

京都大学工学部
京都大学大学院

正員 岩垣 雄一
学生員 ○ 酒井 哲郎

1. まえがき

有限振幅波理論に関しては、従来、波形、波速、波長および静水面からの波の挙高などが実験的に検討されているが、波によつて生じる水粒子速度については、その測定の問題から、ほとんど検討がなされてない。波による水粒子の挙動を明らかにすることは、碎波現象の機構を解明する上に重要な要因であるばかりでなく、海中構造物に作用する波力の推定や波による底質の浮遊、拡散などの機構を把握する上にも重要なことからである。

波による水粒子速度の測定方法として、最近、きわめて短かい時間間隔ごとく、水素気泡を電気分解によつて水中に発生させ、その運動をトレースして水粒子速度を測定する方法が提案された¹⁾。著者らは、この方法を用いて、波浪実験水槽で起こした波による水平方向の水粒子速度を測定し、微小振幅波理論および有限振幅波理論としての Stokes 波の3次近似解ならびにクノイド波の近似表現である hyperbolic 波の2近似の理論解と比較検討して、その結果の一部をすでに今年度関西支部年次学術講演会において発表した⁽¹⁾が、ここではその後に行つた実験結果について述べる。

2. 実験装置および方法

(1) 実験装置 実験は、京都大学工学部土木工学教室の波浪実験水槽を用い、その一端に設置された油圧式ピストン型波起こ機によつて波を起こした。図-1 に示すように、水素気泡

図-1 [実験装置]

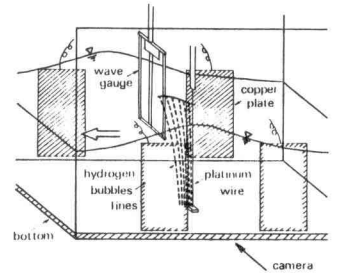


写真-1

[水素
気泡列]

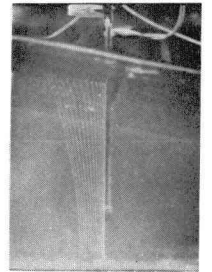


図-2

[水平方向水粒子速度の鉛直分布]

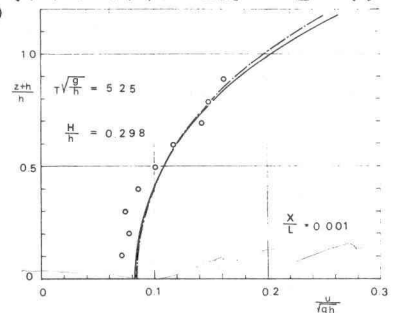


表-1

[実験
条件]

Run No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h (cm)	30.5	20.9	16.0	13.0	16.0	13.0	29.8	21.0	21.0	21.0	16.0	16.0	13.0
T (sec)	0.93	0.96	0.94	0.95	1.10	1.10	1.74	1.74	1.76	1.89	1.73	1.74	1.93
H (cm)	9.08	7.22	5.22	3.98	4.91	4.13	7.12	6.47	6.44	6.24	5.18	5.65	3.66
c (cm/sec)	138	124	114	102	114	104	167	132	133	132	118	118	115
L (cm)	128	119	108	97	126	115	291	230	235	249	205	205	221
TVg/h	5.25	6.57	7.36	8.25	8.61	9.55	9.98	11.9	12.0	12.9	13.6	13.6	16.8
H/h	0.298	0.345	0.326	0.306	0.307	0.318	0.239	0.308	0.306	0.297	0.324	0.353	0.282
h/L	0.238	0.176	0.148	0.134	0.127	0.113	0.102	0.091	0.089	0.084	0.078	0.078	0.059
H/L	0.071	0.061	0.048	0.041	0.039	0.036	0.025	0.030	0.027	0.025	0.025	0.028	0.017
Δt (msec)	40	20	20	20	20	20	50	30	20	20	20	40	20
p (msec)	20	10	10	10	10	10	20	15	5	10	5	20	7

と発生させる水中電極の陰極としては、直径 0.05 mm の白金線の一端を水路底面に取り付けて鉛直に露り、他端を波の峯の高さより数 cm の高さのところでポイントゲージに取り付けた。白金線の長さは、実験を行な、た水深によつて、約 40 cm と 30 cm のもの 2 種類を用いた。陽極としては、水路側壁のガラス面の内側に、15 cm × 37 cm の銅板を 4 枚、陰極の前後左右に貼りつけた。一方、電気抵抗線式波高計 1 台を、陰極と水路横方向にならべて設置し、他の 1 台を約 2 m はなれて設置した。水中電極にパルス電圧を加える装置は、出力電圧 400 v で、

図 - 2

発生するパルスの周期は 4 msec ~ 700 msec, パルス幅は 0.4 msec [水平方向水粒子速度の鉛直分布]

~ 70 msec である。陰極に発生した波による流れによつて運動する (2)

水素気泡の位置は、1 眼シフカメラによつて水路側方よりガラス面を通して撮影した。

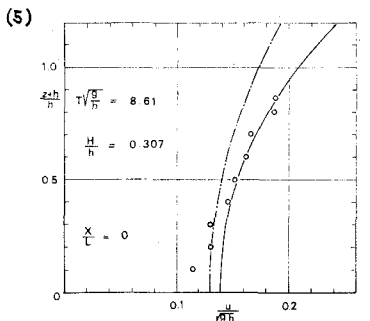
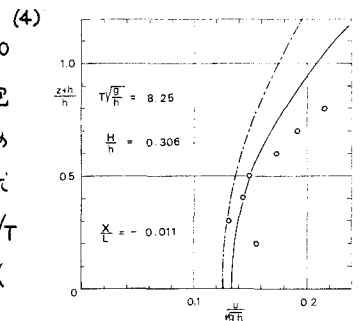
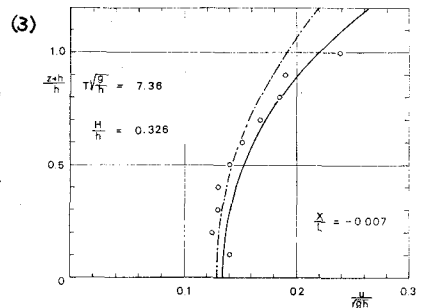
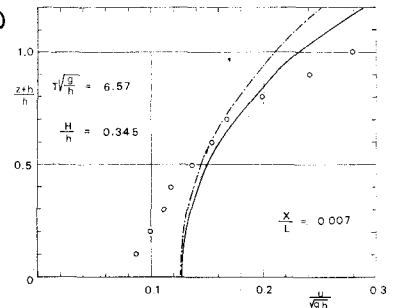
(2) 実験方法 波起こし機によつて生じた波のうち、十分波形が安定した後の波で、かつ水槽他端からの反射波の影響が入らない波について、その峯が陰極設置位置を通過する直前に、適当なパルス周期 Δt のパルス電圧を電極に加えてあげる。陰極に発生した水素気泡列が、波による波の進行方向への流れによつて運ばれ、いくつかの水素気泡列が有った状態をカメラで撮影する。一方、2 台の波高計によつて、陰極位置およびそれより約 2 m はなれた位置での時間的な波形を電磁オシログラフに記録する。電極にパルス電圧が加わると、波高計はそれを感じて、波形記録に乱れが入るので、陰極位置の波における、 Δt パルスが加わった時刻 t_0 がわかる (波の峯の通過時を $x=0$ とすると $t_0 < 0$)。

$t_0 + (m-1)\Delta t$ と $t_0 + m\Delta t$ の算術平均 $t_0 + (m-\frac{1}{2})\Delta t$ が、もっとも 0 に近づくように、film 上に写した m 番目および $(m+1)$ 番目の気泡列を連ね (写真-1 参照)。つぎに、film 上で、水槽底面から求める高さにおける、 m 番目および $(m+1)$ 番目の水素気泡列の間隔を求め、それを Δx でわれば、波の位相 $X/L = (x - ct)/L = -(t_0 + (m-\frac{1}{2})\Delta t)/T$ でのその高さにおける水平方向水粒子速度 u が近似的に得られる (ここで、 x : 陰極位置を原点とし波の進行方向を正とする座標、 c : 波速、 L : 波長、 T : 波の周期)。この操作を、水槽底面から種々の高さで行なえば、 u の鉛直分布が得られる。

実験に用いた波の条件、およびパルス電圧のパルス周期 Δt とパルス幅 ρ は表-1 に示すとおりである。カメラの絞りおよびシャッター速度は、つねに 1.4 および $1/125$ sec である。

3. 実験結果および考察

(1) 実験結果 表に示した順に、縦軸に $u/\sqrt{gh}$ (g : 重力加速度



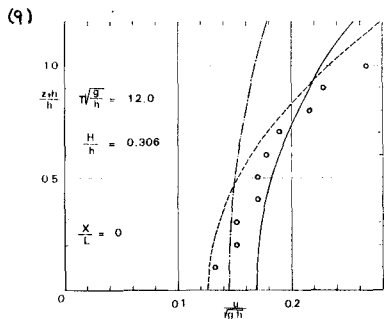
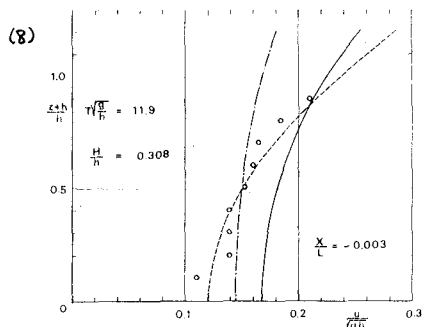
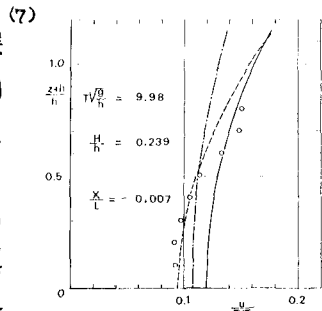
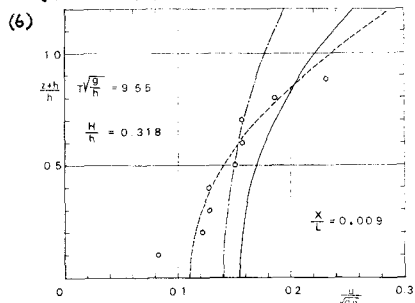
度, h : 静水深) を, 横軸に $(z+h)/h$ (z : 静水面を原点とし鉛直上を正とする座標) にとり, 実験結果を示したのが, 図-2 (1)~(13) である。図中には, 同じ条件での微小振幅波理論, Skjelbreia の Stokes 波の 3 次近似解, および Laitone の ノイド 波の近似としての hyperbolic 波の 3 次近似²⁾ による $u/\sqrt{gh}$ の鉛直分布と, それぞれ, 一点鎖線, 実線, および破線で示している。

(2) 考察 この方法により測定された水平方向水粒子速度における誤差の原因としては, 多くの要因が考えられる。まず, 2 の (2) で述べたように, 陰極から発生した後いくらか時間を経過したのちの隣り合う 2 つの水素気泡列の間隔から, 波の位相 $-\{x_0 + (m - \frac{1}{2}) \cdot \Delta t\} / T$ での水粒子速度を平均的に求めることによる誤差, および水粒子速度が鉛直方向成分を有していることを無視することによる誤差が考えられるが, 簡単な考察によつて, この場合の実験のように, 水粒子速度を求める波の位相が 0 (つまり波の峯の通過時) にきわめて近い場合は, 他の誤差にくらべて無視できることがわかる。水素気泡の上昇速度を無視することによる誤差も, 陰極として径 0.05 mm の白金線を用いており, 水素気泡の大きさも同程度とすれば小さいと考えられる。結局, この場合の支配的な誤差の原因は, film 上での読みとり誤差と, パルス周期 Δt の誤差であり, こゝらは約 3% の程度と考えられる。

図-2 に見られるように, $u/\sqrt{gh}$ の鉛直分布の実験値には, かなりのばらつきがあり, この原因の 1 つとして上述した誤差によるものが考えられる。特に水槽底面付近では, $(z+h)/h = 0.1$ あるいは 0.2 付近での実験値が, 全体的な実験値の分布の傾向から大きくばらついていて多い。これは, 写真にもみられるように, 白金線を水槽底面にとりつけるため, 底面に貼りつけた高さ約 5 mm の合成樹脂の切片と, それにねじ込んだ白金線を通したゆじ (高さ約 4 mm) によつて, その付近の流が乱されていたためと思われる。

図-2 (1)~(5) の実験結果では, $TV\sqrt{gh} < 9.0$ で, 理論曲線として, 微小振幅波理論と Stokes 波の 3 次近似解によるものが比較のために示されている。図-3 (1) には, 図-2 (2) の場合の時間的な実験波形を実線で示してあり, 比較のために, 微小振幅波理論および Stokes 波の 3 次近似解による波形を, それぞれ細い一点鎖線および実線で示している。実験ケース (1)~(5) のうち (2) 以外のものも, 図-3 (1) の場合とほぼ同様で, 実験波形は Stokes 波の理論波形と大体一致する。図-2 (2) では, 実験値の分布の傾向が両曲線のそれよりも急であり, (4) でもそ

図-2
[水平方向水粒子速度の鉛直分布]



の傾向がみられる。図-2 (1), (3) および (5) においても、実験値の分布の傾向は Stokes 波の理論曲線のそれに一致しているが、実験値のばらつきが両曲線の間の差異と同じ程度であるため、十分な検討ができない。

図-2 (6) ~ (13) では、実験結果と理論との比較として、微小振幅波理論、および Stokes 波の 3 次近似解の他に、hyperbolic 波の 2 次近似による理論曲線も示してある。図-3 (2) には、図-2 (3) の場合の時間的実験波形を、3 種の理論波形とともに示してある。実験ケース (6) ~ (13) のうち (13) 以外のものは、図-3 (2) の場合とほぼ同様に、実験波形は波の谷の部分とのずれが、Stokes 波の 3 次近似解および hyperbolic 波の 2 次近似による理論波形にはほぼ一致している。図-2 (6) ~ (13) の場合には、hyperbolic 波がフノイド波の近似として成立する 1 種完全な内積分 $K \geq 3$ の範囲から逸脱している場合を含めて、定量的にはとまかくとして実験値の分布の傾向は hyperbolic 波の理論曲線の傾向に一致している。ただし、(7) および (12) の場合は、 $(\pi+h)/h$ の大きい部分で、hyperbolic 波の曲線からかなりはずれているがその原因はわかっていない。

参考文献

- 1) 堀川清司・渡辺晃・清岡英世：波による水粒子速度の測定方法について、第 22 回年次学術講演会講演概要、昭 42、II-91。
- 2) 若垣雄一・酒井哲郎：有限振幅波の shoaling について、第 14 回海岸工学講演会講演集、昭 42.10、pp. 1~7。

図-3 [実験波形]

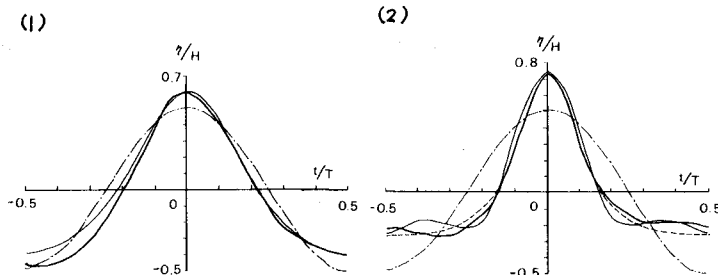
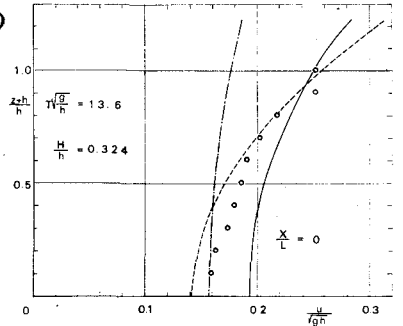
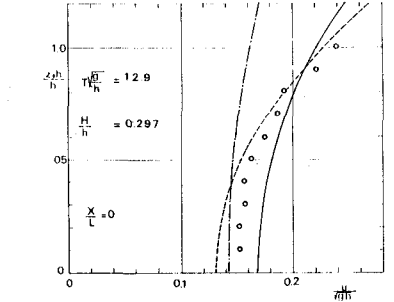
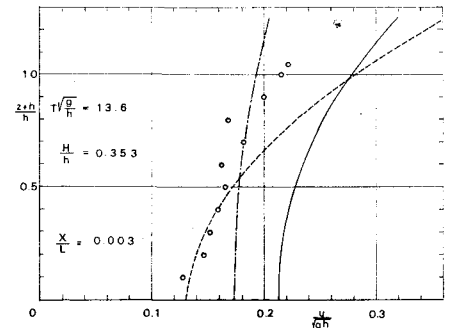


図-2

[水平方向水粒子速度の鉛直分布]



(12)



(13)

