

海浜流に関する研究(第2報)

——海浜流の現地観測——

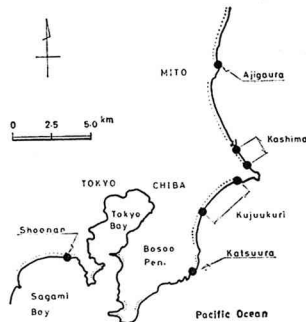
堀川 清 司*・佐々木民雄**・堀田新太郎***・桜 本 弘****

1. 概 説

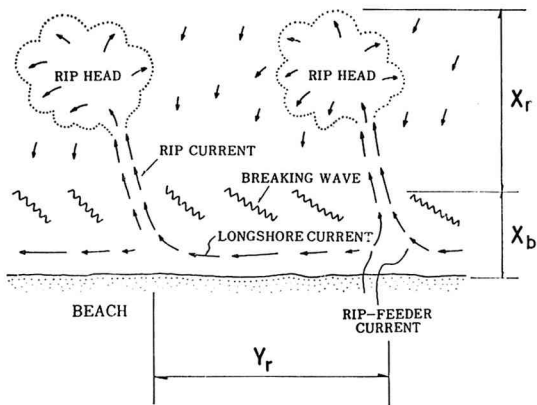
海浜流の研究は近年にわかに盛んになりつつあるが、依然として十分な現地データが得られていない^{1),2)}。第1報³⁾においては海浜流の流速場の観測方法としてのBACS(気球カメラ・システム)とSIHELs(同時ヘリコプター・システム)の開発とその観測例について報告した。その後の解析によって、SIHELsでは碎波帯の最高水位分布が沿岸方向に周期的に変化している様子などを観測することができた(Horikawa and Sasaki, 1972)⁴⁾。

その後、BACSについてはいくつかの改良を重ね、かなり十分な流速場を観測できるようになった。当、第2報においては、建設省土木研究所の漂砂研究用棧橋(写真—1)のある茨城県阿字が浦海岸において実施した2回の流速場観測の成果と、関東沿岸(図—1)の九十九里浜、鹿島海岸、勝浦海岸および湘南海岸における離岸流の発生間隔に関する現地観測の成果を報告する。

離岸流の発生間隔(Y_r , 図—2)についてはBowen(1967)⁴⁾とHarris(1967)⁵⁾がそれぞれ独立に入射波とedge waveとの干渉によって定まるという推論を立てたが、勾配の緩い浜ではedge waveから推定される Y_r は実際の Y_r より小さすぎる難点があった。これに対し、Inman et al. (1968)⁶⁾は勾配の緩い浜では入射波ではなくsurf beatとedge waveとの干渉が支配的であると述べている。しかしながらedge waveの観測例がなくsurf beatについてもデータは少ない。碎波帯付近のこ



図—1 現地観測地点位置図



図—2 海浜流の模式図

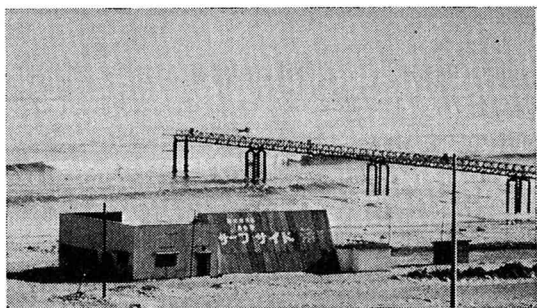
のうねりより長い数10秒から数分の長周期波は海浜流の脈動的性格からも重要と考えられ、今回、阿字が浦海岸と鹿島海岸で観測を試みた。

2. 離岸流の発生間隔(海浜流の規模)

海浜流の問題を2つに分ければ①海浜流の規模と②海浜流の流速場の問題に大別できよう。①は離岸流の発生間隔 Y_r と碎波帯の幅 X_b および離岸流の長さ X_r (図—2)によって定義できる。

Y_r の観測法としては適当な間隔で碎波帯中にフロート投入し、その流向から離岸流の位置を探す方法、染料を用いる方法、航空写真を判読する方法等がある。著者らの用いた方法は主としてフロートである。

図—3は Y_r を碎波帯の幅 X_b に対してプロットしたものである。データはすべて現地データであり34組のデ



写真—1 阿字が浦海岸と棧橋

* 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 東京大学大学院工学系研究科

*** 正会員 工修 東京都立大学助手 工学部土木工学科

**** 正会員 東京大学工学部受託研究員

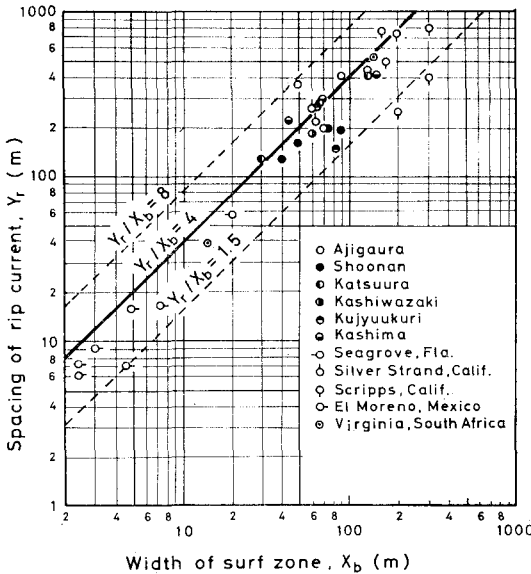


図-3 離岸流の発生間隔と碎波帯の幅

ータが含まれている。El Moreno と Silver Strand は Inman et al. (1968)⁹⁾, Scripps は Shepard and Inman (1950)⁷⁾, Seagrove は Sonu (1972)⁸⁾, および Virginia は Harris (1969)⁹⁾ の成果を用いた。海底勾配 $\tan \beta$ の範囲は $1/7$ (El Moreno) $\sim 1/85$ (九十九里), 碎波波高 H_b の範囲は 0.2 m (El Moreno) $\sim 4.1\text{ m}$ (Scripps), 入射波周期 T の範囲は 2.8 sec (El Moreno) $\sim 14.2\text{ sec}$ (Scripps), 碎波帯の幅 X_b は 2.4 m (El Moreno) $\sim 300\text{ m}$ (Scripps) であって, Y_r の範囲は 6.4 m (El Moreno) $\sim 800\text{ m}$ (Scripps) である。なお, Virginia のデータは多数のデータの平均値である。

Y_r が X_b と相関があるということは McKenzie (1958)¹⁰⁾ も指摘しており, Y_r/X_b の値は $1.5 \sim 8.0$ のばらつきがあるが, 一般には約 4 であるといわれている (Bowen and Inman, 1969)¹¹⁾。日野 (1973)¹²⁾, 1974¹³⁾ が不安定理論によって導いた結果も 4 を示している。

図-3 をみると X_b が 25 m ($Y_r \sim 100\text{ m}$) 以下では Y_r/X_b の値は 4 以下を示している ($2 \sim 3$)。この範囲のデータの特徴は H_b が小さい他に海底勾配が急 ($1/7 \sim 1/10$, $1/30$) などである。さらに, X_b が 10 m 以下のデータを見ると, これらはすべて El Moreno であるが, Bowen⁴⁾ が edge wave 理論の検証に用いたデータであり, offshore modal number n が 1 と 2 に対応する。ただし, n は次式で定義される (Eckart, 1951)¹⁴⁾。

$$\omega_e^2 = g\lambda(2n+1)\tan\beta \quad (1)$$

ここで, $\omega_e = 2\pi/T_e$, $\lambda = 2\pi/L_e$, T_e , L_e はそれぞれ edge wave の周期と波長, g は重力加速度である。

図-4 は無次元碎波帯幅 $\omega^2 X_b / (g \tan \beta)$ と Y_r/X_b とをプロットしたものである。ただし, $\omega = 2\pi/T$, T は入

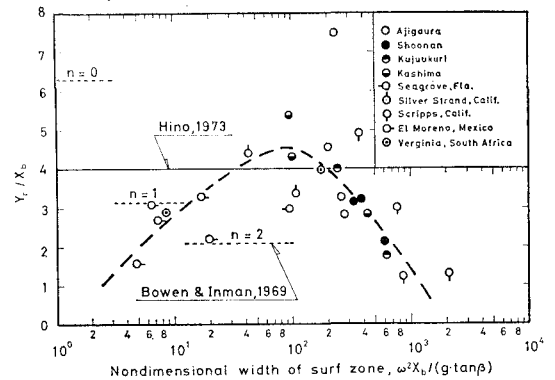


図-4 Y_r/X_b と無次元碎波帯幅

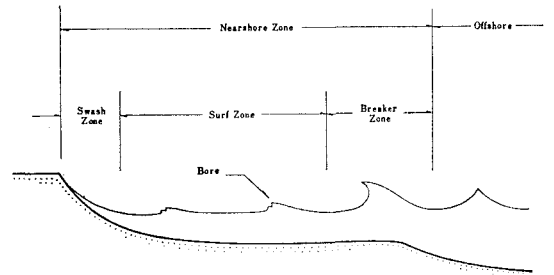


図-5 狭義の surf zone (破波帯) 模式図

射波周期である。データの分布は太い破線で示したように無次元碎波帯幅が 10^2 付近で最大となり ($Y_r/X_b \sim 4$), その両側では下っている。

Nearshore zone (図-5) を狭義の破波帯 (breaker zone) と破波帯 (surf zone) および波打帯 (swash zone) に分けると^{15), 16)}, 急勾配の浜では破波帯が存在しない。沿岸流は破波帯に特有の流れである (Ingle, 1966)¹⁵⁾。また, Kemp (1961)¹⁷⁾ は波が砕けてから前浜頂まではい上る時間を phase difference τ とすれば $\tau > T$ の時, 破波帯が発生すると述べている。また, Dyhr-Nielsen and Sorensen (1970)¹⁸⁾ は破波帯の発生は海底勾配で決まる限界波形勾配 (碎波点) が存在するはずであると指摘している。

中村 (1968)¹⁹⁾ は碎波の持続距離を l_b とすれば, 沖波波高を H_0 として $l_b \approx 25H_0$ で与えられるとしている。surf の発生条件を

$$X_b > l_b = 25H_0 \quad (2)$$

とし, H_b , h_b をそれぞれ, 碎波波高, 碎波水深として, Le Méhauté and Koh (1967)²⁰⁾ の式

$$H_b = 0.76H_0 (\tan \beta)^{1/7} (H_0/L_0)^{-1/4} \quad (3)$$

$$H_b/h_b = H_b/(X_b \tan \beta) = 0.72 + 5.6 \tan \beta \quad (4)$$

を用いれば, surf の発生条件は沖波を用いて

$$\left(\frac{H}{L}\right)_0 < \left\{ \frac{0.76s^{1/7}}{25s(0.72 + 5.6s)} \right\}^4 \quad (5)$$

また, H_0 の代わりに H_b を用いれば

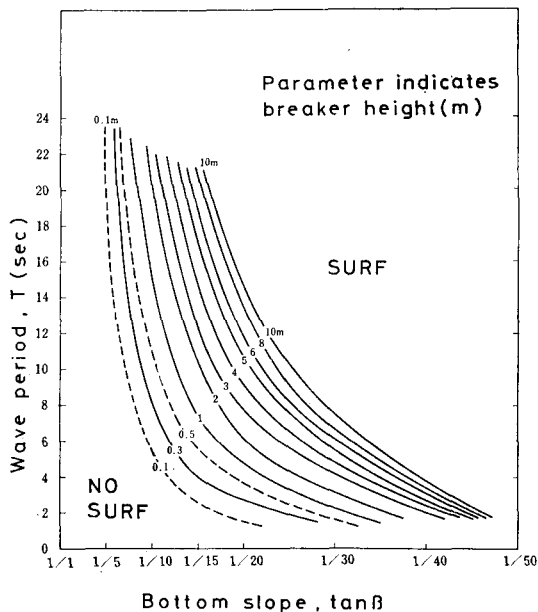


図-6 磯波帯の発生限界

$$\left(\frac{H_b}{L_0}\right) < \frac{(0.76s^{1/7})^4}{\{25s(0.72s+5.6s)\}^3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。ただし、 $s = \tan \beta$ である。右辺は海底勾配のみの関数である。 H_b , T , $\tan \beta$ をパラメーターにとって示すと(図-6)、 $1/40$ より緩い浜では常に surf が存在し、 $1/5$ より急な浜では常に存在しないことがわかる。 $H_b = 0.5 \sim 1.5$ m の通常の波を考えると $1/20$ より緩い浜では存在し、 $1/10$ より急な浜では存在しないといえよう。ただし、ここでは一様斜面を考えているから潮位の影響は入らない。

図-4 に戻ってデータをながめてみると $\omega^2 X_b / (g \tan \beta)$ が 20 以下の El Moreno と Virginia のデータはすべて surf のない場合に相当することがわかる。その他のデータはすべて $\tan \beta$ が $1/20$ より緩い浜のデータである。これらの surf のあるデータのみをみると、 $\omega^2 X_b / (g \tan \beta)$ の増加につれて Y_r / X_b の値は小さくなる傾向をみることができる。

Sonu (1972) は離岸流の流速変動を解析した結果、高潮時の弱い離岸流はうねりに対応して変動しているのに対し、低潮時の強い離岸流は beat (約 50 sec) に対応して変動していることを見出した。他方、Harris (1969) は outer breaker の離岸流は beat に対応して変動し、inner breaker のそれはうねりに対応して変動していることを指摘している(図-17)。一般に高潮時の海底勾配は低潮時より急であり、また、inner breaker のそれも outer breaker より急である。

現状ではうねりと beat を同時に観測している例は少なく、波の観測精度もまちまちであるため、詳細な検討

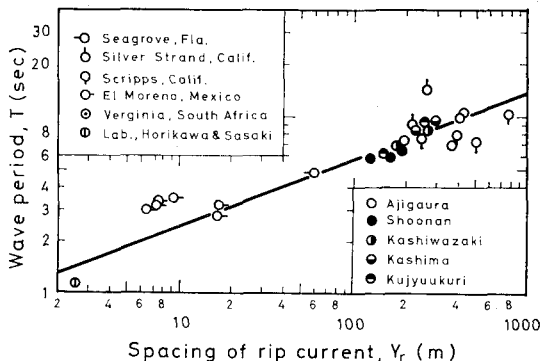


図-7 離岸流の発生間隔と入射波周期

は難しいが、勾配の緩い浜では beat が海浜流の規模に大きな役割を演じているものと推定される。

なお、 Y_r と X_b , H_b , $\tan \beta$ および T との相関をみると、それぞれ、0.805, 0.719, -0.614 および 0.574 となり X_b との相関が最も高い。 X_b のみを説明変数として回帰式を作ると

$$Y_r = 3.01 X_b^{1.005} \sim 3 X_b \quad (r = 0.965) \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。ここで r は相関係数である。 $Y_r / X_b \sim 3$ であり、日野の理論の 4 より小さい。また、 T のみを説明変数とすれば(図-7)

$$Y_r = 0.42 T^{3.08} \sim 0.42 T^3 \quad (r = 0.807) \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。さらに、 T , H_b , $\tan \beta$ を説明変数とすれば

$$Y_r = 1.08 T^{1.41} H_b^{0.54} (\tan \beta)^{-0.64} \quad (r = 0.947) \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。 Y_r , H_b , X_b の単位は m , T は sec である。

3. 離岸流の流速場

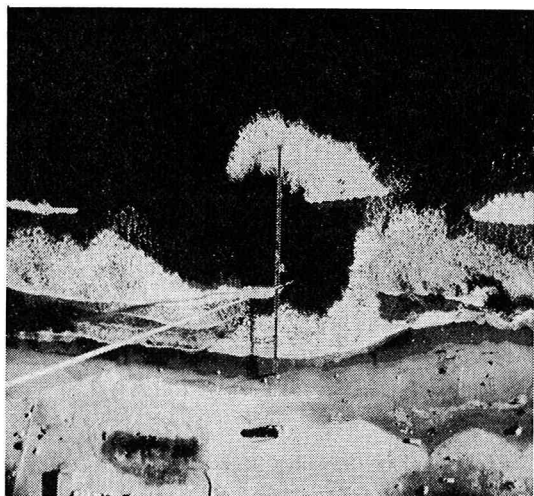
建設省の棧橋(長さ 97 m, 先端水深約 1 m)のある茨城県阿字が浦海岸において昭和 48 年 12 月と昭和 49 年 2 月の 2 回、BACS による流速場の観測を行った。

12 月の第 1 回では棧橋付近に深みがあり離岸流を観測することができた。2 月の第 2 回では棧橋は 2 つの離岸流の中間に位置し、沿岸流の卓越する場を観測できた。

BACS の主な改良点は ① 撮影範囲を広くするために超広角レンズ (Distagon 40 mm) を用い、レリーズコードを 240 m と長くした、② 気球のガスとしてヘリウムを用いた、③ フロートに抵抗板をつけた、などである。

当海岸においては棧橋があるため、フロートの投入、気球の係留、ダイバーへの指示、写真の標定等、観測と解析にとって、計り知れない利益がもたらされた。

BACS によって撮影した写真の 1 例を写真-2 に示した。棧橋はほぼ碎波帯沖まで出ており、中央に深みがある。この時のフロートの軌跡から読みとったフロートの流速ベクトルを図-8 に示した。風が弱かったので気



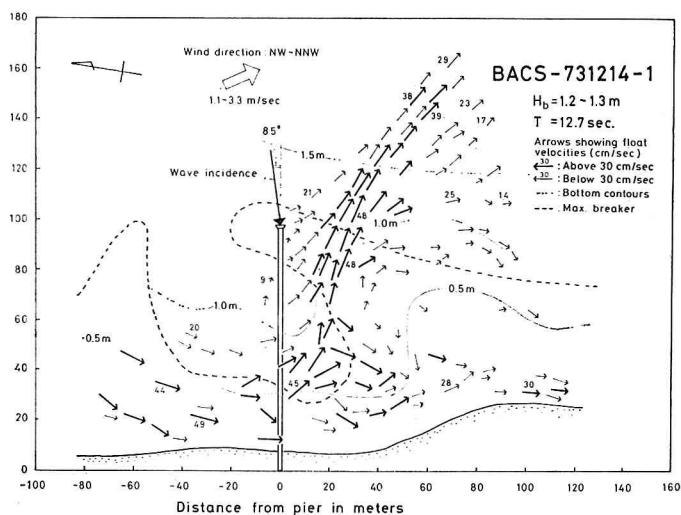
写真—2 BACS-731214 (CASE-1)

球を約 200 m の高さにあげることができ、写真には約 300 m×300 m の範囲をカバーすることができた。

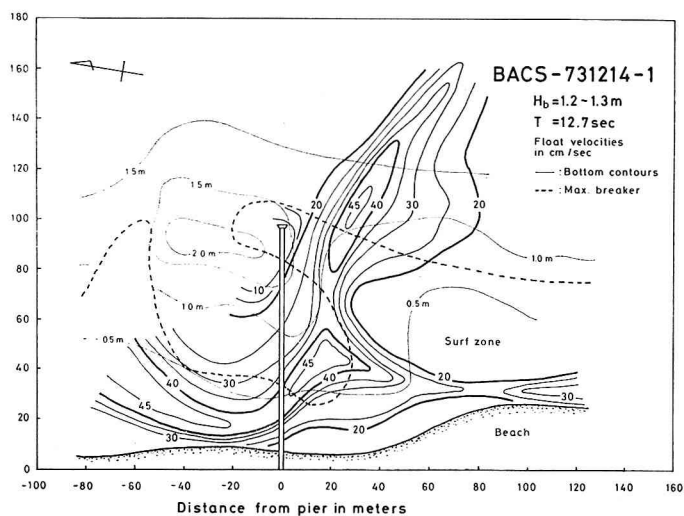
フロートの抵抗板は水面下 30 cm~70 cm 付近に位置している。フロートは砕波帯ではほぼ等深線に沿って流れている。最大流速は約 50 cm/sec であり、棧橋の右側に離岸流がみられる。また、棧橋の付根付近では離岸流と沿岸流に 2 股に分かれる様子が観察される。

図—8 よりフロート流速の等値線図を描くと 図—9 のように離岸流の形が浮き彫りにされる。図中の太い点線は最大砕波線であるが、流れの流心は棧橋の左から棧橋の下を通過すると砕波帯を出るので流れの幅が広がり、冲向きになるにつれて狭くなり、再び広がりつつ沖側の砕波帯を出る。

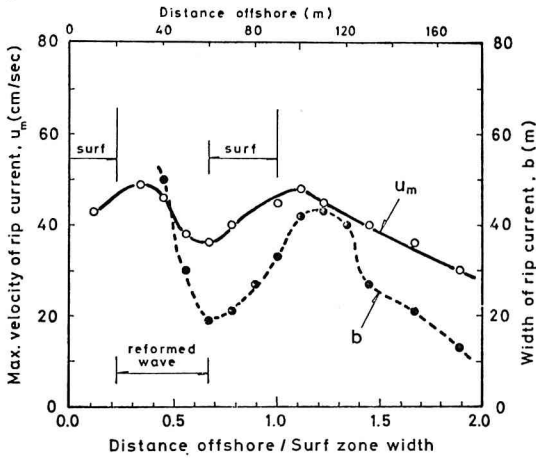
離岸流の幅 b を最大流速の $1/2$ の 25 cm/sec で決めれば、最小幅は約 20 m であり、水深方向に流速が一様と



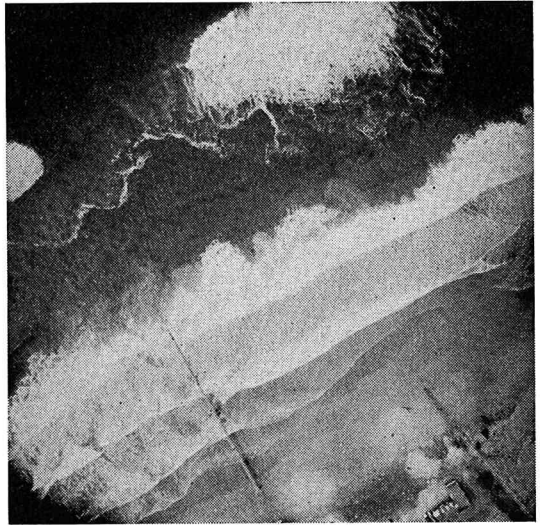
図—8 離岸流のフロート流速ベクトル (CASE-1, BACS-731214)



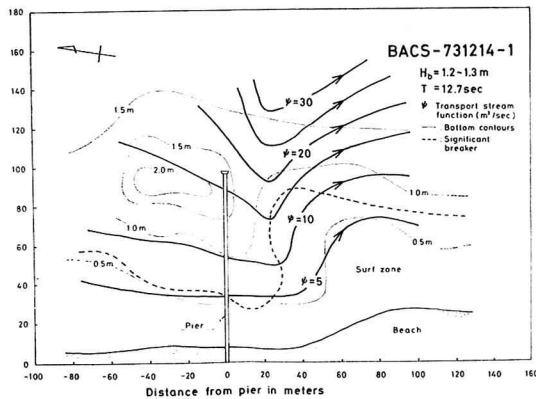
図—9 離岸流のフロート流速分布 (CASE-1)



図—10 離岸流の幅と最大流速 (CASE-1)



写真—3 BACS-740221 (CASE-2)



図—11 輸送流れ関数 (CASE-1)

4. 沿岸流の流速場

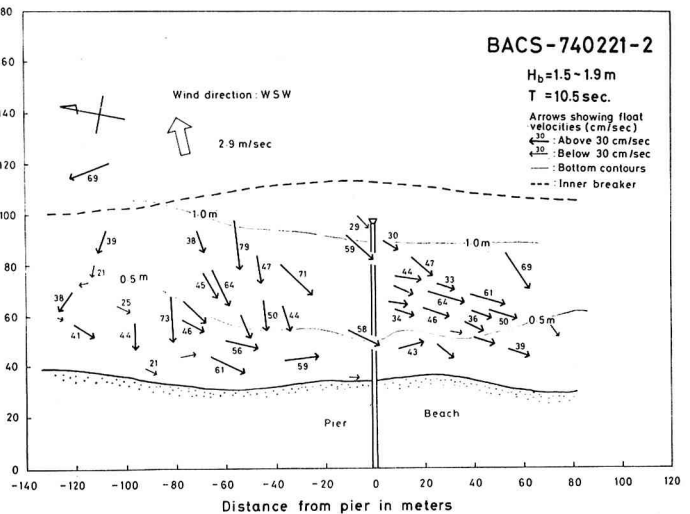
阿字が浦海岸の第2回 (CASE-2) の観測は砕波波高が1.5~1.9 mと大きく、写真—3のように沖合約200 mのbar上で砕け、桟橋は2次砕波帯中に没していた。そのため、ここで観測されたのは2次砕波帯内の流速場である。

海底は平坦で、第1回とは全く異なった流況であった。図—12は観測されたフロートの流速ベクトルであるが、波のりの影響が大きく出ているフロートが多く見受けられる。桟橋から北に約100 mのところでは流向が北向きに変わっている。沿岸流速の最大値は60 cm/secを若干こえている。図—13は図—11と同様にして計算した ψ である。図中には示されていないが、桟橋の南方150~200 mに巨大な離岸流が存在していた。したがって、流

すれば流量は砕波点付近で約20 m³/secである。

Tam (1973)²¹⁾ は2次元噴流の相似解を用い砕波帯外の離岸流を検討している。 u_m を離岸流の流心の最大流速、 x を沖方向の距離とすれば、 $u_m \sim x^{-1}$ 、 $b \sim x$ としているが、前者はほぼ妥当なようである (図—10)。

観測値のフロート流速は、抵抗板をつけてもフロートは波乗りをするため、岸~沖方向の流速の観測精度は良好ではない。図—11は波のりの影響の少ない沿岸方向成分のみを用いて計算した輸送流れ関数 ψ (Arthur, 1962)²⁴⁾であり、流量に相当する。 $\Delta\psi = 5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ごとに輸送流れ線を描いてあるが、砕波帯付近ではほぼ等深線に沿って流れている様子が観察される。離岸流は流線幅の狭いところに対応する。全体の流線のパターンはSonu (1972)の蛇行流のパターンに似ている。



図—12 沿岸流のフロート流速ベクトル (CASE-2, BACS-740221)

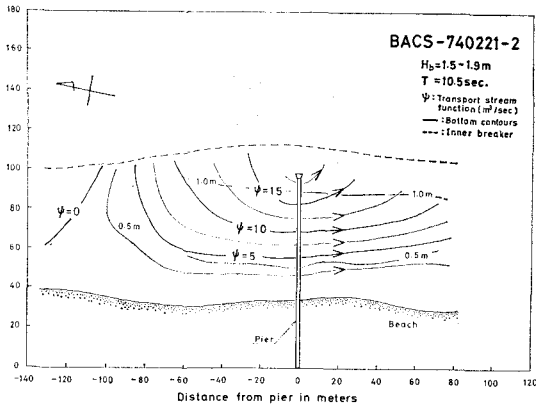


図-13 輸送流れ関数 (CASE-2)

線からも推測されるように2つの離岸流の間の循環の一部が観測されているわけである。 ψ の計算には流速を水深方向に一樣としているため流線とフロートのベクトルとは必ずしも一致しない。

沿岸流速の分布については Longuet-Higgins (1970)²⁵⁾ が水平混合の程度を示す定数 P を導入し, Galvin and Eagleson (1964)²⁶⁾ の実験データを用いて P の値を 0.1 ~ 0.4 と評価している。図-14 は 図-12 から求めた沿岸方向成分をプロットしたものであるがデータの包絡線からは最大流速の位置は碎波帯の半分より岸側にあり, $P=1$ とすれば分布のパターンが合うようである。これは他のケースでも同様であって, 最大流速の位置が碎波帯の幅の半分より沖側へ出るケースは見当らなかった。なお, X_b は観測値の 75% とした。

図-14 は沿岸流速の距岸方向分布であるが, 沿岸方向分布の例として昭和48年2月15日に阿字が浦海岸 (図-15) で行った観測²⁷⁾を 図-16 に示した。流速は水深 0.5 ~ 1.0m 付近でひものついたフロートを投入し, ひものが緊張するまでの時間をストップウォッチで計測して求めた。観測には2時間半要しているため同時性は厳密には満足されないが, セル状循環が鮮明にあらわれている。このように鮮明に規則的な循環が観察されるのはまれで

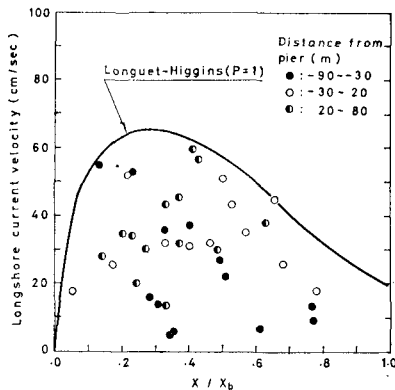


図-14 沿岸流速の距岸方向分布 (CASE-2)

あり, 通常は更に複雑である。また, 図-17 の上段のように outer breaker と inner breaker のある場合, それぞれに循環があるので観測される流れは非常に複雑になる。

図-17 は Harris (1969) が多くの現地観測から海浜流のタイプを3つのタイプ, すなわち, ① 対称セル循環, ② 非対称セル循環, および ③ 沿岸システムに分類したものである。Harris の観測ではそれぞれの生起頻度は

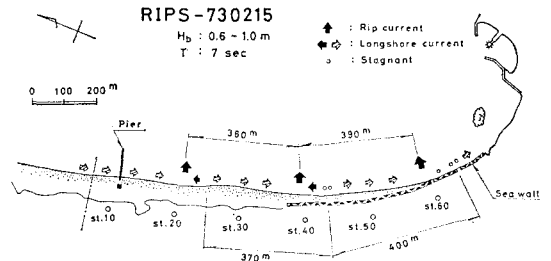


図-15 阿字が浦海岸の海浜流パターン(1例) (RIPS-730215)

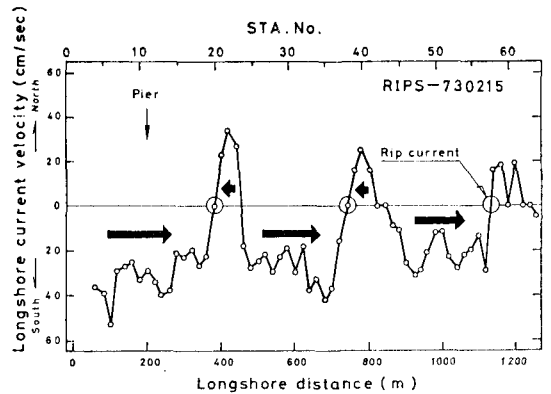


図-16 沿岸流速の沿岸方向分布 (RIPS-730215)

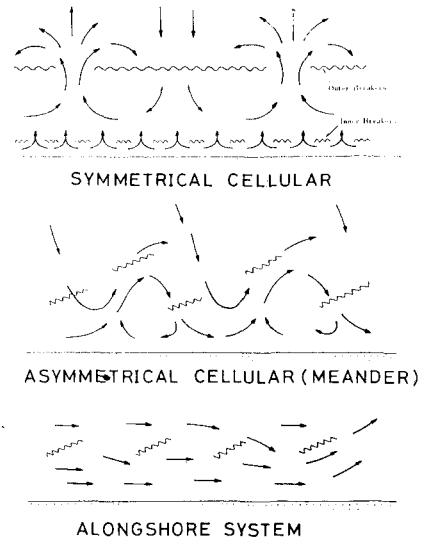


図-17 海浜流のタイプ (Harris, 1966)

38%, 52% および 10% であった。② の非対称セル循環が約半分を占め ① と ② の合計で 90% になる。② は Sonu (1972) の蛇行流に相当する。離岸流のみられない ③ の頻度は非常に小さいことは沿岸流速公式などを用いる場合、特に注意が必要なことを示している。

5. 砕波帯付近の長周期波

測定機器の発達によって、現地観測が実験室的精度で行えるようになりつつある。たとえば Koontz and Inman (1967)²⁹⁾ の DAS (Data Acquisition System) や Lowe et al. (1972)³⁰⁾ の SAS (Shore and Shore) system はプリント配線のステップ式波高計群である。Waddell (1973)³¹⁾ や土屋ら (1973)³²⁾ は容量式波高計群を用いている。

これらの大きな特徴は風波から surf beat に至る周波数帯を精密に観測できることにある。特にうねりより長い数10秒から数分の surf beat に至る周波数帯は観測例も少なく、とりわけ、edge wave の存在に関連して興味を持たれる (Bowen and Inman, 1971³³⁾; Bowen, 1972³⁴⁾)。

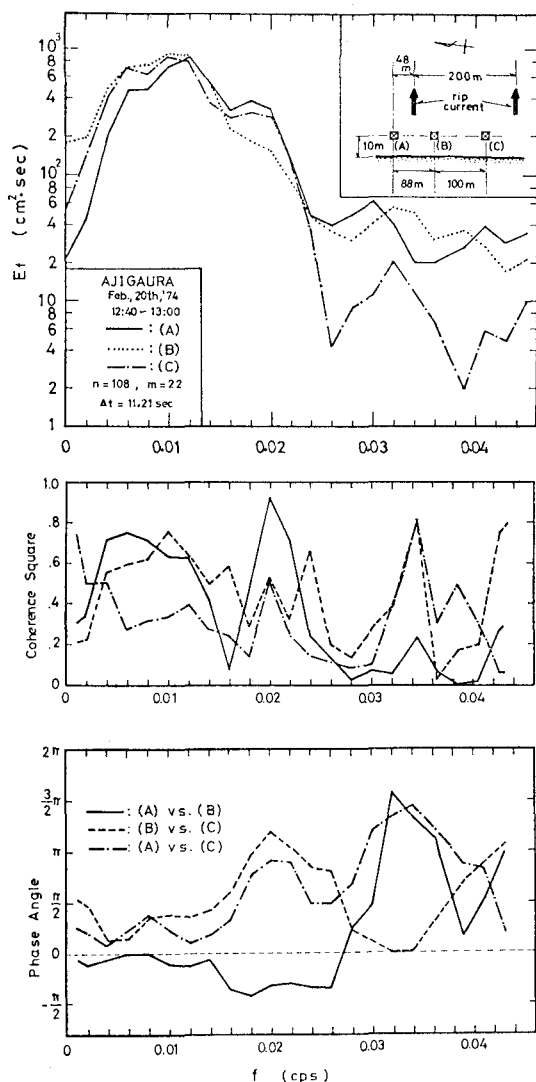
著者らは震研(東京大学地震研究所)型の検潮儀のリシャルを1時間巻きに改良し²⁸⁾、阿字が浦海岸と鹿島海岸において数回の観測を試みた。阿字が浦海岸は図—15 のように南に岬があり、semi-bounded coast といえる。

図—18 は阿字が浦海岸の岬から北へ約 500 m 付近に設置した3台の計器のパワー・スペクトルである。ピークは2つみられ、大きい順にそれぞれ 0.011 Hz (90 sec), 0.018 Hz (55 sec) 付近である。それぞれのコヒーレンス、位相角をみると、0.01 Hz 付近はコヒーレンスが高く、位相は 0 に近い。これは計器が沿岸方向に配置してあるので surf beat と考えることができる。これに対して 0.02 Hz 付近は位相がほぼ π ずれているのがみられる。これは沿岸方向の振動と考えることができると思われる。現在のところデータが少ないので、これを edge wave と断定できないが、仮に edge wave と考え、式 (1) において $n=1$, $\tan \beta=1/55$ とすれば $L_e=260$ m となり、この時のこの付近で観測した Y_r の値 200 m と大略一致する。また、 $n=0$ として surf beat と考えられる 0.011 Hz を用いても 230 m となりほぼ一致する。式 (1) は $\tan \beta$ に敏感であって $\tan \beta$ の評価の精度を考えるとよく一致しているといえよう。

なお、0.028 Hz 付近は Waddell (1973) の指摘しているように計器と汀線との間に形成される反射定常波の節になる周波数に相当し、パワーの極小、コヒーレンスの低下が見られる (Suhayda, 1972³⁵⁾)。

6. 結 語

関東沿岸の数カ所の海岸における海浜流の現地観測から、従来最も予測のむずかしかった離岸流の発生間隔は



図—18 砕波帯内の長周期波のスペクトル

ほぼ $Y_r=3X_b$ (式 (7)) であらわされることが見出された。 X_b は砕波帯の幅であるが、予測の困難な場合は H_b , T , $\tan \beta$ によって式 (9) の実験式を用いてもよい。日野は式 (7) の係数を 4 としているが、その相違は現地海岸の砕波帯は大きい波に対する砕波帯が目に見えるので X_b の実測値が大きく目に評価されるためと考えられる。

以上の式は磯波帯のある場合も、ない場合も含んでいるが、両者の間にはかなりの機構の相違が考えられる。長周期波と Y_r との関係については、今後さらに検討する予定である。

海浜流の流速場については、阿字が浦における観測結果は、いくつか提案されているモデルと比べると、特に離岸流の場合は複雑である。しかし流線を見ると流れは海底地形の影響を強く受けていることがわかる。

沿岸流の距岸方向分布パターンを決める水平混合の定

数 P の値は Longuet-Higgins の評価より現地では大きく、0.8~1.0 程度の値であった。Galvin and Eagleson の実験データも詳細にみると Longuet-Higgins の評価より大きい P の値を示している。

砕波帯の長周期波については今後、離岸流発生間隔の観測と同時にしない、これらの関係について検討していきたい。

なお、現地観測に際しては海浜流の観測に時期をあわせて砕波帯の深淺測量を実施していただいた建設省土木研究所海岸研究室の諸氏、BACS の際フロートの投入等労の多い作業に協力していただいた東京大学工学部土木工学科港湾研究室大学院学生磯崎総一郎君、同研究生内田義雄君、東京都立大学工学部学生久保田進君、原口久利君らの諸氏に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 堀川清司：沿岸付近の流れ，1972年度水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，1972。
- Horikawa, K. and T. Sasaki: Field observation of nearshore current system, Proc. 13th Conf. on Coastal Eng., 1972.
- 堀川清司・佐々木民雄・福井直治・五十嵐元・鬼頭平三：海浜流に関する研究（第1報）—観測法と湘南海岸における観測例—，第18回海岸工学講演会論文集，1971。
- Bowen, A.J.: Rip currents, Ph. D. thesis, Univ. of Calif. at San Diego, 1967.
- Harris, T.F.W.: Field and model studies of the nearshore circulation, Ph. D. thesis, Univ. of Natal, Durban, South Africa, 1967.
- Inman, D.L., R.J. Tait, P.D. Komar and C.E. Nordstrom: Dispersion of water and sediment in the surf zone, SIO Reference 69-10, Scripps Inst. Oceanogr., 1968.
- Shepard, F.P. and D.L. Inman: Nearshore water circulation related to bottom topography and wave refraction, Trans. A.G.U., Vol. 31, No. 2, 1950.
- Sonu, C.J.: Field observation of nearshore circulation and meandering currents, Jour. Geophys. Res., Vol. 77, No. 18, 1972.
- Harris, T.F.W.: Nearshore circulation, Field observations and experimental investigations of an underlying cause in wave tanks, Symposium on Coastal Engineering, South Africa, 1969.
- McKenzie, P.: Rip-current systems, Jour. Geol., Vol. 66, No. 2, 1958.
- Bowen, A.J. and D.L. Inman: Rip current, 2, Jour. Geophys. Res., Vol. 74, No. 23, 1969.
- 日野幹雄：海浜流系の発生理論（3）—単純化された理論—，第20回海岸工学講演会論文集，1973。
- 日野幹雄：海浜流系の発生理論，土木学会論文報告集，No. 225, 1974-5。
- Eckart, C.: Surface waves in water of variable depth, Scripps Inst. Oceanogr. Wave Rep. 100, SIO Ref. 51-12, 1951.
- Ingle, J.C. Jr.: The Movement of Beach Sand, Elsevier, 1966.
- 野田英明：海浜過程，1971年度水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，1971。
- Kemp, P.H.: The relationship between wave action and beach profile characteristics, Proc. 7th Conf. on Coastal Eng., 1966.
- Dyhr-Nielsen, M. and T. Sorensen: Some sand transport phenomena on coasts with bars, Proc. 12th Conf. on Coastal Eng., 1970.
- 中村 充：浅海域の波の解析，農業土木試験場技報F，第2号，EC第1号，1968。
- Le Méhauté, B. and R.C.Y. Koh: On the breaking of waves arriving at an angle to the shore, Jour. of Hydraulic Res., Vol. 5, No. 1, 1967.
- Tam, C.K.W.: Dynamics of rip currents, Jour. Geophys. Res., Vol. 78, No. 12, 1973.
- Sonu, C.J.: Comment on paper by C.K.W. Tam, 'Dynamics of rip currents', Jour. Geophys. Res., Vol. 78, No. 36, 1973.
- Tam, C.K.W.: Reply, Jour. Geophys. Res., Vol. 78, No. 36, 1973.
- Arthur, R.S.: A note on the dynamics of rip currents, Jour. Geophys. Res., Vol. 67, No. 7, 1962.
- Longuet-Higgins, M.S.: Longshore currents generated by obliquely incident sea waves 2, Jour. Geophys. Res., Vol. 75, No. 33, 1970.
- Galvin, C.J., Jr.: Experimental study of longshore currents on a plane beach, Hydrodynamics Lab. Rep., No. 63, MIT, 1964.
- 東京大学工学部土木工学科港湾研究室・建設省土木研究所：阿字が浦海岸海浜流調査報告書，1973。
- 建設省土木研究所：波浪・海浜流に関する現地観測調査，土木研究所資料，第916号，1974。
- Koontz, W.A. and D.L. Inman: A multi-purpose data acquisition system for instrumentation in the nearshore environment, TM-21, CERC, Corps of Engineers, 1967.
- Lowe, R.L., D.L. Inman and B.M. Brush: Simultaneous data system for instrumentating the shelf, Proc. 13th Conf. on Coastal Eng., 1972.
- Waddell, E.: The dynamics of swash and its implication to beach response, Ph. D. Dissertation, Louisiana State Univ., 1973.
- 土屋義人・山口正隆・芹沢重厚：長大棧橋を利用した容量型波高計群による波浪観測について，第20回海岸工学講演会論文集，1973。
- Bowen, A.J. and D.L. Inman: Edge waves and crescentic bars, Jour. Geophys. Res., Vol. 76, No. 36, 1971.
- Bowen, A.J.: Edge waves and the littoral environment, Proc. 13th Conf. on Coastal Eng., 1972.
- Suhayda, J.: Experimental study of the shoaling transformation of waves on a sloping bottom. Ph.D. Dissertation, Scripps Inst. Oceanogr., Univ. of California, San Diego, 1972.