

サロマ湖第1湖口における地形変化特性と数値解析モデルの構築

Morphological Characteristic at Entrance of Lake Saroma and Development of Numerical Model

楠山哲弘¹・今 宗紀²・本間明宏³・橋本孝治⁴・林健太郎⁵・佐々木崇之⁶・菊池 孝⁷

Tetsuhiro KUSUYAMA, Munenori KON, Akihiro HONMA, Koji HASHIMOTO
Kentaro HAYASHI, Takayuki SASAKI and Takashi KIKUCHI

A jetty construction at the east side of the entrance of Lake Saroma has been greatly influenced on the morphological characteristics. In this study, the field observations (wave and current measurement, sediment sampling survey, and bathymetric survey) were conducted and the results were analyzed to investigate the mechanism of morphological change after the east jetty construction started. A numerical model is developed based on the sediment transport characteristic and the simulated results give a reasonable agreement with the observed bathymetric data and successfully verify the appropriate performance for the prediction.

1. はじめに

オホーツク海沿岸に位置し国内最大の感潮湖として知られるサロマ湖は、現在、湖西側の第1湖口と湖東側の第2湖口を通じて外海とつながっている(図-1)。第1湖口(以下、湖口と呼ぶ)における現在の主な施設として、湖口左岸に1990年から1997年までに整備された西防波堤(現延長, 443m)が、また、湖口右岸に2003年以降、現在までに整備された東防波堤(現延長, 232m)がある。湖口周辺においては、波および湖口を往復する潮流が相俟って地形変化をもたらす特殊かつ複雑な機構が存在しており、湖口沿岸部には浅瀬を含む大規模なテラスが形成されている。これまでに湖口周辺の地形変化については、菊池ら(1991)によって、1929年の人工開削から西防波堤整備開始(1990年)以前の自然感潮湖であったサロマ湖口のマクロ的な地形変化特性について明らかにされている。また、西防波堤443mが整備された1990年から1997年にかけての西防波堤整備に回答した地形変化特性については、Hayashiら(2007)によって明らかにされている。

現在は、2003年からの東防波堤の整備に回答した新たな地形変化が生じている状況にある。そこで本研究では、第1湖口を対象とし、波浪流況観測および底質調査を実施して現況の自然特性を把握するとともに、深淺測

量結果の分析により現状の地形変化特性ならびに漂砂機構を明らかにした。さらに、その機構を再現し今後の地形変化を予測する数値解析モデルを構築するとともに、その再現性・有用性について検証した。

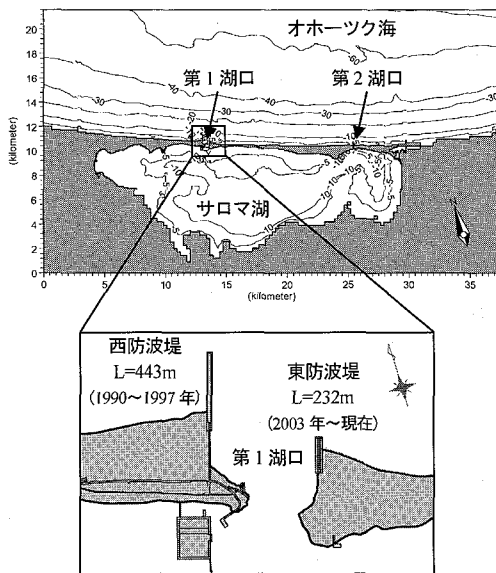


図-1 サロマ湖第1湖口の位置

2. 現地調査の結果

(1) 波浪流況観測

波浪流況観測は、冬季高波浪期を対象として、2004年12月26日から2005年1月27日までの1ヶ月間とした。観測地点は、沖合(St.1, $h=22$ m)と左右防波堤付近(St.2, St.3, 共に $h=5$ m)の計3地点であり、日記式電磁流速計付水圧式波高計を使用し観測した。なお、 h は観測水深である。図-2に波浪観測結果(毎正時有義

- | | |
|-------|---------------------------------|
| 1 | 国土交通省北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所所長 |
| 2 | 国土交通省北海道開発局網走開発建設部網走港湾事務所第2工事課長 |
| 3 | 社団法人寒地港湾技術センター |
| 4 正会員 | 修(工) (株)アルファ水工コンサルタンツ |
| 5 正会員 | 修(工) (株)アルファ水工コンサルタンツ |
| 6 正会員 | (株)アルファ水工コンサルタンツ |
| 7 正会員 | (株)アルファ水工コンサルタンツ |

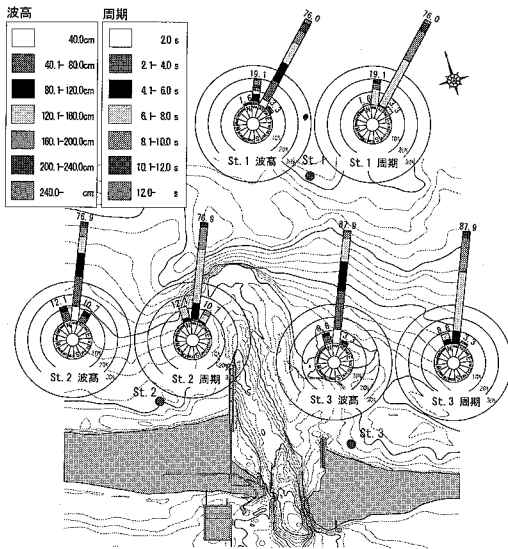


図-2 波浪観測結果 (2005年冬季)

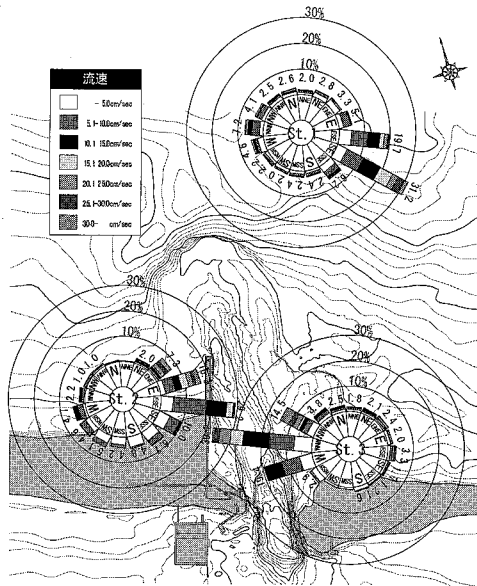


図-3 状況調査結果 (2005年冬季)

波)を、図-3に流況観測結果(時間平均流速)を示す。
 まず、波浪特性について見ると、沖合のSt.1で入射波の方向はN~ENEで、卓越波向はNEである。また、波高2.0m以上の高波浪の来襲頻度はNNEで高いことが分かる。一方、沿岸に近いSt.2とSt.3ではN~NE方向からの入射と入射範囲が限定され、卓越波向は汀線直角方向のNNEへと変化する。これより、冬季高波浪期の波浪特性は、汀線右側方向からの入射となるNEが卓越するものの、高波浪の出現は汀線直角方向寄りのNNEで高くなる。また、水深5m程度まで波が進行してくると、屈折の影響を受けて汀線直角方向へと波向が変化することが分かる。

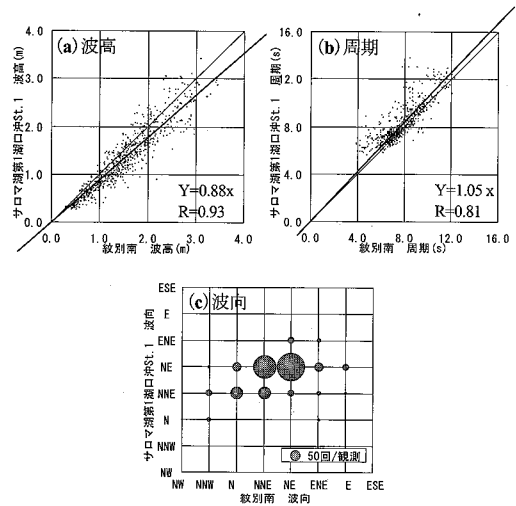


図-4 第1湖口沖と紋別南の波浪の相関

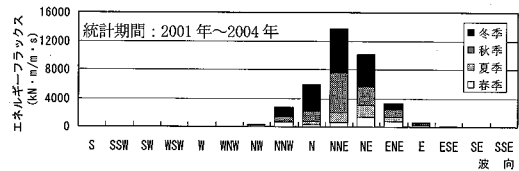


図-5 エネルギーフラックス (紋別南)

次に、流況特性について見ると、沖合(St.1)での流況は、等深線に平行な東向きの流れが卓越し、その逆向きとなる西向きの流れの出現頻度が少ない。沿岸に近いSt.2では東向きの流れが、St.3では西向きの流れが卓越し、両地点ともに湖口へ向かう流れが卓越する。この傾向は流速が速いほど顕著である。また、流速が速いときは多少沖向きに流況が変化する。これより、沖合の流れは流速の大小にかかわらず東向きの流れが、東西防波堤の両沿岸部では湖口へ向かう流れが支配的であることが分かる。

また、図-4に湖口沖合(St.1)とおよそ28km西側に位置する紋別南(ナウファス、 $h=52.6$ m)の波浪観測結果による波高、周期および波向の相関を示す。同図より、波高・周期ともに相関が高く、波向についても、やや東向きに変わるものの、概ね同方向から来襲していると判断できる。これより、紋別南の観測結果を用いてサロマ湖第1湖口沖の波浪を推定可能であることが分かる。この結果を受けて、紋別南の波浪観測結果から湖口沖に來襲する波浪エネルギーを推定する。図-5は、紋別南における2001年1月から2004年12月までの季節別波向別の波浪エネルギーフラックスの集計を示す。これより、秋季から冬季にかけての波浪エネルギーが非常に大きく、春季から夏季のエネルギーの3倍以上であることが分かる。

(2) 底質調査

底質調査は、湖口周辺の25点にて2005年10月に実施

した。図-6に底質調査結果を示す。これより、湖口狭窄部では入退潮流の作用で中央粒径が7mm以上と大きく、その組成は粗砂から中礫までがおよそ80%以上を占めている。この結果は、菊地ら(1991)の報告と大差ないことから、長期的な底質変化は生じていないものと考えられる。また、濤部の底質も粗く、濤部の外縁に形成されているテラスの底質も中央粒径2mm~3mmと比較的粗い。一方、テラス沖側では中央粒径が急に小さくなる。汀線付近の底質は、左岸側で1mm以下の細砂・中砂が大きな割合を占め、右岸側で1mm以上の粗砂が多くなる傾向がある。以上より、湖口周辺の底質は強い潮流により絶えず淘汰されているものと考えられる。また、テラスの構成材料が比較的粗いことから、現在、沿岸漂砂の寄与によるテラスの形成・発達 は極めて小さいものと推察される。

3. 近年の地形変化特性

湖口周辺では、1989年から現在に至るまで毎年2回(概ね6月と10月)の深浅測量調査が実施されている。

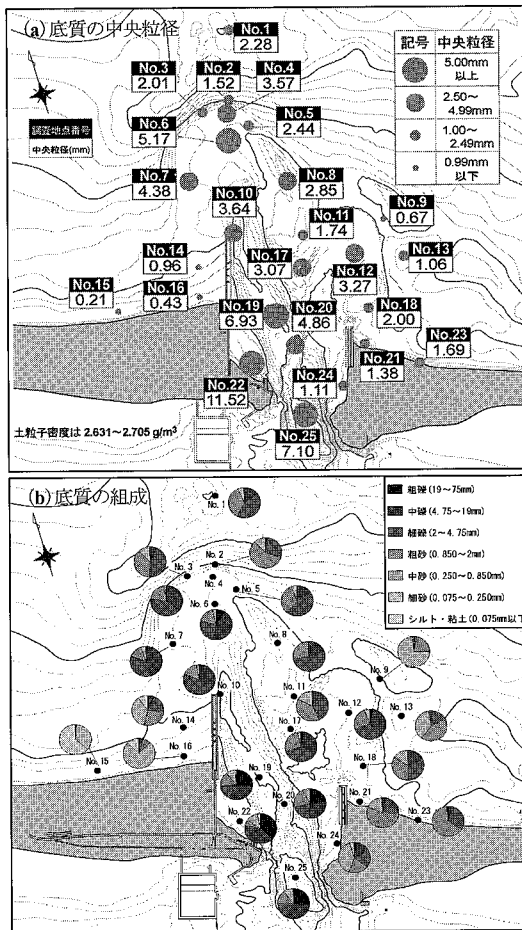


図-6 底質調査結果 (2005年10月)

本章では、東防波堤の整備が始まった2003年以降の深浅測量図を解析することで、近年の地形変化特性ならびに漂砂機構に関する考察を行う。

(1) 東防波堤整備による地形変化の実態

まず、東防波堤の整備に伴う地形変化の実態を把握するため、東防波堤整備前と現在の深浅測量結果の比較検討を行う。図-7(a)は、東防波堤整備直前の2003年6月の深浅測量結果を示し、同図(b)は現在の2006年6月の深浅測量結果を示し、同図(c)はその差分(変化量)を示す。同図(a)を見ると、右岸基部から西防波堤先端沖側に向かってテラスが形成されている様子が見てとれる。一方、同図(b)では、東防波堤先端で深みが生じ、その沖側にもテラスが形成されているのが確認できる。また、東防波堤の整備によって右岸側汀線の前進が確認できる。同図(c)より、これら変化の度合いを見ると、東防波堤先端では最大約6mの地盤低下であり、東防波堤右岸では最大約110mの汀線前進である。また、東防波堤堤内側では、顕著な侵食が発生しているのが分かる。このように、東防波堤の整備によって、防波堤に沿う新たな流路が形成されているものと判断でき、東防波堤建設前のI字の流路からY字の流路へと変化しているのが確認できる。

(2) 湖口周辺における領域別土量変化

ここでは、湖口周辺を5つの領域に区分し個々の領域における土量変化を算出し、経年的な地形変化特性について考察する。図-8に領域別に算出した土量変化を示

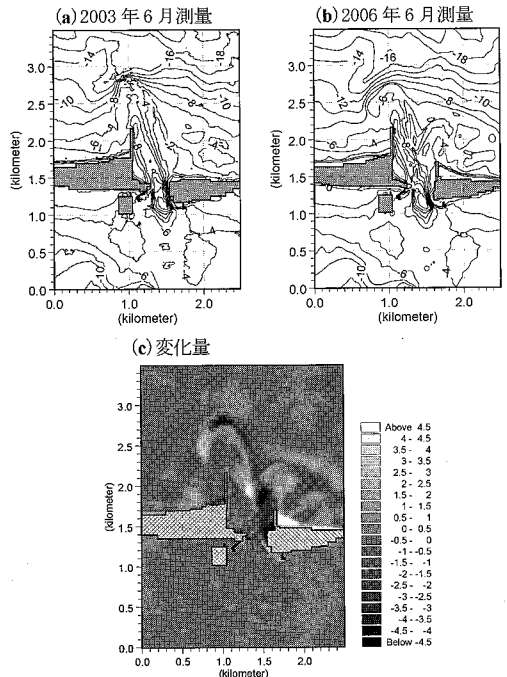


図-7 東防波堤整備前後の地形の比較

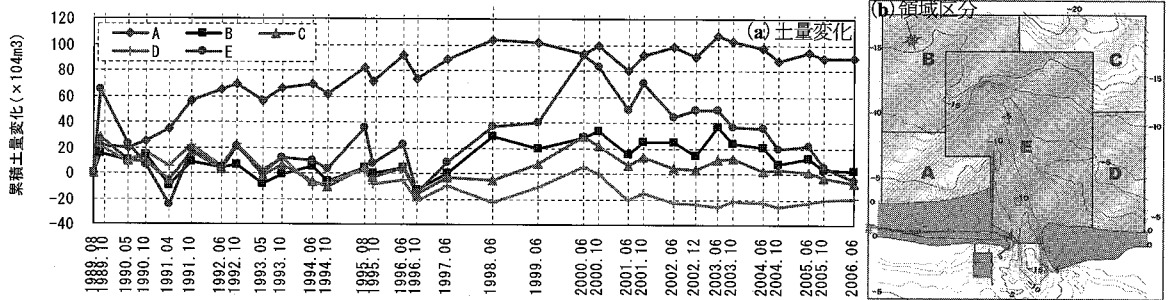


図-8 領域別累積土量変化

す。なお、領域区分は、湖口中央で左右に分割し、水深10mを目安に岸沖に分割し、さらに、テラスが発達し地形変化が顕著に生じる湖口部との計5領域とした。この結果、領域E(湖口部)では、2000年以降に継続した顕著な土量の減少が生じているのが分かる。また、沖側の領域となるBとC領域においても、土量の減少傾向が継続している。一方、右岸岸側の領域Dでは、東防波堤の影響により堆砂傾向を示している。左岸岸側の領域Aでは、土量変化が比較的少なく、近年は概ね平衡状態に達していると判断できる。これらより、湖口周辺に供給される土砂量が少ないこと、および、施設の整備によって流路が安定化し、底質の陶土が進行したことや、近年の東防波堤の整備に起因した新たな流路の形成が、湖口部(領域E)における継続的な土量の減少をもたらしているものと考えられる。よって、波および潮汐に伴う外力のバランスに応じて湖口部で砂礫が移動を繰り返す地形変化が支配的であるものと考えられる。

(3) 近年の漂砂機構の推定

これまでの検討結果より、近年の第1湖口周辺における漂砂機構を推定すると図-9となる。同図(a)は、春季から夏季にかけての波浪が比較的静穏期の漂砂機構であり、潮流による地形変化が支配的となり、テラスに作用する潮流が流入時に比べ流出時でその流速が大きいことから、土砂を沖方向へ押し出す機構となる。逆に、同図(b)は、冬季高波浪期の漂砂機構であり、潮流の影響は前者同様であるものの、高波浪の影響でテラス前面の土砂が湖口方向へ押し込まれる機構が顕在化する。特に、波高6mを越える激浪が作用した時に、水深の深いテラス前面の土砂が移動することからも、波浪による影響が大きいことがうかがえる。

このように、港口周辺の漂砂機構は、高波浪期に湖口側へ土砂を押し込み、静穏期に潮流が沖側へ土砂を押し戻すという大略の機構が存在するものと推定される。このような機構の中で、東防波堤の整備に伴い東防波堤を沿う潮流が流入を繰り返すことで新たな流路が形成されつつあるものと考えられる。

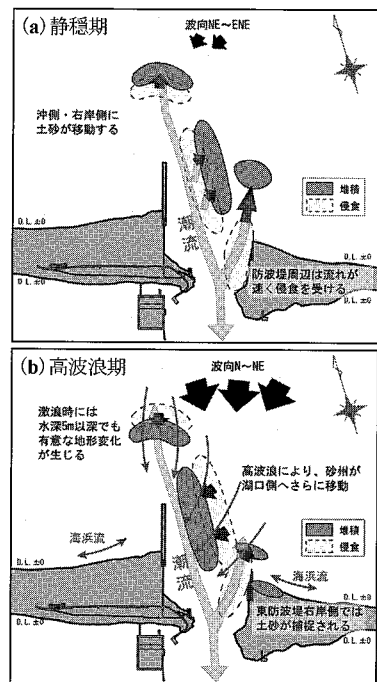


図-9 季節別地形変化機構

4. 数値解析モデルの構築

(1) 数値解析モデルの構築

第1湖口周辺の地形変化は、高波浪期の激浪による湖内側への土砂の押し込みと、静穏期の潮流による沖や右岸側への土砂の押し戻しという大略の機構が存在しているため、数値解析モデルの構築にあたっては、これら2つの機構を再現することが不可欠となる。ここで、地形変化を計算するうえで考慮すべき物理過程として、波動による土砂の輸送、海浜流による土砂の輸送、潮流による土砂の輸送が挙げられ、これらプロセスを非定常かつ同時に扱うことが最善の手法と考えられる。しかしながら、本事例のように潮流の作用という比較的長期の地形変化を対象とする場合、計算負荷の増大や誤差の蓄積といった課題を抱え、現実的な手法とは成り得ない。

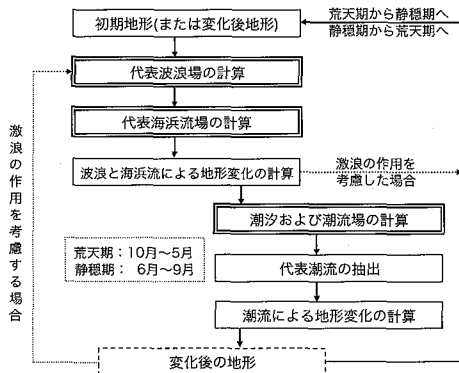


図-10 計算フロー

表-1 計算モデル一覧

計算モデル	概要
波浪モデル	非定常緩勾配方程式(磯部, 1993)
潮流モデル	非線形長波方程式
海浜流モデル	運動量方程式(佐藤ら, 1978)
地形変化モデル	パワーモデル(渡辺ら, 1984)

そこで本研究では、これら課題を最小化させつつ、現地の地形変化の機構を再現する数値解析モデルを構築した。具体的には、図-10に示す計算フローのように、代表波による波浪・海浜流によって生じる地形変化と潮流によって生じる地形変化を分けて計算を進める準非定常的なプロセスとした。なお、個々の外力場の計算モデルは、表-1のとおりである。

(2) 地形変化の再現性の検証

数値計算は、静穏期(夏季)に見られる潮流による土砂の押し出しと高波浪期(冬季)に見られる波浪による土砂の押し込みの2つの機構の再現検証を目的に、CASE1:夏季(2004年6月~2004年10月)とCASE2:冬季(2005年10月~2006年6月)について実施した。なお、潮位条件は、近隣漁港における主要4分潮から推算潮位を求め境界条件として与えた。そして、地形変化の計算に用いる潮流は、地形変化の再現性から流入時・流出時ともに、大潮時の最大流速の60%程度となる時間の流況場で代表させた。波浪条件は、紋別南の波浪観測結果から静穏期と高波浪期の代表波浪を算定し、使用した。また、波高6mを越える激浪については、別途、その波浪をも考慮した。底質条件は、湖口における地形変化の再現を目的とすることから、湖口部における平均中央粒径である2mmとした。

図-11(a)は、CASE1の実測値と計算値を示す。夏季は潮流による地形変化が支配的であり、流出時の土砂の押し出しが概ね再現できている。また、後述する同図(b)同様に、東防波堤付近で新たな流路の形成が再現されている。次に、図-11(b)は、CASE2の実測値と計算値を示す。波浪による押し込みと潮流による押し出しによる地形変化が概ね再現できていることが確認できる。

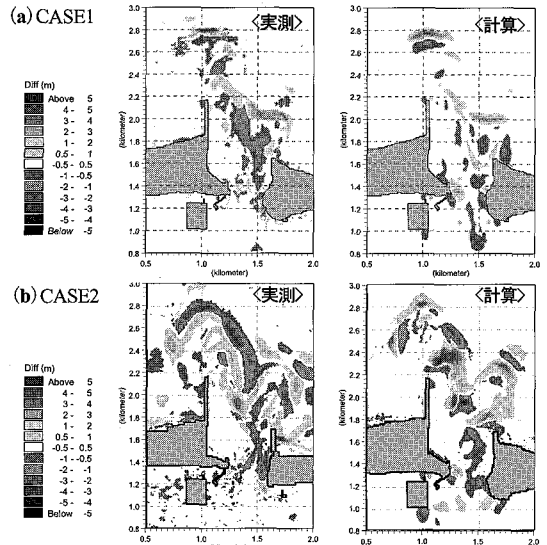


図-11 地形変化の計算結果 (実測値と計算値の比較)

このように、本研究で構築した数値解析モデルは、波浪と潮流が複雑に作用する外力場での主要な地形変化を再現すること、今後の外郭施設整備に伴う地形変化を予測する上での有効な手段と成り得ることが確認された。

5. まとめ

本研究では、現地調査結果よりサロマ湖第1湖口における波浪特性・底質特性及び近年の地形変化特性について明らかにした。さらに、異なる外力場を個別に取り扱い相互に結合させる数値解析モデルを構築し、その再現性・有用性を検証した。今後は、波と流れによる相互干渉を考慮することで、特に、激浪時の地形変化の精度向上を図ることが期待される。

謝辞: 本研究は、平成17~18年度に開催された「サロマ湖漁港施設整備計画検討委員会」の成果の一部である。本委員会の委員長である北海道大学山下教授をはじめとする各委員の方々に甚大な謝意を表す。

参考文献

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, 海講論文集, 第40巻, pp. 26-30.
 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.
 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.
 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回海講論文集, pp. 406-410.
 Hayashi, K., K. Hashimoto, T. Sasaki, A. Honma, and S. Matura (2007): Morphological Responses to Jetty Construction at Tidal Inlet; Lake Saroma, Japan, Proc. Coastal Sediments 07.