

# 北海道北東部の元稲府漁港における藻場調査 —二重堤間のリシリコンブ藻場に関する考察—

北海道開発局網走開発建設部紋別港湾事務所工務課 秋田谷 肇

## 目 次

|                       |    |                   |    |
|-----------------------|----|-------------------|----|
| 1. はじめに               | 19 | 4. 空撮画像解析         | 21 |
| 2. 二重堤の利用状況と現状        | 19 | (1) 空撮内容、画像       | 21 |
| (1) 二重堤間に創出される静穏域     | 19 | (2) 画像解析の目的と作業フロー | 21 |
| (2) 令和2年度以降の波浪対策      | 20 | (3) 画像解析の内容       | 22 |
| (3) 造成浅場における藻場調査の重要性  | 20 | (4) 画像解析の結果       | 23 |
| 3. 潜水調査               | 20 | 5. 藻場創出機能に関する考察   | 23 |
| (1) 平成21～30年度の調査内容と結果 | 20 | (1) 二重堤間全域（既存浅場）  | 23 |
| (2) 令和5年度の調査内容と結果     | 21 | (2) 造成浅場          | 24 |
|                       |    | 6. おわりに           | 25 |

## 1. はじめに

北海道北東部のオホーツク海に位置している元稲府漁港（第4種）は、ホタテガイ・サケを中心とした沖合沿岸漁業の生産拠点として、また、オホーツク海域で操業する漁船の荒天時における避難港として重要な役割を担っている。

平成14年度に、長周期波による港内副振動の低減等を目的とした港内水域の拡大に着手している。その際、新たに配置する北防波堤には、本体部（直立堤）と消波部（傾斜堤）を分離し、本体部と消波部の間に形成される浅水域の波浪低減効果により防波堤本体の建設コストが縮減される二重堤方式を採用している（図-1）。

本報文では、平成21年度に完成し毎年藻場が形成されている既存浅場と、令和4年度に

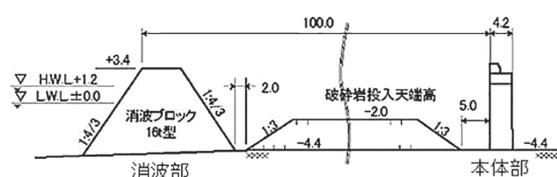


図-1 北防波堤標準断面図

完成した造成浅場を対象として、二重堤間全域の潜水調査に加え、潜水調査と同時期に撮影した空撮画像の解析を行い、既存浅場と造成浅場の海藻被度（リシリコンブ含む）の比較結果から、既存浅場と造成浅場の藻場創出機能について考察する。

## 2. 二重堤の利用状況と現状

### (1) 二重堤間に創出される静穏域

既存浅場は、港内水域拡張の際に発生した浚渫岩を二重堤間に創出される静穏域に投入・有効活用することで、海藻の着生や底生生物の生育環境に適した浅場を造成したものである（写真-1）。



写真-1 二重堤整備状況

既存浅場では、現在、オホーツク海に代表される大型海藻のリシリコンブが繁茂し、毎年7月上旬から中旬にリシリコンブ漁が行われている。また、港内で採取したエゾバフンウニの実入り向上を目的とした移植放流も行われ（増殖場として活用）、毎年4～6月にエゾバフンウニ漁も行われている（写真－2）。

このような環境と調和した漁業活動は、二重堤建設後から現在まで継続的に行われ、藻場の創出やエゾバフンウニとの共存に関してこれまでの多くの調査で考察されている<sup>1,2)</sup>。

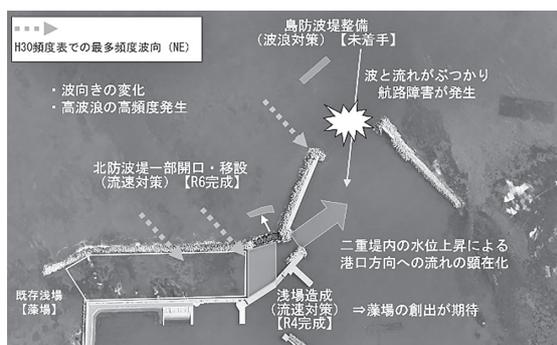


写真－2 リシリコンブ漁(左)、エゾバフンウニ漁(右)

## (2) 令和2年度以降の波浪対策

近年、特に秋季において来襲する波浪の波向変化や高波浪の頻度増加により、二重堤間で発生する流れが航路側へ卓越し、港口付近では沖からの波浪とぶつかり波高が増大することで、外来船や地元漁船の安全な入出港に大きな支障をきたすようになってきている。

このため、特定漁港漁場整備事業計画（令和2年7月2日）において、沖からの波浪対策（島防波堤新設）と二重堤からの流速低減対策（北防波堤改良）を位置づけた。その内、流速低減対策は、既設北防波堤の一部60mを沖側へ移設して、開口部を設けることにより、二重堤間の水位上昇の低減と沖向きへの流れの分散、さらに、二重堤間に捨石マウ



図－2 元稲府漁港 波向変化・高波浪の増加に伴う課題

ンドの潜堤を整備（造成浅場）して、二重堤間の流れに対する抵抗性を増大させる計画である（図－2）。

## (3) 造成浅場における藻場調査の重要性

既設北防波堤の一部移設は令和6年度に、潜堤（造成浅場）の整備は令和4年度にそれぞれ完了している。造成浅場においては、既存の二重堤間と同様な藻場の創出に加え、漁場としても活用が可能となるようなブルーカーボン生態系の創出についても期待されている。

## 3. 潜水調査

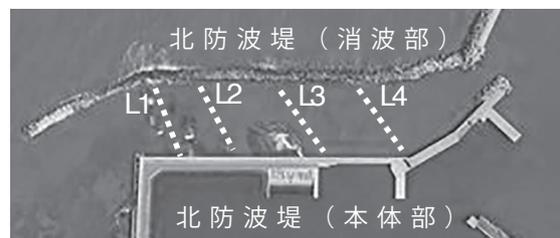
### (1) 平成21～30年度の調査内容と結果<sup>2,3)</sup>

調査概要を表－1に、調査箇所を図－3に示す。調査時期は、当海域におけるリシリコンブ漁時期とリシリコンブの生活史を勘案し、リシリコンブ漁前後の6～9月と、胞子が着生した時期の12月とした。調査測線は、二重堤間の測線1～4の4測線（L=90m）を対象として、潜水士が北防波堤の本体部から消波部に向かって5～10m間隔に方形枠（1.0m×1.0m）を設置し、海藻被度等の目視観察を行った。

表－1 潜水調査の概要(平成21～30年度)

| 方法               | 項目               | 箇所               | 時期  |
|------------------|------------------|------------------|---|
| 目視及び採取<br>(潜水技師) | 海藻被度             | 4測線<br>(各90m) ※2 | 平成21年7月、8月、12月  |
|                  | 海藻現存量 ※1<br>付着生物 |                  | 平成22年7月、8月、12月<br>平成23年8月、12月<br>平成29年6月、8月、12月<br>平成30年6月、9月 |

※1 海藻現存量調査は、平成29年度は実施していない。  
※2 平成29年6月調査は測線1,3(各90m)のみ実施した。



図－3 調査箇所(平成21～30年度)

無節サンゴ藻等の殻状海藻を除く海藻を対象とした全4測線平均の海藻被度と被度組成の推移を図－4に示す。二重堤間では毎年7月にコンブ漁（リシリコンブ漁獲）が行わ

れており、その後の海藻被度に対して直接的な影響が考えられるものの、平成21年から平成23年の3ヶ年における夏季（7、8月）の平均被度は50.6%、平成29、30年の夏季（6、8月）の平均被度も65.2%（平成29年6月は測線1、3のみ実施）と高い値であった。

海藻被度の内、各海藻種の被度割合を表す被度組成について、夏季における最優占種は大型の水産有用種であるリシリコンブ（69.7%）であったが、冬季における最優占種は紅藻（54.7%）であり、リシリコンブは34.9%であった。

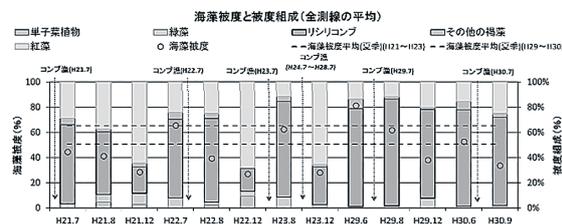


図-4 海藻被度と被度組成の推移(全測線の平均)

## (2) 令和5年度の調査内容と結果

調査概要を表-2に、調査箇所を図-5に示す。潜水調査は、当海域におけるリシリコンブの繁茂期でコンブ漁開始前の6月に行った。調査測線について、既設二重堤間の測線数は、過去の潜水調査と同様の4測線（L3、L4、L5、L6）とし、既設二重堤間の北側に1測線（L2）、造成浅場に1測線（L7）、二重堤間の北側と南側の違いを把握するために二重堤間の南北に1測線（L1）を追加し合計7測線とした。調査方法は、平成21～30年度と同様である。なお、令和5年度の調査

表-2 潜水調査の概要(令和5年度)

| 方法 | 項目             | 箇所                               | 備考                                   |
|----|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 目視 | 海藻被度、稚食動物、底質性状 | 7測線、5m間隔、186箇所<br>(方形枠1.0m×1.0m) | L1=400m、L2=100m、<br>L3~L6=80m、L7=75m |
| 採取 | 葉長、葉幅、質量       | 4箇所<br>(リシリコンブ 被度20.40,60,80%地点) | -                                    |

調査日：令和5年6月28日、29日（2日間）



図-5 調査箇所(令和5年度)

時点では、既設北防波堤の消波ブロックの移設は完了している。

無節サンゴ藻等の殻状海藻を除く海藻を対象とした測線毎の平均海藻被度と被度組成を図-6に、リシリコンブの着生状況を写真-3に示す。

全測線の平均海藻被度は83.4%（63.8%（L4）～98.8%（L7））、その内、既存浅場（L2～6）は76.6%、造成浅場（L7）は98.9%で、造成浅場の方が高い値を示した。被度組成では、リシリコンブが44～98%を占め、過年度の調査結果と同様に当海域の最優占種であった。

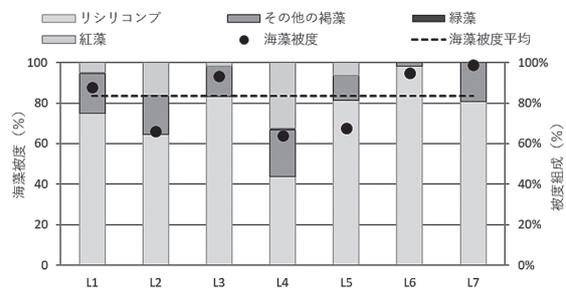


図-6 海藻被度と被度組成

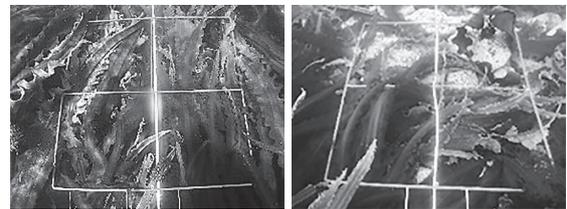


写真-3 リシリコンブ着生状況(左：L3、右：L5)

## 4. 空撮画像解析

### (1) 空撮内容、画像

空撮は、令和5年度の潜水調査と同時期の令和5年6月に、UAVマルチコプター（メーカー：DJI、型式：Phantom4 RTK）を使用し、二重堤間全域を撮影した。なお、重複率はオルソ画像作成のため70～90%に設定した。撮影した写真は、Pix4Dmapperを用いて、つなぎ合わせ等の処理を行った（オルソ画像）。

### (2) 画像解析の目的と作業フロー

画像解析の目的は、潜水調査地点の被度とオルソ画像の色（R,G,B）との関係から、簡

易に海藻被度の分布を面的に把握し、既存浅場、造成浅場、二重堤間全域の平均被度を算出する。具体的な作業は、「第3版磯焼け対策ガイドライン<sup>4)</sup>」で示されている海藻被度区分を参考に被度階級を定め、各階級に属するオルソ画像の色を基に、画像を作成する(教師付き分類画像)。次に、作成した教師付き分類画像から、各エリアの平均被度と湿重量を算出する(図-7)。

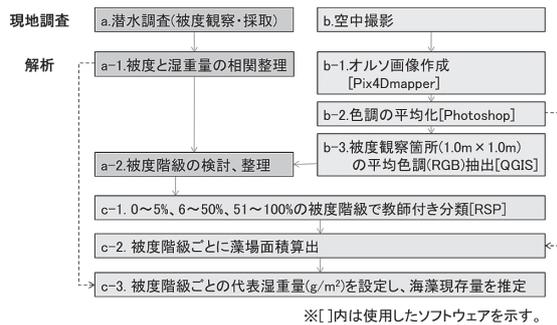


図-7 平均被度算出と海藻現存量推定の作業フロー

### (3) 画像解析の内容

はじめに、作成したオルソ画像を、海中の海藻を明瞭にするためPhotoshopを用いて色調の平均化を行った。色調を平均化したオルソ画像上に、QJIS (ver3.32.2) を用いて調査地点の座標をプロットし、その座標を中心として1.0m四方(方形枠)の範囲内の平均色調(R,G,B)を抽出した。取得した色調データは、調査地点における被度を色調で表現出来ていることから、被度階級の設定に利用する(図-8)。

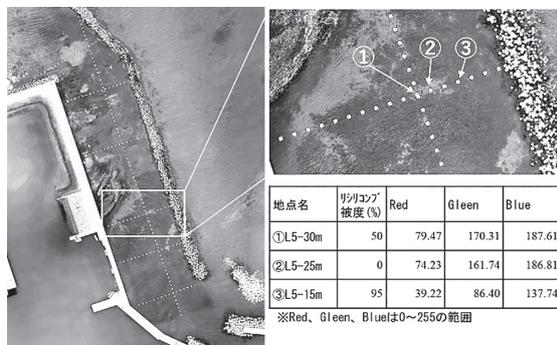


図-8 色調平均化後の画像と色調抽出の一例

次に、各調査地点の平均色調とリシリコンブ被度を基に、被度階級の設定について検討

し、教師付き分類画像を作成する。リシリコンブ被度とR,G,B値との関係を図-9に、被度階級ごとの被度と色調のまとめを表-3に示す。本画像解析で設定する被度階級は、「第3版磯焼け対策ガイドライン<sup>4)</sup>」で示されている被度階級区分の中から、「密生」として区分されている50%と、着生の有無の把握が可能な5%を境界として、0~5%、6~50%、51~100%の3階級に区分し、潜水調査によって得られている地点数、最小・平均・

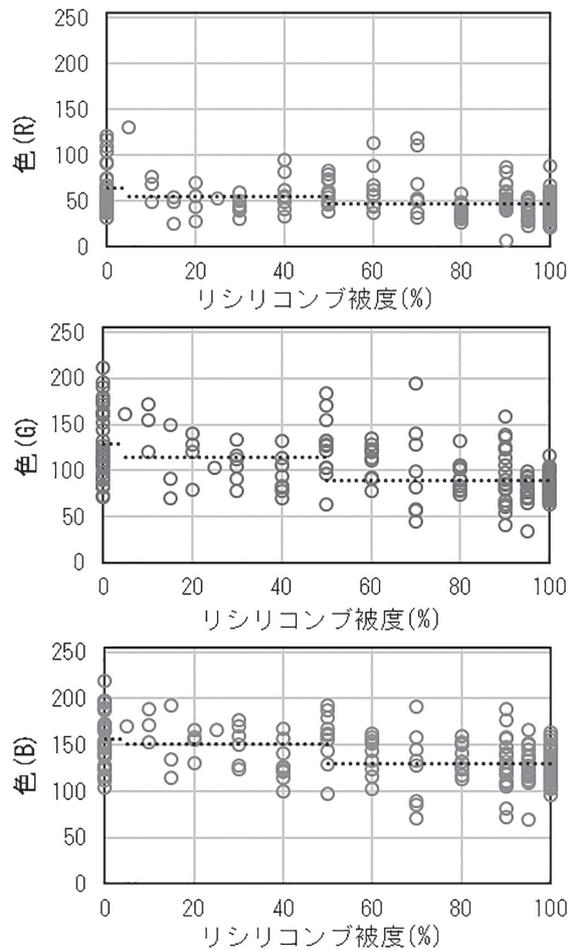


図-9 リシリコンブ被度と空撮写真R,G,B値との関係(上段：R、中段：G、下段：B)

表-3 被度階級ごとの被度と色調のまとめ(上段：被度、下段：色調)

| 被度階級    | 地点数 | 被度 |      |     |
|---------|-----|----|------|-----|
|         |     | 最小 | 平均   | 最大  |
| 0~5%    | 32  | 0  | 0.2  | 5   |
| 6~50%   | 38  | 10 | 34.7 | 50  |
| 51~100% | 116 | 60 | 90.5 | 100 |

| 被度階級    | 地点数 | 平均色調(±標準偏差) |              |              |
|---------|-----|-------------|--------------|--------------|
|         |     | R           | G            | B            |
| 0~5%    | 32  | 64.0(±26.9) | 128.6(±38.4) | 115.5(±28.5) |
| 6~50%   | 38  | 54.9(±15.7) | 114.2(±29.6) | 150.2(±25.1) |
| 51~100% | 116 | 47.0(±18.0) | 89.2(±23.1)  | 129.0(±21.5) |

最大被度、R,G,B値の平均色調を、該当する被度階級として整理した。

R,G,Bの平均色調の有意差の有無を多重比較検定のひとつであるTukey-Kramer法にて検定した。その結果、R,G,Bのいずれにおいても、0～5%と51～100%には $p<0.05$ で有意差が確認され、また、6～50%と51～100%にはGとBで $p<0.05$ で有意差が、Rでは $p<0.10$ で有意差が確認されたことから、分類可能と考え、0～5%、6～50%、51～100%の3階級に区分することとした(表-4)。

表-4 多重比較検定(Tukey-Kramer法)の結果  
(上段：R、中段：G、下段：B)

| R       | 0～5% | 6～50%     | 51～100%   | 有意差なし    |
|---------|------|-----------|-----------|----------|
| 0～5%    | -    | 1.33.E-01 | 6.93.E-05 | $p<0.10$ |
| 6～50%   | -    | -         | 8.15.E-02 | $p<0.05$ |
| 51～100% | -    | -         | -         |          |

| G       | 0～5% | 6～50%     | 51～100%   |
|---------|------|-----------|-----------|
| 0～5%    | -    | 8.40.E-02 | 1.00.E-09 |
| 6～50%   | -    | -         | 1.03.E-05 |
| 51～100% | -    | -         | -         |

| B       | 0～5% | 6～50%     | 51～100%   |
|---------|------|-----------|-----------|
| 0～5%    | -    | 6.25.E-01 | 3.00.E-07 |
| 6～50%   | -    | -         | 1.16.E-05 |
| 51～100% | -    | -         | -         |

#### (4) 画像解析の結果

3階級に区分した被度階級のデータを基に、簡易に空撮写真の画像解析が可能で一般公開されているRSP(リモートセンシング画像処理ソフトウェア)を用いて、二重堤間全域を3階級の被度に分類した。教師付け前の画像(色調を平均化したオルソ画像)と教師付き分類画像を図-10に示す。教師付き分類によって、色が濃く海藻が多い箇所と海底が白く海藻が少ない箇所は、概ね表現されている。

教師付き分類画像を基に各被度階級の面積を算出し、各被度階級の面積とその平均被度から、分類画像全域の平均被度を推定し、潜水調査によって得られているリシリコンブ被度の平均値と比較し評価した(表-5)。



図-10 色調平均オルソ画像(左)と教師付き分類画像(右)

表-5 潜水調査と教師付き分類画像との比較

| 被度階級    | 潜水調査 |                | 教師付き分類画像            |                  |
|---------|------|----------------|---------------------|------------------|
|         | 地点数  | リシリコンブ 平均被度(%) | 面積(m <sup>2</sup> ) | 全域リシリコンブ 平均被度(%) |
| 0～5%    | 32   | 0.2            | 9,266.1             | 60.6             |
| 6～50%   | 38   | 34.7           | 5,244.1             |                  |
| 51～100% | 116  | 90.5           | 23,256.3            |                  |
| 計       | 186  | -              | 37,766.5            | -                |

潜水調査による平均被度が63.5%、分類画像から推定した平均被度は60.6%であり、概ね同程度の値を示した。なお、全体の被度は下記式のとおり、被度階級毎の平均被度を面積の加重平均として算出した。

全域の平均被度 =  $\{(0 \sim 5\% \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積}) + (6 \sim 50\% \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積}) + (51 \sim 100\% \text{の被度階級の平均被度} \times \text{面積})\} \div \text{全面積}$

## 5. 藻場創出機能に関する考察

### (1) 二重堤間全域(既存浅場)

先に述べたように、潜水調査結果において、二重堤間全域のコンブ漁前の海藻被度は、平成21年から平成23年の3ケ年における夏季(7、8月)は50.6%、平成29、30年の夏季(6、8月)は65.2%、令和5年6月は83.4%(既存浅場76.6%、造成浅場98.9%)、リシリコンブのみを対象とした画像解析結果(令和5年6月)でも60.6%であり、これは「第3版磯焼け対策ガイドライン<sup>4)</sup>」で示されている被度階級の中では、上位階級の「密生50～75%」又は「濃生75～100%」に該当する。よって、二重堤間全域は、非常に良好な藻場

が形成されていると評価される。

夏季の被度組成は、コンブ漁後（H21. 7、H21. 8、H22. 8、H23. 8、H29. 8、H30. 9）においても水産有用種のリシリコンブが優占し、コンブ藻場が継続して形成されている。また、平成21、22、23年の冬季は、2年生のリシリコンブは9月以降に末枯し11月以降に再生期を迎える<sup>5)</sup>ことから、優占種は紅藻に変化している。しかし、翌年の夏季にはリシリコンブの急速な成長（伸長成長期）に伴って再び優占種に回復し、平成29年以降の夏季もリシリコンブが優占種であった。なお、平成29年の冬季と平成30年の冬季はリシリコンブが優占しているが、これは夏季（6、8月）の被度が平成21、22、23年に比べ高いことが要因の1つと考えられる。

上述のように、二重堤間は、コンブ漁場やウニ育成場として利用されているにもかかわらず、毎年、良好な藻場が形成されている。この要因については、これまで多くの藻場調査が行われ、以下のとおり考察されている。

- ・ 冬季の波動流速振幅 $U_{max}=0.25\text{m/s}$ の出現確率50%以上の環境にある<sup>1)</sup>。  
( $U_{max}=0.25\text{m/s}$ 以上で、ウニの食害が低減される。)
- ・ 夏季のエゾバフンウニ個体数は8個/ $\text{m}^2$ 以下が望ましい<sup>2)</sup>（図-11）。  
(ウニ漁によりウニの個体数が減少し、ウニの食害が低減される。8個/ $\text{m}^2$ 以下では良好な藻場が形成されていることを確認している。)
- ・ 水深2m以浅が望ましい<sup>2)</sup>。  
(光合成の促進によりコンブが生育。流速増大によりウニの食害が低減される。)

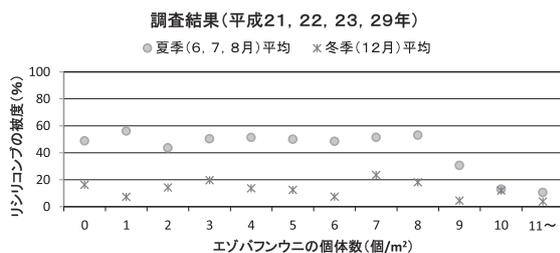


図-11 リシリコンブ被度とエゾバフンウニ個体数との関係<sup>2)</sup>

令和5年の調査の結果、エゾバフンウニは水深2m以浅に多く生息しており、エゾバフンウニ個体数は概ね8個/ $\text{m}^2$ 以下であることから、平成21年から平成29年の調査結果から得られた良好な藻場が形成されている要因の考察と概ね同様の傾向を示していることが確認された（図-12）。

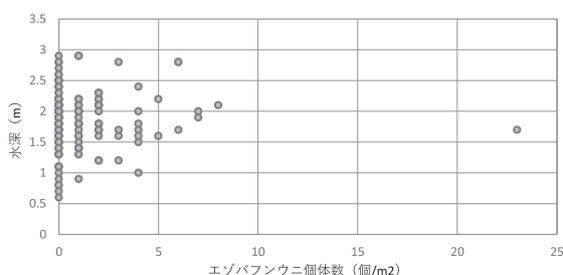


図-12 水深とエゾバフンウニ個体数との関係（令和5年調査結果）

## （2）造成浅場

既存浅場と造成浅場の藻場創出機能の比較について、潜水調査結果と画像解析結果を表-6、図-13に示す。なお、既存浅場は水深-2mで浚渫岩を使用しており、一方、造成浅場は水深-1.5mで中割石を使用している。

潜水調査結果において、リシリコンブ被度90～100%の全体に占める割合は、既存浅場が29%に対し、造成浅場は77%であった。また、画像解析結果においても、リシリコンブ被度は、既存浅場が57.3%に対し、造成浅場は77.2%であり、造成浅場には良好な藻場が創出されていると考えられた。

表-6 既存浅場と造成浅場との比較(画像解析)  
(上段：既存浅場、下段：造成浅場)

| 被度階級    | 潜水調査 |               | 教師付き分類画像           |                 |
|---------|------|---------------|--------------------|-----------------|
|         | 地点数  | リシリコンブ平均被度(%) | 面積( $\text{m}^2$ ) | 全域リシリコンブ平均被度(%) |
| 0～5%    | 31   | 0.2           | 8,927.4            | 57.3            |
| 6～50%   | 35   | 34.7          | 4,300.8            |                 |
| 51～100% | 90   | 90.5          | 18,290.8           |                 |
| 計       | 156  | -             | 31,519.0           | -               |

| 被度階級    | 潜水調査 |               | 教師付き分類画像           |                 |
|---------|------|---------------|--------------------|-----------------|
|         | 地点数  | リシリコンブ平均被度(%) | 面積( $\text{m}^2$ ) | 全域リシリコンブ平均被度(%) |
| 0～5%    | 1    | 0.2           | 338.7              | 77.2            |
| 6～50%   | 3    | 34.7          | 943.2              |                 |
| 51～100% | 26   | 90.5          | 4,965.5            |                 |
| 計       | 30   | -             | 6,247.5            | -               |

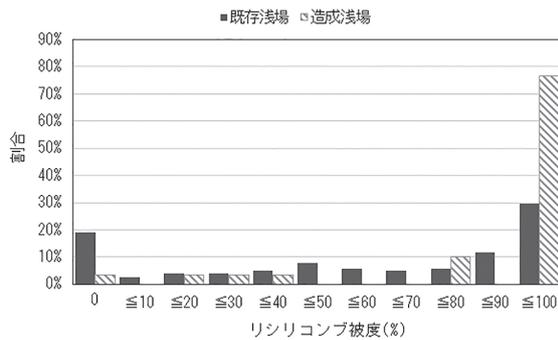


図-13 既存浅場と造成浅場との比較(潜水調査)

## 6. おわりに

令和4年度に完成した造成浅場の藻場創出機能の把握を目的に、令和5年6月に元稲府漁港二重堤間全域を対象とした藻場調査と空撮画像解析を行った。その結果、造成浅場にも既存浅場と同様に、非常に良好なリシリコンブ藻場が形成されていることがわかった。

近年、海藻群落の変遷など様々な観点から継続的なモニタリング調査の重要性が指摘されている中、潜水調査は多大な調査労力・費用・時間を要することから、現在、寒地土木

研究所水産土木チームにおいて、藻場の分布状況を効率的に調査する手法の研究として、水中音響計測機器・ROVを活用した藻場分布状況の把握と、取得した画像データの3次元合成画像処理による現存量の算定の検討が進められている<sup>6)</sup>。

今後は、この研究成果を活用してブルーカーボン生態系の創出効果の算定に取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) 酒向章哲, 青井晃樹, 藤井良昭, 秋田雄大, 鳴海日出人: 二重堤および破碎岩を再利用したマウンドによる藻場創出に関する研究—北海道元稲府漁港の自然調和型漁港構造物の事例—, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 1181-1185, 2012.
- 2) 丸山修治, 伊藤敏朗, 田村友行: 元稲府漁港二重堤間の藻場に関する考察, 第61回北海道開発技術研究発表会, 2017.
- 3) 寒地土木研究所水産土木チーム: H30藻場調査結果
- 4) 水産庁: 第3版 磯焼け対策ガイドライン, pp. 92, 2020.3
- 5) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構稚内水産試験場ホームページ
- 6) 寒地土木研究所水産土木チーム: 寒地土木研究所月報, No. 849, pp. 52-55, 2023.10