

強い海浜流の発生海域における潮流・波・サーフビート

仲 座 栄 三* ・ 津 嘉 山 正 光**・ 砂 川 恵 輝***
 菊 池 昭 男****・ 中 山 清 一*****

1. はじめに

強風によって発生した風波の砕波によって形成される海浜流は、極めて複雑なものとなることが予想される。なぜならば、海浜流は波の Radiation Stress の勾配に基づく流れの他に、風の吹送流の影響を強く受けるものと考えられるからである。さらに、このような複雑な海浜流の発生する海域における潮流は、海浜流の影響を強く受け、普段の潮流と異なる傾向を示すことも予想される。また、強い海浜流が「波」や「サーフビート」に与える影響も興味ある問題と言える。

Hubertz (1986) は、長期的な現地観測データを基に、海浜流に及ぼす風の影響が大きいことを報告している。しかしながら、この報告の中には肝心の波のデータの詳細が述べられてなく、論文に述べられているほど、海浜流に及ぼす風の影響は明かでないように思える。土屋ら (1989) は、季節風の特徴が沿岸域において極めて強い恒流・沿岸流の特異な流況パターンを作りだしていることを報告している。これらの研究例でも判断されるように、現地海岸においては、風による吹送流・波・沿岸流・潮流が混在し、これらが互いに干渉することによってさらに複雑な水理・波浪現象を引き起こしているものと考えられる。

本研究では、気象、潮流及び波・海浜流を対象とした総合的な現地観測を実施し、その結果をもとに上述の問題を明らかにすることを試みた。

2. 現地観測概要

現地観測の位置図を図-1に示す。観測対象海域は、沖縄本島中部に位置し、残波岬を始点とする南北に約5kmの海域である。当海岸は、西に面しており、冬季には中国大陸からの季節風が吹き寄せる所である。この海岸には、幅約1kmのリーフが張り出している。リーフエッジ付近の水深は、満潮時で約2m程度であるこ

とから、リーフエッジのラインが波の砕波点付近となる。すなわち、リーフエッジより沖側は、砕波帯外であり、リーフ内は砕波帯内となる。

現地観測では、3台のローター式流向流速計と6台の電磁流速計内蔵型の波高計、及び1台の電磁流速計を用いた。2台のローター式流速計は、潮流測定用として砕波帯外の水深25mの位置(St. 1, 2)に設置した。流速計の水深方向設置位置は、水深のほぼ中分点である。砕波帯内の潮流測定用として、さらにもう1台のロータ

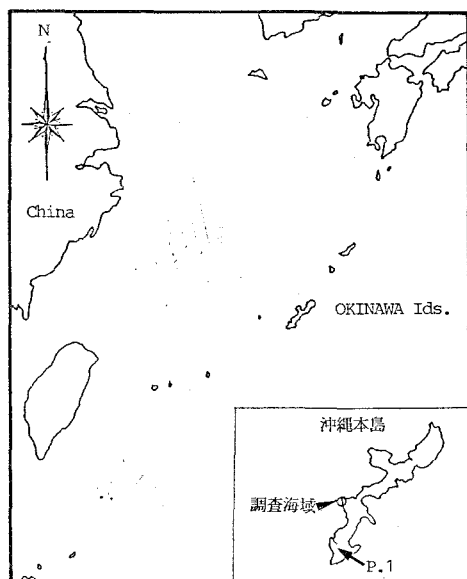


図-1 位置図

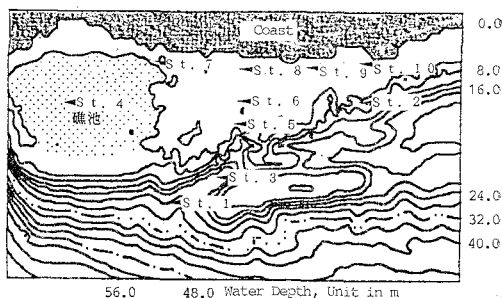


図-2 観測点

* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科

*** 沖縄海岸環境調査研究所

**** 正会員 (株)国建

***** (株)沖縄環境分析センター

一式流速計を、水深 5 m の位置 (St. 4) に設置した。二成分電磁流速計内蔵型の波高計は、砕波帯内に 図-2 に示すような配置で設置した。設置水深は St. 5~10 共に、満潮時で約 3.0 m である。風のデータに関しては、現地観測地点から約 24 km 南に位置する沖縄気象台の観測値を用いることとした。

3. 観測結果及び考察

3.1 気象・海象の経時変化

沖縄気象台による風速の経時変化を 図-3 に示す。観測期間中には、図示のとおり、季節風 (北風) が吹き、ほぼ 3 日の周期で風速が大きく変動した。風速観測地点は、図-1 中に p. 1 の印で示すように、比較的内地部に位置しているため、風向が若干現地の風向と異なる場合があった。現地では、むしろ北北西の風が観測された。

図-4 は、St. 3 における沖波波高の経時変化を示している。図示のとおり、砕波帯外の沖波波高は、図-3 に示す風速の経時変化とはほぼ同様に变化している。図-5 は、風速と St. 2 における沖波波高との関係を示している。ここで用いたフェッチ (F) には、中国大陆までの平均距離を用いて、1000 km とした。図中の実線は、ブレットシュナイダーの経験式であり、次式による計算値を示している。

$$\left. \begin{aligned} \frac{gH_{1/3}}{U^2} &= 0.283 \tanh(\chi) \\ \chi &= 0.0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

観測値は、横軸で示すパラメーター χ が大きい所 (すなわち、風速が比較的小さくなる所) でバラツキが見られるものの、理論曲線の周りにばらついており、この海域における沖波波高は、ほぼ式 (1) で近似出来ることが理解できる。この結果から、季節風下における沖縄本島の西海岸の沖波は、近似的に式 (1) を用いて算出可能と言える。

図-6 は、潮流計及び電磁流速計による平均流速を示している。図 (a) は、1 月 14 日の 12 時 42 分 (満潮時) における平均流速ベクトルを示しており、図 (b) は 14 日 20 時 42 分 (干潮時) の平均流速ベクトルを示している。砕波帯内の平均流速は、満潮時、干潮時共に南流となっており、平均的に 50.0 cm/s で流れている。

図-7(a) に現地観測期間中における計算潮位変動の経時変化を示す (観測海域の南端に位置する都屋漁港における計算潮位)。図-7(b) は、St. 6 における 10 分間平均流速の経時変化を示している。図-3 に示す風速の経時変化と対応させて、平均流速の変化を見てみると、風速の強弱とはほぼ対応した形で砕波帯内の平均流速も変動している様子が伺える。

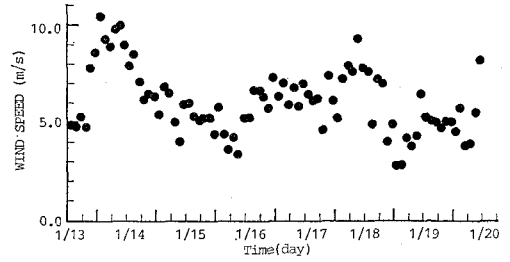


図-3 風速の経時変化

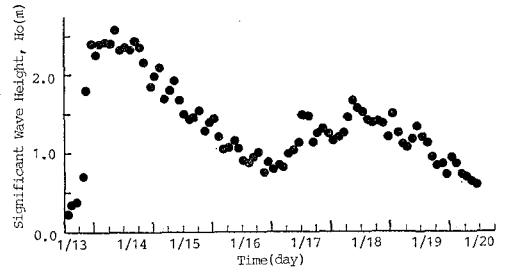


図-4 沖波波高の経時変化

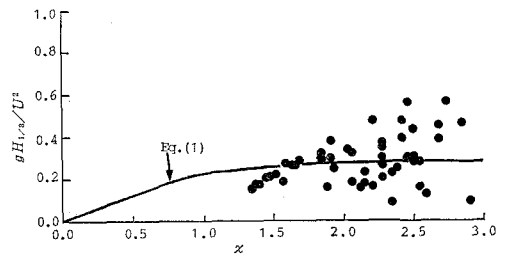
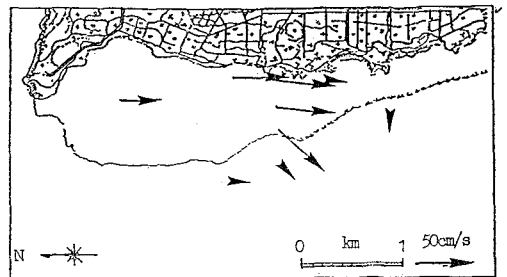
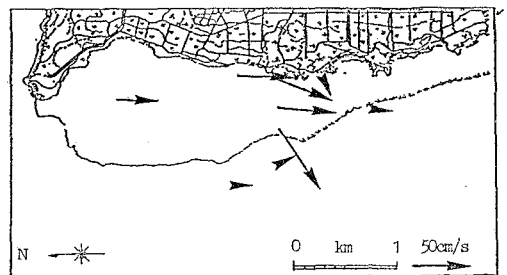


図-5 風速と沖波波高との関係



(a) 満潮時



(b) 干潮時

図-6 平均流速ベクトル図

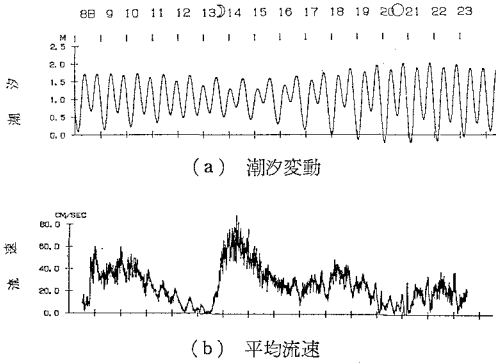


図-7 潮汐及び平均流速の経時変化 (St. 6)

これは、風による吹送流の直接的な影響というよりも、むしろ図-5に示すように、風と風波とが密接に関係していることから、波の波高と直接的な関係にあるものと考えられる。

3.2 吹送流—沿岸流—潮流

図-8は、潮流観測点 St. 1, St. 2, St. 4, St. 6 における毎時の流速ベクトルを示している。砕波帯外の観測点である St. 1 及び St. 2 における潮流は、風・風波が比較的小さかった1月12~13日に掛けて、南流・北流を交互に繰り返しており、ほぼ潮流に伴う流速変動を示していると言える(図中、破線で示す時間帯)。しかしながら、風速及び風波が大きくなる1月14日以降は、殆どの観測点でほぼ南流となっている。図-7(b)で示す流速の経時変化と比較して見ると、海浜流が比較的大きくなる場合は、潮流成分は海浜流の影響を強く受け、潮流

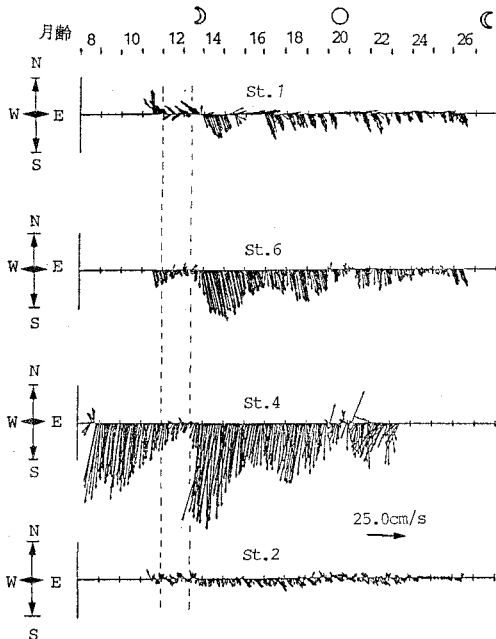


図-8 毎時の流速ベクトル図

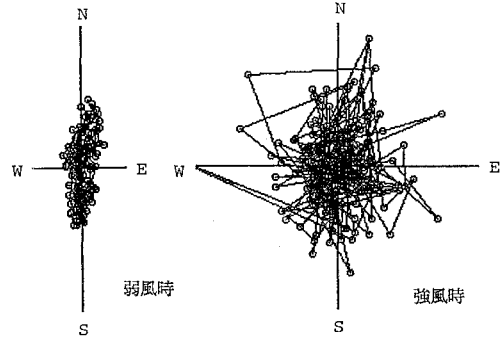
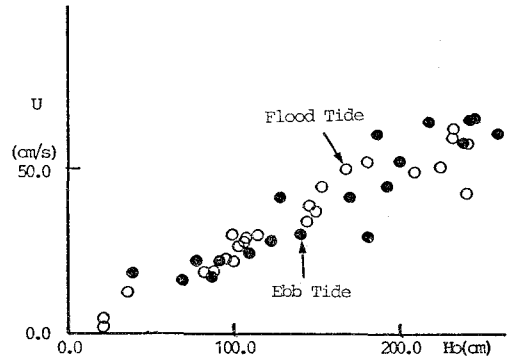


図-9 潮流のホドグラフ (St. 6)

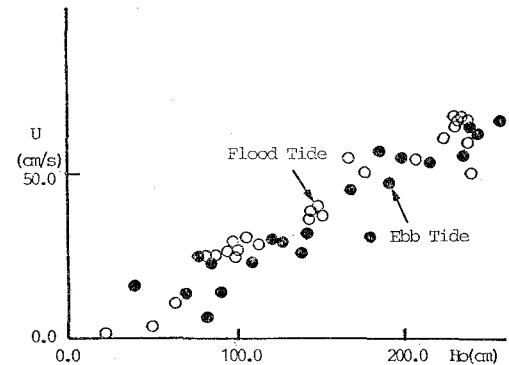
のパターンが静穏時と大きく異なることを示している。

図-9は、海浜流の強弱による(すなわち、風・風波の強弱による)潮流のホドグラフ(一昼夜観測)の変化を示している(St. 6)。図示のとおり、海浜流が比較的小さい1月12日の潮流は、ほぼ南北に長軸を有する橢円軌道となっている。これに対し、強い海浜流が発生した時間帯の潮流は、複雑に変化し、普段の潮流橢円とは大きく異なるものとなっている。

図-10(a), (b)は、入射波高と St. 5, St. 7 における流速との関係を示している。ベルヌーイの定理で示されるように、水位の次元に換算したエネルギーフラ



(a) St. 5 の平均流速



(b) St. 7 の平均流速

図-10 入射波高と平均流速との関係

ックスの関係式からすれば(エネルギーフラックスが保存されるものと考えれば), 流速と波の波高とは比例関係にあることが理解されるが, 両者の現地観測値もほぼ比例関係にある。

3.4 サーフビート

図-11 は, St. 7 における水位及び沿岸流速・岸沖流速の時間変動を示している。図示のとおり, 水位・流速共に, 周期が1~4分程度の長周期変動が認められる。

図-12 は, 水位のパワースペクトルを示している。図示のとおり, 周期230s及び100sの位置においてパワーの極大値が存在する。図-13(a)及び(b)は, 水位変動と流速のコヒーレンス及びフェイズを示している。図示のとおり, 沿岸流速(U_x)と水位変動(η)とは, 殆どの周波数帯でコヒーレンスが高く, 位相差は, 100s以上の長周期波で $\pi/2$, 100s以下の波に対してはほぼ0となっている。また, 岸沖流速(U_y)と水位との位相差は, 周期30秒の波で $\pi/2$ となるのを除いて, いずれの場合も, ほぼ π となっている。すなわち, 周期が100s以上のサーフビートは, 沿岸方向に主方向を有して進行し, 岸沖方向に重複波を形成する長周期波に起因しているものと判断される。一方, St. 7の有義波周期5~10秒程度の波は, 岸沖方向の流速と相関が比較的高く, この付近の波は沖方向からのリーフ上への伝達

波と判断される。

水位スペクトルに見られる周期230s及び100sの極大値は, 入射波高が高い期間中に出現しており, この周期に対応する長周期波は, 当海岸に固有な波動現象として発生しているものと判断される。図-2に|||||印で示した水深約4.5mの礁池内を, 一つの矩形の閉塞性水域と考えると, この水域の固有周期は, 次式によって求められる。

$$T_{n,m} = \frac{2}{\sqrt{gh}} \left\{ \left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{2b} \right)^2 \right\}^{-1/2} \quad \dots\dots (2)$$

$$(m=1, 2, 3, \dots, n=1, 2, 3, \dots)$$

この式に, $a=2400$ m, $b=1500$ m, $h=4.5$ mを代入して, $T_{1,1}=215$ s, $T_{1,2}=107$ sを得る。

図-12で見られた, スペクトルのピークに対応する周期は, 上記の計算値とほぼ一致しており, ここで得られた長周期波の沿岸方向波は, 海域の北側に位置する礁池内水域の静振のエネルギーが漏出して発生したものと判断される。また, 周期30~40s程度のサーフビートは, 沖波の波群性によって引き起こされた長周期波が岸沖方向の重複波として存在したものと判断される。ここで示すように, 沿岸流の上流部へ数kmも離れた波動現象が, 下流部の長周期波の条件を決定していると言う事実は, 海岸工学上興味ある問題といえる。

3.5 砕波帯内(リーフ上)の波高変化

図-14 は, St. 9における有義波波高の入射波高との対応関係を示している。図中の h は潮位変動を含んだ静水面である。また, 図中の破線は, 合田(1975)が一樣勾配海岸を対象として与えた砕波変形の計算値である。また, 実線は津嘉山ら(1989)の実験式より得られる計算値である。観測値は, 入射波高を用いた相対水深によって直線的に変化し, 津嘉山らの実験式とほぼ一致している。他の観測地点に関しても同様な結果が得られており, 波と海浜流の向きとは, ほぼ直交するものの, 個々波に関しては, 余り海浜流の影響を受けていない。合田の計算値との比較では, 観測値の方が小さくなっている

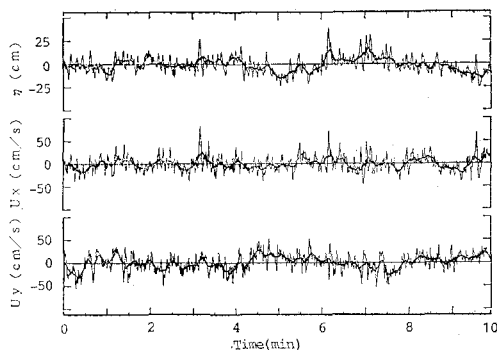


図-11 水位・岸沖流速及び沿岸流速波形 (St. 7)

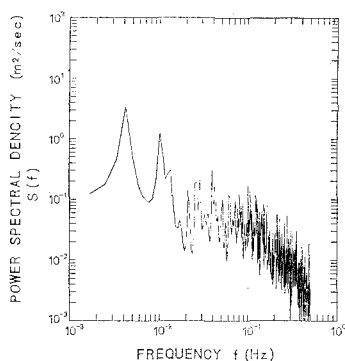
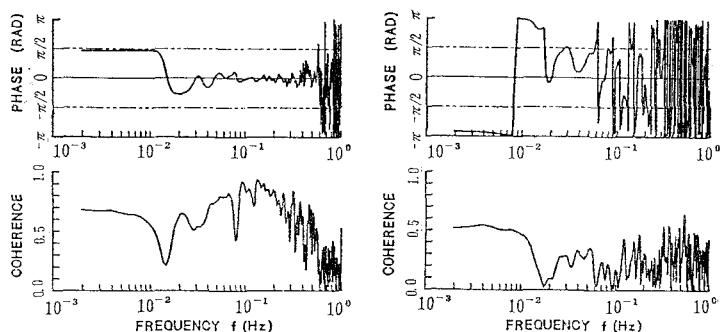


図-12 水位のパワースペクトル (St. 7)



(a) 水位と沿岸流速

(b) 水位と岸沖流速

図-13 水位と沿岸流速とのコヒーレンス及びフェイズ (St. 7)

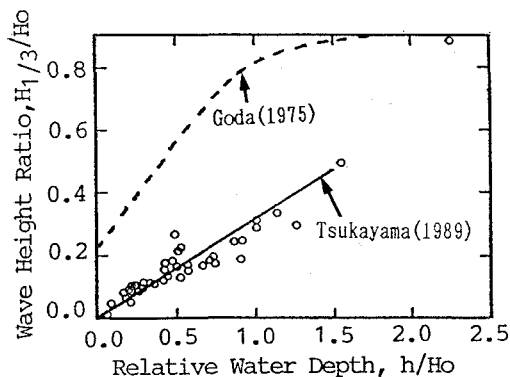


図-14 相対水深とリーフ上波高との関係

が、これは波高測定箇所がリーフ上であり、観測値はリーフによる変形を受けていることによるものである。

4. おわりに

本研究では、強風によって発生した「波」―「海浜流」―「潮流」の観測を行い、強い海浜流が波・サーフビート・潮流に及ぼす影響を検討した。その結果、沿岸流の下流部のサーフビート現象は、上流部の境界条件の沿響を強く受け、上流部の非定常海浜流や静振現象などが、下流部でサーフビート現象として観測されることなどを示した。また、強い海浜流は潮流楕円を大きく変えるこ

となども具体的に示した。

風と風波とは一体となったものであり、それぞれが海浜流に及ぼす影響を現地において独立に測定することは困難であり、数値実験的に検討する必要がある。この点に関しては現在検討中であり、別の機会に紹介したい。

謝辞：本研究は、大規模な現地観測結果を基に行ったものである。観測には多くの方々の協力を得た。特に、琉球大学工学部土木工学科の宇座俊吉技官を始め、沖縄県庁技師砂川勇二・高良直樹・屋良朝博、琉大・土木工学科学生の田中 聡、座波 洋、名嘉康行の諸君には、多大なご協力を頂いた。ここに改めて深甚なる謝意を表す。また、本研究の一部は、文部省科学研究費（一般研究B）「エッジ波など長周期波の発生メカニズムに関する研究（研究代表者：仲座栄三）」の援助を受けたことを付記する。

参 考 文 献

- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 59-106.
- 津嘉山正光・仲座栄三・我喜屋邦浩 (1989): リーフ上の波の変形に関する研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 70-74.
- 土屋義人・吉岡 洋・棚橋輝彦・仲井圭二・森田行司・磯部憲雄 (1989): 超音波流速計による碎波帯内における長期連続観測, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 224-228.
- Hubertz, J. M. (1986): Observations of local wind effects on longshore currents, Coastal Eng., pp. 275-288.