

高天端潜堤の建設と周辺の生物相の変化

Change of biota after construction of "high crest" submerged breakwater

谷野賢二*・山本泰司**・明田定満***・綿貫 啓****・長谷川 厚*****・田中則男*****

Kenji Yano, Yasuji Yamamoto, Sadamitsu Aketa, Akira Watanuki, Atsushi Hasegawa, Norio Tanaka

A submerged breakwater, its crest nearly coincided with the H.W.L., was constructed off Hagino, the Iburi Coast in Hokkaido. Echo-friendly units were used for this "high crest" submerged breakwater. The new units have large empty spaces to allow sunlight to go through onto the rock mound. A study on organisms attaching themselves and macrobenthos in the surroundings was performed over a period of 3 years. Kelp (*Laminaria angustata*) forests formed on the insidewalls of both units and the rock mound. The standing crop was 10-25 times that found on flat crest blocks (used as a control). This distinction was due to the complex unit structure and the variation in depth substrata. As the sand particle size on the landward side of the breakwater increased slightly with every year, macrobenthos such as annelida became more abundant. In addition, rock fish were seen to frequent the breakwater. The "high crest" submerged breakwater using the new units functioned not only protected the coast, but also acted as a rocky ecosystem and feeding point on the sandy bottom.

Keywords : Kelp, Macrobenthos, Seaweed, Submerged breakwater

1. はじめに

北海道胆振海岸（図-1）は典型的な浸食海岸であり、現在、人工リーフと緩傾斜護岸の組み合わせによる面的防護工法が進められている。当海岸においては人工リーフの設置に当たって、周辺の漁場や生態系への影響をできるだけ緩和することが求められている（吉澤ら、1992）。

当海岸の萩野地区では、経済性を考慮した人工リーフとして、天端がほぼH.W.L.に一致する高天端潜堤が計画された。そして、被覆ブロックとして安定性、消波性能が優れ、空隙が大きく海洋生物の着生や蛸集を促進することを目的として開発された潜堤用ユニット（アクアリーフ）が使用された。この潜堤の建設を機に、高天端潜堤への水産生物の蛸集・着生効果や潜堤周辺の底質環境を把握する調査を3ヶ年間（年2回）実施したので、その結果を報告する。

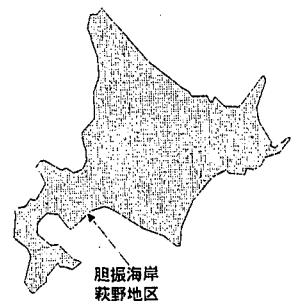


図-1 位置図

2. 高天端潜堤とユニットの特徴

対象海域は、胆振海岸の白老港の西方約1kmの開発局直轄海岸である。現状の海岸線は直立護岸に消波工が施工されているが、高波浪がたびたび護岸を越波し、背後の住宅地へ被害を与えている。高天端潜堤はこの護岸の沖合約100mに施工された。経済的に消波効果を上げるため天端高はほぼH.W.L.に一致し、一般的な幅広の人工リーフに比べ天端幅が狭い（図-2）。没水タイプ的人工リーフでは、海面上に天端が出ないので景観を阻害しないが、この高天端潜堤はL.W.L.時に約1mほど天端が水面上に露出する。離岸堤ほど圧迫感はないが、海岸保全施設の存在は明かである。また、航行する船舶にも認識可能である。

* 正会員 北海道東海大学 工学部海洋開発工学科 教授（前 開発土木研究所 水産土木研究室長）
 ** 正会員 Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut（前 同水産土木研究室 副室長）
 *** 正会員 北海道開発局 開発土木研究所 港湾研究室 室長
 **** 株式会社テトラ 応用水理研究所（〒300 茨城県土浦市東中貫2-7）
 ***** 正会員 株式会社テトラ 札幌支店
 ***** 正会員 株式会社テトラ 本社

高天端潜堤に使用された潜堤用ユニット(10tタイプ)は、従来の異形ブロックとは異なり、各ユニットを斜めにもたせかけ、単層・整列で堤体を形成する。堤体は重ね合わせとかみ合わせの効果により一体化している。天端は山形の粗度形状になり、擾乱効果が高く碎波が促進され消波効果が高い(浜口ら, 1991)。

さらに、各ユニットは1:2で傾斜しており、斜面の効果で水平波力の一部を鉛直下向きに変換し、安定性を高めている。また、大きな開口部を有するので太陽光が捨石マウンド上にも入射し、海藻類の生育を促進するとともに、揚圧力が働きにくく安定性をさらに増した構造となっている。

潜堤の施工は平成元年から始まり、初期の延長約50mの部分は天端が比較的平坦な被覆ブロック(26tタイプ)が施工された。平成5年度から潜堤用ユニットが施工され、平成7年度に1基目が完成した。全延長は約150mである。

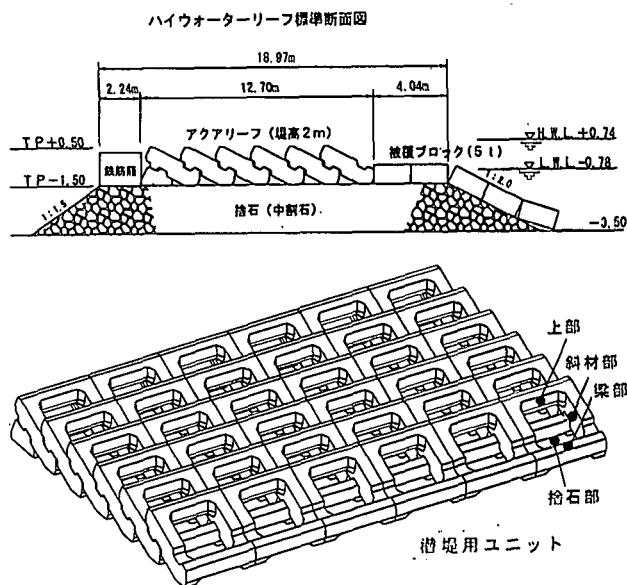


図2 高天端潜堤

3. 調査方法

着生調査は平成6年度から3ヶ年(夏と冬の年2回)継続した。調査項目は付着生物調査と潜堤周辺の底質調査・マクロベントス調査である。

付着生物調査では、各年度の施工箇所ごとに付着している生物を目視観察し、優占種を把握するとともに、代表的な海藻の植生の部分で坪刈を行い、付着生物の同定、計量を行った。坪刈ではユニットの各部材毎(図2)の全面積あるいは1/2面積を対象とし、それ以外の場所では50×50cmの枠内の生物を採取した。また、対照区として延長50mの被覆ブロックの上面および約1km離れた白老港の外港防波堤の消波ブロックにおいても坪刈採取を行った。

底質・マクロベントス調査は、図3に示す23測点において、ダイバーが海底で桁口25cmのサバーネットを1m曳いて底質を採取し、レッドで測深を行った。採取したサンプルは1mmメッシュのフルイにかけ、残ったマクロベントスを10%ホルマリンで固定し実験室に持ち帰り、同定・計量を行った。また、各測点でダイバーがサンプル瓶に直接底質を採取し、粒度組成・CODを測定した。さらに、平成8年夏には潜堤の周辺の深浅測量を実施した。

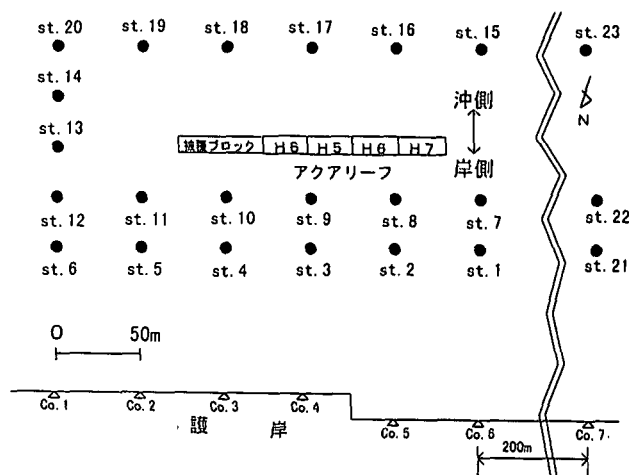


図3 底質・マクロベントスの調査測点

4. 調査結果

4.1 付着生物

平成6年の夏期の調査には、すでに捨石マウンドや新規に設置された潜堤ユニット等にミツイシコンブやチガイソ等の海藻類が入植していた。当海域の底質は砂質土であり、周辺には天然岩盤は存在しない。潜堤は被覆ブロック部分が先行して施工されており、新規部分の潜堤への付着生物の入植は、この先行部分や海岸線の護岸から海藻類の孢子や付着動物の幼生が供給されたものと推測される。また、この海域は冬期に海上が静穏となるので、潜堤の施工は1~2月に実施されている。コンブの成熟期は一般に秋から初冬であるが、施工後半の夏期調査でコンブの入植が新規の構造物に確認されたので、1~2月でも成熟個体があるものと考えられる。平成8年でもミツイシコンブ、チガイソが優占し、その他にわずかにアナアオサ、マツモ、ダルスがみられる程度で種数は少なく、4~6種で構成されている。

付着動物では、平成6年の夏期調査でユニットの潮間帯部分にはチシマフジツボ、コウダカアオガイ、潮下帯ではエゾチヂミボラ、ムラサキイガイが多く、鉛直面にはエボヤがみられた。平成8年では、これにシロガイ、コガモガイが加わる程度で3、4種で構成されている。

一般に、付着生物は付着基盤が設置された時間の経過とともに種組成が変化し、やがて長命でその場の環境に

応じた種が優占してくる。ここでは、最も古いユニットの設置から3年を経過した平成8年の調査結果を中心に構造物上の付着生物の特性を示す。

(1) 対照区(被覆ブロック、白老港)との比較

平成8年の付着生物の坪刈結果を表-1に示す。潜堤ユニットの結果は、捨石部分を含めた各部材毎の現存量の和を投影面積当たりに換算したものである。また、対照区の白老港防波堤での値は高天端潜堤の水深帯を考慮して、水深1mでの結果を用いた。

海藻類の優占種はミツイシコンブとチガイソであり、採取場所による優占種の違いはない。動物類の優占種はコガモガイ、エゾチヂミボラ、ムラサキガイであり、特に、常に海水中の部分では肉食のエゾチヂミボラが数個体～60個体/㎡と多く分布している。なお、対照区の被覆ブロック上では、キタイワフジツボが優占しており、現存量が多くなっている。藻類、付着動物とも冬期よりは夏期の方が現存量が多く、施工年度の古いユニットの方が現存量が多い傾向にある。

潜堤ユニットと対照区である被覆ブロックとの比較をすると、夏期調査の海藻類では、対照区が0.4kg/㎡なのに対し、ユニット部では4～10kg/㎡と10～25倍もの差となった。冬期調査の海藻類では同程度であるが、ユニットではコンブが優占したのに対し、被覆ブロックではチガイソが優占した。表には示していないが、コンブの現存量では、被覆ブロックの0.1kg/㎡に対し、ユニットは0.6～1.8kg/㎡と6～18倍となった。

この差は、高天端潜堤の天端水深が浅く、付着生物の分布水深に一致していないことに起因している。天端の平坦な被覆ブロックでは、天端水深がコンブの生育水深帯に一致しないと、コンブの着生が望めなくなる。

一方、潜堤ユニットでは水深方向に部材が配置されており、天端が対象とする海藻の生育水深帯より高く設置されても、水深方向に付着基盤となる部材が配置され、捨石面にも海藻類が着生するので、着生可能な部位の自由度が高くなっている。さらに、川嶋(1992)は着生面の広さとコンブの着生本数の間には正比例の関係が成立せず、広すぎても部分的しか着生しなく、コンブの着生部分はブロックの稜角部に多いとしているが、潜堤ユニットでは部材の稜角部が多く、この部分への着生が顕著であったことから、上記のような着生量の差が生じたものと考えられる。

付着動物では、逆に対照区の被覆ブロックの方がわずかに量が多くなった。これは、被覆ブロックの天端の高さが重量の大きいフジツボ類の分布が一致していたことと、海藻類との場の競合で、海藻類が少ないことから動物が優占したものと推測される。

図-5に白老港防波堤の消波工の付着生物の現存量と水深との関係を示す。この範囲の水深帯では、付着動物の着生量は水深に影響されないが、海藻類ではミツイシコンブが優占しており、水深2mでピークがみられる。堤体に作用する波の強さが多少異なるが、高天端潜堤の天端を0.5～1mとやや下げて、ユニット下面の捨石マウンドの天端水深を2mに一致させることでさらにコンブの着生が期待できると考えられる。

(2) 付着生物の着生部位

付着生物の着生部位をさらに詳細にみると、高天端潜堤上の植生では、沖側にはチガイソ、岸側にコンブが多く分布している傾向がみられた。そこで、平成8年冬の調査では、平成5、6年度施工部の沖から岸まで各ユニットの梁部に着生した付着生物の坪刈を行った。

表1 付着生物の現存量(平成8年; kg/㎡)

区分	実施時期	潜堤ユニット			対照区	
		H5施工部	H6施工部	H6施工部	被覆ブロック	白老港消波ブロック
海藻	夏期調査	10.7	3.9	4.3	0.4	1.7
	冬期調査	1.1	1.9	0.7	1.4	8.6
動物	夏期調査	2.4	1.0	2.3	2.9	+
	冬期調査	0.5	0.4	0.7	1.3	0.6

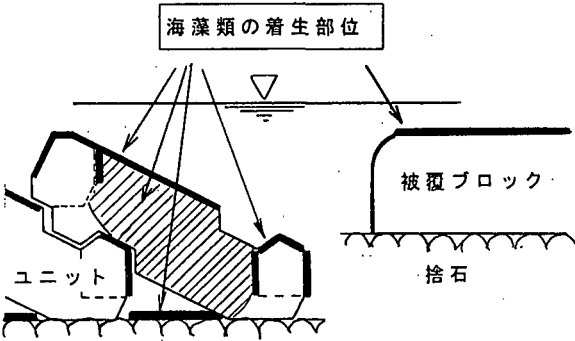


図-4 潜堤用ユニットと天端が平坦なブロックの海藻の着生部位の違い

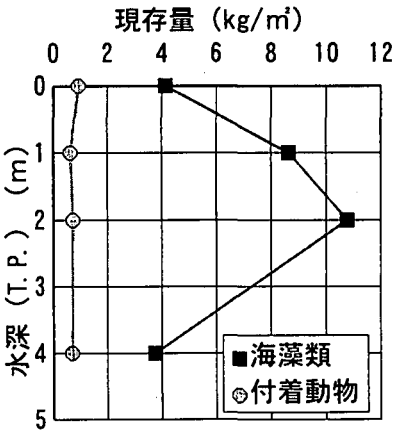


図-5 白老港防波堤の消波工の付着生物の現存量と水深の関係(H8冬)

図-6 に沖側から岸側までの各ユニットの梁から採取した海藻類の現存量を示す。沖の1列目にはコンブ、チガイソが着生するが、波が打ち込む2、3列目では着生量が少ない。4列目以降では、チガイソに比べコンブの着生量が多くなる。これは、波当たりの強さに応じて着生する種が異なっているものと考えられる。

ミツイシコンブは外海に面し、強い波浪を受ける場所に群落を作る(川嶋, 1995)が、調査期間内の平成6年9月には、白老港沖の波高計で波高4.95m、周期9.44secの波が記録された。波の浅水変形を考慮すると、潜堤への入射波高は3.2mとなり、この程度の波浪が作用してもミツイシコンブは生育する。ただし、打ち込みの頻度が高いと想定される潜堤の沖側2、3列目ではコンブは生育しにくいことがわかった。

また、コンブの葉長の測定結果(図7)では、潜堤の沖側の2、3列目は小型の個体が多く、岸側では葉長が大きい。2、3列目へは波浪の打ち込みによってコンブが部材や捨石とこすれ合うため小型になると考えられる。図示していないが、岸側側面にはさらに葉長の長いコンブが観察された。よって、高天端潜堤においてミツイシコンブを積極的に着生させる箇所は岸側が有望といえる。これは、様似漁港複断面傾斜堤の背後小段でコンブの重量・肥大度が良い結果(谷野, 1996)と類似している。

図8に付着動物の各ユニットの部材毎の被度観察結果を示す。全体的にチシマフジツボが優占していたが、4列目のユニットより岸側ではコウダカアオガイが混じるようになる。ユニットの上部では、明らかに岸側になるほど付着動物の被度が小さくなる。これは沖側の方が波しぶき等で濡れており保水性が高いことによる。ユニットの斜材部では岸沖方向の変化は少ない。

没水型的人工リーフの被度調査で、高木ら(1995)は、同じ水深であってもリーフの沖側と岸側では種組成が異なってくることを示したが、今回の調査ではそれを現存量等で定量的な差で求めることができた。

海藻は水深が深くなると、水深に応じた種が優占し帯状の分布をする。人工リーフ等で海藻類の着生を期待する場合、対象種が繁茂する水深帯に天端を一致させることが望ましいが、さらに、波当たりの強さも配慮する必要がある。

4.2 底質調査結果

当海域の底質は細砂～礫混じり粗砂であり、砂分が多く、シルト分は3%以下、CODは0.1～1mg/gと小さく清澄な底質である。中央粒径の経年変化を図-9に示す。この図で岸側とは潜堤の岸側St. 3, 4, 9, 10, 沖側とは潜堤の沖側St. 17, 18での測定値の平均値を示す。また、岸側対照区はSt. 21, 22の測定値の平均、沖側対照区はSt. 23の測定値を示す。

潜堤岸側の粒径は約0.6mmで対照区や潜堤沖側の底質に比べ粒径が大きく、潜堤の建設に伴って微増してい

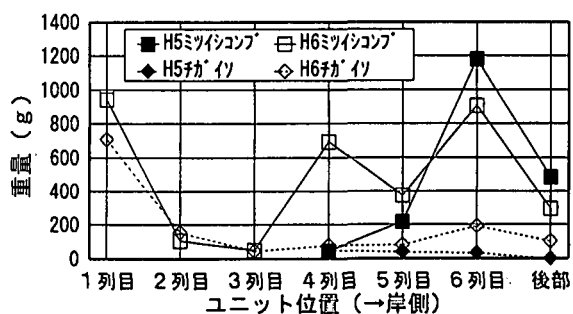


図-6 各ユニット梁部の現存量

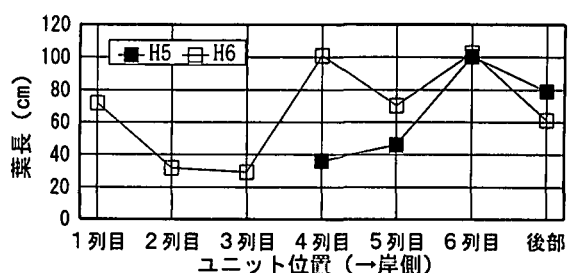


図-7 各ユニットのコンブの葉長

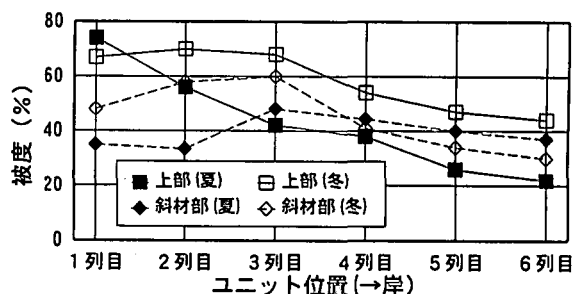


図-8 各ユニットの付着動物の被度観察結果

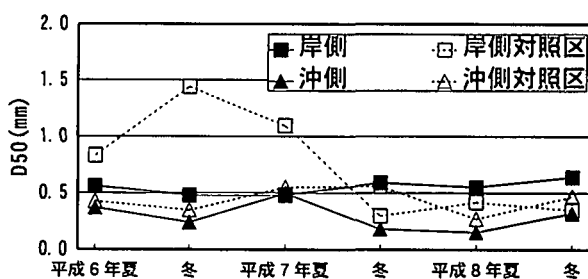


図-9 底質の中央粒径の経年変化

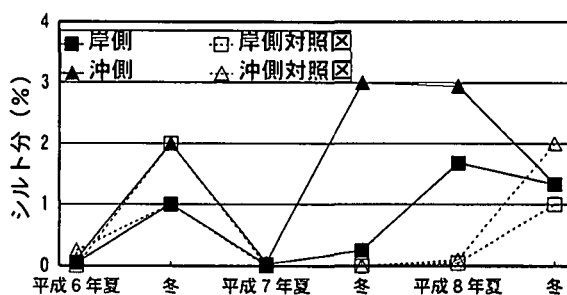


図-10 シルト含有量の経年変化

る。図示はしていないが、細砂分では潜堤の沖側は60～90%、岸側は30～60%と沖側のほうが多い。宇多ら(1991)は糸魚川海岸の没水タイプ的人工リーフの現地調査を行い、人工リーフ設置後に岸側の底質が粗粒になったと報告しているが、高天端潜堤でも同様な傾向がみられる。

さらに、シルト含有量の経年変化(図-10)では、潜堤の沖側でシルト分が多いが、岸側においてもシルト分が微増傾向にある。

潜堤の陸側で粒径が大きく、さらにシルト含有率が対照区に比べて多いことは、大波浪時の潜堤背後への伝達波による擾乱によって、粒径の大きな底質が残り、静穏時に潜堤背後にシルトが沈降したと考えられる。

底質のCODの経年変化(図-11)では、底質の粒径が小さい潜堤の沖側でCODがやや高く、シルト含有量が微増している岸側では徐々にCODが増加している傾向を示す。

4.3 マクロベントスの調査結果

平成6年では砂泥底に多くみられるドロクダムシ科やヨコエビ類などの節足動物が優占し、平成7年冬にはエゾバカガイ、環形動物のムカシゴカイ、平成8年夏にはホッキガイ、サラガイ、冬にはムカシゴカイが優占した。おおむねどの年でもムカシゴカイはみられるが、ホッキガイ等の二枚貝は安定して出現はしていない。

マクロベントスの個体数の経年変化(図-12)をみると、潜堤の岸側の底質では、CODの増加と同様に個体数も徐々に増大している。平成8年冬では岸側対照区に比べて2オーダー大きい。理由は不明であるが、岸側対照区では平成6年冬以降に中央粒径が小さくなる(図-9)とともに、マクロベントスの個体数が減少傾向にある。

採泥をした地点での底質の中央粒径とマクロベントスの個体数の関係を図-13に示す。図中の曲線は各動物ごとの上限値を結んだ曲線である。環形動物は粒径が大きいほど多く分布する傾向にある。通常、環形動物の多毛綱が多い環境では底質の泥分が多い(安永, 1988)ことが指摘されているが、この海域で採取された環形動物は原始環虫綱のムカシゴカイが優占しており、この種は底質が大きいところに分布する傾向のようである。粒径の大きなデータが少ないので明瞭ではないが、中央粒径が1.5mmに環形動物すなわちムカシゴカイピークがみられる。

軟体動物では、二枚貝のエゾバカガイ・サラガイ・ホッキガイが多く採取されたが、これらはいずれも中央粒径D50が0.2mmに出現のピークがある。この中央粒径は図-9でみると潜堤の沖側の粒径であり、この場所は図-10、11から、シルト含有量が多く、CODの大きい地点となる。したがって、潜堤周辺の二枚貝の分布は底質の粒径に大きく依存しているようである。

一方、ヨコエビ等の節足動物の出現は、この粒径の範囲では、粒径には依存していないようである。

4.4 ホッキガイの分布と構造物との関係

平成8年夏期調査時の深浅測量結果とホッキガイの個体数の分布を図-14に示す。没水型的人工リーフでは離岸堤ほどには背後の波が穏やかでなく、トンボロができにくい(浜口ら, 1988)が、高天端潜堤では図に示すようにトンボロが発達した。これは天端の深い人工リーフや幅広潜堤に比べ、高天端潜堤は消波効果が高く、干潮時には離岸堤的で小さな波も消し、提体を波が回折することによると考えられる。なお、満潮時には伝達率が大きくなり、潜堤上を波が越流しやすくなるので、この場合は、離岸堤に比べ穏やかな回折波であると予想される。

このような地形の条件のとき、ホッキガイ(平均殻長3.9mm, 1年貝)が潜堤の沖側および岸側中央に多く分布した。平成7年の冬期調査ではホッキガイの稚貝は確認されていないので、稚貝の着底は別の場所であり、沿岸流によって運ばれたものと考えられる。

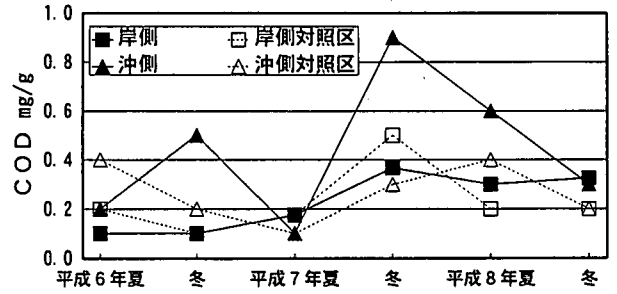


図-11 底質のCODの経年変化

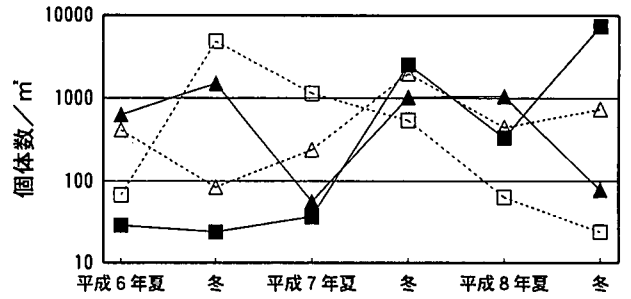


図-12 マクロベントスの個体数の経年変化

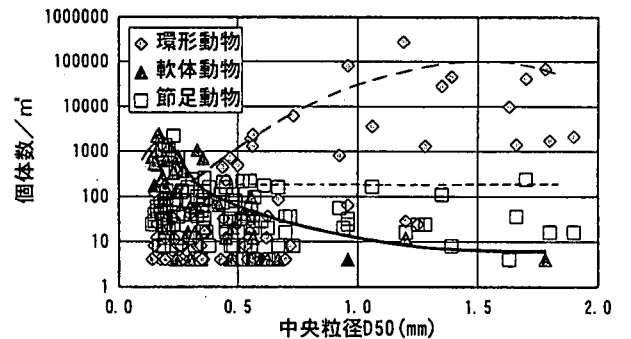


図-13 中央粒径とマクロベントスの個体数の関係

潜堤の岸側のSt. 9では、潜堤を回折する波で底質とともに運搬され集積したものと考えられる。潜堤沖側のSt. 15～18は解釈しにくい、沿岸流等によってホッキガイが運搬され、潜堤の沖で移動が阻止され堆積したこと、中央粒径が0.14～0.20mmでホッキガイの生息分布に一致したと考えられる。

St. 13は中央粒径が0.42mmと比較的大きいものの、ホッキガイが多く分布した。これは、構造物に起因する流動環境の特異な流れで堆積していると考えられるよりも、採取する前の時化で輸送されたが、たまたま取り残されたのではないかと考えられる。なお、潜堤の沖側の測点が少ないので明瞭とはいえないが、St. 13～18のうち、水深5～5.5mの位置にホッキガイが多く分布している傾向がみられる。

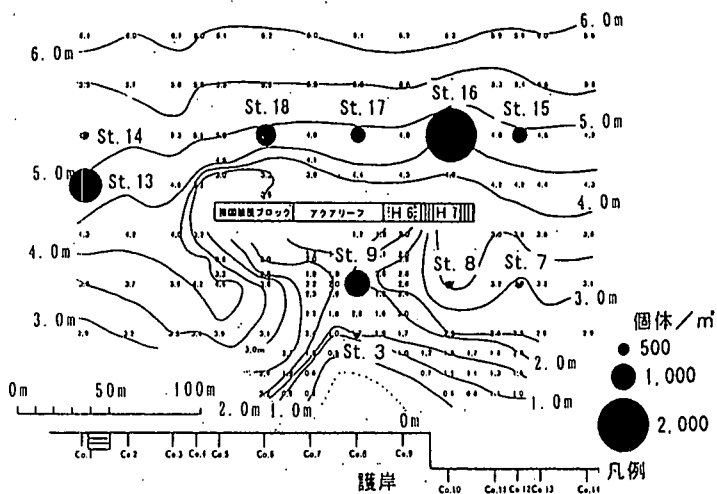


図-14 潜堤周辺の地形とホッキガイの分布（平成8年夏）

5. おわりに

高天端潜堤では、天端の平坦な被覆ブロックは藻類の生育水深帯に一致しにくく不利であるが、潜堤用ユニットを使用することで、ミツイシコンブを主とする海藻群落ユニットおよび下面の捨石マウンド上に形成された。このように、対象とする海藻の生育水深帯に天端を一致させにくい場合は、このユニットを使用することで海藻群落を形成させられることが期待できる。

また、潜堤の天端水深が同一であっても、波当たりの相違による付着生物の分布に差が出た。これは通常的人工リーフにも当てはまる傾向であり、水産協調としてある海藻を対象種に考える場合、その生育水深のみならず、波当たりも考慮に入れて設計することが望ましい。ただし、波浪の強さと海藻の生育限界に関する定量的な情報が非常に不足しており、今後の研究課題である。

高天端潜堤が地形に及ぼす影響では、通常的人工リーフに比べて離岸堤的な特徴を持ち、岸側にトンボロ地形が形成された。潜堤の陸側の底質の粒径は周辺よりも大きく、かつシルト含有率が多く、その結果、底質のCODや環形動物を主とするマクロベントスが増大傾向にあることが判明した。どの程度の波高伝達率であれば、背後のマクロベントスをより増やし魚類の餌料場を形成できるか、さらに多くの類似の施設の調査研究が必要である。

謝 辞

本調査の遂行にあたり、北海道開発局室蘭開発建設部治水課、白老町港湾課、白老漁業協同組合の関係各位には多大な便宜・協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。さらに、本稿のご校閲を賜った川嶋昭二博士に厚く深謝の意を表する。

参考文献

- 宇多高明・浅香恵則・湯田寛(1991)；糸魚川海岸における人工リーフ周辺の波、流れ、漂砂の現地観測(2)，海岸工学論文集，第38巻，pp. 151-155.
- 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，海藻魚礁ニュース，Vol. 14，pp. 35-41.
- 川嶋昭二(1995)；日本産コンブ類図鑑，(株)北日本海洋センター，215pp.
- 高木伸雄・中山哲哉・加藤広之(1995)；水産協調型人工リーフの形状の提案，海洋開発論文集，Vol. 11，pp. 139-144.
- 浜口達男・宇多高明・井上力・五十嵐晃・中山修(1988)；人工リーフの波浪制御効果に関する現地実験，海岸工学論文集，第35巻，pp. 128-188.
- 浜口敬和・綿貫啓・長谷川実・野口正昭(1991)；水産協調型潜堤の開発，平成3年度日本水産工学会学術講演会論文集，pp. 67-68.
- 安永義暢(1988)；砂浜域における構造物とマクロベントスの分布の関係について，水産土木，Vol. 24-2.
- 谷野賢二(1996)；生物環境に配慮した構造物の開発ー北海道における取り組みー，平成8年度日本水産工学会秋季シンポジウム，「沿岸開発と生態系保全」講演論文集，C-1～C-10.
- 吉澤裕・任田正猛(1992)；海岸保全施設配置におけるミティゲーション手法について，TECHNO-OCEAN' 92 Pro.，Vol. 1，pp. 365-371.