

リーフ周辺の波浪・海浜流場の現地観測と数値シミュレーション

(財) 漁港漁村建設技術研究所		正会員	関本 恒浩
同	上	同	上 清水 琢三
同	上	同	上 杉本 雅一
同	上	同	上 大島 登

1. まえがき

リーフ上においては、リーフエッジでの碎波により波高は小さくなる反面、平均水位上昇量が大きくなるため、比較的速い流れが発生する。沖縄県の漁港はリーフ上に建設される例が多く、リーフ上の強い流れのため漁港建設に伴う海浜変形が生じ、対策を講じなければならないところもある。近年、リーフ地形上での波浪変形に関しては、現地調査、水理実験、数値シミュレーションによって定量的評価が可能になっている（例えば磯部ら，1988；江頭ら，1985）。しかしながら、リーフ上の海浜流場に対しては谷本ら（1989）の研究があるものの、定量的な評価という点では十分ではないのが現状である。

沖縄県国頭郡安田（あだ）漁港は、図-1に示すように沖縄本島北部の太平洋側に位置する第4種漁港であり、北部では珍しい珊瑚礁のよく発達したリーフ海岸に位置する。昭和51年の13号台風により漁港北側の海岸が侵食を受けたため、高潮対策および侵食対策の必要性が生じ離岸堤6基が設置された。しかしながら、高潮対策に対しては当初の計画どおりその機能が果たされているものの、侵食対策に対しては離岸堤の離岸距離が十分でないことと、リーフ地形特有の強い海浜流が存在することにより十分には機能を果たしていない。

そこで本研究では、漁港北側リーフと安田島周辺リーフを対象に、現地観測と数値シミュレーションを行い、数値シミュレーション（清水ら，1989）のリーフ地形に対する適用性を検討するとともに、漁港周辺の海岸保全対策について海浜流の面から検討した。

2. 現地観測の概要

2.1 深浅測量調査

深浅測量調査は、リーフ地形を詳細に把握することを目的として図-2に示すリーフ全域にわたって実施した。その結果、安田島の背後に深みが存在し、深いところでは、D.L. -4.0m以深にもなることが判明した。また、その深みは深さを減少させながらも安田漁港北側海岸中央部にまでいたることも確認された。

2.2 波浪・流況調査

a) 観測の概要

波浪・流況調査は超音波波高計と2成分電磁流速計および水圧式波高計を用いて、図-2に示すようにリーフ内外の6地点を対象に、1988年8月30日から9月19日にわたって波浪、流況および平均水位の観測を実施した。水深約23mのSt. 1には、超音波式波高計および電磁流速計を設置しリーフへの入射波の観測を行った。また、リーフ上の全観測地点に電磁流速計を設置してリーフ上の流況を調べるとともに、St. 2、3および6に水圧式波高計を設置し、波高および平均水位の観測を行った。

使用した計測器はすべてカセットテープ内蔵の自己記録式計測器であり、調査終了後、回収したカセットテープを電算処理して解析に用いた。平均水位の上昇量の算出においては、St. 1における平均水位上昇量を0と仮定し、他の観測点

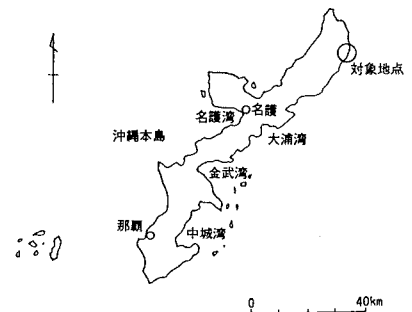


図-1 対象地点位置

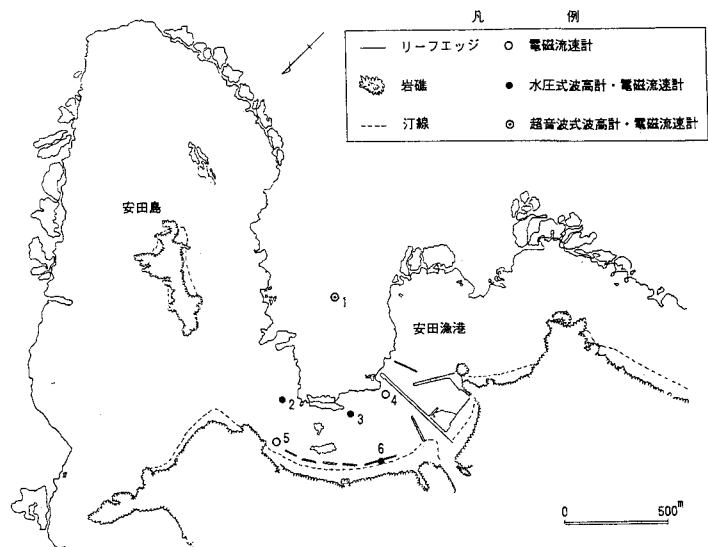


図-2 安田漁港周辺の地形と計測器設置位置

の平均水位から St. 1 の平均水位を差引くことによって、潮位変動成分を除去した。

なお、St. 1 は周辺リーフによる回折を受ける地点であるため、結果の整理には沖波として、運輸省により中城湾（水深50m地点）で観測された波高記録を用いた。ただし、中城湾の観測地点の北西約1kmに長さ6km以上に及ぶ津堅島周辺のリーフが存在し、SEからNEの範囲の波については、リーフからの反射波の影響があるものと考えられる。

b) 調査結果

図-3 は、観測期間中の波高および流速の経時変化を示したものである。ここでは、中城湾地点（以下、中城湾と略す）の波高も同時に示した。観測された波高は比較的小さかったが、9月13日以降に沖縄のはるか東方の南鳥島付近で発生した台風（8818号）の風域から伝播したうねりの来襲により中城湾で2m強の、St. 1 で1m程度の波高が観測された。リーフ上における波高は大きく2つの特徴があり、1つは潮位の変動と対応した波高の変動であり、もう一つは St. 1 の波高変化に連動した波高の変化である。これらはいずれも水位の変動により水深が増減することにより、水深で規定される波高が変化するためである。特に、St. 1 の波高に連動したものは、リーフ上での平均水位の上昇に係わっており、リーフ上の波高は平均水位の変化の影響を受けることがわかる。なお、St. 1 における波高の変動が中城湾の波高の変動と異なっているのは、安田島周辺リーフ地形による遮蔽の影響を受けるためである。

平均流速の変動も、波高と同様に平均水位の変化と連動した変化傾向を示しているが、平均水位の変化とは位相がほぼ90°ずれた変化を示している。つまり、平均水位が大きいときには流速は遅く、小さいときには流速は速くなっている。このことは、潮汐変動に関する2つの理由によるものと考えられる。1つは潮汐変動に伴う潮汐流であり、これは低波浪時に見られる流速数 $\sim 10\text{cm/s}$ 程度の変動である。また、もう1つは、潮位の変化により碎波波高が変わり、碎波後の波高減衰の割合が潮位によって変動するため、これに伴い海浜流速が変動するものでこれは高波浪時に支配的である。

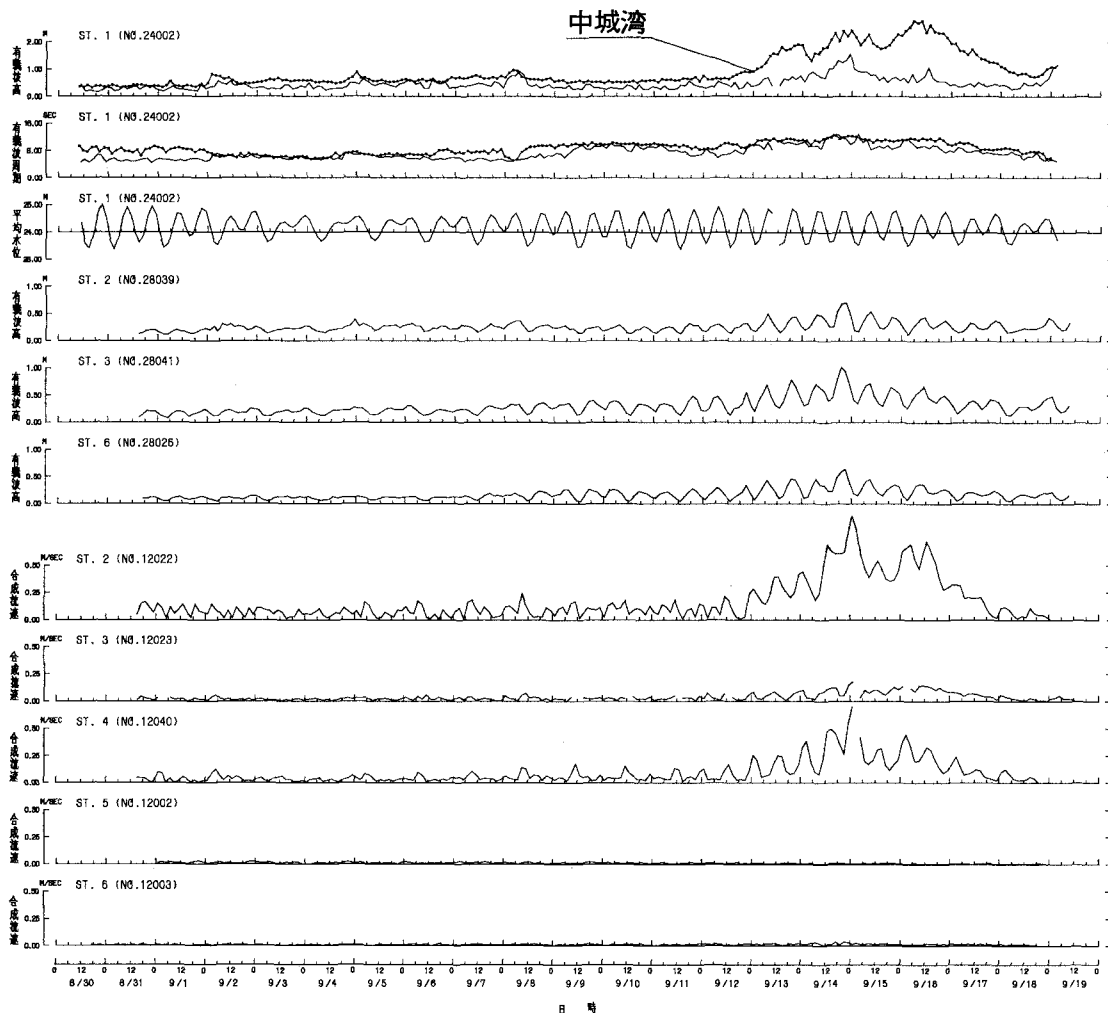


図-3 波高および流速の経時変化

流速値については、安田島背後からの流れが卓越すると考えられる St. 2 と導流堤・防波堤に沿った流れが卓越すると考えられる St. 4 で流速が大きくなっている。一方、St. 5, 6 においては流速は極めて小さく 5 cm/s 以下の流速であり顕著な流れは認められなかった。

St. 2 および 4 において高波浪時（9 月 13 日～17 日）には流速が 50

cm/s を越え、特に 9 月 14 日から 9 月 15 日にかけて、測点 2 で流速が 1 m/s に達している。地点 3 においては、流速が最大で 20 cm/s 程度である。

平均的な波向および流向の模式図を図-4 に示す。波向については、沖合から入射した波がリーフエッジにおける屈折によりリーフエッジの法線に対し垂直な方向に波向をかえ、リーフ上を伝播している。流向については、図中の左から安田漁港に向かって流れた後、安田漁港防波堤に沿って沖方向へ流出している様子がわかる。

ここでは図示していないが、各測点の平均水位の上昇量は入射波高が大きくなるにつれて増加する傾向が見られた。その大きさは、波高が小さいときに数 cm 程度、高波浪時でも 10 cm 程度と比較的小さいものであった。

3. 数値シミュレーション

3. 1 解析手法の概要

波浪場の計算には、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碎波減衰項を取り込んだ方法を用いた。碎波減衰モデルとしては、磯部 (1985) の多方向不規則波浪場に対するモデルを採用した。ただし、磯部の碎波減衰係数は海底勾配に比例するため、リーフ上のようにほぼ水平床の場合には不合理を生ずる。ここでは、便宜的に碎波限界波高の算定から碎波後の減衰まで海底勾配として $1/20$ を与え対応した。また、波向の定義としては、リーフ上で波向が交差するため平均波向を用いた。その他については清水ら (1989) の手法と同じである。

3. 2 現地再現性の検討

現地観測実施時の代表的な波浪条件に対して数値シミュレーションを実施し、波高、波向、流速および流向について現地観測結果との比較検討を行った。入射波の波高・周期は、観測期間中で比較的波の大きかった 1988 年 9 月 13 日～17 日における中城湾の平均的な波高・周期として、 $H_{1/3}=1.5\text{m}$ および $T_{1/3}=11.5\text{sec}$ とした。このとき波向は台風の経路から判断して ESE～ENE と考えられることから、ここでは E と ESE の 2 方向を対象とした。計算に用いた潮位はこの期間の平均的な潮位として、D.L. + 1.20 m を用いた。なお、計算条件の詳細を、表-1 および表-2 に示した。また、当初リーフ上の水深を一定水深で与え試算を行ったところ、計算結果は現地観測結果を全くといってよいほど再現できなかった。そこで以下の計算では、リーフ地形を忠実に反映させた地形データを用いて計算した。

図-5 は、数値シミュレーション結果の一例であり、波高波向ベクトルおよび流速ベクトルを示したものである。これらの結果は、図-4 に示した波向・流向の現地観測結果と比較的よく対応している。谷本ら (1989) は、航空写真によるリーフ上の筋目模様が、リーフ上の流況パターンと対応することを示した。写真-1 は航空写真

表-1 波の計算条件

項 目	条件
格子間隔 ($\Delta X=\Delta Y$)	25.0m
波の方向集中度	$S_{\max}=75$
波の方向分割数	45 ($\Delta\alpha=4^\circ$)
波の周波数分割数	10

表-2 流れの計算条件

項 目	条件
格子間隔 ($\Delta X=\Delta Y$)	25.0m
時間間隔 (Δt)	0.20s
計算収束ステップ数	3500 ～7000s
海底摩擦係数 (C_f)	0.01
水平渦粘性係数	0.01

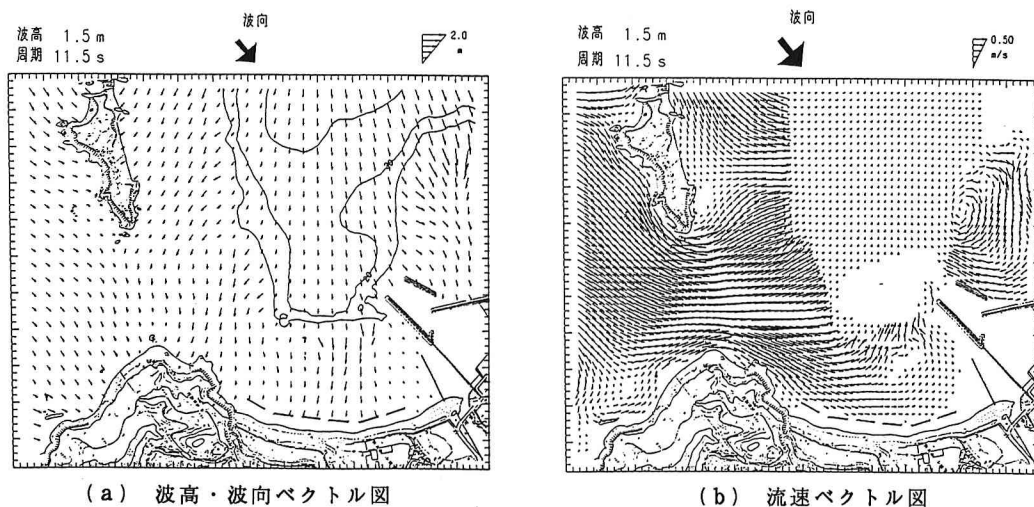


図-5 数値シミュレーション結果の一例

の一例を示したものであるが、北側リーフ上の筋目模様は、図-5の数値シミュレーションによる流況パターンと非常に類似している。このように、数値シミュレーション結果は、平均的な波向・流況のパターンを非常によく再現していることがわかる。

図-6は波高、波向、流速および流向について、現地観測結果と数値シミュレーション結果の対応を示したものである。図は縦軸に各測点の波高、波向、流速および流向をとって、中城湾の波高に対して示しており、図中小さい○印が実測値、大きめの○と△が計算値で、○はE方向、△はESE方向の入射波向の計算値をそれぞれ表している。また、観測値には潮位の影響が強く現われるので、St.1の実測潮位が計算に用いた潮位(D.L.+1.20m)の上下それぞれ30cmの範囲(D.L.+0.90m~D.L.+1.50m)に入るときは観測値のみを用いてプロットした。

中城湾における波高が大きくなるにつれてSt.1, 2, 3のいずれの実測波高も大きくなる傾向を示す。

St.1では、観測データのばらつきが大きくなっているが、入射波向によってリーフによる遮蔽効果は変化するためである。計算値にも入射波向による波

高の違いが現われている。また、碎波減衰の評価が十分でないため、全体的に計算波高は実測値をやや過大評価しているものの、中城湾の波高の観測精度を考慮すれば、両者は全体的に良好な対応を示しているものと考えられる。波向については、St.2では2方向性の波浪となっているため実測値と計算値の対応が若干悪くなっているものの、それを除けば計算値は実測値と非常によい対応を示しているようである。

一方、流速も波高の場合と同様に、計算値が実測値に比して若干大きめとなっているが、計算値値は実測値のばらつきのほぼ上限に位置するようである。また、流向については、両者の対応は非常によくなっている。

以上の結果、波高値、流速値とも計算結果の方が実測値よりも若干大きめの結果を与えるものの、中城湾における波高の精度を考慮すると、数値シミュレーション結果は観測値と比較的良好に対応しており、本シミュレーション手法によりリーフ地形における波浪場、海浜流場を定量的に評価できることがわかった。なお、現地再現性の精度を高めるためには、前述のようにリーフ地形を忠実に反映した地形データを用いる必要があることもわかった。

3. 3 対策工の検討

現地調査および数値シミュレーションにより、安田島背後から安田漁港北側リーフに向かう強い流れの存在が確認され、この強い流れを止めることが漂砂対策上有効であると判断された。そこで、対策案として突堤を建設

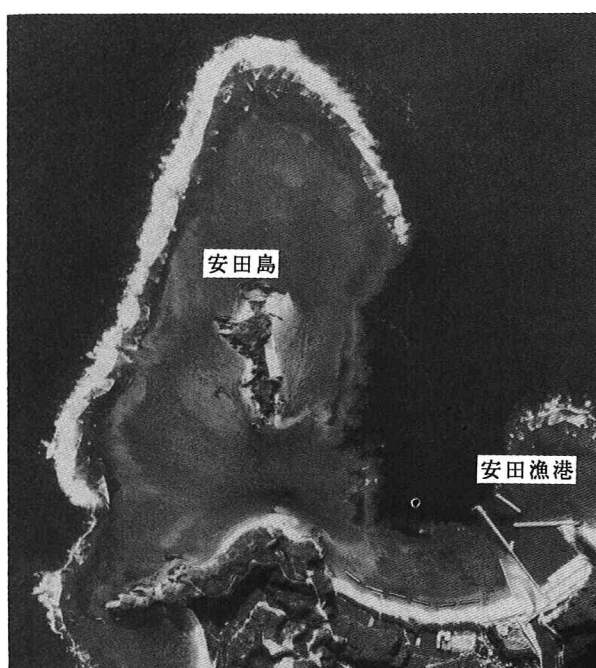
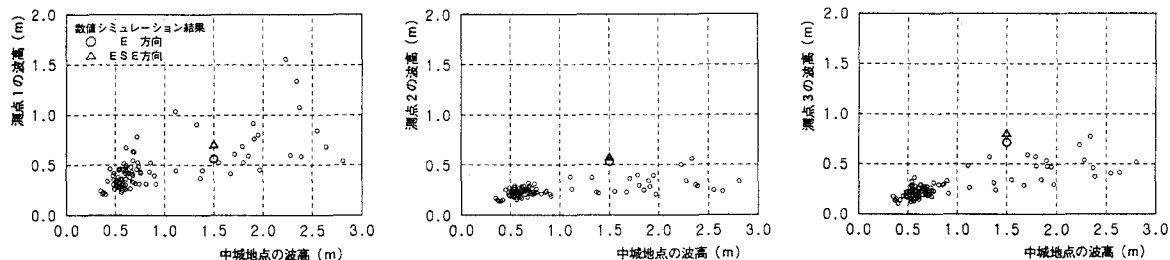
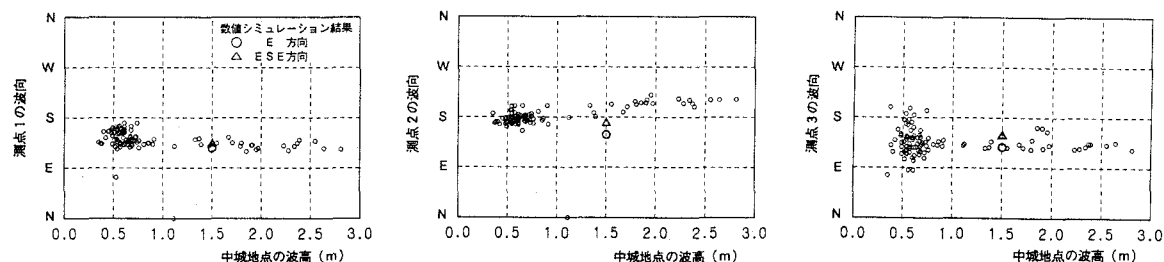


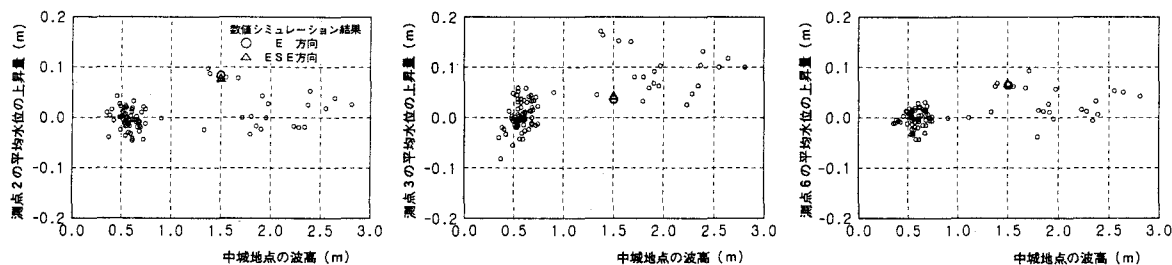
写真-1 安田漁港周辺の航空写真



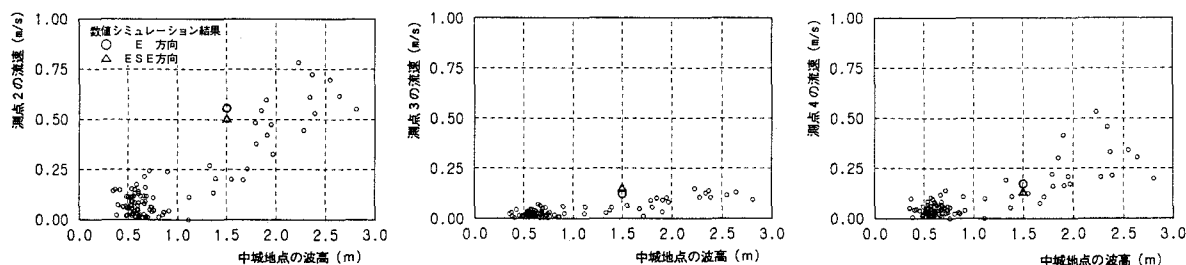
(a) 波 高



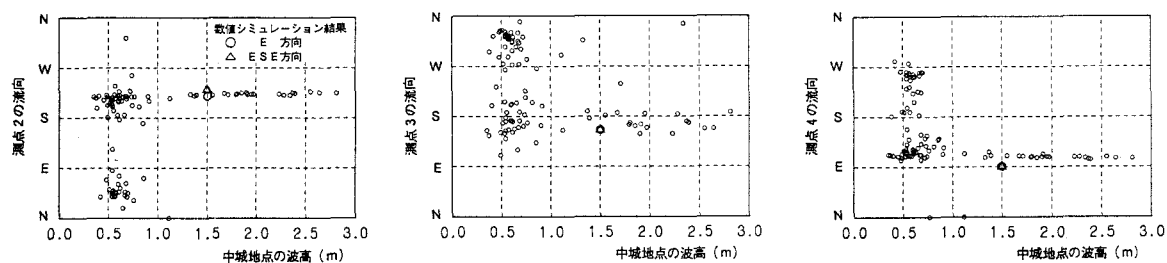
(b) 波 向



(c) 平均水位の上昇量



(d) 流 速



(e) 流 向

図－6 現地観測結果と数値シミュレーション結果との比較

して流れを遮断するとともに、突堤と漁港に挟まれた海浜をポケットビーチ化することを考えた。突堤の長さは流れを制御する上で重要である。突堤の長さを長くするほど対象としている海岸における流れは小さく抑えることが可能である。しかし、経済性の面からはできるだけ短い方が好ましい。そこでここでは、波浪条件や突堤の延長を100mと200mに変化させて数値シミュレーションを行い、流れの制御機能を十分に持ちかつ経済的な突堤の長さを検討した。

図-7は波高1.5mの場合について突堤の長さが海浜流場におよぼす影響を比較した数値シミュレーション結果である。流況についてみると、突堤が100m建設された後でも、突堤がない場合と流況にはほとんど変化はみられず、突堤を100m程度出しても侵食対策効果は期待できない。しかし、突堤を200m建設すると安田島背後からの強い流れは突堤によって制御され流況は一変する。突堤を200m建設した後ではリーフエッジに若干強い流れがみられるが、対象海岸内の流れが非常に小さく突堤と防波堤の近傍に弱い循環流が形成されるのみであり、海岸はポケットビーチ化される。なお、波高、波向とも突堤の極近傍を除いて全く変化が見られないことがわかる。突堤の周辺についてもその変化は非常に小さいものであった。

このように、数値シミュレーションの結果、突堤を200m建設することによって安田島背後からの強い流れを制御できることがわかった。

突堤を200m出すことによって流れを制御できる要因の1つには、海底地形の影響があるものと思われる。突堤建設予定地点の縦断面図によると、突堤基部から約150mのところで深さが約60cmの深みがあることがわかった。この深みは、前述のように安田島背後から北側海岸へと連なるものであり、これが水路となってこの部分の強い流れを引き起こしているようである。したがって、この水路を断ち切ることが流れを制御するための要点である。

4. あとがき

リーフ上における、波高、流速および平均水位の上昇に関する現地観測を実施し、数値シミュレーションによる比較検討を行った。その結果、リーフ地形を忠実に水深データに反映させることにより、数値シミュレーションによって、リーフ上の波浪・海浜流場を実用上十分な精度で再現できることが確認された。リーフ上の碎波減衰に対するモデルの精度の向上により、数値シミュレーションの再現性はさらに改善されるものと考えられる。

参考文献

- 磯部雅彦(1986)： 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法，第33回海岸工学講演会論文集，pp.134-138.
- 磯部雅彦・柴田洋三・泉宮尊司・渡辺晃(1988)： 不規則波によるリーフ上の平均水位上昇に関する研究，第35回海岸工学講演会論文集，pp.192-196.
- 江頭和彦・福田功・岸良安治・西村達郎(1985)： リーフによる波浪変形の現地観測，第32回海岸工学講演会論文集，pp.90-94.
- 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.
- 谷本修志・宇多高明・高木利光(1989)： リーフの筋目模様から予見された流れの数値計算による検証，海岸工学論文集，第36巻，pp.229-233.

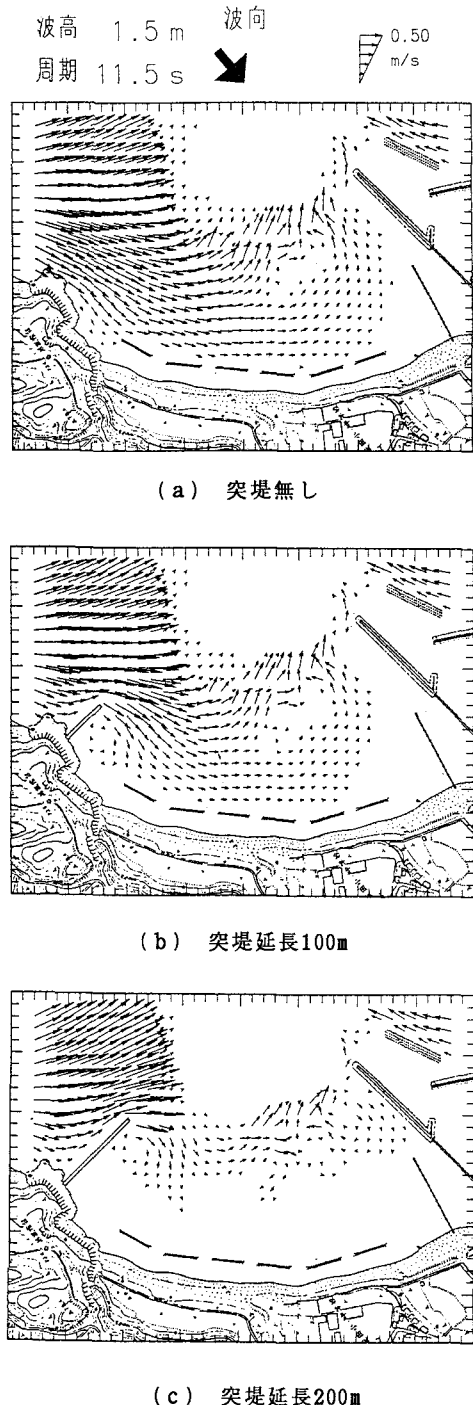


図-7 対策工の検討