

強風下における碎波としぶきの飛散形態について

日本文理大学 学生員 ○藤巻隆一 正 員 樋田 操
九州大学 正 員 松永信博 学生員 水井宏征

1. はじめに 強風を伴う碎波によって発生するしぶきの飛散量を実験的に検討した結果、しぶきの飛散形態は、巻き波型碎波と崩れ波型碎波とは全く異なることが明らかとなった^{1) 2)}。その理由として巻き波型碎波の場合は、しぶきの供給源が碎波突込み点の一箇所のみであるのに対して、崩れ波型碎波の場合は、碎波点から汀線までの区間に多数存在するためであると考えられる。本研究は、強風下における碎波によって発生するしぶきの濃度Cの理論解を、巻き波型碎波の場合と崩れ波型碎波の場合について求め、実験値と比較し、検討したものである。

2. 巻き波型碎波によるしぶきの濃度の理論的考察

巻き波型碎波に関する実験結果¹⁾によれば、碎波点から汀線までの区間において、しぶきの濃度Cの鉛直分布は、風下方向に急激に変化するとともに、波頂高さからの鉛直距離Zに対して、指数関数的に減少することが明らかとなった。この場合、しぶきの濃度を規定する式は

$$U \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial (V_0 C)}{\partial Z} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(D \frac{\partial C}{\partial Z} \right) \quad (1)$$

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1近似として、U、 V_0 、Dは一定であると仮定すると(1)式は、

$$U \frac{\partial C}{\partial x} - V_0 \frac{\partial C}{\partial Z} = D \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \quad (2)$$

となる。ここで、 $C = C^* f_1(\tilde{x}) g_1(\tilde{z})$, $B(x) = B^* f_2(\tilde{x})$, $\tilde{x} = x/l$, $\tilde{z} = Z/B(\tilde{x})$ (C : $\tilde{z}=0$ におけるしぶきの濃度、 B : C が1/2に減少する高さ、 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 $e^{-\tilde{z}}$ 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

$$\frac{UB^*}{lD} \left\{ \frac{df_1(\tilde{x})}{d\tilde{x}} - \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2(\tilde{x})} \frac{df_2(\tilde{x})}{d\tilde{x}} \right\} + \frac{V_0 B^*}{D} \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2(\tilde{x})} = \frac{f_1(\tilde{x})}{f_2(\tilde{x})} \quad (3)$$

となる。この方程式が成立するためには、 $\tilde{z}$ の係数が0、つまり $df_2(\tilde{x})/d\tilde{x} = 0$ 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

$$\frac{df_1(\tilde{x})}{d\tilde{x}} + a f_1(\tilde{x}) = 0, \text{ ただし、} a = \frac{l}{UB^*} \left(V_0 - \frac{D}{B^*} \right) \quad (4)$$

で表わされる。 $a > 0$ のとき、 $f_1(\tilde{x})$ は減衰解をもち、

$$f_1(\tilde{x}) = e^{-a\tilde{x}} \quad (5)$$

で表わされる。したがって、無次元しぶき濃度は、

$$\tilde{C} = e^{-a\tilde{x}} e^{-\tilde{z}} \quad (6)$$

で表わされる。図-1は、巻き波型碎波によるしぶきの飛散量の実験結果¹⁾から求めた、 $B^* f_2(x)$ 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ーとして示したものである。図から明らかな様に、 $B^* f_2(x)$ 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 $B^* f_2(x)$ は大きく高くまでしぶきが拡散することがわかる。 B^* で割ることにより、 $f_2(x) \approx 1.0$ となる。

図-2は、同様にして、 $C^* f_1(x)$ と x との関係を示したものである。図から明らかな様に、 $C^* f_1(x)$ 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 $C^* f_1(x)$ は大きい。

3. 崩れ波型碎波によるしぶきの濃度の理論的考察

崩れ波型碎波の実験結果²⁾によれば、碎波点から汀線までの区間において、しぶき量CU (C : しぶきの濃度、 U : 断面平均風速) およびしぶきの濃度Cの鉛直分布が風下方向に変化しないことが明らかになった。この場合、しぶきの濃度を規定する式は

$$\frac{\partial (V_0 C)}{\partial Z} + \frac{\partial}{\partial Z} \left(D \frac{\partial C}{\partial Z} \right) = 0 \quad (7)$$

となる。(7)式を積分し、 $z \rightarrow \infty$ で鉛直方向のfluxが0であることを用いれば、

$$\frac{\partial C}{\partial Z} + \frac{V_0}{D} C = 0 \quad (8)$$

となる。ここで、 $C = C^* f(\tilde{z})$, $V_0 = V^*(x)(1 + \tilde{z})^\alpha$,

$$D = D^*(x)(1 + \tilde{z})^\beta, \quad Z = \frac{D^*(x)}{V^*(x)} \tilde{z}$$

とおく。 $V^*(x)$ 、 $D^*(x)$ はそれぞれ $z=0$ における沈降速度と拡散係数である。しぶきの粒子は上方に行くほど小さくなるため、沈降速度も小さくなるので、 $\alpha < 0$ となる。拡散係数は上方に行くほど大きくなる傾向があるため $\beta > 0$ と考えられる。(8)式は

$$\frac{d\tilde{f}(\tilde{z})}{d\tilde{z}} + (1 + \tilde{z})^{-\gamma} \tilde{f}(\tilde{z}) = 0, \quad \gamma = -\alpha + \beta \quad (9)$$

となる。(9)式の解は、 $\tilde{z}=0$ において $\tilde{f}(0)=1$ であるから、無次元しぶき濃度 $\tilde{C}$ ($\equiv C/C^*$) は

$$\tilde{C} = \exp \left[\frac{1}{1-\gamma} \{ 1 - (1 + \tilde{z})^{1-\gamma} \} \right] \quad (10)$$

となる。 $\tilde{z} \rightarrow \infty$ で $\tilde{C} \rightarrow 0$ となるためには $0 < \gamma < 1$ の条件が必要である。

図-3は、(10)式において、 $\tilde{C}$ と $\tilde{z}$ との関係を $\gamma=0, 0.2, \dots, 0.8$ と変化させて示したものであり、また図-4は、 $\tilde{C}$ と $\tilde{z}$ との関係を実験値²⁾について示したものである。図-3および図-4から、全領域にわたって実験値と良く一致する理論曲線は $\gamma=0.4$ の場合である。実験で得られ

た $\tilde{C}$ と $\tilde{Z}$ との関係を両対数紙にプロットし、これに $\gamma=0.4$ における理論曲線をフィットさせることにより、各測定位置における C^* と $D^*(x)/V^*(x)$ の両方の値を求めた。

図-5は、 C^* と x との関係を示す。図から明らかな様に、 C^* の値は、汀線より岸側を除いてほぼ一定となり、 x に依存しないことが分かる。

図-6は $D^*(x)/V^*(x)$ と x との関係を示す。図から明らかな様に、 $D^*(x)/V^*(x)$ の値はほぼ一定であり、 x に依存しないことが分かる。

本研究は、文部省科学研究費補助金総合研究A（代表 入江 功 九州大学教授）の助成により行われたことを付記する。

参考文献

- 1) 井上宏昭・樋田 操・松永信博・水井宏征：強風を伴う巻き波型碎波によるしぶきの飛散量, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1993.
- 2) 廣瀬智彦・樋田 操・松永信博・水井宏征：強風を伴う崩れ波型碎波によるしぶきの飛散量, 平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1993.

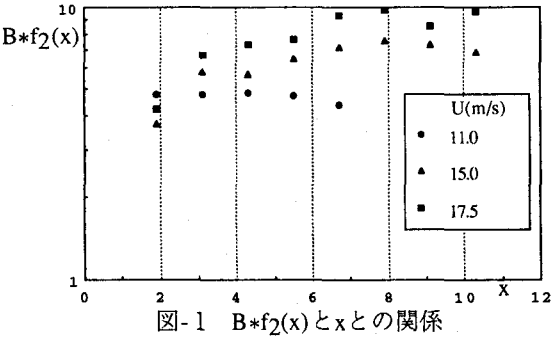


図-1 B*f2(x)とxとの関係

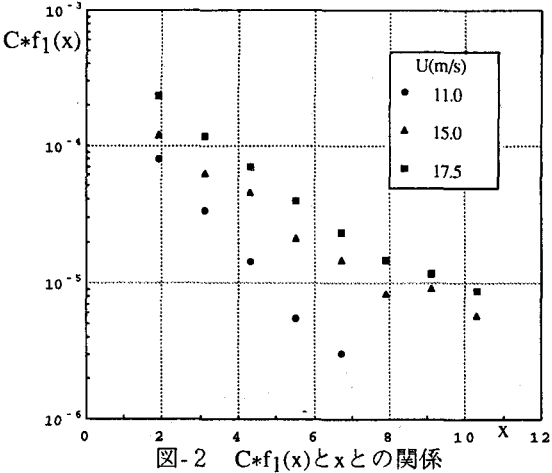


図-2 C*f1(x)とxとの関係

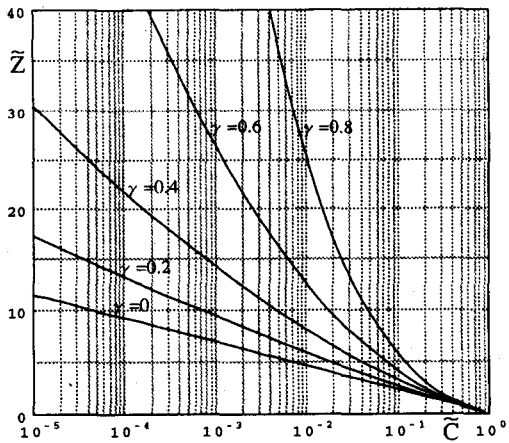


図-3 無次元しぶき濃度の鉛直分布（理論値）

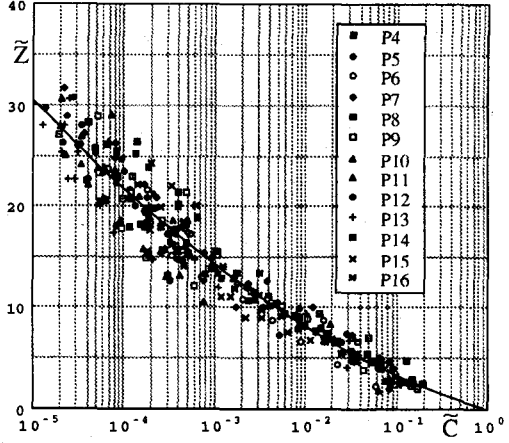


図-4 無次元しぶき濃度の鉛直分布（実験値）

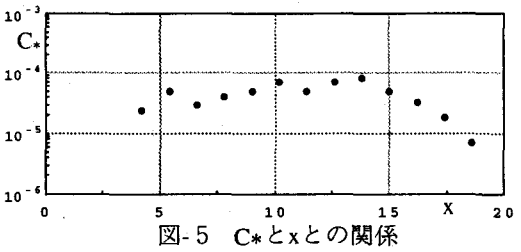


図-5 C*とxとの関係

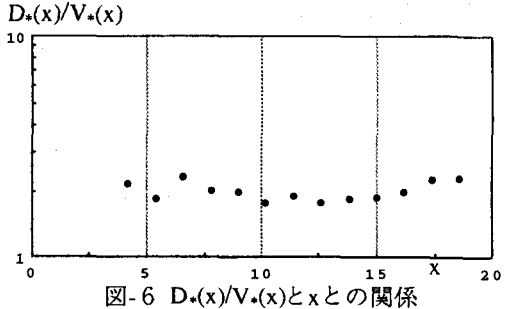


図-6 D*(x)/V*(x)とxとの関係