

海浜流に関する研究(第5報)

——海浜流の長周期変動——

佐々木民雄*・堀川 清司**・久保田 進***

1. 概 説

著者らは第3報¹⁾において離岸流の発生間隔に代表される海浜流系の規模を統一的に解釈し、第4報²⁾においてはそのうち緩勾配海岸あるいは時化時に対応する「外重力波領域」における外重力波について考察した。

当第5報においては昭和51年8月29日に茨城県阿字が浦海岸で実施した40分間にわたるBACS(気球カメラ・システム)による海浜流流速場の観測、および同時に行なった11台の波高計 array による水位変動の観測結果より、砕波帯内外の空間的な周波数スペクトルの変形と海浜流との応答を解析し、海浜流の脈動の原因を考察した。Huntley and Bowen (1973³⁾, 1974⁴⁾, 1975a⁵⁾, 1975b⁶⁾, Dette and Führböter (1974)⁷⁾, Führböter and Büsching (1974)⁸⁾ は電磁流速計を用いて砕波帯の流れを観測しているが、最近の Huntley (1976)⁹⁾ が現地観測から導いた cut-off mode の low mode edge wave の理論、

Inman et al. (1976)¹⁰⁾ の edge wave の観測、Meadows (1976)¹¹⁾ の Michigan 湖における観測からも海浜流の脈動の原因は砕波帯に trap され、励起される edge wave であるものと考えられる。

2. 阿字が浦海岸における海浜流の長時間観測

建設省土木研究所の観測桟橋のある茨城県阿字が浦海岸においては昭和47年度より海浜流の観測が実施されている¹²⁾。桟橋は昭和51年度より、従来の100mより2倍の200mに延長され(図-1)、平常時には砕波帯の内外を同時に観測できる様になった。

8月29日は8月最後の日曜日であり、図-1に見える様に夏の最後を楽しもうとする海水浴客が集まり、桟橋の右手ではサーフィン大会が開かれていた。観測を行なった14:30~15:10の風はESEより約3m/secであり、波は砕波波高約1.2m、周期約13secであった。砕波はほぼ桟橋中央で生じ、砕波帯の幅は約100mで

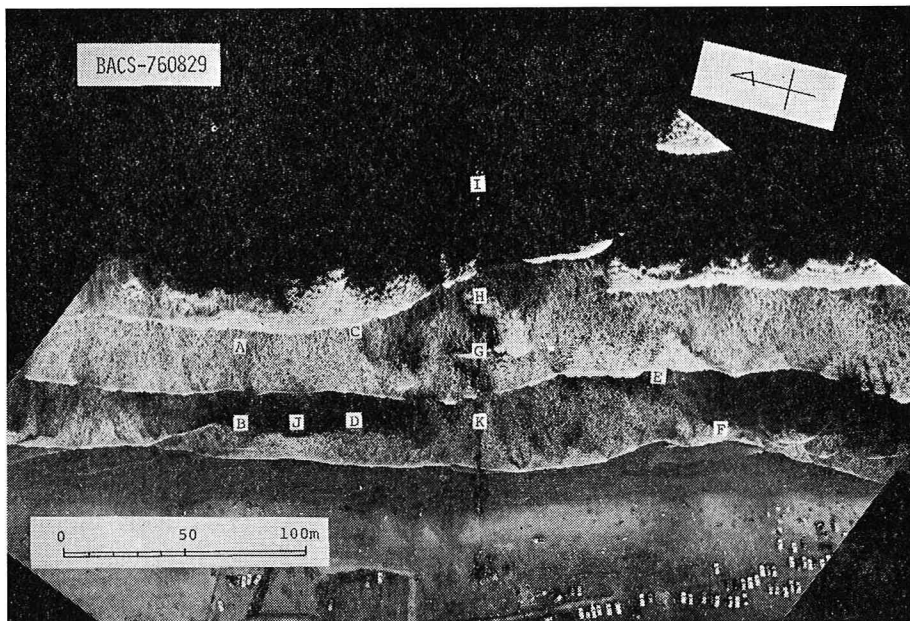
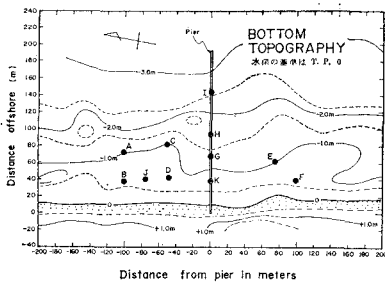


図-1 BACS-760829 (A~K は波高計の位置)

* 正会員 工博 海岸環境工学研究センター研究員

** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 海岸環境工学研究センター研究員

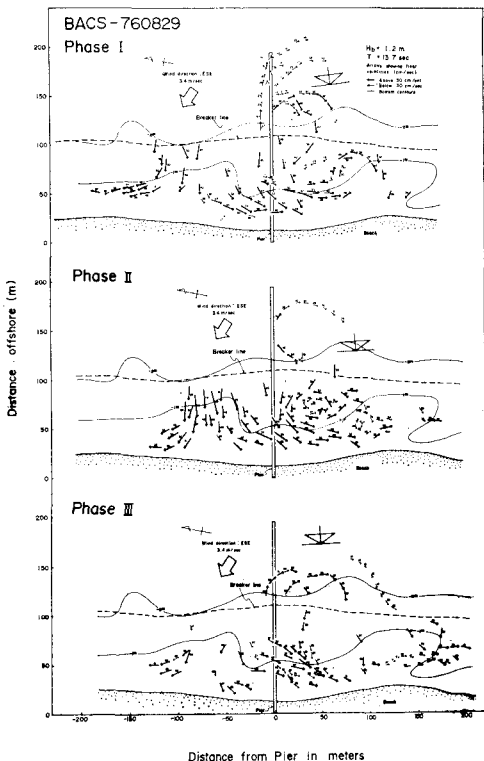


図—2 深浅図 (昭和 51 年 8 月 29 日測量)

あった。図—2 は観測直後 (16:00~) に測量した砕波帯の地形であり、水深 2 m までの平均海底勾配は約 1/60 である。

波高計としては測量用のポールを Bolex の 16 mm モーションカメラで 1 sec 毎に駒撮りして用いた。ポールは図—1 に示す A~K の 11 本を沿岸方向 200 m, 沖合方向 140 m の区域に配置し、5 台のカメラにより 40 min 間撮影し、そのうち 2 000 駒 (33 min) を解析した。

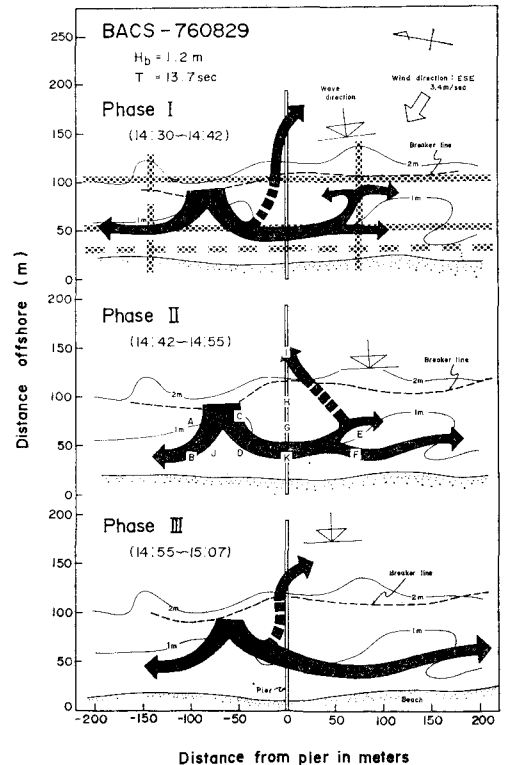
海浜流の流速場の撮影においては従来の 15 ft. マガジンでは 10~15 min の撮影が限度であったが、今回新たに 100 ft. マガジン (480 枚撮影可能) に替えて長時間



図—3 フロート流速ベクトル (BACS-760829) の変化

観測が可能となり 37 分間 (15 sec 毎) の連続撮影を実施した。気球は約 240 m の高度に係留した。図—3 は撮影した 150 枚のフィルムを 50 枚毎に分けて解析したフロートによる流速ベクトル場であり、図—4 は図—3 から判読した流れのパターンである。

棧橋の左手より砕波帯へ流入した水は左右に分かれ、右手へ分かれた沿岸流の一部は棧橋付近あるいは棧橋右手から離岸流として沖へ出、また一部は更に右手へ流れている。沿岸流の最大流速は約 70 cm/sec であり、平均して 40~50 cm/sec である。離岸流はさほど強くないために流路の変動が激しく最大 40 cm/sec 程度である、沿岸流は流速が大きく、この観測時間中は定常的な流れを形成している。棧橋付近の水深 1 m のコンターを見ると、棧橋の左右で約 100 m の区間 embayment を形成し、離岸流はこの区間の水深が深いために容易にその流路が変動する。



図—4 流況パターン (BACS-760829) と節線

3. 砕波帯付近の周波数スペクトルの変形

図—5 は砕波帯付近 (H) と swash zone 近く (K) の波高計のパワー・スペクトルである。まず入射波についてみると、6~14 sec の間に広いピークが見られる。更に細かくみると約 3 つのピーク、即ち、7, 9 および 13 sec の 3 つの入射波を見出すことができる。これらは岸

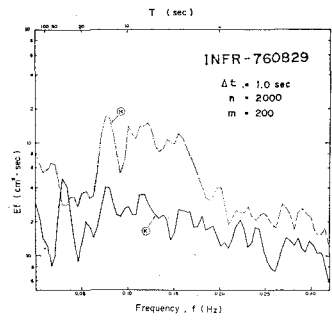


図-5 入射波のスペクトル ($\Delta t=1$ sec)

に近くなるにつれて碎波により一様にエネルギーが低下している。他方、20 sec 以上の長周期側をみると、K では 40 sec 付近にピークが見出される。

図-6 は平滑化後 $\Delta t=3$ sec でサンプリングを行ない、クロス・スペクトル解析を行なった結果である。左図は桟橋に沿った G, K, H, I の結果であり、位相を見ると、周期約 20 sec 以上の波に定常波の性格があらわれている。図の中央と右の図は夫々沿岸方向に配置した A, C, G, E (岸から約 50 m), および B, J, D, K, F (岸から

15~20 m) のスペクトルである。パワーのピークをみると次の5つのピークが見出される。即ち、18, 26, 33, 40~50 および 100 sec である。更に長周期 ($f \rightarrow 0$) の部分にピークを持つのは A, C, G, H, K であり、これらは 図-4 からわかる通り流れの強い場所に対応している。

図-6 の位相から節線を見出すことができるが、夫々のピーク周波数 (ν) に対して 1~2 本の岸に平行な節線が見出され、それらを表-1 に示した。岸からの距離 x は Eckart (1951)¹³⁾ の式より求めたものである。又、26

表-1 岸に平行な節線 (INFR-760829)

ピーク周波数 ν (Hz)	周期 T (sec)	nodal line の岸からの距離 x (m)			
		$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$
0.010 ($n=1$)	100	90			
0.020 ($n=2$)	50	20	100		
0.030 ($n=3$)	33	(10)	50	130	
0.039 ($n=4$)	26	(6)	30	80	(150)

$\tan \beta = 1/40$ とした。 n は offshore modal number, () は計器の配置により確認できなかった nodal line.

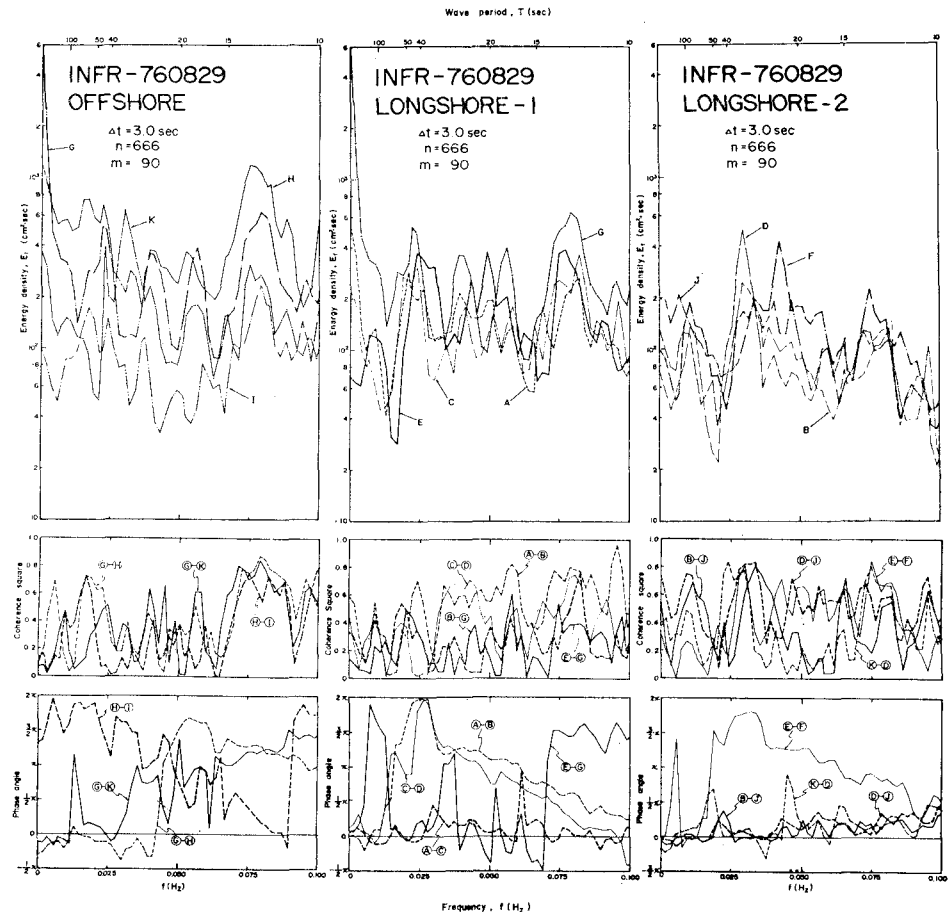


図-6 外重力波のクロス・スペクトル ($\Delta t=3$ sec)

sec と 18 sec のピークでは岸に直角な節線が棧橋の南側に認められ edge wave であることが確認された。それより長い周期のピークは計器の配置が沿岸方向に 200 m と狭いので、測定範囲内では全て同位相のため節線は見出されなかった。

Ball (1967)¹⁴⁾ は次に示す様な指数型の海底断面に対する edge wave の解を求めている。

$$h/h_{\infty} = 1 - e^{-\alpha x} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで h_{∞} と α は定数であり、 h は沖方向距離 x の水深である。(1) 式は $h_{\infty} \rightarrow \infty$ のとき一様斜面となり $\alpha h_{\infty} \rightarrow \tan \beta$ となる。Huntley (1976) は Ball (1967) の edge wave の生ずる条件より edge wave の cut-off 周

波数 (ν) を (2) 式の様に与え、電磁流速計の観測結果とよい一致を見た (図-7)。

$$\nu = \frac{\alpha \sqrt{gh_{\infty}}}{2\pi} \sqrt{n(n+1)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで n は offshore modal number, g は重力加速度である。図-7 に同時に示したのは阿字が浦における昭和 51 年 3 月 (INFR-760314)¹⁵⁾ と今回の結果 (INFR-760829) である。

(2) 式は (1) 式より α と h_{∞} , 即ち海底のプロファイルが与えられれば n によって ν が一義的に決まることを示し、図-7 は、更に、多数の外重力 low mode edge wave が共存することを示している。今回の観測では $n=6$ まで見出された (図-7)。

表-1 の $n=1$ の x は 90 m, $n=2$ の 2 番目の節は 100 m とこれらはほぼ砕波点に対応し、 $n=3$ の 50 m, $n=4$ の 30 m は夫々 図-4 中に示した様に沿岸流の流軸の位置に対応している様に思われる。又、 $n=4$ や $n=6$ に見られる岸に直角方向の節は同様に、図-4 中に示した様に離岸流の位置に対応している様に見える。恐らく観測範囲外に $n=1 \sim 3$ の岸に直角な節があり、そこに大きな離岸流が存在していたものと考えられる。

図-8 は 8 月 29 日の午前中に 9 台の波高計で観測したスペクトルのうち棧橋に沿った 4 つのパワースペクト

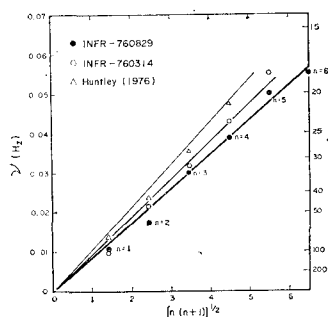


図-7 ピーク周波数 ν と modal number

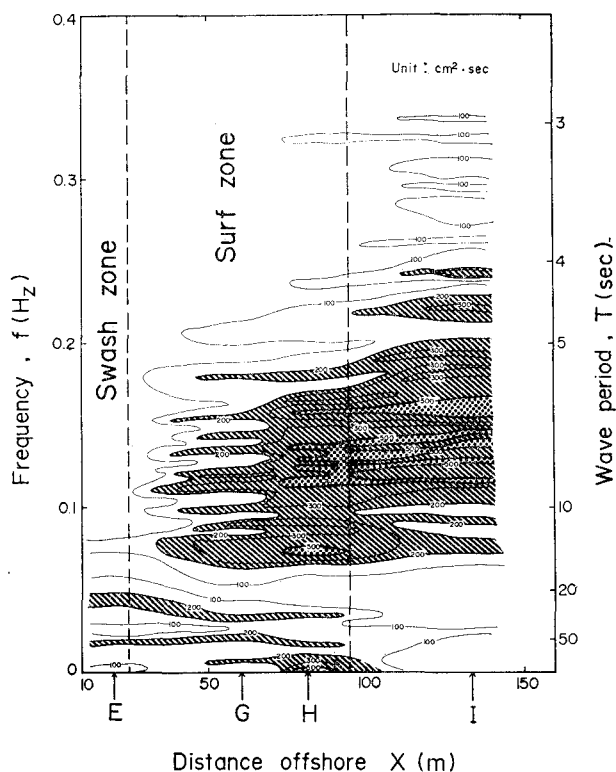


図-8 岸～沖方向のスペクトル密度の変化

ルを岸へ沖方向にプロットしたものである。砕波帯外、砕波帯および swash zone の3つの領域におけるスペクトル特性をこの図より鮮明に見ることができる。即ち、砕波帯沖に見える 0.2 Hz 以上の高周波成分は砕波帯内で消失し、又、0.05~0.2 Hz の波は swash zone で消えるのに対し、0.05 Hz 以下の外重力波は砕波帯沖では見えなくなる。更に swash zone では 0.05 Hz 以下の波のみが存在する。この解釈として 0.05 Hz 以下の外重力波は以上の重力波からエネルギーの供給を受けて砕波帯内で励起されていると見ることができよう。更に長周期の波動が測点 H にみられるが、ここは丁度離岸流の位置であった。

今後の課題としては、入射波と edge wave の非線形干渉¹⁶⁾、edge wave と edge wave の相互干渉¹⁷⁾のほか、edge wave の波高の研究¹⁸⁾が必要であろう。

謝 辞

当研究の一部は建設省土木研究所より I. N. A. 新土木研究所に委託された昭和 51 年度「阿字が浦海岸海浜流観測調査」、および文部省科学研究費総合研究(A)「砕波現象を中心とする沿岸海洋の動的解明に関する研究」(研究代表者 堀川清司)によって行なった。現地観測に際しては建設省土木研究所海岸研究室橋本宏室長以下の諸氏、東京都立大学土木工学科堀田新太郎助手、東京大学工学部土木工学科港湾研究室の諸氏より御協力を頂いた。又、Dalhousie 大学の Bowen 教授からは文献を頂いた。スペクトル解析は I. N. A. の桜本弘、佐々木文雄両君が行なった。以上の諸氏に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘: 海浜流に関する研究(第3報)——海浜流系の規模——, 第22回海講, pp. 127~134, 1975.
- 2) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・久保田進: 海浜流に関する研究(第4報)——緩勾配海岸の海浜流——, 第23回海講, pp. 365~370, 1976.
- 3) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field observations of edge waves, *Nature*, Vol. 243, pp. 160~162, 1973.
- 4) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field measurements of nearshore velocities, *Proc. 14th Coastal Eng. Conf.*, pp. 538~557, 1974.
- 5) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field observations of edge waves and their effect on beach material, *J. Geol. Soc.*, Vol. 131, pp. 69~81, 1975a.
- 6) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Comparison of the hydrodynamics of steep and shallow beaches, in *Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation*, ed. J. Hails and A. Carr, John Wiley & Sons, London, pp. 69~110, 1975b.
- 7) Dette, H. H. and A. Führbötter: Field investigations in surf zone, *Proc. 14th Coastal Eng. Conf.*, pp. 518~537, 1974.
- 8) Führbötter, A. and F. Büsching: Wave measuring instrumentation for field investigations on breakers, *Proc. Intern. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis*, pp. 649~668, 1974.
- 9) Huntley, D. A.: Long-period waves on a natural beach, *Jour. Geophys. Res.*, Vol. 81, pp. 6441~6449, 1976.
- 10) Inman, D. L., C. E. Nordstrom and R. E. Flick: Currents in submarine canyons: An air-sea-land interaction, *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 8, pp. 275~310, 1976.
- 11) Meadows, G. A.: Time dependent fluctuations in longshore currents, *Proc. 15th Coastal Eng. Conf.*, Hawaii, 1976.
- 12) 建設省土木研究所: 波浪・海浜流に関する現地観測調査(その3), 土木研究所資料, 第1138号, 122 p., 1976.
- 13) Eckart, C.: Surface waves on water of variable depth, *Wave Rep.* 100, Ref. 51~52, 99, pp. Univ. of Calif., SIO, 1951.
- 14) Ball, F. K.: Edge waves in an ocean of finite depth, *Deep Sea Res.*, Vol. 14, pp. 79~88, 1967.
- 15) Sasaki, T., K. Horikawa and S. Hotta: Nearshore current on a gently sloping beach, *Proc. 15th Coastal Eng. Conf.*, Hawaii, 1976.
- 16) Guza, R. T. and A. J. Bowen: Resonant interactions for waves breaking on a beach, *Proc. 15th Coastal Eng. Conf.*, Hawaii, 1976.
- 17) Guza, R. T. and A. J. Bowen: Finite amplitude edge waves, *Jour. Mar. Res.*, Vol. 34, pp. 269~293, 1976.
- 18) 藤縄幸雄・岡田憲司: サーフ・ビートの特性(II), 1976年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, pp. 175~176, 1976.