

# 海水導入工を利用した港内埋没防止技術の開発

独立行政法人 水産総合研究センター

水産工学研究所 水産土木工学部 水理研究室 中山 哲巖

水産土木工学部 水理研究室 新井 雅之

水産土木工学部 開発システム研究室 大村 智宏

## 1. 緒言

砂浜の漁港は、漂砂による埋没に悩まされている。沿岸漂砂系を遮断せずに漁港への漂砂侵入を抑制する事は、漁港機能を維持できるだけでなく、周辺の砂浜保全にも大きく貢献する。本研究は、港内埋没の主要なメカニズムとして、高濃度浮遊砂の長周期波等による港内への移流・拡散・沈降過程に着目し、漁港内への強制的な海水導入を行うことにより、浮遊砂の港内への侵入を抑制する工法を開発することを目的とする。

## 2. 調査方法

検討は以下の項目について行った。

### 2. 1. 海水導入工による港内埋没効果把握、適切配置（平成16～17年）

平面水理模型実験によって海水導入工による効果を検討した。波浪、サーフビート、海浜流による浮遊砂の挙動を明らかにするための数値計算手法を開発し、海水導入工による港内埋没防止効果について検討した。

### 2. 2. 海水導入工への砂侵入防止（平成17～18年）

大縮尺模型による海水導入工周辺の流体现象、浮遊砂の侵入状況を明らかにし、浮遊砂を最小限に抑えるための構造の検討を行った。同時にVOF法による流体計算をベースに浮遊砂の挙動を計算する手法を開発し、その再現性について水理模型実験結果と比較した。数値計算の再現性を比較検討後、現地スケールによる海水導入工への浮遊砂侵入抑制のための構造検討を数値計算により、行った。

### 2. 3. 港内埋没評価モデルの現地適用性（平成17～18年）

新たに開発した浮遊砂による港内埋没評価のための数値計算手法を実際に港内埋没に苦慮している漁港に適用し、その再現性について検討した。

## 3. 調査結果

### 3. 1. 平面水理模型実験

平面水槽に縮尺1/40の小規模な漁港を作成し、海水導入工の有無によって、漁港周辺の流動がどのように変化するかを明らかにした。同時にビーズを浮遊砂挙動に模し、波浪作用後のビーズの残留率によって、海水導入工の効果を把握した。

水理模型実験はピストン型不規則波造波機を有する平面水槽（幅 10m×長さ 35m×深さ 0.8m）で行った。図-1 に示すように、1/20 勾配地形に導水工を有するモデル漁港を設置して固定床とした。また、導水工には山本ら（1987）によって開発された潜堤方式を用いた。潜堤の諸元は、法勾配 1/2、天端幅 20cm、潜堤長 37.5cm、遊水部幅 17.5cm、導水口の直径 3.5cm である。導水量の効果を比較できるようにあらかじめ 2 基分設置してある。潜堤天端は静水面と一致させており、導水工の沖側から港内へビーズが侵入しないように 1.2mm×1.2mm の網を遊水部の上部全面に取り付けた。実験波は、修正 Bretschneider・光易型スペクトルの 1 方向不規則波（有義波高 9.0cm、有義周期 1.58s）とした。ここでの模型縮尺は 1/40 を想定している。

漁港内外の流況や渦の挙動を可視化して調べるため、ビーズを用いた。造波開始 2 分後にビーズを図-2 に示す外港港口部の港外側及び港内側と外港部中央に投入してビデオ撮影した。また、投入 30 分後の漁港内外のビーズ量を図中に示す領域ごとに採取し、計量した。

その結果、図-3 より、港奥部（図-2 で C の領域）では、海水導入力が増加すると著しくビーズの量が減少し、海水導入工が有効であることがわかった。

実験において、漁港の防波堤の隅角部や先端に発生する渦がビーズの輸送に大きく影響していることが目視観測によって確認されたので、その周辺の流動場が海水導入工によってどのように変化するかを検討するために、電磁流速計を多点配置し計測した。その結果、海水導入工によって港内側にビーズの移動を促進する渦成分は小さくなることわかった（写真 1、図-4 参照）。

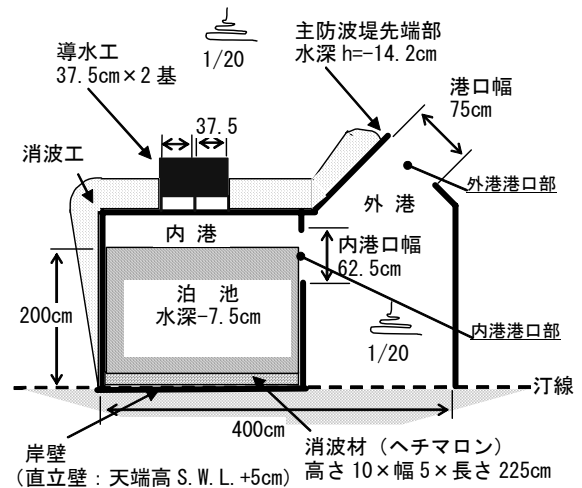


図-1 水理模型実験で用いたモデル漁港

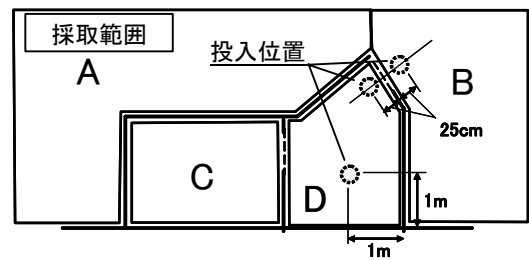


図-2 ビーズ採取範囲及び投入位置

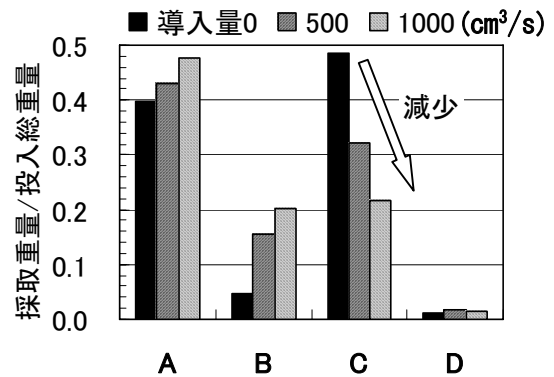


図-3 ビーズ残留量

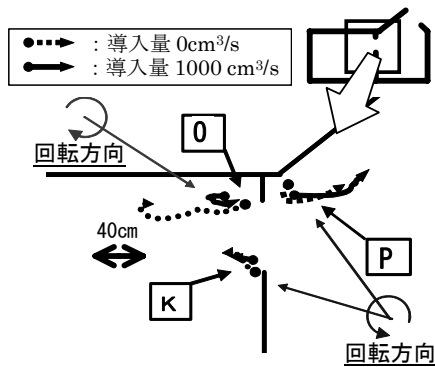


図-4 渦の移動経路の違い

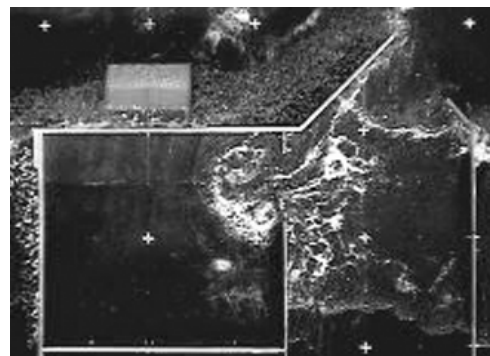


写真-1 渦によるビーズの輸送

### 3. 2. 平面の数値計算

まず、サーフビーボートが港内への浮遊砂輸送に大きな影響を与えていると考え、サーフビーボートによる浮遊砂輸送を明らかにすることとした。非線形長波方程式と非平衡性を考慮した準3次元浮遊砂モデルを組み合わせ、漁港周辺の浮遊砂輸送を計算により検討した。その結果、防波堤先端や港内の波除堤周辺で顕著な堆積侵食が生じた。海水導入工がある場合には港奥への浮遊砂輸送は激減した。しかし、漁港内は波浪、サーフビーボート、海浜流が共存しており、サーフビーボートのみでは定量的に評価できないことがわかった。そこで、波浪場、サーフビーボート、海浜流を同時に計算出来る非線形分散性波動モデルの一つである修正ブシネスク波動方程式と3次元浮遊砂モデルを組み合わせ、新たな港内埋没評価モデルを開発した。本モデルの特徴は、

波、サーフビーボート、海浜流を一つのモデルで表現出来ること、浮遊砂輸送による地形変化を逐一波浪場に反映させている点であり、従来のモデルとは大きく異なっている。このモデルを水理模型実験に用いた漁港に適用し、海水導入工の効果を評価した。まず、漁港周辺の波高分布、サーフビーボート振幅分布、海浜流分布及び水位変動のスペクトル分布について、水理模型実験結果と比較し、流動場の再現性を検討した。その結果、数値計算結果は若干過小評価傾向があるものの十分な精度を有していることがわかった(図-5参照)。

同モデルによって、計算された漁港周辺の地形変化を図-6に示す。同図上段は、各ケースの港奥部(A)、航路部(B)の体積量を示している。これから海水導入工2基+T型突堤(港奥部の波除堤をT型にする)が最も港内埋没抑制効果があることがわかる。同図下段に示した地形変化からも同様な結果を得た。

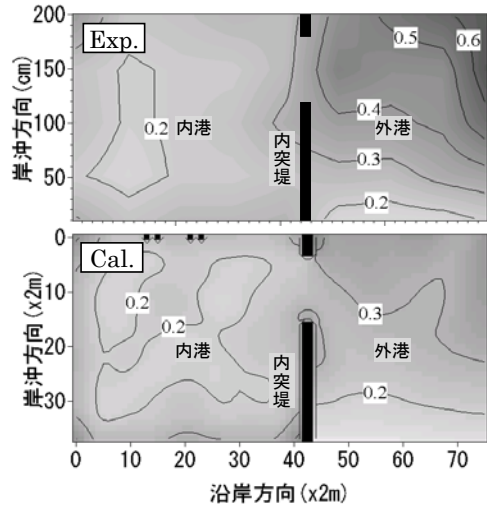


図-5 短周期波高分布( $H_{1/3}/H_0$ )

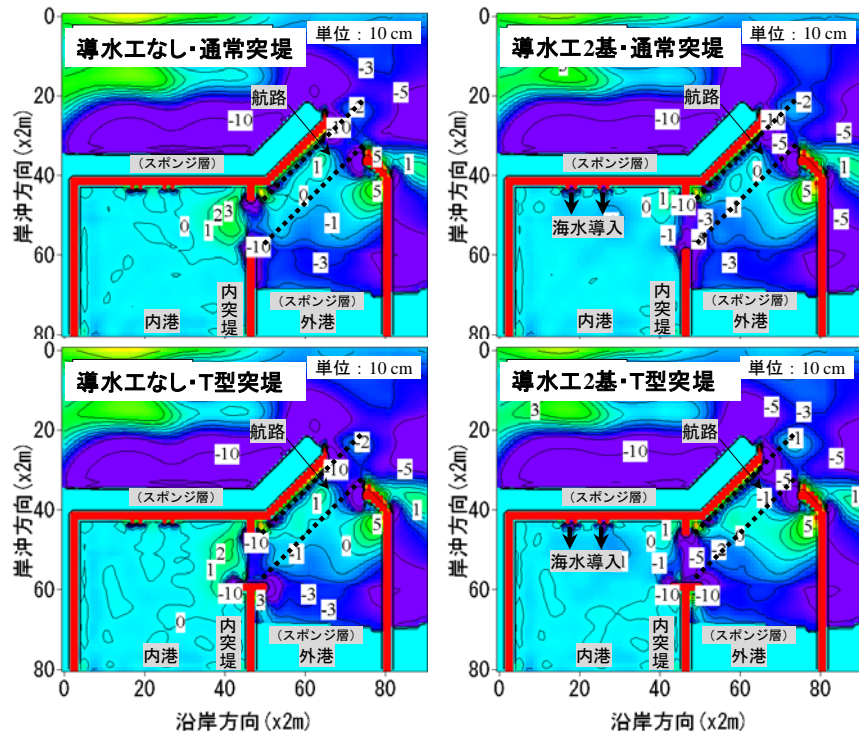
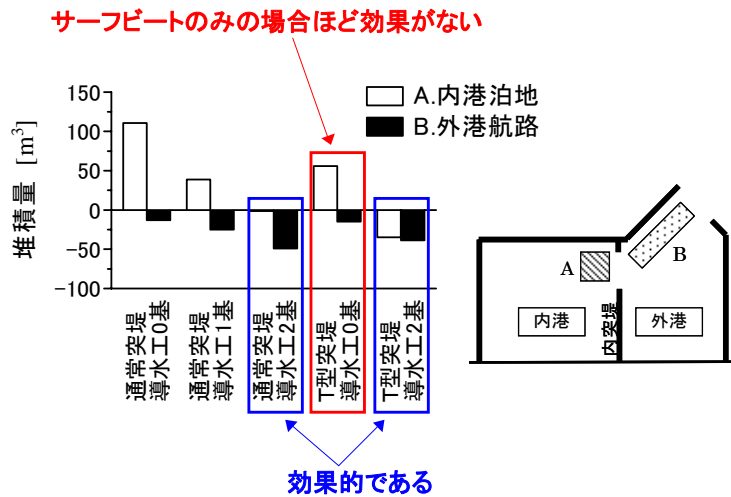


図-6 評価モデルによる漁港周辺の地形変化

### 3. 3. 導入水に含まれる砂を最小限にするための大縮尺水理模型実験

海水導入工による港内埋没防止効果は高いことが平面水理模型実験及び数値計算により、明らかにされた。この評価の前提条件は、導入水に多量の砂が混入していないことである。このためには、通常海水導入工では十分ではなく、導入水に含まれる浮遊砂濃度を極力少なくすることが不可欠である。このために大縮尺の2次元断面実験を行った。想定縮尺は1/5で、対象波は現地スケールで2.5mの波を作用させた。海水導入工の形式は水工研で開発された潜堤方式とし、その断面形状を図-7に示す。海水導入工より沖側に中央粒径0.17mmの砂を敷き詰め、波高50cm、周期4秒程度(現地換算2.5m、9秒)の規則波を作用させ、海水導入周辺の波高、流動、浮遊砂濃度を計測した。また、導水管背後に捕砂器を設置し、波浪作用時間に導水により輸送される全浮遊砂量を計測した。

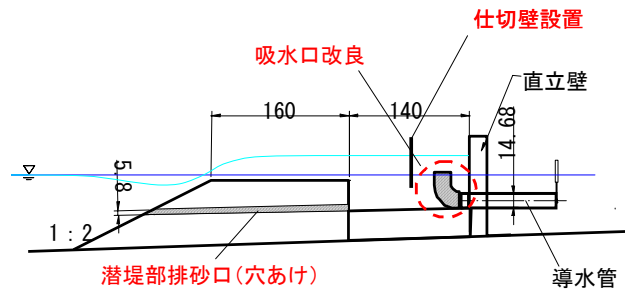


図-7 海水導入工の断面図

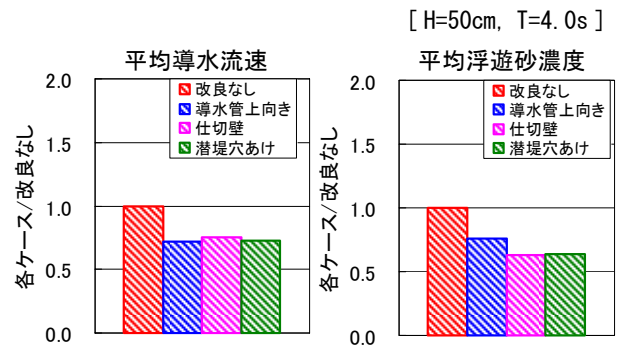


図-8 模型実験結果(流速・浮遊砂濃度)

図-8に各ケースでの平均導水流速及び導水に含まれる浮遊砂濃度(改良無しの場合で無次元化している)を示す。①改良しない場合(直線の導水管)には、導入水の浮遊砂濃度はそれほど大きくないものの港内への浮遊砂の侵入が見られた。②導水口を上向きに改良すると導入流速が3割程度減少し、導入水中の浮遊砂濃度の低減に効果がある。③遊水部の渦が導水口に到達するために導水中の浮遊砂濃度が高くなるとみられたが、仕切壁を設けても遊水部が短いために効果は小さい結果となった。④潜堤に排砂口を設けることにより遊水部での堆砂が著しく低減する効果が見られた。

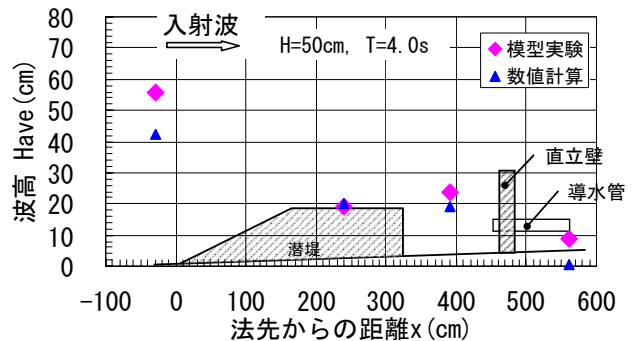


図-9 模型実験と数値計算の比較(波高)

### 3. 4. 導入水に含まれる砂を最小限にするための数値計算結果

水理模型実験は、縮尺が大きいとはいえ、現地に比べると1/5とスケールが小さい。浮遊砂の現象は、スケールに大きく依存するので、水理模型実験結果をそのまま現地に換算することは適当ではない。このような理由から、数値計算を用いてさらなる検討を加えた。用いた数値計算法は、2次元ではあるが流体現象を比較的精度良く表現出来るとされるVOF法をベースに浮遊砂の移流拡散方程式を加え、浮遊砂濃度変化を計算出来るようにした。まず、水理模型実験と同じスケールで、流れ及び浮遊砂濃度の再現性を検討した。図-9に海水導入工周辺での計算と実験結果の波高変化の例を

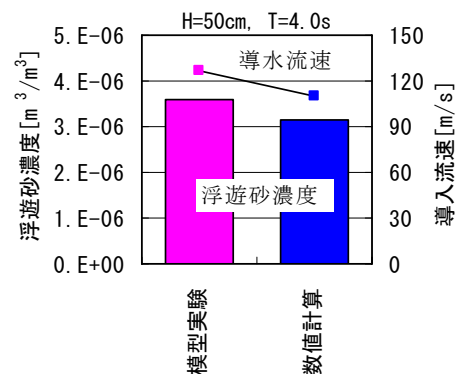


図-10 模型実験と数値計算の比較(導水流速と浮遊砂濃度)

示す。図-10 に導水流速及び平均浮遊砂濃度の計算と実験結果を示す。導水流速及び浮遊砂濃度については、数値計算結果が実験結果に比較して若干小さめであるが、ほぼ妥当な結果を与えていることがわかる。

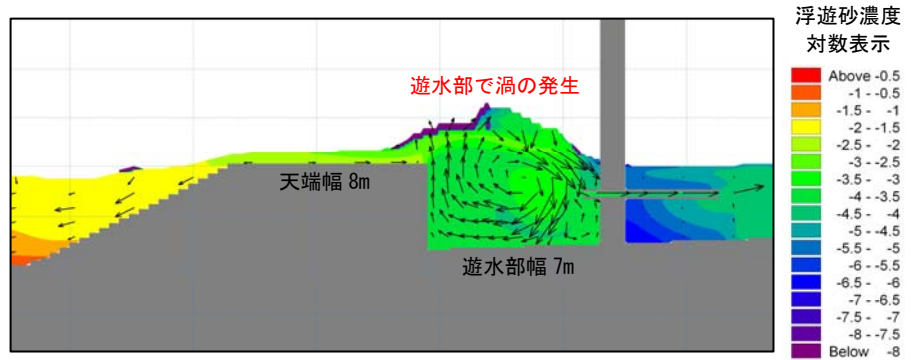


図-11 に数値計算結果の一例を示す。この図から遊水部での大きな渦が浮遊砂濃度分布に大きな影響を与えていることがわかる。なお、水理模型実験でも遊水部内に強い渦が発生していることが確認されている。

図-11 浮遊砂濃度計算の一例(改良無し)

以上から、ここで開発した数値計算法を用いて、現地スケールでの海水導入工の検討を行った。なお、現地では 2.5m 以上の波浪が来襲するので、現地スケールでの検討では波高 4m、周期 10 秒の規則波を用いた。

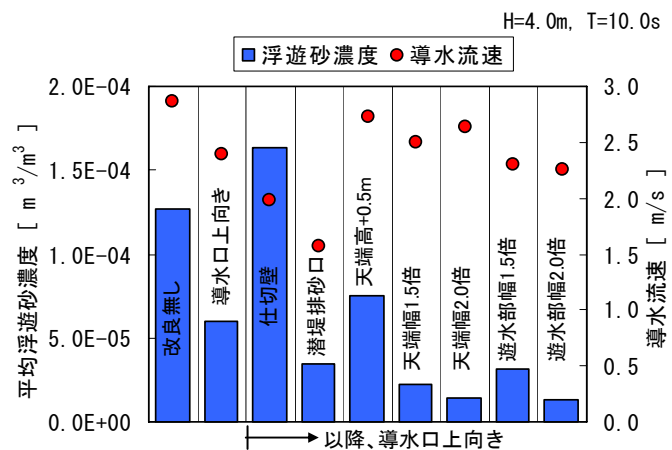


図-12 各改良の効果

模型スケールでの数値計算及び水理模型実験結果から、排砂口、遊水部の長さ、潜堤天端幅が、主に導入水に含まれる浮遊砂濃度に影響を与えていると考えられたので、海水導入工の構造を変化させて、数値計算を行った。その結果を図-12 に示す。この図から、模型実験で検討した改良は、現地スケールの計算でも類似した傾向を示し、潜堤に排砂口を設けた場合は遊水部での堆砂が低減された。遊水部幅を広くすると渦が沖側に移動し導水口付近の浮遊砂は減少する。導入水中の浮遊砂を低減させるには、導水口を上向きにする、潜堤に排砂口を設ける、遊水部幅を広くする、天端幅を広くする等が挙げられる(図-13)。

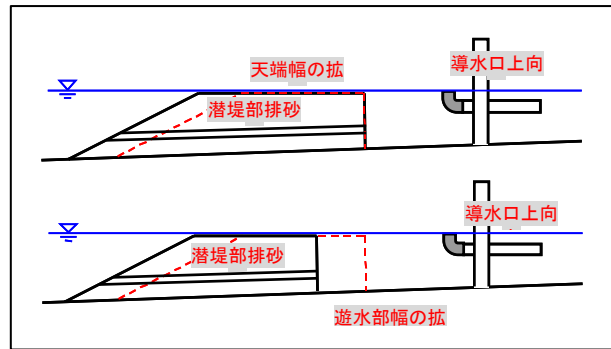


図-13 改良案のイメージ

により高波浪時にも 0.17mm 程度の粒径の浮遊砂濃度は  $10^{-5}(\text{m}^3/\text{m}^3)$  以下となり、例えば 100 万  $\text{m}^3$  の海水導入に対して侵入する砂は数  $\text{m}^3$  程度と小さくすることができる。

### 3. 5. 港内埋没評価モデルの現地適用性

開発した浮遊砂による港内埋没評価のための数値計算を実際に港内埋没に苦慮している漁港に適用し、その再現性について検討した。

本モデルが良い再現性を有することが確認された。さらに対策に関して、検討を行った。図-14 (左) に示すように、実際の深浅測量の変化と、計算結果の傾向が良く合うことがわかる。さらに同漁港への対策として防波堤を検討し、効果のあることがわかった (図-14 右)。しかしながら、依然として港口部周辺には堆積領域が存在するために港口部周辺に潜堤、海水導入工などを配置したところ一定の改善が



見られた。今後、さらに検討していく予定である。

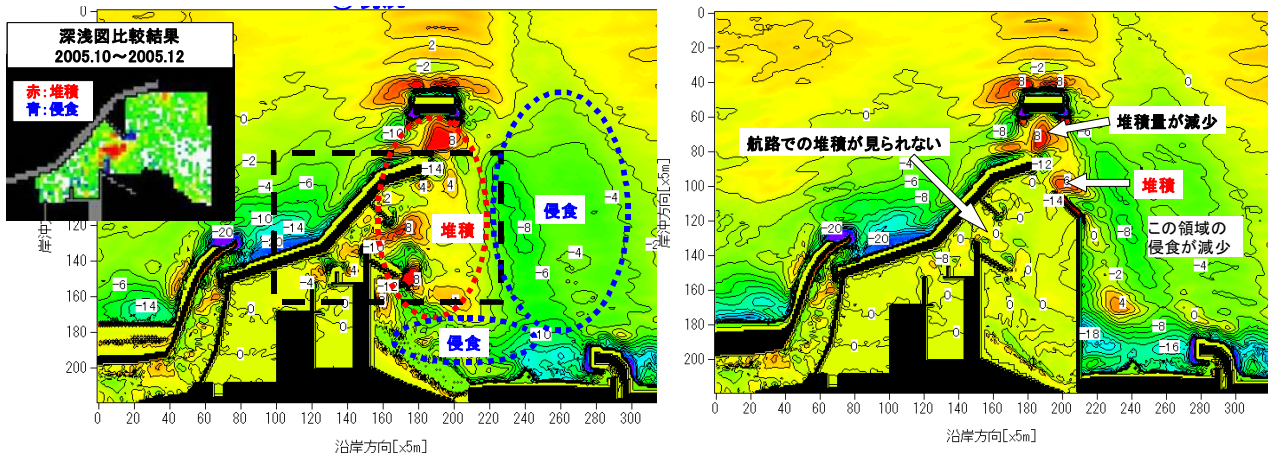


図-14 実際の漁港へのモデルの適用及び対策案の検討

#### 4. 考察

本調査により、海水導入工を利用した港内埋没対策技術は十分効果のあることを確認した。導入水に含まれる砂を最小限に抑えるためには、遊水部の長さを通常の海水導入工の2倍程度にすること、遊水部に排砂口をもうけること、導水管を上向きにすることが必要である。現在、開発した数値計算法により、さらなる検討を行っているところである。

本工法は複雑な構造を持たず、波力など外力に対しても十分安定性を確保することができる。正確な整備コストは未検討であるが、比較的安価であると考えられる。既存の防波堤を改良しても設置可能であるので、非常に汎用性が高い。

また、本課題においては港内埋没を精度良く評価することが、海水導入工の開発に当たって不可欠であった。そのために開発した港内埋没評価モデルは再現性があることが確認された。本モデルは漁港周辺の地形変化のみならず、従来手法では評価できなかった港内の砂移動を評価できる。今後、港内埋没防止対策を検討するための基本ツールになると考えられる。

港内埋没対策の基本的な考え方は、過去の研究成果を踏まえ、今年度の全国漁港漁場整備技術研究発表会に発表する予定である。

#### 摘要

以下のような課題が残されており、さらに検討していく予定である。

- (1) 海水導入工の現場への適用と効果確認及び改良
- (2) 港内埋没評価モデルの積極的利用、問題点の抽出、改良のための現地調査
- (3) 同モデルへの掃流砂、粒径分布の変化等の組み込み、高速化、汎用性

#### 参考文献

例えば

- ・中山哲巖・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：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.

- ・鈴木崇之・岡安章夫・柴山知也 (2004): 砕波による時空間的浮遊砂濃度変動の数値シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.381-385.
  - ・中山哲巖・新井雅之・大村智宏・小林 学・田村 仁・灘岡和夫・半沢 稔 (2005): 海水導入工による港内埋没対策に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.481-485.
  - ・中山哲巖・山本 潤・松岡道男・池田正徳・竹内聖一・灘岡和夫・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.
  - ・灘岡和夫・田村 仁・飯塚広泰 (2004): 中小港湾港口部に発生する水平大規模渦による浮遊砂流入特性に関する数値解析—浮遊砂流入から見たハーバーパラドックス—, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.451-455.
  - ・平山克也・上原 功・永松宏一・平石哲也(1998): 珊瑚礁リーフにおける波と流れの計算法の適用性, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp161-165
  - ・平山克也・平石哲也 (2004): ブシネスクモデルによる砕波・遡上計算法とその適用性, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp11-15
  - ・松本 朗・松岡道男・中山哲巖・山本 潤・灘岡和夫・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.
- 山本正昭・中泉昌光・間辺本文 (1987): 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp.675-679.
- ・Nielsen, P. (1992): Coastal bottom boundary layers and sediment transport, World Scientific, River Edge, N.J., p.324.

本研究で投稿した論文

- ・中山哲巖・牧野弘幸・新井雅之・小林学・佐藤勝弘: 導入水に含まれる浮遊砂量を低減するための海水導入工の構造に関する研究, 海岸工学論文集, 第 54 巻 (投稿中)
- ・中山哲巖・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: 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.
- ・中山哲巖・新井雅之・大村智宏・小林 学・田村 仁・灘岡和夫・半沢 稔 (2005): 海水導入工による港内埋没対策に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.481-485.