

II-16

規則波による流速分布の適用限界について (3)

北見工業大学

正会員 鯉目 淑範

北見工業大学

正会員 佐藤 幸雄

1. はじめに 現在、波の流速を算出する場合には波形の適用限界をそのまま適用しているが、波による流速の水平方向成分の適用限界が波形の場合と差異が生じている可能性がある。

本実験においては、波の水平方向最大流速を測定し、その水深方向の分布形状の定量化を行うとともに等に微小振幅波・有限振幅波理論の波形適用限界と比較・検討してみた。

2. 波形の適用限界と実験波の特性 波形および波高による各種波動理論の適用限界は、大概の場合では $0.1 < h/L < 0.5$ では微小振幅波が適用できるとされているが、その他種々提案されている。

第3次近似ストークス波の2次波発生限界は $HL^2/h^3 \leq 48$ ----- (1)

第2次近似ストークス波の2次波発生限界は $HL^2/h^3 \leq 8\pi^2/3$ (ただし $H/L < 0.0796$) ----- (2)

微小振幅波の適用限界は $HL^2/h^3 \leq 8\pi^2/30$ (ただし $H/L < 0.00796$) ----- (3)

Iversen による緩斜面上での波高変化を伴う微小振幅波の適用限界は $h/L \geq 0.50(H/L)1/2.38$ ----- (4)

Wilsonらの分類は $\eta_0 L^2/h^3 < 1$ なら Airyやストークス波 ----- (5)

$1 < \eta_0 L^2/h^3 < 10$ なら クノイド波 ----- (6)

$10 < \eta_0 L^2/h^3 < 40$ なら 孤立波 ----- (7)

$40 < \eta_0 L^2/h^3$ なら 伝達に伴い変形する波 ----- (8)

上記の (1)~(7) までの適用限界を、 $\eta_0 = H/2$ としてその最大側を示したのが図-1における(1)~(7)の曲線である。本実験における波は、図-1に示したように、大概では微小振幅波が適用可能な領域にある。そこで、波長と波高の関係について、微小振幅波の波長の式 (9) から算出される波長(L_a)と、実験波の波長(L_e)を実験波高 H を用いて H/L の形で比較すると、 H/L の小さな時に L_e が大きくなっているが、ほぼ微小振幅波理論に合っている。(図-2)

$L = gT^2/2\pi \cdot (\tanh(2\pi h/L))$ ----- (9)

図-1 波形の適用限界と流速分布形状の分類

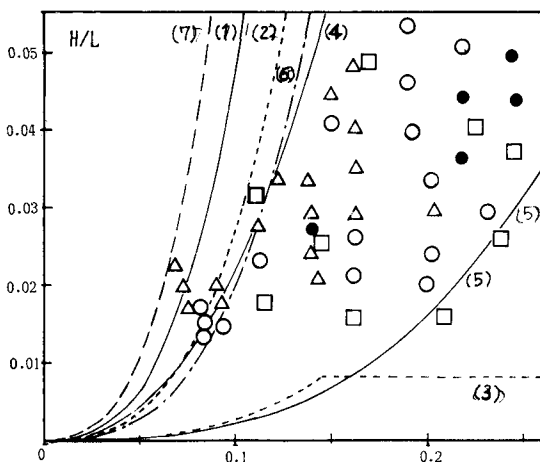
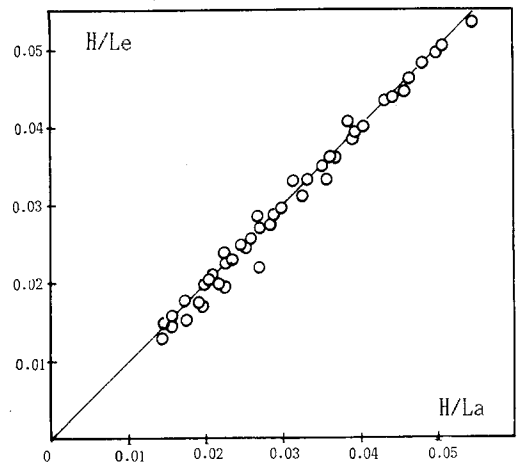


図-2 実験波の波長特性



The applicability of wave theory for velocity distribution of water waves (3)

by Yoshinori YONOME and Yukio SATOH

3. 測定結果と考察

測定には、電磁流速計と、浮子（径4mmのプラスチック球、比重=1）のVTR撮影を用いた。VTRの読み取りは1/30秒毎でおこなった。

(1) 浮子の軌道長径

水中における浮子の軌跡は図-3のようになる。○はVTRからの読み取り値、実線、破線は微小振幅波、有限振幅波の理論値である。

水面付近と底面付近のRを、 H/L の形で表わすと図-4のようになる。水面付近のRは、 H/L が小さいときには微小振幅波理論より小さい値となり、 H/L が大きくなるときは微小振幅波理論より大きな値となっている。底面付近のRは全体的に微小振幅波理論より小さな値となっている。

また、 H/L で分類すると、図-5.1、5.2 となり、水面付近では有限振幅波理論に近いRとなっている。

図-3 浮子の軌道

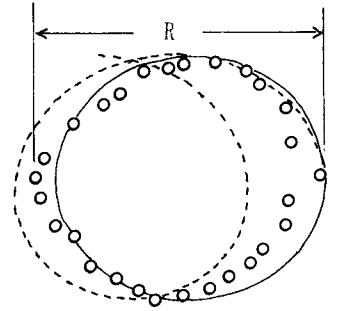
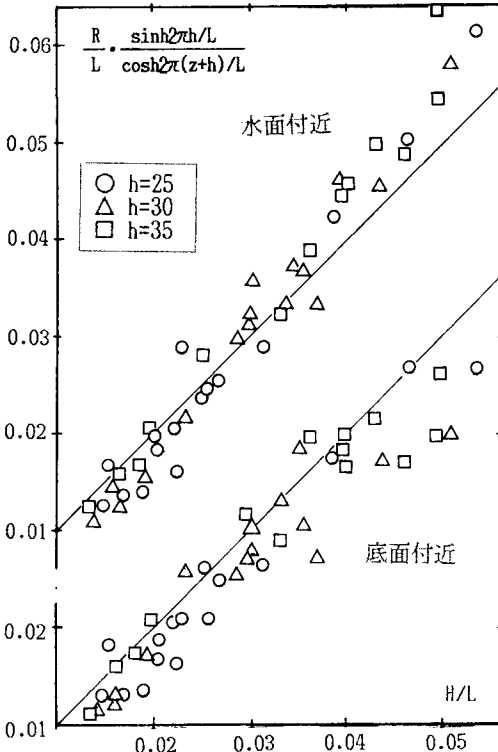


図-4 浮子の軌道長径



(2) 流速分布

測定した流速の水平方向速度成分の最大値 U を $U/\sqrt{gL}$ で無次元化して水深方向の流速分布として図示すると図-6となる。図中の○は電磁流速計による測定値、●はVTR読み取りによる値、実線は微小振幅波理論値、点線はストークス波の理論値である。また破線は測定値を、 $U/\sqrt{gL}=A((h+z)/L)^2+B$ で近似させた場合の値である。ここで質量輸送速度を考慮すると図-7のようになる。

ここで分布形状の比較のために、Zにおける流速値の底面流速と比較した場合の増分量 f を考える。微小振幅波の場合、Zにおける最大流速は $U/\sqrt{gL}=A'(\cosh 2\pi(z+h)/L)$ であり、底面では $\cosh 2\pi(z+h)/L=1$ となる。従って測点Zにおける底面流速と比較した流速の増分は $f'=A'(\cosh 2\pi(z+h)/L-1)$ と表わされる。一方、近似曲線の場合は底面では $U/\sqrt{gL}=B$ となるので、 $f=A((h+z)/L)^2$ となる。この増分量 f と f' の差

図-5.1 浮子の軌道長径（水面付近）

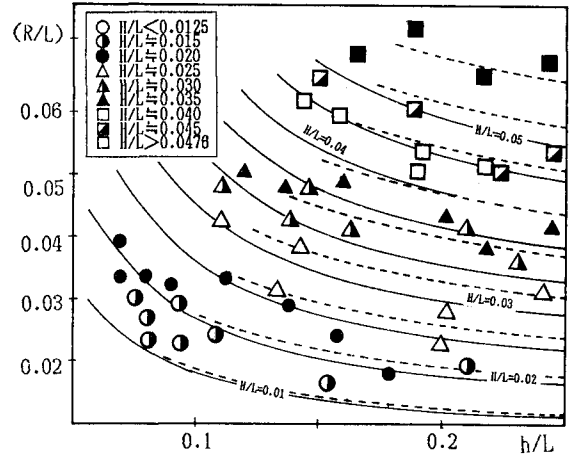
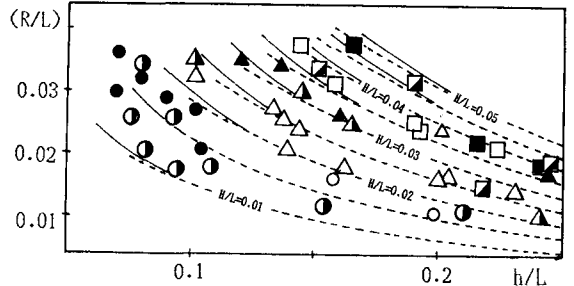


図-5.2 浮子の軌道長径（底面付近）



$e = f - f'$ は測定値の微小振幅波からの離散度を示す指標となる。ここでは、微小振幅波の底面流速 A' を用いて、 $e = (f - f') / A' \times 100$ とし、なおかつ $(h+z)=0 \sim (h+z)=1$ の範囲での平均値を使用して分布形状を次のように仮定し、分類化を試みた。

- (7) $e < -3$ 長波的な流速分布となる (●)
- (イ) $-3 < e < 3$ 微小振幅波理論に近い流速分布となる (○)
- (ウ) $3 < e < 10$ ストークス波に近い流速分布となる (△)
- (エ) $10 < e$ 極浅水波的な流速分布となる (□)

ただし、 $3 < e < 10$ ではあるがストークス波と比較した場合 e が大きな値となる波については (□) の分類にいれることにした。

この様に分類し () 内の記号で表わすと図-1 になる。図-1 において (イ) の領域は (ウ) の領域の下になっており、各種理論の波形適用限界と同様の形態を示している。しかし、境界は (4) 式と (5) 式の間にある。また、波形から考えた場合 (ウ) の領域の上に現れるべき (エ) の値を示す波が、(イ) の領域を囲う形となって現れていること、(7) の分布形状を示す値 ($10 < e$) を持つ波が H/L が大きな領域に現れることなど、波形から考えられる適用限界と差異が見られる。

図-6 流速分布の状況

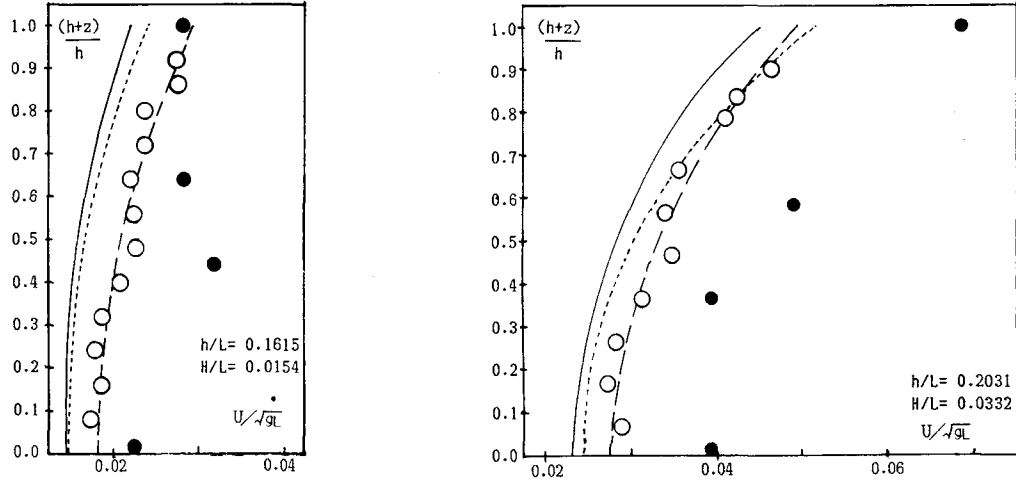
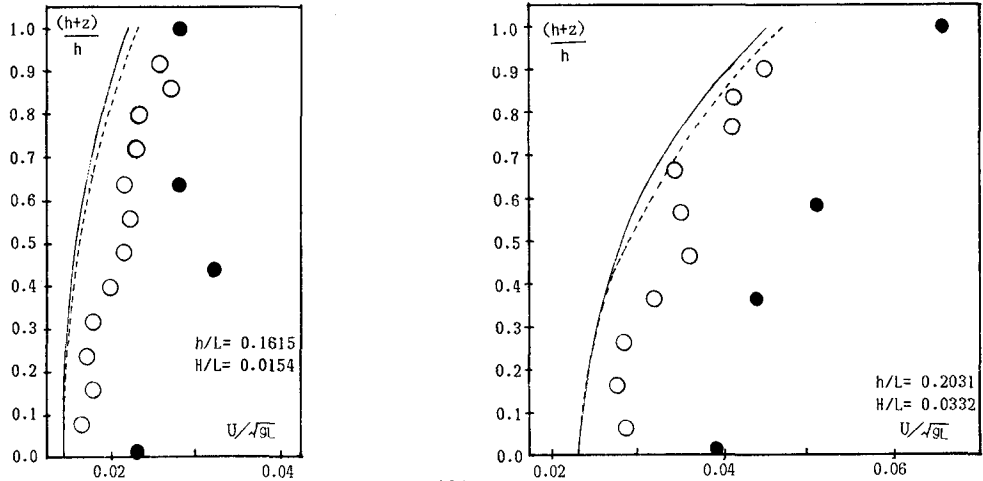


図-7 流速分布の状況 (質量輸送速度を考慮した場合)



(3) 底面流速

上記の様に底面流速からの増分量を用いて分布形状の比較を行うに当たっては、底面においては各種理論値に水面付近ほどの大きな差異が無いことが一つの前提になっている。そこで、本実験における波の底面流速に関して調べてみることにする。図-8は電磁流速計による測定値だが、 $h/L=0.10$ 、 $h/L=0.15$ の波では微小振幅波理論に近い値を示しているが、 h/L が大きくなると微小振幅波理論より小さな値となっている。また、微小振幅波理論においては、軌道長径 R と水粒子の水平方向速度成分の最大値 U は $U=R \cdot \pi/T$ の関係で示される。底面においては、(9)式を用いることにより、 $U/\sqrt{gL}=R/L \cdot \sqrt{\pi/2} \cdot \sqrt{\tanh 2\pi h/L}$ となる。そこで電磁流速計による測定値と同じように図示すると図-9となる。 h/L が大きくなるとかなりバラツキを見せるが、全体的に電磁流速計による測定値より小さな値となっている。これは図-4、図-6に示されているように、底面では R が微小振幅波よりも小さくなっていることから明かである。

(4) 平均流速

微小振幅波においては+側の平均流速 $\bar{u}$ と最大流速 U は $\bar{u}=2U/\pi$ となるが、実際の測定値の場合を図示したのが図-9である。電磁流速計による測定値は微小振幅波に近い値を取っているが、浮子の場合有限振幅波的な値を示している。

4. おわりに

本論においては、底面流速と比較した増分量 e を用いて流速分布形状の分類を行ったが、定量的に分類が行える点で有意義な方法といえる。この分類法を用いた場合、微小振幅波およびストークス波の流速分布式の適用限界は、図-1の(4)式と(5)式に挟まれた領域にあることが推察された。今後は質量輸送速度も考慮して微小振幅波理論との比較とともにストークス波との比較を行う必要があると考えられる。また、本論での理論値計算には水理公式集(昭和60年版、82p~86p)の諸式を用いた。

図-8.1 底面流速 (電磁流速計による値)

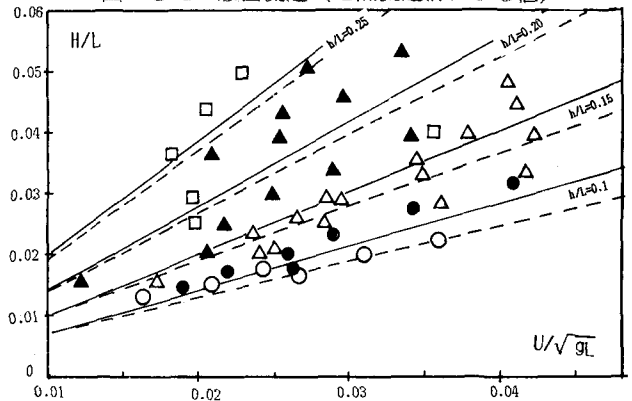


図-8.2 底面流速 (軌道長径による値)

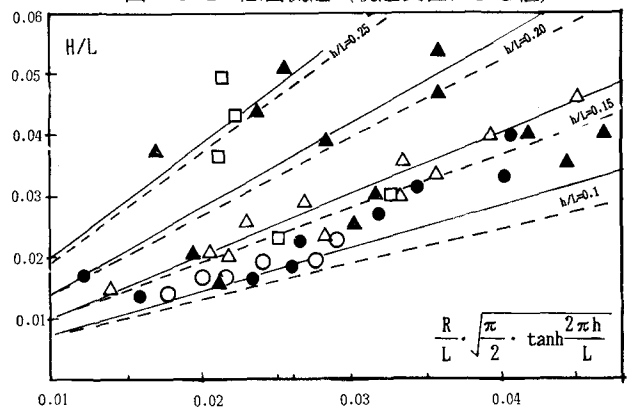


図-9 平均流速と最大流速 (底面付近)

