

強風下の碎波帯から発生するしぶきの粒径分布について (第2報)

日本文理大学 工学部 学生員○岸岡賢祐 正員 樋田 操
九州大学大学院総理工 学生員 嶋崎賢一 正員 松永信博

1. はじめに

沿岸海域で発生したしぶきが強風によって輸送される過程において、しぶきの沈降速度はしぶきの輸送量を決定する重要なパラメータの一つである。しぶきの沈降速度はその粒径に依存するため、粒径の空間分布を明らかにすることがしぶきの沈降速度に関する知見を与えることになる。本研究では輸送されるしぶきの粒径の鉛直分布を雨滴紙を用いた実験から評価し、しぶき濃度の解析解を測定結果に適合させることによりしぶきの粒径を算定している。

2. 実験装置および実験条件

実験には、長さ32m、高さ0.94m、幅0.6mの風洞付造波水槽を用いた(図-1参照)。水槽一端には消波のために斜板を設置し、水深30cmに固定した。造波板によって造られた二次元規則波上に風を作用させることにより風洞内全域にわたって白波を発生させた。pos.1からpos.9までの9測定点で風速およびしぶき量の鉛直分布を求めた¹⁾。実験条件を表-1に示す。 U_m は断面平均風速で、水表面に作用するまさつ速度 u_* は平均風速分布に対数則を当てはめることにより求めた。形成された波の波高Hおよび波長Lもpos.1から9において測定された。測定されたこれらの測定量は風下方向にほとんど変化せず一様であったため、表-1では風下方向に平均した量として一を付けて示している。Tおよびcはそれぞれ風下方向に平均された波の周期と波速である。 D_* および C_* については後節で言及することとする。雨滴紙を用いたしぶきの粒径分布の測定はpos.5($x=17.4m$)とpos.8($x=22.8m$)において行われたが、しぶき痕の直径を読み取ることができる4つのケースについて解析を行った。しぶきの粒径分布の測定方法に関する詳細は前報²⁾を参照された。

3. 実験結果および考察

白波碎波が風下方向に一様に発生する場合、飛沫濃度Cの風下方向の変化は鉛直方向の変化に比べて極めて小さく、しぶき濃度は鉛直方向の乱流拡散フラックスと沈降フラックスが釣り合った式

$$\frac{\partial}{\partial z}(w_0 C) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial C}{\partial z}\right) = 0 \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 w_0 ：粒子の沈降速度、K：乱流拡散係数、z：鉛直上向きに取った座標である。 $z=\infty$ で鉛直フラックスが0という境界条件を用いて、(1)式をHからzまで積分すると

$$C = C_* \exp \int_1^{\tilde{z}} -\frac{w_0}{K} d\tilde{z} \quad \left(\tilde{z} = \frac{z}{H}\right) \quad (2)$$

を得る。ここで、 C_* は $\tilde{z}=1.0$ におけるしぶき濃度である。このように、しぶき濃度の鉛直分布は沈降速度と拡散係数によって決定される。以下では、しぶきの沈降速度 w_0 の鉛直分布について検討する。図-2に直径5.0cmの雨滴紙によって得られたしぶき痕の一例を示す。tは曝露時間である。このようなしぶき痕から平均径 D_s を求め、 z/H に対してプロットしたものが図-3である。この図から D_s は近似的に z/H の $-2/3$ 乗に比例して高さとともに減少することがわかる。

佐粧他³⁾は雨滴紙による雨滴痕径 D_s と雨滴直径Dとの関係を実験的に求め経験式を提案している(図-4参照)。彼らが提案した経験式は雨滴の粒径範囲に応じて2つに分けられるが、その両者にはそれ程大きな違いはなく、実線で近似される関係式 $D \propto D_s^{2/3}$ が成立するとみなされる。図-3の結果を考慮することにより

$$D = D_* (z/H)^{-1} \quad (3)$$

を経験的に得る。ここで、 D_* は $z=H$ におけるしぶきの粒径である。雨滴粒子の沈降速度 w_0 と粒径Dとの関係についてはBestの経験式⁴⁾およびいくつかの実験結果⁵⁾、6)が報告されている。それらの結果を図-5に示す。Bestの経験式は実験結果を十分よく近似しており、今回の実験においてしぶきの粒径Dは0.25mmから0.7mmの範囲にあることから

$$w_0 = 6.67 D \quad (4)$$

と近似できる。ここで、係数は $m/mm \cdot s$ の次元をもつことに注意する。従って、しぶきの沈降速度のz依存性は

$$w_0 = 6.67 D_* (z/H)^{-1} \quad (5)$$

で与えられることとなる。(5)式を(2)式に代入し $K = \kappa u_* z$ ($\kappa = 0.4$)を用いると濃度分布として

$$C = \frac{C_*}{\exp \alpha} \exp \frac{\alpha}{z} \quad (6)$$

を得る。ここで C_* は $z=H$ におけるしぶき濃度であり $\alpha = 6.67 D_*/\kappa u_*$ である。9種類の実験で得られたしぶき濃度の鉛直分布に(6)式を適合させることにより C_* と α を求めることが可能である。図-6は、そのようにして求めた α から D_* を算定し表面張力T、水の密度 ρ 、とを用いて $\bar{u}_*$ を用いて無次元化し波風係数 $\bar{u}_*/c$ に対してプロットしたものである。このグラフから無次元化された D_* の値は波風係数の約2.5乗に比例して増大することがわかる。

〔参考文献〕

- 1) 松永他：海岸工学論文集，42，(1995)
- 2) 西川他：土木学会西部支部研究発表会概要集 (1995)
- 3) 佐粧他：「天気」，37 (1)，(1990)
- 4) Best, A. C. : Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 76 (1950)
- 5) 藤間他：電波研究所季報 vol. 28, No. 147 (1982)
- 6) 村本他：電子情報通信学会春季全国大会発表 (1990)

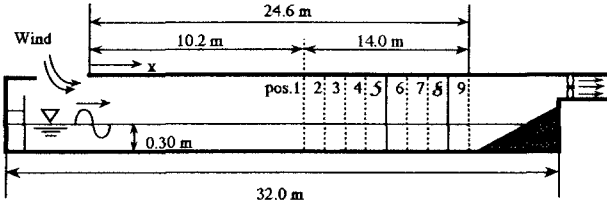


図-1 実験装置概要図

表-1 実験条件及び代表諸量

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

図-2

しぶき痕の一例

(Run 5, Pos. 8)

$z/H=1.4$, $t=1.1s$

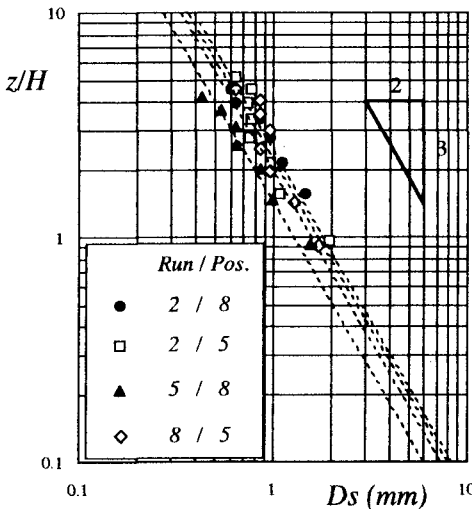
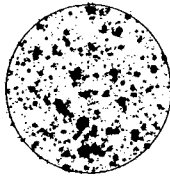


図-3 D_s の鉛直分布

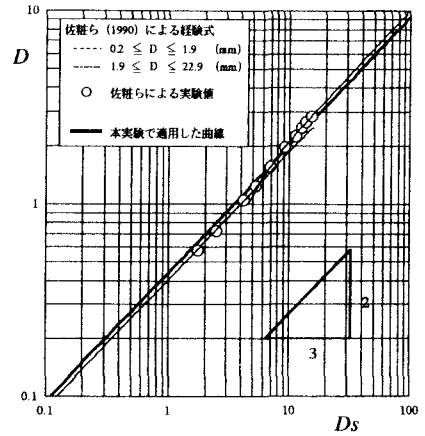


図-4 D_s と D の関係

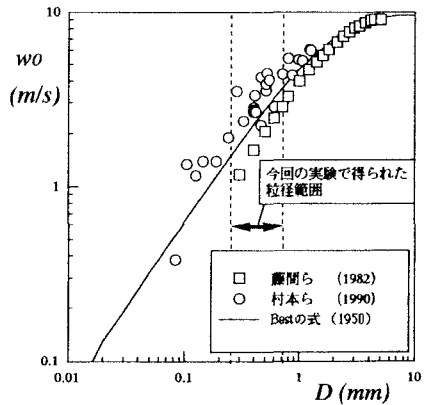


図-5 w_0 と D の関係

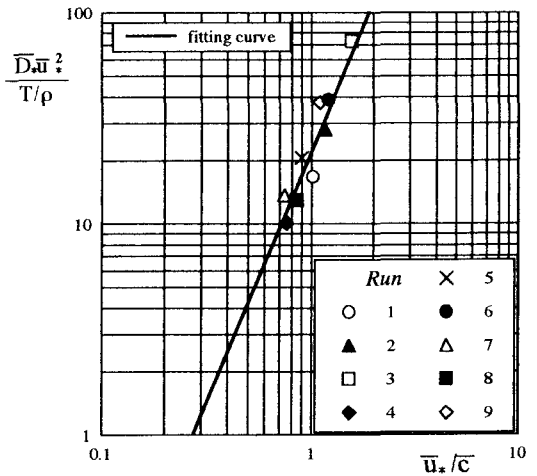


図-6 無次元 $\bar{D}_*$ と $\bar{u}_*/\bar{C}$ の関係