

II-378 碎波上の風応力

九州大学大学院 総合理工学研究科 学生員○ 鷗崎 賢一
正 員 松永 信博
日本文理大学 工学部土木工学科 正 員 樋田 操

(1) はじめに 碎波上を強風が吹く場合、波面から多量のしぶきが発生し風下方向へ輸送される。沿岸域で発生したしぶきの陸域への輸送は塩害を引き起こす一因となる。強風下において発生するしぶき量は風や波に大きく依存する。従って輸送されるしぶき量を定量的に評価するためには、風や波の特性を明らかにし、それらの諸条件としぶき濃度との関係を知る必要がある。しかしながら、しぶきを含む場の風速測定は非常に困難であることから、現地におけるデータは無論のこと実験データも数少ない。

本研究は、しぶきを伴う風の場合でも比較的高精度な平均風速の測定が可能なベーン式風速計を用いることにより、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 実験には、幅0.6m、深さ0.94mの矩形断面を持つ、長さ32mの風洞付き二次元造波水槽を用いた。実験装置の概要を図-1に示す。図中、Pos.1~9は風速の測定断面位置を示す。この水槽において三種類の波を造波し、水槽全域にわたって白波が発生・伝播するように三種類の風を吹かせた。従って、風のみの実験を含め合計12種類の実験を行った。実験条件の詳細、および代表諸量を表-1に示す。表中、一の冠してあるものは風下方向の平均量であり、何も冠してないものは各測定位置における局所量を表わしている。風速の測定にはテストターム社製のベーン式風速計を用い、各測定断面において、セッティング面を $z=0\text{cm}$ として鉛直上向きに2cmの間隔で $z=60\text{cm}$ まで測定した。

(3) 実験結果および考察 図-2はRun 5における碎波上の風速の鉛直分布を示す。 z が大きくなると風洞の天井部の影響を受け風速は減少するが、水表面付近ではほぼ対数分布を示すことが判る。一般にこのような接水境界層の風速分布は粗面上の境界層乱流とみなされ、近似的に次式で表わされることが知られている。

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{2.30}{\kappa} \log \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

式中、 $u_* = \sqrt{\tau_0/\rho_a}$ ：風の摩擦速度、 τ_0 ：水面に作用する風の摩擦応力、 ρ_a ：空気密度、 z_0 ：水面粗度、 κ ：カルマン常数である。各測定断面で得られた風速分布を対数分布(1)式にあてはめ、風の摩擦速度 u_* および水面粗度 z_0 を求めた。これらの値を用いて風速分布を無次元化した。その一例を図-3に示す。これによると、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判る。また、 u_* 、 z_0 と式(1)を用いて $z=10\text{m}$ における風速 U_{10} を外挿し、

$$C_D = (u_* / U_{10})^2 \quad (2)$$

で定義される水面の抵抗係数 C_D を求めた。図-4は C_D と U_{10} との関係をプロットしたものである。図中には、風波が発達する場合において多くの研究者によって実験的に求められた C_D と U_{10} との間の経験式も示されている。これらは光易¹⁾によって詳細にまとめられている。本実験の結果は U_{10} が充分大きい場合、Kondoによって提案された高風速域の経験式、

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

に漸近する傾向がみられる。しかし U_{10} が小さい場合、本実験で得られたデータはいずれの経験式からも大きく外れてくる。風波が発達した場合の抵抗係数の評価は工学的にも大きな意義があるため、その評価が容易であるように C_D はこれまで U_{10} に対してまとめられてきた。またそれが一般的な整理方法であった。しかしながら、無次元量 C_D が次元量 U_{10} のみによって普遍的に表わされることは疑問であり、実際図-4で示されたように多くの経験式が提案されてきた。そこで本研究では、 C_D を草場が提案した波風径数 u_*/c_0 に対してプロットすることを試みた。その結果を図-5に示す。草場の実験データに基づいて算定したものも図中に○印で示している。抵抗係数 C_D は u_*/c_0 の増加と共に指数関数的に増大することが判る。しかしその増加率は、次第に u_*/c_0 の増加と共にやがて減少し、一定値に漸近する傾向が認められる。

水面の抵抗係数 C_D と共に、こうした場における水面の粗度係数を評価することは、近年議論の対象になっている。草場²⁾はこの問題に対していくつかの知見を与えている。図-6は各測定断面における無次元粗度 gz_0/u_*^2 と無次元摩擦速度 u_*/c_0 との関係を、これまでに提案された経験式とともに示したものである。本実験結果は、 u_*/c_0 が十分大きい場合には gz_0/u_*^2 の値は草場の経験式に漸近するが、 u_*/c_0 の減少と共に草場の経験式からも外れ、著しく減少する。以上、二次元規則波上に強風が作用して白波が発生し、しぶきが多量に輸送される場の風速分布、水面の抵抗係数および水面粗度を実験的に調べた。抵抗係数は波風径数の増加とともに指数関数的に増大することが明らかとなった。また、無次元粗度は波風径数が十分大きい場合、風波に対して草場が求めた経験式に漸近するが、波風径数が小さくなると大きく異なることが示された。

Run	$\bar{H}$ (cm)	$\bar{L}$ (cm)	T (s)	C_0 (m/s)	$\bar{H}/L$	U_m (m/s)	$\bar{u}_*$ (m/s)	$\bar{u}_*/C_0$	$\bar{z}_0$ (cm)	U_{10} (m/s)	$C_D (\times 10^3)$
1	造波なし					16.5	1.56	0.256	32.2	2.34	
2						17.5	1.70	0.310	34.3	2.45	
3						18.4	2.07	0.507	39.2	2.78	
4	12.5	137	1.00	1.56	0.0912	16.5	1.39	0.891	0.246	28.9	2.32
5	12.5				0.0912	17.5	1.59	1.02	0.286	32.5	2.40
6	12.4				0.0905	18.4	2.13	1.36	0.474	40.7	2.73
7	13.1	177	1.20	1.87	0.0740	16.5	1.12	0.597	0.089	26.1	1.84
8	13.1				0.0740	17.5	1.32	0.703	0.130	29.5	2.00
9	12.7				0.0718	18.4	1.77	0.947	0.263	36.5	2.36
10	14.9	215	1.40	2.18	0.0693	16.5	1.14	0.520	0.101	26.1	1.89
11	14.5				0.0674	17.5	1.30	0.596	0.172	28.2	2.13
12	14.2				0.0660	18.4	1.67	0.766	0.231	35.0	2.28

表-1 実験条件および代表諸量

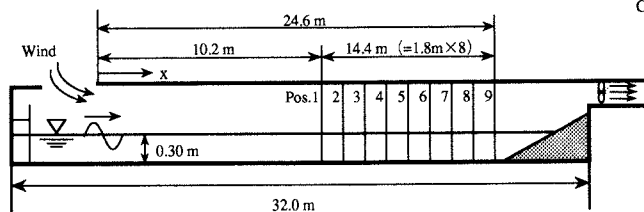


図-1 実験装置概要

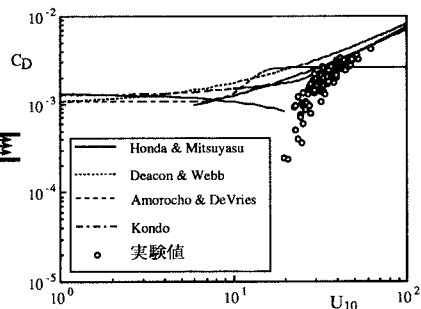


図-4 抵抗係数 C_D と経験式との比較

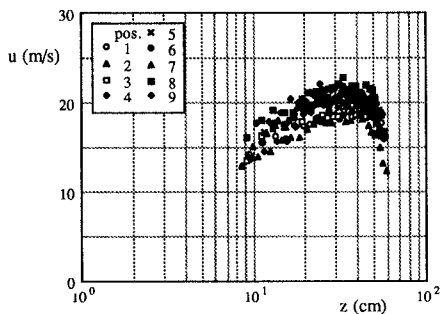


図-2 風速分布 (Run 5)

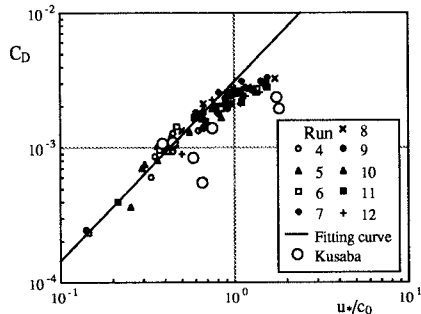


図-5 抵抗係数 C_D と波風径数 u/c_0 との関係

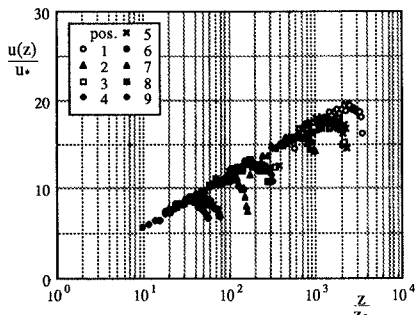


図-3 無次元風速分布 (Run 5)

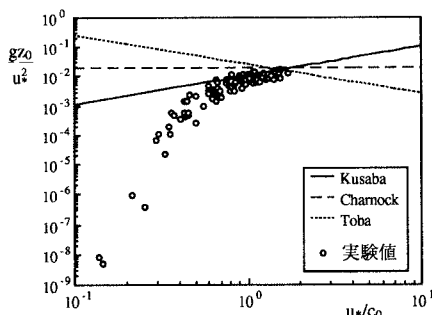


図-6 無次元粗度 gz_0/u_*^2 と経験式との比較

《参考文献》

- 1) 光易恒：海面に及ぼす風の応力 [水工学に関する夏期研修会講義集, 19, B-1-1 (1983)]
- 2) 草場忠夫：局所平衡下の風と風波 [学位論文 (1989)]