

富岡漁港建設途上における港口および港内埋没

清水 琢三*・野谷 斎**・坂野 雅人*
水流 正人**・杉本 雅一*・長野 章**

1. まえがき

外洋に直接面する砂浜海岸に漁港を建設する際には、機能維持の観点からの静穏度確保に加えて、港口および港内の堆積を極力低減することが重要な課題となる。しかしながら、漁港の場合、施設規模が小さいため建設途上において碎波帯内に包まれることが多く、しかも施設の建設速度が遅いため泊地および港口予定域に著しい堆積を生じる場合が多い。現在建設中の福島県富岡漁港においても、周辺は比較的砂層厚の薄い海岸であるにもかかわらず、顕著な港口および港内埋没を生じている。

本研究では、富岡漁港の建設当初の昭和61年から継続して実施されている約6年間の深淺測量データを解析し、漁港建設過程における港口・港内埋没機構を明らかにした。さらに、3次元海浜変形モデルによる現象の再現を試み、モデルの現地適用性と課題について検討した。

2. 漁港建設に伴う地形変化

2.1 検討対象地点の概要

富岡漁港は、福島県の太平洋岸のほぼ中央、双葉郡富岡町の富岡川河口右岸に建設中の第1種漁港である(写真-1, 図-1)。漁港と約2km南の東京電力(株)福島第二原子力発電所専用港湾の間は砂浜海岸であるが、直立の護岸が建設されており、漁港の建設を開始した昭和60年当時は富岡川と紅葉川の河口を除いて汀線部に砂はな

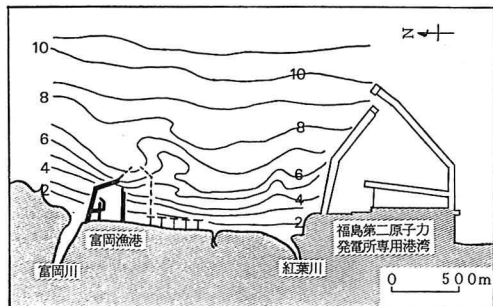


図-1 富岡漁港周辺の海底地形

く、長期的には侵食海岸であった。また、富岡川以北と福島第二原子力発電所の南側は、河口部を除き高さ30~50mの主として泥岩で構成される海蝕崖が連なっている。漁港前面の海底地形は、大陸棚が発達し、汀線にはほぼ平行な等深線を有する海底勾配1/70~1/100の緩勾配海岸である。砂層厚は漁港建設前の調査結果によれば平均0.5~1.0mと薄く、岩盤が露出して起伏の著しい凹凸部も存在する。漁港の南側沖合の6~7m等深線の沖への張り出しはこのような岩礁の露出域にあたる。なお、漁港周辺の底質は中央粒径0.2mm程度の細砂である。

2.2 漁港建設に伴う地形変化

(1) 防波堤の建設経緯と等深線変化

図-2は漁港建設に伴う水深0, 2および4mの等深線の変化を防波堤工事の進捗状況と併せて示したものである。

①1988年12月以前(図-2(a), (b))

外郭施設の建設は、1985年度に始まり、1986年11月には北防波堤が、1987年12月には東防波堤約80mおよび中防波堤が完成し、一旦開港可能な形状となった。しかしながら、北防波堤とその延長である東防波堤の伸長に伴い、防波堤南側で片トンボロ状の地形の発達により港口および港内泊地予定域に顕著な堆積が生じた。

②1988年12月~1990年7月(図-2(c), (d))

1988年12月~翌年2月にかけて港内泊地浚渫が実施されたものの、短期間のうちに再び港口・港内埋没をきたした。そこで、これ以降は港内静穏度の確保を目的とし



写真-1 富岡漁港(1991年3月;干潮時)

* 正会員 工務 (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

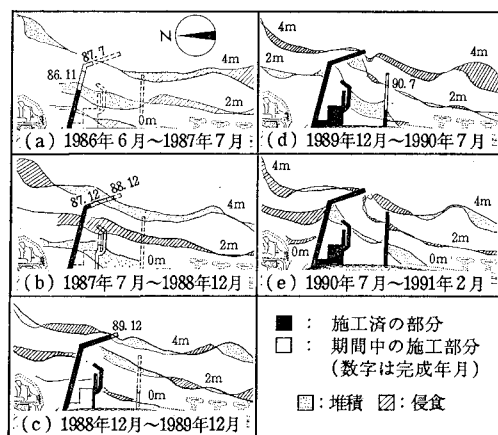


図-2 漁港建設に伴う等深線変化

た東防波堤の延長と同時に、防砂突堤としての機能を意図した南防波堤の建設が開始された。1989年2月～1990年7月には南防波堤の基部70mが建設されたが、長さが短かったため高波浪時には効果がなく、さらに延長された東防波堤の背後と中防波堤と南防波堤に挟まれた区域で顕著な堆積を生じた。

③1990年7月～1991年2月（図-2（e））

南防波堤がさらに130m延長された1990年7月以降は、南防波堤の南側基部の汀線付近で顕著な堆積がみられるものの、南防波堤先端付近から港口にかけては等深線変化は少なく、南防波堤建設の効果が現れているものと判断される。

（2）港口付近の領域別平均水深変化

①1988年12月以前（港内浚渫以前）

図-3は、港口から港内にかけての3領域（領域1，2，3）における平均水深変化を示したものである。東防波堤の建設が始まった1987年9月以降（建設箇所D），港内奥の領域1で堆積速度の増加が顕著である。また、領域2，3は東防波堤の延長直後に急激に堆積が進み、3カ月程度で平衡状態に落ち着いているが、領域1はその後もほぼ一定の割合で堆積が進行している。これは東防波堤の延長により防波堤背後の遮蔽域へ向かう海浜流

が助長されたためと考えられ、まず、この海浜流によって港口付近に堆積し、続いて波により港内奥の領域1へ砂が持ち込まれたものと推定される。

②1989年2月以後（港内浚渫以後）

1988年12月～翌年2月の浚渫直後も①と同様の堆積パターンがみられたが、南防波堤が完成した1990年7月以降は各領域とも平衡状態になっており、南防波堤により海浜流による漂砂が効果的に遮断されている様子が伺える。ただし、港内の領域1，2は干潮時には写真-1に示した通り一部陸化しており、すでに堆積が飽和状態になっているので、その効果を過大評価することは危険であると考えられる。後に示す1990年9月の現地調査の結果でも、南防波堤北側の港内で依然として時計廻りの顕著な海浜循環流が生じている。南防波堤建設以前に比べれば、確かに沿岸流によって直接港内へ持ち込まれる漂砂は減少しているが、波により新たな港口より流入した砂が循環流によって領域2，3に運ばれ、堆積することが考えられる。

このような防波堤建設途上における片トンボロ状の地形変化は、通常の砂浜海岸であれば建設以前に十分予想される現象であるが、建設予定域周辺は岩礁が一部露出するほど砂層の薄い海浜であったことや、福島第二原子力発電所専用港湾建設時に防波堤に沿った堆積が顕著でなかったこともあって、漂砂の供給が極めて少ないものと考えられていた。しかしながら、実際には、漁港周辺の堆積速度および堆積の規模は予想を上回る大きな変化であった。

3. 3次元海浜変形モデルによる漁港埋没の検討

富岡漁港建設途上の地形変化は、①東防波堤背後へ向かう海浜流による漂砂に起因する港口部の局所的な堆積と、②波による漂砂に起因する港内奥への流入・堆積の2つによって特徴付けられる。本来、両者は相互に関連して並行して生じる現象であるが、本検討では、①の港口付近の堆積を3次元海浜変形モデルにより、②の港内への流入砂量を渡辺（1981）の局所漂砂量算定式により

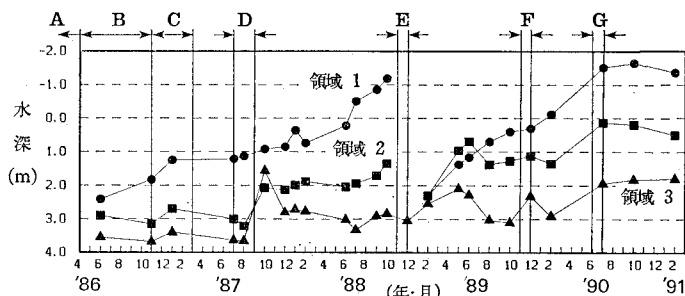
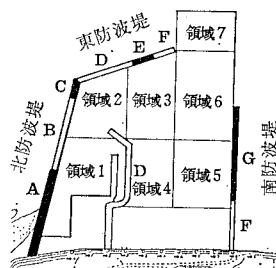


図-3 港口付近の領域別平均水深変化



個別に評価することを試みた。検討に用いた3次元海浜変形モデルの波浪、海浜流、地形変化の計算法は、清水ら(1989)と同じである。

3.1 波浪・海浜流場の現地検証

(1) 現地調査の概要

図-4に示す漁港内外の代表6地点において、水圧センサー付き電磁流速計を用いて波浪・海浜流場の現地観測を実施した。調査は1990年9月5日~10月11日の約1ヵ月間、毎偶数時に10分間、0.5秒間隔でデータを収録した。また、沖合いの水深約12m地点で入射波浪を観測した。調査期間中には台風通過により有義波高3.5m程度の高波浪が2回来襲した。

(2) 実測値と計算値の比較

実測値と計算値の比較に当たっては、入射波浪観測の結果に基づき、波高を0.5m未満、1.5~2.5m、2.5m以上の3段階に、また波向をE以北、ESE、SE以南の3方向の合計9ケースに分類し、各ケース毎に波高、波向、流速、流向の平均値を求め、実測値とした。また、計算は各ケースの入射波高・波向の平均値に対して行い、各観測点での実測値と比較した。なお、計算範囲は沿岸方向約1km(12.5m間隔)、岸沖方向約0.8km(10m間隔)である。

図-5は、港外のP3と港内のP5の各観測時刻の実測値と比較した結果である。波高についてはE以北のみの観測値が、波向については全観測値がプロットされて

いる。エネルギー平衡方程式を用いているためか、防波堤直背後の回折域に当たるP5の波高をやや過小評価しているものの、実測値との対応は概ね良好である。また、全地点の各ケースの実測値の平均値と計算値の比較を図-6に示す。高波浪時には波高の計算値が実測値をやや過大評価しているが、波向はほぼ良好に再現されている。港口の沖合いの南側に岩礁の露出域があり、地形が複雑であることがその原因の1つであると考えられる。

図-7は、波向E、波高2.8mの高波浪時の海浜流況の計算例を示したものである。図中には、実測の流況も模式的に併せて示されている。港外、港内とも実測の特徴的な海浜流況が再現されている。港口が広く静穏度が十分確保されていないため、港内でも時計回りの速い流れが生じている。また、図-8は、流速の絶対値と流向の比較結果を示したものである。若干ばらつきはある

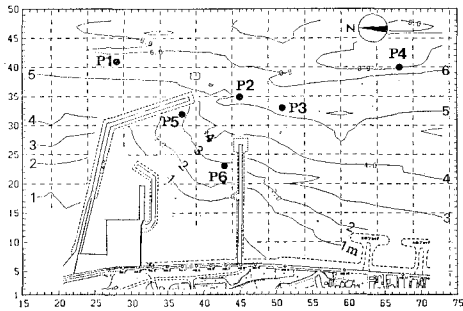


図-4 波浪・海浜流調査の調査地点

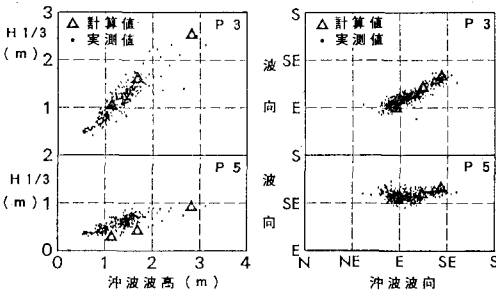


図-5 代表地点における波高・波向の比較

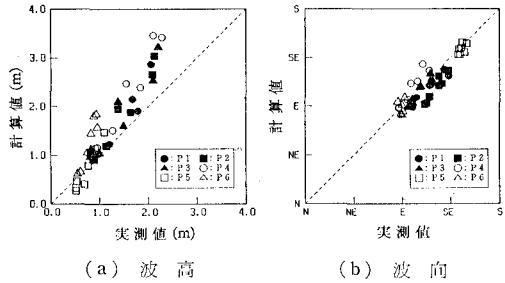


図-6 波高と波向の実測値と計算値の比較

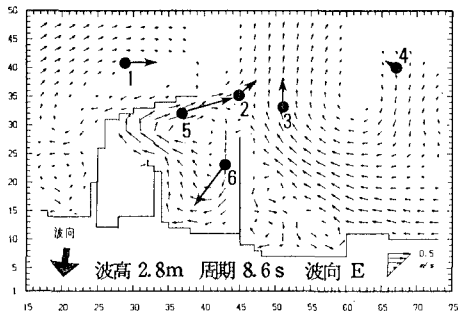


図-7 海浜流況の計算例(波向E)

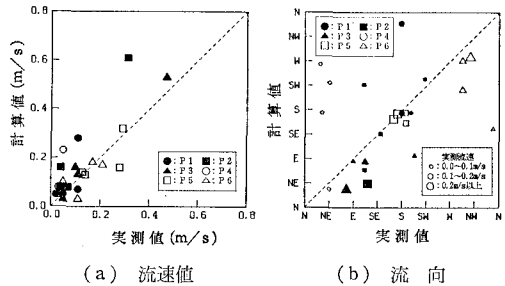


図-8 流向・流速の計算値と実測値の比較

ものの、高波浪時のデータに対しては、流速、流向とも再現性は概ね良好である。

3.2 港口部の地形変化の再現性の検討

波渚直後の1989年2月から12月までの港口周辺の地形変化の再現を試みた。非定常計算による検討に先立ち、海底地形が海浜流場と港口部の堆積特性に及ぼす影響を調べるため、波高 2m, 周期10秒, 波向をEと ESE の中間として、波渚直後の2月の地形と港口部の堆積が進行した12月の地形に対して定常計算を行った。その結果を図-9に示す。

同じ波浪条件であるにもかかわらず、港口付近の堆積が進行した12月の地形に対する結果の方が、流れが港口奥まで達しており、その結果得られる地形変化も顕著で、堆積量、堆積域とも増加している。この結果からも長期間の地形変化を再現するためには、地形変化の履歴を考慮した非定常解析が重要であることが確認される。

次に、1989年2月を初期地形として12月までの約10カ月の港口周辺の地形変化の再現を試みた。その間の波浪を図-10に示すように2時化で代表させてモデル化し、22ステップの繰り返し計算を行った。なお、1ステップの波浪の継続時間は $2\text{m} \cdot 10\text{秒}$ のとき 2.875 日、 $3\text{m} \cdot 11\text{秒}$ のとき 2.25 日、 $4\text{m} \cdot 12\text{秒}$ のとき 1.5 日とした。初期地形と最終地形の侵食・堆積分布の実測値と計算値の比較を図-11に示す。なお、渡辺ら(1984)の流れによる漂砂量係数は試行錯誤により 0.2 に設定した。この値は清水ら(1990)によりまとめられた既往の研究例に比べて小さい。

港口と漁港南側の堆積や防波堤先端付近と漁港北側の侵食など地形変化の特徴的な傾向は概ね再現されている。しかしながら、計算結果では、顕著な堆積域が港口の狭い範囲に集中しているのに対して、実際には港内全体に及んでいる点が大きな違いである。これは、波による漂砂を考慮していないため、海浜流により港口部に運ばれて局所的に堆積した砂が、今度は高波浪時に波により港内へ持ち込まれるという機構をシミュレーションでは取り扱っていないためである。

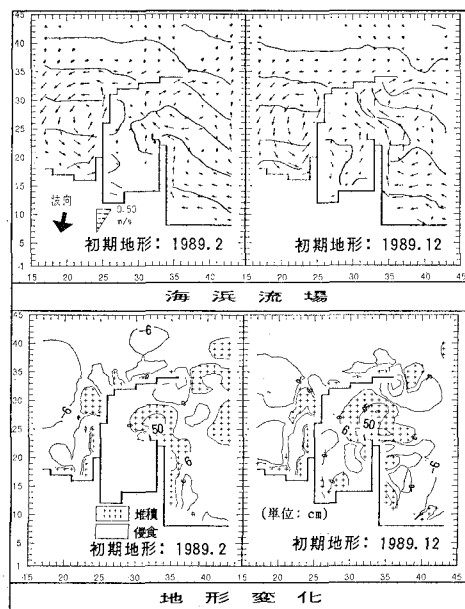


図-9 海底地形が海浜流況と地形変化に及ぼす影響

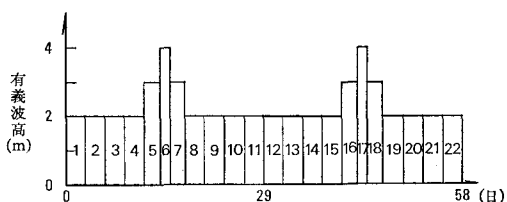
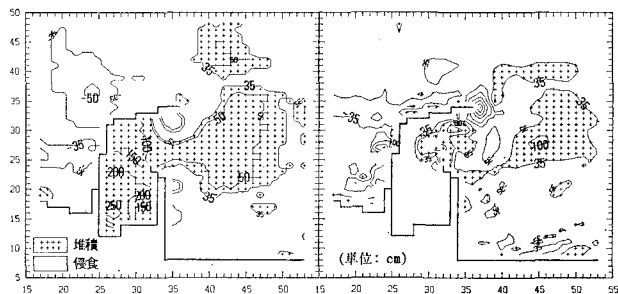


図-10 モデル時系列波浪

図-12は、図-3に示した各領域の平均水深の変化について、計算値を実測値と比較した結果であるが、港内奥の領域1を除いて、概ね定量的に再現されている。

以上のように、モデル時系列波浪を用いた非定常解析により各地点の水深変化まで精度良く推定することはできないが、平均的な地形変化については実用的な精度で定量的に評価できることがわかった。したがって、高波浪時の海浜流による漂砂に起因する港口部の局所的な堆



(a) 実測結果 (b) 非定常計算結果

図-11 侵食・堆積分布の実測値と計算値の比較

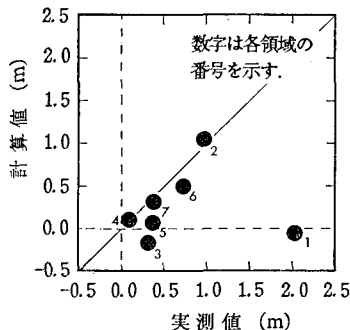


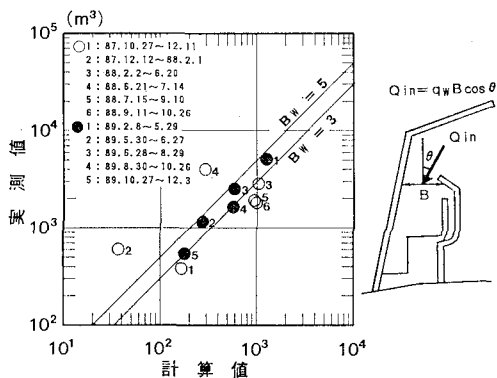
図-12 領域別水深変化の比較

積を防止するという観点から防波堤の配置計画を検討する際には、簡便なモデル時系列波浪を用いた非定常解析は有効な方法であると判断される。

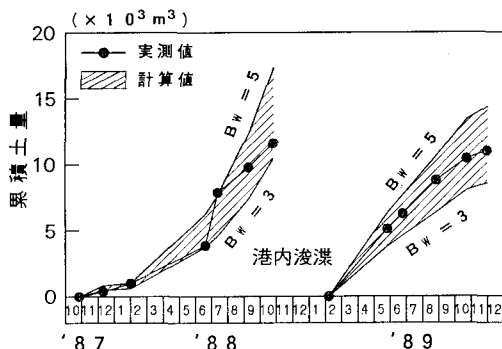
3.3 港内堆積量の評価

3.3 の3次元海浜変形シミュレーションでは波による漂砂を考慮していないため予測し得なかった港内奥の領域1への流入砂量を、渡辺(1981)の波による局所漂砂量算定式を用いて評価することを試みた。回折波の波向を考慮して有効港口幅を40m、回折係数を0.2と設定し、対象期間中の波浪の出現頻度を考慮して推定した。水深は、領域1と2の境界における実際的水深変化を考慮して期間中の平均水深を用いた。また、波高は、沖波条件から屈折・碎波変形を考慮して防波堤先端での波高を求めた後、さらに防波堤の回折と回折波の2次碎波を考慮して推定した。

1987年10月から1988年10月までの期間と港内浚渫後の



図一13 期間別堆積量の比較



図一14 累積土量変化の比較

1989年2月から12月までの期間を対象に、領域1の堆積量の推定結果と実測結果の隣り合う測量期間毎の比較を図一13に、各期間の累積土量変化の比較を図一14に示す。

実測土量との比較から渡辺(1981)の漂砂量係数 B_w は3~5、平均的には4程度の値をとることがわかる。清水ら(1990)によれば現地条件下では B_w は3程度の値をとることがわかっているが、今回の結果もこれに近い値となっており、渡辺(1981)の漂砂量算定式の係数 B_w はかなり普遍的な値であると考えられる。これに対して渡辺ら(1984)の波による漂砂量算定式の係数 A_w は、摩擦係数や沈降速度、粒径等によって B_w と関連付けられ、対象とした地点の条件に対しては B_w の0.025~0.03倍で、0.1程度の値をとることがわかった。したがって、3次元海浜変形モデルに取り込む場合は、 A_w は外力と底質条件によって変化させる方がよいと思われる。

4. あとがき

富岡漁港建設上の港口・港内埋没を対象に3次元海浜変形モデルの現地適用性と課題について検討した。再現性を高めるためには波による漂砂も同時に考慮しなければならないが、現地における移動形態の判別など未解明な部分が多く残されていることや計算時間を考慮すれば、現状では海浜流に起因する漂砂が支配的な現象に限って適用すべきであると考えられる。

なお、本研究は福島県富岡町より委託された「平成2年度富岡漁港漂砂調査」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

- 清水琢三・野谷 斎・近藤浩右・西 裕司・山本正昭 (1989): 海浜変形予測手法の現地適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 404-408.
- 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.
- 渡辺 晃 (1981): 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.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・楢山 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.