

砕波点における周期波の波長ならびに波速について

北見工業大学工学部 正員 ○ 佐藤 幸雄

“ 正員 内島 邦秀

“ 正員 鯨目 淑範

I. まえがき

J. B. Keller<sup>(1)</sup>, ならびに L. Melauite<sup>(2)</sup>等によると変形を伴った斜面上における微小振中波の波長は、特に、緩勾配の場合、理論的には近似的に水平床の場合と同様の波長と水深の関係で示される。しかし、勾配が急になり水深変化に伴って波形の非対称性が増大すると、水平床の微小振中波理論の適用が難しくなる。この事は斜面上の波については、勾配が急になり、また波長が長くなるにしたがつて、1波長間の水深変化が大きくなるため、従来通り、水平床の場合と同様に波頂における静水深、いわゆる砕波水深を使用した場合には、波形の非対称性が大きい程、波長変化の様相は水平床の場合と異なると考えられる。この様な点に着目し、本研究は、特に砕波点での砕波の波長ならびに波速について、水平床の微小振中波理論を適用する場合の砕波水深の取扱ひ方について、実験により検討を加えたものである。

II. 実験方法

実験には、2次元造波水槽(巾20cm、深さ80cm、長さ13.5m)の一端に傾斜板を設置し、底面は乳白色塩ビ板を用いて滑溜状態とした。水平部分の水深(沖水深)は30cmで一定とし、斜面勾配は $S=1/5, 1/30, 1/50$ の3種である、沖波の諸元を表1に示した。また使用した各種記号とそれらの測定法は下記に述べる通りである。(図-1)

- $h_0$ ; 沖水深 ( $h_0=30\text{cm}$ , 一定)
- $H_0$ ; 沖波々高, 抵抗線式波高計で測定した。
- $L_0$ ; 造波板前面の波長, 造波板前面に設置した2本の波高計(間隔1m)を通過する波速とその周期より求めた。
- $L_0$ ; 沖波換算波長,  $L_0$ を微小振中波理論  $L_0 = L_0' / \tanh(2\pi h_0 / L_0)$  により換算した値。
- $L_b$ ; 砕波々長, 砕波前面の谷部より砕波後面谷部との距離。
- $h_b$ ; 砕波水深, 砕波点の静水深。
- $\bar{h}_b$ ; 砕波平均水深, 砕波前面の谷部の静水深  $h_{fb}$  と砕波後面谷部の静水深  $h_{bb}$  との平均値。
- $L_b, h_b, \bar{h}_b$  は 16mmフィルムより読取った値である。

$\bar{C}_b$ ; 砕波平均波速,  $(= (C_b + C_f) / 2)$

III. 実験結果ならびに考察

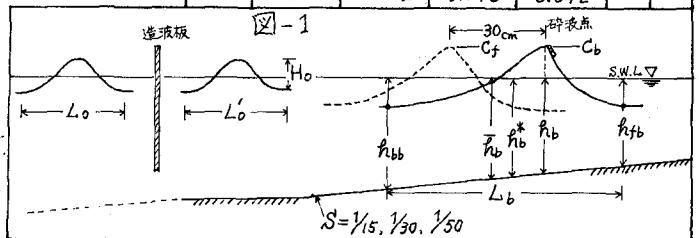
(1) 砕波平均水深 ( $\bar{h}_b$ ),

砕波点附近の波は波の伝播に伴う波形の変形が大きく、砕波点の定義の仕方により砕波点での各物理量にかなり差異がみられるが、本研究では、フィルム上に僅がでも砕れが見られた時点と砕波点と決めた。

表 1

| 勾配   | 砕波水深             | 沖波々高             | 砕波々水深     | 沖波形勾配     | 周期               | 記号 |
|------|------------------|------------------|-----------|-----------|------------------|----|
| S    | $h_{b\text{cm}}$ | $H_{0\text{cm}}$ | $h_b/L_0$ | $H_0/L_0$ | $T_{\text{sec}}$ |    |
| 1/15 | 2.3              | 1.2              | 0.0063    | 0.006     | 0.8              | ▲  |
|      | ~ 17.7           | ~ 8.0            | ~ 0.112   | ~ 0.081   | 1.0              | △  |
| 1/30 | 3.1              | 1.0              | 0.0088    | 0.004     | 1.2              | ×  |
|      | ~ 12.4           | ~ 8.0            | ~ 0.118   | ~ 0.073   | 1.5              | ○  |
| 1/50 | 2.6              | 1.5              | 0.006     | 0.008     | 1.7              | ●  |
|      | ~ 7.6            | ~ 4.2            | ~ 0.073   | ~ 0.042   |                  |    |

- $\bar{h}_b$ ; 砕波平均水深の修正水深。(後述)
- $C_b$ ; 砕波点波速, ( $L_b/T_b, T_b$ : 砕波周期)
- $C_f$ ; 砕波前面波速, 砕波点の手前30cmの位置より砕波点までの平均波速でその間に要した時間は16mmフィルムに撮ったタイマーより求めた。



この場合、砕波平均水深は砕波点での砕波の長さ $L_b$ が与えられたとき、その1波長間の平均

水深：すなわち、前面谷部の静水深と後面谷部のその平均値であり、砕波平均水深 $\bar{h}_b$ と砕波水深 $h_b$ との差は同一勾配では波の非対称性が大きい程大である。しかし、

緩勾配の場合では非対称性が急勾配の場合と同程度に大きくても砕波平均水深

と砕波水深との差は急勾配の場合に比べて小さい場合が生じ、結局、

平均水深のみでは、その大小により勾配別の非対称性を決定することは出来ない。また、平均水深は砕波の長さ $L_b$ と砕波点の位置が与えられ

て、はじめに求まる値で、平均水深のみでは取扱い不便である

ため、これを、砕波水深 $h_b$ と関連づけるため $L_b$ で無次元化

し図示すると図-2, 3, 4である。図中の直線は $\bar{h}_b/L_0 =$

$h_b/L_0$ 、すなわち $\bar{h}_b = h_b$ の場合を表わし、点線は実験値

の平均的な値を示す。各勾配共に、当然ではあるが $h_b$ が

大きい場合は $\bar{h}_b \rightarrow h_b$ に近づく波形は比較的対称であると

見做れる。また逆に $h_b$ が小さくなる程 $\bar{h}_b$ は大きく非対称性が強く

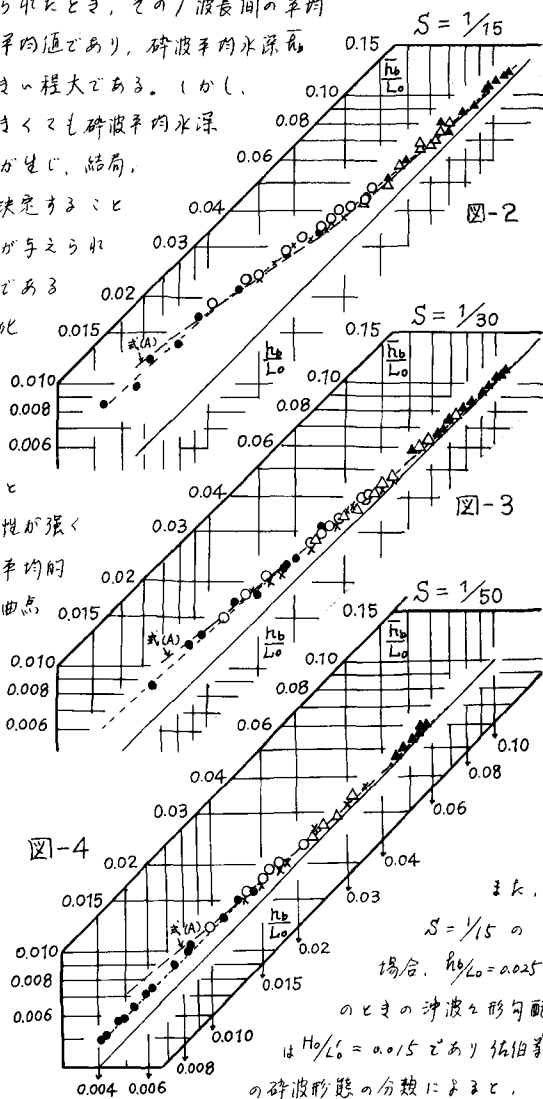
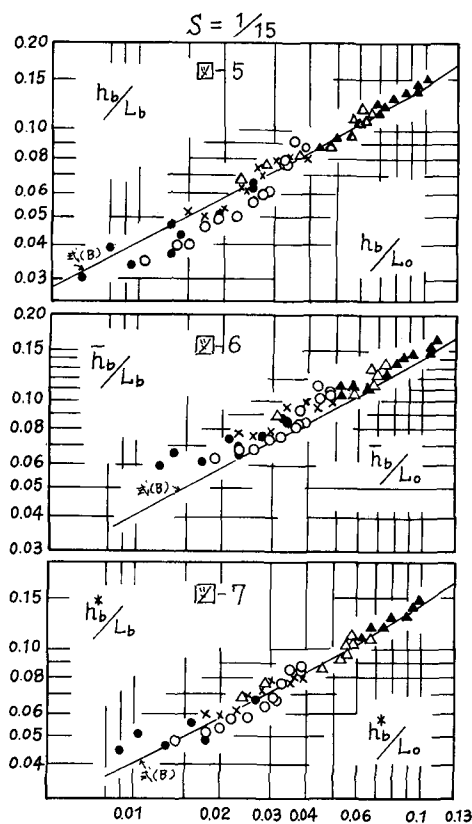
なる。さらに同より $\bar{h}_b/L_0$ と $h_b/L_0$ との関係は各勾配共に平均的

には直線変化に近んがしかし $h_b/L_0 = 0.025$ 付近に僅かに変曲点

があり、それより $h_b/L_0$ が大きい場合は $\bar{h}_b/L_0$ に漸近し、 $h_b/L_0$

$= 0.025$ 以下では、逆に $\bar{h}_b$ は増加の傾向にある、すなわ

ち波長 $L_b$ が急に増加することを示している。



また、 $S = 1/15$  の場合、 $h_b/L_0 = 0.025$  のときの沖波の形勾配は $H_b/L_0 = 0.015$ であり佐伯等の砕波形態の分類によると、plunging型の領域内である。勾配別には、同一 $h_b/L_0$ に対しては勾配が急な程 $\bar{h}_b/L_0$ の値は大きく、非対称性の僅な増長でも水深変化が大きく現われることの理由と考えられる。つぎに、以上の傾向にさらに勾配による変化を考慮に入れ実験値に対して近似的に曲線を挿入したのが図中の破線であり、式は下記に示すようなものである。

$$\bar{h}_b/L_0 = h_b/L_0 + 0.115 \cdot S \left\{ 1 - \tanh \frac{\pi}{2} (h_b/L_0 - 0.025) \right\} \quad \text{----- (A)}$$

(2) 砕波の波長( $L_b$ ),

砕波前面谷部および砕波後面谷部の波形は非常にflatでありフィルムからの読取りに多大な誤差が含まれていると考えられるが、従来通りの表現により $h_b/L_b$ と $h_b/L_0$ の関係で各勾配

別に図に示すと図-5, 8, 11 である。図中の実線は水平床の場合の微小振中波理論によるもので、

$$L_0 = \frac{L_b}{\tanh \frac{2\pi h_b}{L_b}} \quad \text{より} \quad \frac{h_b}{L_0} = \frac{h_b}{L_b} \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b} \quad \cdots (B)$$

である。図より比較的勾配が緩い  $S=1/30, 1/50$  の場合は全体的に式(B)よりわずかに低く、また  $S=1/5$  の急勾配では  $h_b/L_0$  の大きい値でやや高い値を示すがいずれも比較的式(B)に一致していると言える。しかし  $S=1/5$  の場合で  $h_b/L_0$  が次第に小さくなると、 $h_b/L_0$  の値は図-2 の  $h_b/L_0$  の変化と同様の傾向を示し、 $h_b/L_0 = 0.025$  付近より  $h_b$  の増加と同様に  $L_b$  の増加が目立ち、式(B)の曲線より大きく離れて来る。この様な傾向より  $h_b$  の代りに  $h_b$  を用いて  $h_b/L_b$  と  $h_b/L_0$  の関係で図に示すと図-6, 9, 12 であり、 $S=1/30, 1/50$  では  $h_b/L_b - h_b/L_0$  の関係より式(B)の曲線との一致は良くなる。しかし  $S=1/5$  の急勾配の場合については、 $h_b/L_0$  の場合よりは値の変化する傾向は微小振中波理論に類似して来るが、 $L_b$  の値は同一碎波水深  $h_b$  における式(B)の値より測定値がやや低い結果を示し、全体的に曲線(B)の上側に現われる結果になった。

以上の結果より、微小振中波理論と同一の波長を示す水深としては、勾配が緩い場合は平均水深に近づき、また勾配が急になるにしたがって平均水深よりやや碎波水深側に移行するような値が適当と考えられる。このような水深と碎波平均水深の補正水深とを考へ、また、補正係数としては、微小振中波の傾向と勾配による変化量を考慮して、

$$\sigma = 1 - \sqrt{1 - \tanh \frac{2\pi h_b}{L_0}} \quad \text{で表わしてみると、}$$

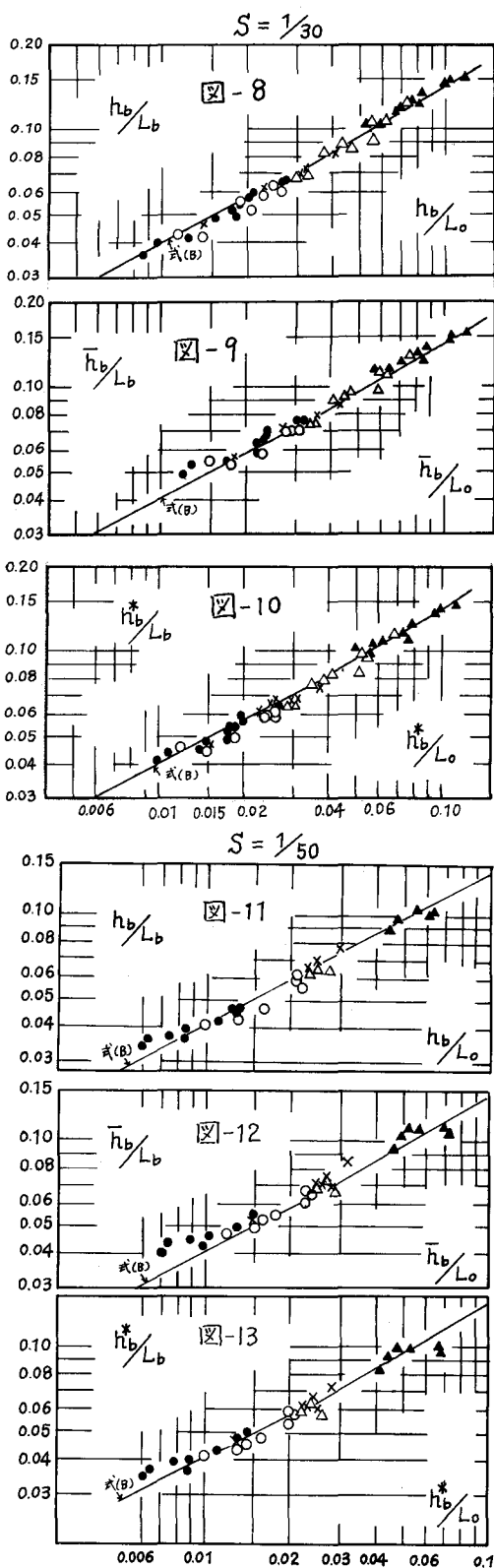
$$\text{補正水深} \text{ は } h_b^* = h_b \left\{ 1 - \sqrt{1 - \tanh \frac{2\pi h_b}{L_0}} \right\}$$

さらに、 $\frac{h_b^*}{L_0} = \frac{h_b}{L_0} \cdot \sigma = \frac{h_b}{L_0} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \tanh \frac{2\pi h_b}{L_0}} \right\}$  となり、このような補正水深を使用して  $h_b^*/L_b - h_b^*/L_0$  の関係で図示したのが図-7, 10, 13 である。図より  $h_b^*/L_0$  が小さい場合は十分補正された状態にあるが  $h_b^*/L_0 > 0.01$  の範囲の値が多い本実験の場合には、ほぼ微小振中波理論と一致する結果が得られた。

### (3) 碎波の速 ( $\bar{C}_b$ ),

碎波の速については、碎波時の波速の測定が困難であるため、次の2種類の波速を採用した。

- (i) 碎波点の手前 30cm から碎波点までの平均波速  $C_f$ ,
- (ii) 碎波の長  $L_b$  と碎波周期  $T_b$  より求めた碎波点波速  $C_b$ ,
- (iii) 碎波点周期は測定の結果、冲波周期  $T_0$  と殆んど同



じであるため、 $T_0 = T_b$ と考える。この場合の $C_b$ の値は $C_f$ に比べてやや小さい値を示すが、砕波点の位置の取り方の違ひが原因により、 $C_b$ と $C_f$ 共にそれぞれバラツキが見られる。しかし、 $C_b$ が大きいとき、 $C_f$ は小さく、逆に $C_b$ が小さいとき $C_f$ は大きい値を示し相互に相違を持つ値を示している。すなわち、 $C_f$ がやや大きい値を示すときは砕波点はやや前方に進みすぎ、その分前面波長の減少に伴って砕波々長全体が短くなり、したがって $C_b$ が小さい値を示すものと考えられる。したがって測定値の整理については、 $C_b$ と $C_f$ の平均値として $\bar{C}_b (= (C_f + C_b)/2)$ を採用することとした。この場合、 $\bar{C}_b$ は実際の砕波点波速より若干低い値を示すものと考えられる。したがって、この $\bar{C}_b$ と水平床の場合の各種理論と比較するためには、砕波水深 $h_b$ よりやや大きい、砕波平均水深 $\bar{h}_b$ を使用することとし、沖波換算波長 $L_0$ で無次元化した、 $\bar{C}_b/\sqrt{g L_0}$ と $\bar{h}_b/L_0$ との関係を図に示した。各勾配については図-14, 15, 16である。図中の(a), (b), (c)の各曲線はそれぞれ下記に示すような、水平床の場合の微小振中波、有限振中波、孤立波の波速である。

(a) 微小振中波；

$$\frac{C_b}{\sqrt{g L_0}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{h_b}{L_0} \right)^{-1/2}, \quad \frac{h_b}{L_0} = \frac{h_b^2}{L_b} \tanh \frac{2\pi h_b}{L_b}$$

(b) 有限振中波；

$$\frac{C_b}{\sqrt{g L_0}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{h_b}{L_0} \right)^{-1/2} \sqrt{1 + \left( \frac{\pi H_b}{L_b} \right)^2 \frac{\cosh(8\pi h_b/L_b) + 8}{8 \{ \sinh(2\pi h_b/L_b) \}^4}}$$

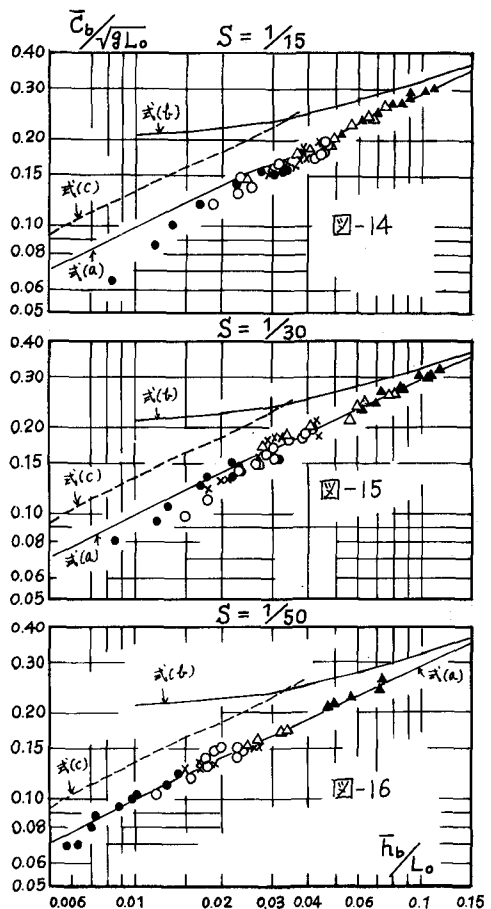
$$H_b/L_b = 0.142 \tanh(2\pi h_b/L_b), \text{ Miche の式}$$

$$h_b/L_0 = h_b/L_b \cdot \tanh(2\pi h_b/L_b)$$

(c) 孤立波；

$$\frac{C_b}{\sqrt{g L_0}} = \sqrt{\frac{h_b}{L_0} \left\{ 1 + \left( \frac{H_b}{h_b} \right)^2 \right\}^{-1/2}}, \quad \frac{H_b}{h_b} = 0.78 \text{ (Munk の砕波限界)}$$

図より $S = 1/30, 1/50$ の場合には平均水深を使用することにより、砕波々長の場合と同程度に微小振中波理論との一致が見られ、 $S = 1/15$ で、 $\bar{h}_b/L_0$ が小さい場合には、平均水深のみでは、やはり、微小振中波の値より離れて来る。すなわち、 $\bar{C}_b$ の値が小さく、したがって砕波々長 $L_b$ の傾向と同様、 $L_b$ が、同一砕波平均水深の場合の理論値より小さいことを示していると考えられる。



#### IV. おまへ

斜面上の砕波点の砕波々長、波速に対して、従来の砕波水深に代って、平均水深、あるいは補正水深を用いて、ある程度微小振中波理論に一致させることが出来ることが解った。しかし、此水深が小さくなるに従い、補正量も充分でなく、さらに多くの勾配についての実験値より検討を加える必要があると考えられる。

終りに、データ整理等に多大なご助力を賜りました4年目学生諸君に深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) J.B. Keller "Surface waves on water of non-uniform depth"
- 2) L. Melville and H. Webb "Periodic gravity wave over a gentle slope at a third order approximation" Coastal Eng.
- 3) 佐伯・藤本・尾崎 "砕波の形態について" 第30回年次学術講演会講演概要集 1950.10