

オホーツク海の海域特性を考慮した漁港航路埋没対策評価手法の検討

Investigation of Analysis Method to Evaluate Countermeasures against Fairway Shoaling at Fishing Ports under Ocean Characteristics at Sea of Okhotsk

今津雄吾¹・牧野弘幸¹・佐々木崇之²・水谷 将³・野坂弥寿二⁴・中山哲巖⁵

Yugo IMAZU, Hiroyuki MAKINO, Takayuki SASAKI, Suguru MIZUTANI
Yasuji NOZAKA and Akiyoshi NAKAYAMA

An analysis method is developed to evaluate countermeasure options against fairway shoaling for Yubetsu fishing port, which is located on Okhotsk coastal region. According to the field observation results, the discriminating ocean current, which is so-called Soya Current, could affect on the flow field even in the surf zone. In this study, the ocean current is successfully implemented to the existing nearshore current model and the results give a reasonable agreement with the observed flow conditions. Moreover, the suspended sediment transport model is applied and gives better agreement with the observed bathymetric changes especially in evaluating the scours around the port facilities.

1. はじめに

北海道のオホーツク海沿岸中部に位置する湧別漁港(図-1)では, 例年冬季の高波浪後に港口・航路の埋没が発生し, 漁業活動に支障を来して状況であることから, 早急かつ適切な対策が求められている。

そこで, 港口・航路の埋没メカニズムを把握する目的で, 2005年から2006年にかけて現地で季節別の波浪・流況観測を行った。その結果, 漁港周辺の流れは, 波浪の卓越方向とは異なる方向の流れが卓越しており波浪のみでは説明できないことが確認された。また, これまでの深浅測量結果からは, 既設の外郭施設の端部で局所的な洗掘が発生していることも確認されていた。そのため, 本漁港の漂砂対策を検討する上では, 波浪以外の外力を導入した海浜流場の再現と局所的な洗掘評価モデルの導入が必要と考えられた。

本研究は, これまでの現地調査結果から, 本漁港における航路埋没機構を明らかにしたうえで, 対策の検討のために必要な漂砂解析モデルの開発を行った。

2. 湧別漁港周辺海域の特性

漁港近傍の漂砂機構を推定する上で境界条件となる沿岸漂砂量についてはいくつか研究事例があり, 菊池ら(1991)は波浪推算結果から左岸方向(サロマ湖湖口)で卓越, 近藤ら(2004)はサロマ湖湖口近傍の地形変化

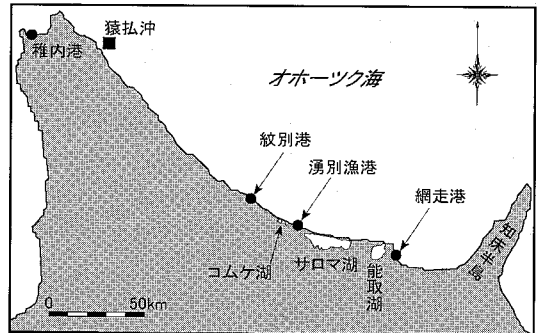


図-1 湧別漁港の位置

から右岸方向へ $Q=3$ 万 m^3 /年, 左岸方向へ $Q=4$ 万 m^3 /年と左岸方向への移動が卓越, 宇多ら(2005)は長期間の航空写真判読から右岸方向に正味 $V=3.4$ 万 m^3 /年(紋別港付近)とそれぞれ推定している。このように, 漂砂量のみならず卓越方向までも見解が分かれる要因としては, 波浪以外の要因がこの沿岸域の地形変化に関係している可能性が考えられた。そこで, 現地観測及び既往文献の調査により, 海域の特性について考察した。

(1) 波浪・流況観測結果

波浪・流況の特徴を捉えるため, 2005年6月7日~8月1日(夏季), 2005年11月5日~2006年1月4日(秋・冬季), 2006年4月15日~5月14日(春季/融雪期)の3回の連続観測を実施した。波浪観測地点(St.1)は, 漁港沖合の水深約19mとした(図-2)。なお, この付近の平均的な汀線に対する正面入射は, NNE方向となる。また, 流況は, 漁港港口付近(St.2)($h=4$ m, 底層), 島防波堤背後(St.3)($h=7$ m, 多層), 島防西側(St.4)($h=9$ m, 多層), 及び, 河口内部(St.5)(多層/

1 修(工) (株)アルファ水工コンサルタンツ
2 正会員 (株)アルファ水工コンサルタンツ
3 正会員 博(工) (財)漁港漁場漁村技術研究所
4 北海道網走支庁網走土木現業所
5 正会員 工修 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所

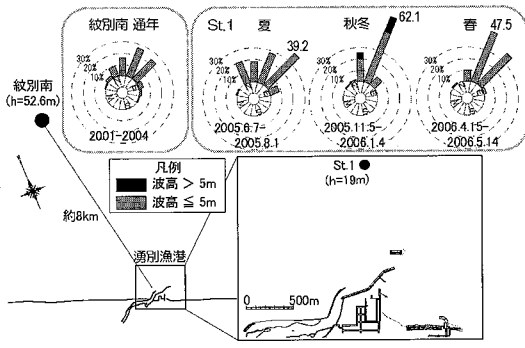


図-2 波浪観測結果 (波向別波高頻度)

夏季は除く)で行った(図-4 参照)。

図-2 より、波浪については、秋～冬季に漁港正面に対してやや右寄りとなる NE の頻度が最も高く、夏季や春季は、これよりも右寄りに傾いた角度からの入射頻度が高くなる。また、紋別南 (ナウファス, $h=52.6$ m) での長期的統計でも同様の傾向を見ることができ、湧別漁港に來襲する波浪の特性については、同観測データで代表できることを確認した。図-3 は紋別南の月別の波浪エネルギーフラックス (2001 年～2005 年統計) を示したものであるが、これより、來襲する波浪エネルギーは、10 月～1 月の高波浪期とそれ以外の静穏期に明確に分離できることが分かる。

一方、流況観測結果 (図-4) では、St.1, St.3, St.4 でいずれの季節も右岸方向へ向かう流れが卓越しており、この傾向は表層から底層まで一致していた。なお、強風時には風に連動して表層の流向が変化したり、河川 (湧別川) からの出水時には、表層で河川流の影響を受けたりする様子も見られたが、これらの現象は一時的なものであった。図-2 で示した波の卓越方向から推測される流向とは、明らかに異なる方向の流れになっていることが分かる。また、漁港の港口近傍の St.2 では、港口方向に向かう流れが卓越しており、これにより防波堤背後の静穏域に循環流が形成されていることが示唆された。

(2) 宗谷暖流の影響

前述のような一方向への卓越流が存在する要因として、宗谷暖流の影響が考えられる。宗谷暖流は、対馬暖流の末流が宗谷海峡を抜けて北海道に沿って南東流して知床半島に到達する海流であり、その駆動力は日本海とオホーツク海の水位差によると考えられている (青田ら 1985)。松山ら (1999) は、猿払沖 5 マイルの水域で 1980～1982 年にかけて流速の連続観測を行い、宗谷暖流の季節変動を明らかにしているが、その結果によると、網走と稚内の平均水位差と流速には高い相関 (相関係数 0.9) があり (図-5)、水位差が大きくなる夏季には最大 60 cm～70 cm/s に達することが指摘されている。また、

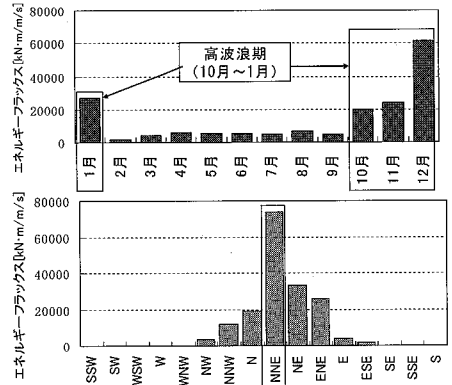


図-3 波浪エネルギー (紋別南: 2000-2005 年統計)

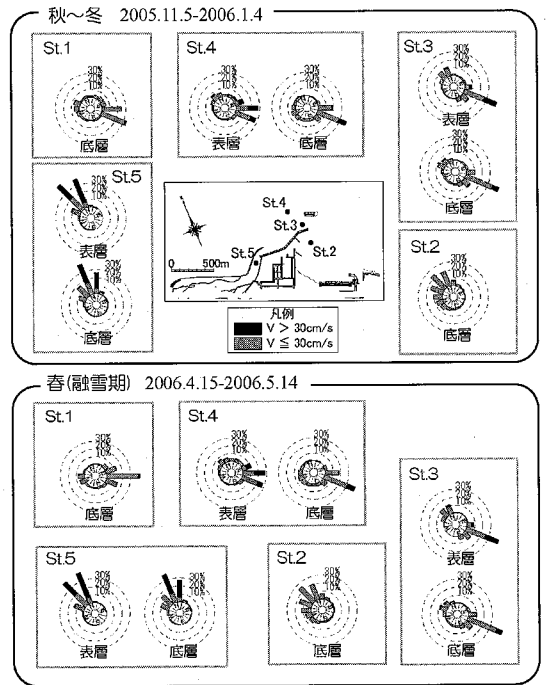


図-4 流況観測結果

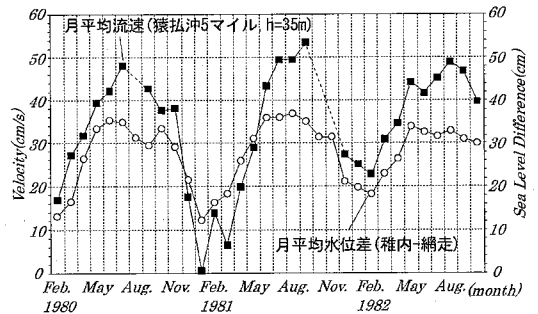


図-5 稚内と網走の平均水位差と猿払沖平均流速の関係 (松山ら 1999 より作成)

Ebuchiら(2006)が短波海洋レーダーを用いて稚内沖の表層流を観測した結果によると、宗谷暖流の最大流速は岸から20km~30km付近に存在し8月~9月に最大となり、1m/sを越える値が観測されている。

このような、海流が砕波帯付近の現象である漂砂に及ぼす影響については、定量的に把握された事例はほとんど見られない。そこで、本研究では、宗谷暖流に関連すると考えられる沿岸付近での流れを漂砂解析モデルで考慮する手法とその効果について検討を行った。

3. 湧別漁港の漂砂環境

(1) 航路埋没機構

湧別漁港近隣海岸の沿岸漂砂は、兩岸の地形の状況からは長期的には右岸方向へ移動する傾向が見られる(宇多ら, 2005)が、一方向へ顕著に卓越した状況とはなっていない。このため1年程度の時間スケールでの航路埋没機構を検討する上では、それほど主要な要素ではないと考えられる。一方、湧別漁港の左岸に隣接して存在する湧別川(1級河川:平均流量34m³/s)では、流域の開発は進んでおらず、融雪期や主に夏の出水時(比較的波浪が静穏な時期)に多量の土砂が流出している。近藤ら(2004)は北海道の主要河川のデータを収集し指数近似した結果から、湧別川の年間の流出土砂量を27,000m³と見積もっている。流出した土砂の海域での挙動については、観測された河川出水時の代表的流速(1m/s)と沈降速度(Rubeyの式による)との関係から、粒径別に最大到達距離を推定した結果(図-6)より、本漁港周辺の底質の平均的な粒径($d_{50}=0.19\text{mm}$)の場合には、概ね河口前面に堆積すると推定される。

その後の航路埋没に至る漂砂機構を推定した結果を図-7に示す。既往の測量結果などから、この海域の移動限界水深は概ね10mであることが分かっており、流出後の土砂は、高波浪時(主として冬季に発生)には島防波堤沖側までが移動状態となる。その際、卓越する沿岸流により主として漁港右岸側へ輸送される。また、右岸側では、島防波堤や主防波堤の背後に形成される循環流により運ばれ、最終的に港口付近の航路埋没を引き起こしていると推定される。なお、右岸側の循環流については、St.2で観測された流向もその存在を支持しているが、後述の海浜流の計算結果でも確認できた。

(2) 施設周辺の洗掘現象

湧別漁港では、既設の防波堤や突堤の先端部付近で、すり鉢状の洗掘が生じている(図-8)。2003年以降年2回(6月, 10月)定期的に行った深浅測量結果では、同じ洗掘の箇所でも、洗掘規模の拡大と縮小を繰り返していることが確認できたが、季節的に拡大期・縮小期に分類することはできなかった。このことから、現地では比較的短期の間に

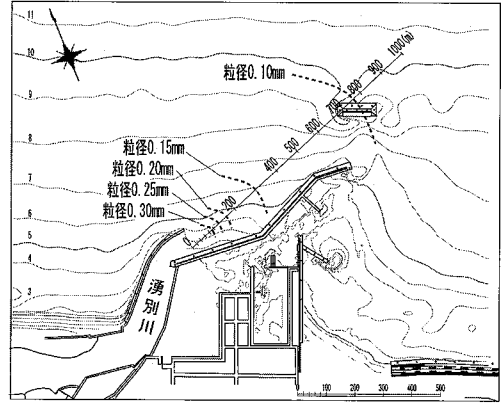


図-6 湧別川流出土砂の堆積場所の推定

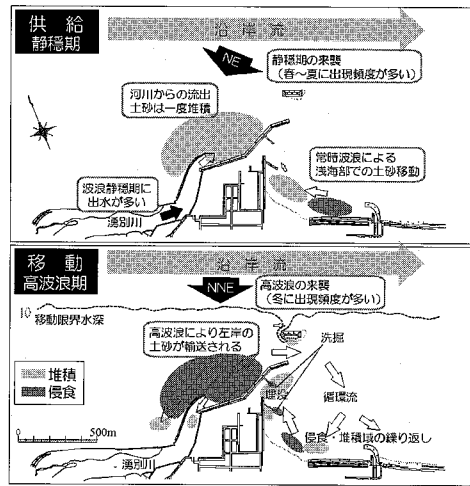


図-7 港口埋没機構の推定結果

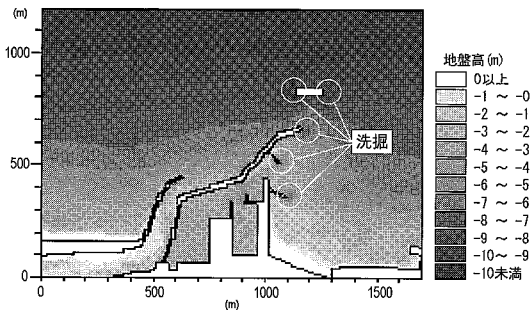


図-8 洗掘状況(2006年6月測量)

洗掘の拡大・縮小が繰り返されていると推察される。このような施設先端部の局所洗掘に關する現象は、松本(1993)や中山ら(1994)により報告されている。そのメカニズムを参考にして、湧別漁港に当てはめた場合、高波浪来襲時に波浪やサーフビートに伴って構造物先端付近発生する渦により底質が巻き上げられて、その渦が長周期の振動

流や海浜流により輸送されることによって底質が別の場所に運ばれて洗掘が発生しているものと考えられる。

4. 解析手法の検討

(1) 数値解析モデルの概要

湧別漁港で問題となっている漂砂現象は、出水時に河川から海域に供給された土砂が高波浪時に漁港右岸側に運ばれ、最終的には右岸に形成される循環流により港口付近まで運ばれ航路埋没を生じること、また、高波浪時のサーフビートに起因する渦により構造物先端付近で局所洗掘を生じることである。このうち、局所洗掘については、1回の時化で急激に変化し、かつ、その変化は局所的な範囲に限られていると考えられ、時間的にも空間的にも小さいスケールの現象である。そこで、数値解析モデルの構築に当たっては、1年程度の土砂輸送プロセスを計算する3次元海浜変形モデルによる準非定常計算と、その結果に対し高波浪時の局所洗掘を評価する中山ら(2006)を適用することとした。中山らのモデルは、非線形分散波式(ブシネスク方程式)による波浪場モデルをベースにした浮遊砂輸送計算モデルである。図-9に計算フローと表-1に各外力場の計算モデルを示す。

なお、現状では外力条件の不確実性や誤差の蓄積等の問題もあり、数年に及ぶ長期的な予測計算は現実的ではない。本研究でも、土砂の供給直後から1年程度の予測を行うことを想定し、したがって、計算期間中の土砂の供給過程の計算は行わないこととした。

(2) 海流を考慮した海浜流場のモデル化

松山ら(1999)は、オホーツク海沿岸では、稚内と網走で平均水位に差が生じており、春～秋で約0.3m、冬で約0.2m稚内側が高く(1958年から1991年の34年間の平均値)、これが宗谷暖流の駆動力になっているとしている。そこで、海流に伴う流れを以下の手順により海浜流計算に導入した。まず、通常ラディエーションストレスによる海浜流場の計算と、稚内～網走の平均水位の差を線形的に計算モデル領域両端での水位差(境界条件)として設定した水位差のみによる流れの場を、それぞれ個別に計算する。この結果より、モデル境界での流量をそれぞれ出力し、それらを線形に重ね合わせたものを境界条件として、再度ラディエーションストレスによる海浜流場の計算を行う。これにより、海流(水位差)に起因する流れが、モデル両端境界での付加流量として考慮されることになる。

この手法による計算を現地観測時の波浪諸元に適用し、流況観測データにより検証した結果を図-10に示す。水位差による流れを考慮することにより、St.3、St.4の流れの向きが変化し、観測データを再現できていることが分かる。このことから、宗谷暖流の駆動力とされてい

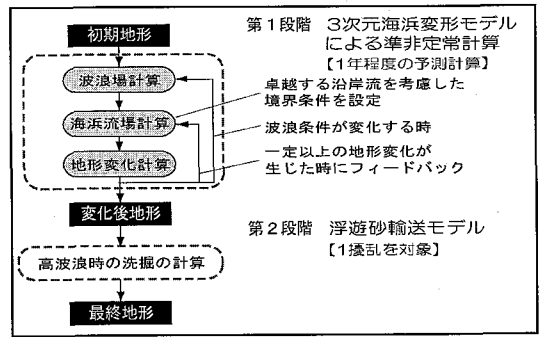


図-9 計算フロー

表-1 計算モデル一覧

計算モデル	概要	備考
波浪場	非定常緩勾配不規則波動方程式(磯部, 1993)	
海浜流	非線形長波方程式(海流を考慮)	ラディエーションストレスと水位差による流れを考慮
地形変化	パワーモデル(渡辺ら, 1984)	1年程度の地形変化を予測
浮遊砂	非線形分散波モデルをベースとした浮遊砂輸送モデル(中山ら, 2006)	局所洗掘の検討 1擾乱の局所的な地形変化を高精度に予測

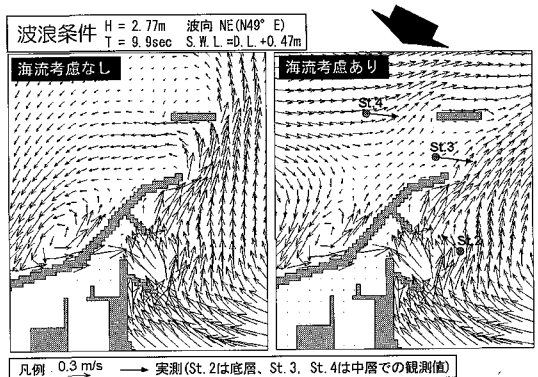


図-10 海浜流計算結果の比較

る水位差が、沿岸部の漂砂帯内の流れにも影響を与えていることが検証できた。

(3) 地形変化再現計算の結果

上記の海浜流場の計算を含めて、図-9に示すフローに従い第1段階の3次元海浜変形モデルによる再現計算結果(2005年10月～2006年6月)を図-11に示す。なお、波浪条件は、紋別南の波浪統計より、高波浪期(10月～1月)の代表波 $H=5.0\text{m}$, $T=11\text{sec}$ (平年の年最大波程度)と通常期の代表波 $H=2.5\text{m}$, $T=7\text{sec}$ (エネルギーピーク波)を設定し、期間中の総エネルギー量に相当する日数分作用させた。再現期間中の冬季に平年以上の高波が来襲したため、実測では漁港左岸・右岸の海岸線付近では汀線部の侵食とバーの形成が顕著に

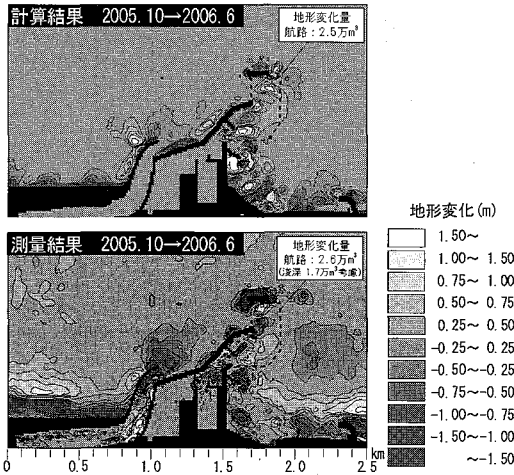


図-11 地形変化の再現結果

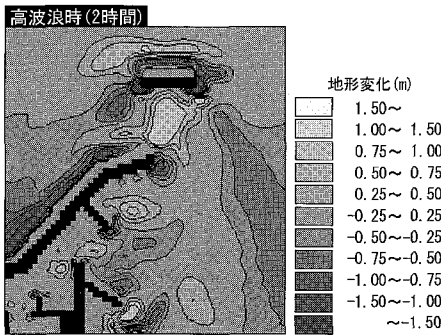


図-12 洗掘状況の再現結果

見られ、一時的な地形変化が測量結果に強く反映されていると考えられる。このモデルでは、現時点では汀線部の地形変化は考慮できないため、このような汀線付近の再現性は劣るものの、漂砂対策の検討上問題となる構造物周辺の土砂堆積のパターンおよび航路周辺での堆積量については概ね再現できていると判断できた。

一方、構造物近傍に着目した場合、防波堤や突堤先端部での洗掘の発生やその周囲での堆積場所が再現されていない状況になっている。これは、同モデルではサーフビートが考慮されていないためと考えられた。そこで、第2段階として前述の浮遊砂モデルを適用した。波浪条件として冬季の代表波を入力し、2時間（時化時のピーク波浪の凡その継続時間）作用させた。結果は図-12に示すとおりであり、分散波を考慮したモデルを短時間作用させることにより施設先端部での洗掘と周辺での堆積状況が再現できていることが分かる。このことから、漁港周辺や海浜流場が卓越する領域では、3次元海浜変形モデルは概ね良い結果を与えるが、海浜流の駆動力が小さい港内の砂輸送や地形変化に関しては、従来の3次元海浜変形モデルでの評価は困難であると考えられる。

5. ま と め

- (1) 現地観測の結果、湧別漁港周辺では、波浪の卓越方向とは異なる左岸から右岸へ向かう流れが卓越していることが分かった。
- (2) 稚内と網走間の水位差を海浜流計算の境界条件に導入することで漁港周辺の流れを再現できたことから、漂砂帯内においても宗谷暖流の影響が及んでいることモデルにより検証した。
- (3) 中期的な地形変化を予測するモデルと、洗掘等の短期的な現象を予測するモデルを組み合わせることにより、湧別漁港の航路埋没を再現可能なモデルを構築した。

謝辞：本研究は、平成17年度より継続されている「湧別漁港検討委員会」の中間成果の一部である。本委員会の委員長である佐伯浩北海道大学総長をはじめとする各委員の方々に厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 青田昌秋・石川正雄・松山優治・山田俊郎・鶴林隆久(1985)：宗谷暖流の流れの特徴，沿岸海洋研究ノート，第31巻，第1号，pp.49-56。
- 磯部雅彦(1993)：有理式近似に基づく非定常緩勾配不規則波動方程式，海岸工学論文集，第40巻，pp.26-30。
- 宇多高明・三波俊郎・星上幸良・芹沢真澄・熊田貴之・酒井和也(2005)：卓越沿岸漂砂の阻止に起因した海岸侵食－紋別港～サロマ湖口の例－，海洋開発論文集，21巻，pp.451-456。
- 菊地健三・宇多高明・川森 晃・佐々木哲士(1991)：サロマ湖湖口における海浜変形，海講論文集，第38巻，pp.341-345。
- 近藤俊郎・川森 晃(2004)：北海道沿岸の漂砂要因の推定，土木学会北海道支部論文報告集，第61号，II-35。
- 佐藤昭二・永井紀彦・小笹博昭(1978)：波による海浜流の数値計算の一例，港湾技研資料，No.290，pp.3-15。
- 中山哲蔵・牧野弘幸・新井雅之・大村智宏・小林 学・田村仁・灘岡和夫・佐藤勝弘(2006)：港内埋没対策技術と地形変化予測モデルの開発，海岸工学論文集，第53巻，pp.526-530。
- 中山哲蔵・山本 潤・松岡道男・池田正徳・竹内聖一・灘岡和雄・八木 宏(1994)：中小港湾港口部に発生する水平大規模渦についての現地観測，海岸工学論文集，第41巻，pp.321-325。
- 松本 朗・松岡道男・中山哲蔵・山本 潤・灘岡和雄・八木 宏(1993)：中小港湾埋没機構解明に向けての長期連続現地観測の試み，海岸工学論文集，第40巻，pp.491-495。
- 松山優治・青田昌秋・小笠原勇・松山佐和(1999)：宗谷暖流の季節変動，海の研究 Vol.8, No.5, pp.333-338。
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 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。
- Naoto Ebuchi, Yasushi Fukamachi, Kay I. Ohshima, Kunio Shirasawa, Masao Ishikawa, Toru Takatsuka, Takaharu Daibo, and Masaaki Wakatsuchi(2006)：Observation of the Soya Warm Current using HF Ocean Radar, Journal of Oceanography, vol.62, no.1, pp.47-61。