

砕波による波の変形に関する研究

中 村 充*・白 石 英 彦*・佐々木 泰 雄*

1. ま え が き

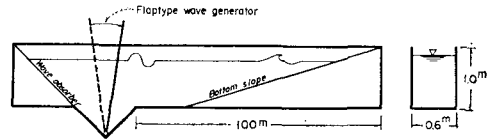
海岸における浜の特性を知って、これを制御するために海岸工事を行なう場合、最も重要な条件、または対策は、波に関するものである。沖に存在する波が目的としている浅海域、あるいは海岸構造物設置位置に、どのように変形して到達するかを知ることは、海岸工事を計画設計する上できわめて大切なことである。したがって、これまでに R.L. Wiegel, M.A. Mason, H.W. Iversen, 岸らによって浅水域に進入する場合の波形の変化が調べられ、これがさらに進行して砕ける場合の条件および、このときの波形については、Beach Erosion Board が砕波指標 (Breaker index) を現地観測資料から求め、同じく H.W. Iversen, 浜田, 佐藤, 岸らによって理論的、実験的に検討されている。しかしこれらはいずれも沖波から砕波するまでについての変形であり、砕波の進行中における変形、砕波から非砕波にもどった場合の波形について調べたものはほとんどなく、わずかに堀川, Kuo らの報告があるにすぎない。他方われわれのあつかう干拓事業, 海岸保全事業, 河口改良事業などにおいてはすべてが砕波帯より浅い位置における波を考慮しないわけにはいかない。これまで海岸構造物等の設計においては1回の砕波で波高は 6~7 割に、周期は 9 割程度に減少するとか、きわめて不満足な取り扱いをしている。このような現状から砕波帯以浅を含めた波の変形をここで検討した。その結果をここに報告する。なおこの研究の実験観測で農業土木試験場水理第4研究室の伊藤・青木両技官の労をわずらわした。ここに記して謝意を表する。

2. 実験装置とその方法

(1) 実験装置

実験は二次元造波水路を用いた。水路は図-1に示すごとく長さ 100 m, 幅 0.6 m, 深さ 1.0 m の寸法で一端に Flaptype の造波機が設けられている。他端に単一勾配の海底模型をおき、この slope 上での波の変形を超音波波高計, 電気抵抗線式波高計および物さしによる目視観測によった。観測点は slope に入る前の点, 砕波点およびその間で 5~7 点, 砕波点後 1 m 間隔および非砕

図-1 実験装置



波にもどる点を観測し、合せて波の打上げ高も求めた。

(2) 実験条件

実験の目的は沖波から砕波点までの波の変形, 砕波後の砕波の持続距離と砕波高の変化, 砕波が再び非砕波にもどる条件と非砕波にもどった後の波高, 周期などを求めることであり、これに関与する各種の条件を表-1のようにとった。これによる実験数はほぼ 1500 である。

表-1 実験条件

海底勾配	1/100	1/50	1/30	1/20	1/10
水深	40	50	60	70	cm
波高	3~25 cm				
周期	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0 2.25 2.5 sec

(3) 解析および観測に用いた記号

図-2に解析および観測に用いた記号を示す。また同図は沖波からなぎさ線までの波の変形の様子を示している。すなわち沖波が slope 上を進行して浅水変形を生じ、再び非砕波にもどり、斜面上を進行しながら浅水変形をし、同様の変化をくり返す。斜面勾配が急になると砕波は再び非砕波にもどることなく、砕波のままなぎさ線に到達する。

図-2 水理模式

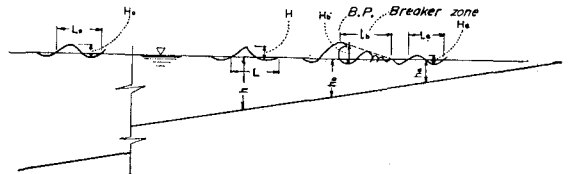


表-2 記号

H_0, L_0, T_0	沖波の波高, 波長, 周期
H, L, T	水深 h の点の波高, 波長, 周期
h, h_b	水深および砕波水深
H_b, L_b, T_b	砕波点における波高, 波長, 周期
l_b	砕波の持続距離
H_a, L_a, T_a	砕波後の波高, 波長, 周期

* 正会員 農林省農業土木試験場

2. 砕波点における波の性質

沖波と砕波との関係は Beach Erosion Board においてまとめた砕波指標, Iversen による実験, 孤立波理論などがある。砕波指標は勾配に無関係にまとめられ, Iversen は砕波高は海底勾配の影響を受けるが砕波水深は海底にあまり関係しないとしている。筆者らの実験結果を示せば 図-3~12 である。図はそれぞれ横軸に steepness を縦軸に砕波点の波の性質をとってある。図-3~7 は縦軸に砕波高と沖波高の比を各海底勾配ごとにまとめたものである。また図中には Breaker index, Iversen による曲線が入っている。図-6, 7 は海底勾配 1/50, 1/100 におけるもので、この場合には測点のパラツキが大きくまた Breaker index, Iversen におけるものよりかなり小さい。測点のパラツキの多いことは, slope が長くわずかの造波条件(沖波条件)の相違が砕波に影響してくるものと思われる。図-8~12 は縦軸に砕波水深と砕波高の比(図中の白丸)をとったもの、および砕波水深と沖波長との比(図中の黒丸)をとったものを一緒に示してある。砕波水深と砕波高の比 h_b/H_b の値は Iversen の値にほぼ近い。沖波波長に対する砕波水深 h_b/L_0 は海底勾配 1/10~1/30 の間では Breaker index にほぼ近い値となっているが, 1/50, 1/100 の海底勾配では大分浅いところで砕けている。

図-3 沖波波形勾配と砕波高 (勾配 1/10)

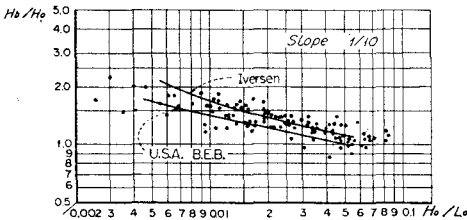


図-4 沖波波形勾配と砕波高 (勾配 1/20)

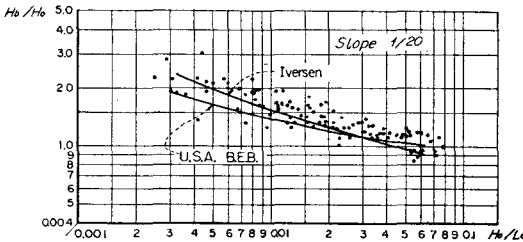
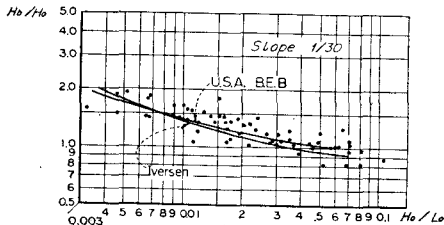


図-5 沖波波形勾配と砕波高 (勾配 1/30)



以上の実験結果は各勾配ごとにまとめられている。この図より、海底勾配を変数として横軸にとり H_b/H_0 , h_b/L_0 の海底勾配 i による変化を示したのが 図-13, 14 である。図-13 は H_b/H_0 の i による変化を各 steepness ごとにまとめたもので、 i の大きいほど H_b/H_0 は大と

図-6 沖波波形勾配と砕波高 (勾配 1/50)

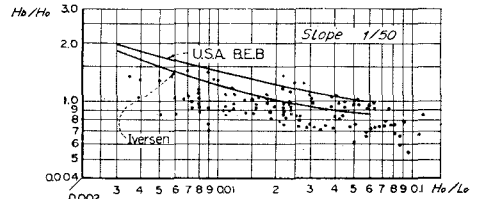


図-7 沖波波形勾配と砕波高 (勾配 1/100)

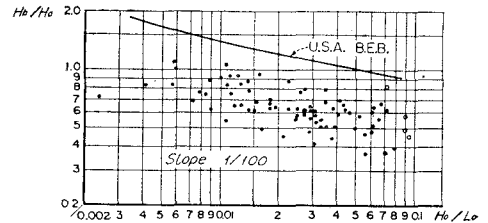


図-8 砕波点の波の特性 (勾配 1/10)

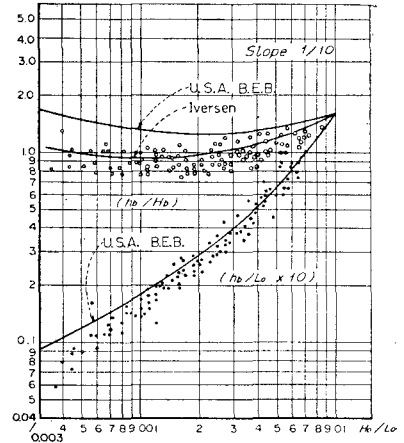


図-9 砕波点の波の特性 (勾配 1/20)

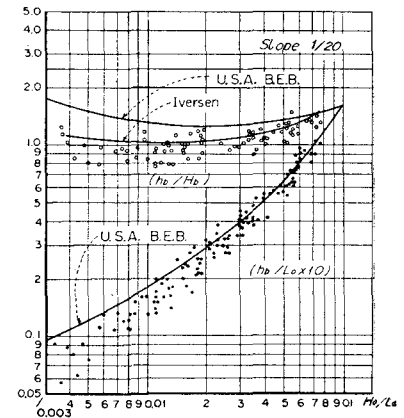


図-10 砕波点の波の特性 (勾配 1/30)

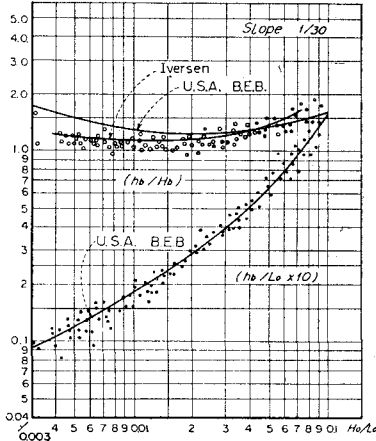


図-11 砕波点の波の特性 (勾配 1/50)

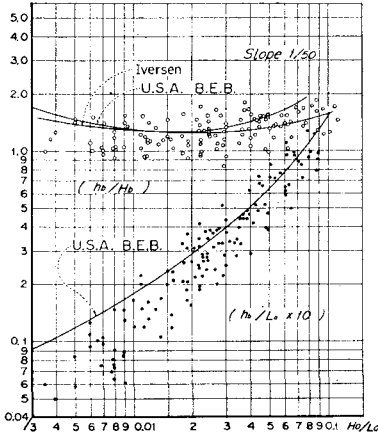
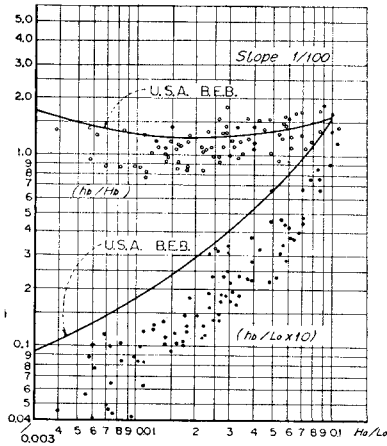


図-12 砕波点の特性 (勾配 1/100)



なっている。図-14 は h_b/L_0 の i による変化を各沖波 steepness を parameter として示したもので、これらの点は若干のバラツキがあるが、これを滑らかな曲線で平均化して再び横軸に沖 steepness をとって示せば 図-15 を得る。図-15 について砕波点の特性が海底勾配ごとに示される点で Beach Erosion Board の Breaker

図-13 海底勾配による砕波高の変化

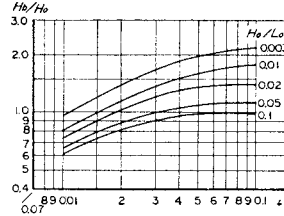


図-14 海底勾配による砕波水深の変化

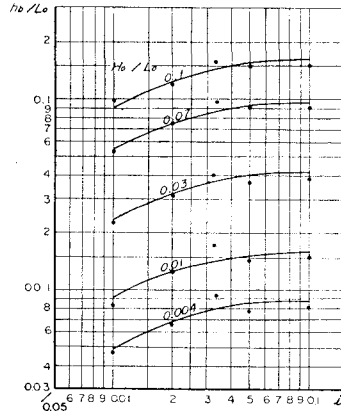
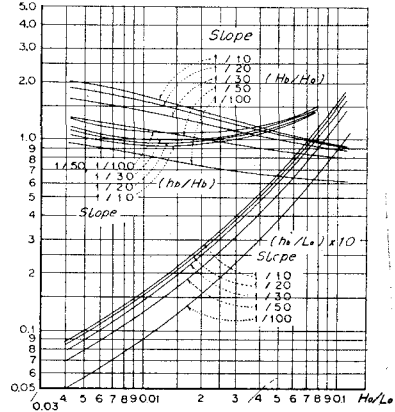


図-15 砕波点の波の特性

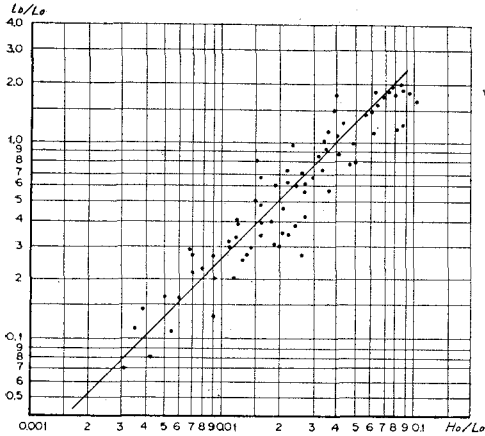


index と異なっている。また h_b/L_0 も海底勾配によって異なっている点で Iversen の値とも若干異なっている。

3. 砕波の持続距離

波が砕けると、しばらくの間砕けた状態で進行する。海底勾配が急な場合には砕波のままなぎさ線に到達するが、勾配が緩い場合には再び非砕波にもどる。図-16 は沖波、砕波水深と砕波の持続距離 l_b との関係を示したものである。図の横軸は沖波波形勾配 (Steepness) を、縦軸には砕波の持続距離を沖波長で無次元化したものを用いている。この図は slope 1/50, 1/100 の場合測点から求めたもので、slope 1/30 以上の勾配の場合にはほとんど砕波は再び非砕波にもどることなくなぎさ線

図-16 砕波の持続距離



に到達する。沖波波形勾配を横軸にとり、沖波波長を用いてこの図から砕波持続距離 l_b を求めることができる。この l_b が砕波点からなぎさ線までの距離より大きければ砕波のままなぎさ線に到達し、小さければその位置で非砕波にもどる。以下 4., 5. において砕波状態における波の変形と非砕波にもどる場合の波の変化についてのべる。

4. 水深変化による波の変形

沖波と砕波点における波の関係は 2. で砕波後の持続距離は 3. で述べた。この項ではこれらの連続的な変化、すなわち、沖波から砕波終了までの間の波形の変化について求める。図-17~20 は各海底勾配、各波形勾配ごとの波形変化の図で 図-17~20 はそれぞれ海底勾配 1/10, 1/20, 1/30, 1/50 における一つの沖波の波形勾配における

図-17 水深による波高変化 (勾配 1/10)

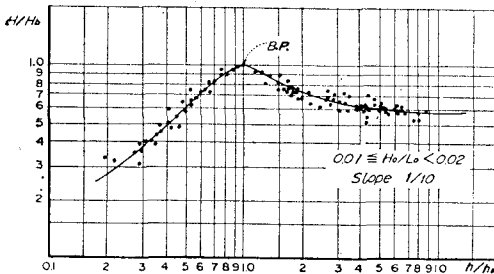
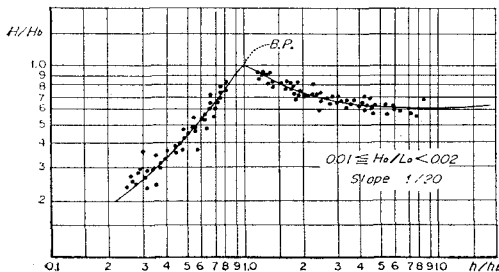


図-18 水深による波高変化 (勾配 1/20)



測点を例示してある。縦軸には水深 h なる点の波高 H と砕波点波高 H_b との比を、横軸には砕波点における水深 h_b に対する任意の水深 h との比率 h/h_b がとってある。このような図を各海底勾配ごとに、沖波波形勾配 $H₀/L₀$ を parameter としてまとめたのが 図-21~24 であり、それぞれ海底勾配 1/10, 1/20, 1/30, 1/50 以下の

図-19 水深による波高変化 (勾配 1/30)

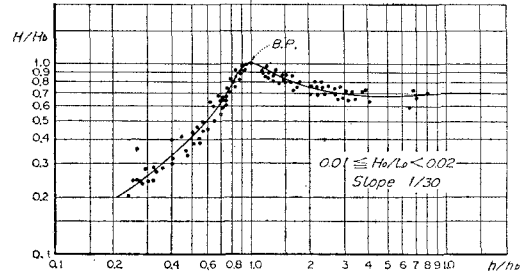


図-20 水深による波高変化 (勾配 1/50)

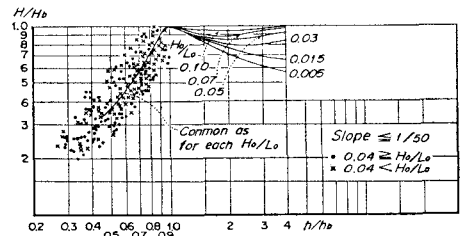


図-21 水深沖波波形勾配と波高変化 (勾配 1/10)

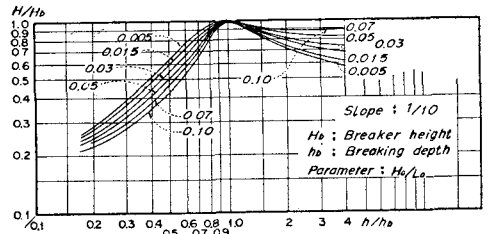


図-22 水深沖波波形勾配と波高変化 (勾配 1/20)

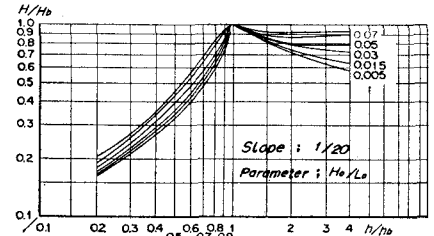


図-23 水深沖波波形勾配と波高変化 (勾配 1/30)

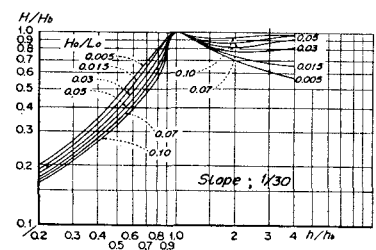


図-24 水深沖波波形勾配と波高変化 (勾配 1/50)

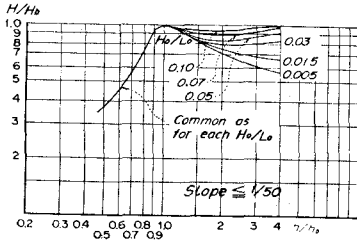


図-25 海底勾配沖波波形勾配と波高

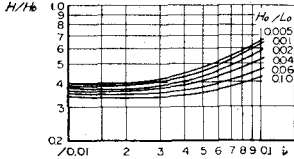
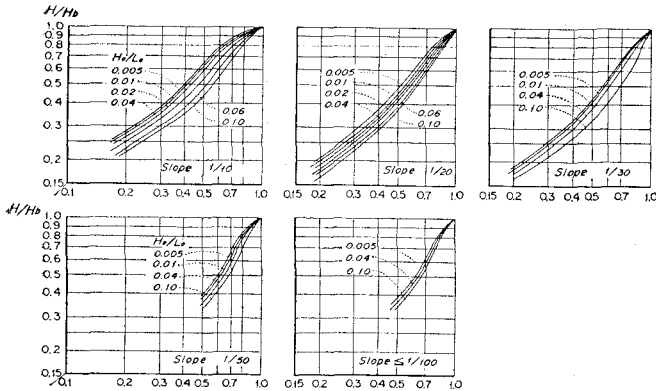


図-26 砕波点後の砕波高の変化



ものである。砕波後の波についていえば、沖波波形勾配の大きいものほど波高減衰率は大きい傾向にあるが、勾配が 1/50, 1/100 ではその差は測点のパラツキの中に入ってしまう。波形勾配によるちがいはほとんどわからなくなる。また海底勾配による影響は 図-21~24 を用いて勾配を横軸にとって 図-25 に示すようにまとめて調べる。図-25 より海底勾配による影響を滑らかな曲線で平均化して 砕波点以後の波高変化を図示すれば 図-26 を得る。沖波波形勾配 H_0/L_0 が与えられれば 図-15 から砕波水深 h_b 、砕波高 H_b が求まるから 図-26 から砕波帯の中の任意の水深 h における波高 H が求まる。ただしこれらの図の適用は砕波後において 図-16 に示す持続距離 l_b の範囲内についてである。海底勾配から見れば 1/30 が限界的な値でこれより急な勾配になれば砕波は再び非砕波にもどることなくなぎさ線に到達し、

図-27 砕波終了後の波長変化

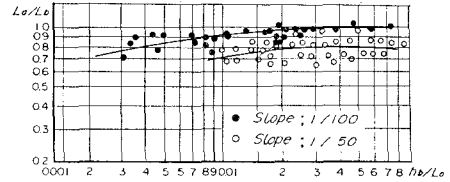
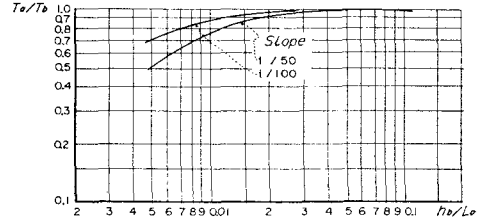


図-28 砕波終了後の周期変化



1/30 より緩い勾配の海岸では l_b なる砕波進行の後、再び非砕波にもどると考えられる。

5. 砕波と砕波終了後の波

4. のべたように海底勾配が 1/30 以上ではほとんど砕波のまま段波のような形でなぎさ線に到達するが、1/50, 1/100 の勾配では砕波は l_b だけ進行した後再び非砕波となる。図-27 は砕波終了して非砕波となった波の波長の変化を示したものである。図-28 は砕波終了後の波の周期と砕波前の周期との関係を示している。この図から 1 回の砕波によ

って周期の減少する様子を知ることができる。

6. あとがき

以上に主として、砕波後の波について実験的に検討した。その結果を要約すれば、

① 砕波点の波の特性について、Breaker index, Iversen の値より危険側の若干異なる値を得た (図-15 参照)。

② 砕波進行中の波の変形について各海底勾配ごとに求めた (図-26 参照)。

③ 砕波の持続距離を求めた (図-16 参照)。

④ 砕波後の波の周期を求めた (図-28 参照)。

以上の成果より沖波が浅海域に進行して一次、二次と砕波して岸に到達する場合の波を求めることができる。