

斜面上での碎波に及ぼす流れの影響に関する基礎的研究

堀 茂樹*・大塚夏彦**・佐伯 浩***・尾崎 晃****

1. 緒 言

河口閉塞に対し重要な要素である河口付近の碎波特性,あるいは流れの影響を考慮した屈折計算での碎波点などを考える場合,水深変化の影響と流れの影響を同時に受ける波浪の碎波を解明することが必要である。

Yi-Yuan Yu¹⁾ は微小振幅深海波が一樣な流れを遡る場合,流れのない時の深海波の波速と流速の比 C_0/V が約 -7 で碎波が生じはじめることを実験的に明らかにした。また,岩垣・浅野²⁾は浜田・加藤が示した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,さらに流れを遡上する浅海波の限界波高水深比・限界波形勾配などの碎波特性量を実験的に明らかにし,理論との比較を行っている。

このように,一樣水深での流れによる碎波に関しては多くの特性が明らかにされてきているが,上記の問題に対しては樫木³⁾が指摘するように,水深変化のある場合の波に及ぼす流れの影響を検討しなければならない。

本研究は,斜面上の流れを進行する波浪の碎波に関し3種類の水底勾配で実験を行い,碎波水深・碎波波高に及ぼす流れの影響を検討した。また,このような場合の碎波形態の分類を行った。

2. 実験装置および方法

実験装置の概略を図-1に示す。流れを発生させた時に,跳水が生じたり,水面が著しく乱れることのないように水位を定めた。また碎波点・碎波波高の測定には15 cm 間隔で並べた5本の抵抗線式波高計を用いた。碎波形態の判定は目視と写真とにより行った。

はじめに水底勾配 S を $1/30$ として詳細な実験を行い,その結果をふまえて $S=1/15, 1/50$ での実験を行った。実験に用いた単位幅流量 q , 波の周期 T , 換算沖波波高 H_0' は表-1と表-2に示す通りである。

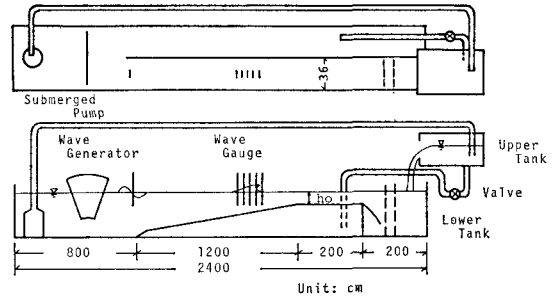


図-1 実験装置

表-1 実験条件 ($S=1/30$)

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)

表-2 実験条件 ($S=1/50, S=1/15$)

q	0, 188, 322, 434, 790 ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)
T	0.85, 1.6, 2.4 (sec)
H_0'	1.3~17.0 (cm) ($S=1/15$) 2.1~20.2 (cm) ($S=1/50$)

3. 実験結果および考察

(1) 水面形および流速分布

流れを発生させた時の水面形と流速分布の例として, $S=1/30, q=452 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ の場合を図-2, 図-3に示す。

水位は沖側の比較的水深が深い所ではほぼ一定であるが,斜面の岸側端に近づくにつれ低くなり,流れの方向

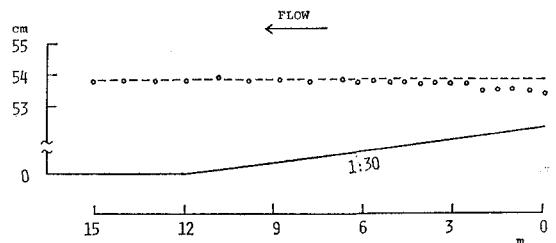


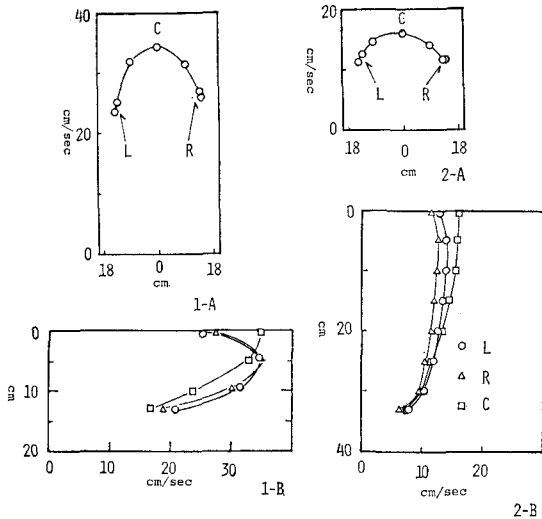
図-2 水面形 ($S=1/30, q=452 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)

* 正会員 工修 岩手大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 東亜建設工業(株)

*** 正会員 工修 北海道大学助教授 工学部土木工学科

**** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科


 図-3 流速分布 ($S=1/30$, $q=452 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$)

に対して逆勾配になっている。この傾向は全ての場合で見られたが、碎波水深などの値は沖側の一定水位を基準とした。

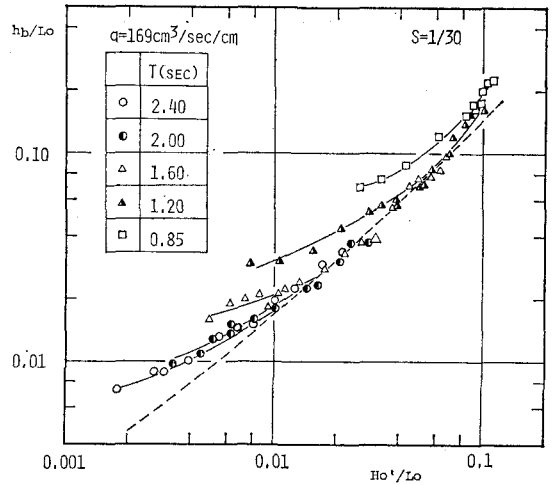
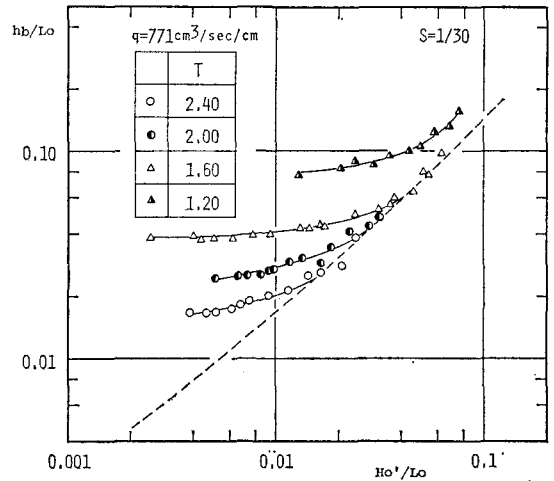
図-3 の (1-A), (2-A) は各々水深 14.4 cm と 34.6 cm での、表面下約 1 cm の位置での流速の横断分布であり、(1-B), (2-B) は水路の左壁より水路幅の 1/8, 1/2, 7/8 の位置での鉛直分布である。

(2) 碎波水深に及ぼす流れの影響

本節から (4) 節までは、水底勾配 $S=1/30$ の実験結果を用いて検討する。流れのない場合の碎波水深と沖波波長との比 h_b/L_0 と沖波波形勾配 H'_0/L_0 の関係は、水底勾配のみにより決まり、図-4 の破線で示され、合田による碎波指標と良く一致している。

図-4 は $q=169 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$ の場合の h_b/L_0 と H'_0/L_0 の関係を、周期をパラメーターとして表わしたものである。 h_b/L_0 と H'_0/L_0 の関係は流れの影響を受けると、周期によって異なった傾向をもつ。周期が長い場合は、 H'_0/L_0 が小さいと流れの影響が強いが、 H'_0/L_0 の増大に伴い弱まり、流れのない場合の結果と一致してくる。一方、周期が短い場合は、 H'_0/L_0 の増大に伴って若干影響は弱まるものの、流れのない場合に一致することはない。また全体に周期が短い波ほど、 h_b/L_0 が大きい。

図-5 は本実験中最大流量 ($q=771 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{cm}$) での結果であるが、流量の増大に伴い流れの影響が強まり、周期による傾向の違いが顕著になっている。特に周期が短い場合、 H'_0/L_0 が小さくなるにつれ一定の値に漸近している。この理由は以下のように考えられる。周期が短い場合には比較的深海波に近く、また H'_0/L_0 が小さいと碎波点よりある程度沖側では浅水変形の影響が少ないため、強い流れがある場合のこのような波の碎波は深海波の流れによる碎波と見なし得る。Yu は深海波の

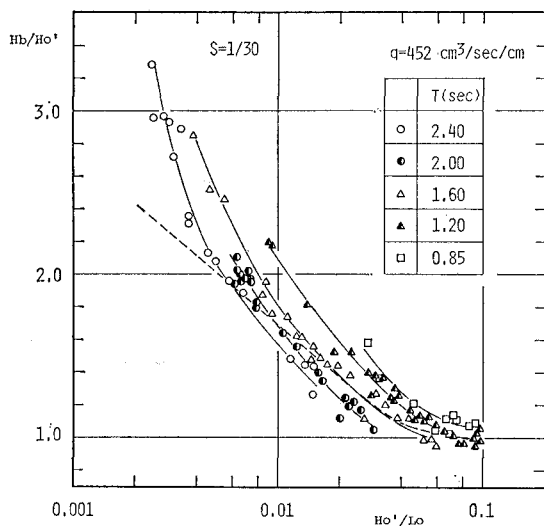

 図-4 h_b/L_0 と H'_0/L_0 の関係

 図-5 h_b/L_0 と H'_0/L_0 の関係

流れによる碎波は、 C_0/V がある限界に達した時に生じることを見らした。これを斜面上に拡張すると、流量と周期が一定であれば、深海波の流れによる碎波と見なし得る場合の碎波水深は一定の値になることになる。また、図-5 に周期 0.85 秒のデータがないのは、この条件で造波させると、造波直後に碎波してしまうためである。この時の C_0/V は約 -10 であり、Yu の示した限界値 -7 に近い。

(3) 碎波波高に及ぼす流れの影響

流れのない場合の碎波波高と換算碎波波高との比 H_b/H'_0 と沖波波形勾配 H'_0/L_0 の関係は 図-6 の破線のように、合田の碎波指標と比べると、 $H'_0/L_0=0.01$ 付近で若干大きめであった。

流量が少ない場合には、 H'_0/L_0 が小さいと H_b/H'_0 は流れのない場合より多少大きくなるが、 H'_0/L_0 が大きくなるにつれ流れの影響が現われなくなる。

図-6 H_b/H_0' と H_0'/L_0 の関係

流量が多くなると図-6に示すように、流れの影響が明らかになり、 H_b/H_0' と H_0'/L_0 の関係は周期によって異なった傾向を示す。全般に、実験曲線の傾きは流れのない場合より急になり、 H_0'/L_0 による変化が大きい。

しかし、 h_b/L_0 と H_0'/L_0 の関係では、周期が短かいほどあるいは流量が多い程流れの影響が強いが、 H_b/H_0' と H_0'/L_0 の関係ではかならずしもそうでない場合がある。

(4) 無次元単位幅流量を用いた碎波指標

碎波特性に対する流れの影響の強さは、単に流量によって決まるのではなく、波の周期によって変化することが明らかとなった。そこで波に対する流れの影響の強さを表わす量として、無次元単位幅流量を考える。これは長さの単位を $L_0/2\pi$ 、時間の単位を $T/2\pi$ として、単位幅流量を無次元化したものであり、以下ようになる。

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

H_0'/L_0 をパラメーターとして、 h_b/L_0 と q^* の関係を示したのが図-7である。 q^* の増大に伴い h_b/L_0 は大きくなり、その変化のしかたは H_0'/L_0 によって異なる。

図中の破線は流れのない場合の値であり、×印はこの値に一致したことを示している。このことは碎波水深に対しては流れの影響を無視してもよいことを意味しており、そのような領域は斜線によって示される。

Yu が示した深海波の流れによる碎波の限界は

$$C_0/V \div -7 \quad (2)$$

であり、これに (1), (3), (4) 式を代入すると、

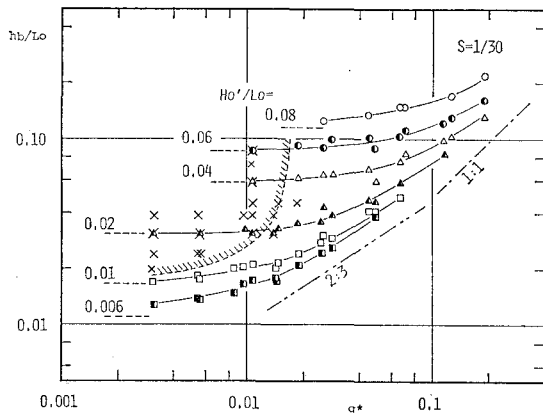
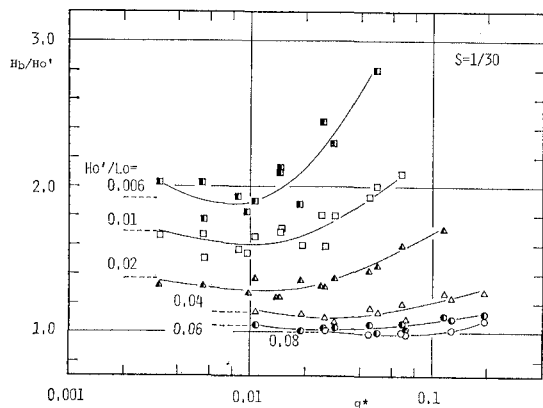
$$V = -q/h_b \quad (3)$$

$$L_0 = C_0 \times T = q \cdot T^2/2\pi \quad (4)$$

(5) 式が得られる。

$$h_b/L_0 \div 7 \times q^*/2\pi \propto q^* \quad (5)$$

また、浅海長波の流れによる碎波の限界が

図-7 h_b/L_0 と q^* の関係 ($S=1/30$)図-8 H_b/H_0' と q^* の関係 ($S=1/30$)

$$\sqrt{gh_b}/V \propto \text{const.} \quad (6)$$

で表わされるものとすれば、(1), (3), (4) 式とにより、(7) 式が得られる。

$$h_b/L_0 \propto q^{*2/3} \quad (7)$$

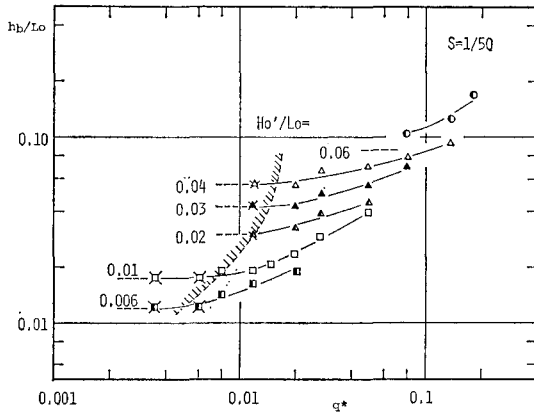
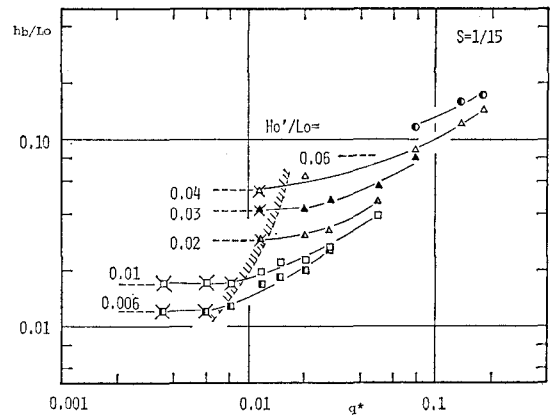
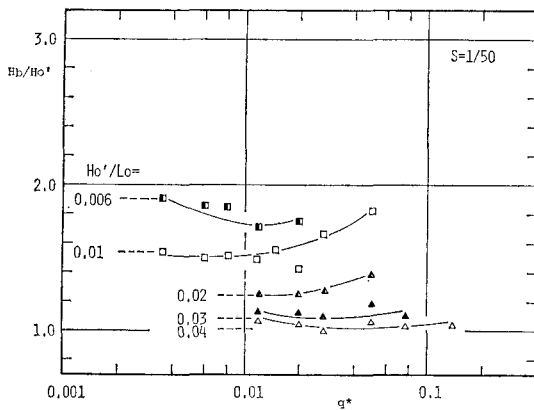
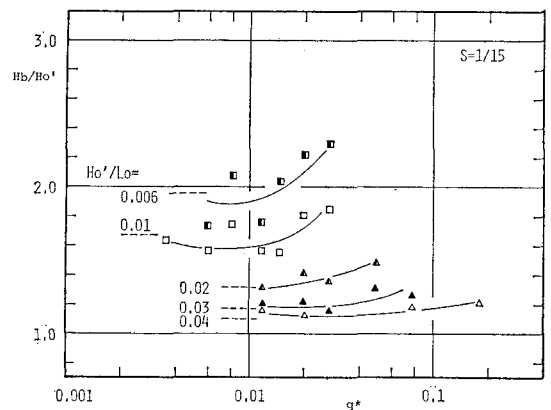
本実験では、(5) 式は単位幅流量が大きく、深海波と見なせる程度に周期が短い場合、つまり q^* が極めて大きくなった場合に対応し、また (7) 式は流量があまり小さくなく、浅海域に進行し得る程度に H_0'/L_0 が小さい場合に対応する。両式を図中の一点鎖線と二点鎖線で示したが、実験結果の傾向をよく表わしている。

図-8は H_0'/L_0 をパラメーターとした H_b/H_0' と q^* の関係である。 q^* の値によっては、流れのない場合の値より小さくなっているが、これは波高の増大よりはむしろ波長の減少によって碎波が生じたことを示している。

(5) 水底勾配の影響

水底勾配が 1/15 と 1/50 の結果を図-9～図-12に示す。

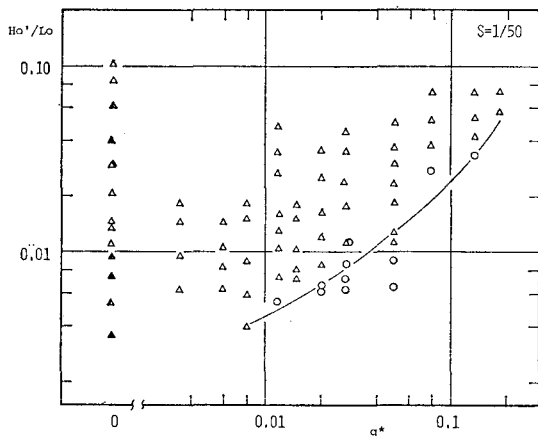
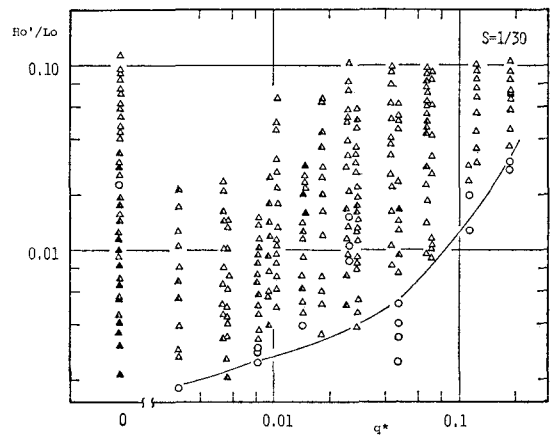
碎波水深に関しては、 H_0'/L_0 が小さい場合には、 q^* が小さい所で水底勾配によって異なるが、 q^* が大きくなるにつれ、ほぼ同一の値になる。また H_0'/L_0 が大き


 図-9 h_b/L_0 と q^* の関係 ($S=1/50$)

 図-10 h_b/L_0 と q^* の関係 ($S=1/15$)

 図-11 H_b/H_0' と q^* の関係 ($S=1/50$)

 図-12 H_b/H_0' と q^* の関係 ($S=1/15$)

い場合には、急勾配の方が大きな値となり、この傾向は流れのない場合と逆である。

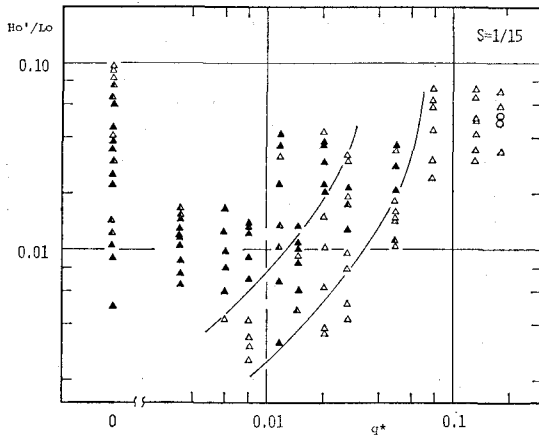
流れの影響を無視し得る領域は、 H_0'/L_0 が 0.02～0.04 の範囲ではほぼ同一である。

碎波波高に関しては、 $S=1/50$ の値が他に比べて全体的に小さくなっている。


 図-13 碎波形態の分類 ($S=1/50$)

 図-14 碎波形態の分類 ($S=1/30$)

(6) 碎波形態の分類

流れの影響を受けた斜面上の碎波には、巻き波 (▲)、崩れ波 (△)、中間型 (Δ)、消滅型 (○) の4つの形態が観測された。中間型とは巻き波と崩れ波の中間であり、どちらとも断定できない場合である。消滅型とは波頂部が乱れながら波自体が消滅する場合、あるいは崩れ

図-15 砕波形態の分類 ($S=1/15$)

波の形態で砕波しながら消滅する場合を示す。

図-13, 14, 15 はそれぞれ $S=1/50, 1/30, 1/15$ の砕波形態を H_0^*/L_0 と q^* によって分類したものである(図中左端のデータは流れのない場合での結果である)。

$S=1/50$ と $1/30$ では、 q^* が大きく、 H_0^*/L_0 が小さい場合に消滅型の発生領域があり、それ以外では、 $1/50$ では崩れ波である。 $S=1/30$ で消滅型の領域以外では、崩れ波、中間型、巻き波の3種類が発生しているが、頻

度からみて崩れ波の領域と考えてよいであろう。

$S=1/15$ では、 q^* が小さい場合に巻き波になり、 q^* の増大に伴い中間型から崩れ波に変わっている。

4. 結 語

斜面上の砕波に及ぼす流れの影響は、流量と波の周期により異なり、 q^* によって表わすことができ、また砕波水深に対して流れの影響を無視できる領域があることがわかった。砕波形態は q^* と H_0^*/L_0 によって分類される。しかし、水底勾配の影響等に関しては、定量的関係を見出すまでには至らず、今後検討すべきであろう。

最後に、本研究に際し北海道大学土木工学科小野敏行氏と岩手大学土木工学科大村政義氏の多大な協力を得たことを記し、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, pp. 39~41, 1952.
- 2) 岩垣雄一・浅野敏之・山中庸彦・永井文博: 流れによる砕波に関する基礎的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 30~34, 1980.
- 3) 榎本 亨: 河口閉そく機構に関する基礎的研究(第1報), 第12回海岸工学講演会講演集, pp. 162~167, 1965.