

進行波の Wave Crest Height について

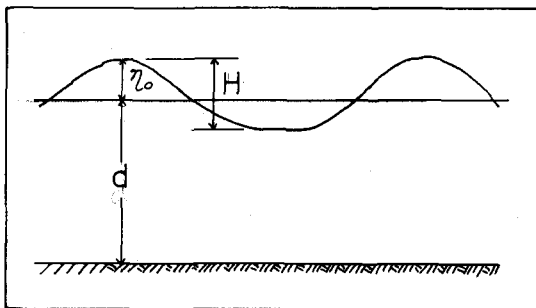
● 北大工 仇伯 浩

北大工 kamisato Hector katsuya

§1. 緒論. 進行波の Wave Crest Height (波頂高) についての最初の研究として $T=0$ は Bretschneider¹⁾ がある。その後、岸、石田、佐伯の研究と著者の一人佐伯 (図-1)

等による若干の計算と実験がなされているにすぎない。一般に海の波浪は、 $S \cdot W \cdot L$ から波頂までの長さ $S \cdot W \cdot L$ から波谷までの長さは、波頂までの長さの方が長い。線形波動理論においては、 $(\eta_0/H) = 0.5$ で、Wave Crest Height は波高 H の半分であるが、非線形波動理論である Stokes Wave や Cnoidal Wave では、 (d/L_0) が大きく、 (H/L_0) が非常に小さくない限り $(\eta_0/H) = 0.5$ にはならない。この η_0 を求める工学的には、 η_0 は次のように求められる。

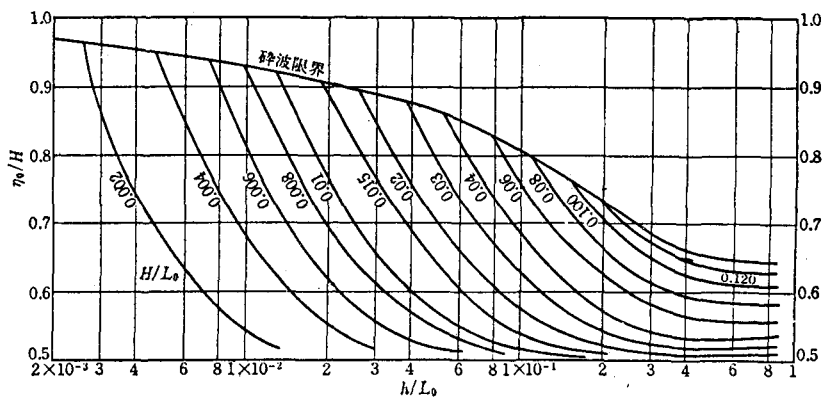
(四-エ)



海面との Clearance の決定である。ドリフト、海上工事、海底掘削に用いられる SEP、栈橋等の設計における海面との Clearance の決定に非常に重要な意味を持つ事になる。

②. 過去の研究の成果
 前にも述べたように
 Wave Crest Height

に關する最初の研究は、
Bretschneider のもので
ある。Bretschneider は
若干の實驗と計算より (圖-2)
に示す如き波頂部の等速圓
を求めた。この圖から明らか
くように、ある地点の周期 T
($L_0 = gT^2/2\pi$) と波高 H と
水深 d が与えられれば、 λ_0
が計算できる事になる。こ
れに対して、岸、佐伯は Kort-
eweg - De Fries
により求められた Cnoidal
wave の理論と Skjelbrael



(圖-3)

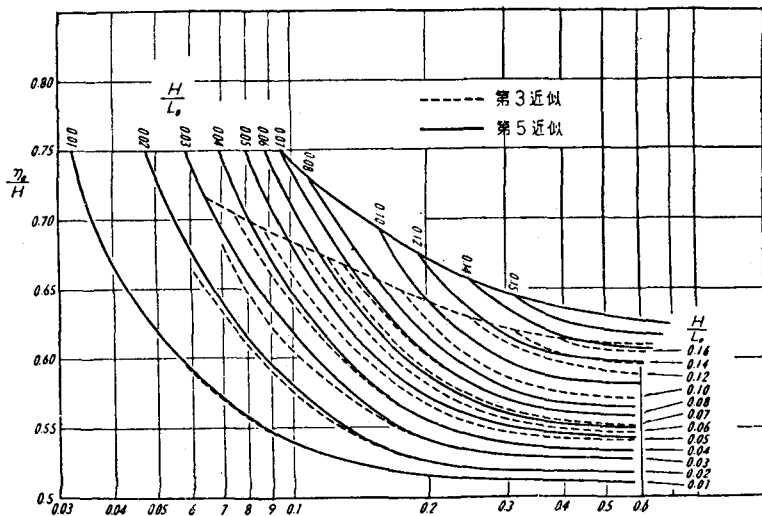
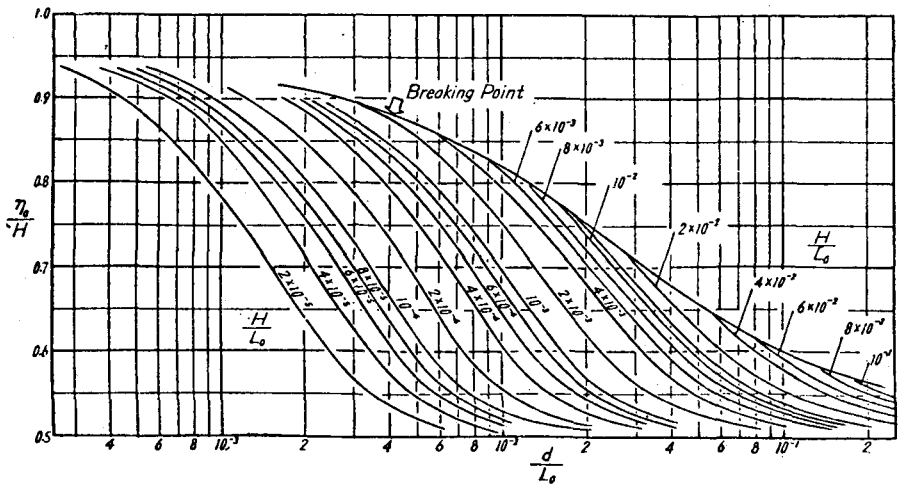


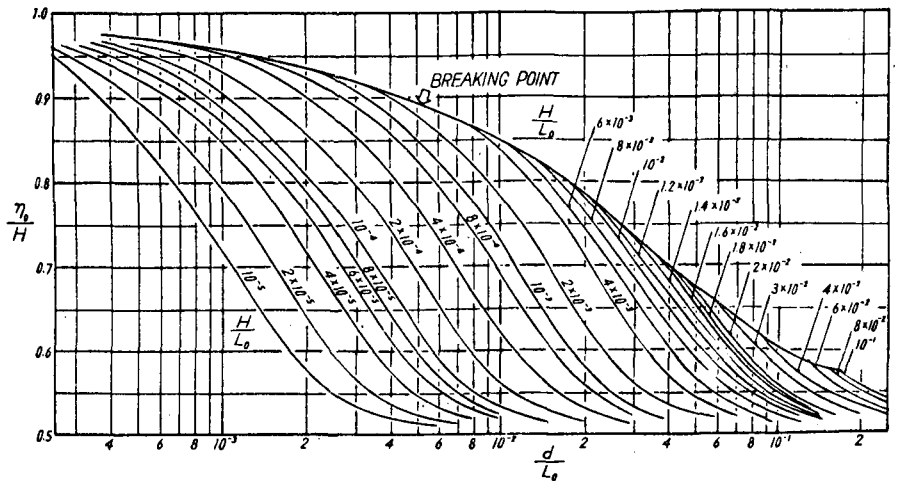
Fig. 8. 第3近似と第5近似の波長高

により求められた Stokes 波の第 1 近似理論より η_0 の計算結果を公表したが、この結果は Bretschneider の求めたものとかなり違っている事が明らかとなった。その後、佐伯、泉、新井、荒安は Stokes 波の第 2 近似解の計算結果を、佐伯、泉、新井は Cnoidal Wave の第 1, 2 近似解についての計算結果を報告し、また若干の実験結果との比較を行ったが、実験データのバラツキが大きく、計算値の実際への適用については不確かなものであった。この結果を (図-3) (図-4) に示す。

(図-4 a)



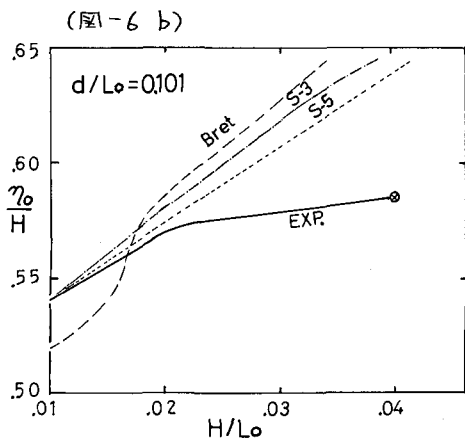
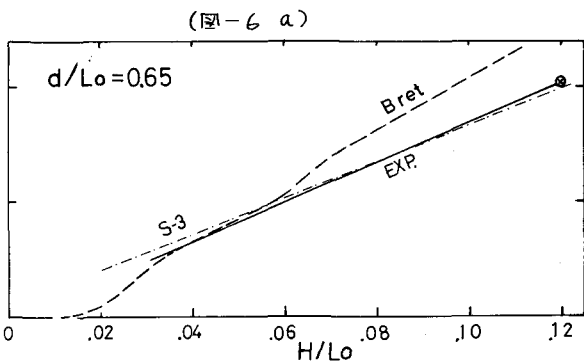
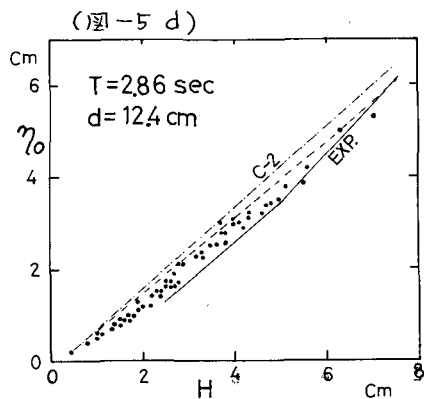
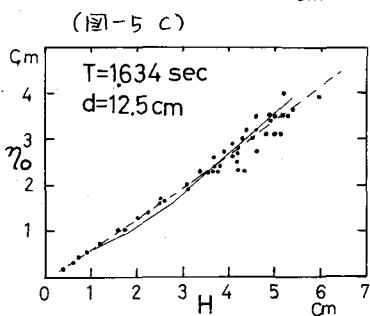
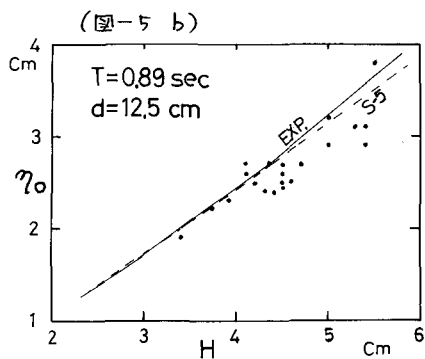
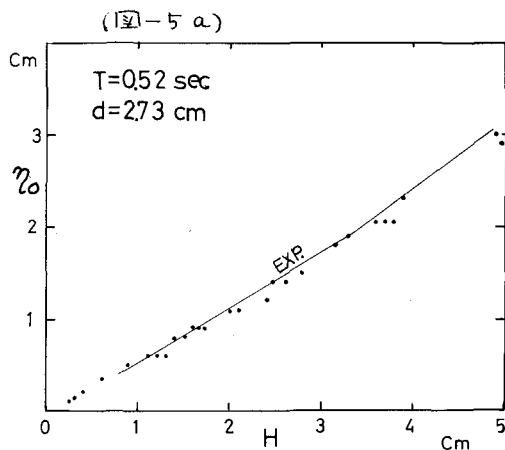
(図-4 b)



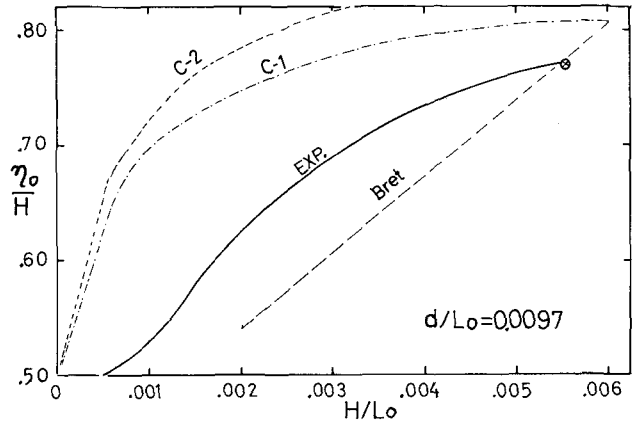
(図-2) は B. E. B で得られた 4 case の実験値と Lake Okeechobee で観測値と砕波点における Michell の理論による η_0 より Bretschneider が求めたものである。この (図-2) と (図-3) を比較してみると、同一の (d/L_0) と (H/L_0) に対して Bretschneider の (η_0/H) が一番大きく、次に第 1 近似 Stokes 波理論、次に第 2 近似 Stokes 波理論の順である。次に佐伯等によって得られた Cnoidal Wave による計算値 (図-4) は (図-2) と比較するとやはり Bretschneider の求めた (η_0/H) の値の方が大きい。また Cnoidal Wave の第 1 近似と第 2 近似理論と比較すると、第 2 近似理論の方が大きい値を示す。また $(d/L_0) \geq 0.1$ の範囲が Stokes 波と Cnoidal wave の (η_0/H) を比較すると、Stokes 波の方が大きい。このように Bretschneider が求めた Wave Crest Height の推算図は、各波動理論の計算値よりもかなり大きい値を示す。また、同一の (H/L_0) に対する (η_0/H) の変化具合は、 $(d/L_0) \geq 0.1$ では、計算結果とよく似ているが $(d/L_0) < 0.1$ では計算曲線とかなり違っている。これは Bretschneider がやない実験値と大抵な外、内挿により、波頂高を推算したためと思われる。以上の事からより正確な Wave Crest Height の推定値を求めるため詳細な実験を行った。

より、

実験方
法と実験
装置
実験は長
さ24m,
幅0.6m,
深さ1.0m
の両面か
ラス張り
水槽で行
った。底部は銅板であ
る。造波機は高周波(周
期1sec以下)の波を起
こす時はコスタインツ
造波機、その他の場合は、
主に、フロッタインツの造
波機を用いた。水槽の
一端には波の反射を消
すために $S = 1/5$ の
斜面を設けた。波高の測定には2本の抵抗線
式波高計を用いた。波高、波頂高の測定は反
射波の影響を少なくするため、造波後、波高
が定常になったから測定し、反射波が戻
ってくる前に測定を終了した。波高、波頂高は
3~5波の平均値を用いた。また、URSE-
LLのParameterが20~40より大き
くなると Soliton が発生し、場所によつて波
高、波頂高が異なる事になる。実験には、
この点に充分注意を払った。実験は $d = 27.3 \text{ cm}$, $T = 0.52 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.65$; $d = 20.0 \text{ cm}$,
 $T = 0.80 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.200$; $d = 12.1 \text{ cm}$,
 $T = 0.89 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.101$; $d = 15 \text{ cm}$,
 $T = 1.176 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.070$; $d = 12.5 \text{ cm}$,
 $T = 1.634 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.030$; $d = 12.4 \text{ cm}$,
 $T = 2.86 \text{ sec}$, $(d/L_0) = 0.0097$; の6 case と
その他に補助実験 6 case を行っている。実験は水深
 d と周期 T も固定して (d/L_0) と一定にして波高を变化
させて行なった。

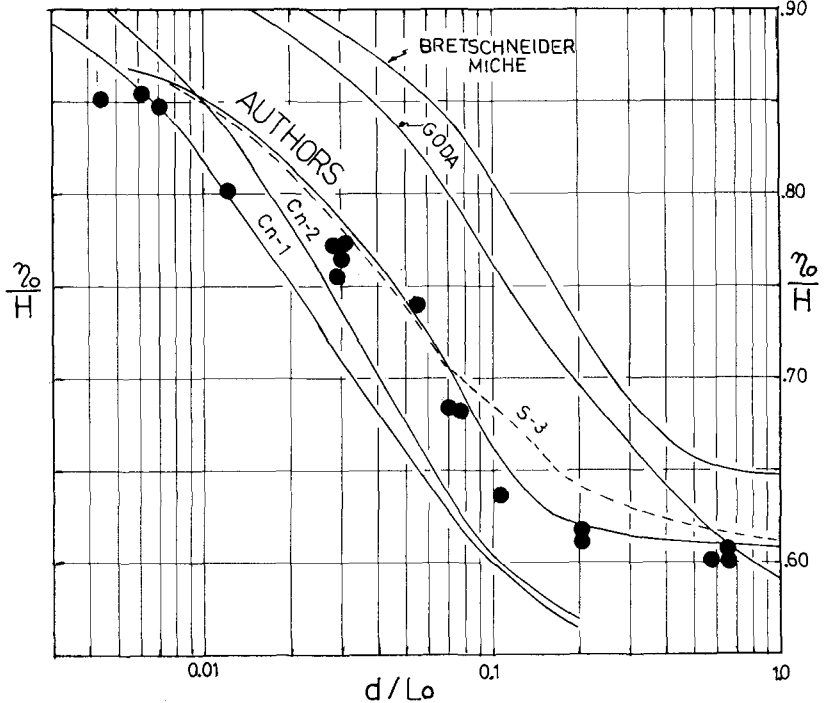


(圖-6 C)



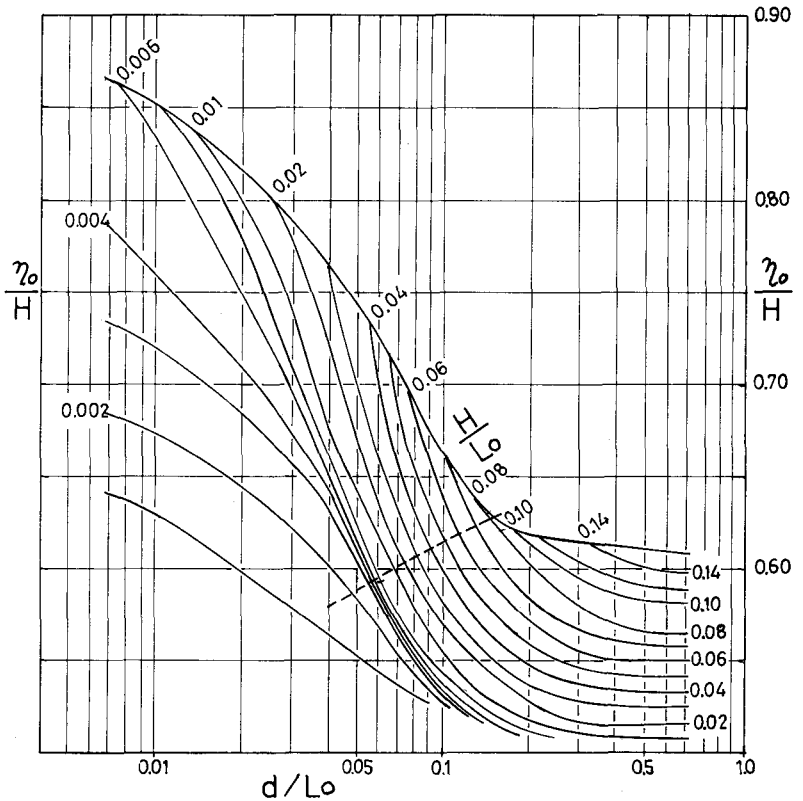
(圖-7)

(A) 図から明らかたように
(d/L_0) が大きい場合には
は、(H/L_0) が小さい

$$\frac{\eta_c}{H}$$
$$\frac{\eta_0}{H}$$


の実験値は $(H/L_0) < 0.024$ の範囲では、Bretschneider の曲線と Stokes の 1/5 近似理論に一致しているが、それより大きい範囲では、我々の実験値は、理論値や、Bretschneider の推定値より小さい値を示している。碎波域付近では、その差は極めて大きい事と示している。また、図(b)の $(d/L_0) = 0.0101$ において $(\eta_0/H) \approx 0.5$ の範囲は、 $(H/L_0) \leq 0.0101$ において $(\eta_0/H) \approx 0.5$ の範囲は $(H/L_0) \leq 0.007$ の範囲である。図(c)では、クノイド波の 1/5 近似理論と Bretschneider の推定値は我々の実験値に非常に近い事がわかる。しかし Bretschneider の碎波時の値は我々の実験値に較べて、非常に小さい。図(d)の $(d/L_0) = 0.0097$ では、実験値に較べてクノイド波の理論値の方が大きい。また Bretschneider の推定曲線は $(H/L_0) \leq 0.005$ では、 (η_0/H) の値は我々の実験値より小さく、碎波域に近づくにつれて、我々の値より大きくなる。以上(図-5)は η_0 と H の関係を示したものであるが、Bretschneider の推定値は、我々の実験

(図 - 8)



値より一部の領域を除いて
全て大きい事が明らかとな
た。次に、波頂高の比較を
より明白にするために、 (η_0/H)
と (H/L_0) の関係を示した
ものが (図 - 6) の (a) (b)
(c) (d) である。(図 - 6) に
おいて $(d/L_0) = 0.65$ の場
合、我々の実験曲線は (H/L_0)
 ≥ 0.03 では Stokes 波理
論の値に非常に近く、Bret
schneider の推定曲線は、
 $(H/L_0) \geq 0.05$ では我々
の値より大きく、 $(H/L_0) \leq$
 0.05 では、我々の値より小
さい。図 (b) においては、理
論曲線、Bretschneider
の推定曲線ともに (H/L_0)
 ≥ 0.08 の範囲で大きい。
また (H/L_0) が大きくな
るにつれて、その差は大き

くなっている。 $(d/L_0) = 0.03$, $(d/L_0) = 0.097$ の場合も $(d/L_0) = 0.10$ の場合と性質は非常によく似
ている。一般に、Bretschneider の値は、 (H/L_0) が大きくなるにつれて、 (η_0/H) の値は、理論曲線や、
我々のデータに較べて、急激に小さくなる傾向がある。また (図 - 6) から、 $(d/L_0) \geq 0.10$ では、ほとんどの領
域で我々の (η_0/H) より Bretschneider の値の方が大きい。また $(d/L_0) \leq 0.03$ くらいの範囲になると逆に、碎波
域近傍でのみ Bretschneider の値の方が大きく、他の領域では、我々の実験値の方が大きくなっている。以上の結
果から、次の結論が得られる。

- (1) (d/L_0) が大きい深水波領域では、Bretschneider の推定曲線、Stokes 波理論曲線、我々の実験値ともに碎波
域近傍を除いて大きな差はない。
- (2) $(d/L_0) \leq 0.1$ くらいになると、Bretschneider の曲線は碎波域に近づくにつれて、我々の実験値より、ば
らに大きくなり、また (H/L_0) が小さくなると、逆に我々の実験値より小さくなる。
- (3) $(d/L_0) \leq 0.1$ の範囲では、理論曲線は、実験値に一致しない。これは佐伯、佐々木等の波速の実験結果
においても同じ事が言える。これは、あとでも述べるが Soliton の発生と大きな関係がある。
- (4) Bretschneider の (η_0/H) の推定曲線が、碎波域近傍において、理論及び我々の実験値よりばらに大
きいのは、推定の誤りによるものである。

次に、碎波域における (η_0/H) を調べたものが、(図 - 7) である。○印は、今回の我々の実験値における碎波時の (η_0/H)
と以前に行なった結果である。我々は、この実験値の包絡線をもって碎波域における Wave Crest Height とし、
合計は碎波域における H_0 , h_B , L_0 , $(h_B + \eta_0)$, S の関係を今までの多くの研究成果に基づいて新たに考
えあげた。この合計の求めた碎波指標より、 $S \leq 1/30$ の場合の (η_0/H) の関係を示したものが、(図 - 7) の曲線
である。一般に碎波域において (η_0/H) が最大となり、しかも水底勾配 S が大きい程、碎波域における (η_0/H) は大

くなる。 $S=0$ における波頂高 (η_0/H) の値が $S=1/30$ における碎波英 (η_0/H) より大きくなる事は、物理的に誤りがある事になる。よって Bretschneider の碎波英における波頂高 (η_0/H) は、 $(d/L_0) \geq 0.1$ の範囲で比較の実測値によく合う Stokes の波の近似理論の値に近い事と、合田が求めた曲線よりも小さい事より、碎波英の波頂高をより正確に表わしていると思われる。また我々の (η_0/H) は、第1. 第2近似のクノイド波理論より小さい値を示しているが、これは $(d/L_0) \geq 0.0$ の範囲では、佐伯等の求めたクノイド波の適用限界を越えているから、この領域にクノイド波理論を適用する事が適当でない。よって碎波英における Wave Crest Height は我々が求めた値が適当である事が明らかとなった。この(図-7)と(図-6)と、佐伯等が行った計算結果を参考にして求めた (η_0/H) $(d/L_0) \cdot (H/L_0)$ の関係(図-8)に示す。水深 d 、周期 T 、波高 H が与えられれば(図-8)より η_0 が計算できる事になる。我々の得た結果は前にも述べたように、Bretschneider の推定曲線や Stokes 波理論により求めたよりも小さい値を示している。また $(d/L_0) \geq 0.1$ では Stokes の波の近似理論値に比較的に近い値を示している。

5. Wave Crest Height と 波の変化

波の変形度を表わす Parameter として URSELL の Parameter がある。佐伯等の研究によれば、変形の度合は次式で示される。

$$(HL^2/d^3) \leq 22 \quad \text{規則波(変形なし)}; \quad 40 \leq (HL^2/d^3) \leq 80 \quad \text{Two Solitons (変形あり)}$$

$$100 \leq (HL^2/d^3) \leq 200 \quad \text{Three Solitons (変形あり)}; \quad 300 \leq (HL^2/d^3) \quad \text{Four Solitons (変形あり)}$$

URSELL の Parameter U は次の関係で表わされる。

$$U = (HL^2/d^3) = \left(\frac{H}{L}\right) / \left(\frac{L}{d}\right)^3$$

線形理論を近似的に用いて変形しない領域を示したものが(図-8)の破線以下の部分である。この変形しない範囲(One Soliton)では Stokes の波の近似理論が比較的良好に一致している。また、URSELL の Parameter $(HL^2/d^3) \geq 40$ では、Soliton が2つ以上発生し、波は変形をはじめる。よって、その範囲では、厳密に Parameter Types の波動理論は使えない事になる。また、Soliton が2つ以上発生し始めると場所的に波高、波頂高が変化する事が石田等によって報告されている。よって我々の実験を行なうにあたっては、その事に注意を払った。即ち、一般には、場所的に一番高い波高の場所を選んで、その場所で波高、波頂高の測定を行なった。しかしあとで結果を整理してみると、必ずしも最大の波頂高の所を取っていたとは限らず、よって、(図-8)を作製するにあたって、同一の (H/L_0) の波より、 (η_0/H) と (d/L_0) の関係の図を書き、その包絡線を持って (η_0/H) の値とした。波速にしろ、波頂高にしろ、 $(HL^2/d^3) \geq 22$ では、波が変形を起すので、場所的に波の諸元が変化するのを、計測には十分に注意を払う必要がある。 $(d/L_0) \approx 0.01$ 近傍においては、Cnoidal Wave の計算値に較べて (η_0/H) の値は小さいが、これは、この領域では Three Soliton の領域で波のエネルギー分散により、主峰のエネルギーが小さい Soliton に流れているためか、あるいは場所的に波頂高が変化しているため、その低い領域で測定したためとも考えられる。

参考文献

- (1) Bretschneider C. L. : Selection of design Wave for Offshore Structures, ASCE WW2. Mar. (1958)
- (2) 岸. 石田. 佐伯 ; 有限振幅波の性質について, 土木学会北海道支部技術資料 第21号 (1965)
- (3) 岸. 佐伯 ; クノイド波に関する研究, 第11回海岸工学講演会講演集 (1964)
- (4) 佐伯. 泉. 新井 ; クノイド波理論の二, 三の特性と適用限界について, 土木学会北海道支部研究発表論文集 (1969)
- (5) 佐伯. 泉. 新井. 花堂 ; ストークス波の適用限界について, 土木学会北海道支部研究発表論文集 (1969)
- (6) 佐伯 ; 波動理論の適用範囲(理論限界)について, 土木学会北海道支部論文報告集 (1975)
- (7) Wilson, B. W, L. M. Webb. and J. A. Hendrickson ; The Nature of Tsunami, NESCO. Tech. Rep. No. SN 57-2 (1962)
- (8) 合田 ; 碎波指標の整理について, 土木学会論文集, 第180号 (1970)