

中小漁港の埋没機構

黒岩正光*・野田英明**

1. まえがき

近年、沿岸開発を目的とし、海岸には様々な構造物が建設されている。特に、砂浜海岸では新たに構造物を建設するとその影響でその周辺地形は変化する。砂浜海岸において建設された小規模な港（特に漁港）の埋没現象もその一つである。

中小漁港の埋没に関する研究について、著者らの一人野田（1966）および尾崎（1964）は、それぞれ福井県の茱崎漁港および北海道の節婦漁港における港内埋没の防止対策法に関する模型実験を行っている。さらに、尾崎（1971, 1972）は、様々な漁港の港内埋没に関する資料を収集し、これらの埋没現象を3つのタイプに分類し、港湾埋没を支配する要因について整理している。しかし、港内堆砂のメカニズムが十分に明らかになったわけではない。

さらに最近では、構造物周辺の地形変化予測手法に関する研究がなされており、特に、港湾埋没については、シルテーションによる港内堆砂の予測手法が提案されている（丸山ら, 1982; 近藤ら, 1988; 鶴谷ら, 1989）。しかし、これらは大港湾における比較的細かい粒子による埋没の予測手法であるため、これがそのまま中小漁港に適用できるわけではない。今後、汎用性のある港内堆砂の予測手法を開発する必要がある、そのためにはまず、いまだ十分に明らかにされていない漂砂による港内埋没機構について詳細に把握する必要がある。

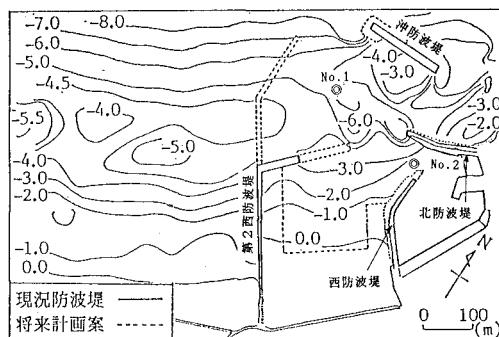
鳥取県中央部に位置する泊漁港は古くから港内埋没に悩まされており、1984年には旧漁港の水面積の2/3が埋没していたことが報告されている（速水, 1950）。現在では、港の拡張工事が進められ旧漁港の西側に漂砂による堆砂が発生している。昨年、著者ら（1990）は泊漁港にて調査した結果から港内埋没のメカニズムを把握する第一段階として、観測された流速データから数値フィルターを用い沿岸流成分を抽出し、それが地形変化におよぼす影響について調べた。本研究では、海底地形が波と流れの複合作用により変化するということから、その両

者を外力として考え、測得されたデータから波動成分をも抽出し、地形変化との関係について検討する。さらに、過去の深浅測量図から同港周辺の漂砂動態を調べ、港内堆砂機構について検討しようとするものである。

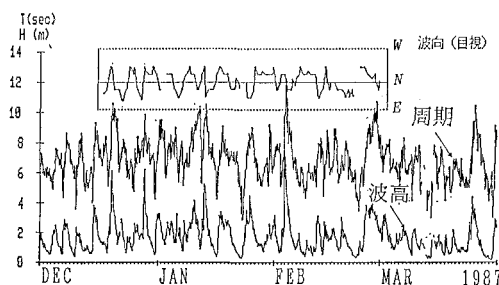
2. 泊漁港と現地観測

図一1は、泊漁港の概要および周辺の海底地形（1986年10月）を示したもので、図中に示す◎印は海底地盤高測定点および流速測定点を表す。港口は西に向いており、その付近の水深は4~5mで、底質粒径は0.2~0.3mmである。

現地調査は、1986年12月17日から翌年の2月28日まで行われた。その調査内容は電磁流速計による流速測定（測点 No. 1）、砂面計による海底地盤高測定（測点 No. 1, No. 2）および波浪観測である。なお流速は平均水面下4.0mの位置で測定され、波浪は泊漁港東方25



図一1 泊漁港の概要



図二 観測期間における波浪記録

* 正会員 工修 鳥取大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科

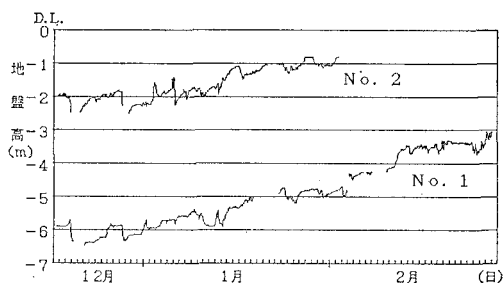


図-3 海底地盤高の時間的変化

km にある鳥取沖で常時観測されているものを用いた。図-2 は、観測期間中を含む波浪記録の時間的変化を示したもので、有義波波高、周期および波向（目視）を示している。観測期間中における平均有義波波高および周期はそれぞれ 1.7 m および 6.9 sec であった。図-3 は、測点 No. 1 および No. 2 における海底地盤高（水深に相当する）の経時変化を示すものであり、1986年12月17日12時から1987年2月28日22時までの期間のものである。この図から明らかなように、海底地盤高はただ単純に上昇しているのではなく短期間に急激な侵食あるいは堆積を繰り返しながら全体では堆積傾向にある。この急激な地形変化は港内堆砂のメカニズムを把握するのに重要であると考えられる。

3. 波と流れによる地形変化

測点 No. 1 に設置された電磁流速計によって観測された流速には沿岸流による定常流成分と波動による水粒子の往復成分とが含まれている。著者らは、それら成分の分離法を開発し、その手法についてはすでに報告した（1990）。ここではまず得られた波動成分の水粒子速度からその測点における有義波波高および周期の算定を試みる。

観測点を通過する一つ一つの波の峰幅が十分長い場合は速度の水平2成分の測定から波向および波高を計算することができる。線形波理論によると水面波形は

$$\eta = H/2 \cos(kx - \sigma t) \quad (1)$$

で、水平水粒子速度は

$$U = \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \eta \quad (2)$$

で表される。ここに、 z は平均水面からの鉛直距離であり、 h は水深を表わしここでは砂面計により得られた値を用いる。なお、 $z = -4.0$ m である。したがって、得られた水粒子速度の時系列データをゼロダウンクロス法により波別に分離し、上記の線形波動理論によって水面波形を逆算し、有義波波高および周期を逆算した。図-4 は1987年1月15日から31日までの鳥取港沖および前述の方法によって得られた泊漁港内（測点1）における波浪特性を表わしたものである。なお港内波高の欠測は、

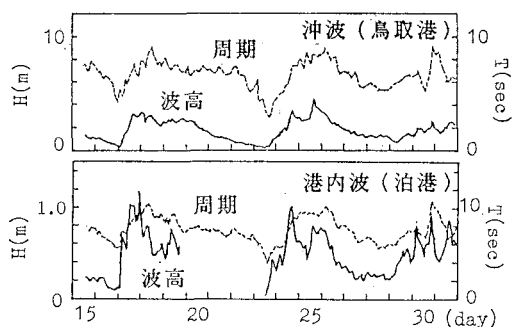


図-4 鳥取港沖および泊漁港における波浪（1月）

砂面計データの欠測のためであり、砂面計の測定範囲（ ± 1.5 m）外に海底面が上昇したか低下したかによる。これらを比較すると、測点1における波高は鳥取港沖におけるそれより小さく、一方、周期は若干大きくなっているが、両者の変動特性はほぼ一致している。

従来、岸沖漂砂に関する漂砂量公式は無次元掃流力（シールズ数）をパラメータとして表され、様々な公式が提案されているが、それらはさらに漂砂の移動形態によって分類される。土屋ら（1987）は、シールズ数 Ψ をパラメータとして漂砂の移動形態の発生条件について整理している。それによると、掃流状態（BL）から浮遊状態（SL）への遷移のとき $\Psi = 0.1 \sim 0.2$ 、浮遊状態からシートフロー状態（SF）のとき $\Psi = 0.5 \sim 0.6$ である。一般に、SL 状態では漂砂は沖向きを示し、BL および SF 状態では岸向きを示す。清水ら（1990）は、漁港内において現地調査を行い、その結果と併せ、漂砂の移動形態を考慮に入れ既往の漂砂量算定式の現地適用性について検討している。著者らも前述の方法によって得られて波浪特性（ $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ ）からシールズ数 Ψ を計算し、漂砂の移動形態と海底地形変化との関係について検討する。なお、シールズ数は次式

$$\Psi = \frac{f_w u_b^2}{2sgd_{50}} \quad (3)$$

で表わされ、ここに u_b ：底面水粒子速度、 d_{50} ：底質の中央粒径、 s ：底質の水中比重、 g ：重力加速度、 f_w ：Swart（1976）の近似式による底面摩擦係数であり次式で表される。

$$f_w = \exp \left\{ 5.213 \left(\frac{k_N}{D} \right)^{0.194} - 5.977 \right\} \quad (4)$$

ここに、 D ＝底面における水平水粒子速度の振幅、 k_N ：底面の粗度（ $=2.5 d_{50}$ ）である。

図-5、6、7 および 8 はそれぞれ 1986年12月18日～22日、25～29日、1987年1月24日～28日および2月1日～5日における有義波特性（沖波および港内波浪）、沿岸流向、波向、シールズ数、沿岸流速、および海底面地盤高を示したものである。なお波向は、後野ら（1989）

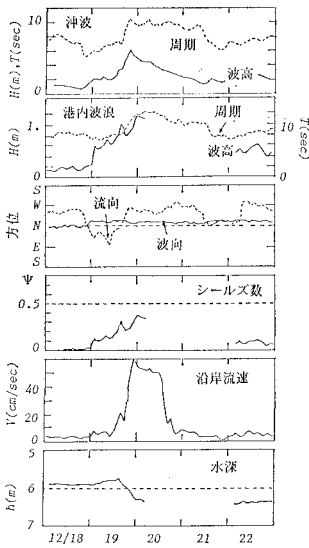


図-5 波浪特性と地形変化
(1986年12月18日～22日)

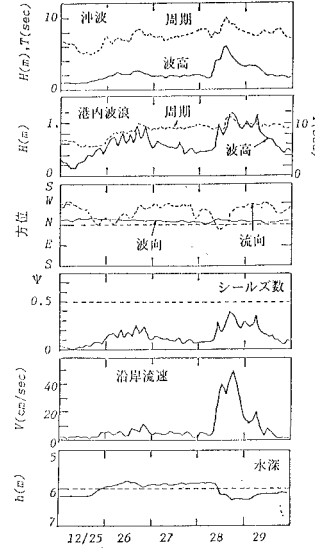


図-6 波浪特性と地形変化
(1986年12月25日～29日)

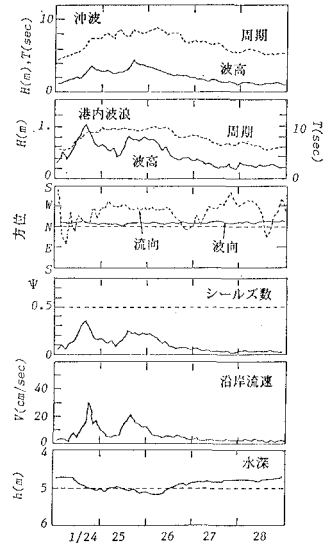


図-7 波浪特性と地形変化
(1987年1月24日～28日)

の手法によった。これらの図から明かなように、海底面が急激に低下する現象がみられるのは、シールズ数 Ψ が $0.2 \sim 0.4$ (SL 状態)、沿岸流速が $30 \sim 60 \text{ cm/s}$ で、流向が NE から W あるいは E から W に変化するときである。なおこのときの港内における波高および周期はそれぞれ $1.0 \sim 1.1 \text{ m}$ および 10 sec である。沖波のそれらは $4 \sim 6 \text{ m}$ および 10 sec 程度である (12月19, 28日, 1月24日)。また、沿岸流速がかなり小さくても、漂砂が浮遊状態 ($\Psi = 0.3$) であるとき若干の海底面の低下が見られる (2月3日)。一方、沿岸流速が比較的大きく 50 cm/s 程度

均値に近い値となっている。また流向は NW~NE あるいは N に変化している (12月19日, 25日, 1月26日)。

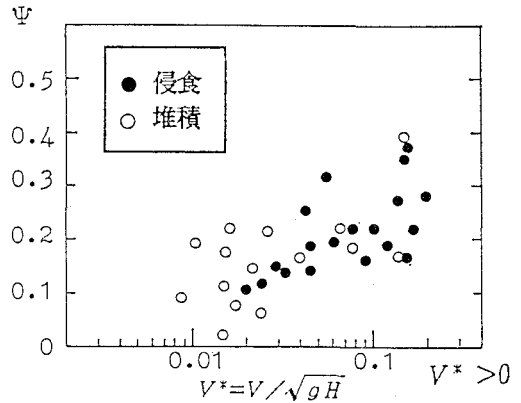


図-9 侵食と堆積の発生領域 ($V^* > 0$)

のときでも、漂砂の移動形態が浮遊状態からシートフロー状態に変化したとき ($\Psi > 0.5$) 海底面は急激に上昇している (2月3日)。さらに漂砂が掃流状態 ($\Psi = 0.05 \sim 0.1$) かつ、沿岸流速が 5 cm/s 程度のとき海底面は上昇傾向にある。なお、このときの沖波は波高が $1 \sim 2 \text{ m}$ 、周期が 7 sec 程度であり、観測期間中における波浪条件の平

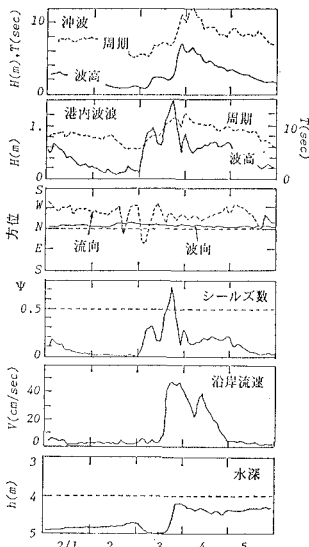


図-8 波浪特性と地形変化
(1987年2月1日～5日)

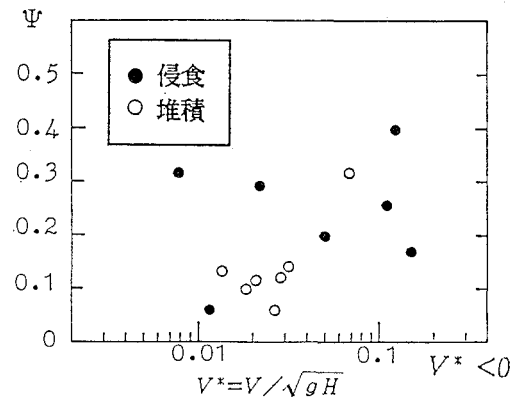


図-10 侵食と堆積の発生領域 ($V^* < 0$)

さらに、以上の侵食および堆積現象について詳細に検討しよう。図-9 はシールズ数 (Ψ), 無次元沿岸流速 ($V^* = V/(gH)^{1/2}$) と侵食堆積の関係を示したもので、 $V^* > 0$ (W から E に向かう流れ) の場合である。なお○印は堆積を、●印は侵食を表わし、砂面計による微地形変動 (2.5cm 以下) は除外した。この図から侵食は $\Psi < \alpha \log V^*$ すなわち V^* が一定の場合、 Ψ のある値を超えない範囲にあることがわかる。逆に堆積は $\Psi > \alpha \log V^*$ に多くみられるが、必ずしも明確でない。一方、図-10 は $V^* < 0$ (E から W に向かう流れ) の場合の同様の結果であるが、これからは侵食および堆積の遷移領域は明確でない。

4. 泊漁港周辺の漂砂動態

今回の調査において、泊漁港内に設置された砂面計による観測結果から、港内では漂砂による堆砂が発生しているのが明らかとなった。しかし、同港とその周辺域における海底面の変動傾向は明かでなく、過去の深浅測量結果にもとづいて泊漁港周辺の漂砂の動態について調べた。

まず、漁港拡張工事 (第2西防波堤築造) に伴う汀線変化について調べた (図-11)。1978年にはまだ第2西防波堤はなく、1985年10月にはこの防波堤の一部が完成している。1987年の汀線を基準とすると、1985年には防波堤の両側で顕著な汀線の前進が見られる。1986年5月には防波堤がさらに延長され、それにともない汀線は前進し、同年の10月から翌年1987年5月までには、第2西防波堤もほぼ完成し、堤内の汀線はさらに前進しているのがわかる。一方、堤外の汀線は1986年5月以降は大きな変動は見られない。

つぎに、図-12 は、観測以前の1986年10月における深浅測量図と観測終了後の1987年5月におけるそれとの比較による侵食・堆積図である。図中に示す正の値は堆積域を、負の値は侵食域を表わす。この図から、第2西防波堤内および沖防波堤の岸側 (測点1) には堆積域が、一方、沖防波堤の沖側においては広い侵食域が見られる。また港外西側、すなわち、港口付近から西側では広い侵食域がみられる。旧漁港内における侵食域は水深維持のための浚渫によるものである。さらに、図-13 は、1985年10月と1986年5月の同様の結果を示すもので、前図と共通することは、第2西防波堤内で堆積していること、一方沖防波堤と北防波堤の間が2年間とも侵食されていることである。また、港外西側においては、前図とやや異なるが、第2西防波堤より西側では東西に延びた侵食および堆積域がみられる。図-14 は、1986年5月および同年10月の深浅測量結果から得られた侵食・堆積図である。泊港内に若干の地形変化が見られるものの沖合においてはほとんど変化がみられない。これ

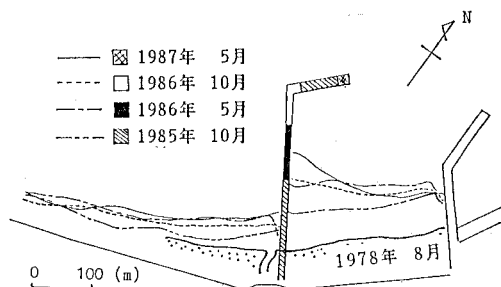


図-11 泊漁港周辺の汀線変化

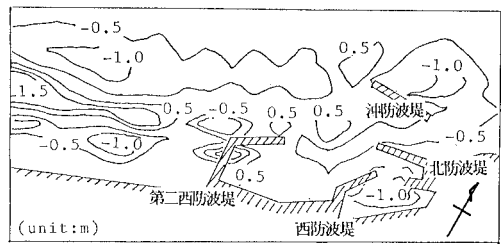


図-12 侵食・堆積図 (1986年10月~1987年5月)

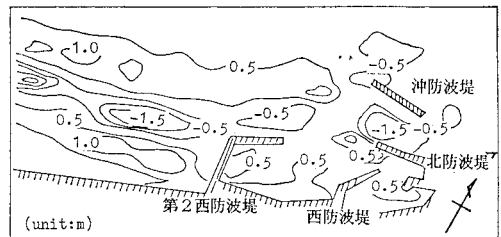


図-13 侵食・堆積図 (1985年10月~1986年5月)

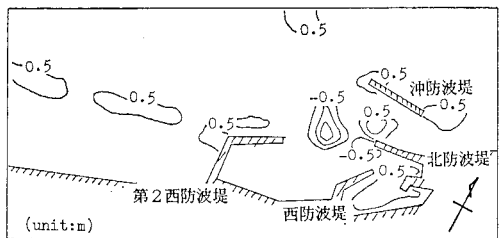


図-14 侵食・堆積図 (1986年5月~10月)

は夏季における波浪が小さく地形変化を起こす主要な要因が皆無であるためである。しかし、沖防波堤と北防波堤との間の区域で侵食と堆積の領域があり、前述した冬季の結果とは異なっている。

従来から、鳥取における波浪は $NW \sim NNW$ の頻度が高く、泊漁港の埋没も冬季に発生する。泊海岸における冬季の漂砂卓越方向は W から E であるが、港内におけるそれは必ずしも明確ではなく、また、沖防波堤と北防波堤付近が侵食されていることを考えると、防波堤配置が港内堆砂に影響することが予想される。

5. あとがき

泊漁港において実施した調査結果をもとに港内堆砂機構について調べてきた。その結果、波による漂砂の移動形態と密接に関係していることが明らかである。すなわち、波による漂砂の移動形態が浮遊状態に遷移したとき、沿岸流の作用とともに海底面は低下し、漂砂が掃流状態のとき堆積する傾向がみられる。さらに、シートフロー状態では沿岸流の作用とともに大量の漂砂が港外から運搬され堆積することが推定された。また、過去の深浅測量結果から泊漁港周辺の漂砂の動態が把握できた。

最後に、本研究に当たりご協力を頂いた漁港浅海開発コンサルタントおよび鳥取県農林水産漁港課の諸氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 尾崎 晃 (1971): 港湾付近における海浜変形と底質との関係, 第 18 回海岸工学講演会論文集, pp. 401-404.
- 尾崎 晃 (1972): 漂砂による小漁港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・林 浩志・野田英明 (1990): 中小漁港の埋没調査, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 419-423.
- 近藤浩右・清水琢三・金山 進・村山恒男 (1988): 取水港湾における砂およびシルトの港内堆積予測, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 367-371.
- 清水琢三・近藤浩右・渡辺 晃 (1990): 局所漂砂量算定式の現地適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 274-278.
- 土屋義人・坂野雅人 (1987): 漂砂形態とその発生領域, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 222-226.
- 鶴谷広一・村上和男・入江 功 (1989): 多層レベルモデルによる航路埋没の予測計算, 海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 379-383.
- 後野雅夫・榎木 亨 (1989): 波向き制御構造物の試み, 第 44 回土木学会年次講演会概要集, pp. 708-709.
- 速水頌一郎 (1950): 泊港湾の漂砂に関する研究, 鳥取県漂砂対策調査報告書, pp. 35-50.
- 丸山康樹・鹿島遼一・成広明夫・近藤浩右 (1982): 発電所港湾における港内堆砂の予測モデル, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 294-298.
- Ozaki, A. (1966): On the effect of an offshore breakwater on the maintenance of a harbor constructed on a study beach, 9th ICCE, pp. 323-345.
- Noda, H. (1966): Model study on the filling-up of a fishing harbor by drifting sand, 10th ICCE, Vol. 1, pp. 564-594.
- Swart, D. H. (1976): Predictive equations regarding coastal transports, ICCE, pp. 1113-1132.