

砕波後の波についての現地観測

堀田新太郎*・水口 優**

1. はじめに

Nearshore zone における諸問題（例えば、海岸変形、温排水の拡散、沿岸海水の汚染等）を論ずるにあたっての当面の障害は砕波後の波の特性が十分に明らかになっていないことである。砕波後の波の運動について量的な予測をすることに迫られ、しばしば長波理論や孤立波理論が仮定される。これらの仮定の当否、また砕波帯内における諸現象、平均水位の上昇、波高減衰、長周期波等について検討するために現地観測を実施した。この現地観測に類似のものとしては、現在までのところ、Suhayda and Pettigrew¹⁾ によるものが唯一と思われる。彼等は砕波帯内全域に亘ってのデータを提供しているが、彼等の扱いは規則的であり、対象とした波も小さく、一般的な結果とは言い難い面もあるようである。本観測は砕波帯内の波について、多点の同時観測をしたものとしては最初のものと思われる。現地観測は観測実施上の不手際、また計器故障のための欠測など、十分に満足すべきものとは云えないし、また観測結果の解析の途中でであり、検討すべき事柄も多いが、十分に興味ある事実が明らかになったので、その結果の一部をここに報告する。

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ヶ浦海岸にある建設省土木研究所の漂砂観測用棧橋を利用して、昭和 52 年 12 月 9 日に実施した。棧橋より北側に 80 m 離れて棧橋に平行に一列のポール群を設置し、棧橋上に同期された 7 台の 16 mm メモーションカメラを据え、ポールを通過する波を撮影した。1 台のカメラの撮影区間は 15~20 m で、汀線より約 100 m の区間が撮影されている。撮影間隔は 0.5 秒で 30 分継続して撮影した。同時に岸より 14 番目と 21 番目のポールに電磁流速計を取付け、岸沖方向と汀線に平行な方向の流速を観測した。観測時の概略の砕波波高は 1.5~2.0 m、周期は 8~10 秒、砕波帯の幅は約 130 m 程度であった。

当初、ポールを砕波点まで設置したが砕波点におけるポール設置法に問題があり、砕波点におけるポールの破損をきたし、砕波点および沖側のデータは得られなかった。得られたデータの最も沖側の地点は、砕波点の岸側末端と考えられる点である。ポールの位置は図-1 に示してある。

(2) データの解析

こま送り可能なプロジェクターでフィルムを壁面に投影し、ポール先端を基準として水位を読み取った。測量ポールの 20 cm が 1 cm になるように投影した。読み取り精度はスケールで 4 cm、その中間は目測、従って最少読み取り値は 2 cm である。撮影は 30 分実施したが、解析の時間的制約もあり、今回は 15 分のみのデータを解析した。また、撮影開始後 10 分後に岸から 5 台目のカメラに故障が生じたのでポール番号 22 番と 23 番のみは 7 分 30 秒のデータに基づいている。

位相速度はポールを基準として波峰を追跡する方法を採用している。電磁流速計の結果については稿を改めることにする。

3. 観測結果

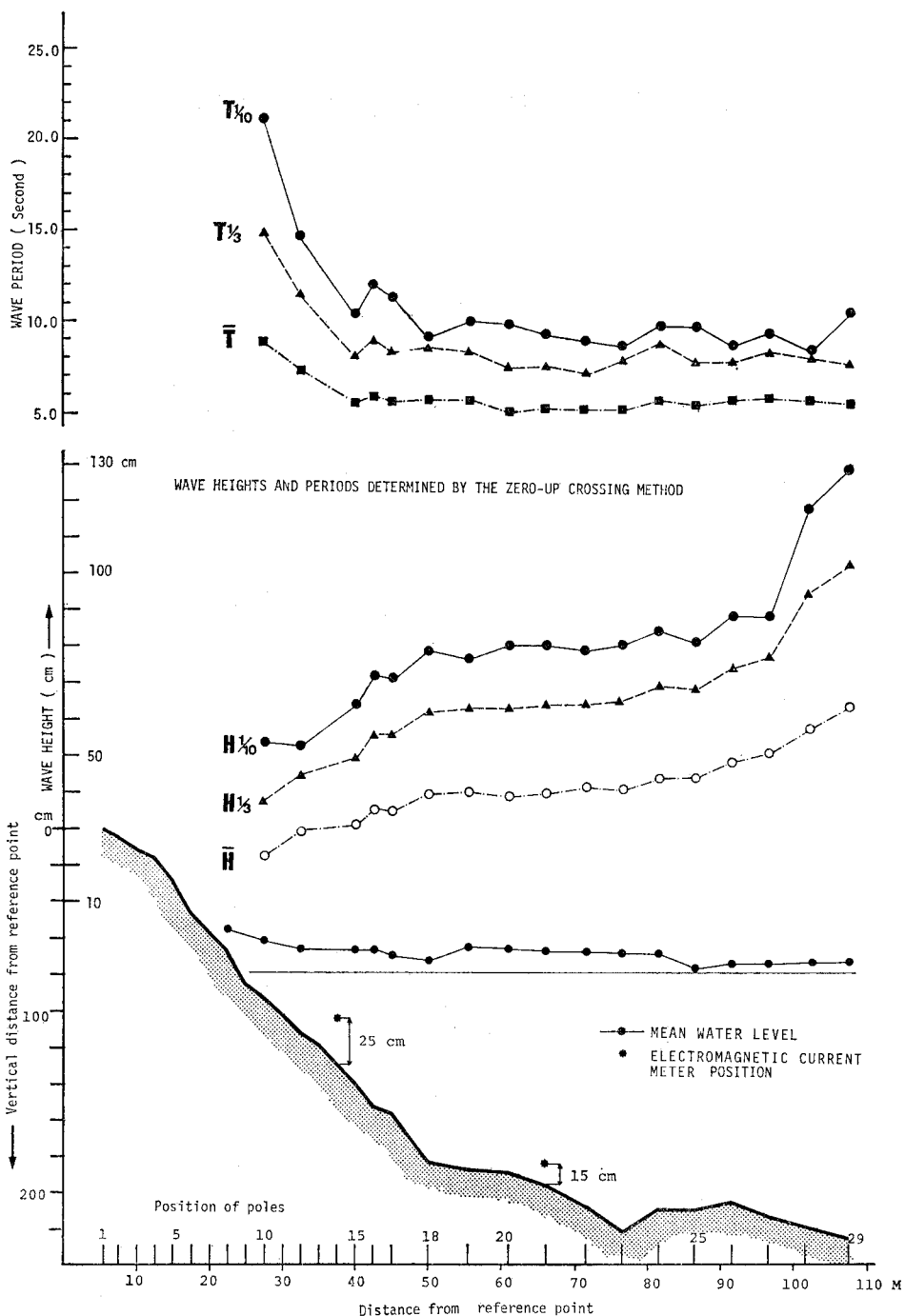
(1) 砕波帯内における平均水位の上昇 (Wave Set-up)

図-1 下段に海底地形および平均水位を示してある。図中の水平線は静水面を意味するものではない。平均水位の変化を明確にするための補助線である。平均水面は一樣勾配における実験、例えば、Bowen et al.²⁾ のように岸に向かって単調に増加していない。ポール番号 25 の地点付近に砕波直後の波高減衰に見合った平均水位の上昇はみられなく、かえって下降しているのは観測誤差とも考えられるが、水位変動の単純平均を平均水面とする考え方に問題があるのかも知れない。ポール番号 18 番地点に再び水位の下降がみられるのは、15, 16 番ポール地点が再成波の砕波点であるので、二次砕波による Set-down と思われる。ポール番号 25 と 19 での値の差は 11 cm、25 と 10 での値の差は 15 cm である。

Bowen et al.³⁾ によれば、砕波帯内の Wave Set-up は次式で与えられる。

* 正会員 工修 東京立大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工修 中央大学講師 理工学部土木工学科



図—1 平均水位およびゼロアップクロス法で求められた波高と周期

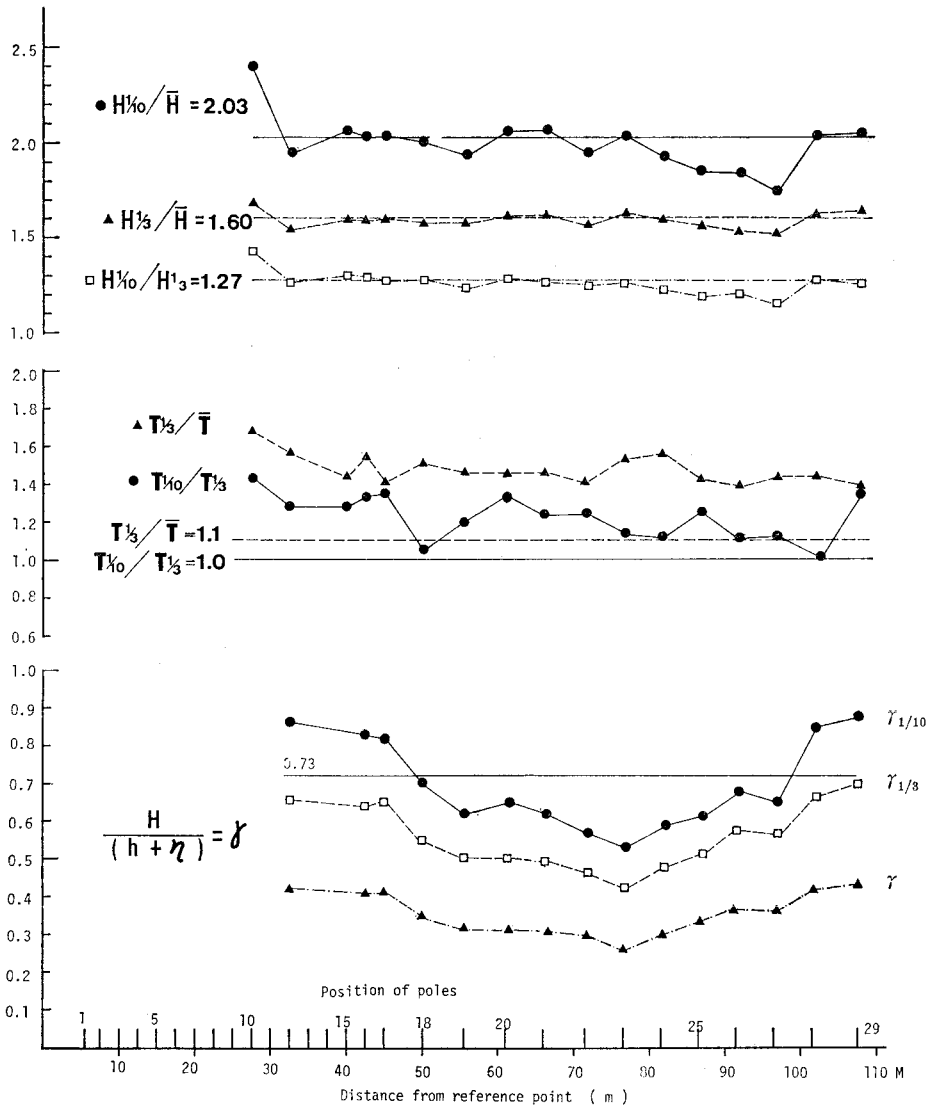
$$\bar{\eta} = K(h_b - h) + \bar{\eta}_b$$

ここに, h_b : 砕波水深, h : 任意地点の水深, $\bar{\eta}_b$: 砕波点における平均海面の低下量 (Wave Set-down),

$$K = \frac{1}{1 + \frac{8}{3\gamma^2}}$$

γ : 砕波帯内で $H = \gamma(\bar{\eta} + h) = \gamma D$, H : 任意地点における波高, で定義される定数である.

ゼロアップクロス法により各測点の $H_{1/10}$, $H_{1/3}$, $\bar{H}$ を求めたものは 図—1 の中段に示してある. これらを用いて各測点の $\gamma = H/D$ を求めたものは 図—2 の下段に示してある. 砕波点と汀線近傍を除いて, 再成波領域と考え



図—2 波高水深比, 波高比および周期比

られる区間は、一様勾配における孤立波理論における最大値 0.73 より小さい。この区間における γ の値は、 $H_{1/10}$ を用いて約 0.6、 $H_{1/3}$ を用いて約 0.5 程度である。

今回得られた平均水位のデーターは、Wave Set-up について定量的な議論をするには十分な精度を持っていないようである。

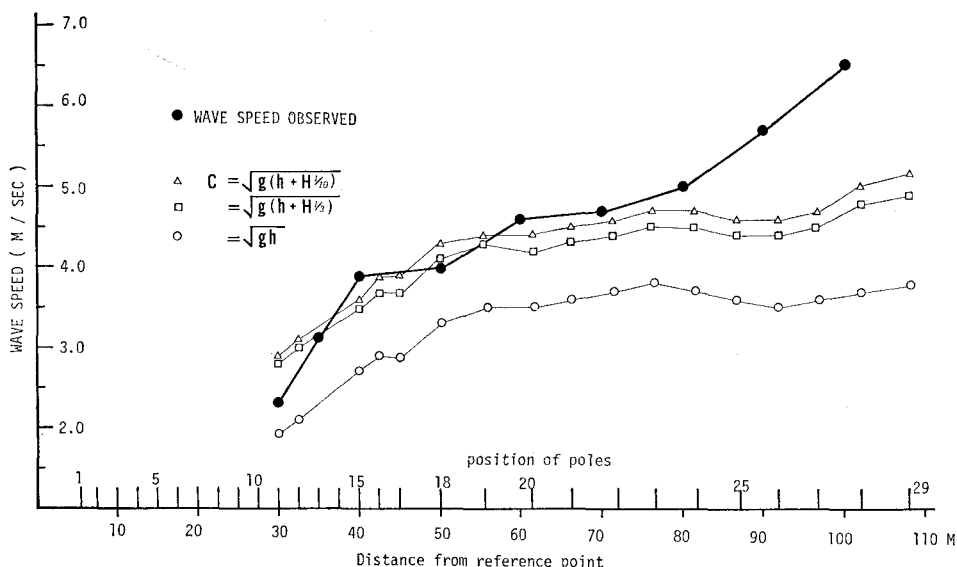
(2) 波高および周期の分布

各測点の水位変動より、ゼロアップクロス法で求めた $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 $\bar{H}$ は 図—1 の中段に、 $T_{1/10}$ 、 $T_{1/3}$ 、 $\bar{T}$ は 図—1 の上段に、また $H_{1/10}/\bar{H}$ 、 $H_{1/3}/\bar{H}$ 、 $H_{1/10}/H_{1/3}$ の比は 図—2 の上段に、 $T_{1/3}/\bar{T}$ 、 $T_{1/10}/T_{1/3}$ の比は 図—2 の中段に示してある。なお、ゼロアップクロス法で定められる波の数は約 160 波程度である。砕波帯内であるにもかかわらず、波高はレーレー分布をなしている。とこ

ろが周期は波高の大きい側で大きくなる傾向を示す。これは砕波することにより、周期はほとんど変化せずに波高のみが、その大きさに応じて減少していくことを示し、合田⁴⁾の云う選択的砕波を傍証していると言えよう。

(3) 波高減衰

砕波点の末端に位置するポール群 (27~29) 付近では急激に波高を減少し、海底地形がほぼ一様な区間では、波高もほぼ一定になる。海底地形の勾配が変わるところで、再び波高は小さくなる。図—2 下段に示す波高水深比、 γ の挙動と合せて、第一砕波点での砕波により急激に波高を減じた波が、一様水深部で再成し、再び斜面にさしかかって二次砕波しつつ波高を減じるという過程が読みとられる。水口・辻岡・堀川⁵⁾が報告している Step 型地形の室内実験結果に非常によく対応している。



図—3 観測された位相速度と長波および孤立波理論による値との比較

(4) 波 速

ゼロアップクロス法で定められる波の数はおおよそ160波程度であるが、ポールを基準として単一波峰を追跡できた波の数は約80波である。このうち波向きが小さいと判断された波は51波である。この51波のうち、ポール29番を基準とすれば30波が砕波後の波であり、10波が正に砕波の状態にある波であり、11波が砕波していない波であった。砕波後および砕波中の波は岸方向に単調にその波速を減じていた。しかし、砕波しないで29番のポールを通過した波は途中砕波点でその波速を大きくしていた。これは Suhayda and Pettigrew⁶⁾によって得られた結果と同じである。波速は波高の影響を受けるであろうということは容易に予想されるので、ゼロアップクロス法で定められる波高を用いて波高の相違による波速変化の相違について検討してみたが特に記するほどの事柄を現在のところ見出し得ていない。それ故、砕波帯内の波ということで前述の51波を単純に平均した結果を図—3に示し、孤立波理論および長波理論と比較してある。

結果は、砕波点末端部では、砕波による変形速度が加算されていると考えられ、保存波の理論値よりも大きい。砕波が終る地点(波高減衰が落ちつく地点でもある)以降は孤立波理論とよく一致することになる。

二次砕波においては、孤立波理論からのずれは小さく、孤立波理論的な砕波が生じていると考えられる。 $\gamma_{1/3}$ も孤立波理論に近い値である。

4. おわりに

今回実施した現地観測は、ポール設置上の問題で砕波帯沖のデータが得られなかったことと観測精度の問題

とによって限定的な議論にとどまった。この観測結果の解析を進めることはもちろんであるが、ポール設置法の改良およびカメラの台数を増やすことにより水位観測の精度を上げて再度の現地観測を行うように予定している。

現地観測を実施するに当たって、建設省土木研究所海岸研究室室長橋本宏氏、宇多高明氏に御協力をいただいた。

紙上を借りて感謝の意を表す。また、データ解析においては白井敏夫氏(茅ヶ崎市役所)、新保雅司氏(東京都立大学工学部土木工学科研究生)の多大な協力を得た。

なお、この研究は次の二つの研究費、(1)昭和52年度文部省科学研究費補助金、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 東京大学工学部 堀川清司教授)(2)トヨタ財団研究助成金(研究代表者 東京大学工学部 堀川清司教授)によってなされたものであることを記し、関係諸機関および諸氏に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) Suhayda, N. J. and J. R. Pettigrew: Observation of wave height and wave celerity in the surf zone, J.G.R., Vol. 82, No. 9, pp. 1419~1424, 1977.
- 2) Bowen, A.G., D. L. Inman and V. P. Simmons: Wave "Set-down" and "Set-up," J.G.R., Vol. 8, pp. 2569~2577, 1968.
- 3) 前出 2)。
- 4) 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.
- 5) 水口 優・辻岡和男・堀川清司: 砕波後の波高変化についての一考察, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978.
- 6) 前出 1)。