

II-442

強風を伴う巻き波型碎波によるしぶきの飛散量

九州大学大学院総合理工学研究科 学生員 水井宏征
九州大学大学院総合理工学研究科 正 員 松永信博
日本文理大学工学部 正 員 樋田操

1. はじめに

1991年7月から9月にかけて、九州及び西中国地方を襲った台風は、沿岸部を中心に農作物の収穫不良や4日以上に及ぶ停電等、大きな塩害をもたらした。これまで、現地における塩害やしぶきの飛散に関する観測及び調査結果が2, 3報告されている。しかし風速としぶきの飛散分布との関係を、理論と実験により系統的に調べた研究は極めて少ない。本研究は、一様勾配斜面上に二次元規則波を入射させて巻き波型碎波を生じさせ、同時に水表面に風を吹かせた。そして、碎波点から岸側に発生するしぶきの飛散状況を観察し、飛散量の定量的評価を行った。また、しぶきの濃度 C の理論解を求め、実験値と比較・検討した。

2. 実験について

実験では、長さ35m、幅0.6m、高さ0.94mの矩形断面の水路上部に直径0.73mの半円形ドームを取り付けた吸い込み式風洞を有する二次元造波水槽を用いた。図-1はその概要を示す。底面勾配を1/30に、水深を0.512mに設定した。この斜面上に沖波波高 $H_0=14.7\text{cm}$ 、沖波波長 $L_0=7.69\text{m}$ ($H_0/L_0=0.0191$)の二次元規則波を入射させて、巻き波型碎波が定常的に発生する状態で風を吹かせた。風速は風洞出口での断面平均風速を、11.0m/s(RUN1), 15.0m/s(RUN2), 17.5m/s(RUN3)の3種類とした。そして、巻き波型碎波による単位時間・単位面積当たりのしぶき量 q ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)、すなわち濃度flux: CU (C :濃度(g/cm^3), U :測定位置の断面平均風速)を測定し、鉛直分布を求めた。しぶき量の測定位置は、風の吸い込み口から風下方向へ1.2m毎に9断面 ($P1 \sim P9$)とした。

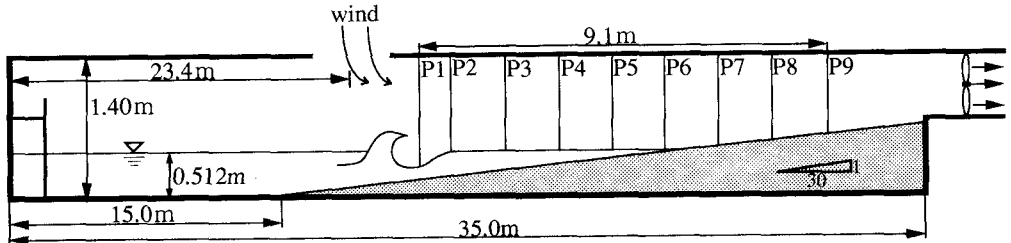


図-1 実験装置

3. 実験結果と考察

しぶきは風下方向と鉛直方向に拡散するが、しぶきの供給源は、碎波の突っ込み点における一ヶ所のみであるため風下方向に進ほど沈降する。そのため、いずれの方向にもしぶき量は減少する。図-2は、しぶきの濃度 C (g/cm^3)と、波頂高さからの鉛直距離 Z (cm)との関係を風速が11.0m/s(RUN1)の場合について、碎波突っ込み点からの水平距離をパラメーターとして示したものである。濃度 C はしぶき量 CU の測定結果から、各測定位置の断面平均風速 U を用いて求めたものである。図から明らかな様に、巻き波型碎波によるしぶきの濃度は、風下方向及び鉛直方向に急激に減少していることがわかる。しかも濃度の鉛直方向の減少率は、測定位置に依存せずほぼ一定であることがわかる。このことは、濃度 C は高さと共に指数関数的に減少することを意味する。この場合、しぶきの濃度を規定する式は、

$$U \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial (v_0 C)}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(D \frac{\partial C}{\partial Z} \right) \dots (1)$$

で表わされる。ここで、 U ：風速、 v_0 ：しぶきの沈降速度、 D ：しぶきの拡散係数である。第一近似として、 U 、 v_0 、 D は一定であると仮定すると、（1）式は、

$$U \frac{\partial C}{\partial x} - v_0 \frac{\partial C}{\partial Z} = D \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \quad \dots (2)$$

となる。ここで、 $C = C^* f_1(\tilde{x}) g_1(\tilde{Z})$ 、 $B(x) = B^* f_2(\tilde{x})$ 、 $\tilde{x} = x/l$ 、 $\tilde{Z} = Z/B(x)$ （ C^* ：波頂高さにおけるしぶきの濃度、 B^* ： C^* が $1/e$ 減少する高さ、 x ：吹送距離、 l ： x 方向の代表長さ）で表わされると仮定し、（2）式を無次元化する。さらに、 C は $\tilde{Z}$ に比例して減少することから、 $g_1(\tilde{Z}) = e^{-\tilde{Z}}$ を代入すると、

$$\frac{UB^*}{lD} \left\{ \frac{df_1(\tilde{x})}{d\tilde{x}} + \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2(\tilde{x})} \frac{df_2(\tilde{x})}{d\tilde{x}} \right\} + \frac{v_0 B^*}{D} \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2(\tilde{x})} = \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2^2(\tilde{x})} \quad \dots (3)$$

となる。この方程式が成立するためには $\tilde{Z}$ の係数、つまり $\frac{df_2(\tilde{x})}{d\tilde{x}} = 0$ であることが必要となる。ここで、 $f_2(0) = 1$ より、 $f_2(\tilde{x}) = 1$ となる。故に（3）式は、

$$\frac{df_1(\tilde{x})}{d\tilde{x}} + a f_1(\tilde{x}) = 0, \quad \text{ただし、} a = \frac{l}{UB^*} (v_0 - \frac{D}{B^*}) \quad \dots (4)$$

で表わされる。 $a > 0$ のとき、 $f_1(\tilde{x})$ は減衰解をもち、 $f_1(\tilde{x}) = e^{-a\tilde{x}}$ で表わされるので、無次元しぶき濃度は、

$$\tilde{C} = e^{-a\tilde{x}} e^{-\tilde{Z}} \quad \dots (5)$$

で表わされる。

図-3は、しぶきの濃度の無次元量 $\tilde{C}$ と波頂高さからの鉛直距離の無次元量 $\tilde{Z}$ との関係を、風速をパラメータとして示したものである。図から明らかな様に、無次元量 $\tilde{C}$ と $\tilde{Z}$ との関係は、風速の相違に依存せず、一定となることがわかる。

図-4は、巻き波型碎波によるしぶきの飛散量の実験結果から求めた、 $B^* f_2(\tilde{x})$ と x との関係を、風洞出口での断面平均風速をパラメータとして示したものである。図から明らかな様に、 $B^* f_2(\tilde{x})$ の値は、 x に依存せずほぼ一定である。また、同じ位置では、風速が大きいほど $B^* f_2(\tilde{x})$ は大きく高くまで拡散することがわかる。

図-5は、同様にして、 $C^* f_1(\tilde{x})$ と x との関係を示したものである。図から明らかな様に、 $C^* f_1(\tilde{x})$ の値は、風下方向に指数関数的に減少している。また、同じ位置では、風速が大きいほど $C^* f_1(\tilde{x})$ は大きい。

〈参考文献〉

- (1) 藤巻隆一・植田操・松永信博・水井宏征：強風下における碎波としぶきの飛散形態について，平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.152～153，1993。
- (2) 石田 昭・花田昌彦・細井正延：飛沫の発生に関する実験的研究，第29回海講論文集，pp.385～388，1982。

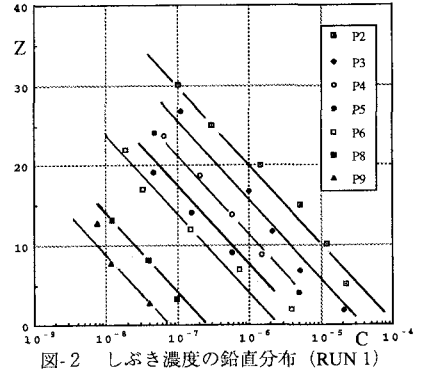


図-2 しぶき濃度の鉛直分布 (RUN 1)

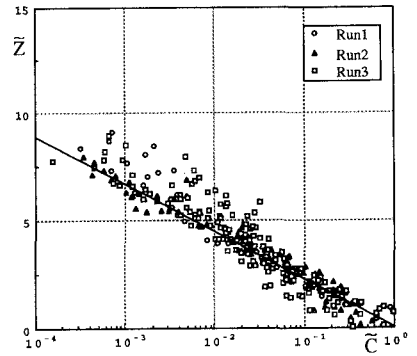


図-3 しぶき濃度の鉛直分布の普遍形

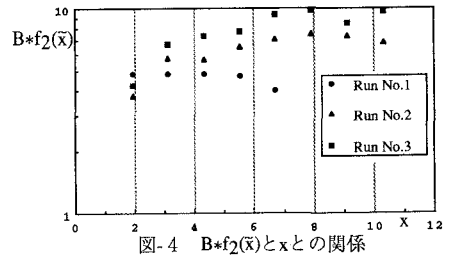


図-4 $B^* f_2(\tilde{x})$ と x との関係

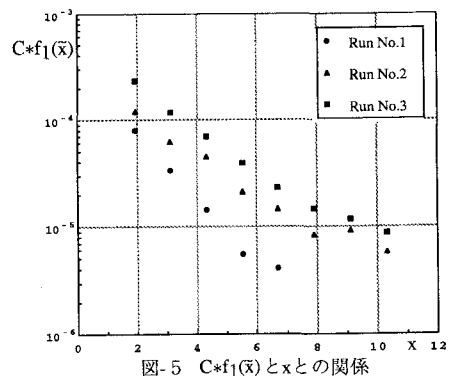


図-5 $C^* f_1(\tilde{x})$ と x との関係