

表面処理の相違によるコンクリート面への海藻着生状況について

明田 定満* ・ 谷野 賢二** ・ 中内 勲***
高橋 義昭**** ・ 小野寺利治*****

1. 緒 言

近年、港湾漁港の整備において、防波堤等の構造物は本来機能のみならず、周辺の自然環境と調和協調する機能を備えることが求められている。特に、北海道の港湾漁港の周辺は、サケ、マス、ウニ、コンブ、ホッキガイ等の漁場と近接しているため、構造物の本来機能に加えて、環境共生機能を副次的に付加することは、港周辺の豊かな自然環境を保全する上でも、港周辺で営まれる漁業活動と協調を図る上でも重要な課題となっている。

構造物に環境共生機能を付加するためには、構造物周辺に魚介類の寄り場、産卵場、保育場あるいは餌場となる海藻群落を形成することが重要である。開発土木研究所では、海藻群落の形成を助長する機能を備えた構造物として、これまでに二重堤や複断面構造の低天端傾斜堤等を提案し(例えば;水産土木研究室,1992)、これら構造物への海藻着生状況、動物生息状況について現地調査を行ってきた(例えば;谷野,1995)。これら現地調査に基づき、施工後10年以上経過した防波堤では、周辺の天然岩礁と類似の生態系が形成されることを明らかにしてきた(谷野ら,1993)。

本論では、港湾構造物の主要な材料であるコンクリートを対象とした海藻繁茂助長手法として提案されているコンクリートの表面処理方法の相違による海藻着生状況について、試験施工を伴う現地試験に基づいて検討したので報告する。

2. 海藻着生状況に関する調査方法

コンクリートの表面処理方法として、①普通コンクリート(通常施工)、②凹凸処理コンクリート(擬岩型枠の使用、コンクリート表面に石材を埋込む等によりコンクリート表面に凹凸微地形を付加)、③薬剤処理コンクリート(硫酸第一鉄等によりコンクリート表面を薬剤処

理)、④軽量多孔質なポーラスコンクリートを選定し、コンクリートの表面処理方法を変えた試験ブロックを製作し設置した。

試験ブロックへの海藻着生状況、動物生息状況の経年変化を検討するために、試験ブロックの設置状況及び海藻繁茂状況を写真撮影、ビデオ撮影するとともに、50×50 cm 方形枠(0.25 m²)による動植物採取を行った。方形枠採取された動植物は種の査定を行った後、海藻は種別に湿重量を測定し、動物は種別に個体数、湿重量を測定した。なお、コンブ類は本数、葉長、葉幅、湿重量まで、ウニ類、アワビ類は個体数、殻径殻長、年令、湿重量まで測定した。本論では調査結果の内、海藻着生状況に関する比較試験結果のみを報告する。

3. 薬剤処理コンクリートへの海藻着生

3.1 薬剤処理の目的とその効果

防波堤等の構造物の主要な構成材であるコンクリートについて、コンクリート表面から溶出する強アルカリ成分により、海産生物の幼稚仔に生育阻害が生じることが懸念されている(例えば;石田ら,1984)。そこで、強アルカリ成分の溶出を防ぐために、硫酸第一鉄を主成分とする表面処理剤を塗布し、コンクリート表面を薬剤処理したコンクリートが各地で試験施工されてきた。

薬剤処理した効果として、海藻の繁茂初期に小型海藻の着生を早め、石灰藻の繁茂を抑制し、大型海藻への移行を促進することが指摘されているが(大野ら,1990)、その効果は永続せず、数年で普通コンクリートと同様に、周辺藻場の繁茂状況と同じになること、設置時期場所により、効果の有無や発現にバラツキがあることが分かってきた(例えば;大野,1992)。さらに、既往調査の多くは、薬剤処理コンクリートに着生した海藻群落の目視調査であり、普通コンクリートと薬剤処理コンクリートを同一条件下で定量的に比較検討した調査事例(明田ら,1995,1996;村上ら,1995)は少なく、薬剤処理の効果については明確な結論が得られていない。

3.2 海藻着生状況

北海道北端に位置する利尻島の杵形港において、薬剤処理コンクリート、普通コンクリートを用いて製作した

* 正会員 北海道開発局開発土木研究所 港湾研究室長
** 正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所 水産土木研究室長
*** 北海道開発局農業水産部水産課 係長
**** 北海道開発局留萌開発建設部築港課 課長(前杵形港湾建設事業所 所長)
***** 北海道開発局浦河港湾建設事務所 所長

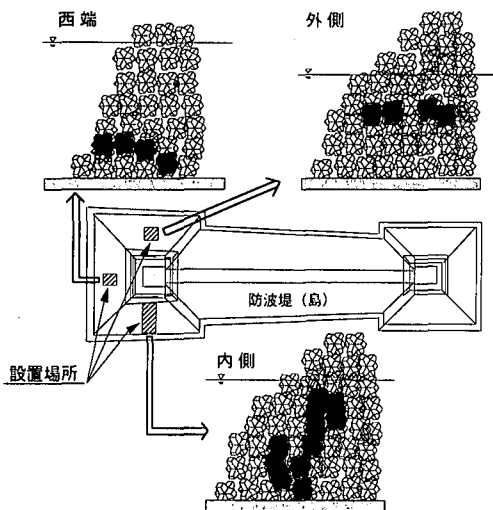


図-1 試験ブロックの配置 (沓形港)
(●)は、薬剤処理コンクリートを使用した試験ブロック

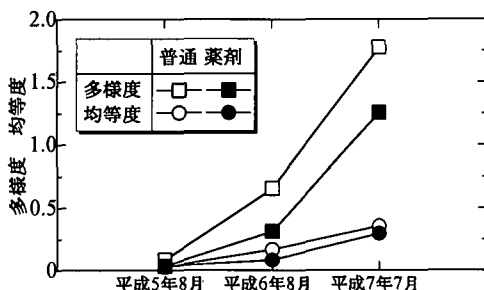


図-2 多様度, 均等度

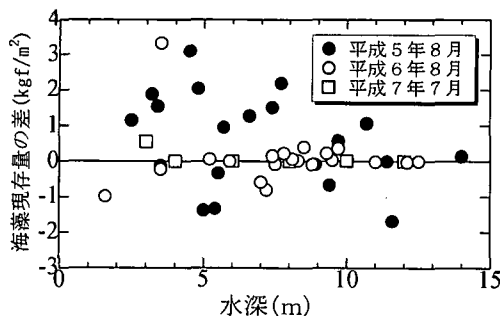


図-3 海藻現存量の差
(現存量の差=薬剤処理コンクリート-普通コンクリート)

試験ブロックを、図-1に示す現在施工中の島防波堤に設置し、海藻着生状況を比較検討した。

(1) 着生した海藻の種組成

沓形港の島防波堤に設置された試験ブロックには、施

工後1年目に緑藻1種、褐藻5種、紅藻4種の合計10種の海藻が出現した。夏季から秋季(平成4年8~10月)に段階的に設置された普通コンクリートに着生した海藻は、試験ブロック全体に着生した海藻とほぼ同じ9種であった。一方、リシリコンブの孢子放出期に当たる秋季(平成4年10月)に設置された薬剤処理コンクリートには、リシリコンブ、アナメのみが着生していた。

施工後2年目の試験ブロックには、緑藻3種、褐藻6種、紅藻11種の合計20種の海藻が出現したが、施工後1年目にリシリコンブ、アナメ以外出現しなかった薬剤処理コンクリートにも、緑藻2種、褐藻4種、紅藻8種の合計14種の海藻が出現し、普通コンクリートの緑藻3種、褐藻5種、紅藻7種の合計15種とほぼ同様な出現種組成となった。しかし、普通コンクリートのブロック1個当たり平均3.1種、最大6種の海藻着生と比較すると、薬剤処理コンクリートは平均2.2種、最大4種の海藻着生であり、比較的単純な種組成であった。

施工後3年目の試験ブロックには、緑藻4種、褐藻9種、紅藻18種の合計31種の海藻が出現したが、リシリコンブ、スジメ、ワカメ等の褐藻が現存量の大半を占め、褐藻主体の海藻群落に移行しつつあった。普通コンクリートでは緑藻4種、褐藻9種、紅藻16種の合計29種の海藻が出現したが、薬剤処理コンクリートでは褐藻5種、紅藻13種の合計18種の海藻出現に留まっており、普通コンクリートと比較すると、リシリコンブ主体の種組成の単純な海藻群落であった。このことは図-2に示す海藻群落の群集構造の指標である多様度、均等度が、普通コンクリートの方が薬剤処理コンクリートより高いことから、普通コンクリートに着生した海藻群落の方が多様性の高い複雑な群集構造であることが窺われた。多様度は群集の複雑さ、単純さを示す指標であり、(1)式で定義される(日本海洋学会編, 1986)。また、均等度は種間の均等性すなわち個体数の特定種への偏りの程度を示す指標であり、(2)式で定義される(日本海洋学会編, 1986)。ここで、種数 S 、 i 番目の種の個体数 N_i 、総個体数 N 、である。

$$H' \approx -\sum \frac{N_i}{N} \log \frac{N_i}{N} \dots \dots \dots (1)$$

$$J' = \frac{H'}{\log S} \dots \dots \dots (2)$$

3年間に渡る現地調査から、試験ブロックの設置時期の相違により、施工後1年目に、薬剤処理コンクリート及び普通コンクリートに着生した海藻の種組成に顕著な差が認められた。施工後2年目以降も、普通コンクリートの方が多様性の高い海藻群落が形成されていたが、海藻の種組成は次第に類似してきていることが明らかとなった。

(2) 海藻現存量

海藻現存量はリシリコンブの現存量に依存しているため、経年的な変化はリシリコンブの現存量と同様な傾向を示した。海藻現存量は水深が浅い地点で多く、水深が深くなるに従い少なくなる傾向にある。特に、施工後1年目は水深10m前後まで数 kgf/m^2 の海藻が着生していたが、施工後2年目以降は水深4~5m以深では1 kgf/m^2 以下となった。

薬剤処理コンクリートと普通コンクリートに着生した海藻現存量の差(薬剤処理コンクリートー普通コンクリート)を図-3に示す。施工後1年目の海藻現存量は、同一水深帯に繁茂する海藻現存量を比較した図-3に示すように、薬剤処理コンクリートの方が普通コンクリートより良いように観察されたが、施工後2年目以降の現存量は両者の優劣がつかなかった。そこで、薬剤処理コンクリート、普通コンクリートに着生する海藻現存量の差について、「等分散と見なせない場合の独立2群の差の検定法」であるWelchの方法(例えば:市川,1990)で有意差検定を行った。その結果、施工後1年目は統計的に有意な差がある可能性が示されたが、施工後2年目以降は薬剤処理コンクリート、普通コンクリートに着生する海藻現存量に統計的に有意な差は認められず、施工後時間の経過に伴い、海藻着生状況が類似してきていることが窺われた。

(3) リシリコンブの着生本数、現存量、1本当たりの葉長と平均湿重量

施工後1年目は、薬剤処理コンクリートの方が普通コンクリートより着生本数、現存量ともに多く着生する傾向が見られた。施工後2年目以降、リシリコンブの着生本数、現存量は施工後1年目より全体的に減少し、特に水深4~5m以深ではその傾向が顕著であり、薬剤処理コンクリート、普通コンクリートによる海藻着生状況の差は目視観察からは認められなかった。そこで、薬剤処理コンクリート、普通コンクリートに着生したリシリコンブの着生本数、現存量、1本当たりの葉長と平均湿重量について、Welchの方法で有意差検定を行った結果、施工後1年目はリシリコンブの現存量のみ統計的に有意な差がある可能性が示されたが、施工後2年目以降はリシリコンブの現存量、着生本数、1本当たりの葉長と平均湿重量に統計的に有意な差は認められず、施工後時間の経過に伴い、リシリコンブの着生状況が類似してきていることが窺われた。

4. 凸凹処理コンクリート、ポーラスコンクリートへの海藻着生

4.1 微地形の海藻着生に及ぼす効果

コンクリート表面の溝、突起物による凸凹微地形の効

果として、凸凹微地形周辺に形成される渦流域に海藻胞子や動物の卵稚仔が取り込まれ着生し易くなることが考えられている(古川ら,1994)。寺脇(1988)は、コンクリート天端上の突起物の角度が大きいほどカジメの生育密度が高くなることを報告している。寺脇の報告を受けて、川崎ら(1991)は突起物の角度、遊走子の着生密度、流速に関する水理実験を行い、突起物前面では突起物の角度と着生密度の関係に、角度が120度まではほぼ比例関係にあること、着生密度は流速の増大とともに低下することを報告している。

長年に渡るコンブ漁場での現地調査に基づき、コンブはブロックや自然石の縁辺部、平磯礁の溝等の隅角部に集中的に着生すること(川嶋,1992)、コンブ礁に使用する石材は、丸みのある川石より山から切り出した角張った石の方が良いこと、また、数cmから数十cmの凸凹が必要であること(三本菅,1987)を指摘している。一方、綿貫ら(1987)は、粗度の異なるコンクリートブロック天端面に入植する海藻被度とその個体数を調査し、大型褐藻類であるツルアラメは粗度の大きい面に初期着生し易いこと、また、稜角部に着生し易いことから、大きな起伏に加えて、小さな穴、溝等による微小地形が海藻着生に有効であることを指摘している。さらに、村上ら(1995)は、コンクリート表面に筋、溝、突起物による凸凹微地形を設けた海藻着生試験を実施した結果、海藻着生初期において、凸凹の大きい溝型や突起物の方が凸凹の小さい筋型より有効であること、施工後1年を経過すると生物付着量に凸凹の相違による差は見られなくなること報告している。

4.2 海藻着生状況

北海道日高沿岸域に位置する浦河港において、普通コンクリート、凸凹処理コンクリート、ポーラスコンクリートを用いて製作した試験ブロック(縦 $2.1 \times$ 横 $2.1 \times$ 高 0.9 m)を製作し設置した。試験ブロックは、図-4に示す防波堤の前面小段部に設置され、設置水深は3mである。試験ブロックへの海藻着生状況について、平成6年6月から年3回(春季:コンブ類の発芽期,夏季:繁茂盛期,秋季:枯死流出期)の現地調査に基づき比較検討した。

凸凹処理コンクリートは、図-5に示すように、コンクリート表面に、安山岩(割石)、安山岩(玉石)、カンラン岩、砂岩を埋め込む、あるいは擬岩型枠を使用することにより製作した。また、ポーラスコンクリートは火力発電所から排出される使用済脱硫酸剤とモルタルを混合することにより製作した。なお、ポーラスコンクリートは有害物質を含まず、溶出ししないことを事前に確認している(川嶋ら,1996)。

(1) 着生した海藻の種組成



図-4 試験ブロックの設置場所（浦海港）



図-5 試験ブロックの概観

普通コンクリート、凸凹処理コンクリートに着生した海藻種類数の経時変化を図-6に示す。平成6年6月には、ミツイシコンブの孢子放出期に当たる秋季（平成5年11月）に設置された試験ブロックのうち、凸凹処理コンクリートにはコンブ属を含めて3～4種の海藻が着生していたが、基質表面が平坦な普通コンクリートにはコンブ属のみ着生していた。その後、着生海藻の種類数は調査時期により変動が見られるが、基質表面の凸凹微地形の程度には関係なく、5～10種まで増加しほぼ安定した状態となった。

(2) 海藻現存量

普通コンクリート、凸凹処理コンクリートに着生した海藻現存量の経時変化を図-7に示す。凸凹処理コンクリートへの海藻着生の特徴は、基質表面の凸凹微地形（擬岩や埋め込み石材からなる縁、溝）周辺に海藻の濃密な着生が見られること、角張った石材の方が丸みのある石材や擬岩より海藻着生状況が良いことである。

試験ブロック設置後2年経過した平成7年6月には、初年度に着生したミツイシコンブの大半が2年コンブに成長したため、基質表面の凸凹微地形の程度には関係なく、海藻現存量が最大となった。特に、安山岩（割石）を埋め込んだ凸凹処理コンクリートの海藻現存量は、最大36 kgf/0.25 m²、その他の凸凹処理コンクリートの海藻現存量も2～17 kgf/0.25 m²程度になっており、普通コンクリートの海藻現存量より多かった。海藻現存量は、ミツイシコンブの成長過程に基づいた季節変動が見られ

るが、何れの時期も凸凹処理コンクリートは普通コンクリートの海藻着生量より上回っていた。

(3) ポーラスコンクリートへの海藻着生

多孔質で微小な連続空隙を有するポーラスコンクリートは、基質表面の微小な空隙が甲殻類や多毛類が生息場として機能することから、魚礁、藻礁としての実用化が期待されている。ポーラスコンクリートの海藻着生の特徴として、基質表面に海藻がむら無く着生することである。その理由として、川嶋ら（1996）は、基質表面に微小な凸凹があるため、海藻の発芽初期段階の幼芽をウニ等の植食動物に食害されにくいことを指摘している。

ポーラスコンクリートは、平成6年11月以降の荒天時に破損転倒したため、図-7中には、ポーラスコンクリートの海藻現存量を示していない。しかしながら、平成6年6月には1.3 kgf/0.25 m²、11月には2.0 kgf/0.25 m²、再設置後の平成7年10月には0.7 kgf/0.25 m²、平成8年3月には1.1 kgf/0.25 m²であった。これらの現存量の値は、何れの凸凹処理コンクリートより、試験ブロック設置後1年目の海藻着生としては大きい。川嶋ら（1996）の調査報告でも、ポーラスコンクリートへの海藻着生が普通コンクリートより上回っている。

これらのことから、基質設置後の2年間の海藻着生状況は、ポーラスコンクリートが最も良く、次いで、凸凹処理コンクリート、普通コンクリートの順であった。コンクリート基質への海藻着生は、コンクリート材料を工夫するより、コンクリート基質表面に多孔質の微地形を形成するポーラスコンクリートや角張りのある凸凹をつけた凸凹処理コンクリートの方が何も処理しない普通コンクリートより良いことが明らかとなった。

コンクリート表面処理の海藻着生に及ぼす効果は、基質設置初年度に限定される報告（村上ら、1995）もあり、今後も海藻着生状況の推移を調査する必要がある。また、ポーラスコンクリートは、連続空隙を持ち、透水性があるため、生態系との調和という観点から生物棲息場とし

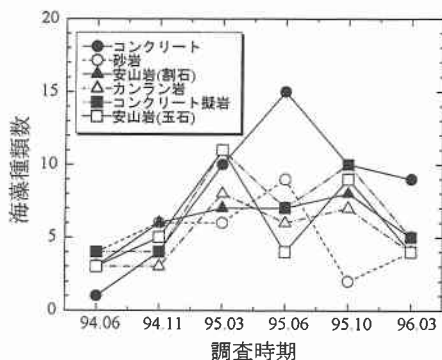


図-6 着生海藻の種類数の経時変化

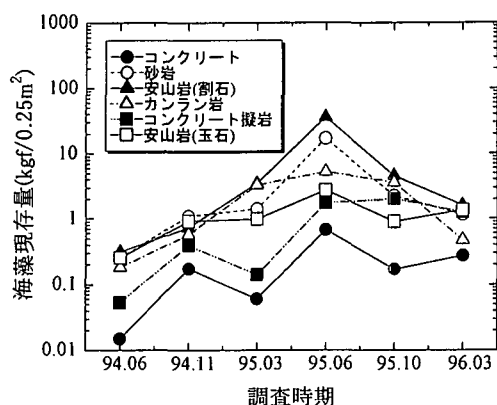


図-7 海藻現存量の経時変化

て可能性に富む基質であるが、強度、耐久性、透水性など物性や工学的特性が材料の配合により異なるため(日本コンクリート工学協会, 1995), 港湾構造物としての施工性, 耐久性, 実用性に問題が残されており, 今後の調査研究が待たれるところである。

5. 結 語

港湾構造物の主要な材料であるコンクリートを対象とした海藻繁殖助長手法として提案されているコンクリートの表面処理方法の相違による海藻着生状況について, 現地調査に基づいて比較検討した結果, 以下に示す結果が得られた。

(1) 硫酸第一鉄によりコンクリート表面を薬剤処理したコンクリートへの海藻着生は, 普通コンクリートと同程度であり, 普通コンクリートと比較して, 顕著な効果は期待できないことが明らかになった。

(2) コンクリート表面に凹凸微地形を付けた凹凸処理コンクリート, またはポーラスコンクリートが何も処理しない普通コンクリートより海藻着生が良いことが明らかとなった。

謝辞: 本論の最後に当たり, 本調査は平成5年度より, 水産生物増殖型構造物開発調査検討委員会(委員長: 竹田英章北海道東海大学教授)の指導に基づき実施していることを記して, 委員各位に謝意を表します。また, 調査結果の解析に当たり, 日本データサービス株式会社の鳴海日出人氏, 株式会社エコニクス(株)の齊藤二郎氏の両氏

に多大な協力を得たことに対して記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 明田定満・谷野賢二・小山征二・高橋義昭 (1996): コンクリート構造物への海藻群落形成に関する現地調査結果について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第52号(B), pp. 368-373.
- 明田定満・谷野賢二・高橋義昭 (1995): コンクリート構造物への海藻群落形成について, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp. 145-150.
- 石田信一・鈴木哲緒 (1984): 硫酸第一鉄 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) を利用した藻礁の実験結果について, 水産土木, Vol. 21 No. 1, pp. 25-28.
- 市川清志 (1990): バイオサイエンスの統計学, 南江堂, 378 p.
- 大野正夫・井本善次 (1990): 室戸海岸に投入されたシーWグリーン塗装離岸堤への海藻の着生効果(3), 海藻魚礁ニュース, No. 13, pp. 21-23.
- 大野正夫 (1992): 土佐湾に沈設された硫酸第一鉄塗装藻礁の海藻植生の遷移, 海藻魚礁ニュース, No. 14, pp. 17-25.
- 川嶋昭二 (1992): コンブの着生基質と着生様式についての提言, 魚礁海藻ニュース, No. 14, pp. 35-41.
- 川嶋昭二・小林 創・鳴海日出人・黄金崎清人 (1996): 石灰炭系廃棄物を利用した効果的な藻礁(バイオユニット)の研究, 海洋開発論文集, Vol. 12, 印刷中.
- 川崎保夫・寺脇利信・長谷川寛・平口博丸・後藤 弘・荒木 洋・飯塚貞二 (1991): 海中林造成技術の実証, 第3報, 電力中央研究所報告, U 91023, pp. 1-37.
- 三本菅善昭 (1987): コンブ礁, 海洋科学, Vol. 19, No. 3, pp. 183-188.
- 社団法人日本コンクリート工学協会 (1995): 自然環境との調和を配慮したエココンクリートの現状と将来展望, エココンクリート研究委員会報告書, 78 p.
- 水産土木研究室 (1992): 今後の漁港のあるべき姿について, 開発土木研究所月報, No. 473, pp. 59-64.
- 日本海洋学会編 (1986): 沿岸環境調査マニュアル(底質・生物編), pp. 159-163.
- 村上和男・小笹博昭・大内久夫・矢島道夫・浅井 正 (1995): コンクリート構造物に着生する付着生物に関する調査, 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集, pp. 111-116.
- 古川恵太・室善一朗・細川恭史 (1994): 港湾構造物への生物付着促進のための凸部周辺の流速分布に関する検討, 港研報告, Vol. 33, No. 3, pp. 3-15.
- 谷野賢二 (1995): 水産資源保全・増殖型沿岸構造物の開発, 1995年度(第31回)水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース.
- 谷野賢二・明田定満・佐藤 仁・大森康弘・富士 昭 (1993): 防波堤の疑似岩礁効果について, 海岸工学論文集, 第40巻(2), pp. 1151-1155.
- 綿貫 啓・山本秀一・新井省吾 (1987): ツルアラメ幼体の入植に及ぼす基質表面形状の影響, 水産増殖, 第35巻第2号, pp. 69-75.