

リーフ掘削漁港における非定常緩勾配方程式の現地適用性

筒井正俊*・高瀬和博**・深水英司***・兒玉利員****

1. はじめに

和泊港は奄美群島の沖永良部島の東海岸にあり、リーフ掘削により漁港を建設中である(図-1)。太平洋に直接面する厳しい自然条件のもと、沖防波堤の建設が困難で未整備なため、外洋波が直接港内に侵入してくる状況にある。漁港整備の一環として、航路を拡幅したところ、航路中間部で高波浪、水位上昇および強い流れが生じ、漁船の安全航行に支障をきたすこととなった。地元漁協からの聞き取り調査によると「航路上の防波堤に囲まれた隅角部付近で波が水面ごともち上がり、船の舵がとられ、船が波の上から下へ滑るような感じを受ける」とのことである。海面の乱れがみられたのは当初は開口部であったが、航路周辺のリーフを掘削したところ、漁港側の隅角部付近に移動した。著者らは航路じょう乱対策工の検討にあたり、じょう乱原因を波と流れの観測から把握し、渡辺・丸山(1984)による非定常緩勾配方程式、海浜流シミュレーションにより現地観測による高波浪、強い流れの現況を再現し、モデルの現地適用を試みた。

2. 和泊港および周辺の海底地形

沖永良部島は沖縄から奄美大島へ連なる海底山脈の一つの頂上に位置し、山脈の稜線は切り立ち、頂上から-2,000 mまで一気に下っている(図-1)。和泊港の港口は急峻な海底斜面の頂上付近に位置している。このため、港口は来襲する沖波が港口部の沖側で、深海波から浅海波へと急激に変化する地形上に位置していることになる。

和泊港内の海底地形をみると、港口部では-12 mの水深があり、港奥部の泊地の水深は-2 mである。港口部では航路浚渫が行われており、防波堤にそって航路が維持されている。防波堤およびその周辺部は浚渫されておらず、特に、港口部では防波堤にそって、水深0 mの浅い水域がテラス状に残されている。

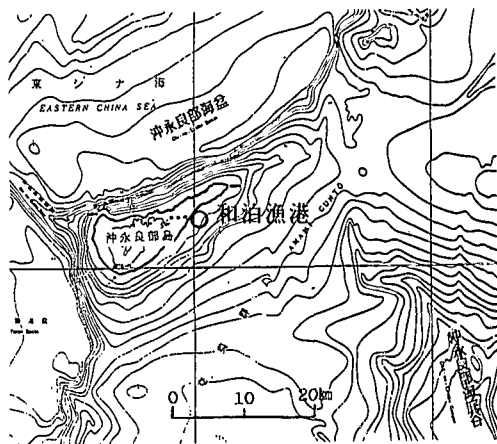


図-1 海底地形図

3. 現地観測

航路じょう乱の原因を把握するため、港口部、航路隅角部、港奥部の3点で20分毎に波と流れを観測した。観測機器の設置位置を図-2に示す。観測項目は波高、流向、流速および漂流桿による海面流の観測である。漂流桿による観測以外の項目は、水圧センサー付き電磁流速計を用いた。計測器を海底に設置したため、測得値は海底面上70 cmの位置での値である。

(1) 潮流観測結果

図-3に地点ごとの潮流楕円図を示す。港口部の測点1と港奥部の測点3の流れは、ほぼ航路軸に沿った往復流である。一方、漁港中央部の測点2では流れは恒流状態で、航路軸にほぼ直角に北に流れ、向かいの岸壁側に向いている。

この測点2付近は、高波浪、水位上昇および流れにより漁船などの航行が困難な場所として知られており、対策が急がれている地点でもある。

(2) 波浪観測結果

現地波浪は、流況観測と同時に測定したもので、期間は1993年9月17日～同年10月4日である。波浪の時系列データによると9月25日～27日および10月1日～3日に、本島の南海海上を南西から北東に向けて台

* (株)三洋コンサルタント 東京本社 調査部
 ** (株)三洋コンサルタント 九州支店 調査部
 *** 正会員 工修 (株)三洋コンサルタント 東京本社 技術部
 **** 鹿児島県 沖永良部土木出張所 工務課

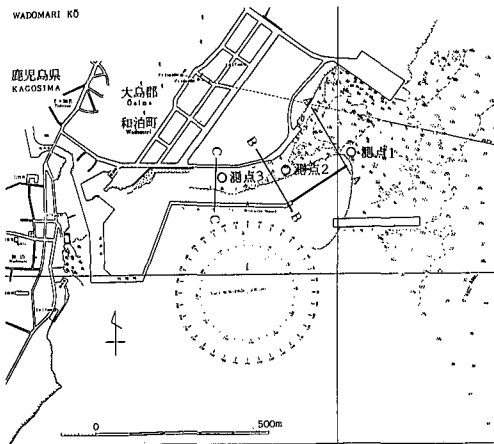


図-2 調査位置図

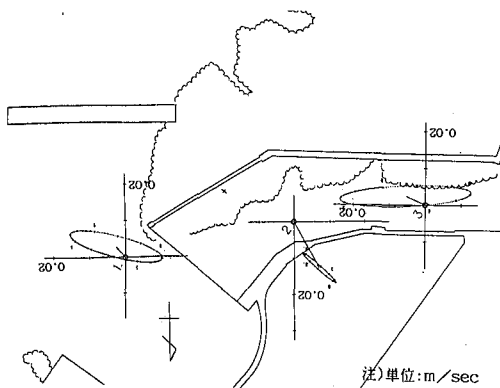


図-3 潮流楕円図

風が通過しており、波高・周期ともに大きくなっている。また、今回の観測で得られた最大の波浪は、測点1における10月2日14時00分の波高2.26m、周期6.0秒であった。

波高について各測点間の比を求め、港口部（測点1）を1.0とした場合、測点2の波高比は0.77で、測点3での波高比は0.25と1/4に減少している。

観測地点別の波高と周期の階級別出現頻度表をみると、港口部での周期の出現は7~9秒に集中しているが、測点2、測点3と港奥に移るにしたがって短周期の波もみられるようになり、分布範囲が広がる傾向を示している。

波向別波高出現頻度を図-4に示す。ここで注目されるのは測点2の波向である。一般に、漁港内が同一水深であればこの地点の波は、開口部からの波向をもつ。しかし、回折した波は不自然に北に偏り、入射波の海底地形による屈折が影響していると考えられる。この地点では、前述したように流れについても他の2地点と異なる

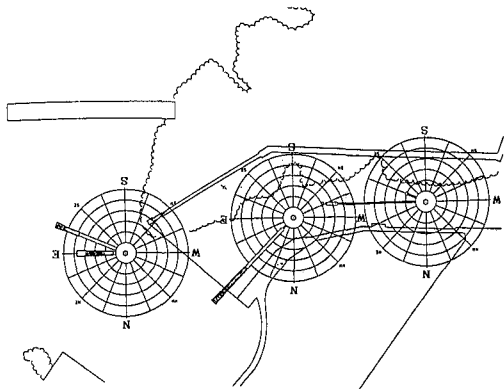


図-4 波向別波高出現頻度

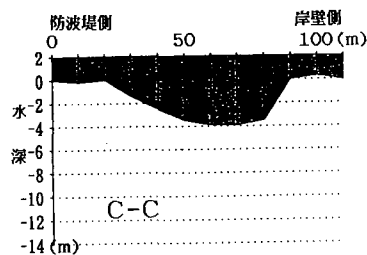
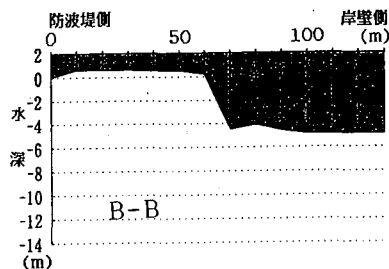
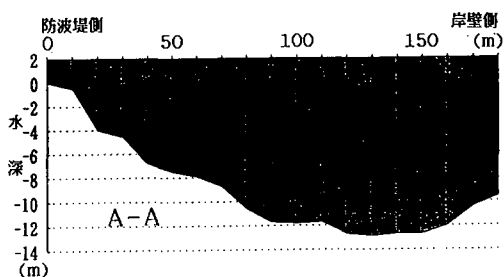


図-5 航路の横断面図

状況を示しており、海底地形に大きな影響を受けていると考えられる。

深浅図の詳細な横断面をみると、港口から測点2付近の水路がくびれた部分にかけて平均水深が浅くなり、断面面積が急激に減少している（図-5）。水路のくびれという特異な地形が、水粒子の集中する方向に波の浅水変形を引き起こし、これによる異常な質量輸送が、くびれが

最も小さくなった隅角部近くで高潮位の高波高時に水面上昇、波高増大を発生させていると考えられる。測点2の流れが常に航路を横切って向かいの岸壁側に向いているのは、この水面上昇の結果と考えられる。

防波堤に囲まれた隅角部付近は、本来波の反射により波高、水位が上昇する箇所である。これに水路のくびれが引き起こす異常な質量の集中が重なり、航路じょう乱の原因となっていると考えられる。

4. 現況再現計算

現地調査によると、台風17号が南東沖を通過した9月27日に航路じょう乱が比較的顕著にみられた。このときの高波浪、流れの状況を再現対象とした。

(1) 計算モデル

a) 非定常緩勾配方程式による波浪分布計算

本調査海域は海底形状が複雑で、リーフおよびこれを掘削した航路がある。また沖防波堤の他に、透過あるいは不透過性の防波堤があり、来襲する波浪により波は反射、回折あるいは碎波し伝播する。このため計算領域内の波浪は、かなり複雑なものになると考えられる。従って、波の変形計算では屈折、回折以外にも反射・碎波現象が重要となり、防波堤による波の反射・透過、掘削した水路による屈折・反射等を計算する必要がある。

そこで、屈折・回折・反射・浅水・碎波変形を同時に計算できる非定常緩勾配方程式(規則波)によるシミュレーションにより、現状の波浪分布を計算する。

b) 海浜流計算

海浜流は波が直接の原因となって生じる流れである。非定常緩勾配方程式による計算結果より求められる radiation stress を外力として、その平面的分布を計算した。モデルは2次元単層モデルとした。海浜流分布は、波浪計算値の4メッシュ平均値より求めた。

(2) 計算条件

計算条件としては、計算領域の沖側境界条件となる波浪(波高、周期、波向)と、地形条件(水深、構造物の配置と反射率等)および潮位等があり、当日の観測状況を基に以下のように設定した。

a) 波浪条件

周辺には適当な沖波の観測値がないため、入射波浪の条件を設定する必要があった。

9月27日の波浪観測結果をみると、各観測点で高波高が連続しているのは16時20分～17時20分で、最も沖側の測点1における波高は約1.2mである。波の周期は10～12秒が観測されている。当時の沖波は解析天気図、気象庁数値計算資料等により、波高1.4m、周期8～9秒、波向はE～ESEと推定される。

以上の現地観測値、天気図、気象庁波浪推算値から、

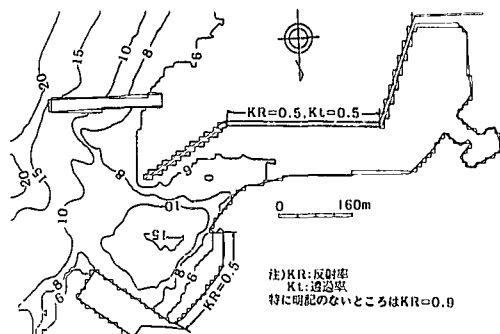


図-6 設定した反射率と透過率

測点2の波高が最大となった時刻の波浪分布を再現するため、沖波諸元として、波高1.4m、周期10秒、波向ESE(112°)と設定した。波向は±5°の幅をもたせて107°, 117°を加え、3ケースとした。ここで周期は沖波と航路内との平均的な値とした。また、計算領域沖側境界の水深が約20mであるため、この周期の波は屈折の影響をうける。従って、ほぼ等深線に直角なESE方向を中心に±5°の波向を検討対象とした。

b) 水位条件

現況再現時の9月27日17時前後は高潮位を示しているため、計算時の潮位はH.W.L.とした。なお当漁港における朔望平均満潮位は、D.L.+2.0m、朔望平均干潮位は、D.L.±0.0mである。

c) 地形条件

計算範囲は港の全域を含むように、東西1,100m、南北700mとした。格子間隔は波浪変形計算は10m、海浜流の計算は20mとした。波の反射率等は直立岸壁は0.9、消波構造物(異型ブロック)は0.5とした。また、透過構造物の防波堤(延長320m)の透過率は0.5とした(図-6)。

(3) 計算結果

a) 波浪分布計算

まず、3波向の波浪で9月27日の台風通過時のじょう乱の現況を推定した。波高分布をみると、波向107°の結果は各観測点で計算値は実測値より約2～3割高い値を示している。波向112°は港口部、航路隅角部で計算値は高めで、航路奥では低めの値を示している。波向117°の計算結果をみると、3地点とも計算値と実測値の差は2～3%程度とわずかで、両者は非常に近い値を示しており、概ね現況を再現しているものと考えられる(図-7)。なお図中の文字は、その上方が値の大きい方を向くように表示した。

沖波高1.4mを1とした波高比分布を波向別にみると、開口部の方向との関係で港内に波の進入しやすい波向107°が、航路奥までの波高比が最も大きくなっている(図-8)。

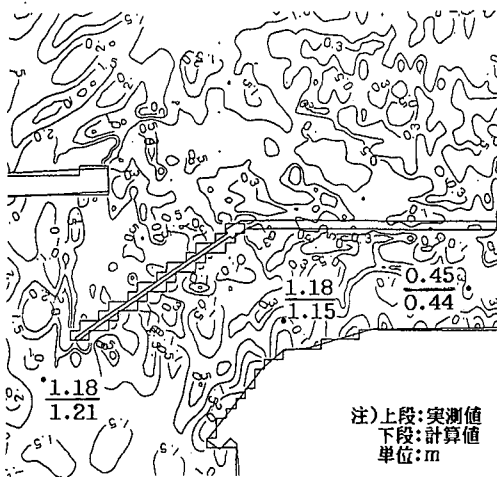


図-7 波高分布図 (波向 117°)

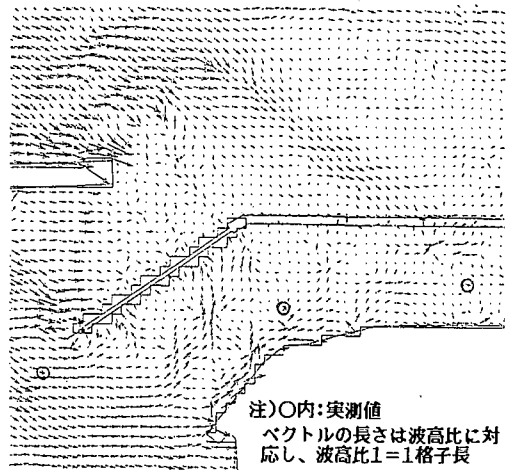


図-9 波向分布図 (波向 117°)



図-8 波高比分布図 (波向 107°)

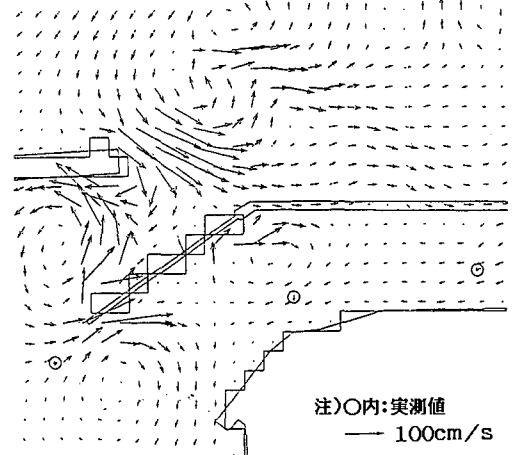


図-10 海浜流分布図 (波向 117°)

興味深いことは、北側直立岸壁の反射波の影響がかなり強く現れていることで、それが航路奥まで続いている。また、航路入口近くの測点1と測点2の間付近で波高比1.0以上の領域が広がっており、これは掘削された航路を奥まで進む屈折を受けた波によるものと思われる。

波向分布図をみると、航路入口付近は海底地形と反射波の影響で、波の方向がかなり複雑に変化している(図-9)。なお、図中には実測値の波向も示したが、各観測点で計算値と実測値はほぼ一致している。

b) 海浜流の計算

図-10に波向117°の計算結果を示す。また、図中には実測値も表示した。波向117°の計算結果をみると、流速は計算値が実測値に比べてやや大きめであるが、各観測点での流向パターンはほぼ一致し、概ね現況が再現されているものと考えられる。

ここで、流れを平面的にみると、航路内で急激に流向が変化しているところがみられ、大きな右回りの循環流が2ヶ所で現れている。特に航路入口付近での循環流が目立つが、問題となっている南防波堤隅角部でも数10 cm/sの強い流れが現れている。航路を横断したり逆方向となる高波高時のこれらの強い流れが、操船上の困難を引き起こす要因であると考えられる。

以上の結果から、計算で得られた波浪・海浜流の大きさ、向きは、観測値とほぼ一致し、概ね現況が再現されているものと考え、波浪・海浜流の再現性が最も高い波向117°を入射波向とした。台風経路からも波向117°は沖波向と考えられる。以上、波浪と海浜流の計算結果は概ね現地の状況を再現しているものと判断され、予測モデルの現地適用性が確認できた。

5. おわりに

リーフ掘削により建設中の漁港を対象に、波浪・海浜流の計算結果を現地観測値で検証したところ、渡辺・丸山(1984)の提案した非定常緩勾配方程式による手法は、現況再現計算により満足できる結果が得られた。

現地観測および計算結果から、防波堤隅角部付近での高波浪や航路を横断したり、沖に向かう高波高時の強い流れが、操船上の困難を引き起こす要因となっていると考えられる。現地調査から、航路内で開口部から水路がくびれた部分にかけて平均水深、断面積が減少し続け、

最も小さくなったところで高潮位の高波高時に水面上昇、波高増大が生じていることがわかった。防波堤に囲まれた隅角部付近は、波の反射により波高、水位が上昇するが、これに水路のくびれが引き起こす異常な質量の集中が重なり、航路じょう乱の原因となっていると考えられる。

参 考 文 献

- 渡辺 晃・丸山康樹(1984): 屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解析法, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.