波浪条件下における棲み場の評価、海洋開発論文集

表-3 二重堤方式導入の可能性チェックリスト

STEP 1 環境共生型構造物の可能性

		導入の可能性あり	導入の可能性が低い	その他
①	周辺海域の藻場環境	<input type="checkbox"/> 広域的に藻場が分布する	<input type="checkbox"/> 部分的な分布、又は藻場はほとんどない	<input type="checkbox"/> 不明
②	周辺海域における磯焼けの状況	<input type="checkbox"/> 確認されていない。	<input type="checkbox"/> 確認されている。	<input type="checkbox"/> 不明
③	周辺の環境共生型構造物における藻場造成の実績	<input type="checkbox"/> 実績あり	<input type="checkbox"/> 実績なし	<input type="checkbox"/> 不明
④	地元（漁業者）のニーズ	<input type="checkbox"/> 環境共生型構造物の要望がある。	<input type="checkbox"/> 環境共生型構造物の要望なし	<input type="checkbox"/> 不明
⑤	専門家の見解	<input type="checkbox"/> 藻場創出の可能性がある。	<input type="checkbox"/> 藻場創出の可能性なし。	<input type="checkbox"/> 不明

※導入の可能性ありに4つ以上のチェックがある場合はSTAEP2に進む。（ただし④、⑤の項目は導入の可能性ありを必須とする。）

※項目②は、磯焼け理由が整理されており藻場の回復が期待される場合は、導入の可能性ありにチェックする。

STEP2 二重堤方式導入の実現性

		導入の可能性あり	導入の可能性が低い	その他
⑥	既設防波堤、護岸の改良において、天端高の規制	<input type="checkbox"/> 規制がある	<input type="checkbox"/> 規制なし	<input type="checkbox"/> その他
⑦	二重堤建設による漁場の消失	<input type="checkbox"/> 影響が少ない	<input type="checkbox"/> 消失するリスクがある	<input type="checkbox"/> その他
⑧	二重堤建設による費用対効果	<input type="checkbox"/> 費用対効果が大きい。	<input type="checkbox"/> 費用対効果が小さい。	<input type="checkbox"/> その他

※導入の可能性ありに2つ以上のチェックがある場合は、二重堤の導入の可能性が高い。

※項目⑦の藻場の消失するリスクがある場合は地元の同意が必要である。