九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

強風による消波護岸からのしぶきの輸送

松永, 信博 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

櫨田, 操 日本文理大学工学部土木工学科

杉原,裕司 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

https://doi.org/10.15017/17415

出版情報:九州大学大学院総合理工学報告. 18(3), pp.269-274, 1996-12-01. 九州大学大学院総合理工 学研究科 バージョン:

権利関係:

強風による消波護岸からのしぶきの輸送

松 永 信 博*・櫨 田 操**・杉 原 裕 司* (平成8年9月12日 受理)

Transport of Spray from a Wave Absorbing Sea Wall by a Strong Wind

Nobuhiro MATSUNAGA, Misao HASHIDA and Yuji SUGIHARA

A landward transport process of spray generated from a wave absorbing sea wall under a strong wind has been investigated experimentally. Near the wall, the concentration of spray decays exponentially both in the leeward direction and in the upward direction. Its profiles are determined by the equilibrium between convection and sedimentation. The characteristic quantities of the profiles have been related to the experimental parameters.

1. 緒 言

我が国の沿岸域では台風や冬期季節風による災害が 頻繁に発生するため、その防災対策としてもっぱら波 浪・高潮災害対策や海岸侵食対策にエネルギーが注が れてきた。一方、1991年9月に九州および中国地方を 相次いで襲った台風9117号と9119号が沿岸部を中心に 甚大な塩害をもたらしたことは記憶に新しく、塩害対 策の重要性も認識され始めた¹⁾⁻³⁾。

Hayami & Toba⁴⁾や Toba^{5),6)}は,海水中に取り込ま れた気泡が破裂することによって発生する海塩粒子に ついて先駆的な研究を行った。また,鳥羽⁷⁾は海塩粒 子の発生機構や大気中の海塩粒子の分布等に関して詳 細な総合報告も行っている。最近の研究において,村 上ら⁸⁾は現地調査に基づいて砕波帯内における海塩粒 子の分布特性を調べ,海塩粒子の発生量と風の関係を 検討している。また,宇多ら⁹⁾や仲座ら¹⁰⁾は陸域にお ける海塩粒子の輸送モデルを提案している。松永ら¹¹⁾⁻¹³⁾ は崩れ波砕波,巻き波砕波,白波など種々の砕波から 発生するしぶき量と風応力との関係を実験的に調べて いる。しかしながら,海岸構造物と波の衝突によって 発生したしぶきが陸域へどのように輸送されるかにつ いて調査・研究された例は極めて少ない。

現在,高波浪が打ち寄せる海岸や港湾では,波のエ ネルギーを効率的に減衰させるために堤防・護岸や防 波堤の前面に異形ブロックを設置する工法が広く用い られている。この工法は消波工と呼ばれ,ブロック間 の空隙と粗度を利用して波浪エネルギーを減殺しよう というものである。このため多量の海水飛沫の発生を 伴う。特に暴風時に発生したしぶきは陸域の広範囲に わたって輸送され,塩害や潮風災害を引き起こす可能 性がある。このような問題を指摘し,遊水部付緩傾斜 消波工による潮風災害防止効果について調査した大木 らの先駆的研究⁴⁴は大変興味深いものである。

本研究は、大分県別府港に設置された標準的な断面 形状をもつ消波護岸を対象として、強風下において消 波護岸から発生したしぶきが陸域にどのように輸送さ れるかについて実験的に検討したものである。

2. 実験装置および実験方法

Fig. 1 において、今回の模型実験で対象とした大分 県別府港に設置されている消波護岸の断面を示す。現 地における設計波は、沖波周期 $T_0=5.5$ s、沖波波高 $H_0=2.5$ m である。実験には、長さ32m,幅0.6m,高 さ0.94mの水路上部に直径0.73mの半円ドームを取 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。

Fig. 2 に実験装置と護岸模型の概要を示す。模型の 縮尺は1/16とした。現地に施工されている消波ブロッ クは4t型テトラポッドの乱積みであるが、本研究で は4t型中空三角ブロックを1/16に縮小した模型の乱 積みとした。この護岸模型に対して二次元規則波を作



Fig. 1 Cross section of wave absorbing sea wall of Beppu Port

*大気海洋環境システム学専攻 **日本文理大学工学部土木工学科



Fig. 2 Schematic diagram of experimental set-up.

用させ、同時に強風を吹かせることにより消波護岸か ら発生するしぶき量を測定した。ここで便宜上、座標 軸を護岸背後から風下方向に x 軸, 鉛直上向きに z軸をとっている。しぶき量の測定位置は、原点から風 下方向に、1 m 毎に12断面 (x = 0 - 11m)とした。 各測定位置で、脱脂綿を詰めた直径 3 cm、深さ 5 cm の容器を鉛直方向に 5 cm 間隔で10~12個配列するこ とにより、単位時間・単位面積当りに輸送されるしぶ き量 $q(g/cm^2 \cdot s)$ の鉛直分布を求めた。しぶき濃度 は、空気の単位体積当りに占めるしぶきの体積と定義 し、 $C = q/\rho U_m$ から算定した。ここで、 ρ はしぶきの 密度、 U_m は陸域での断面平均風速である。

Table 1は、実験条件およびしぶき濃度分布の代表 量を示す。表中、*T*は波の周期、*L*₀は沖波波長、*C*₀ は沖波波速、*U*₀は水面上の断面平均風速である。*h*_c は静水面上の護岸天端高さで18.1cm に固定されてい る。しぶき濃度分布の代表量 *C*(0,0) および*l*につ いてはそれぞれ Fig. 7 と Fig. 4 の説明において定義 されている。護岸底面の海底勾配は 1/30 とし、護岸 法先水深を18cm、一様水深部の水深を34cm に固定し た。実験波の条件を現地に換算すると、Run 1,2,3 では *T*=5.5s、*H*₀=2.3m、Run 4,5 では *T*=4.8s、*H*₀ =1.9m となり、設計波と比較してやや小さい波高と なっている。

3. 実験結果および考察

3.1 しぶき濃度の鉛直分布

Fig. 3 は Run 1~Run 5 において得られたしぶき濃度の鉛直分布の風下方向の変化を示したものである。 全体として、しぶき濃度は鉛直方向に指数関数的に減少することがわかる。また、十分流下した所ではしぶき濃度は鉛直方向に一様となる傾向が認められる。この理由は、消波護岸近傍で発生したしぶきは粒径が大きく、沈降しながら風下方向に輸送されるためである。 一方、十分風下側では微細なしぶきのみが輸送され、しぶきの沈降が無視できるためである。すなわち、消波護岸付近の領域では、宇多ら⁹が指摘している様に、風によるしぶきの移流と沈降が釣り合った領域が形成するが、2の十分大きい所や十分流下した所では移流と拡散が釣り合った状態でしぶきが輸送されると考えられる。

Fig. 4 は、しぶき濃度の鉛直分布を摸式的に示し、 分布形を決定する代表量を定義している。ここで、 C(x, 0)は z=0におけるしぶき濃度、lはしぶき濃 度が鉛直方向に 1/eだけ減少する高さ、 $C_*(x)$ はし ぶき濃度が一定値に漸近する値、 z_* はしぶき濃度が $C_*(x)$ になる高さである。C(x, 0)の値は図中点線 で示すように指数関数的に減少する領域の分布に基づ いて外挿することによって求められている。Table 1 には、移流沈降領域における lの値を流下方向に平均 したものが示されている。風洞を用いた実験において は、 $C_*(x)$ や z_* の値は風洞高さに極めて強く依存 するものと考えられるため、本論文においてはそれら の定量化は検討されていない。

 Table 1
 Experimental parameters and characteristic quantities of spray concentration profiles.

	Experimental Parameters								Characteristic Quantities		
Run	T (s)	$H_0(cm)$	$L_0(cm)$	$C_0(m/s)$	U ₀ (m/s)	H ₀ /L ₀	U_0/C_0	h _c /H ₀	C(0,0)	l(cm)	<i>l</i> /hc
1	1.38	14.3	295	2.14	9.43	0.048	4.41	1.27	9.03E-5	7.52	0.42
2	1.38	14.3	295	2.14	13.1	0.048	6.12	1.27	8.58E-4	5.48	0.30
3	1.38	14.3	295	2.14	15.1	0.048	7.06	1.27	1.08E-3	5.28	0.29
4	1.20	11.7	225	1.88	13.1	0.052	6.97	1.55	6.01E-4	6.69	0.37
5	1.20	11.7	225	1.88	15.1	0.052	8.03	1.55	1.00E-3	5.96	0.33



Fig. 3 Leeward variation of vertical profiles of spray concentration



Fig. 4 Definition of characteristic quantities of spray concentration profiles.

3.2 しぶき濃度の定量化

宇多らの研究⁹によれば、移流沈降領域におけるし ぶき濃度 C(x, z) は、次式で表わされる。

$$C(x, z) = C(0, 0) \exp\left(-\frac{w_0}{U_m} \cdot \frac{x}{l}\right) \exp\left(-\frac{z}{l}\right) \qquad (1)$$

ここで, C(0, 0) は x=0, z=0 におけるしぶきの 濃度, w_0 はしぶきの沈降速度である。また前述した ように, $C_*(x)$ については考慮されていない。しぶ き濃度の鉛直分布を,各測定位置での*C*(*x*,0)と*l* を用いて無次元化を行い,各実験について*x*をパラ メータとして示したものが **Fig.5** である。図中の直 線は,

$$\frac{C(x, z)}{C(x, 0)} = \exp\left(-\frac{z}{l}\right)$$
(2)

である。全体として,実験データは(2)式にほぼ一 致していることがわかる。これらの図において,(2) 式より下方にあるデータは護岸近傍のデータである。 これは, Fig. 3 からわかる様に,護岸近傍ではしぶき 濃度が z=20cm の高さまでほぼ一様な値をとるため である。(2)式より上方に出ているデータは,zが十 分大きい所や十分流下したところの値であり,沈降性 の小さい微細なしぶきが輸送されている領域である。

Fig. 6 では,代表高さ *l* としぶき吹送距離 *x* との 関係を各実験について示す。データにばらつきがある 様に見えるが, *x* 方向に11m 流下する間に *l* の変化は 5cm 程度であり,*l* は風下方向にほぼ一様とみなすこ とができる。

Fig. 7 は, *C* (*x*, 0)の風下方向への変化を示す。*C* (*x*, 0)の値は,風下方向に指数関数的に減少するが,



Fig 5 Dimensionless profiles of spray concentration



Fig 5 Dimensionless profiles of spray concentration

ある程度流下すると一定値に漸近することがわかる。 (1) 式からわかるように C(x, 0) の値が風下方向に 指数関数的に減少する領域がしぶきの移流と沈降がつ り合って輸送される領域である。従って,今回の模型 実験においては $x \le 6m - 7m$ の範囲が移流沈降領域と 考えられる。風速が大きくなるほど C(x, 0)の x方 向の減少率は小さくなり,一定値に漸近する C(x, 0)の値は大きくなることがわかる。また,風速が同じ である Run 2と Run 4,および Run 3 と Run 5 を比 較すると, C(x, 0)の x方向の変化は,沖波波形勾 配 H_0/L_0 にあまり依存しないようである。Table 1 に 示す C(0, 0)の値は, Fig. 7 から, x=0m での C(x, 0)の値を読み取ったものである。

Fig. 8 は, *C* (*x*, 0) を相対天端高 h_c/H_0 をパラ メータとして, U_0/C_0 に対してプロットしたものであ る。 h_c/H_0 が小さい方が *C* (0, 0) は大きく, 発生する しぶき量が多いことがわかる。また, 風速が大きくな るほど *C* (0, 0) は増加することがわかる。(1) 式に おいて, z=0とおくことにより,次式を得る。

$$C(x, 0) = C(0, 0) \exp\left(-\frac{w_0}{U_m} \cdot \frac{x}{l}\right)$$
(3)

この場合, $-w_0/U_m l$ は Fig. 7 の移流沈降領域の直線 の傾きとして求められる。従って, lの値として Table 1 の平均値を用いることにより w_0/U_m の大ま かな値を推定することができる。Fig. 9 は, このよう にして求めた w_0/U_m の値を H_0/L_0 をパラメータとし て U_m/C_0 に対してプロットしたものである。 w_0/U_m は,風速が大きくなるにつれて線形的に小さくなる。 一方, H_0/L_0 が大きいほど w_0/U_m は大きくなる傾向 が認められる。





Fig. 10 は、移流沈降領域における流下方向の lの 平均値(**Table. 1** を参照)を h_c で無次元化した値 l/h_c と U_m/C_0 との関係を示す。 l/h_c の値は、 U_m/C_0 に依存せずほぼ一定であることがわかる。

4. 結 語

強風下において消波護岸から発生するしぶきの陸域 への輸送過程に関する実験を行った。得られた成果は, 以下のように要約される。



Fig. 9 Relationship between w_0/U_m and U_m/C_0

(1) 消波護岸付近の領域では、風によるしぶきの 移流と沈降が釣り合った移流沈降領域が形成される。 鉛直方向に十分高い所や風下方向に十分流下した所で は、しぶきは微細粒子となり、流体粒子の移流と拡散 が釣り合ってしぶきが輸送される。

(2) 消波護岸における,沖波,風速,潮位の条件 が与えられると,移流沈降領域における任意の位置で のしぶき濃度は, Fig. 8, 9, 10 と(1) 式から算定さ れる。

今回の実験におけるパラメータの範囲は非常に狭く、 しぶきの濃度分布に関する定量化が十分なされたとは 言い難い。今後、さらに広範囲の条件下で実験を行う と同時に、風下側におけるしぶき濃度を決定する代表 量 $C_*(x)$ と z_* に関する定量化を現地計測を通して 試みたい。

謝辞:本研究を行うにあたり、平成6年度総理工奨励 研究費の援助をいただきました。ここに記し、謝意を 表わします。また、本論文を作成するにあたり九州大 学大学院総合理工学研究科修士課程川上裕史氏ならび に研究補助員有墨康子氏に多大な御助力をいただきま したことを感謝いたします。



Fig. 10 Relationship between l/hc and U_m/C_0



- 1) 目黑公郎, 永田茂, 立川貴重, 片山恒雄, 生産研究, 44, 194 (1992).
- 田中正昭,鳥羽良明,京都大学防災研究所年報,36, 103 (1993).
- 3)入江功,平成4~5年度科学研究費補助金総合研究(A)研究成果報告書 (1994).
- 4) S. Hayami and Y. Toba, J. Oceanogr. Soc. Japan, 14, 145 (1958).
- 5) Y. Toba, J. Oceanogr. Soc. Japan, 15, 121 (1959).
- 6) Y. Toba, Mem. College of Sci., Univ. of Kyoto, 29, 313 (1961).
- 7) 鳥羽良明,海と空,41,71 (1966).
- 8) 村上和男,加藤一正,清水勝義,福田真人,宮崎啓司, 海岸工学論文集, **39**, 1046 (1992).
- 9) 宇多高明,小俣篤,小西正純,海岸工学論文集, **39**, 1051 (1992).
- 10) 仲座栄三,津嘉山正光,山路功祐,日野幹雄,海岸工学 論文集,40,1036 (1993).
- N. Matsunaga, M. Hashida, H. Mizui and Y. Sugihara, Proc. 24 th Int. Conf. on Coastal Engng, 219 (1994).
- 12) 松永信博, 櫨田操, 杉原裕司, 九州大学大学院総合理工 学研究科報告, 16, 353 (1994).
- 13) 松永信博, 櫨田操, 鵜崎賢一, 海岸工学論文集, 42, 1031 (1995).
- 14) 大木喜久朗,橋田望,吉井勝彦,黒川忠良,杉浦国男, 第34回海岸工学講演会論文集,526 (1987).