

崩れ波型碎波上の風速分布と抵抗係数について

日本文理大学 学生員○吉田雄一 正 員 樋田 操
九州大学 正 員 松永信博 学生員 鷗崎賢一

1.はじめに 碎波上を強風が吹く場合、多量のしぶきが波面から発生し風下方向へ輸送される。しぶきの陸域への輸送は塩害の原因となる。しぶきの陸域への輸送量と塩害との関係の評価するためには、風や波の条件と、輸送されるしぶきの濃度との関係を知る必要がある。風下方向の任意の位置において、しぶき濃度の鉛直分布を求めるには、碎波面上の風速分布を精度良く測定しなければならない。しかしながら、碎波面上のしぶきを含む場の風速の測定は困難であることから、このような場の風速分布を詳細に調べた例は少ない¹⁾。

本研究は、計測法としてはやや精度は落ちるが、しぶきを含む風の場合でも測定が容易なベーン式風速計を用いて、崩れ波型碎波上の風速分布を調べるとともに、しぶきの発生量に深く関係する抵抗係数について検討したものである。

2.実験装置および実験方法 実験は、しぶきの輸送量に関する実験と同じ二次元水槽を用いた²⁾。また、実験に用いた水深、波および風速の条件についてもしぶき輸送量の実験と同じであり、詳細は文献2)を参照されたい。以上の波と風の条件において、碎波面上における風速の測定は、テストターム社製のベーン式風速計(FA-419型)を用いて行った。各測定位置での風速は、セッティング面を $z=0\text{cm}$ として、鉛直方向に 2cm 毎に $z \div 60\text{cm}$ まで測定した。表-1に実験条件およびその代表諸量を示す。代表量 $\bar{u}_*$, $\bar{z}_0$, u_{10} , C_D および I については、次節で説明する。なお、表-1の実験条件では、波が伝播する水槽の全長にわたり崩れ波型碎波生じ、しぶきが多量に飛散する状態となる。

3.実験結果および考察 図-1は $H/L=0.0744$, $U_m=18.4\text{m/s}$ における碎波上の風速分布を示す。セッティングの影響が見られるものの水槽の天井部に近い場合を除けば、ほぼ対数分布を示すことがわかる。このような、接水境界層における、境界面が粗な場合の風速分布は次式で近似できることが知られている¹⁾。

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} = \frac{2.303}{\kappa} \log \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

ここで、 $u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho_a}$:風の摩擦速度、 τ_0 :海面に作用する風の摩擦応力、 ρ_a :空気密度、 z_0 :水面の粗度係数、 κ :Kármán 常数($\div 0.40$)である。

図-1のグラフを各々の波と風の条件について測定位置毎に描き、対数分布則から風の摩擦速度 u_* を求めた。また、対数分布則の近似直線を外挿して延長すれば、 $u(z)=0$ となる仮想高さ、すなわち水面の粗度係数 z_0 が求められる。全測定断面に対する各実験条件で

の u_* , z_0 の平均値をそれぞれ $\bar{u}_*$, $\bar{z}_0$ とする。 $\bar{u}_*$, $\bar{z}_0$ を用いて、 $z=10\text{m}$ における風速 u_{10} を式(1)より求めた。これらの値より u_{10} に対応する海面の抵抗係数 C_D は、

$$C_D = (\bar{u}_* / u_{10})^2 \quad (2)$$

で表される¹⁾。各実験条件における海面勾配 I は、全測定断面でのセッティング量を図示して、その近似直線の傾きより求めた。表-1に $\bar{u}_*$, $\bar{z}_0$, u_{10} , C_D および I の値を示す。

図-2は、図-1の風速分布を、各測定位置の u_* と z_0 を用いて表した無次元風速分布である。一定の傾向性が見られるが、対数分布が成立する領域では、無次元風速分布は十分普遍化されていることがわかる。

図-3は、海面の抵抗係数 C_D に関する各種実験式に対して著者らの実験値をプロットし、比較したものである。図中の各実験式については、光易(1983年)³⁾によって、低風速域から高風速域にわたって詳細にレビューされているので参照されたい。その中でKondoは、 $8\text{m/s} \leq u_{10} \leq 25\text{m/s}$ および $25\text{m/s} \leq u_{10}$ の領域においてそれぞれの C_D を実験的に求めている。図から明かな様に、著者らの実験値はKondoの高風速域の実験式と良く一致することがわかる。したがって、碎波上でしぶきを多量に含む風速場の C_D は次式で表される¹⁾。

$$10^3 C_D = 0.073 u_{10} \quad (3)$$

図-4は、各測定位置における無次元粗度 gz_0/u_*^2 と波風径数 $\omega u_*/g$ との関係を、各実験式³⁾とともに示したものである。ここで、 ω :波の角振動数($2\pi/T$)である。著者らの実験値はKusabaの実験式に比較的一致しているが、波風径数が小さくなるほど gz_0/u_*^2 は急激に減少している。

図-5は、海面勾配 I と波風径数 $\omega u_*/g$ との関係を、波形勾配をパラメータとして示したものである。波形勾配が $H/L=0.0744$ の場合は、他の2つの場合に比べて小さくなっているが、全体として $\omega u_*/g$ が大きくなるほど水面勾配 I は大きくなり、一定値に漸近する傾向を示すことがわかる。以上のことから、碎波上に強風が作用して、しぶきが多量に輸送される場の風速分布と海面の抵抗係数を明かにすることが出来た。

最後に本実験を行うにあたり、多大なご協力を頂いた、日本文理大学海洋環境研究室の山口、山崎、堤君に深く感謝いたします。

参考文献)

- 1) 光易恒:水工学に関する夏期研集会講義集, 19, B-1-1 (1983).
- 2) 弓指ら:土木学会西部支部研究発表会概要集, (1995).
- 3) 草場忠夫:局所平衝下の風と風波、学位論文, (1989).

表-1 実験条件および代表諸量

H/L		U _m m/s		
		16.5	17.5	18.4
(no wave)	$\bar{u}_*$ m/s	1.56	1.70	2.07
	$\bar{z}_0$ cm	0.256	0.310	0.507
	u_{10} m/s	32.2	34.3	39.2
	$C_D \times 10^3$	2.34	2.45	2.78
	$I \times 10^2$	...	...	...
0.0744 H=10.2cm, L=137cm	$\bar{u}_*$ m/s	1.39	1.59	2.13
	$\bar{z}_0$ cm	0.246	0.286	0.474
	u_{10} m/s	28.9	32.5	40.7
	$C_D \times 10^3$	2.32	2.40	2.73
	$I \times 10^2$	0.281	0.279	0.297
0.0519 H=9.19cm, L=177cm	$\bar{u}_*$ m/s	1.12	1.32	1.77
	$\bar{z}_0$ cm	0.089	0.130	0.263
	u_{10} m/s	26.1	29.5	36.5
	$C_D \times 10^3$	1.84	2.00	2.36
	$I \times 10^2$	0.334	0.393	0.416
0.0490 H=10.6cm, L=215cm	$\bar{u}_*$ m/s	1.14	1.30	1.67
	$\bar{z}_0$ cm	0.101	0.172	0.231
	u_{10} m/s	26.1	28.2	35.0
	$C_D \times 10^3$	1.89	2.13	2.28
	$I \times 10^2$	0.252	0.309	0.407

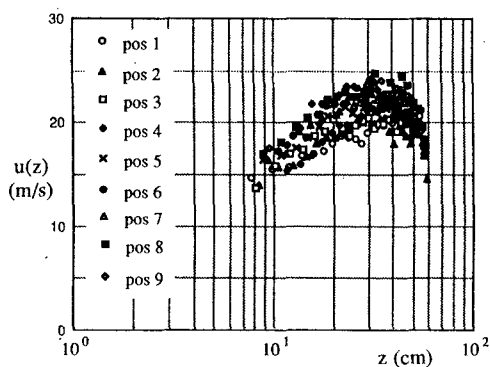


図-1 風速分布(H/L=0.0744, U_m=18.4m/s)

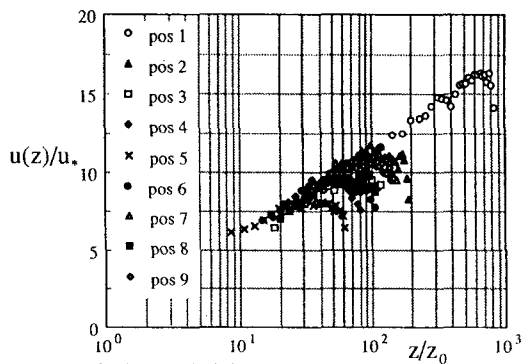


図-2 無次元風速分布(H/L=0.0744, U_m=18.4m/s)

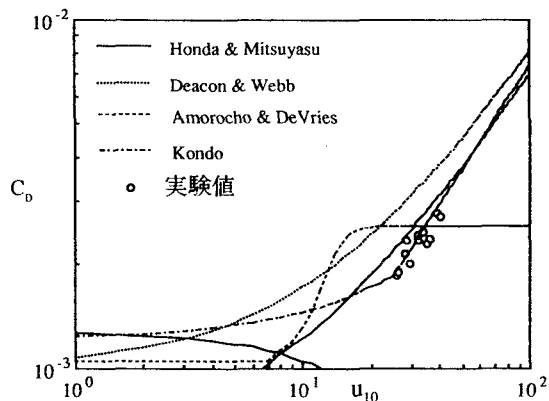


図-3 海面の抵抗係数 C_D に関する各種実験式の比較
(本田・光易 1980)

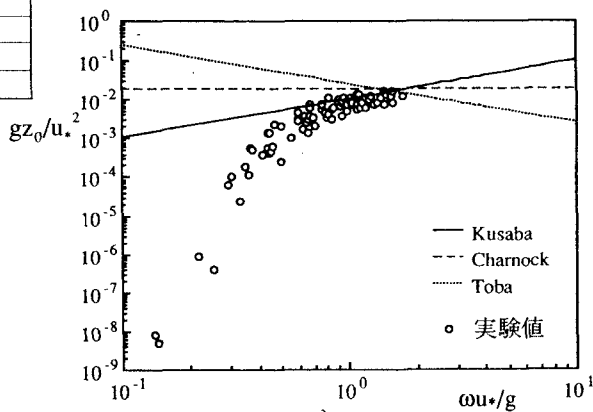


図-4 無次元粗度 gz_0/u_*^2 に関する各経験式と
実験値の比較

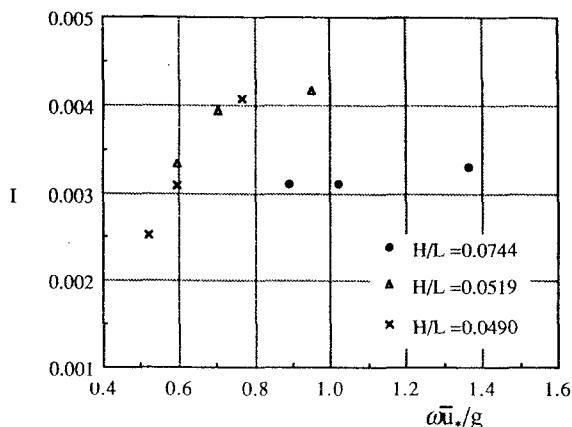


図-5 海面勾配 I と波風径数 $\omega u_* / g$ との関係