

# 高天端潜堤の水利特性と生物相

谷野賢二\*・綿貫 啓\*\*・山本泰司\*\*\*  
明田定満\*\*\*\*・廣瀬紀一\*\*\*\*\*

## 1. 緒 言

北海道の太平洋側に位置する胆振海岸(図-1)は典型的な侵食海岸であり、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、その副次的な利点の一つである水産生物の蛸集効果を期待し、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)。

胆振海岸の萩野地区では、波浪が原因と思われる振動、騒音により海岸居住地の家屋に被害が生じるなど緊急に海岸保全を実施する必要が生じた(山本ら, 1995)。そこで、経済性を考慮した人工リーフとして、天端がほぼHWLに一致する高天端潜堤が白老港の西に位置する萩野地区に計画された。そして、潜堤の被覆材として、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。

完全に没水した人工リーフの地形への影響は、いくつかの報告がある(宇多ら, 1991; 清水ら, 1993)。また、幅広潜堤上の付着生物については、庄司ら(1992)が報告している。しかしながら、潜堤の天端が水面付近に位置する高天端潜堤に関する水利機能や生態系の変化に関

する調査研究は見られない。そこで、この潜堤の建設を機に、高天端潜堤の水利機能、地形や底質への影響、水産生物の蛸集・着生効果を把握する調査を3ヶ年間(年2回)実施したので、その結果を報告する。

## 2. 高天端潜堤の構造上の特徴

調査対象の高天端潜堤は図-2に示すように、天端高がTP+0.5mで、ほぼHWLに一致し、一般的な人工リーフに比べ天端幅が狭い。没水型の人工リーフでは、海面上に天端が出ないので景観を阻害しないが、高天端潜堤は干潮時に約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り、航行船舶にも認識が可能である。

高天端潜堤に使用された潜堤用ユニット(10t)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となり、擾乱効果が強く砕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

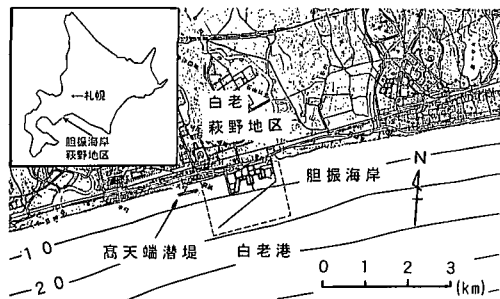


図-1 胆振海岸萩野地区

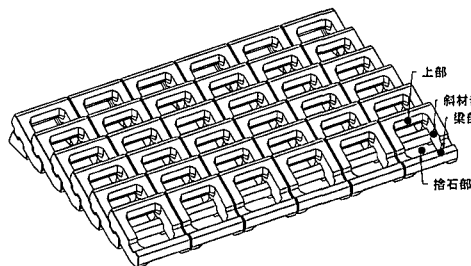
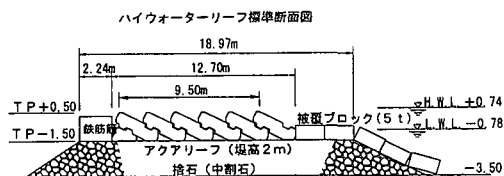


図-2 高天端潜堤と潜堤用ユニット

\* 正会員 工博 北海道東海大学教授 工学部海洋開発工学科  
\*\* (株)テトラ ブロック事業本部技術部 課長  
\*\*\* 正会員 工修 Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut  
\*\*\*\* 正会員 北海道開発局開発土木研究所 港湾研究室長  
\*\*\*\*\* (株)テトラ ブロック事業本部事業企画部 主任

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。

高天端潜堤の施工は平成元年から始まり、初期の延長約 50 m の部分は天端が比較的平坦な被覆ブロック (26 t 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 150 m、離岸距離約 100 m である (図-3)。

### 3. 調査方法

堤体の安定性、付着生物、蛸集魚類、周辺の底質・砂中生物調査を平成 6 年度から 8 年度まで年 2 回 (夏と冬) 継続して実施した。また、波浪観測調査・深浅測量を平成 8 年夏に行った。

堤体の安定性調査では、ユニットの設置状況の目視観察や天端高や天端幅の測定を行った。

付着生物調査では、施工年度の異なるユニット毎に被度観察を行うとともに、ユニットの各部材および対照区として被覆ブロックと白老港の消波ブロックにおいて坪刈を行い、種の同定、湿重量の測定を行った。坪刈は、ユニットでは各部材の全面積あるいは 1/2 面積、その他では 50×50 cm の枠内の付着生物を対象とした。

魚類調査では、ダイバーにより潜堤周辺の目視観察を行った。平成 7 年冬と平成 8 年夏にはアイボール (固定式水中ビデオカメラ) による連続観察を行った。

底質調査では、図-3 に示す 23 測点において底質を直接採取し、粒度組成、COD の測定を行った。砂中生物も同測点で桁口 25 cm のサバーネットで海底を 1 m 曳き、採取した底質を 1 mm メッシュのフルイにかけ、残った砂中生物について同定、計量を行った。

波浪調査では、潜堤から沖側に約 40 m 離れた地点および岸側に約 15 m 離れた地点に流速センサー付き水圧式波高計 (WAVE HUNTER 94) を設置し、平成 8 年 8 月 1 日から 9 月 6 日の 37 日間の波高・流向流速測定を行った。測定時間は毎正時ごとに 20 分でサンプリングタイムは 0.5 秒とした。

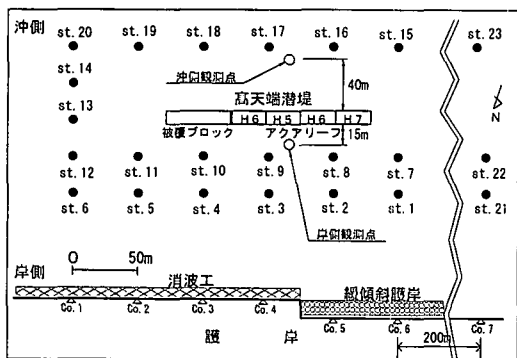


図-3 調査対象範囲と底質のサンプリング測点

### 4. 調査結果および考察

#### (1) 安定性

潜堤ユニットは通常の被覆ブロックと異なり、かみ合わせ効果が前後のユニットが一体化している。したがって、ハンドソン式等のようにブロック単体の安定性を検討するのでなく、作用する最大波高  $H_{max}$  に対して、堤体の滑動を生じない必要列数を求める方法 (綿貫ら, 1991) で検討する (図-4)。この図は、潜堤の天端水深  $R$  が没水した場合であり、 $0 \leq R/H_{max} < 1$  の範囲である。

白老港沖 (水深 50.7 m) の波高記録では、調査期間中の最大波浪は、平成 6 年 9 月 30 日に有義波高 4.95 m、周期 9.44 s であったが、6 回の観察ではユニットの移動、滑動はまったく見られなかった。この時の入射波高は  $H_{max}=3.9$  m であるが、天端が水面上に出る場合は図-4 の範囲外であるものの、参考にする、当潜堤は 6 列並びであり、没水状態では  $H_{max}=5$  m までは安定であるので余裕があると推察された。

また、潜堤ユニットの開口部からの捨石 (30~300 kg) の抜け出しは、潜水観察の結果では確認できなかった。揚圧力の作用しない被覆材の構造では、下面の捨石も安定性がよいと推測される。

砂浜域の碎波帯内での施設なので、捨石マウンドの不等沈下等による被災が危惧されたが、ユニットの天端高の測量結果では、天端の沈下量は 10 cm 以内で機能上支障のないものであった。

#### (2) 消波効果

波浪調査の結果を図-5 に示す。沖側観測点における測定期間中の有義波高の最大は、9 月 3 日の  $H_{1/3}=2.6$  m、 $T=14.4$  s である。これは関東の東に台風 14 号があり、うねり性の波が到達した。沖側観測点で有義波高が 2 m を越える時は 9 月 4~5 日にも観測されたが、周期は 7 秒程度と短い。このときの白老港の風速記録では岸向きの風が最大 13.3 m/s であり、風波性の波であった。

岸側の伝達波高は 1 m 以下で、最大値は 9 月 2~3 日のうねり性 ( $H_{1/3}=0.84$  m、 $T=14.4$  s) の波である。図-6 に沖側と岸側の有義波高の比較結果を示すが、岸側の波

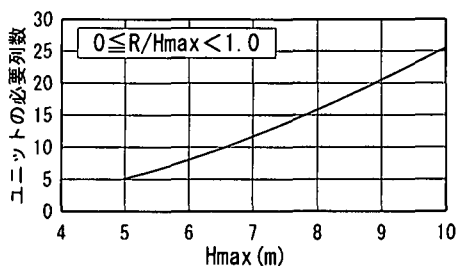


図-4 滑動に対するユニットの必要列数の算定図

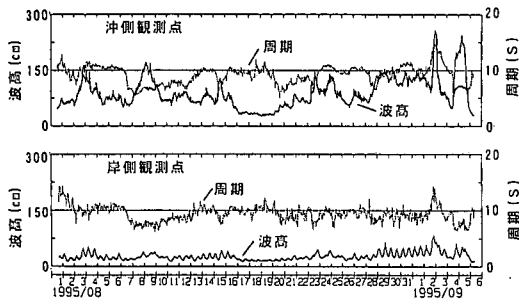


図-5 有義波高・周期の経時変化図

高  $H_t$  は沖側の波高  $H_i$  の約 3 割であり、一般的な離岸堤の消波効果に匹敵するものといえる。

実測したデータのうち、入射波高が 1 m 以上のデータを使用し、相対天端高  $R/H_o'$  をパラメータとして相対天端幅  $B/L_o$  と波高伝達率  $H_t/H_o'$  の関係を図-7 に示す。ここで、 $R/H_o' \geq 0$  は天端が水面下の状態である。この図によると、 $B/L_o$  が小さい範囲では、 $R/H_o'$  が伝達率に与える影響は大きいですが、 $B/L_o = 0.1 \sim 0.2$  では小さい。

浜口ら (1991) は、潜堤ユニットを用いた人工リーフの波高伝達率を水利模型実験で求め図-8 のように示した。図-7 の  $R/H_o' = 0, 0.2$  に対する実測値と比較すると、模型実験の伝達率は実測値よりも、 $B/L_o = 0.15$  ではやや大きい傾向にある (図-9)。

### (3) 付着生物と蛸集魚類

付着生物の海藻類では、潜堤ユニットの施工後半年たらずの平成 6 年の夏期ではミツイシコンブやチガイソが優占していた。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形成する (川嶋, 1995) が、前述したように、平成 6 年 9 月には  $H_{1/3} = 3.0$  m の波が作用しており、その後の観察でもコンブは優占しているの、このような波高が作用する場所でも分布が可能である。

付着生物は基質の設置後に入植する生物から、その環境に合った生物へと遷移する。そこで、施工後 3 年以上経過したブロックでの調査結果を以下に示す。

被覆ブロックの天端上と平成 5 年度施工部分の潜堤ユニット部の坪刈調査結果を表-1 に示す。ユニット部の値は捨石部を含む全体を刈り取り、被覆投影面積で除した。海藻類は被覆ブロックの約 27 倍の現存量となった。この差は、高天端潜堤では天端面の水深が浅く、天端の平坦な被覆ブロックは干潮時に天端面が水面上に露出し、海藻類の着生が期待できないのに対し、潜堤ユニットでは開口部を有し、ユニットの部材のみならず底面の捨石上にも海藻が着生可能なためである (谷野ら, 1997)。

ユニットの下面の捨石には  $12.4 \text{ kg/m}^2$  の海藻が着生していた。隣接する白老港の防波堤の消波ブロック上ではコンブが最も優占した水深 2 m で約  $11 \text{ kg/m}^2$  が採取

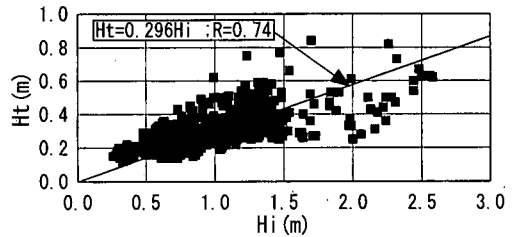


図-6 沖側観測点と岸側観測点の有義波高の比較

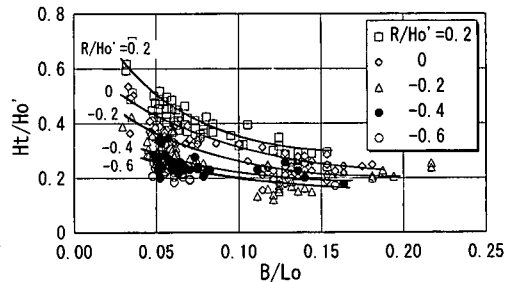


図-7 実測による高天端潜堤の波高伝達率

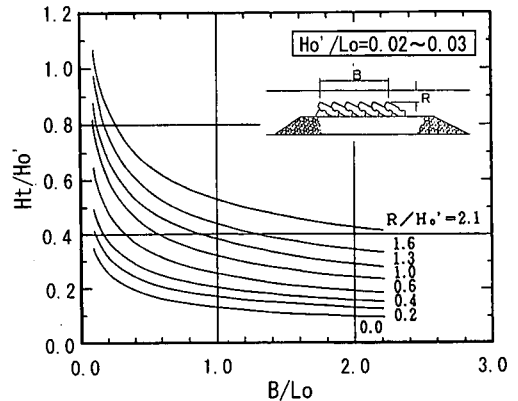


図-8 潜堤ユニットの波高伝達率 (浜口ら, 1991)

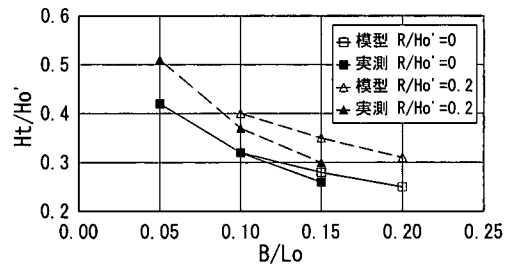


図-9 実測値と模型実験の比較

表-1 付着生物の現存量 (平成 8 年夏期調査)

|    | 潜堤ユニット (a)             | 被覆ブロック (b)            | a/b  |
|----|------------------------|-----------------------|------|
| 海藻 | 10.7 kg/m <sup>2</sup> | 0.4 kg/m <sup>2</sup> | 26.8 |
| 動物 | 2.4                    | 2.9                   | 0.8  |

されたので、ユニット下面の捨石には良好な密度でコンブが着生しているといえる。不安定で移動する基質にはコンブは着生しにくい、コンブが着生していることは、ユニット下面の捨石が安定でロッキング等が生じていないことを証明している。

一方、付着動物ではシロガイ、コガモガイ、エゾチヂミボラなどが優占していた。表-1では、潜堤ユニット上の動物は被覆ブロック天端上の動物の0.8倍と少ない。これは、海藻類が優占したため、生息空間の場の競合で結果的に動物が少ないと考えられる。

魚類調査では、毎回6～7種の魚類を潜水中の目視観察で確認した。確認した魚類は、クジメ、エゾアイナメ、ギスカジカ等が多い。また、平成7年夏期調査では、ハタハタの稚魚が観察され、高天端潜堤がハタハタの産卵場になっている可能性も高い。平成8年夏期のアイボールによる観察では、夜間にカレイ、ギスカジカ、イカ等が確認された。ユニットは複雑な空間を有することから魚礁効果が高いと考えられる。

このように砂浜に岩礁ができたことで、付着生物が付着し、それを餌料とする動物やさらに小動物や小魚を餌とする岩礁性の魚類が蟄集したといえる。

#### (4) 地形変化

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0.1～1 mg/gと小さく清澄な底質である。

平成8年夏期調査時における潜堤周辺の深浅測量結果を図-10に示す。没水型の人工リーフでは、岸側にトンボロ地形が形成された事例はほとんどないが、この潜堤では明かなトンボロ地形が形成された。高天端潜堤は、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、波の打ち込みで岸側は擾乱するが、干潮時には離岸堤的で小さな波も消し、堤体を波が回折し、トンボロを形成しやすくなるものと考えられる。

この地形変化を3次元海浜変形シミュレーションにより再現を試みた。波浪変形計算はエネルギー平衡方程式、海浜流計算は、単層二次元浅水波方程式に、ラジエーションストレス項を加えたものを基礎方程式としている。また、地形変化計算では、これらの波、流れをもとに漂砂量を計算する局所漂砂量モデル(渡辺ら, 1984)を用いた。初期地形は平行等深線海岸とした。現地波浪観測期間中に白老港沖の波高計で観測された  $H_0=3.3$  m,  $T=7.1$  秒の波浪を3日間作用させた計算例を図-11に示す。

海浜流の流速分布では、高天端潜堤上で岸向きの強い流れが生じ、潜堤の岸側では流速が小さくなる。リーフの端部では冲向きの流れが発生し渦流を形成している。

地形変化では、潜堤の沖側が侵食し、岸側に堆積して、

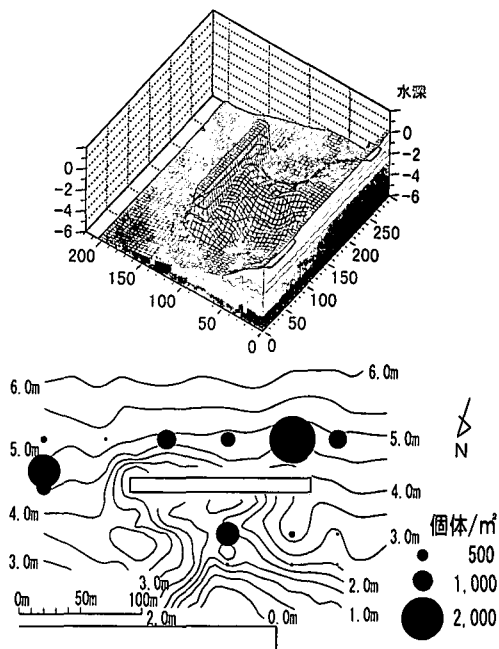


図-10 深浅測量結果およびホッキガイの稚貝の分布(平成8年夏)

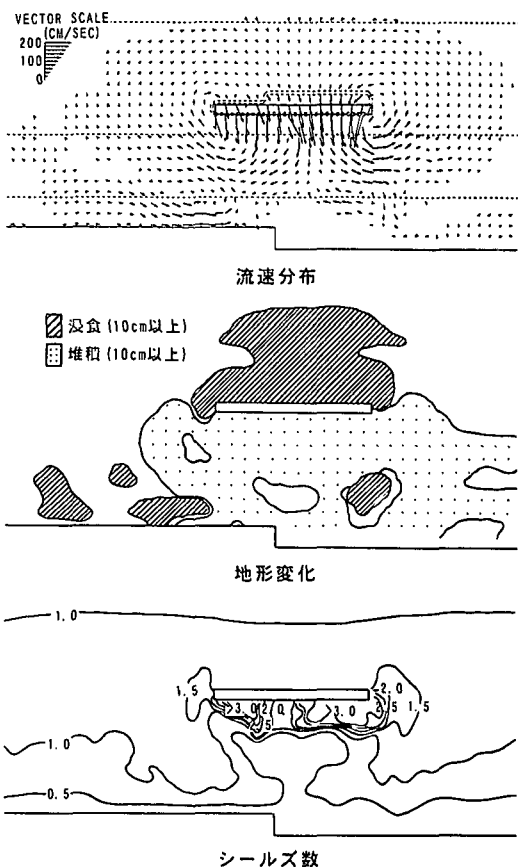


図-11 数値シミュレーション結果( $H_0=3.3$  m, 3日)

トンボロに似た地形を形成している。潜堤の東の岸側汀線付近の侵食は、図-10 との比較から再現できているが、潜堤両端の岸側の渦流に伴う侵食は明瞭ではない。

#### (5) 砂中生物

潜堤背後の底質の中央粒径は平均 0.6 mm で、周辺が 0.2~0.4 mm であるのに比べやや大きく、年と共に微増した。また、シルト含有量は 1~2%，COD も 0.4 mg/l 以下と少ないが微増の傾向にある。その結果、岸側に生息する砂中生物が増大傾向にあり、ホッキガイ等の二枚貝は中央粒径が 0.2 mm の測点に多く分布した(谷野ら、1997)。

平成 7 年冬期調査ではエゾバカガイ、平成 8 年夏期調査ではホッキガイ(平均殻長 3.9 mm、1 年貝)が採取された。図-10 にホッキガイの分布も示したが、エゾバカガイも潜堤の岸側の中央に多く分布していた。

ホッキガイの好適生息域は、シルト含有率が 10% 以下とされている。都築ら(1996)はシールズ数とシルト含有量の関係性を求め、稚貝死亡係数を推定する方法を提案している。しかし、当調査範囲はシルト含有率が 1~2% 以下と少なく、稚貝の分布を規定しているのは、沿岸流と考えられる。

潜堤の岸側では、潜堤を回折する波で底質とともに稚貝が運搬され集積したと考えられる。潜堤沖側の稚貝の分布は解釈しにくい、図-11 の流速分布をみると、潜堤両端の渦流や沖側の流速ベクトルは潜堤の沖から岸側に向いており、沿岸流によって運搬された稚貝は、潜堤で移動が阻止され沖に堆積したと考えられる。シールズ数の分布も、潜堤の直背後や両端では値が大きく、底質と共に稚貝も移動し、これらの海浜流に運ばれて沖側に堆積したと考えられる。なお、この潜堤の沖側部分の中央粒径は 0.14~0.20 mm であり、ホッキガイにとって好適な粒径であった。

潜堤の東の水深 5 m の測点(St. 14)は、中央粒径が 0.42 mm と比較的大きいにもかかわらず、稚貝が多く分布している。数値計算の結果を見てもここに集まる理由は判らないが、調査前の時化で輸送される途中で、取り残されたのではないかと考えられる。

#### 5. 結 言

本研究で得られた主要な成果を要約すれば、以下のようになる。

(1) 実測波高を用いて、高天端潜堤の波高伝達率の算定図を作成した。水理実験の結果とわずかに差があった。

(2) 高天端潜堤で通常の被覆ブロックを用いると、天端水深が浅く、海藻類の着生が期待できないが、潜堤

ユニットでは大きな空隙のため、各部材と底面の捨石上にも海藻が着生した。特に、捨石面には白老港の防波堤と同程度の密度でコンブが着生した。

(3) 高天端潜堤は人工リーフと離岸堤の機能を合わせ持ち、岸側にはトンボロが形成された。また、岸側では周辺の底質よりわずかに粒径が粗く、シルト含有量もやや多く、砂中生物が増加傾向にある。

(4) 高天端潜堤周辺にホッキガイが分布したが、これは海浜流による流動と構造物による移動の阻止が考えられた。

以上、高天端潜堤の水利的な機能と生物への影響を示した。今後、高天端潜堤や潜堤ユニットの施工事例が増えることが予想されるが、物理環境の異なる場での生物への影響をさらに検討していく必要がある。

最後に、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。また、(株)テトラの佐藤勝弘氏には数値シミュレーションを担当していただいた。ここに記して深謝の意を表する。

#### 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 (1995): 日本産コンブ類図鑑, (株)北日本海洋センター, 215 p.
- 庄司喜博・田村政太郎・高橋豊喜・山本秀一・高橋由浩 (1992): 新潟西海岸における潜堤設置に伴う周辺生物相の変遷, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 996-1000.
- 清水琢三・今井澄夫・寺田賢二 (1993): 人工リーフ建設に伴う地形変化, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 546-550.
- 都築 進・小泉欣也・大島 巖・田永 軍・広松和親 (1996): 港湾施設周辺海域におけるホッキガイ稚貝の分布特性及び環境要因による稚貝死亡係数の推定法, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 1061-1065.
- 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.
- 谷野賢二・山本泰司・明田定満・綿貫 啓・長谷川厚・田中則男 (1997): 高天端潜堤の建設と周辺の生物相の変化, 海洋開発論文集, Vol. 13, pp. 13-18.
- 山本泰司・笹島隆彦・水野雄三・長内戦治 (1995): 波浪による海岸居住地の振動・騒音被害について, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1151-1155.
- 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. I, pp. 365-371.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水睦夫・柳山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- 綿貫 啓・浜口敬和・長谷川実・野口正昭 (1991): 潜堤用コンクリートユニットの安定性に関する実験的研究, 土木学会第 46 回年報, II-402, pp. 844-845.