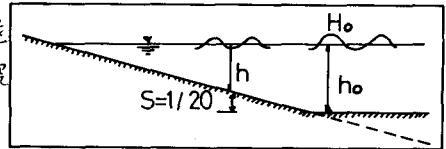


II-8 一様斜面上における周期波の変形に関する研究

日本国土開発 正員 飯田 安利
北大工 正員 ○佐伯 浩

§1. 諸言 一様斜面上における、波の変形に関する研究は、Wiegel, Iversen, Eagleson, 岸 等により実験され、また理論的にも検討されてきた。Wiegel は水底勾配 S が $S=1/10.8$ 、 $S=1/20$, Iversen は $S=1/14 \cdot 1/18.5$, Eagleson は $S=1/15$, 岸は $S=1/17$ で変形の実験を行なっている。以上の研究は主に

Fig-1



微小振幅浅水波理論による変形理論と実験値との比較検討を行なっているのに対して、有限振幅波の変形に関する研究は、ストークス波の第3近似理論について、Mehauté.

Webb が、ストークス波の第5近似理論について、Koh・Mehautéによって研究されている。また岩垣・西井は ストークス波理論とハイポリック波の変形に対して理論的考察を行なっていると同時に、有限振幅波理論により求められた、変形理論の計算値が、Wiegel・Iversen, Eagleson 等により求められた実験値とは一致してない事が示されている。また Wiegel, Iversen, Eagleson 等の実験に用いている水底勾配は各々異なっているが、同じように勾配のデータを比較してみると、その実験者によって実験値が異なっているようである。我々は、 $S=1/20$ と云う比較的急勾配に対して、詳細な実験を行なない、斜面上における波の変形（波速の変化・波高の変化）を調べ、その測定値と微小振幅波理論及び有限振幅波理論より求まる変形理論との比較検討を行なった。

Fig-2

§2. 実験装置と実験方法 実験は幅50 cm, 深さ60 cm, 長さ12 mの両面ガラス張り造波タンクで行なった。水底勾配は、 $S=1/20$ で格子状鋼フレームに厚さ0.8 cmのアラスチック板を張り、できるだけ底部の摩擦を小さくするようにした。波高の測定は抵抗線式波高計による。実験に用いた水深は、 $h_0=30, 25, 20, 15, 10$ cmで、周期 T は 0.5 秒 $< T < 1.7$ 秒の範囲である。なお、実験中の水温は、約 6°C である。

§3. 斜面上の波速 C について 波速の変化に対する実験結果の一部を(Fig-2), (Fig-3)に示す。これは、 $h_0=30$ cmの場合で(Fig-2)は $h=20$ cm, (Fig-3)は $h=10$ cm

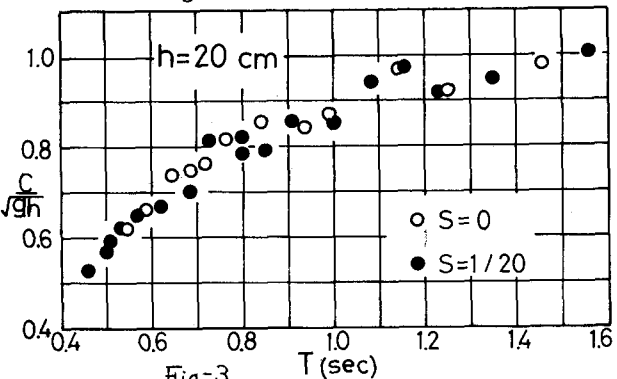
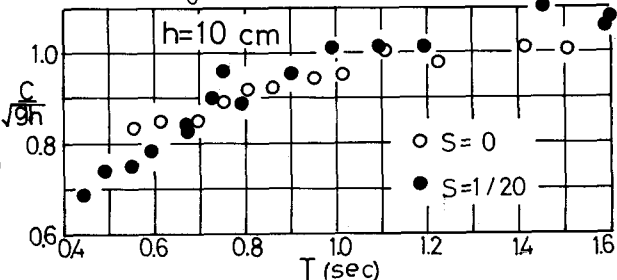
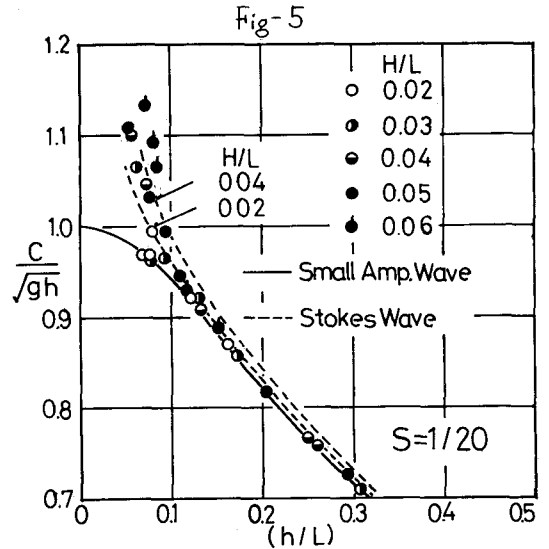
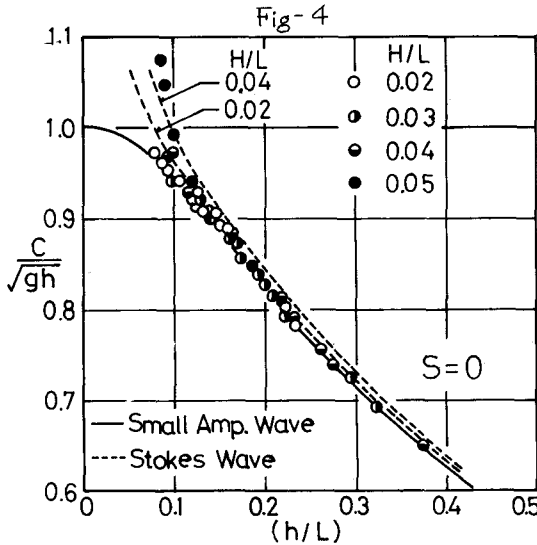


Fig-3





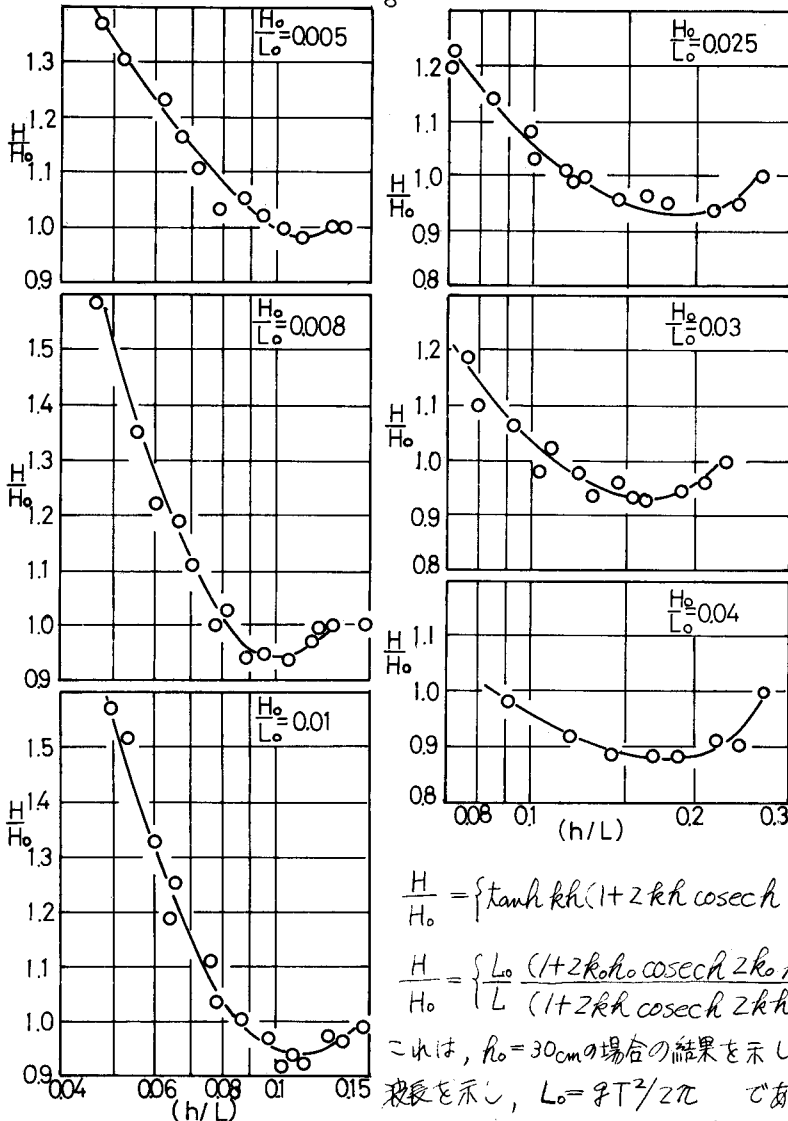
の場合である。 $h=20\text{ cm}$ の場合、この実験範囲では、水底勾配 $S=0$ の場合と $S=1/20$ の場合の波速の差はほとんどないと言える。 $S=1/20$ では若干の反射もあるが、その影響もあまり表われていないようである。また、 $h=10\text{ cm}$ の場合には、 $S=0$ と $S=1/20$ の間には差が見られる。 $T < 1.2$ 秒の範囲では、両者の間には、差がないが、 $T > 1.2$ 秒では、 $S=1/20$ の場合の方が $C/\sqrt{gh}$ が大きくなり、1.0を越える。これは、 h が変化する事により、波高が増大し、波が微小振幅波から有限振幅波の領域に移行している事を示している。また、同じ周期 T の場合には、水深 h が小さくなるにつれて、無次元波速 $C/\sqrt{gh}$ が大きくなることを示している。(Fig-4)、(Fig-5)は、 $C/\sqrt{gh}$ と (h/L) の関係を示したものである。(Fig-4)は $S=0$ の場合であり、(Fig-5)は $S=1/20$ の場合である。実線は微小振幅浅水波理論の波速であり(1)式を示す。また、破線は、Sjkelbreiaにより得られた

$$\frac{C}{\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{1}{kh} \tanh kh} \quad (1)$$

ストークス波の近似的理論の波速を示している。 $S=0$ の場合、 $(H/L)=0.02, 0.03$ の場合には、 $(h/L) \geq 0.07$ の範囲では、ほぼ浅水波理論と一致している。また $(H/L)=0.04$ では、 $(h/L) > 0.10$ 、 $(H/L)=0.05$ では、 $(h/L) > 0.15$ の範囲では、浅水波理論の波速と一致している。一般には (H/L) が大きくなるにつれて、有限振幅波の性質を持ってくるので、当然、波速もストークス波理論に近づくはずである。 $S=1/20$ の場合、 $(H/L) \leq 0.03$ の範囲では、ほぼ $(h/L) > 0.07$ の範囲までは、浅水波理論とよく一致しているが、 (H/L) が大きくなるにつれて、浅水波理論と一致する範囲がせまくなっていく。また (h/L) 小さく、 (H/L) が大きき場合でも、必ずしも、ストークス波の波速に一致していない。(Fig-4)、(Fig-5)から、 $(H/L) \leq 0.03$ では $(h/L) > 0.07$ まで浅水波理論と実験値が一致している。

§4. 斜面上の波高の変化 一般に、波が深い水深の所から、浅い水深の所へ進行する場合、波高は次第に大きくなり、波長は短くなって行く。この波長の水深に対する変化は、 $L=C \cdot T$ の関係より、周期 T が深水域においても、浅水域においても変化しないため、波速の変化より求める事ができる。波高の変化は、一般には、いかなる断面においても、単位時間当りの仕事量が一定である事から

Fig-6

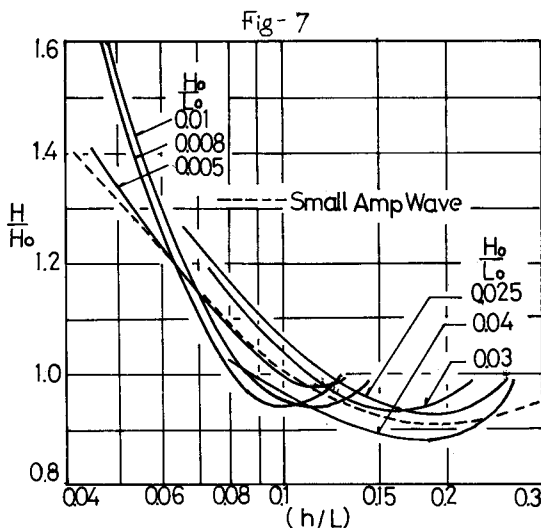


求める事ができ、深水域の波から浅水域に進入する場合の式、浅水域において、微小振幅浅水波から有限振幅波へと変形していく場合の式等が求められている。深水域から浅水波へと変形する場合には、(2)式によって、波高の変化を計算する事ができる。また、浅海域における、小振幅波の変形の式は(3)式により計算できる。この(2)、(3)の両式とも、内部粘性、表面張力、底部境界層における損失を無視して得られた式である。(Fig-6)に波高の変化の (H/H_0) と (h/L) の関係を示す。

$$\frac{H}{H_0} = \left\{ \tanh kh (1 + 2kh \operatorname{cosech} 2kh) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

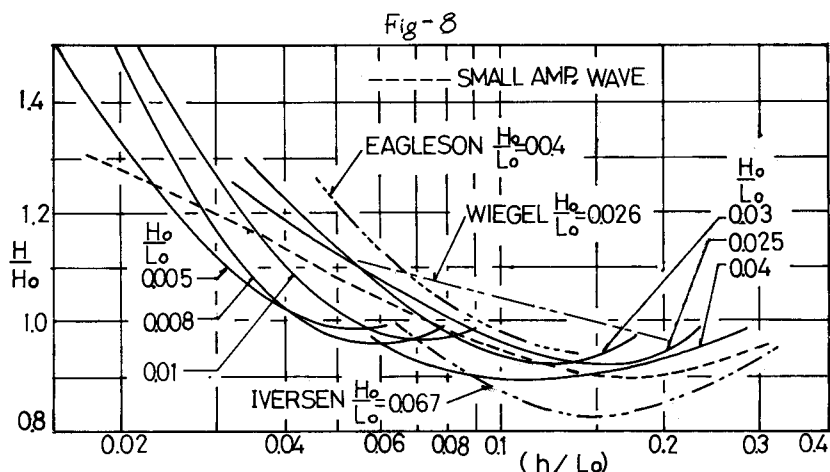
$$\frac{H}{H_0} = \left\{ \frac{L_0}{L} \frac{(1 + 2k_0 h_0 \operatorname{cosech} 2k_0 h_0)}{(1 + 2kh \operatorname{cosech} 2kh)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

これは、 $h_0 = 30\text{cm}$ の場合の結果を示している。図中の L_0 は深水域波長を示し、 $L_0 = gT^2/2\pi$ である。実験値には、少々バラツキがあるが、かなり良い結果が得られた。波高は、沖では $(H/H_0) = 1$ で、それが、波が浅い方へ進行するにつれて、波高は低下し、再び波高は高くなる。本来、(2)式で表わされる、波高の変化は、 $(h/L) \geq 0.5$ で $(H/H_0) = 1$ となる。よって、我々の実験において沖波としたものは、深水域でなく浅水域である事がわかる。よって、(3)式で計算した値は、我々の実験値とよく似た傾向を示し、(2)式より、良い一致を示す。よって、波が深水域から進入すると考えると、始点の $(H/H_0) = 1$ から、 (H/H_0) が減少する部分は無視して考えれば良い。(Fig-6)を、まとめた図が(Fig-7)である。図中の破線は、(2)式で計算した、微小振幅波の波高の変化を示している。無次元波高 (H/H_0) が $\pm 5\%$ の誤差を許容するとするなら、 $0.01 < H_0/L_0 < 0.04$ の範囲では $(h/L) > 0.08$ の範囲で(2)式と一致する事になる。 (h/L) が小さくなると、 (H/H_0) が急に大きくなるが、これは碎波点近傍であることを示す。(Fig-8)には、 (H/H_0) と (h/L_0) との関係を示したものであり、この図の方が、



(Fig-7) よりも、実際の使用に便利である。 L_0 は、 $L_0 = gT^2/2\pi$ である。また、この図には、Wiegel ($S=1/20$), Iverson ($S=1/18.5$) Eagleson ($S=1/15$) の実験値より求めた、曲線も記入してある。Wiegel の実験値は、我々の値よりも、かなり大きな波高を示しているが、小振幅波の変形理論等から判断して、我々の実験曲線の方がより適当であると思われる。また、Eagleson の曲線は $S=1/15$ で、我々の対応 $1/20$ と異なっているが、我々の実験値より大きな値を示している。

我々の求めた波高変化の実験曲線と Méhauté 等が



求めた、ストークス波の波高変化の理論曲線と比較したが、良い一致はみられなかった。また、岩垣の求めた、ハイパボリック波の変形曲線と比較したが、それ程良い結果は得られなかった、が変形の傾向は、よく一致して

いるようである。また筆者の一人、佐伯の $S=1/100$ の場合の波高変化の実験においては、波高は、ほとんど変化せず、かえって、小さくなるような結果を得ている事から、底部摩擦の効果も S が小さい場合には無視できない。波高変化は、有限振幅波理論で求めた変形理論の方に、小振幅波理論から求めた変形理論より、近い傾向を示しているが、実用的には、後者でも充分である。しかし、今後はより精度の高い大規模の実験が望まれる。

参考文献 Méhauté・Webb; Periodic Gravity Waves over a Gentle Slope at a Third Order Approx., Coastal Eng. 1964 Koh・Méhauté; Wave Shoaling, J.G.R Vol. 71 NO.8 1966 Wiegel; Experimental Study of Surface Waves in Shoaling Water, Trans. A.G.U. Vol. 31 1950 Eagleson; Properties of Shoaling Waves by Theory and Experiments, Trans. A.G.U. Vol. 37 1950 Iverson; Waves and Breakers in Shoaling Water, Coastal Eng. 1952 岸; 海岸堤防に関する研究(7), 土研報告 Vol. 95 昭和31年 岩垣・酒井; 有限振幅波の Shoaling について, 海岸工学講演会 1967