II－2　規則波の流速分布と成分波の関係について

北見工業大学工学部　（正）　佐藤　幸雄
北見工業大学工学部　（正）　鱸目　淑範
北見工業大学工学部研究生　（正）　田中　淳

I．まえがき

規則波の流速分布を実験水槽で電磁流速計を使用して測定した場合について、得られた結果について見ると実験波の波形勾配、比水深の関係が本来クノイド波の領域と云われている範囲においても、流速分布に関してはクノイド波あるいは有限振幅波の流速分布より小さく、むしろ、微小振幅波に近い流速分布を示し、また反対に本来微小振幅波領域のものが流速分布では有限振幅波的な値を示すというように流速分布についは単純に波形勾配および比水深を用いた微小振幅波あるいは有限振幅波の理論式の計算値が適合しない場合が多いことが認められる。この事は実験波の波形の歪み等の影響も考えられることから、波形を形成する成分波の値を考慮して流速分布を求めることとした。この場合に使用した方法は岩垣・酒井[1]が斜面上の砕波点の流速分布を求めるために既に用いられていて実験値とよく適合すると云われているDeanによる流れ関数を用いた方法を使用した。その結果、実験波の成分波の発生状況、流速分布の計算値の状態ならびに電磁流速計による測定値の比較等について若干の考察を加えたものを以下に述べることとする。

II．使用した各式について

Ｄｅａｎの式；$k=2\pi/L$，波速 $C=L/T$ として、流れ関数 ψ，波形 η はそれぞれ、

$$\psi=-CZ+\sum_{j=1}^{M}\sinh jk(h+z)\left[X_{2j-1}\cos jkx+X_{2j}\sin jkx\right],\quad (M=5,\ X_0,\ X_1\sim X_{10}\text{までを採用})$$

$$\eta=-X_0/C+\frac{1}{C}\sum_{j=1}^{M}\sinh jk(h+\eta)\left[X_{2j-1}\cos jkx+X_{2j}\sin jkx\right] \qquad \text{--------(1)}$$

（$z=\eta$ で $\psi(x,\eta)=X_0$ とおく）

波浪流の流速成分 U，V と波の流速成分 u，v の関係はそれぞれ

水平方向；　$U=\partial\psi/\partial z$ より　$$u=\sum_{j=1}^{M}jk\cosh jk(h+z)\left[X_{2j-1}\cos jkx+X_{2j}\sin jkx\right] \qquad \text{----(2)}$$

鉛直方向；　$V=-\partial\psi/\partial x$ より　$$v=\sum_{j=1}^{M}jk\sinh jk(h+z)\left[X_{2j-1}\sin jkx-X_{2j}\cos jkx\right] \qquad \text{------(3)}$$

波浪流の表面条件式；　$$\eta+\left[U^2+V^2\right]/2g=\eta+\left[(u-C)^2+v^2\right]/2g=Q\ (\text{一定}) \qquad \text{------(4)}$$

ストークス波；　波形　$$\eta=F_0+F_1\cos(kx)+F_2\cos(2kx)+F_3\cos(3kx)$$

$$F_0=\frac{\pi a^2}{L}\coth kh,\quad F_1=a=H/2,\quad F_2=\frac{\pi a^2}{2L}\frac{\cosh kh(\cosh 2kh+2)}{(\sinh kh)^3},\quad F_3=\frac{3}{16}\left(\frac{\pi}{L}\right)^2a^3\frac{8(\cosh kh)^6+1}{(\sinh kh)^6} \qquad \text{---(5)}$$

水粒子の残留前進速度；　$$u_e=\pi^2C(H/L)^2\cosh 2k(h+z)/2\cdot(\sinh kh)^2 \qquad \text{---------(6)}$$

III．計算方法

Ｄｅａｎの水平方向流速成分を求めるために、 先ず、 測定した実験波の１波（１波長分）について波長が短い場合で約１３０点、長い場合で約２００点をサンプリングして実験波の η_m を求め、この η_m をもちいて式（1）が実験波の η_m に適合し　なおかつ、表面条件式の式（4）の　Q＝一定を満たすように X_0～X_{10} の値を最小２乗法により求める。つぎに、$\hat{\eta}$ の最大値 $\hat{\eta}$ となる点 $\hat{x}$ における水平方向最大流速ｕの水深方向流速分布を求めた。今回は水平方向ｕのみで鉛直方向については求めなかった。

IV．結果と考察

（１）実験波の諸元

水平床の２次元造波水槽 （巾25cm 深さ50.0cm 長さ22.0m）を使用し極力反射波の発生がないよう消波した。使用した実験波については周期 T=0.80～1.70sec、水深 h=25.0～35.0cm、 波高 H=1.0～6.0cm 程度、波形勾配 H/L=0.005～0.062、 比水深 h/L=0.10～0.35 の波でアーセル数 $\eta L^2/h^3=\beta$ は β=0.49～11.0 である。

（２）成分波

式（１）をつぎのように書き直すと、$\eta=A_0+\sum_{j=1}^{M}A_j\cos(jkx-\varphi_j)$, $A_j=\sinh jk(h+\eta)\cdot\sqrt{X_{2j-1}^2+X_{2j}^2}$ $(j=1\sim5)$
となり、 A_0は定数項、 A_jは cos波の j倍周波数成分である。

実験波に対する各周波数成分の大きさを棒状（白棒）で示すと図－１ ～図－21のようになり、いずれの波についても A_1が他の成分より大きく、また、 A_4以下は微量でグラフ上に現れない。グラフ上にはストークス波の式（５）の成分F_1～F_3も一緒に斜線棒で示した。両者を比較してみると、ほとんどの実験波は$A_1>F_1$（微小振幅波でF_1=H/2）である。A_2とF_2の大小関係は種々の場合が現れ、A_3，F_3では F_3が微量であるのに対しA_3が若干大きくなる場合がある。 以上の事から、実験波の波形は A_1のみの微小振幅波的なTYPE-1、A_1、A_2がF_1、F_2 と同程度な有限振幅波的なTYPE-2、A_2、A_3 の関係が比較的大きく現れ歪んでいるTYPE-3等が考えられる。

（３）流速分布

流速分布について電磁流速計による測定値（○印）の例を図示すると図-1～図- 21である。図中の点線および１点鎖線はそれぞれ微小振幅波、有限振幅波（３次のストークス波）の流速分布の計算値を示し、また、実線はＤｅａｎの式（２）により求めた計算値を示した。しかし、Ｄｅａｎの流速分布式、式（２）のような形の場合では１周期について積分すると０となり、ストークス波のような質量輸送速度を伴わない値となる。したがって、本研究の場合は特に近似的に式（６）に示すストークス波の質量輸送速度を単純に式（２）に加えた形の分布形で示すこととした。

（４）成分波と流速分布の関係

先ず、Ｄｅａｎの流速分布u_D について見ると、実験波の波高が大きい程、当然ではあるが、A_1 は大きくなり、したがって u_Dも大きくなる。しかし、$A_1=F_1$ の場合には高次の成分波（A_2～A_5）が微量ではあるが存在しているため、その影響により微小振幅波の流速分布u_Bより小さく、$u_D<u_B$（図-1､12､13､17）となる。また、A_1 が$A_1>F_1$ の場合で高次の成分波の影響を受けない場合は非常に微小振幅波的で$u_D=u_B$（図-2､3､4､6､14）となる。つぎに $A_1>F_1$の場合で A_2の影響が大きい場合は $u_B<u_D<u_S$（有限振幅波）（図-5､7､11､15､18､19､20､21）、有限振幅波に等しい $u_D=u_S$の場合は両方の成分波が類似している場合に限られる。（図-8､9､10､16）、また、 $u_S<u_D$の場合はほとんど無い。

以上の事から、実験波を形成する A_2成分波が流速分布の値に影響を与えるものと考えられ、図-22 には有限振幅波とＤｅａｎの場合のA_1とF_1に対するA_2、F_2の比率、A_2／A_1、F_2／F_1を縦軸、横軸にはアーセル数を使用した値を$\beta\cdot L\times10^{-2}$ のスケールでプロットした。F_2／F_1の値は平均的な値を実線で示した。図より$\beta\cdot L$が小さい場合はA_2／A_1は小さく微小振幅波的、$\beta\cdot L$が大きくなるに伴って$A_2/A_1 \geq F_2/F_1$ の場合が多くなり、流速分布形においても $u_D=u_S$あるいは中間的な $u_B<u_D<u_S$の場合が多くなる。この様にＤｅａｎの場合はほぼ実験波形に追従した流速分布を与えていることが分かるが電磁流速計による測定値（○EP）との比較においてはＤｅａｎの流速分布u_D に適合する場合（図-1､2､3､7､8､14､18）もあるが、また一致しない場合も多い。この点に関しては今後さらに詳しく検討を要する問題であるが、現段階で予想される理由としては、測定値は最大水位$\hat{\eta}$における水平方向最大流速値であるため、Ｄｅａｎの流速分布程細かい波形の歪みには追従せず、波形の成分波A_j の値より考えると A_1成分波の値のみにより発生しているように考えられる。

参考文献　岩垣･酒井 ”Stream Function Theory による斜面上の砕波の水粒子速度の表現について”；
第21回 海岸工学講演会論文集(1974)

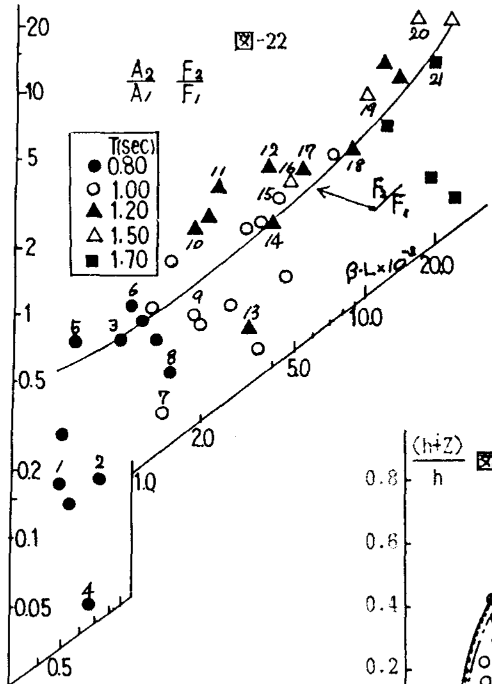


図-22
A2/A1 F2/F1
T(sec)
0.80
1.00
1.20
1.50
1.70
β·L×10^-3

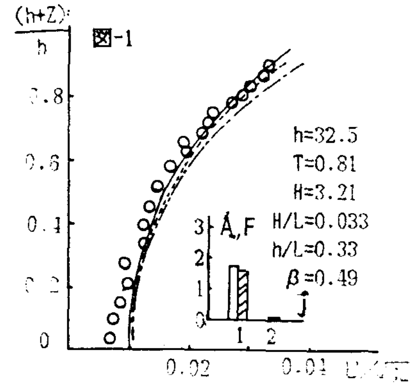


図-1
(h+Z)/h
h=32.5
T=0.81
H=3.21
H/L=0.033
h/L=0.33
β=0.49
A,F
U/√gL

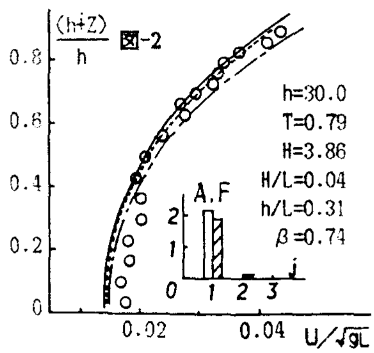


図-2
(h+Z)/h
h=30.0
T=0.79
H=3.86
H/L=0.04
h/L=0.31
β=0.74
A,F
U/√gL

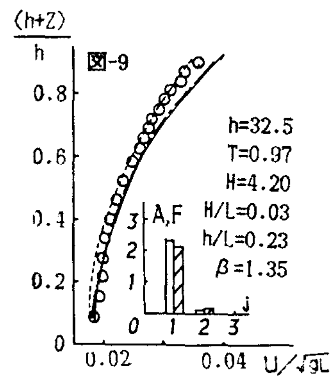


図-9
(h+Z)/h
h=32.5
T=0.97
H=4.20
H/L=0.03
h/L=0.23
β=1.35
A,F
U/√gL

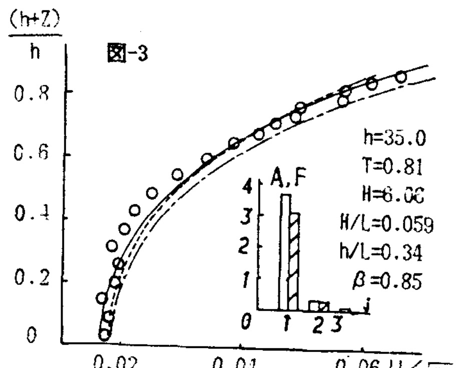


図-3
(h+Z)/h
h=35.0
T=0.81
H=6.06
H/L=0.059
h/L=0.34
β=0.85
A,F
U/√gL

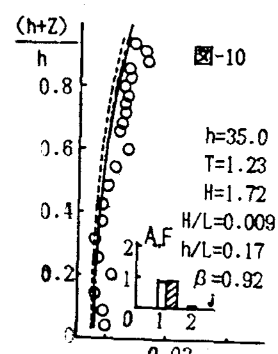


図-10
(h+Z)/h
h=35.0
T=1.23
H=1.72
H/L=0.009
h/L=0.17
β=0.92
A,F
U/√gL

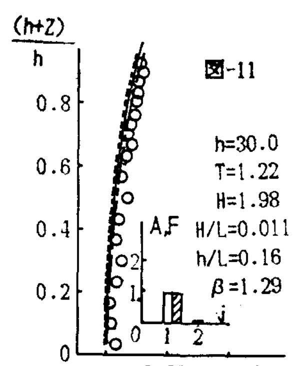


図-11
(h+Z)/h
h=30.0
T=1.22
H=1.98
H/L=0.011
h/L=0.16
β=1.29
A,F
U/√gL

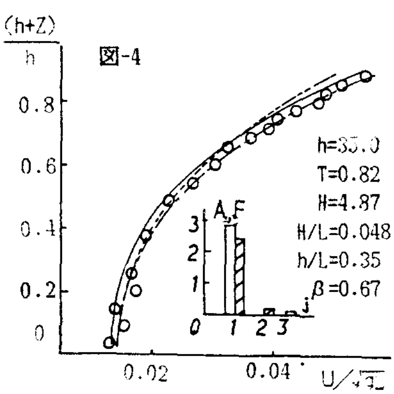


図-4
(h+Z)/h
h=35.0
T=0.82
H=4.87
H/L=0.048
h/L=0.35
β=0.67
A,F
U/√gL

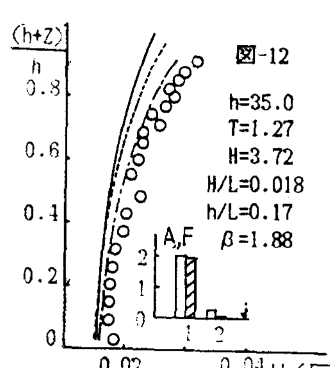


図-12
(h+Z)/h
h=35.0
T=1.27
H=3.72
H/L=0.018
h/L=0.17
β=1.88
A,F
U/√gL

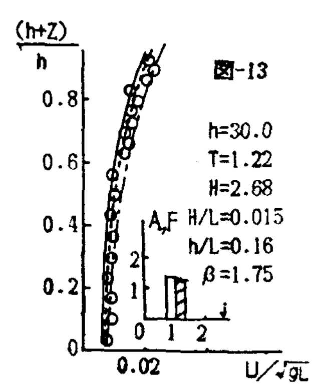
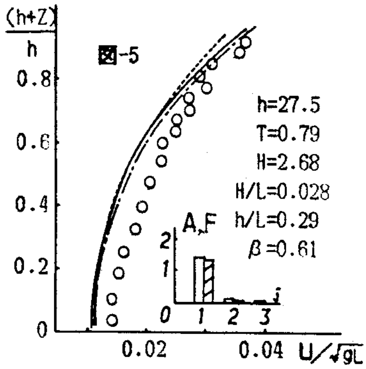
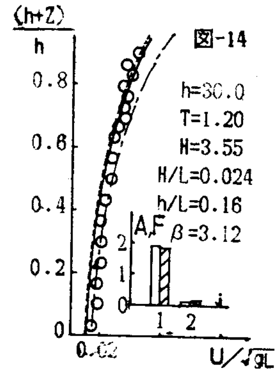
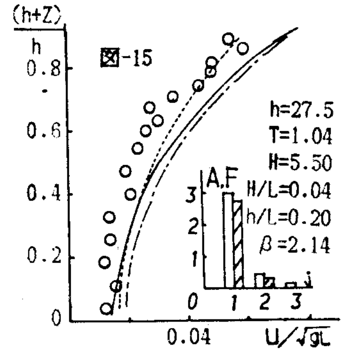
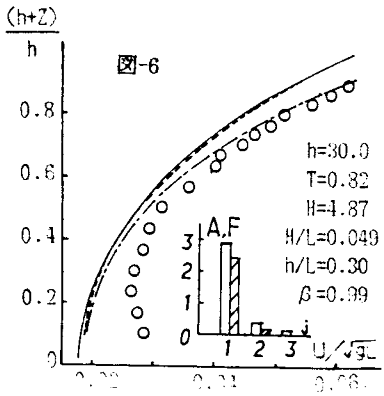


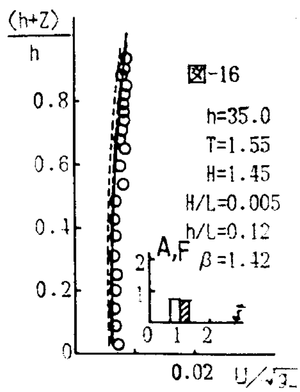
図-13
(h+Z)/h
h=30.0
T=1.22
H=2.68
H/L=0.015
h/L=0.16
β=1.75
A,F
U/√gL

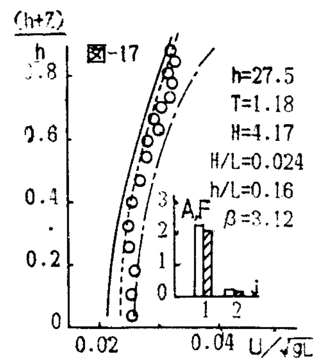

(h+Z)/h
図-5
h=27.5
T=0.79
H=2.68
H/L=0.028
h/L=0.29
β=0.61
A,F
j
0.02
0.04
U/√gL

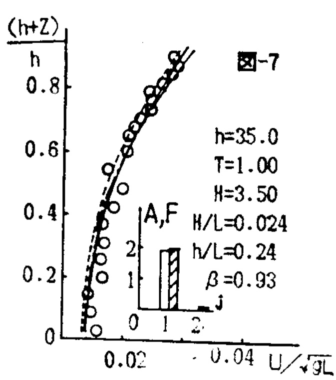

(h+Z)/h
図-14
h=30.0
T=1.20
H=3.55
H/L=0.024
h/L=0.16
β=3.12
A,F
j
U/√gL

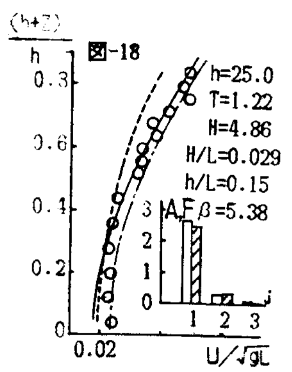

(h+Z)/h
図-15
h=27.5
T=1.04
H=5.50
H/L=0.04
h/L=0.20
β=2.14
A,F
j
0.04
U/√gL

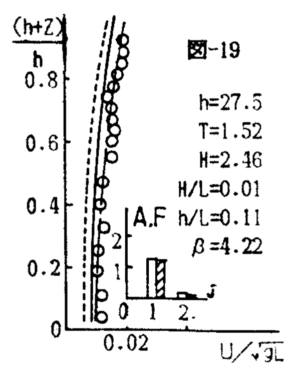

(h+Z)/h
図-6
h=30.0
T=0.82
H=4.87
H/L=0.049
h/L=0.30
β=0.99
A,F
j
U/√gL

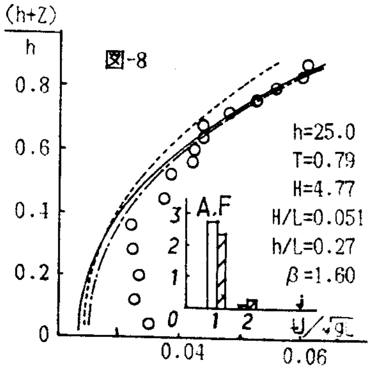

(h+Z)/h
図-16
h=35.0
T=1.55
H=1.45
H/L=0.005
h/L=0.12
β=1.42
A,F
j
0.02
U/√gL

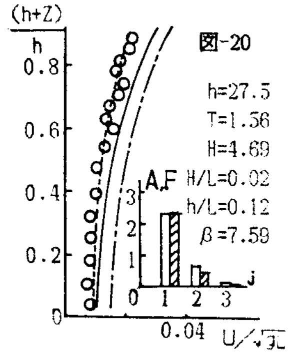

(h+Z)/h
図-17
h=27.5
T=1.18
H=4.17
H/L=0.024
h/L=0.16
β=3.12
A,F
j
0.02
0.04
U/√gL

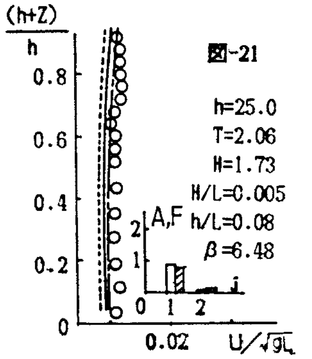

(h+Z)/h
図-7
h=35.0
T=1.00
H=3.50
H/L=0.024
h/L=0.24
β=0.93
A,F
j
0.02
0.04
U/√gL


(h+Z)/h
図-18
h=25.0
T=1.22
H=4.86
H/L=0.029
h/L=0.15
β=5.38
A,F
j
0.02
U/√gL


(h+Z)/h
図-19
h=27.5
T=1.52
H=2.46
H/L=0.01
h/L=0.11
β=4.22
A,F
j
0.02
U/√gL


(h+Z)/h
図-8
h=25.0
T=0.79
H=4.77
H/L=0.051
h/L=0.27
β=1.60
A,F
j
0.04
0.06
U/√gL


(h+Z)/h
図-20
h=27.5
T=1.56
H=4.69
H/L=0.02
h/L=0.12
β=7.59
A,F
j
0.04
U/√gL


(h+Z)/h
図-21
h=25.0
T=2.06
H=1.73
H/L=0.005
h/L=0.08
β=6.48
A,F
j
0.02
U/√gL