

砕波帯内の波の平面分布特性について

堀田新太郎*・水口 優**・磯部雅彦***

1. はじめに

近年、著者等は何台かの同期された 16 mm メモーションカメラを使用して、海中に打設したポールを標識とし、ポールに沿う水面変動を撮影することによって砕波帯近傍の波の現地観測を実施してきた。これらの観測の一部は、より以上のデーターの解析と検討の余地を残しながらも既に発表されている^{1),2)}。本年度は、2 台のカメラを一对として交互にカメラを使用することによって、長時間の観測を実施することにし——結果として観測点の数は少なくなる——また、時間的に多少差があるが汀線に平行な方向にもポールを配置して、観測を実施し、砕波帯内の平面波浪特性についての検討をしようとする目的で観測を実施した。新しい試みにつきものの失敗、また砕波帯内の流れが強いために砕波点や砕波帯中央にポールの打設ができなく、当初意図していたような完全なデーターが得られていない極めて限定された観測ではあるが、興味ある事実が明らかになったので砕波帯特有の問題の 2, 3 と含めてここで報告する。

2. 現地観測と解析

(1) 現地観測

現地観測は、茨城県那珂湊市阿字が浦海岸にある建設省土木研究所の漂砂調査用の棧橋を利用して、昭和 54 年 9 月 3 日に実施した。当日は図-1 にみられるように棧橋の支柱 P3 と P4 の間にトラフが存在し、このトラフにて激しい北向きの流れが存在し、海中作業はできなかった。岸沖方向の標識として棧橋の支柱を利用することにした。沿岸方向には図-2 にみられるようにほぼ汀線に平行に 50 m の間隔で 6 本のポールを打設し、これを標識とした。6 本のポールには海底面より 20~30 cm の高さに電磁流速計がとりつけられている。観測は初めに 11 時 12 分より沿岸方向に 1 時間、ついで

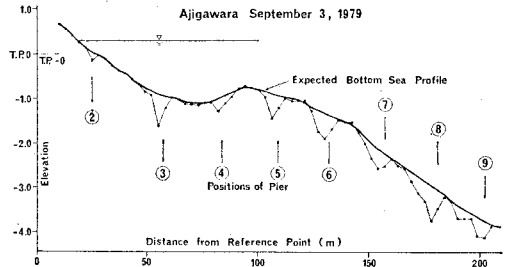


図-1 棧橋に沿う Beach profile とピアの位置

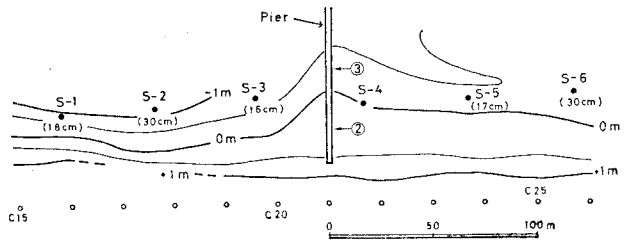


図-2 汀線付近の地形とポール位置

12 時 33 分より岸沖方向に 25 分間実施した。沿岸方向と岸沖方向とは同時観測ではない。撮影間隔は 0.2 秒である。

(2) 解析方法

岸沖方向のデーターは従来のようにコマ送り可能なプロジェクターで壁面に投射し、支柱の径をスケールとして水位を読み取った。しかし、沿岸方向のデーターはフィルムアナライザーとグラフペンを使用して水位を一度紙テープに出力し、紙テープよりさらにデーター処理に都合のいいように MT に移して処理をした。なお、カメラの故障と撮影中のカメラの移動により S-1 では 25 分、S-5 では 48 分のデーターしか得られていない。

3. 観測結果と検討

(1) 波の定義法と問題点

如何に波を定義すべきか。問題の本質はここから始まる。種々の定義法があろう。しかし、一般に海岸工学では zero-up cross 法と zero-down cross 法が受け入れられている³⁾。以下の議論は zero-up cross 法と zero-down

* 正会員 工修 東京都立大学助手 工学部土木工学科
 ** 正会員 工博 中央大学助教授 理工学部土木工学科
 *** 正会員 工修 東京大学助手 工学部土木工学科

cross 法とに限ることにする。昨年度の観測で、波を zero-up cross 法で定義するにしても zero-down cross 法で定義するにしても、いずれの方法とも微小な波(波高数 cm 程度)が多数定義され、結果として波の統計的諸量を小さくすることを指摘した。これらの微小波を含めての砕波帯内の波の特性についての議論はその本質を見失い兼ねない。

では、如何ほどの波を無視して議論すべきか。著者等はこれについての種々の試み——試行錯誤——をしているが未だ明確な基準を与えることはできない。しかしながら、著者等は少なくとも1つの目安として水位の最小読み取り値の2~3倍以下の波高は無視した方が良いのではないかと考えている。これは今回の観測データではなく、昭和48年12月13日に実施した観測データの精度の検討より得られた結果である。(この観測については稿を改めて近く発表する。)すなわち、水位データ読み取り誤差の標準偏差は最少読み取り単位の1.2~1.5倍程度であり、平均水位程度の水位が続くときに、平均値を最小目盛単位の1~2倍程度で1波を定義する例が多かったからである。だからと云って、上述の基準で微小な波を無視して処理した結果が合理的であったという結論を得ているわけではない。次に、仮りに何らかの基準が得られたとして、基準以下の微小波を無視したとしよう。ではこの無視した波を無視しない相隣りいずれの波に含めるかが問題になる。(図-3を参照されたい。)前の波の後に付けるべきか(W)後の波の前に

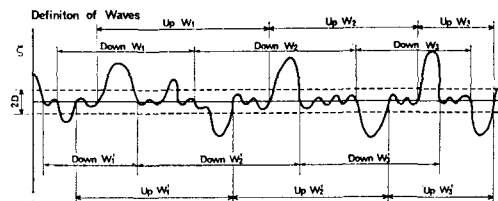


図-3 波の定義法

つけるべきか(W')。これらは特殊な場合を除いては一般に波高には関係しないが周期に関係する。波の定義における第3の問題は zero-up cross 法と zero-down cross 法のいずれがより合理的かということである。この両定義法による結果の差異の1例を後の(4)で述べる。当面对象としている問題の最後として、砕波帯内の長周期波との兼ね合である。砕波帯内に長周期変動が存在することは既に多くの観測者によって報告されている⁴⁾。この長周期変動は汀線に沿うエッジ波⁵⁾であるか岸沖方向の部分重複波⁶⁾であるかは現在のところ定説はない。この長周期変動は砕波帯内の波に如何なる影響を与えているか。これらについて今回の現地観測を例として以下に検討することにする。

(2) 定義される波数

表-1に zero-down cross 法で波を定義したとき、定義される波数を岸沖方向のデーターで示してある。このデーターの最小読み取値は5cmである。従って如何なる波高の波も無視しなければ最小波高は5cmとなる。

ついで、定まる最小波高が10cm, 15cm, 20cmとなるように定義したものを示してある。(zero-up cross 法で定義しても波数は変わらないことに注意されたい。)

表-1 微小波高波の無視の程度による定義される波数の変化

Pole No. 最小波高	P2	P3	P4	P6	P7	P8	P9
5 cm	273	305	305	292	252	299	349
10 cm	155	228	231	228	203	215	231
15 cm	134	196	169	186	189	202	201
20 cm	109	171	151	164	172	179	188

表-1からわかるように、もし定義される最小波高を10cm, すなわち、最小読み取値の2倍が最小波高になるようにすれば定義される波数は約30~40%減ずる。如何に微小な波を多く定義しているかがわらう。従って、この結果として波の統計的諸量を小さくしていることが十分にわかる。最小波高を、最小読み取値の3倍、4倍となるように定義すると定義される波数はそれぞれ10%程度ずつ減じる。しかしながら紙面も限りがあるのでデーターは示されないが、統計波 $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ には、ほとんど影響を与えない。これはこの程度になると定義される波数に多少の変動があっても波高の高い方での波が一定に決まってい、それぞれ変動分の1/10, 1/3, 1/2波しか関係しないからであろう。この例から、少なくとも最小読み取値の2倍以下の波は無視した方が妥当であると思われる。

(3) 無視した微小波の処理

(2)より少なくとも最小読み取値の2倍以下の波高の波を無視することが妥当であると考えられた。ではこの波を如何に処理するか。すなわち、すでに述べたようにこれは特殊な場合を除いて波高には関係しない周期に限る問題である。図-4に岸沖方向の波高と周期分布を示してある。図中●印は無視した微小波の周期分を無視した波の前の波の後に加えた場合であり、*印は後に続く波の前面に加えた場合を示す。いずれの方法をとるかで明らかに無視した波の前後の波の周期に影響を及ぼす。データの検討によれば確かに個々の波についてみれば相違するが図-4よりわかるように全体としてみるときその相違は大きくない。従っていずれの方法をとってもよい。しかしながら、著者等は次の(4)における議論より、この無視した微小波の周期分の時間は前の波の後端につける方がより合理的でなかろうかと考えている。

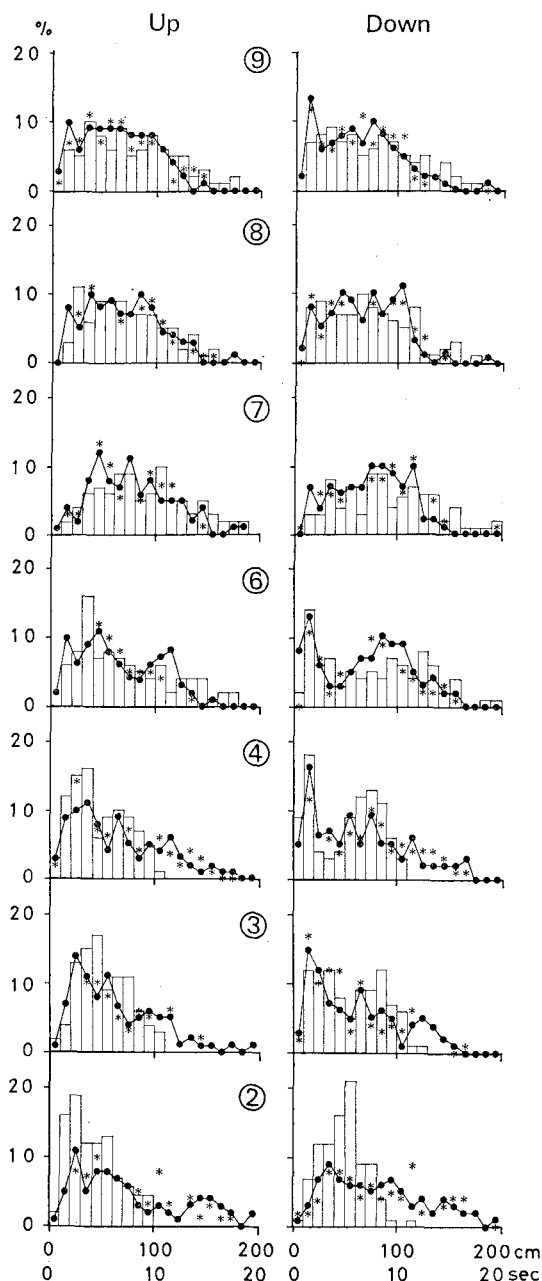


図-4 岸沖方向の波高、周期分布 (zero-down cross 法, 最小波高 10 cm)

(4) zero-up cross 法と zero-down cross による波高周期分布の相違

図-4 に (3) に述べたように無視した波の周期分の時間を前の波の後端につけて、zero-up cross 法と zero-down cross 法とで定義した波高と周期の分布を示す。図-4 より第 1 に指摘したいことは、down cross 法で波を定義すれば、砕波点近傍 (波は支柱 P6 と P7 の間で砕波する場合が多かった) で波高と周期の分布が bi-

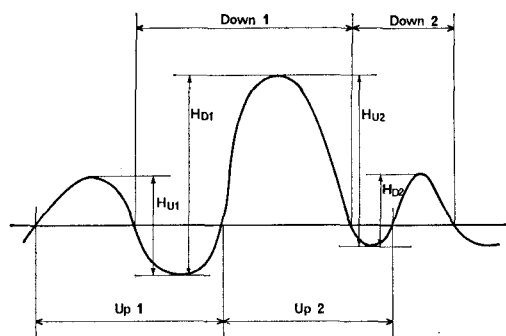


図-5 定義法の差異による波高差異

modal になることである。これは次のように解釈できる。すなわち図-5 に示すように大きな波の後に小さな波が続いている場合を考えてみよう。図-5 より明らかに zero-up cross 法はほぼ同程度の波高を持つ 2 つの波を定めるが、zero-down cross 法では大きな波高の波 1 つと小さい他の 1 つの波を定める。

このように大きな波の後に小さい波が続くような場合が多いと結果として分布は bi-modal になるであろう。明らかに砕波点近傍ではこのような波が多く存在している。また砕波点あるいは砕波後の波はその前面の切り立った形状で特長づけられる。従って、進行する波の前面と波の峰で波の最も重要なパラメーター、波高を決定する zero-down cross 法は砕波帯内の波の特性を示すという意味で zero-up cross 法より適切な方法ではないかと著者等は考えている。

(5) 長周期変動について

得られたデータをスペクトル解析したものを長周期側に着目してプロットしたのが図-6~10 である。沿岸方向データについては、11 時 12 分よりデータ数 4000, LAG 500 で、岸沖方向データについては、12 時 33 分よりデータ数 3600, LAG 500 で計算した。沿岸方向のデータより S-2 地点での水位および流速変動のパワースペクトルを計算したのが図-6 であり、岸沖方向のデータより

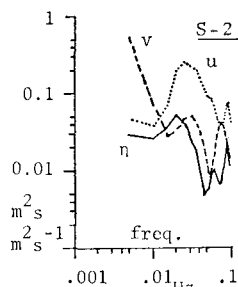


図-6 S-2 地点におけるパワースペクトル

したのが図-9 である。両者の測定時間に 81 分のずれがあるものの、共に $f=0.02$ Hz 強 ($T=50$ s 弱) 付近に顕著なピークがあり、今回の観測においても長周期変動成分が存在することが確かめられる。なお、図-9 においては岸側のもの程、大きなピークをもつが、P3 においては消えている。

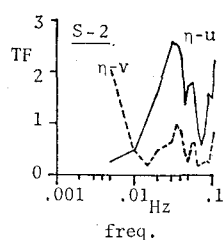


図-7 S-2 地点における水位と流速変動のクロス・スペクトル

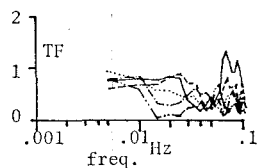


図-8 沿岸方向の水位変動の S-3 を中心としたクロス・スペクトル

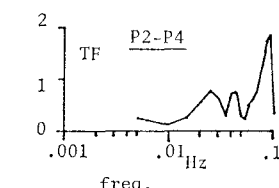


図-10 岸沖方向 P2~P4 間の水位変動のクロス・スペクトル

に示されるように、各ポール地点でのその値は 0 , $\pi/2$, π というような決定的な値をもたないもののどちらかと言えば $\pi/2$ に近く、また図-8 に示されるように、各ポール (S-1~S-5) 間の位相差はほとんど 0 であることから、ここでは重複波性のもの(進行波性のもの)がわずかに混在していると考えるのが無難であろう。ついで図-10 において、P2 と P4 とがコヒーレンスが高くかつ位相が π だけずれており、P3 付近に岸沖方向の節が存在することを示す。地形図より、汀線際の勾配 $0.038'$ トラフ部

その性質を知るために、S-2 地点での水位流速変動間のクロススペクトルを計算したものが図-7 であり、沿岸方向の各ポール間での水位のクロススペクトルを計算したものが図-8 である。また岸沖方向には、そのピークのない P3 をとばし

て P2, P4 間の水位のクロススペクトルを計算したものが図-10 である。これらの情報から、その波動モードを決めることになる(以下の議論については、例えば水口⁸⁾(1979)を参照されたい)。水位変動 η と岸沖流速 u の相関が高く、かつ、その位相点は $\pi/2$ であることから、エッジ波もしくは岸沖方向の重複波と考えられる。そこで、周期 50 sec ということで岸沖方向の入射波としては、汀線近傍で沿岸方向流速 v と u のパワーの比はほとんど 0 となるのに対し、図-6 にみられるように、 v にもかなりのパワーが存在する。 u に比して、 $1/3 \sim 1/5$ 程度である。また沖側ではそのパワーが小さいことから、trapped モードと考えられる。これらのことは、この波がエッジ波であることを示している。次の問題は、それが進行波か重複波かということであるが、それは $\eta-u$ 間の位相差により決まる。ところが図-7 の例

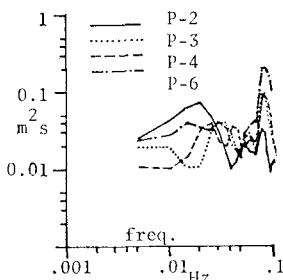


図-9 岸沖方向 P2~P6 の水位変動のパワースペクトル

の水深を 1.6 m とすると、その一様勾配と一様水深部をつないだ地形での周期 50 sec に対する cut-off モードは 0 と 1 の間にくる。そこで岸沖方向に節をもち得る $u=1$ を採用すると、長波近似で、 $x=1/2k=35$ m に岸沖方向の節が存在することになり、P3 の位置によく対応する。またこの時、沿岸方向の波長は、440 m となり、その半波長 220 m で沿岸方向に節をもつことになる。重複波では図-8 を見ると、5~6 間で位相が π だけずれており、そこに節が存在していたと考えられる。

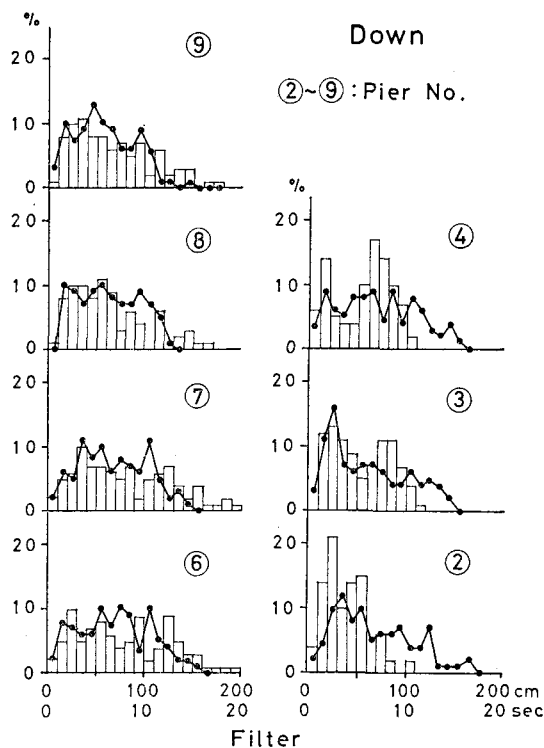
以上より、50 sec 弱周期の変動は $n=1$ の重複波性のエッジ波であることの可能性が強いことが明らかになった。その発生メカニズムに関する議論は別の稿に譲る。なお、入射波の特性を取り出す際に、まず長周期変動の影響を除去することが必要であり、入射波の特性について論ずる際には長周期変動の存在を考慮すべきであろう。

(6) 長周期と統計的処理の兼合

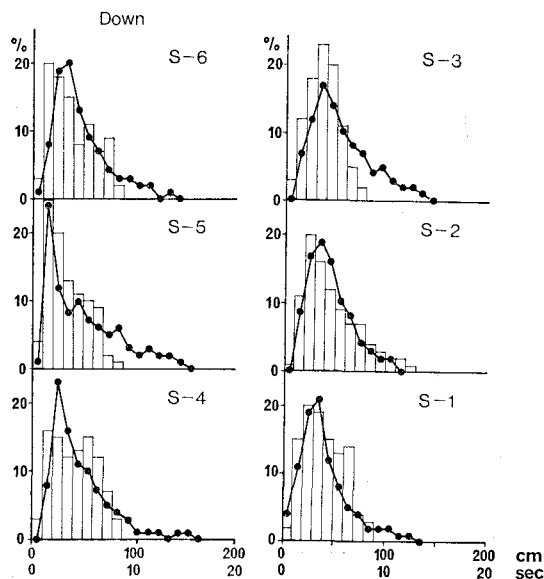
(5) の議論からして長周期波の碎波帯内の波への影響の度合いが場所によって異なるならば、長周期波の影響を除去して考える方が妥当であろう。長周期波を除去した後で(1)から(4)までの議論を再度しなければならなくなる。例を示して再議論はしないが、(2)~(4)までの議論は長周期波の影響を除いた後でも同じことであることを述べておく。

(7) 平面分布

20 秒以上の長周期成分をカットするような数値フィ



図—11 20 秒以上の長周期成分を除去した後の岸沖方向波高・周期分布



図—12 20 秒以上の長周期成分を除去した後の沿岸方向波高・周期分布

ルターをかけた後処理した岸沖方向と沿岸方向の波高と周期の分布を示す(図—11, 図—12)。岸沖方向には砕波帯特有の分布形状の変化を示すが、これらについては前報²⁾と同じであるので繰り返さない。図—12の沿岸方向については多少の差異はあるのは地形上の関係よりボールの位置における水深に多少の差があるのと(5)で述べた長周期波の影響によるものであろう。

4. 結 語

昨年度の現地観測にて指摘した観測時間の短かさを補うという目的で2倍～5倍の時間の観測を実施して、砕波帯内における波浪の特性について検討してみたが、まだ明確な解答を得ることができない問題が多かった。特に長周期変動については、観測時間が同時でないために推定の論拠が弱いのはやむを得ない。今後、観測計器と方法に改良して、より適確なデータを得ることが必要であるが、また既に、得られているデータより、より進んだ議論も可能であろう。それにはもっと時間を必要とする。

なお、現地観測を実施するにあたって、建設省土木研究所海岸研究室長橋本宏氏、宇多高明氏に特別の御配慮をいただいた。紙上を借りて感謝の意を表する。

最後にこの研究の一部は昭和54年度、文部省科研費、総合研究(A)、研究代表者、東京大学工学部、堀川清司教授、によってなされたことを記し、関係諸機関及び諸氏に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 堀田新太郎・水口 優: 砕波後の波についての現地観測, 第25回海講演文集, pp. 151~154, 1978.
- 2) 堀田新太郎・水口 優: 砕波帯内の波の現地観測, 第26回海講演文集, pp. 152~156, 1979.
- 3) Horikawa, K.: Coastal Engineering, University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 57~58,
- 4) 水口 優: 海岸工学におけるエッジ波, 1979年度水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース, pp. B-4-1~B-4-20, 土木学会水理委員会, 1979.
- 5) 合田良実: 浅海域における波浪の砕波変形, 港湾技術研究所報告第14巻第3号, pp. 59~106, 1975.
- 6) 前出 4)
- 7) 土木学会編: 水理公式集, p. 566.
- 8) 前出 4)