

II-9

水面に作用する風応力

九州大学大学院総合理工学研究科 学生員 川上 裕史
 CRC総合研究所 鶴崎 賢一
 日本文理大学工学部土木工学科 正 員 樋田 操
 九州大学大学院総合理工学研究科 正 員 松永 信博

1.はじめに 海洋では海流、波、乱れなど様々なスケールの運動が形成される。このような流体運動は大気と海洋の相互作用に起因しており、大気から海洋へどのような機構でエネルギーや運動量が伝達されるかを明らかにすることは、極めて重要な問題である。特に、抵抗係数 C_D の定量化に関する研究は数多くなされており、 C_D は高さ10mにおける平均風速 U_{10} に対してまとめられてきた。しかしながら、無次元量 C_D を次元量 U_{10} に対して普遍的に記述することは困難であり、事実、多くの研究者達によって経験式が提案されている²⁾。

本研究では、水平床及び斜床上の流体の表面に風を吹かせる実験を数多く行い、水表面に作用する風応力を算定し C_D と U_{10} との関係を求め、既往の研究結果²⁾との比較・検討を行った。さらに、草場³⁾が提案した波風係数（摩擦速度 u_* と波速 c との比）に対して、 C_D を普遍的に表すことを試みた。

2.実験装置及び実験方法 実験には、長さ32m、幅0.6m、高さ0.94mの吸い込み式風洞を有する二次元造波水槽を用いた。図-1(a),(b),(c)にそれぞれ水平床、斜床、水平床及び斜床における実験装置の概要を示す。全ての実験において、平均水深を水平床上で0.3mに固定した。表-1(a),(b),(c)にそれぞれ水平床、斜床、水平床及び斜床における実験条件及び実験結果の代表諸量を示す。なお、文字に $\bar{}$ を冠するものは風下方向への平均量を、冠しないものは、各測定位置における局所量を表している。(a)水平床の実験においては、断面平均風速(U_m)が16.5, 17.5, 18.4m/sの3種類の風を作用させた。造波板による二次元規則波の周期(T_p)は、1.00, 1.20, 1.40sの3種類とし、造波をせずに風応力のみの実験も含めて合計12種類(Run1~12)の実験が行われた。測定位置は、風の吸い込み口から風下方向に10.2mの位置をPos.1とし、以降1.8mの間隔でPos.9までの9断面に設定された。(b)斜床の実験は、法面勾配を1/30とし、 U_m を7.48~22.9m/sまで変化させた。造波周期は T_p =1.00, 1.20, 1.45sの3種類とし、風応力のみの実験も含めて合計17種類(Run1~17)の実験が行われた。測定位置は、斜床の法先から風下側1.2mの位置をPos.1とし、図に示す9断面に設定された。また、(c)水平床及び斜床の実験においても、斜床の法面勾配を1/30とし、 U_m =7.60~21.8m/sの5種類(Run1~5)の風応力のみについて行われた。測定位置は、風の吸い込み口から風下方向に11.0mの位置をPos.1とし、以降2mの間隔で水平床上2断面(Pos.1,2)、斜床上3断面(Pos.3,4,5)の合計5断面に設定された。風速の測定には、しぶきを多量に含む場でも測定が容易なベーン式風速計を用い、各断面におけるセットアップ面($z=0$ m)から鉛直上方に2cm間隔で行われた。

3.実験結果及び考察 図-2に斜床の実験(Run3, $U_m=15.4$ m/s)のPos.1及びPos.2で得られた平均風速の鉛直分布を示す。図より、水表面付近の風速分布は対数則に従うことがわかる。一般に、接水境界層は粗面上の乱流境界層とみなされ、風速の鉛直分布は近似的に次式によって表される²⁾。

$$U/u_* = 1/\kappa \ln(z/z_0) \quad (1)$$

ここで、 u_* :風の摩擦速度、 z_0 :水面粗度、 κ :カルマン定数(≈ 0.40)である。測定データに(1)式を適合させることにより、 u_* , z_0 , U_{10} の値を求め、

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

として定義される水面の抵抗係数 C_D を算定した。さらに、(1)式と(2)式より、 z_0 と C_D との関係

$$z_0 = 10 \exp(-\kappa/\sqrt{C_D}) \quad (3)$$

が導かれる。従って、 C_D を定量化することによって z_0 も同時に決定されることになる。図-3に C_D と U_{10} の関係を示す。図中には、既往の研究における各種の経験式²⁾も示されている。本実験の結果は、 U_{10} が小さい場合、いずれの経験式からも大きく外れるが、増加するにつれてKondoによって提案された経験式

$$C_D = 7.30 U_{10} \times 10^{-5} \quad (25 \text{ m/s} < U_{10}) \quad (4)$$

に漸近する傾向を示す。しかしながら、本実験データ及びこれまで提案された経験式を考慮すると、 C_D を U_{10} で普遍的に表すことは困難である。図-4は C_D を草場³⁾が提案した無次元量である波風係数 u_*/c に対してプロットしたものである。二次元規則波上に風を作用させた場合に比べ、風のみを作用させた場合では若干緩やかな分布を示すが、それらは図のように一本の近似曲線によって普遍的に表される。

謝辞 本研究は、文部省科学研究費一般研究(C)（代表者：松永信博、課題番号：07650604）の援助を受けた。ここに、記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 松永信博・楳田 操・鶴崎賢一, 波に作用する風応力としぶき量の関係, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.1031-1035, 1995
- 2) 光易 恒, 海面に及ぼす風の応力, 第19回水工学に関する夏期研修会講義集, pp.1-1-B1-17, 1983
- 3) 草場忠夫, 局所平衡下の風と風波, 九州大学学位論文, 1989

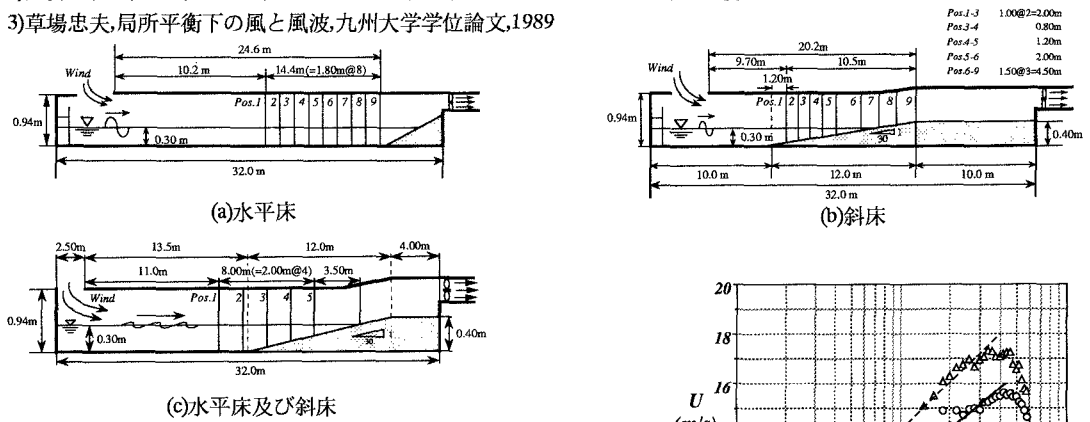


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件及び代表諸量

(a) 水平床

Run		Pos.	$T_p(s)$	$U_{10}(m/s)$	$\bar{c}(m/s)$	$\bar{u}_*(m/s)$	$\bar{U}_{10}(m/s)$	$\bar{z}_0(mm)$	$\bar{u}_*/\bar{c}$	C_D
1	風のみ	1~9	...	16.5	...	1.56	32.20	2.56	...	2.34E-3
2			...	17.5	...	1.70	34.30	3.10	...	2.45E-3
3			...	18.4	...	2.07	39.20	5.07	...	2.78E-3
4	造波+風	1.00	...	16.5	...	1.39	28.90	2.46	1.01	2.32E-3
5			...	17.5	1.37	1.59	32.50	2.86	1.16	2.40E-3
6			...	18.4	...	2.13	40.70	4.74	1.55	2.73E-3
7			...	16.5	...	1.12	26.10	0.89	0.762	1.84E-3
8		1.20	...	17.5	1.47	1.32	29.50	1.30	0.898	2.00E-3
9			...	18.4	...	1.77	36.50	2.63	1.20	2.36E-3
10		1.40	...	16.5	...	1.14	26.10	1.01	0.745	1.89E-3
11			...	17.5	1.53	1.30	28.20	1.72	0.850	2.13E-3
12			...	18.4	...	1.67	35.00	2.31	1.09	2.28E-3

(b) 斜床

Run		Pos.	$T_p(s)$	$U_{10}(m/s)$	$\bar{c}(m/s)$	$\bar{u}_*(m/s)$	$\bar{U}_{10}(m/s)$	$\bar{z}_0(mm)$	$\bar{u}_*/\bar{c}$	C_D
1	風のみ	1,2,3	...	7.48	0.86	0.27	5.04	0.50	0.31	0.66E-3
2			...	11.3	0.95	0.59	10.25	0.96	0.62	1.14E-3
3			...	15.4	1.06	1.13	19.74	0.91	1.07	1.82E-3
4			...	18.7	1.15	1.31	23.32	0.82	1.14	1.79E-3
5			...	21.4	1.39	1.80	32.65	0.70	1.29	2.13E-3
6	造波+風	1.00	...	17.5	1.08	1.44	23.86	1.31	1.33	1.93E-3
7			...	19.8	1.11	1.76	28.22	1.64	1.58	2.07E-3
8			...	22.1	1.11	2.26	32.83	3.03	2.03	2.40E-3
9		1.20	...	17.7	1.19	1.50	23.22	2.05	1.26	2.05E-3
10			...	20.4	1.19	1.93	27.70	3.23	1.63	2.40E-3
11			...	22.9	1.26	2.45	32.59	4.85	1.94	2.71E-3
12			...	17.8	1.27	1.32	21.75	1.37	1.04	1.83E-3
13			...	20.3	1.22	1.86	26.45	3.35	1.52	2.30E-3
14			...	22.7	1.31	2.25	30.44	4.45	1.72	2.50E-3
15			...	17.9	1.31	1.42	22.69	1.70	1.09	1.96E-3
16		1.45	...	20.2	1.31	1.81	27.04	2.54	1.38	2.21E-3
17			...	22.7	1.37	2.31	31.07	4.56	1.71	2.54E-3

(c) 水平床及び斜床

Run		Pos.	$T_p(s)$	$U_{10}(m/s)$	$\bar{c}(m/s)$	$\bar{u}_*(m/s)$	$\bar{U}_{10}(m/s)$	$\bar{z}_0(mm)$	$\bar{u}_*/\bar{c}$	C_D
1	風のみ	1,2,3,4,5	...	7.60	0.904	0.247	10.6	2.31E-3	0.273	5.43E-4
2			...	11.6	1.14	0.691	18.8	2.19E-1	0.606	1.35E-3
3			...	15.5	1.19	1.29	28.4	1.57	1.08	2.06E-3
4			...	18.9	1.23	1.85	37.3	3.67	1.50	2.46E-3
5			...	21.8	1.30	2.12	43.3	2.73	1.63	2.40E-3

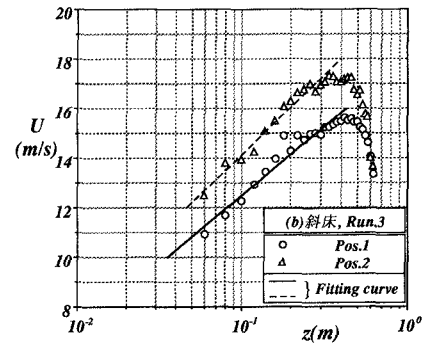


図-2 平均風速の鉛直分布

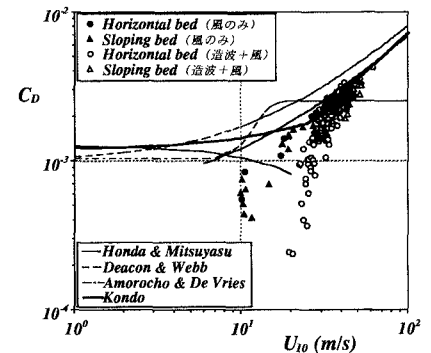


図-3 C_D と U_{10} の関係

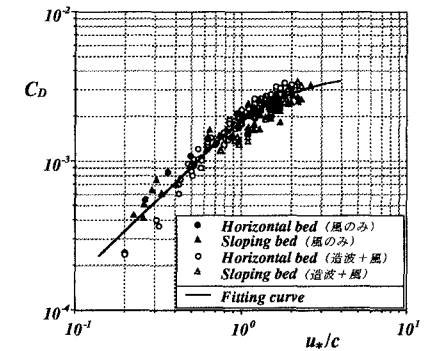


図-4 C_D の u_*/c に対する普遍性