

海浜変形予測手法の現地適用性に関する研究

清水 琢三*・野谷 齋**・近藤 浩右*
西 裕司***・山本 正昭****

1. ま え が き

漂砂活動の活発な外洋性の砂浜海岸に漁港、港湾等の構造物を建設する際には、漁港および港湾の機能維持という観点からの港口、港内埋没対策のみならず、海岸保全の立場から周辺海岸への影響についても十分考慮する必要がある。したがって、対策工も含めた最適な施設配置計画を立案するためには、構造物建設に伴う海浜変形をあらかじめ予測評価しなければならない。従来行われてきた経験的な手法や相似則に問題のある移動床水理模型実験に代って、数値シミュレーションによる海浜変形予測手法（3次元海浜変形予測モデル）が近年急速に発展し（例えば堀川編, 1985）、実際問題への適用が盛んに行われるようになってきた。しかしながら、現地への適用性に関しては、これまで丸山(1987)、Maruyama and Takagi(1988)を除けば十分検討されていないのが現状である。そこで本研究では、沿岸漂砂の卓越する千葉県飯岡漁港を対象に、モデルの現地適用性について、現地データとの定量的な比較検討を行った。

2. 海浜変形予測手法の概要

2.1 計算手法の概要

3次元海浜変形モデルは、計算対象領域の波浪と海浜流の平面分布を計算し、その結果得られた各地点の水理量を用いて局所的な漂砂量を評価し、漂砂の連続式に基づき各地点の地形変化を予測するものである。モデルは、①波浪場の計算、②海浜流場の計算、③地形変化の計算の3つのサブモデルより構成され、通常この3段階に分けて計算が行われる。

本解析に用いた各ステップの計算手法の概要を表一1に示す。波浪場の計算手法としては、現地波浪が不規則波であることを考慮して、不規則波の屈折・浅水変形計算法である Karlsson(1969) のエネルギー平衡方程式に

基づき、便宜的に回折と碎波変形を考慮する手法を用いた。

2.2 定常解析と非定常解析

波浪、海浜流、地形変化は相互に干渉し合って時々刻々変化するもので、前述の①～③の各ステップを繰り返し計算する、いわゆる非定常解析を行うことが最も望ましい。しかしながら、現地への適用に当たっては各ステップの計算時間が膨大となるので、相互作用を無視して代表的な波浪条件数ケースについて、①～③の計算を1ステップ実施するにとどめているのが通例である。このような定常解析は、ある地形、外力条件下における潜在的な地形変化傾向を平面的に知ることができるため、構造物の平面配置の優劣を定性的に比較検討する場合に有効である。

一方、構造物建設に伴う長期的な地形変化を定量的に予測評価するためには、地形変化の履歴の影響を無視し得ないことが多いので、非定常解析を行う必要がある。反復計算時間間隔はできるだけ短い方が望ましいが、日々の波浪変化を考慮した場合には、実用的にはせいぜい1カ月程度の予測を行うのが精一杯である。しかしながら、対象とする地形変化と構造物のスケールによって

表一1 計算手法の概要

項 目	手 法
波 浪 場 の 計 算	・基礎式：波のエネルギー平衡方程式 〔Karlsson(1969)〕…浅水変形・ 屈折 ・回折の考慮：方向分散法 ・碎波の考慮：合田(1975)の不規則波の 碎波変形モデルの簡略式
海浜流場 の 計 算	・基礎式：水平面内の平均流に関する連 続式ならびに運動方程式 ・計算法：時間項、移流項、圧力項、底面 摩擦項、水平拡散項、外力項 (波のradiation stressによる項) を考慮した非定常計算法
地形変化 の 計 算	・基礎式：漂砂の連続式 ・局所漂砂量公式：渡辺ら(1984)の評価 式 漂砂量…パワーモデル 移動方向…平均流の方 向に一致 ・底面剪断応力の評価：田中・首藤(1980) の表示

* 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 工修 水産庁漁港部
**** 正会員 農博 水産庁水産工学研究所

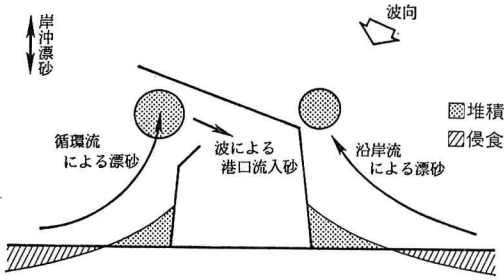


図-1 港口航路埋没機構の模式

は、ある程度以上の高波浪時にしか顕著な地形変化は生じないので、それ以下の波浪条件は無視することも可能である。したがって、3次元海浜変形モデルを長期的な地形変化予測に用いる場合には、最終的に目標とする予測精度や計算時間などを考えて、対象期間の波浪条件を可能な限り簡略にモデル化せざるを得ないのが現状である。

2.3 検討対象とする砂移動

海岸の砂移動は通常、波による岸沖漂砂と海浜流による漂砂に分けて取扱われる。図-1は、漁港外かく施設建設に伴う地形変化にとって支配的な漂砂を模式的に示したものである。漁港の港口埋没は、沿岸流および防波堤背後の回折域に発生する循環流によって防波堤に沿って運ばれた砂が港口部に堆積するという形で進行する場合が多い。また、港内埋没は、主として波による港口からの流入砂によって引き起されるが、この量は流れによる漂砂によって港口水深が浅くなると急激に増大するので、港内埋没を防止するためにも港口埋没を低減することが重要である。

波による岸沖漂砂は、短期間の海浜変形に対して支配的であるが、長期間の海浜変形に対してはキャンセルされると考えられている。このような考え方に基づく海岸線変化モデルの現地適用性がある程度確かめられていることから、長期間の海浜変形予測に対しては、波による漂砂を無視しても差し支えないものと考えられる。さらに、現地における波による漂砂の移動方向の判定ならびに移動量の算定など、未解明な課題を数多く残している現状では、波による漂砂は無視して、流れによる漂砂で現象がどこまで説明し得るかを、まず、明らかにすることが将来の一般化に向けた第1ステップであると考えられる。

3次元海浜変形モデルは、従来、比較的短期間の局所的な地形変化予測に適するものと位置づけられてきたが、本検討では、海浜流による漂砂のみを考慮した長期的かつ平面的な地形変化予測手法として取り扱う。すなわち、本検討に用いる3次元海浜変形モデルは、岸沖漂砂を無視した長期的な予測手法という点で基本的には海

岸線変化モデルと同じであるが、さらに海岸線変化モデルを平面的な海浜変形予測へと拡張したモデルとして位置づける。なお、このような流れによる漂砂のみを取り扱った3次元海浜変形モデルの現地適用例としては、鍵型防波堤背後の循環流による堆積（いわゆる片トンボロ地形の発達）を再現した Maruyama・Takagi(1988)の研究が挙げられる。

3. 現地への適用性の検討

3.1 検討対象地点の概要

飯岡漁港は、我が国有数の海蝕崖である屏風ヶ浦とその南西に広がる九十九里浜の接点に位置する第一種漁港である（写真-1）。漁港前面海域は屏風ヶ浦から九十九里浜への沿岸漂砂の通過域に当たするため、防波堤の建設以来漁港埋没の問題に悩まされてきた。東防波堤の延長にもかかわらず、新たな港口がたちまち水深2m以下に埋没してしまうという結果を繰り返してきた。

図-2は、昭和61年6月から昭和62年10月までの約1年半の地形変化を示したものである。漂砂の上手側では、東防波堤に沿って堆積が著しく、特に東防波堤先端から港口にかけて顕著である。一方、下手側に当たる漁港西側では全体的に侵食域が広がっている。また、外西防波堤の基部でも堆積がみられる。当地点では、沖波向SEあるいはESEの波浪が卓越しており、漁港に対して東寄りから斜め入射する。したがって、高波浪時には漁港の東側では東防波堤に沿って西に向かう沿岸流が発達すると同時に、漁港西側の遮蔽域では港口に向かう時計廻りの循環流が発生し、上述の地形変化を引き起こしたものと考えられる。このような地形変化は、沿岸漂砂が卓越する海岸に構造物を建設した場合の典型的な地形変化パターンである。

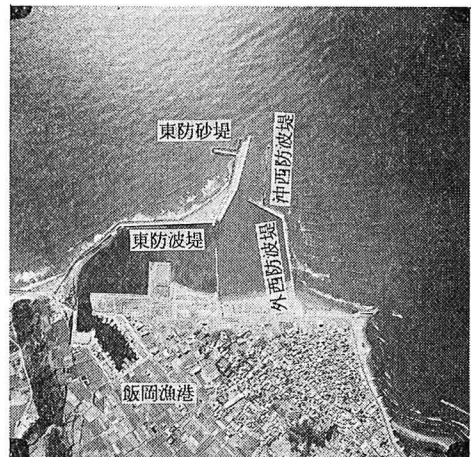
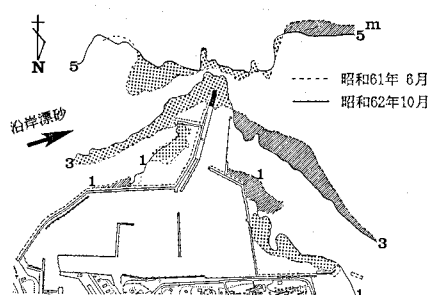
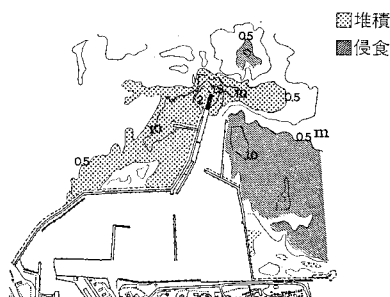


写真-1 飯岡漁港の航空写真（昭和62年2月）



(a) 等深線比較図



(b) 侵食・堆積分布図

図-2 飯岡漁港周辺の地形変化

3.2 波浪・海浜流場の検証

(1) 現地調査の概要

昭和62年9～10月に約1カ月間にわたり実施された現地調査結果を検証データとして、波浪・海浜流計算の妥当性について検討した。用いたデータは、水深15m地点（飯岡漁港原点より SSE 方向約6km 地点）で実施した入射波調査結果（超音波高計と電磁流速計）と図-3 に示す漁港周辺の流速調査結果（電磁流速計）である。ただし、POINT 7 地点は、同一時期に千葉県銚子土木事務所によって実施された下永井海岸における調査結果である。

調査期間中、台風13号、16号と2回の台風通過に伴い、長期にわたり有義波高2m以上の高波浪が来襲した。観測された最大有義波高は、台風13号通過時の9月17日の5.5m であるが、欠測中にはそれ以上の高波浪が来襲したものと推定されている。波向はE～SSEの範囲で変化しているが、卓越方向はSE, ESE である。今回の調査では、台風の通過に伴い波向が南寄りから東寄りへと変化しており、種々の波向の高波浪時のデータを得ることができた。

(2) 実測値と計算値の比較

実測値と計算値の比較に当っては、実測データを入射波高別に3段階（2m 以下、2～3m, 3m 以上）、入射波向別に3方向（ESE 以東, SE, SSE 以南）の合計9ケースに分類し、各ケース毎に平均値を求め、実測値と

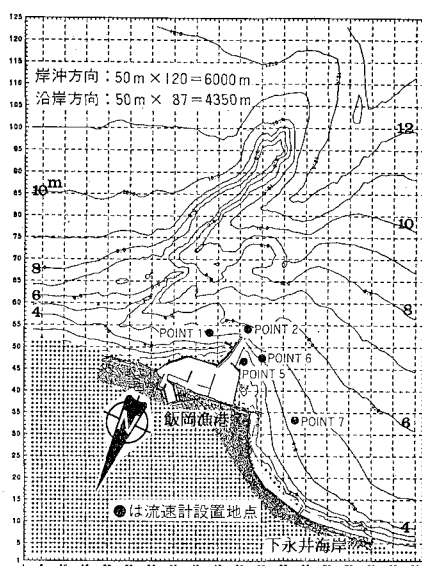


図-3 計算対象領域と流速計設置地点

した。また、実測の9ケースに対応して入射波浪条件3ケース、 $2\text{m} \cdot 8\text{s}$, $3\text{m} \cdot 10\text{s}$, $4\text{m} \cdot 12\text{s}$, 入射波向3ケース, ESE, SE, SSE の合計9ケースに対して、図-3 に示す沿岸方向約4km, 岸沖方向約6kmの範囲を対象に50m メッシュで数値シミュレーションを実施し、計算値とした。港口部周辺の海底地形は、現地調査直後に行われた昭和62年10月の深浅測量結果を用いた。

図-4 は流速計設置地点の主波向について実測値と計算値を比較した結果である。ただし、波向は周期による違いがほとんどなかったため、 $3\text{m} \cdot 10\text{s}$ の結果を示した。計算格子が50m とやや粗いこともあって、構造物近傍の POINT 5 では一致はよくないものの、他の地点では概ね良好な対応を示している。なお、ピーク波向による比較も行ったが、沖合のバー型地形背後の波向線交差域に当たる POINT 2 で対応が悪く、主波向あるいは平均波向を用いた方が良いことがわかった。

図-5 は波向 ESE のときの海浜流況の計算結果に、実測の平均的な流速ベクトルを重ね書きしたものである。図中の太いベクトルが実測値であるが、計算値とはスケールが異なる。同図からも高波浪時の特徴的な流況パターンが概略再現されていることがわかる。

流速の絶対値と流場について、計算値と実測値を比較した

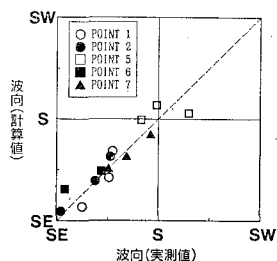


図-4 主波向の比較

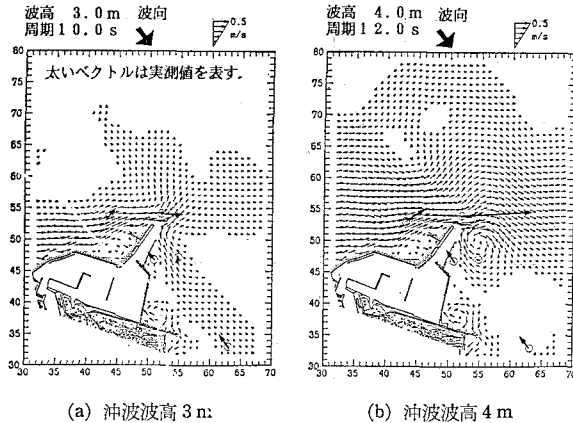
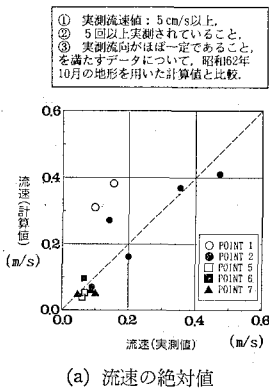


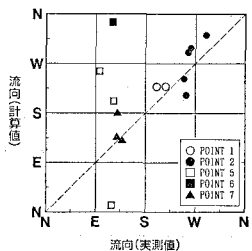
図-5 海浜流況の計算例(沖波向 ESE)

結果を図-6 に示す。ただし、図中に示したように信頼度の高い実測値についてのみ比較を行った。同図によれば、流速、流向ともに多少のばらつきは存在するものの、両者の対応は良好である。現地における波浪・海浜流場の非定常性を考慮すれば、現地調査において観測された代表的な流況は、数値シミュレーションによる定常解により定量的にも十分再現可能であると判断される。

さらに、海底地形の違いによる海浜流況の相違を調べるため、昭和61年6月の海底地形に対しても計算を行い先の流況データと比較したが、昭和61年時点では港口付近の堆積が十分進行していないため、高波浪時に港口沖合を西向きに抜ける海浜流況の再現性が十分ではなかった。このことから長期的な海浜変形を再現するためには、地形変化の進行に伴う波浪・海浜流況場の変化を考慮した非定常解析を行う必要があることがわかった。



(a) 流速の絶対値



(b) 流向

図-6 流速・流向の比較

地形変化の履歴を考慮した非定常解析を行い、図-2 に示した沿岸漂砂の卓越する飯岡漁港周辺の約1年半の地形変化を定量的に再現することを試みた。漁港周辺の特徴的な地形変化が、漁港東側で発達する西向きの沿岸流と漁港西側の遮蔽域にできる時計廻りの循環流といった流れによる漂砂によって説明できることから、本検討でも、2.3 で述べたように流れによる漂砂のみを考慮した検討を行った。

対象期間が約1年半と長期にわたるため、計算時間の制約上、対象期間の波浪条件を計算可能な程度に簡略化したモデル波浪を用いた。港口部周辺の有意な地形変化は、波高2 m以上の比較的波高の大きい時に生じると考えられるため、計算に

用いる波高は2, 3および4 mの3通りとし、波高・周期の年間出現頻度から検討対象期間の各波高の出現日数を求めた。また、波向についても、波高段階別の波向出現頻度を考慮して、各波高ごとに代表波向を設定した。その結果を表-2 に示す。検討対象期間の波浪条件のモデル化に当たり重要なことは、計算全体の波浪条件、すなわちトータルの外力が等しくても、各計算ステップの繰返し間隔ならびに外力の時間変化(波高を与える順序)の違いによって、最終的な地形変化が異なることである。ここでは、簡単のため、対象期間の波浪を、出現日数の総和は同じにして1, 2, 4回の時化(ピーク波高4 m)で代表させた3つのモデル波浪条件に対する再現性について検討した。繰返し計算時間間隔は、極端な局所的な地形変化が生じない程度に出来るだけ粗く設定した。その結果を表-2 に併せて示す。なお、流れによる漂砂量の無次元定数 A_0 は、実測の地形変化との比較から渡辺ら(1984)の表示において2.0とした。

各モデル波浪条件に対する港口周辺4領域の平均水深変化を図-7 に示す。各モデルとも、領域1と2で堆積、領域3と4で侵食しており、図-2 に示した実際の地形変化の基本的な傾向と一致している。各領域の平均水深変化をさらに詳しくみると、東防波堤に沿った領域1では一時化で急激に堆積するものの、1年半後にはほぼ平衡状態になることがわかる。また、港口部の領域2では、領域1の堆積が進行した後に急激に堆積するが、やはり1年半後には平衡状態に近づく様子がうかがえる。このような初期地形から平衡地形への変化は2回以

表-2 代表波浪と検討対象期間中の出現頻度

有義波高	有義波周期	波 向	出現日数	繰返し間隔
2 m	8 s	SE	100日	12.5日
3 m	10 s	ESEとSEの間	20日	5あるいは2.5日
4 m	12 s	ESEとSEの間	10日	5あるいは2.5日

3.3 長期間の地形変化の再現

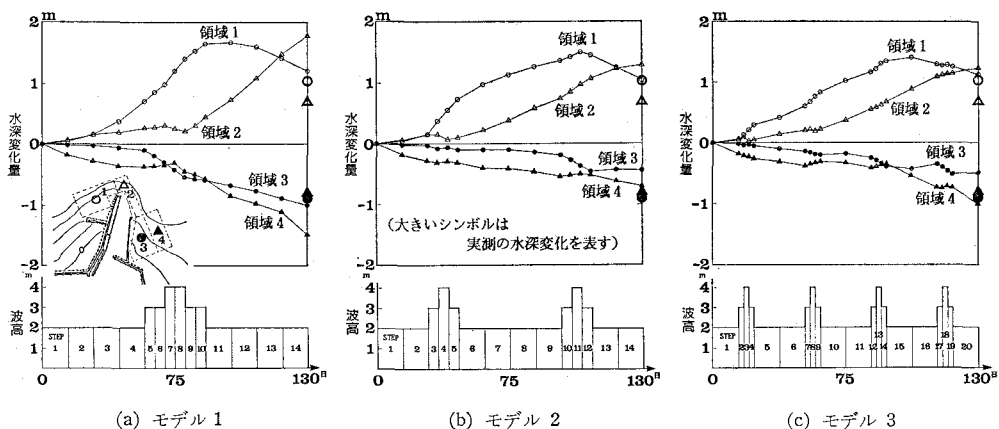


図-7 領域別平均水深の経時変化

上の時化を与えた場合に計算可能となることがわかる。

最後に、図-8は、領域別の平均水深変化について、実測値と比較したものである。大きいシンボルが各領域の平均値を、小さいシンボルは計算格子点上の値を示している。局所的にみればばらつきがあるものの、平均的には計算値と実測値はよく一致している。

以上のように、非常に大胆な波浪のモデル化にもかかわらず、2回以上の時化を与えることによって、港口部周辺の長期的な地形変化を定量的にも良好に再現できることが明らかになった。

4. あとがき

3次元海浜変形予測モデルは、外力である波浪、海浜

流場のみならず、長期間の地形変化についても、実用上十分な精度で現地に適用できることがわかった。さらに予測精度を高めるためには、波による岸沖漂砂の取り扱い、特に移動方向の判定と移動形態別の漂砂量算定式の確立について、また、地形変化計算における不規則波の取り扱い、混合粒径の取り扱い、岩礁部の取り扱いなどの解決すべき課題が残されている。

なお、本研究は千葉県銚子漁港事務所より委託された「昭和62年度飯岡漁港漂砂調査」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

- 合田良實 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第3号, pp. 59~106.
- 田中 仁・首藤伸夫 (1980): 波・流れ共存時の底面摩擦に関する実験, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 163~167.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学, 海岸の理論・観測・予測手法, 東京大学出版会, 582 p.
- 丸山康樹 (1987): 海底地形変化予測モデルの現地適用性, 電力中央研究所報告, 研究報告: U 87012, 35 p.
- 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.
- Karlsson, T. (1969): Refraction of continuous ocean wave spectra, Proc. ASCE, Vol. 95, No. WW4, pp. 437~448.
- Longuet-Higgins, M. S. (1970): Longshore currents generated by obliquely incident wave, J. Geophys. Res., Vol. 75, No. 33, pp. 6778~6789.
- Maruyama, K. and T. Takagi (1988): A simulation system of nearshore sediment transport for the coupling of the sea-bottom topography, waves and currents, IAHR Symp. on Mathematical Modelling of Sediment Transport in the Coastal Zone, pp. 300~309.

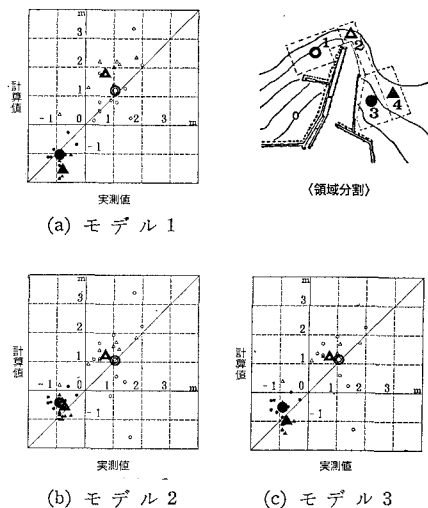


図-8 領域別平均水深変化の計算値と実測値の比較