

航路埋没漁港における 3 次元水深変化予測モデルの現地適用性

相澤 忠典*・筒井 正俊**・尾崎 利治***・佐藤 峰雄****

1. はじめに

真野川漁港は真野川河口部に位置し、係船岸等の中心的な施設は河川内にあり、河口部が航路になっている(図-1)。河口両岸から延びる南北防波堤の開口部および航路では、高波浪および土砂堆積により操業率が低下しており、早急な対策が求められている。砂浜海岸に建設された中小漁港では波浪や流況が変化し、その影響で周辺地形の侵食と堆積が発生することにより、しばしば航路埋没の問題が発生している。漁港埋没対策については尾崎(1972)の研究がある。最近では黒岩・野田(1991)が、港内堆砂機構が波による漂砂の移動形態と密接に関係していることを明らかにし、清水ら(1991)は3次元海浜変形モデルの現地適用を試みている。

著者らは、真野川漁港航路(河口部)埋没対策工の検討に際し、深浅測量データ及び蛍光砂調査結果を整理し、3次元水深変化予測モデルの現地適用を試みた。

2. 海岸地形変化特性

真野川漁港では、河口(港口)部を中心に沿岸方向約2.8 kmの範囲で、1977年から年4回(2, 5, 8, 11月)の継続的な深浅測量を実施している(図-2)。現況写真(写真-1)から、宇多ら(1994)、大中ら(1994)が示す河口沖のテラス地形が確認される。テラス地形の発達は、1978年に北防波堤が延長されてから顕著になったと考えられる。1981年に南防波堤先端部を北に折って延長してからは、南側の地形変化は複雑になっている。1987年から始まった沖防波堤建設による影響は明瞭ではない。水深10 m以深では、地形変化は小さい。1988年から1992年までの4年間の地形変化量を整理すると、南北両防波堤先端(港口)部の埋没状況が把握できる。

地元漁民によると、本漁港は北寄りの波が卓越するという。1980年以前は、南北防波堤の正面にあたる東からの波が侵入し、港口部の波浪によるじょう乱と砂の堆積による航路埋没が生じていた。1981年に南防波堤を北側

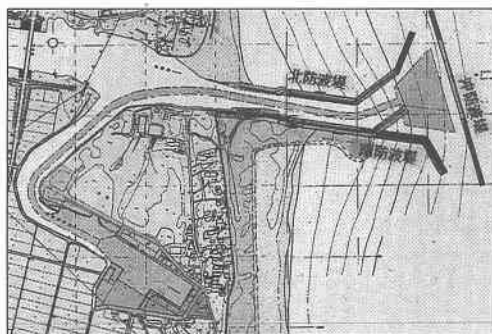


図-1 第九次漁港整備長期計画図



写真-1 真野川漁港現況

に折って延長し、1987年に沖防波堤を建設することにより、港口部の静穏はかなり改善されてきた。また、南防波堤先端から回り込んで、南側航路をふさいでいた砂の堆積はほとんど無くなった。航路の静穏を確保するために建設された沖防波堤は、南北防波堤に沿って流れる離岸流をせき止めてトンボロを発生させ、北東方向からの波により港口部の航路が埋没し、さらに港内に押し込められるため、航路埋没はより深刻な問題となっている。

3. 波浪特性

東北電力原町火力発電所波浪観測値のうち波高、周期、波向が共に測得された昭和52年9月1日～昭和62年8月31日の10年間の波浪出現特性を図-3に示す。観測は真野川河口の南東約3.3 km沖合、水深16.2 mの地点に設置された超音波式波高計によるものである。

* 福島県 相馬港湾建設事務所 建設課
 ** (株)三洋コンサルタント 調査部
 *** 正会員 (社)水産土木建設技術センター 技術開発部
 **** 三洋テクノマリン(株) 技術コンサルタント部

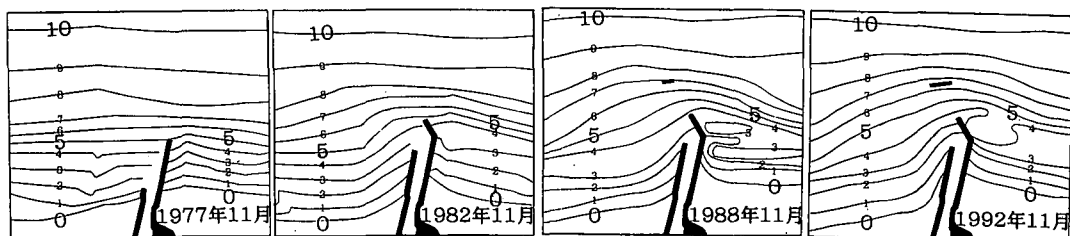


図-2 地形変化状況 (1977～1992)

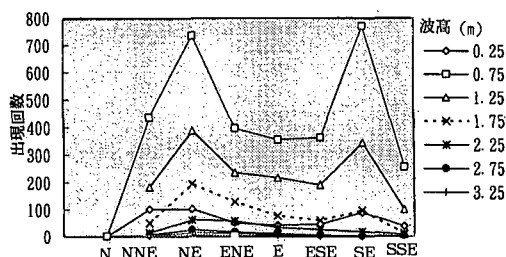


図-3 波向別波高出現特性

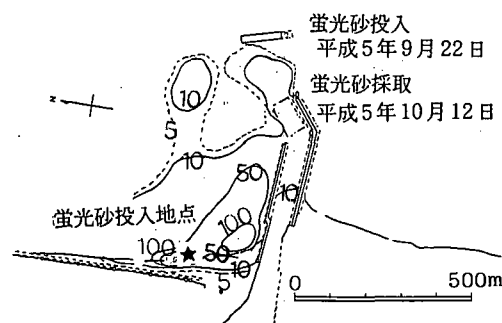


図-4 蛍光砂の動き (防波堤北側汀線付近に投入)

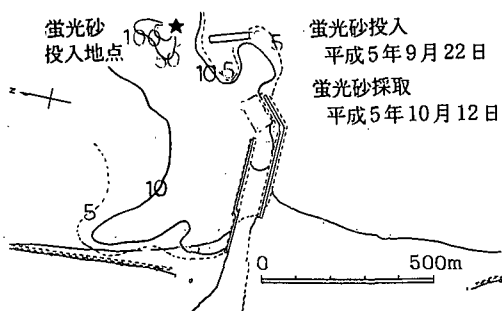


図-5 蛍光砂の動き (沖防波堤北側に投入)

波浪出現状況を波向別にみると、NEとSEを中心とする二山形であり、高波浪はNEを中心とする側でやや出現率が高い。漁業者の話では、台風が近づくと初め南系統の波が数時間継続し、通過後は北よりの波に変わり、数日間続くということであり、観測値の示すものと符合

する。波浪エネルギーは波高・周期複合出現回数表より各波高・周期ランクの年間継続時間を求め、これに単位時間当たりのエネルギーを乗じたものを累計して求めた。年平均の波高計位置における入射全エネルギーは、 $2.38 \times 10^7 \text{ ton} \cdot \text{m/m/年}$ であった。

4. 漂砂調査

平成5年9～10月及び平成6年1～2月に波浪、海浜流、蛍光砂、底質を調査した。波浪出現状況は、2.5 mを越える波高が13.4 %、卓越周期は10から11秒であった。波向はE方向が58.9 %と最も多く、ENE、ESEも20 %ずつ出現していた。底質移動に大きく影響すると考えられる2.9～3.2 mの有義波高が、蛍光砂の投入日と採取日の間で観測された (図-6)。

4.1 蛍光砂調査

4地点で投入された蛍光砂の動きは以下のとおりである。北側汀線付近の砂は、汀線に沿って南下している。沖方向に向かう砂は防波堤間口のポケット部に堆積することが多く、沖防波堤付近まで移動している (図-4)。防波堤内部の砂の堆積は、北防波堤からの越波と開口部にたまった砂の河川側への波による押し込みが考えられる。沖防波堤北側(-9 m)の砂は、汀線付近まで移動すると共に、防波堤間口のポケット部、防波堤内部へと移動している (図-5)。しかし、防波堤を越えて南側への移動は多くはない。南側汀線付近の砂は、汀線に沿って南と北方向に移動しているが、沖方向への移動は防波堤先端に至らない。沖防波堤南側(-9 m)の砂は、汀線側と南防波堤方向へと移動するが、防波堤間口のポケット部まで達する砂は少ない。

以上の結果から、開口部周辺の土砂堆積について次の2つの機構が考えられる。

- ① 沖防波堤背後にトンボロ状に堆積した土砂の波浪による開口部への移動
- ② 北からの沿岸流で運ばれた土砂の、北防波堤透過と開口部にたまった砂の河川側への波による押し込みによる堆砂

4.2 底質調査

19地点でグラフ式採泥器で底質を採取し、分析した。

1993 9/22 ~ 1993 10/13

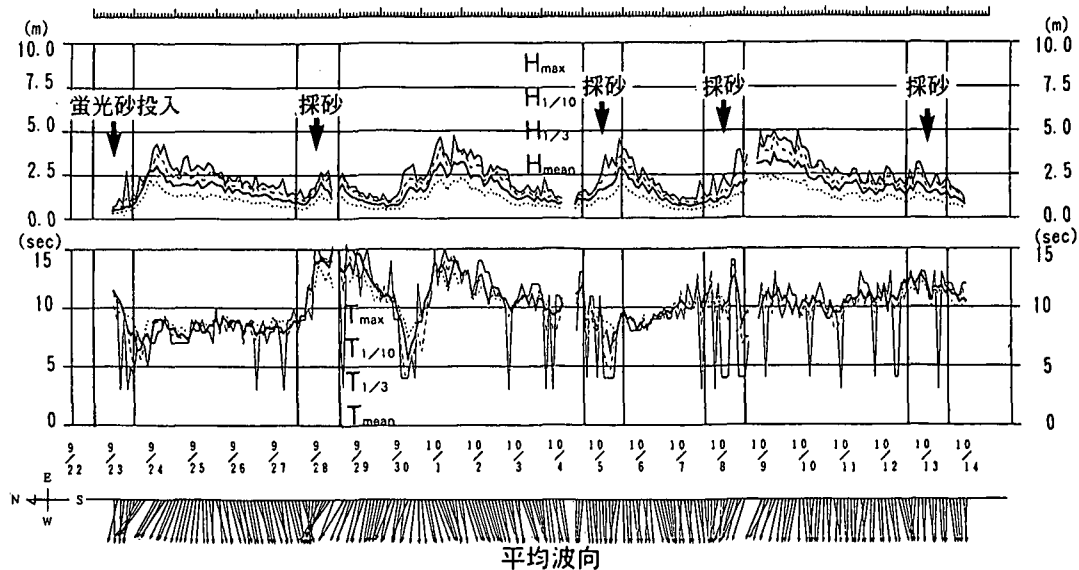


図-6 波浪の経時変化

その結果から、中央粒径の平面分布を図-7に示す。汀線付近の粒径は0.25~0.37 mmの中砂から構成され、沖防波堤に向かって細粒化している。汀線付近を除いた外海部には細砂(0.17~0.19 mm)が分布している。防波堤開口部は、ポケット部が外海と同じ粒径0.18 mmの細砂、これから奥では0.1 mmの細砂となっている。河川部で防波堤奥の底質はシルト粘土分を10~40%含み、明らかに外海の底質とは異なっている。これより、防波堤内部のポケット部周辺までは外海の砂が入り込んで来ていると考えられる。

5. 現況再現計算

5.1 計算モデル

計算モデルは3次元水深変化予測モデルを用いた。波浪変形計算はエネルギー平衡方程式を用い、海浜流は波浪場の計算により得られた radiation stress を外力として、2次元単層モデルにより求めた。地形変化の計算は、渡辺ら(1984)の提案した底質量の保存則に、入江・栗山(1985)による航路埋没で実績のある E. W. Bijker (1980)の提案した漂砂量の算定式を組み合わせた。Bijkerの式を以下に示す。

$$c = c_b \exp(-\omega_0 z / \epsilon)$$

$$c_b = S_b C_h \frac{1}{6.34 V r \sqrt{g}}$$

$$S_b = B d V \frac{\sqrt{g}}{C_h} \exp \left[\frac{-0.27 \Delta d C_h^2}{\mu V^2 \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon u_b}{V} \right)^2 \right\}} \right]$$

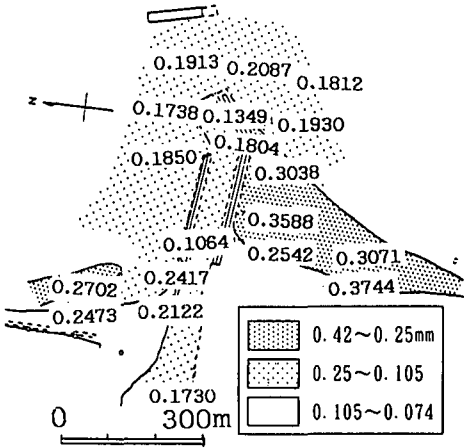


図-7 中央粒径平面分布

ここに、 c は任意の高さにおける濃度、 c_b は底面近くの濃度、 ω_0 は粒子の沈降速度、 z は水深、 ϵ は鉛直方向の拡散係数、 C_h は Chezy の係数、 V は定常流成分の平均流速、 r は粗度長さ、 g は重力加速度、 d は底質の中央粒径、 Δ は底質水中比重、 μ はリップル係数、 u_b は底面での軌道粒子の最大速度、 B は係数で $B \approx 5.0$ 、 ξ は理論的及び実験的に定まる係数である。

5.2 計算条件

a) 波浪条件

海底地形の際立った変動は、高波浪が1年間に24時間程度作用して起きると仮定し、河川部の波濊実績と高波浪の出現状況から波浪条件を設定した。波濊作業日を境

界とする10の期間の有義波上位4個の平均値は4.17mであったので、波高を4.0mとし、波高と波向、波高と周期の複合統計結果から、表-1のように設定した。

b) 継続時間

現況再現対象期間の全波浪エネルギーの作用を、限定した代表波浪を全波浪エネルギー相当分の時間だけ作用させることで代替させた。この継続時間は、全波浪エネルギーを代表波の時間当たりエネルギーで割ることにより求めた。

c) 底質粒径

底質調査結果によると、汀線付近を除いた外海部には細砂(0.17~0.19mm)が分布し、防波堤開口部はポケット部が外海と同じ粒径0.18mmの細砂である。水深変化再現の主たる対象地点が沖防波堤から防波堤開口部にかけての区域であることから、底質粒径として中央粒径=0.18mmと設定した。

表-1 計算条件

項 目	計 算 条 件
波浪条件	波高：4.0 m, 周期：11.0 sec, 波向：ENE 波の継続時間：28.2日
計算水位	平均水面 (D. L.+0.88 m)
計算領域	沿岸方向1,750 m, 岸沖方向1,000 m
格子間隔	25 m
底質粒径	中央粒径 $d_{50}=0.18$ mm
構 造 物	無反射, 但し北防波堤は透過率0.3
再現期間	平成3年9月~4年9月の1年間

5.3 計算結果

一般に侵食・堆砂域の分布は、作用する波の向きに大きく影響される。近傍の波浪観測データは、NEとSEの2方向にピークをもち、卓越波向の判断が必要であった。そこで、現況再現計算では波向ENEをはじめに計算し、その結果を基に、ENE10°N、ENE20°Nについても検討した。試行計算を行った計算ケースをまとめて表-2に示す。ENE20°Nでは沖防波堤の背後に堆砂量は少ないものの堆砂域が現れ、全体的な堆砂、侵食の分布状況は実績にかなり近づいた。この試行計算により、侵食・堆積の分布型の再現性が最もよいENE20°N(概ねNE)を卓越波向とした。堆砂量の再現性は、堆砂領域と同一水深域での中央粒径 $d_{50}=0.18$ mmと、漂砂供給源とみなされる沖防波堤以沖での中央粒径 $d_{50}=0.12$ mmを用いたケースを比較すると、 $d_{50}=0.12$ mmのケースでよい結果が得られた。次に、河川流の影響をみるため、過去10年間の年最大流量の平均値(40.4m³/s)を与えて、海浜流分布を求め、地形変化を計算した(図-8)。既往調査では真野川の流出土砂は、南防波堤先端部の地形変化に

大きく影響していないとされているが、計算結果でも開口部内側の堆積域に増大がみられる程度であった。流況分布及び侵食・堆積の傾向は、蛍光砂調査で得られた結果ともよく一致した。最後に底泥の巻き上げ量を1.5倍と2.0倍にして計算し、実績と比較した全体的なバランスから1.5倍程度がよいと考え、これを採用した(図-9~11)。

以上から、波向ENE20°N($d_{50}=0.12$ mm)の計算結果は、現況をよく再現しているものと考え、Bijkerの漂砂量の算定式を取り入れた3次元水深変化予測モデルの現地適用性が確認できた。

表-2 計算ケース

項目 計算 ケース	波 向	中央粒径 (mm)	河川流量 (m ³ /s)	底泥の巻き 上げ量係数
CASE-1	ENE	0.18	—	5
CASE-2	ENE 10°N	0.18	—	5
CASE-3	ENE 20°N	0.18	—	5
CASE-4	ENE 20°N	0.12	—	5
CASE-5	ENE 20°N	0.12	40.4	5
CASE-6	ENE 20°N	0.12	40.4	7.5
CASE-7	ENE 20°N	0.12	40.4	10

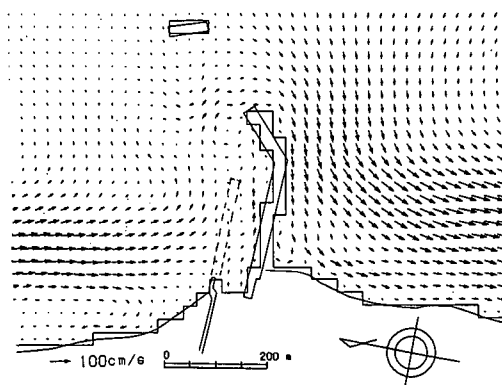


図-8 海浜流分布

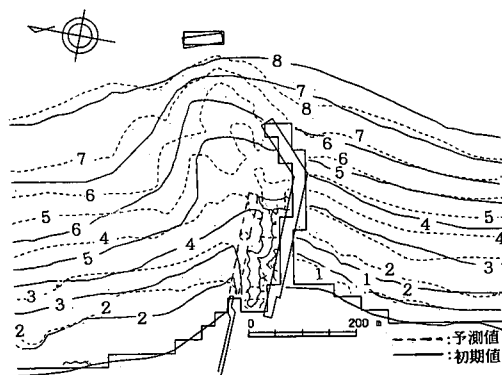


図-9 計算による等深線変化図 (CASE-6)

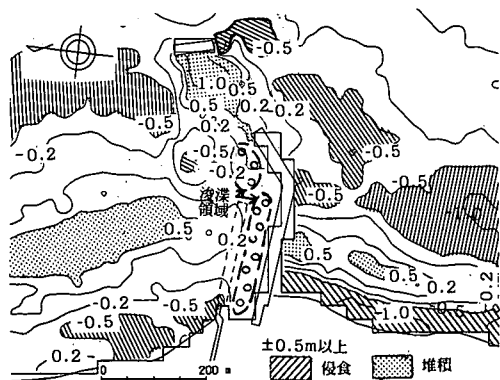


図-10 実測による侵食堆積分布

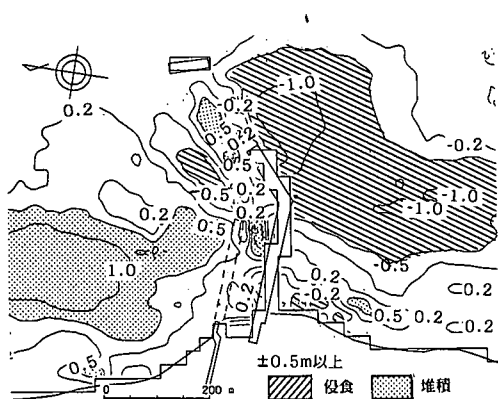


図-11 計算による侵食堆積分布 (CASE-6)

6. あとがき

地形変化の計算で、渡辺ら (1984) の提案した底質量の保存則に、Bijker (1980) の提案した漂砂量の算定式を組み合わせる手法は、現況再現計算の結果、侵食・堆積の分布型、絶対量について満足できるものであった。河口沖には、テラス地形が発達し貯砂源となることが知られているが、この貯砂源から海浜への土砂供給の機構に関する研究 (宇多ら, 1994; 大中ら, 1994) で把握されたものと同様の流況・水深変化が生じていることが判った。ただ、沖防波堤背後の中央粒径は $d_{50}=0.18\text{ mm}$ であるが、再現性がよいのは、沖防波堤以沖の粒径 $d_{50}=0.12\text{ mm}$ であった。今後の課題として、粒径の平面分布をモデルに盛り込む必要がある。また波浪変形を不規則波扱いに拡張した非定常緩勾配方程式により計算し、再現性を高めたい。

参考文献

- 入江 功・栗山善昭 (1985): 底質の移流沈降過程を入れた航路・港内埋没の予測, 港研報告, 24 巻, 2 号, pp. 157-204.
- 宇多高明・高橋 晃・松田英明 (1994): 相模川河口沖テラスの地形的特徴とその変形過程, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 441-445.
- 大中 晋・早川 淳・諫山太郎・太田和男・山口菊男 (1994): 相模川河口部における波・流れ・地形変化, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 436-440.
- 尾崎 晃 (1972): 漂砂による小港湾埋没防止対策に関する一考察, 第 19 回海岸工学講演会論文集, pp. 47-51.
- 黒岩正光・野田英明 (1991): 中小漁港の埋没機構, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 411-415.
- 清水琢三・野谷 斎・坂野雅人・水流正人・杉本雅一・長野 章 (1991): 富岡漁港建設途上における港口および港内埋没, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 406-410.
- 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.
- Bijker, E. W. (1980): Sedimentation in Channels and Trenches, Proc. of 17th Conf. coastal Eng, pp. 1708-1718.