

強風下の砕波帯から発生するしぶきの粒径分布について

日本文理大学 学生員○西川 剛 正 員 樋田 操
九州大学大学院総理工 正 員 松永 信博 学生員 鶴崎 賢一

1. はじめに

強風下において沿岸域から発生する海水や海塩粒子の飛散・輸送プロセスを解明することは、大気環境保全の立場から最近注目されるテーマとなっている。砕波帯における飛沫の発生やその陸域への輸送機構について、いくつかの実験や観測が行われている。しかしながら、そのような場において重要なfactorとなる拡散係数を、波や風といった諸条件と関係付けて推定した研究は極めて少ない。

本研究は、強風下の砕波帯を想定した実験を行い、発生するしぶきの粒径分布を推定した。さらに粒子の沈降速度を算定し、場の拡散係数について検討した。

2. 実験装置および実験方法

本実験で用いた風洞付き二次元造波水槽は、文献1)で示されたものと同じものである。実験条件を表-1に示す。表中のパラメーターについても文献1)と同じ表記を用いているので、実験装置とともに詳細はそちらを参照されたい。しぶきの粒径を評価するために雨滴紙を用いた。雨滴紙は、アニリン・ブルー粉末をベンジンに溶解させ、その溶液をろ紙に吹付けることにより作成した。しぶきが雨滴紙に付着すると、しぶき痕として雨滴紙は白色から青色に変わる。この雨滴紙を、任意の時間で開閉できるシャッターのついた装置に貼り付け、風洞内に挿入した。この装置は、予め7cmの間隔で直径5.0cmの円形の穴をくりぬき、シャッターを開くことによりその穴を通過したしぶきが雨滴紙を変色させる仕組みになっている。雨滴紙は、空気取込み口から風下側15.6mの位置にセットされた。

3. 実験結果および考察

写真-1に、最下点を除く下部3点におけるしぶき痕の分布状況を示す。tは雨滴紙をしぶきを含んだ風に露出させた時間である。雨滴紙の横の数字は平均水面($z=0$ cm)からの高さを示す。この写真から、しぶきの粒径が鉛直方向に減少していくこと、そして風速の増加に伴ってしぶき量が増加することがわかる。まず各位置における平均的なしぶき痕の直径を決め、その直径以上のしぶきの個数を数え、単位面積・単位時間あたりの衝突個数 n (個/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)を算出した。つぎに、弓指ら¹⁾によって得られたたれた各高さにおけるしぶき量 q ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)を用い、しぶきの粒子が球形であると仮定して粒径 D (mm)を $D = 10 \sqrt[3]{6q/n\rho}$ から求めた。Dの鉛直分布を図-1に示す。H(cm)は波高である。これによると、しぶきの粒径Dは鉛直上向きに z の-1乗に比例し

て減少することが判る。また、今回の実験において発生したしぶきの粒径は2.0 mm から 0.25 mm の範囲にあることが判る。図-1の各 $\bar{u}^*/C_0$ のデータから、 $z=H/2$ における粒径 D_0 を読み取り、 $\bar{u}^*/C_0$ に対してプロットしたものが図-2である。これによると、 $\bar{u}^*/C_0$ が増加するに従って、 D_0 も線型的に増加する傾向がみられる。つまり、海面の摩擦速度の増加につれ発生するしぶきの粒径も増加することがわかる。図-3は粒子の沈降速度 w_0 と粒径 D との関係について、Bestの経験式³⁾

$$w_0(\text{m/s}) = 9.58 \left\{ 1 - \exp(-D/1.77) \right\}^{1.147} \quad (1)$$

および既存の実験結果^{4), 5)}をプロットしたものである。Bestが提案した経験式は他の二人のデータの中間的な値をとる。Bestの経験式によると、本実験で得られた粒径の範囲では、 w_0 はほぼ D に比例することが判る。しぶきの粒径が鉛直上方向に向かうにつれ線型的に減少すること、また今回の実験で発生したしぶきの粒径範囲では $w_0 \propto D$ という関係が成立することを考慮すると、しぶきの沈降速度は z^{-1} に比例して減少することになる。このBestの経験式を図-3から近似的に $w_0(\text{m/s}) = 6.67 D$ と読み、 D (mm) = $D_0 (z/H)^{-1}$ を代入すると、

$$w_0(\text{m/s}) = 6.67 D_0 \left(\frac{z}{H/2} \right)^{-1} \quad (2)$$

となる。弓指ら¹⁾の結果は、水平方向のしぶき量の変化は鉛直方向のそれに比べて非常に小さいことを示している。従って水平方向のしぶき濃度の変化を無視し、鉛直方向の平均風速は充分小さいと仮定すると、しぶき濃度 C は拡散と沈降が釣り合った形で次式のように表わされる。

$$\frac{\partial}{\partial z}(Cw_0) + \frac{\partial}{\partial z}(K \frac{\partial C}{\partial z}) = 0 \quad (3)$$

(3)式はまた、 $z \rightarrow \infty$ 鉛直方向の濃度fluxが0であることを用いて以下のように書き換えられる。

$$\frac{\partial C}{\partial z} + \frac{w_0 C}{K} = 0 \quad (4)$$

弓指ら¹⁾が示したの結果 $C \propto z^{-4}$ を用いれば、(4)式から $w_0/K = 4/z$ となる。 w_0 に対し(2)式を用いると、拡散係数 K は次式のように表わすことができ、鉛直方向に一定値をとることになる。

$$K (\text{m}^2/\text{s}) = \frac{6.67 D_0 H}{8} \times 10^{-2} \quad (5)$$

今回行った実験で得られた D_0 と H を用いると、Run 1 ~ 4の乱流拡散係数はそれぞれ $K = 0.400, 0.306, 0.345, 0.300 (\text{m}^2/\text{s})$ となる。

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 誠君、山崎 聡君、堤 憲幸君に心から感謝します。

参考文献)

- 1) 弓指ら：土木学会西部支部研究発表会概要集（1995）
- 2) 吉田ら：土木学会西部支部研究発表会概要集（1995）
- 3) Best,A.C.: Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 76（1950）
- 4) 藤間ら：電波研究所季報vol.28.No.147（1982）
- 5) 村本ら：電子情報通信学会春期全国大会発表集（1990）

表-1 実験条件および代表諸量

Run	H (cm)	L (cm)	T (s)	C ₀ (m/s)	U _m (m/s)	u* (m/s)	H / L	u*/C ₀
1	10.2	137	1.00	1.56	16.5	1.39	0.0744	0.891
2	9.19	177	1.20	1.87	16.5	1.12	0.0519	0.597
3	10.6	215	1.40	2.18	17.5	1.32	0.0490	0.703
4					16.5	1.14		0.520

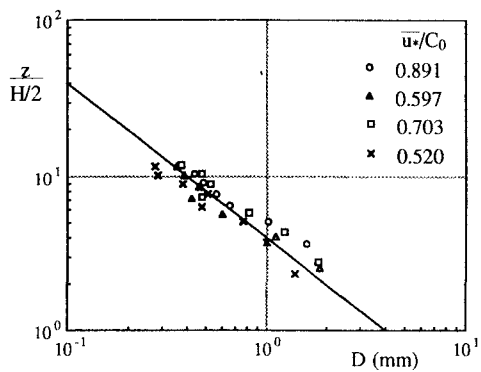


図-1 鉛直粒径分布

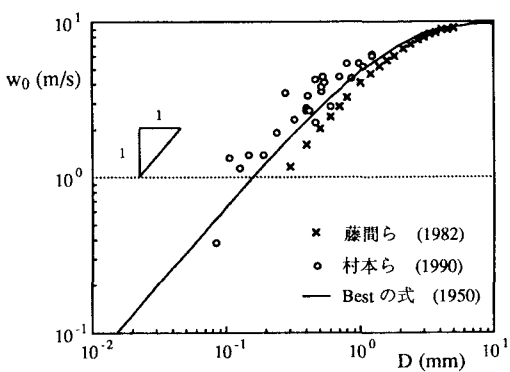


図-3 沈降速度 w_0 と粒径 D に関する経験式と各実験値

しぶき粒径分布

$$H/L = 0.0519$$

$$Um = 16.5 \text{ m/s} \quad Um = 17.5 \text{ m/s}$$

$$t = 1.17 \text{ s} \quad t = 0.86 \text{ s}$$

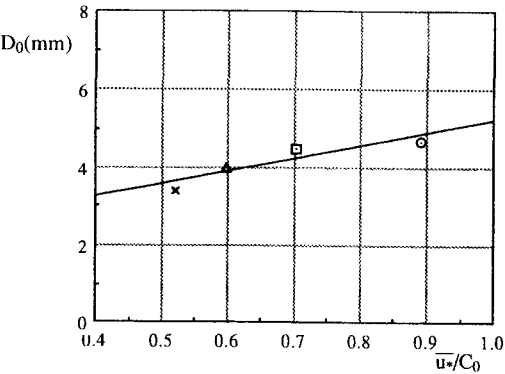


図-2 波頂における粒径 D_0 と無次元摩擦速度 u^*/C_0 との関係

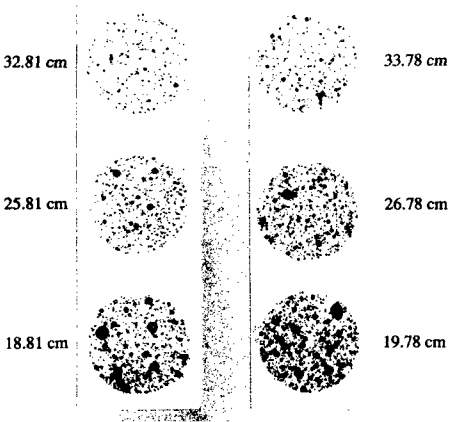


写真-1