

防衛大学校 正会員 ○ 林 建二郎
 “ “ 竹 内 俊 雄

1. はじめに

近年レーザードップラー流速計の開発は進み、実用面においてはまだ各種の問題が残されているが、一般的な流速計としての使用が可能になりつつある。他の流速計と比較してレーザードップラー流速計は、1)無接触測定のため流れの場を乱さない、2)校正の必要がほとんどない(主として幾何光学)、3)方向性に優れている等の特性を持っている。本報告はこのレーザードップラー流速計を用いて、水粒子速度が楕円運動の軌跡等を描くために流速測定が困難とされ、従来各種の測定方法が試みられている波の水粒子速度測定を行なったものである。

2. 実験装置および方法

実験は、長さ39.6m、幅0.6m、高さ0.8m、水槽の一端に18/100の勾配消波斜面を持つ両面ガラス張り二次元造波水槽を用いて行なった。付設の造波機はBallistic-Pendulum型である。

流速の測定は、市販のレーザードップラー流速計を用いて行なった。使用した測定モードは、出力15mW He-Neガスレーザーからの光線(波長6328Å)を等しい光の強さに二分割し、この二分割された光線の交点において流速を測定するフリンジモードである。この流速計には、ミキサーユニット、および光学ユニットからなる周波数シフトシステムが備えられているので、順方向、逆方向の水粒子速度の測定が同時に可能である。実験波の測定は容量式波高計を用いて行なった。波高計および流速計は造波機端から24mの位置に設置した。図-1にこれら実験装置および計測システムの概略を示す。流速計および波高計からの出力は同時にラビコーダーに記録し、図形デジタル変換装置を用いてデジタル化した。デジタルサンプリングタイムは $\Delta t = 1/100 \cdot T$ (T :実験波周期)である。

実験には、水深 $h = 0.4$ mに保ち、波高 $H = 0.04 \sim 0.12$ m、周期 $T = 0.97 \sim 1.6$ 秒の諸元を有する波を使用した。流速の測定点は静水面下 $z = -9$ cm、 $z = -20$ cmの二点とし、主として水平水粒子速度 u のみの測定を行なった。なお、造波水槽に使用した水は通常の水道水である。

3. 実験結果

図-2はレーザードップラー流速計および波高計からの出力記録例を示したものである。a)は、 $T = 1.20$ 秒、 $H = 0.103$ mの波における $z = -20$ cm、b)は、 $T = 1.61$ 秒、 $H = 0.095$ mの波における $z = 2$ cmの位置でそれぞれ水平水粒子速度 u を測定した場合の記録例である。出力信号の質については、散乱粒子等の問題と合わせて今後の課題であるが、一応は、波の水粒子速度の測定は行なわれているものと思われる。a)において反転流の測定がうまく行なわれている事が認められる。b)において流速の測定点よりも水位が低下した時には流速の測定が行なわれず、流速の測定点よりも水位が上昇した時のみ流速の測定が行なわれている事が認められる。

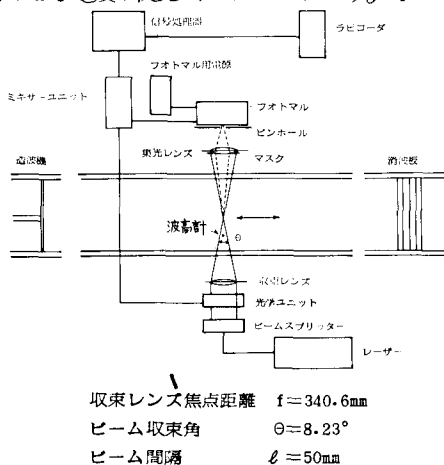


図-1 実験装置の概略

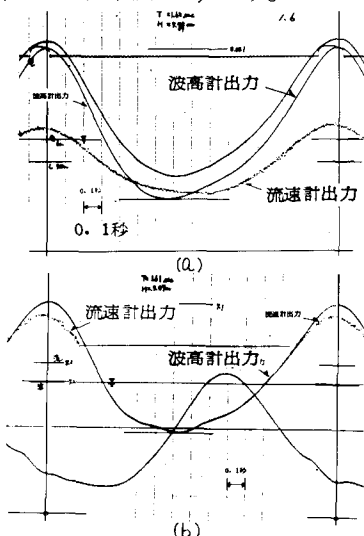


図-3の(a)は、 $T=1.62$ 秒、 $H=0.112$ mの波の水位 η 、および $z=-20$ cmの点での実測水平、鉛直水粒子速度 u 、 v の位相(t/T)変化を示したものである。図中には、水位および水粒子速度のストークス波第3近似解による計算値を実線で、DeanのStream-function法による計算値を(ストークス波の第5近似解に相当する流れ関数の項を使用)点線で示している。図-3の(b)は、 $T=1.62$ 秒、 $H=0.092$ mの波の水位および水平水粒子速度の実測値と、計算値の比較を同様に行なったものである。

次に、今回使用した波の静水面下 $z=-9$ cm、 $z=-20$ cmにおける実測水平水粒子速度 u と、上記の計算値 u_c との周期内での一致度を調べるために、次式(2)、(3)で示される計算値を表-1に示す。

$$|U| = |u_1| + |u_2| \quad (1)$$

$$\frac{(u - u_c)}{|U|} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(u(i\Delta t) - u_c(i\Delta t))}{|U|} \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{(u - u_c)^2}{|U|^2}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(u(i\Delta t) - u_c(i\Delta t))^2}{|U|^2}} \quad (3)$$

u_1 : 波の進行方向最大水平水粒子速度 $T = N \cdot \Delta t$

u_2 : 波の反進行方向最大水平水粒子速度 $N = 100$

表-1中の、(a-1)、(a-2)は u_c にストークス波の第3近似解を用いた場合の式(2)、(3)の値である。(b-1)、(b-2)はStream-function法を用いた場合の式(2)、(3)の値である。

表-1に示されている(a-1)、(b-1)より、実測水平水粒子速度 u は計算値 u_c に比べて波の反進行方向に大きな値を取ることが認められる。また、実測値 u と、計算値 u_c との周期内での一致度は、式(3)の表示によると、(a-2)、(b-2)より大体10%以内であることが認められる。これらの点については、今後、造波水槽の特性(反射波の影響等)、および波高計の測定精度(位相遅れ)を考慮しながら検討を加える必要がある。

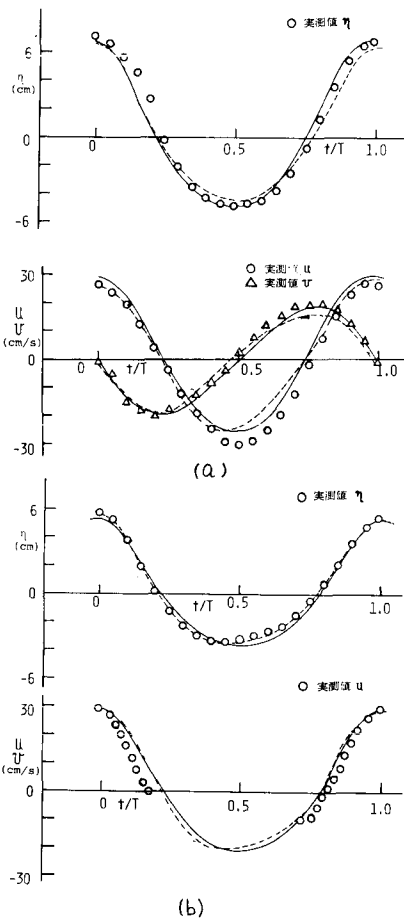


図-3 実測値と計算値の比較

4. おわりに

測定例は少ないが以上より波の水粒子速度測定にレーザ流速計の使用が可能であると思われる。今後は、このレーザ流速計がもつ問題点について検討すると共に、流速計移動装置を工夫して各種波動場の水粒子速度の測定を行ないたい。

最後に、計測および解析にあたり多くの御助言を頂いた山口大学の斉藤先生、東京工業大学の沢本先生、防衛大学の柳先生に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩垣, 酒井「有限振幅波の水粒子速度に関する実験」第16回海議
- 2) 土屋, 山口「超音波流速計による波の水粒子速度に関する実験的研究」第18回海議
- 3) John R. Chaplin, 「Surface Particle Orbit in Uniform Waves」ASCE, Vol. 103, No. 2 May 1977

表-1 波浪諸元および計算結果

水深 $h=0.40$ m										
NO	T (m)	H (m)	L (m)	U (m/sec)	(a-1)	(a-2)	(b-1)	(b-2)	Z (m)	
1	1.60	0.037	2.90	0.145	0.02	0.09	0.02	0.08	-0.10	
2	1.25	0.042	2.10	0.207	-0.02	0.05	0.00	0.06		
3	0.97	0.056	1.49	0.261	-0.02	0.06	-0.00	0.08		
4	0.85	0.062	1.20	0.273	-0.02	0.07	0.01	0.06		
5	1.61	0.054	2.92	0.222	-0.03	0.08	-0.03	0.09		
6	1.20	0.067	1.99	0.322	0.01	0.04	0.01	0.03		
7	0.97	0.084	1.46	0.337	-0.02	0.13	-0.00	0.11		
8	1.61	0.073	2.70	0.280	-0.03	0.10	-0.03	0.09		
9	1.19	0.084	2.02	0.408	-0.01	0.05	-0.00	0.05		
10	0.97	0.106	1.52	0.439	-0.06	0.16	-0.05	0.12		
11	1.62	0.097	2.91	0.363	-0.04	0.11	-0.05	0.11		
12	1.16	0.120	2.47	0.570	-0.06	0.07	-0.04	0.08		
13	1.24	0.041	2.06	0.160	-0.00	0.05	-0.02	0.09	-0.20	
14	0.94	0.056	1.41	0.164	-0.12	0.15	-0.09	0.10		
15	1.59	0.049	2.85	0.190	-0.02	0.05	-0.02	0.06		
16	1.26	0.061	2.10	0.206	-0.05	0.08	-0.03	0.08		
17	1.01	0.081	1.53	0.246	-0.04	0.07	-0.04	0.09		
18	1.61	0.060	3.01	0.228	-0.01	0.05	-0.02	0.09		
19	1.22	0.075	2.05	0.283	-0.03	0.06	-0.03	0.05		
20	0.98	0.096	1.52	0.294	-0.06	0.08	-0.05	0.08		
21	1.62	0.082	2.94	0.356	-0.09	0.10	-0.09	0.12		
22	1.22	0.119	2.18	0.428	-0.07	0.09	-0.08	0.09		
23	1.62	0.091	2.90	0.377	-0.07	0.07	-0.07	0.08	-0.20	
24	1.62	0.088	2.89	0.412	-0.03	0.06	-0.03	0.05		
25	1.62	0.086	2.89	0.431	-0.03	0.07	-0.04	0.05		
26	1.61	0.087	2.89	0.502	-0.04	0.10	-0.04	0.07		