

II—2 流れの場における一様斜面上での碎波特性に関する基礎的研究

岩手大学	正 員	○ 堺	茂 樹
北海道大学	学生員	大 塚	夏 彦
北海道大学	正 員	佐 伯	浩
北海道大学	正 員	尾 崎	晃

1. 諸言

河口付近あるいは強い離岸流が発生している海岸での碎波現象を解明することは海岸工学上重要な課題の一つである。このような場合での碎波は水深変化に伴ういわゆる浅水変形と、流れと波の相互作用の二つが複雑に関連しあって生じているものと思われる。

流れが存在する場合の碎波に関する従来の研究としては、Yu、岩垣等、富永の研究があげられる。

Yu¹⁾は微小な振幅の深海波が水深方向に一様な流速分布を持つ流れを遡上する場合の実験を行い、深海波の波速 C_0 と流れの流速 V との比 C_0/V が7程度になると碎波が生ずることを示した。岩垣等²⁾は水深方向にほぼ一様な流れを遡上する浅海波の限界波高水深比、限界波形勾配など碎波特性量を実験的に明らかにし、さらに浜田・加藤³⁾による流れ上でのストークス波理論を用いて最高波に関する理論的考察を行い、両者の比較を行っている。これら二つの研究はいずれも一様水深での、流れのみによる碎波現象を扱ったものであり、海底勾配有する一般の海岸での、流れの影響を受けた碎波を説明するには不十分である。

富永⁴⁾は微小振幅波理論を用い、エネルギーフラックスは水深に無関係に一定であるとの仮定に基づき、水深変化と流れの影響の両者を考慮した理論解を導き、水深、流速と波高の沖波高に対する比 H/H_0 との関係を示した。さらに H/H_0 の極限として、波が伝ばんしなくなる限界について、水深と流速の関係を求めている。しかし、この限界は碎波を示すものではなく、碎波限界に関しては明らかにされていない。

本論では、1:3.0の水底勾配上に、水深変化に伴って流速が変化する様な流れを発生させ、浅水変形と流れの影響が同時に作用する場合の碎波について実験を行い、碎波特性量、流れの流量、相当沖波特性との関係を明らかにした。その結果

流れの無次元単位流量が碎波特性に大きく影響することが明らかになった。また無次元単位流量をパラメーターとして富永の理論解を表わした場合との比較も行っている。

2. 実験

(1)、実験装置及び方法

実験には図1に示すように長さ24m、幅0.8m、深さ0.8mのフラッタ型造波水路を用いた。流量を広範囲に変化させるため、水路縦断方向に木製の隔壁を設置し水路幅を360mmにしてあり、バルブによって流量を調整した。水底勾配は1:3.0であり、斜面部分は約12mある。各流量での斜面上の水位は、跳水が生じたり、水面が著しく乱れることのないように定めた。波高の計測には抵抗線式波高計、流速には計測技研製の5mmφプロベラ型流速計を用いた。

実験に用いた単位幅流量 $q(\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm})$ 、周期 $T(\text{sec})$ 、一様水深部での波高 $H_0(\text{cm})$ の範囲は以下の如くである。

q ; 0, 169, 297, 452, 771 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)

T ; 0.85, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4 (sec)

H_0 ; 1.1~23.4 (cm)

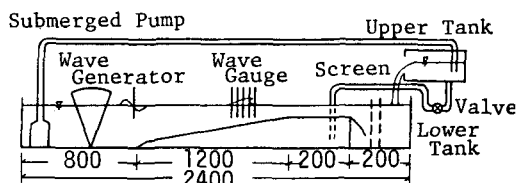


図 1

(2)、水面勾配及び流速分布

流れを発生させた場合の水面勾配の一例を図2に示す。これは、 $q=452$ の場合で、沖側の比較的水深が深い所ではほぼ一定であり、斜面の沖端に近づくにつれ低くなっている。流れの方向に

対して水面が逆勾配であるというこの傾向は全ての流量で見られ、流量が少なくなるにつれその度合は小さくなり、 $q = 169$ では全域にわたりほぼ一定である。しかし、本論で碎波水深などを検討する際には、沖側の一定水位を基準とした各位置での水深を用いてある。

図 3は $q = 452$ での流速分布である。1-a,

2-a は各々水深 14.4cm と 34.6cm での表面流速の横断分布である。側壁付近では摩擦の影響を受けて水路中央に比べて小さくなっている。(1-b), (2-b) は左側より1/8、右端より1/8、中央での水深方向の流速分布であり、流速の大きい場所では、ほぼ指数型分布をなしているのに対し、側壁付近では表面よりむしろ内側に最大値が存在している。一方流速が小さい場所では、中央、側壁付近とも水底の近くを除きほぼ一様分布である。

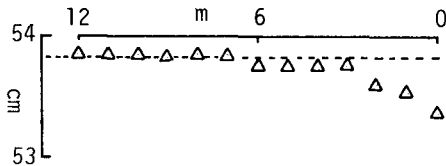


図 2

3. 実験結果

(1)、碎波水深の特性

碎波水深と沖波長の比 h_b/L_o と沖波形勾配 Ho'/L_o の関係を、周期をパラメーターとして表わしたのが図4-1 から図 4-4 である。図 4-1 は流れがない場合であり、ここでは周期による違いは見られず、全ての周期が図中の実線によって近似される。また破線は合田による碎波指標であるが、沖波形勾配が小さい所では若干異なるものの、その差は小さく、沖波形勾配の大きい所では良く一致しており、従来の研究成果と比較して本実験が妥当なものであることを示している。

図 4-2 は $q=169$ 場合で、碎波水深と沖波形勾配の関係は周期によって明らかに異なっており、周期が短い場合の方が h_b/L_o が大きく、流れの影響が大きい。各周期での傾向を実線で近似した。(なお図 4-2 から図 4-4 の破線は $q=0$ の近似曲線である。) 流れの影響は沖波形勾配によっても異なり、波形勾配が小さい程破線からはなれ、流れが大きく影響している。特に周期が

長い場合では、波形勾配がある程度大きくなると破線と良く一致し、流れの影響が現われていない。しかし、周期が短い波では沖波形勾配が大きくなっても破線との差が若干小さくなるものの、流れの影響を大きく受けており、同一の流量でも周期によって流れの影響が異なっていることがわかる。

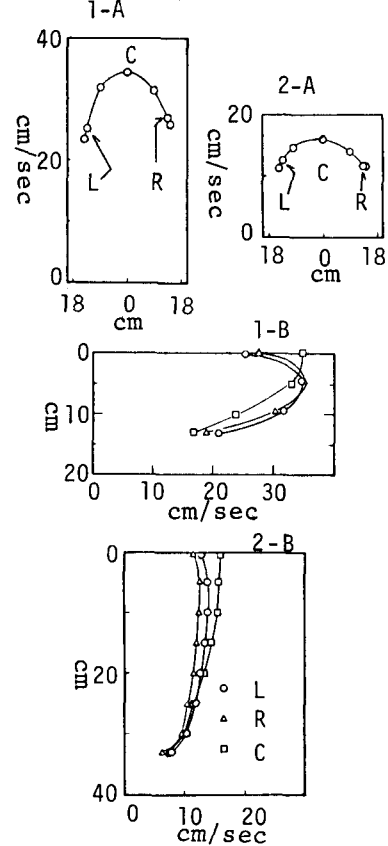


図 3

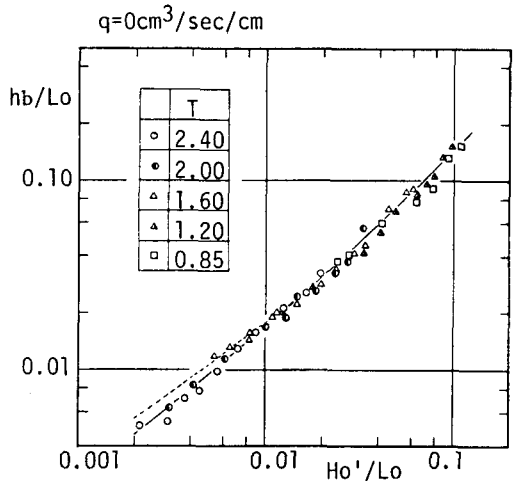


図 4-1

図 4-2 から図 4-4 までを比較すると、流量
 が大きい程碎波水深は大きくなり $q=0$ の結果と
 異なってくる。特に沖波形勾配の小さい所では近
 似曲線の傾きが緩くなり、流れの影響が大きく現
 われている。また、周期ごとの近似曲線は流量の
 増大とともに、互いにはなれており、周期による
 違いが明らかとなる。

$q = 771$ で $T=0.85$ のデータがないのは、
 この条件で波を発生させても、波高の大きさにか
 かかわらず、造波直後に碎波が生じてしまうため
 である。つまり、水平床では比較的流速が遅いの
 にもかかわらず、浅水変形を受ける前に碎波して
 いる。これは、水平床での流速と沖波波速との比
 Co/V が約 1.0 程度になっており、 Yu が示
 した碎波限界-7 に近いためであろう。また他の流
 量においても $T=0.85$ で波高が比較的大きい場
 合の碎波点は極めて不安定である。この理由は以
 下のようである。仮に、水平床で流れのみによる
 碎波の実験を行った場合、流れによるエネルギー
 損失を無視すれば、碎波は水平床のどこで生じて
 もよいことになる。一方、本実験では水深がある
 程度浅くなり流速が大きくなると、 Co/V は
 Yu の碎波限界に近づいており、また波長が短いた
 め水深の影響が比較的小さいので、水平床での実
 験と同様、碎波点が不安定になる。以上のように
 $T=0.85$ では浅水変形よりはむしろ流れによる影
 響が大きく作用していることが明らかになる。

周期が一定の場合の流量による影響を明らかに
 するため図 5-1、図 5-2 を示してある。流量
 が大きくなると、碎波水深は大きくなり、特に沖
 波形勾配の大きい所で顕著になる。また二つの図
 を比較すると周期の短い方が流量による影響を大
 きく受けていることがわかる。

このように、 hb/Lo と沖波形勾配の関係に対
 し周期及び流量が重要な役割を果たしていることが

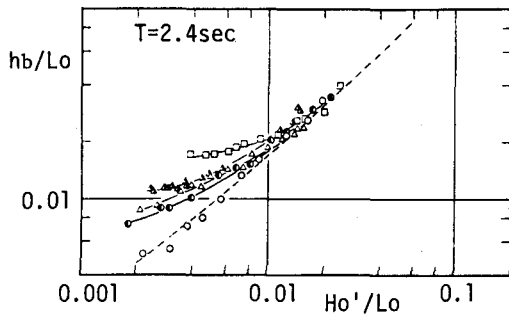


図 5-1

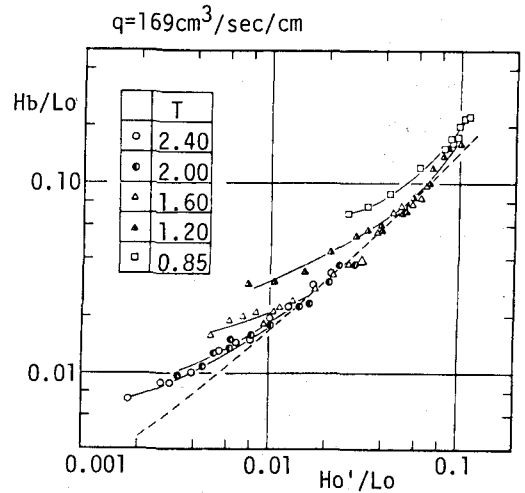


図 4-2

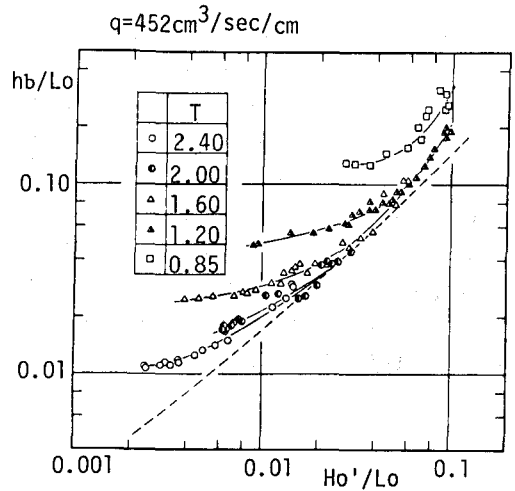


図 4-3

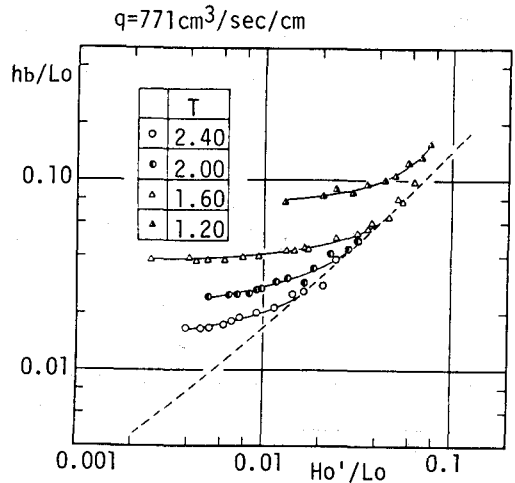


図 4-4

明らかになった。

(2)、碎波波高の特性

図 6-1 は流れのない場合の碎波波高と沖波高の比 H_b/H_o' と沖波形勾配 H_o'/L_o の関係を示したもので、碎波水深と同様周期にかかわらず実線のような関係にある。破線は合田による碎波指標であり、沖波形勾配の小さい所で若干差があるが、全般によく一致している。

流量が少ない場合(図 6-2)には、沖波形勾配が小さいと流れの影響を受け碎波波高が大きくなっているが、沖波形勾配が大きい波ではほとんど流れのない場合とかわらず、また周期による傾向の違いも明らかでない。しかし、流量が大きくなると(図 6-3)、周期によって異なった傾向を示し、破線($q=0$)からの差が大きくなる。また全体に近似曲線の傾きが破線より急であり、流量の大きい場合には、沖波形勾配による碎波水深の変化が大きいことがわかる。

図 7-1、図 7-2 は、各々 $T=2.4$ と $T=1.2$ の場合を、流量をパラメーターとして表わした図である。周期が長い場合は、流量ごとの傾向はあまりはっきりしないが、周期が短くなると、明らかに異なった傾向を示している。しかし、 H_b/L_o では、周期の長さあるいは流量の大きさの順に、沖波形勾配との関係が変わっているのに対し、 H_b/H_o' ではかならずしもそうではない。

$T=1.2\text{sec}$

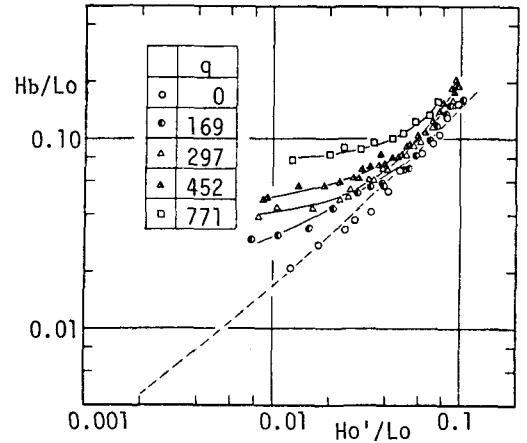


図 5-2

$q=0\text{cm}^3/\text{sec/cm}$

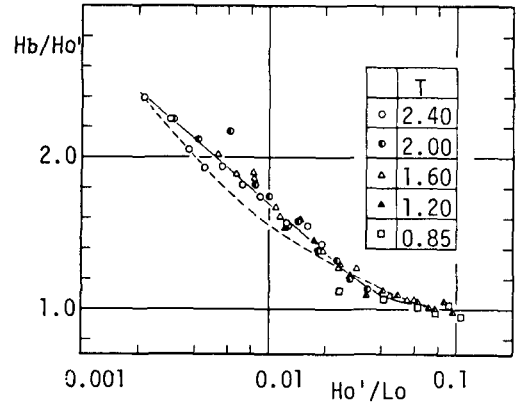


図 6-1

$q=169\text{cm}^3/\text{sec/cm}$

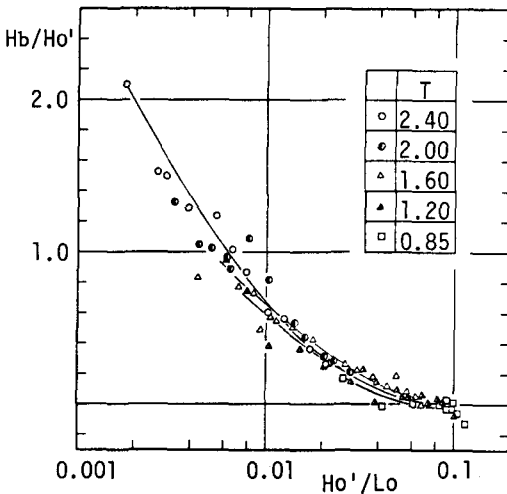


図 6-2

$q=452\text{cm}^3/\text{sec/cm}$

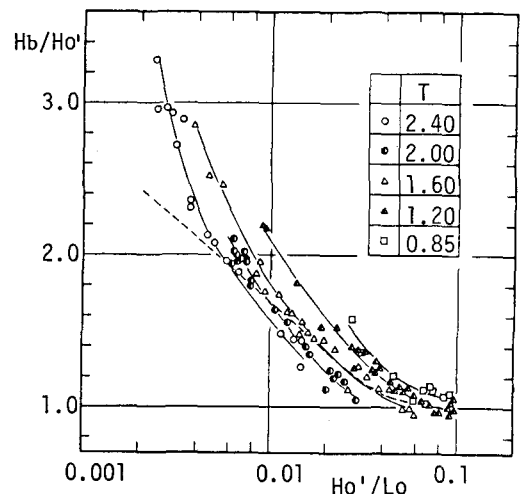


図 6-3

4. 考察

(1)、無次元単位流量と碎波特性

碎波特性に対し、単位幅流量及び周期が重要な役割をはたしており、沖波形勾配と碎波特性量、特に h_b/Lo との関係は、これらによって変化することが明らかになった。つまり、周期が短い程、また流量が大きい程、流れの影響が強く、碎波水深は深くなっている。

そこで、波に対する流れの強さを表わす量として無次元単位流量 q^* を考える。これは長さ及び時間の単位をそれぞれ $Lo/2\pi$ 、 $T/2\pi$ とした時の単位幅流量であり、以下のようになる。

$$q^* = \frac{q}{g^2} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^3 \quad \text{--- (1)}$$

図 4-2 等の近似曲線を用い、沖波形勾配をパラメーターとして h_b/Lo と q^* の関係を示したのが図 8-1 である。 q^* の増大にともない碎波水深は大きくなり、その変化の傾向は沖波形勾配によって異なる。図中の破線は各沖波形勾配での流れのない場合の値であり、 q^* が小さくなると当然ながらこの値に近づくが、一致する場合とそうでない場合がある。×印は $q=0$ の値にほぼ一致したことを示しているが、これは流れの影響が現われず、浅水変形のみによって碎波が生じたことを意味しており、そのような碎波の領域は、本実験の範囲では図中の斜線によって示される。

Yu は流れによる微小振幅深水波の碎波に対し、 Co/V によって碎波の限界が表わせ、

$$Co/V \approx -7 \quad \text{--- (2)}$$

であることを実験的に確かめている。この式に

$$V = -q/h_b \quad \text{--- (3)}$$

$$Lo = Co \times T = gT^2/2\pi \quad \text{--- (4)}$$

と(1)式を代入すると、

$$h_b/Lo \approx 7 \times q^*/2\pi \quad \text{--- (5)}$$

となる。しかし、(2)式の右辺に関しては、岩垣等が指摘するように、理論的考察がされておらず、また周期、波高によって変化することも予想されるので、

$$h_b/Lo \propto q^* \quad \text{--- (6)}$$

とする。(6)式は、本実験で流量が大きく、浅水変形をほとんど受けない程度に短い周期の場合、つまり q^* を大きくした極限に相当するものであり図中に一点鎖線で示される。

一方流れによる浅水長波の碎波限界が

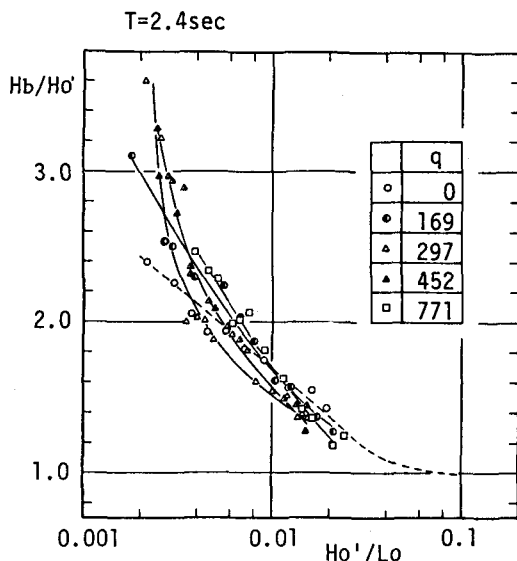


図 7-1

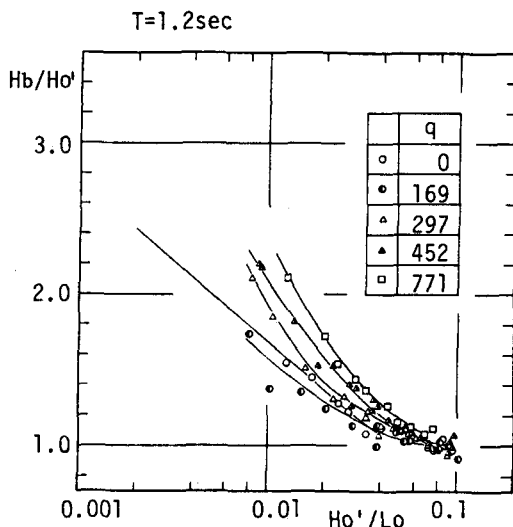


図 7-2

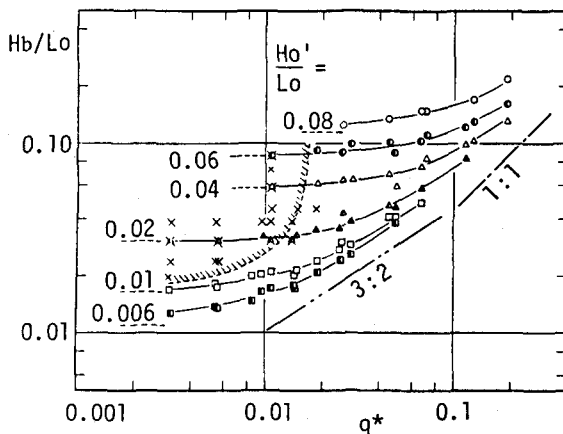


図 8-1

$$\sqrt{g h_b} / V \propto \text{Const.} \quad - (7)$$

によって定まるとすれば、(1)、(3)、(4) 式により

$$h_b / L_o \propto q^*{}^{2/3} \quad - - - (8)$$

となる。これは、 q^* が極端には大きくなく、沖波形状勾配が小さい場合に対応しており、図中二点鎖線で示される。

図 8-2 は碎波波高と q^* の関係であるが、沖波形状勾配をパラメーターとして、 q^* の影響が明らかになった。

(2)、線形理論との比較

富永は、浅水変形と流れの影響を考慮し、波高変化に関する理論解を得た。この式を、 q^* をパラメーターとして、水深と H/H_o' の関係を求めると、ある流量での水深変化に伴う波高の変化を得る。そこで理論的には、波高の関係は碎波時でも満足するものとしてこの解析と本実験を比較したのが図 9-1 と図 9-2 である。 $(q^*=0)$ での碎波波高は変形曲線よりも大きく、特に碎波水深の浅い波ではその差が大きい。これは、従来の流れのない場合の浅水変形の実験結果と同一である。しかし、 q^* が大きくなると、逆に小さくなっている。これは岩崎²⁾が指摘する、流れを遡上する間のエネルギー減衰を表わしているものと思われる。つまり、流れと浅水変形の影響で波高は沖波波高に比べて大きくなるものの、その間に生じるエネルギー減衰が著しく、碎波時には相当な波高減少を生じさせていることになる。

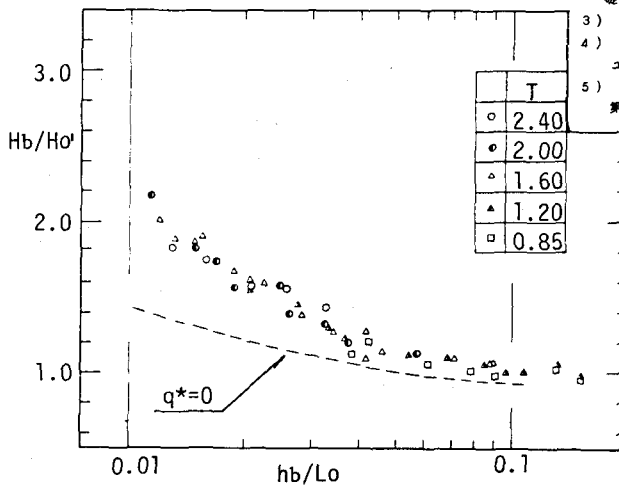


図 9-1

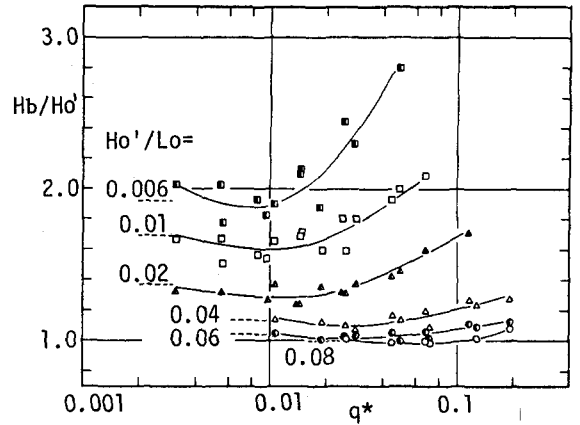


図 8-2

5. 結語

碎波特性に対し、流量及び周期が大きく影響することが明らかとなり、その結果無次元単位流量と碎波特性の関係が得られた。また、深水波及び浅水長波での関係も推定された。

流れと波の線形解と比較することにより、碎波にいたるまでの流れによるエネルギー減衰は無次元単位流量が大きい程著しいことが明らかになった。

最後に、本研究に際し 北海道大学工学部 小野 敏行氏の多大な協力を得たことを記し、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Yi-Yuan Yu: Breaking of Waves by an Opposing Current, Trans.A.G.U., Vol.33, No.1
- 2) 岩堀雄一・浅野敏之・山中廣彦・永井文博: 流れによる碎波に関する基礎的研究、第27回海議。
- 3) 浜田徳一・加藤 勉: 流水の中の有限振幅波の計算、第10回海議。
- 4) 富永政英: 沿岸付近の流れと波の相互作用について、海岸災害研究ニュース 第6号。
- 5) 岩崎敏夫・佐藤道郎: 流れを遡る波のエネルギーの減衰について、第17回海議。

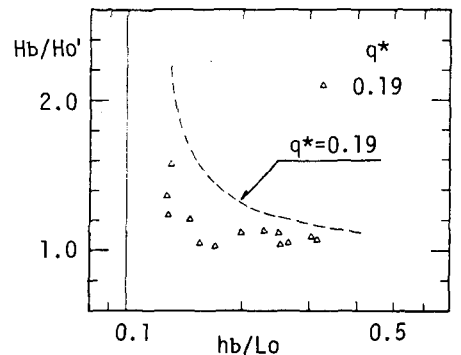


図 9-2