

九州大学大学院総合理工学研究科 学生会員 岸岡賢祐
 CRC総合研究所 鶴崎賢一
 九州大学大学院総合理工学研究科 正会員 松永信博
 日本文理大学工学部土木工学科 正会員 樋田 操

1. まえがき 強風下において海域から発生する海水飛沫や海塩粒子の飛散・輸送プロセスを解明することは、塩害・潮風被害を軽減する上で重要である。本研究では、強風下にある沖合い海域を対象として水平床を伝播する二次元規則波上に強風を吹かせる実験を行い、白波から発生するしぶき量を測定した。また、しぶきの沈降速度を定量的に評価し、しぶき濃度を波風係数（水表面に作用するせん断応力と波速の比）と関係づけた。

2. 実験方法 実験には、長さ32 m、高さ0.94 m、幅0.6 mの風洞付造波水槽を用いた（図-1参照）。水槽の一端には消波のために斜板を設置し、水深を30 cmに固定した。造波によって二次元規則波を伝播させ風を作用させることによって風洞内全域にわたって一様に白波を発生させた。造波周期Tを1.0, 1.2, 1.4 (s)の3種類、風洞内の断面平均風速 U_m を16.5, 17.5, 18.4 (m/s)と変化させ合計9通りの条件下で実験を行った（表-1参照）。風速、波高およびしぶき量の計測をpos. 1～9の9断面で行った。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、平均水面から鉛直上向きに2.0 cmの間隔で測定を行った。しぶき量の測定には直径3 cm、深さ5 cmの円筒容器に脱脂綿を詰めたものを用いた。その円筒容器を平均水面から鉛直上向きに4 cmの間隔で取り付け、しぶきの捕集を行った。しぶきの粒径分布の測定には雨滴紙を用いた。表-1に実験条件を示す。ここで、H, L, cおよび u_* はそれぞれ卓越波の波高、波長、波速および水表面における空気摩擦速度である。-は9断面で得られた測定値を平均したことを示す記号である。 u_* は風速分布に対数則 $u/u_* = 1/\kappa \ln(z/z_0)$ を適合させることによって算定されている。ここで、 κ はカルマン定数(=0.4)、 z は平均水面から鉛直上方に取られた座標、 z_0 は水面粗度である。

3. 実験結果ならびに考察 水平床上を伝播する二次元規則波上に強風が吹く場合、風速分布、波高分布、しぶき濃度分布等は風下方向にほぼ一様となることが著者らによって明らかにされた¹⁾。従って、しぶきの濃度分布 $C(z)$ は鉛直方向のフラックスとしぶきの沈降が釣り合った式で与えられ

$$C(\tilde{z}) = C_* \exp \int_1^{\tilde{z}} -\frac{w_0 H}{K} d\tilde{z} \quad (1)$$

となる。ここで $\tilde{z} = z/H$ 、 $C_* : z = H$ におけるしぶき濃度、 w_0 ：しぶきの沈降速度、 K ：拡散係数である。風速分布が対数則に従うことから $K = \kappa u_* z$ と仮定した。雨滴紙を用いたしぶき測定からしぶきの半径 D (mm)は $\tilde{z}^{-1}$ に比例して減少すること、またBestの経験式²⁾から w_0 (m/s) = $6.67 D$ であることを考慮すると $w_0 = 6.67 D_* \tilde{z}^{-1}$ で表わされることになる。ここで D_* は $\tilde{z} = 1.0$ における粒径である。これらの関係を(1)式に代入すると

$$C = \frac{C_*}{\exp \alpha} \exp \frac{\alpha}{\tilde{z}} \quad \left(\text{ただし } \alpha = \frac{6.67 D_*}{\kappa u_*} \right) \quad (2)$$

となる。実験で得られた濃度の鉛直分布に最小二乗近似法を用いて(2)式を適合させることにより α と C_* の値を算定することができる。それによると近似的に $\alpha = 9.0$ であることが明らかとなった。このようにして求められた α の値から $\bar{D}_*$ の値を求め、表面張力 T と水の密度 ρ および摩擦速度 $\bar{u}_*$ を用いて無次元化し、 $\bar{u}_*/c$ に対してプロットしたものが図-2である。この図から $\bar{D}_* \bar{u}_*^2/T/\rho = 15.6(\bar{u}_*/c)^{2.4}$ の関係が得られる。 $\tilde{z} = 1.0$ におけるしぶきの粒径は、表面張力に比例して大きくなり、 $\bar{u}_*$ の増加とともに大きくなることからわかる。図-3は C_* の風下方向の平均値を波風係数に対してプロットしたものである。この図より、 C_* は経験的に

$$C_* = 1.92 \times 10^{-4} (u_*/c)^2 \quad (3)$$

で与えられることになる。 $\alpha = 9.0$ と C_* に関する経験式を(2)式に代入するとしぶき濃度分布は

$$C = \frac{1.92 \times 10^{-4} (u_*/c)^2}{\exp 9.0} \exp \frac{9.0}{\tilde{z}} \quad (4)$$

となる。(4)式と各断面で得られた濃度分布との適合性を示したものが図-4である。経験式(4)は測定結果をよく近似していることがわかる。これにより波風係数 u_*/c と波高 H が既知の場合、沖合海域での任意の高さでのしぶ

き濃度を与えることが可能となった。本研究は文部省科学研究費一般研究（C）（代表：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 他2名 (1995) : 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.
- 2) Best, A. C. (1950) : Quart. J. Roy. Meteor. Soc., Vol. 76, pp. 302-311.

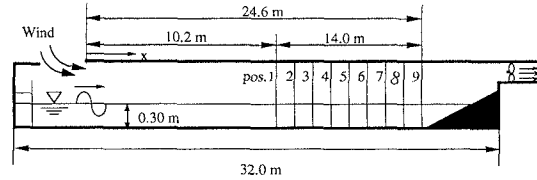


図-1 実験装置図

表-1 実験条件

Run	H (cm)	L (cm)	T (s)	$\bar{c}$ (m/s)	$\bar{H}/L$	$\bar{U}_m$ (m/s)	$\bar{u}_*$ (m/s)	$\bar{u}_*/\bar{c}$	$\bar{D}_*$ (mm)	$\bar{C}_*$ (10^{-4})
1	12.5				0.0912	16.5	1.39	1.01	0.634	0.600
2	12.5	137	1.00	1.37	0.0912	17.5	1.59	1.16	0.809	1.74
3	12.4				0.0905	18.4	2.13	1.55	1.18	4.00
4	13.1				0.0740	16.5	1.12	0.758	0.583	0.536
5	13.1	177	1.20	1.47	0.0740	17.5	1.32	0.893	0.857	3.38
6	12.7				0.0718	18.4	1.77	1.20	0.900	1.74
7	14.9				0.0693	16.5	1.14	0.738	0.762	1.72
8	14.5	215	1.40	1.53	0.0674	17.5	1.30	0.846	0.559	0.540
9	14.2				0.0660	18.4	1.67	1.09	0.978	3.04

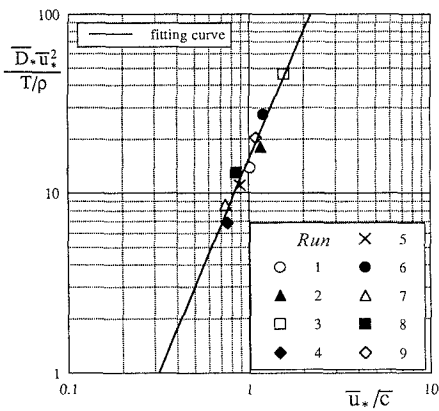


図-2 $\bar{D}_*$ の定量化

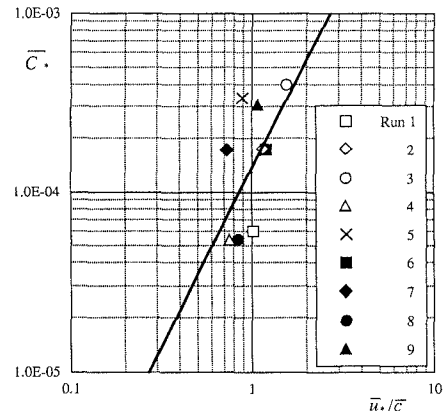


図-3 C_* の $\bar{u}_*/\bar{c}$ 依存性

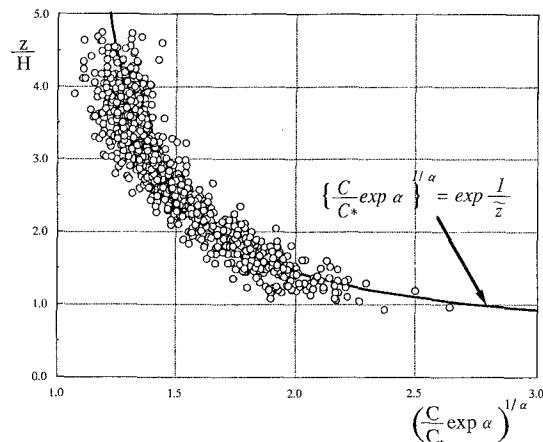


図-4 しぶき濃度分布の経験式とその適合性