

# 感潮狭水路を有する漁港の航路水深維持

清水 琢三\*・近藤 浩右\*・木村 祝啓\*\*  
池田 正\*\*・坂井 淳\*\*\*

## 1. ま え が き

海岸に隣接する潟湖内に建設された漁港は、静穏な内水域の一部を泊地および係留施設として、また、外海とつながる狭水路を航路として利用している。このような狭水路の多くは、ここを通過する潮流流により断面が維持されているが、漂砂活動の活発な砂浜海岸に開口している狭水路では航路埋没が著しく、その対策として導流堤が建設される場合が多い。感潮狭水路の安定性に関する研究は数多く報告されているが<sup>1)</sup>、狭水路の幅の縮小、長さの延長などの航路水深維持対策を実施した場合の断面変化を定量的に予測評価する手法については十分検討されていない。そこで本研究では、波浪に起因する狭水路口からの流入砂量と潮流流による排除砂量のバランスから、対策案実施に伴う動的平衡断面の変化を予測する方法について検討した。また、感潮狭水路を有する漁港として宮城県荒浜漁港を取り上げ、漁船の大型化に伴い航路水深を現状より深く維持するために必要な対策案について、上記手法を用いて検討を行った。

## 2. 荒浜漁港の概要

荒浜漁港は、宮城県飛ヶ崎から福島県鷺ノ崎に至る延長50 kmのゆるやかな弧状砂浜海岸のほぼ中央に位置する第2種漁港で、阿武隈川河口の南約1 kmにある鳥の海の一部を利用して建設されている(写真-1、図-1)。鳥の海は面積約1.5 km<sup>2</sup>の潟湖で、やや北側に湾曲した南北2本の導流堤により形成される幅65~80 mの狭水路を通して太平洋とつながっているが、潟内水深は非常に浅く、最干時には大部分が陸化する。航路埋没対策として昭和20年代後半より昭和56年度までは南北導流堤延長工事が、昭和57年度より南導流堤の不透過堤への改修工事が実施されてきた。狭水路港口部の現在水深はD.L. 約-4 mであるが、水路内に入ると水深は急減し、-2 m程度となっている。したがって、将来計画における計画航路水深-4.5 mを確保することは現状において



写真-1 荒浜漁港（昭和59年9月，干潮時）

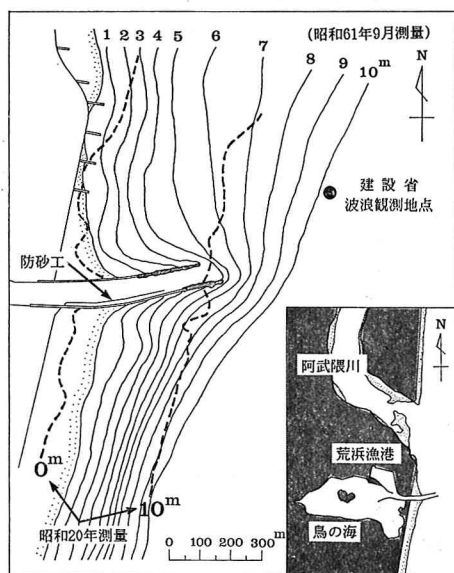


図-1 検討対象地点位置図

は難しく、何らかの対策が必要である。

一方、海岸地形をみると、導流堤周辺で等深線が沖に向かって大きく張り出しており堆積が顕著である。砂浜は、導流堤の南側で広く、北側で狭くなっており突堤が設置されている。これは当地で卓越する北向きの沿岸漂砂の遮断がその原因である。これに対して海底勾配は南側は約1/30と急であるが、北側は約1/80と緩やかである。これは、図-1に示すように昭和20年当時は汀線と

\* 正会員 工修 (財)漁港漁村建設技術研究所

\*\* 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所

\*\*\* 正会員 水産庁漁港部

水深 10m コンターがほぼ平行であったことから判断して、阿武隈川からの流送土砂が導流堤により捕捉され、主として北側海域に堆積したためと考えられる。したがって、鳥の海導流堤は従来から言われてきたように北向きの沿岸漂砂を遮断しているだけでなく、阿武隈川からの流送土砂をも捕捉していることがわかる。

### 3. 鳥の海狭水路の現況

#### 3.1 断面地形特性

図-2 は、代表 4 測線の狭水路断面の測量例(昭和61年 9 月)を、平均潮位を基準に示したものである。また、図中には各断面の断面積  $A$ 、幅  $B$ 、平均水深  $\bar{h}$  も示されている。水路の北側は防砂工が未施工であること、湾曲部の内側であることもあってやや水深が浅いが、導流堤で狭まれているため自然状態の河口断面に比べて長方形断面に近くなっている。また、導流堤が現在の長さになった昭和57年度以降、航路維持浚渫は年間0.1~0.2万  $m^3$  程度と少なく、局部的に限られており、しかも年2回程度の測量結果によれば断面はほぼ安定している。したがって、鳥の海狭水路は、現在、図-2 に示した断面で動的平衡状態にあると考えられる。以上の結果より、当狭水路を幅 65m、平均水深 -1.5m (D.L. 基準)の矩形断面水路として以下の検討を行った。

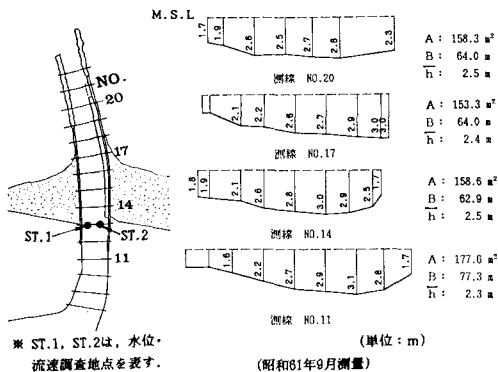


図-2 狭水路断面測量結果

#### 3.2 水理特性

潮汐変動に伴う狭水路の水位、流速変化は、底面摩擦を考慮した1次元の線形長波理論により計算することができる<sup>1)</sup>。本検討では、運動方程式と連続式を組み合わせ得られる水位  $\eta$  の時間  $t$  に関する2階の常微分方程式を Runge-Kutta-Gill 法により直接数値積分する方法で計算した。図-3 は、昭和61年12月の朔望時に実施した水位・流速調査の結果と計算値を比較したものである。調査地点は図-2 に示されている。水位の実測値は干潮時に欠測しているが、計算値は概略のところ実測の水位、流速変化を表している。ただし、潮位が約 0.5m (D.L. 基準) 以下のときに両者の対応が悪い。計算では

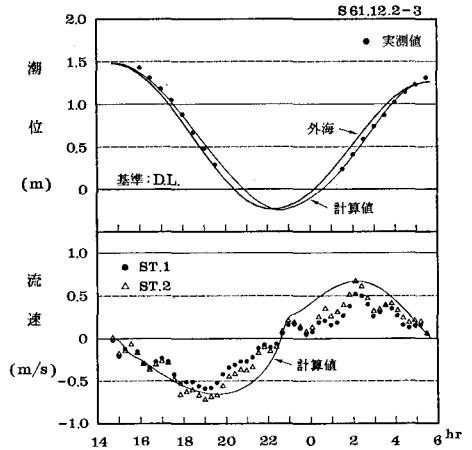


図-3 狭水路の水位・流速変化

感潮面積を平均潮位時の面積  $1.45 km^2$  で一定と仮定したが、実際には 0.5m 以下になると急激に干潟の面積が大きくなり、感潮面積が減少することが原因と考えられる。

#### 3.3 現況平衡断面における漂砂量

感潮狭水路の断面変化は、河口部と同様に、マクロ的にみれば、図-4 に示すように波による狭水路口からの流入砂量と狭水路内における潮汐流による排除砂量とのバランスにより次式で評価できる[青田・首藤<sup>2)</sup>]

$$L \frac{dA}{dt} = Q_r - Q_w = q_r \cdot B - q_w \cdot B \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $L$ : 狭水路長、 $A$ : 狭水路断面積、 $B$ : 狭水路幅、 $q_r$ ,  $q_w$ : 空隙を含む有効体積表示で表された流れによる排除砂量フラックスおよび波による流入砂量フラックスである。動的平衡状態を考えると、 $Q_r = Q_w$  となるが、ここではまず、現況の平衡断面における平均的な  $Q_r$ ,  $Q_w$  をそれぞれ定量的に評価することを試みた。

##### (1) 流れによる排除砂量の算定

流れによる排除砂量  $q_r$  は、清水ら<sup>3)</sup>と同様に、次式を用いて評価した。

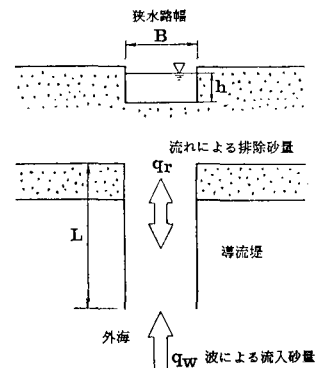


図-4 狭水路の漂砂のモデル化

$$q_r = K_r(u_*^2 - u_{*c}^2)|u|/g \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $K_r$ ：無次元定数、 $u_*$ ：流れによる底面摩擦速度、 $u_{*c}$ ：流れによる限界摩擦速度である。排除砂量は流れの向きによらず狭水路断面を維持する方向に働くと考えているため、平均流速  $u$  には絶対値がつけられている。ここでは、水位と流速の時間変化を用いて、流れによる排除砂量の一潮汐間  $T$  の平均値  $Q_r$  を算定した。

$$Q_r = \overline{q_r} \cdot B = \frac{B}{T} \int_0^T q_r dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

現況の鳥の海の狭水路における  $Q_r$  を求めると、朔望平均潮位差 (1.52 m) に対しては約  $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 、大潮平均潮位差 (0.93 m) に対しては約  $3.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  となる。なお、無次元定数  $K_r$  および限界シールズ数としては、福島県鮫川の河口断面変化シミュレーション<sup>3)</sup>と同様に、1.0、0.06 を用いた。また、底質の中央粒径は現地調査結果を参考に 0.2 mm とした。

## (2) 波による流入砂量の算定

狭水路口からの波による流入砂量は、次式で表される渡辺<sup>4)</sup>の波による岸沖漂砂量評価式を用いた。

$$\phi = 7(\phi - \phi_c)\phi^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\phi = (1 - \lambda)q_w/w_0d \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $\phi$ ：無次元漂砂量、 $\phi$ ：シールズ数、 $\phi_c$ ：限界シールズ数、 $w_0$ ：沈降速度、 $d$ ：中央粒径、 $\lambda$ ：空隙率である。なお、波によるシールズ数は流れのみに比べて大きくなる傾向にあり、細砂であることを考慮して 0.11 とした。

図-1 に示す水深約 10 m 地点で建設省により実施されている日々の波浪観測データを用いて、昭和50年から昭和55年までの6年間の平均的な流入砂量  $Q_w (= q_w \cdot B)$  を算定した。ただし、波による岸沖漂砂の移動方向に関係なく移動状態となった砂が狭水路内に持ち込まれるものと仮定した。その結果、 $Q_w$  は  $5.2 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{s})$  と求る。

## (3) 動的平衡状態を支配する潮汐振幅

(1)、(2) の検討結果によれば、年平均的な波による流入砂量は、大潮平均潮位差を与えた場合の排除砂量とほぼ釣り合っており、その漂砂量は  $3 \sim 5 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{s})$  程度と推定される。大潮平均の潮位差は 0.93 m であり、1日2回の潮汐変動の内大体1回は生起するのに対し、朔望平均潮位差 1.52 m はせいぜい年間30日程度発生するにすぎない。したがって、平衡断面は平均的な潮汐条件によって維持されているものと考えられる。しかしながら、式(4)の漂砂量係数は室内実験で得られたものであり、現地への適用性については必ずしも検証されていないので、現地で仮に係数が1オーダー大きくなると、流入砂量は朔望平均潮位差を与えた場合の排除砂量と釣り合うことになり、上述の説明が成り立たなくなる。

そこで、式(1)により河口断面の縮小過程を精度良く計算できることから、平均的な流入砂量が定量的に評価

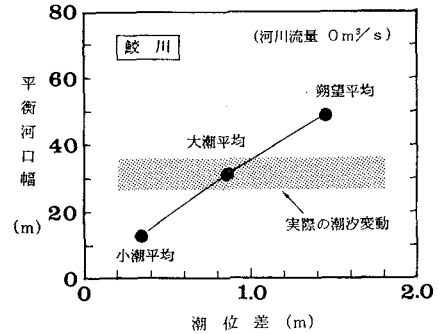


図-5 平衡河口幅と潮位差の関係(鮫川の場合)

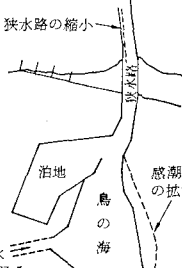
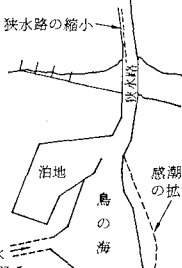
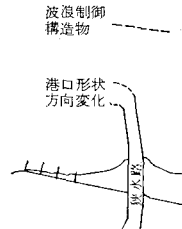
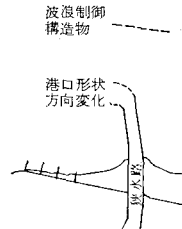
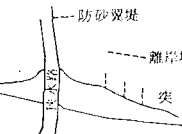
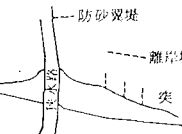
されている福島県鮫川河口部を例に、動的な平衡状態を支配する潮汐振幅について検討した。実際の漂砂変動を与えた場合と、朔望平均、大潮平均、小潮平均といった代表的な潮汐振幅を半日周期12.5時間で規則的に繰り返し与えた場合の平衡断面を式(1)によりシミュレートした。ただし、実際の潮汐変動を与えると潮位の変動に伴い河口断面も拡大と縮小を繰り返すので、十分平衡状態に達してから後の河口幅の変動範囲を求めた。その結果を図-5に示す。実際の潮位変動のもとでの平衡河口幅の変動の幅はせいぜい10 m 弱であり、ちょうど大潮平均潮位差に対する平衡状態の河口幅と一致することがわかる。しかも、計算による河口幅は、現在の鮫川の平衡状態とほぼ一致している。したがって、鮫川の例からも動的平衡状態を支配する潮汐振幅としては、大潮平均の振幅を考えればよいことがわかる。

## 4. 航路水深維持に関する検討

### 4.1 基本的な考え方

自然の力により狭水路の水深を増大させ、計画航路水深を維持するための基本的な考え方としては、式(1)からもわかる通り、①潮流流による狭水路部の排除砂量を増大させる、②波浪による狭水路口からの流入砂量を低減させる、③ ①と②の併用、の3つが考えられる。また、補助的な考え方としては、④港口水深の減少を防ぐため沿岸漂砂を減少させる、⑤狭水路内の堆積土砂を浚渫する、ことも考えられるが、根本的な解決とはならない。上記の航路水深維持に関する基本的な考え方に基づく具体的な対処方法の利点と問題点をまとめて表-1に示す。潮流流による排除砂量を増大させるためには、感潮面積の拡大および河川水の取り込みによる通過流量の増加と狭水路幅の縮小による流速の増大が考えられるが、前者はその影響が多方面にわたるため実現性に乏しい。また、波による流入砂量を増大させるためには、狭水路口の波高を低減するか、導流堤先端水深を増大させることが考えられるが、後者は前者に比べて効果は小さいと判断される。

表-1 航路水深維持の基本的な考え方

| 航路の計画<br>水深維持対策                 | 着目点                                             | 対処方法                 | 対策案                                    | 計画平面図                                                                               | 特記事項                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基<br>本<br>的<br>な<br>考<br>え<br>方 | 潮汐流による<br>狭水路部の排<br>除砂量の増大                      | 狭水路内の<br>通過流量の<br>増加 | ・鳥の海の感潮面<br>積の拡大<br>・阿武隈川の河川<br>水の取り込み |    | ・鳥の海の干潮時における貯留量を増大する<br>ことと阿武隈川から水を引き込むことは大<br>規模工事であり、その影響範囲も大きく実<br>現性に乏しい。<br>・鳥の海で現在行われている、のり、かきの<br>養殖に支障が生じる。                                                                                                      |
|                                 | (フラッシュ<br>能力の増大)                                | 狭水路内の<br>通過流速の<br>増加 | 狭水路幅の縮小<br>(北導流堤の不透<br>過堤への改修)         |    | ・透過砂防止対策としての北導流堤の不透<br>過堤への改修計画が利用できる。<br>・反射率が大きくなるため、航跡波による反<br>射波が発生する可能性がある。                                                                                                                                         |
|                                 | 港口からの<br>波浪による<br>流入砂量の<br>低減                   | 港口付近の<br>波浪の低減       | ・港口の形状<br>あるいは<br>方向を変化                |    | ・南導流堤を延長して方向を変化させると<br>ともに港口を拡張し、港口付近に浮遊砂なら<br>びに掃流砂を捕捉させ狭水路内に持ち込ま<br>れる漂砂量を低減する。<br>・海浜流の発達を助長して港口付近に堆積を<br>引き起こし、かえって逆効果となる可能性<br>があるので、構造物の設置に伴う地形変化<br>をチェックする必要がある。<br>・場合によっては、沿岸漂砂を捕捉するた<br>めの構造物を南側海浜に設置する必要がある。 |
|                                 | ①港口付近の<br>浮遊砂濃度の<br>減少<br>②港口付近の<br>掃流砂量の<br>減少 | 沖合に波浪制御<br>構造物を設置    | 沖合に波浪制御<br>構造物を設置                      |    | ・沖合に波浪制御構造物を設置して港口部の<br>波浪を低減し、浮遊砂濃度を減少させる。                                                                                                                                                                              |
| 補<br>助<br>的<br>な<br>考<br>え<br>方 | 港口付近に<br>おける沿岸<br>漂砂の減少                         | 沿岸漂砂の<br>捕捉          | ・離岸堤<br>・防砂翼堤<br>・突堤                   |  | ・沿岸漂砂の卓越方向上手側、すなわち南側<br>海浜に沿岸漂砂を捕捉させるための構造物<br>を設置する。<br>・構造物の設置により海浜流が変化するため<br>地形変化をチェックする必要がある。                                                                                                                       |
|                                 | 狭水路内の<br>堆積土砂の<br>撤去                            | 維持浚渫                 | ・浚渫<br>・サンドバイパス<br>・サンドポケット            |  | ・必要に応じて堆積土砂を浚渫する。                                                                                                                                                                                                        |

## 4.2 対策案の効果の定量的評価法

4.1 の結果、現実的な航路水深維持対策としては、①狭水路幅の縮小と②狭水路口の波高の低減ならびに①と②の併用が考えられる。そこで本研究では、これら対策案の効果を定量的に把握するため、狭水路幅の縮小に伴う排除砂量の増加ならびに波高低減に伴う流入砂量の減少を評価し、両者のバランスにより新たな動的平衡状態に対する航路水深を求める手法を提案する。

動的平衡状態の狭水路断面は平均的には大潮時の潮汐流により維持されていることがわかったので、まず狭水路幅の縮小に伴う大潮時の排除砂量  $Q_r$  の変化を 3.3 の方法により水深をパラメータとして図化する(図-6)。

例えば、現在の平衡状態で幅 65m、水深が 1.5m であるので、平衡状態の漂砂量  $Q_{eq} = Q_r = Q_w = 3.2 \times 10^{-4}$  ( $m^3/s$ ) と求まる(○1→○2→○4)。先端部の幅は変えずに狭水路幅を 50m に縮小する場合、波による流入砂量に変化はないので、 $Q_{eq}$  に等しくなるよう  $Q_r$  が変化し、

新たな平衡水深は 2m と求まる(○4→○3)。さらに、波浪制御構造物あるいは狭水路口の形状の変更により狭水路口での波高を低減した場合、式(4)によれば波高低減率のおおよそ 3 乗に比例して流入砂量が減少するので、流れによる排除砂量も流入砂量に見合った新たな平衡漂砂量  $Q_{eq}$  に等しくなるように洗掘される。港口波高を現在の 0.6 倍に減少させた場合、平衡水深は 2.8m と求まる(○4→○5→○6)。

以上の手法により、大潮平均潮位振幅に対する水深をパラメータとした流れによる排除砂量と狭水路幅の関係と現況における平衡断面さえわかれば、狭水路幅の縮小あるいは狭水路口の波高の低減の効果を定量的に評価できる。波浪データが入手困難なこともあって一般に評価の難しい波による流入砂を直接取り扱う必要がないことから、任意地点への適用が容易であると考えられる。ただし、ここで示した平衡水深を算定する方法は、導流堤により流路の幅が常に狭水路幅に等しい状態で断面が変

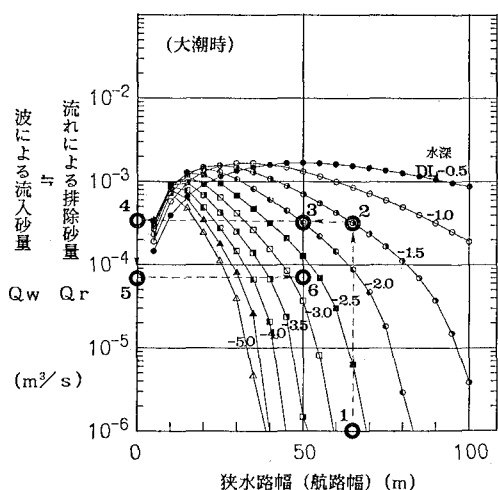


図-6 狭水路幅と流れによる排除砂量の関係

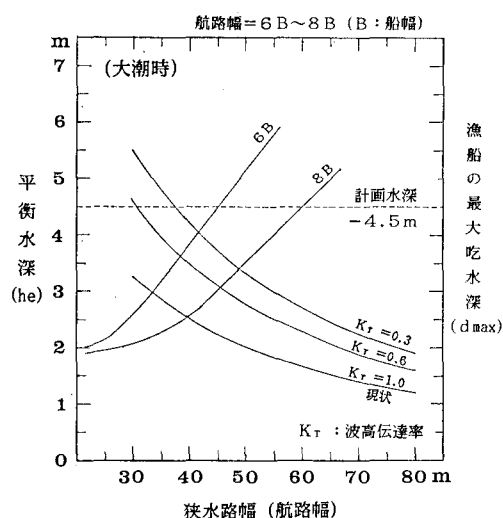


図-7 狭水路幅と平衡水深の関係

化することを前提条件としている。

#### 4.3 狭水路幅 (航路幅) と平衡水深の関係

4.2 の方法により求められた狭水路 (航路) 幅と平衡水深の関係を図-7 に示す。図中には必要航路幅 (船幅の 6 ~ 8 倍) と漁船の最大吃水深の関係も併せて示されている。波高伝達率  $K_r$  は現状に対する狭水路口の波高伝達率を表すものであり、港口部の形状の変更あるいは沖合の波浪制御構造物の設置を想定した場合である。

平衡水深は、航路幅が狭くなるほど、また、波高伝達

率が小さいほど増大する。計画航路水深は、泊地水深 -4m に余裕を加えて -4.5m とされているが、現状の航路幅に対しては波高伝達率を 0.3 とした場合でも平衡水深は 2.5m にしかならず、計画水深を達成することはできない。また、港口波高を約 1/3 (波高伝達率 0.3) に低減し、航路幅を縮小した場合でも、計画水深を自然の力により維持するためには、航路幅を 35m 程度にする必要がある。しかしながら、最大吃水 4m 程度の漁船が航行可能になるためには、航路幅として最低 50m 程度を確保する必要がある。実際には航路水深を約 3.3m にするのが精一杯である。また、航路幅を過度に狭くすることは、航跡波の反射により狭水路内の波高増大を招くことにつながり得策とはいえない。

以上のことから、自然の力によって将来計画航路水深を維持することは、航行可能な漁船の大きさならびに航路内の静穏度を考えると、いずれも実現不可能であり、浚渫等の補助的な対処方法を併用せざるを得ないと判断される。また、狭水路口の形状および方向の変更あるいは沖合波浪制御構造物の設置に当たっては、海浜流の発達を助長して港口付近に堆積を引き起こし、逆効果となる場合もあるので、構造物建設に伴う地形変化をあらかじめチェックする必要がある。

#### 5. あとがき

荒浜漁港を対象に、感潮狭水路における航路水深維持対策の検討に関する基本的な考え方を整理するとともに、対策工の効果を定量的に評価する一般性の高い手法を提案した。

本研究は、宮城県塩釜漁港事務所より委託された「昭和 61 年度荒浜漁港修築事業漂砂調査」の成果の一部をとりまとめたものであることを付記し、関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- 1) 例えば近藤俊郎：感潮狭水路の水理，水工学に関する夏期研修会，B コース，pp. B-7-1~B-7-17, 1979.
- 2) 青田 茂・首藤伸夫：河口断面積変化過程の数値モデル，第 24 回水理講演会論文集，pp. 203~208, 1980.
- 3) 清水琢三・横山博実・近藤浩右・楠木 宏・松原良夫：仕切建設に伴う鮫川河口周辺の地形変化，第 23 回海岸工学講演会論文集，pp. 395~399, 1985.
- 4) 渡辺 晃：海浜流と海浜変形の数値シミュレーション，第 28 回海岸工学講演会論文集，pp. 285~289, 1981.