

冬期季節風下において消波護岸から発生した 海水飛沫の陸域への輸送に関する現地観測

松永信博¹・児玉真史²・樋田操³・香月理⁴

¹正会員 工博 九州大学助教授 大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6丁目-1)

²学生員 九州大学大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6丁目-1)

³正会員 工博 日本文理大学教授 工学部土木工学科 (〒870-0397 大分市大字一木 1727)

⁴正会員 九州電力株式会社総合研究所 (〒815-0083 福岡市高宮5丁目)

冬期季節風によって消波護岸から発生した海水飛沫の陸域への輸送プロセスを明らかにするために、現地計測を日本海に面した埋立地で行なった。強風によって輸送される塩分量と降塩量は消波護岸付近で指数関数的に減少し、その減少率は地上10mにおける平均風速 U_{10} が増加するにつれて大きくなることを示した。総塩分輸送量と降塩量を規格化・定量化する上で、 U_{10} と重力加速度 g を用いて輸送距離を無次元化し、代表量として無次元輸送距離 \bar{l} が25における総塩分輸送量 Q_{25} と降塩量 S_{25} を導入した。これらの代表量を用いて規格化された総塩分輸送量と降塩量の流下方向分布、はほぼ普遍的に表された。また、この規格化により、季節風による降塩量の流下方向分布と大規模な塩害を引き起こした9117号台風による降塩量分布を一つの関係で表すことができた。

Key Words: sea salt particle, winter monsoon, wave absorbing seawall

1. 緒論

1991年9月に連続して九州、西中国地方を襲った大型台風9117号と9119号は、広範囲にわたって甚大な塩害を引き起こした。九州各地で観測されたT9117号の最大瞬間風速は36.0~57.4m/s、T9119号は41.5~58.9m/sであった。図-1にT9117号とT9119号の進路を示す。進路上の数字は中心気圧で、単位はhPaである。特に、T9119号は約100km/hの速度で、50m/s以上の最大瞬間風速を保ったまま北海道まで達した。降雨量が少なかったことに加え、高潮も発生したことから、西日本広域にわたって、塩害による農作物の被害と未曾有の停電被害をもたらした^{1), 2)}。停電率は、沖縄12%、九州56%、中国65%、四国13%、関西3%、北陸30%、東北16%であったと報告されている。T9119号による4日以上にも及ぶ塩害停電を機として、各電力会社では耐塩設計基準を改正し、対策が強化された。田中・鳥羽³⁾は、中国地方を中心にT9119号による塩害と内陸への塩分輸送量について調査を行なった。その結果、広島県にもたらされた総降塩量は $0.4\text{mg}/\text{cm}^2$ 程度と推定され、広島県の年間総降塩量のほぼ1/5に当たることが明らかとなった。

佐賀県小城農業改良普及所は、六角川に沿った芦刈町の水田を対象にT9117号による稲穂の塩分付着量の調査を行なった。戸原・藤本⁴⁾は、これらのデータを使って単位面積あたりの降塩量を求め、有明海岸からの距離に対してその値をプロットしている。地形から見て、有明海から佐賀平野に向けて多量の海水飛沫が輸送されるためには、南東から南南東の強風が吹かなければならない。台風T9117号は9月14日早朝長崎市に上陸したが、戸原・藤本も指摘しているように、当時南東から南南東の風が吹いた時間は午前6時から7時のわずか1時間であった。このことを考慮して戸原・藤本が評価した単位面積当たりの総降塩量を1時間で割って単位面積・単位時間当たりの降塩量を求め、有明海岸からの距離に対してプロットしたものが図-2である。ここで、T9117号が長崎に上陸して後、佐賀平野周辺ではほとんど降雨は無く、大型の風台風であったことを付記しておく。沿岸域2km以内は $10^{-4}\text{mg}/\text{cm}^2$ 規模の非常に大きな降塩量があったことが判る。1991年の塩害災害を契機に、入江を代表とする研究グループ⁵⁾もT9117号とT9119号による被害調査を九州全域にわたって行い、暴風時に自然海浜や人工構造物から発生する塩分輸送量を系統的に調査する必要

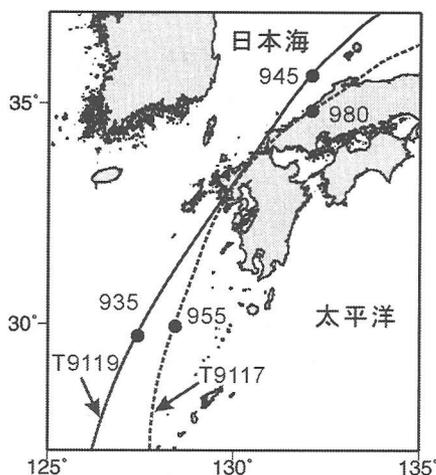


図-1 T9117号とT9119号台風の進路。進路上の数字は中心気圧である。

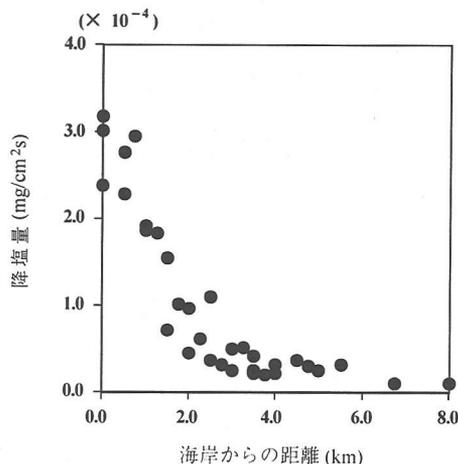


図-2 T9117号による降塩量の分布。

性を指摘した。

塩害が生ずる直接の原因は、海水が飛沫となって大気中に取り込まれ強風によって陸域に輸送されることにあるが、その飛沫の発生形態は様々である。鳥羽ら^{6)~16)}が1950年代後半から取り組んだ海塩粒子の発生機構に関する研究や、広域に及ぶ海塩粒子の輸送機構の解明に関する総合的研究は先駆的かつ貴重なものであり、松永ら¹⁷⁾や樋田¹⁸⁾の論文において詳細に紹介されている。

わが国は台風や冬季節風を受ける島国であることから、もっぱら人工構造物による波浪災害の防止・軽減対策が試みられてきた。その結果、防災技術や波浪制御技術は著しく向上し、ウオーター・フロント開発事業や海上空港建設事業など様々な沿岸海域開発プロジェクトが実現されることとなった。これにより人々の生活空間は海に向かって著しく拡大し、昔とは違った形の塩害問題を引き起こすこととなった。沿岸地域における塩害、潮風被害、大気環境アメニティの悪化などもその一つである。従って、海岸から数kmの沿岸地域における塩害問題に対し、詳細な調査・研究を行なうことが海岸工学上必要となってきた。実際、石田ら¹⁹⁾による波と構造物との相互作用によって生ずる飛沫の実験、大木ら²⁰⁾による遊水部付緩傾斜消波護岸による飛沫の低減効果、仲座ら²¹⁾による沖縄本島の沿岸住宅地域での生活環境アメニティの調査、灘岡ら²²⁾、滝川ら²³⁾、²⁴⁾、仲座ら²⁵⁾による植栽による飛沫塩分量の低減効果などの研究が進められてきた。また、松永ら^{26)~28)}は消波護岸から発生する飛沫の陸域への輸送やその低減工法に関する研究を行った。このように、荒天時において実際、海岸からどの程度の海水飛沫が発生するのか、その飛沫がどのように風下方向に輸送されるのか、どのようなプロセスの下で海水飛沫の輸送から海塩粒子

の輸送に変化するのかなどについて明らかにすることは極めて重要である。しかしながら、その様な気象・海象状況下での観測はきわめて困難であり、暴風時においてこれまで観測された例はほとんどないのが現状である。

本研究ではこのような視点から、海から強風が吹き、かつ風向・風速が安定する気象条件、つまり西高東低の気圧配置の下で冬季節風が発達し、日本海が荒れた時に観測を行なった。対象地として、消波護岸を前面にもつ北九州港理立地を選んだ。そして、消波護岸から発生する飛沫塩分量とその陸域への輸送過程を明らかにし、塩害対策の基礎となるデータを提供することを試みた。本研究の一部は、すでに第46巻海岸工学論文集に掲載されている²⁹⁾が、次の年にも観測を継続することによって得られたデータをも加え、再検討したものである。

2. 観測方法および気象・海象状況

北九州市の北部に位置する響灘廃棄処分場D地区第3区画において、北西の季節風が発達した日に観測を行なった。響灘に面した消波護岸の法線は真北である。観測地点は図-3において×で示されている。図-4に観測位置前面における消波護岸の標準断面を示す。基礎捨石(5~100kg/個)および被覆石(300~500kg/個)の傾斜堤法面は、3.2トン型テトラポッドの2層積みとし、天端は2個並びで被覆されている。護岸前面の法面勾配は1:4/3である。この海域の平均水位は、T.P.+0.40mである。図-5に観測用ポール設置時の様子を、図-6に測器設置状況の模式図を示す。x軸は護岸に対し直角に陸域に向かって、z軸は地面から鉛直上向きに取られている。観測用ポールとして6本の電柱を用い、

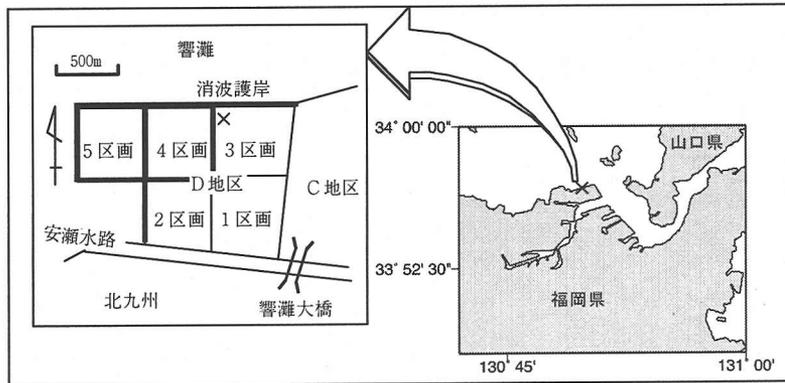


図-3 観測位置.

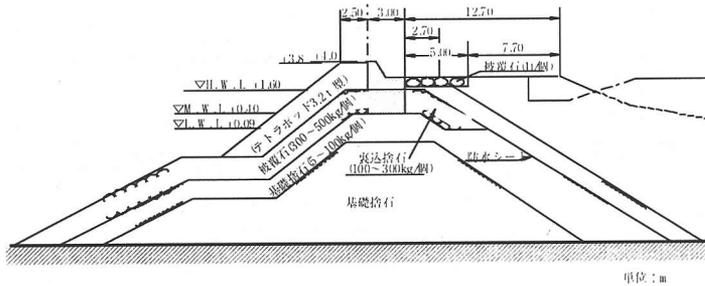


図-4 消波護岸の標準断面



図-5 観測用ポールの設置風景.

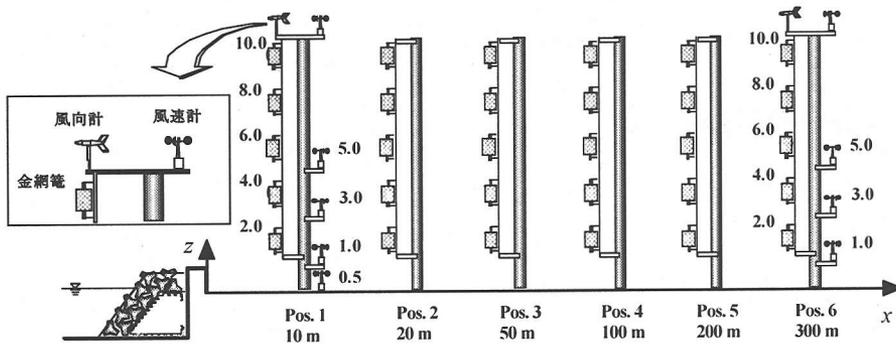


図-6 測器設置状況の模式図.

$x=10, 20, 50, 100, 200, 300\text{m}$ の6地点に立てた。以後、それぞれの観測点を Pos. 1, 2, 3, 4, 5, 6 と呼ぶことにする。Pos.1 においては、 $z=0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10\text{m}$ の5点に3杯式風速計が、 $z=10\text{m}$ には風向計が取り付けられた。Pos.6 では、 $z=1.0, 3.0, 5.0, 10\text{m}$ の4点に3杯式風速計が、 $z=10\text{m}$ に風向計が取り付けられた。風向・風速のデータは3分毎にデ

ータ・ロガーに記録された。海水飛沫の捕獲装置として金網で作られた円形断面の籠の中にガーゼを詰めたものを用い、それらをすべての観測ポール前方に2m 間隔で吊り下げた。金網籠は円筒状であるため、観測中に風向が変化しても海水飛沫を捕捉する有効断面積は変わらない。風向計、風速計および海水飛沫の捕捉容器は、支柱の影響を極力

表-1 観測時間帯および気象・海象条件.

Case	開始				終了				観測時間 (h)	U_{10} (m/s)	平均風向 θ (°)	平均潮位 (cm)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
	年	月	日	時	年	月	日	時						
Case 1	1998	Nov.	19	6:00	1998	Nov.	19	20:00	20	7.48	304	+84	1.20	5.8
Case 2		Nov.	20	17:30		Nov.	22	0:30	7.0	5.49	303	+45	0.79	5.0
Case 3		Dec.	8	14:00		Nov.	9	15:00	2.5	7.94	308	+39	1.29	6.0
Case 4		Dec.	9	15:00		Dec.	9	17:30	3.0	5.79	313	+42	1.29	6.4
Case 5		Dec.	10	7:30		Dec.	10	16:30	8.5	4.85	310	+22	0.69	4.7
Case 6	1999	Jan.	7	17:30	1999	Jan.	8	8:30	1.5	12.5	307	+32	2.43	6.9
Case 7		Jan.	8	8:30		Jan.	8	12:00	3.5	12.1	307	+18	2.28	6.7
Case 8		Dec.	18	8:30		Dec.	18	16:00	7.5	10.2	312	+23	1.84	6.2
Case 9	2000	Jan.	19	11:00	2000	Jan.	19	15:30	4.5	9.82	281	+36	1.28	5.1
Case10		Jan.	20	9:00		Jan.	20	16:00	7.0	13.9	306	+46	2.21	6.5
Case11		Jan.	20	16:30		Jan.	21	8:30	16	9.54	315	+26	1.76	6.4
Case12		Jan.	21	8:30		Jan.	21	16:30	8.0	7.62	312	+32	1.29	6.3
Case13		Feb.	15	17:30		Feb.	16	8:30	15	12.5	288	+39	2.09	6.3
Case14		Feb.	16	9:00		Feb.	16	16:30	7.5	9.79	297	+37	1.92	6.6

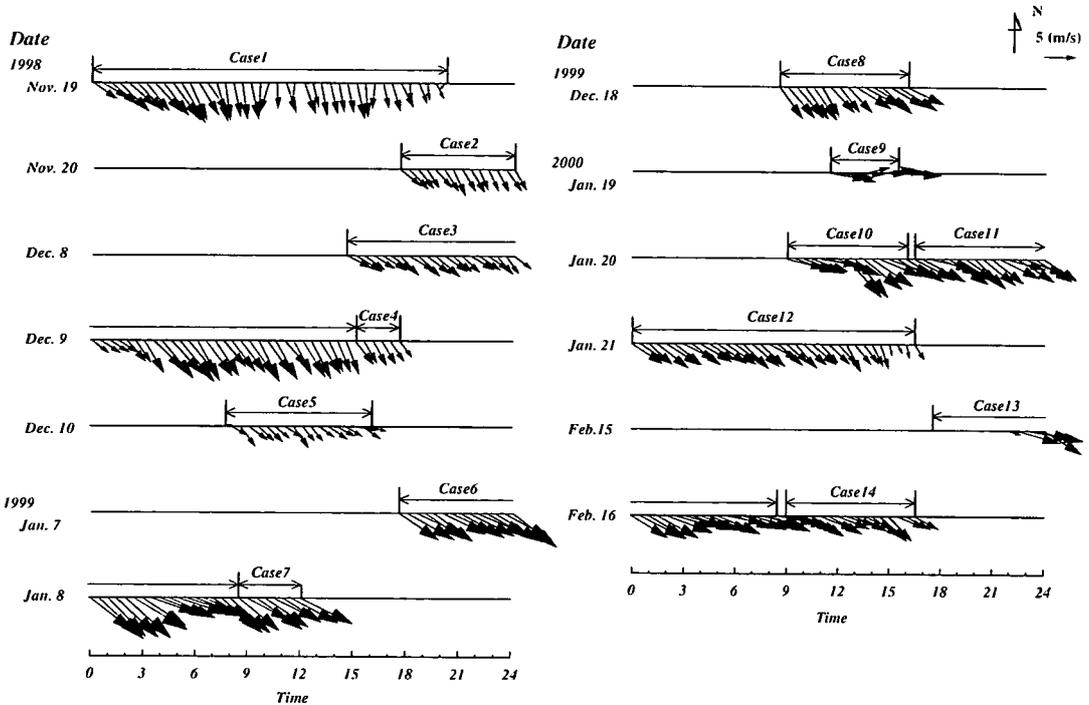


図-7 風向・風速の経時変化.

受けないように、50cm 程度支柱から離して取り付けられた。観測後、金網籠に詰められたガーゼをプラスチック容器に回収し、イオン交換水 100ml を加えて十分攪拌した後にイオン測定器を用いて Na^+ を求め、塩分量に換算した。ガーゼによる塩分の捕獲方法や Na^+ の分析による塩分量の評価法は滝川ら²³⁾や山田ら²⁴⁾を参考にした。

観測は 1998 年 11 月 19 日から 2000 年 2 月 16 日の冬期に行なわれた。観測時間帯ならびに気象海象概況を表-1 に示す。観測時間帯は、安定した西高東低の気圧配置が九州地方を覆い、北西の季節風が卓越し、海域が十分荒れた 14 ケースが選ばれたが、すべて降雨を伴わない気象条件であった。表中の U_{10} は地上 10m における平均風速で、Pos.

6 の高さ 10m において得られた風速を観測時間にわたって平均したものである。平均風向も同様にして求められた。平均潮位、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ は、北九州市が埋立地の北東 6km 沖合で観測しているデータを用いた。観測時間帯において海域は十分荒れており、北西の季節風もかなり強かったことが判る。図-7 に、Case 1 から 14 における風向・風速のスティック図を示す。風向・風速値は 30 分平均値を 30 分間隔で示したものである。全観測において風向、風速ともほぼ安定していたことが判る。Case 13 における観測開始後 6 時間にわたるデータの欠測は測器の不調によるものである。

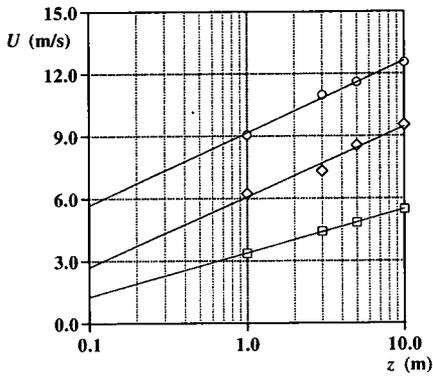


図-8 平均風速の鉛直分布。□: Case2, ◇: Case11.
○: Case6.

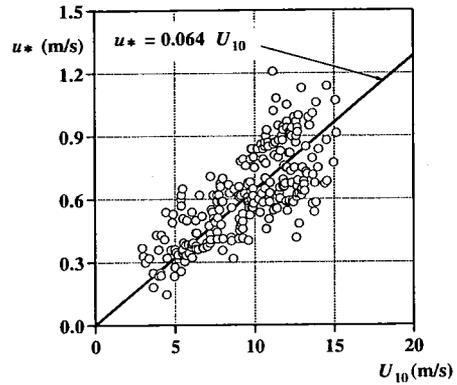


図-9 u_* と U_{10} の関係.

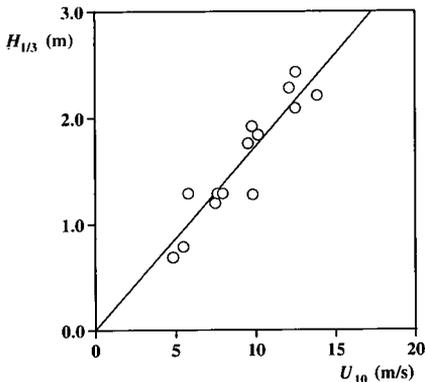


図-10 $H_{1/3}$ と U_{10} の関係.

3. 観測結果と考察

(1) 地上の風速分布

観測時間帯においては、表-1や図-7から判るように10m/s程度の強い風が安定して吹き続けていた。Pos.1と6で得られた風速分布を検討した結果、Pos.1では護岸の影響を強く受け、大きな速度欠損が認められた。一方、Pos.6は護岸から十分風下側であるため護岸の影響はほとんど認められず、平板上に形成される乱流境界層と類似のプロファイルが形成していることが判った。埋立地は平坦で、表面には高さ30cm程度の草の群が点在していた。図-8は、Pos.6で得られた風速の30分平均値 U を地表面からの高さ z に対してプロットしたものである。乱流境界層に見られる対数分布が良く成り立っていることが判る。一般に粗面上に発達した乱流境界層の風速分布は、

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln(z/z_0) \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 u_* は地表面における風の摩擦速度、 z_0 は地表面の粗度係数、 κ はカルマン定数(=0.4)である。Pos.6で得られた U の分布に対数則を当てはめ、 u_* と z_0 の値を算定した。図-9は u_* と U_{10} の30分平均値の関係を示したものである。若干のばらつきはあるものの、 u_* の値 U_{10} の増加とともに線形的に増加することが判る。ここで、

$$C_D = (u_* / U_{10})^2 \quad (2)$$

で定義される地表面の抵抗係数 C_D の値を求めると、 $C_D = 4.10 \times 10^{-3}$ となる。滑面での抵抗係数が $C_D \sim 1.0 \times 10^{-3}$ であることを考えると、得られた値は妥当であると思われる。また、平均的な地表面の粗度係数 z_0 は、1.93cmであった。図-10は表-1で与えられた $H_{1/3}$ を U_{10} に対してプロットしたものである。この場合 U_{10} は地上風の値であるにもかかわらず、有義波高と U_{10} の間には強い相関が認められる。

(2) 塩分の輸送量と沈降量

図-11(a)~(c)は、風下方向に輸送される塩分量 q ($\text{mg}/\text{cm}^2/\text{s}$)の鉛直分布を示す。塩分輸送量 q は塩分捕集器で得られた塩分量を観測時間と捕集器断面積で割ることで求められた。 U_{10} の増加とともに護岸背後における q の値は著しく大きくなることが判る。このことは、図-10で示したように、 U_{10} と有義波高の間に強い相関があることから容易に想像することができる。また、 U_{10} の増加とともに輸送量の風下方向変化も急激に大きくなる。この原因として、 U_{10} や $H_{1/3}$ の増加によって消波護岸から発生する海水飛沫の粒径が増加し、護岸背後における飛沫の沈降が大きくなるためと考えられる。Pos.6付近になると風速の大きさには無関係に、塩分輸送量は鉛直方向にほぼ一様となり飛沫沈降の効果が十分小さくなっていることが判る。さらに、 $z=10\text{m}$ における輸送量の流下方向変化はきわめて小さく、ほぼ一定値を取ることが

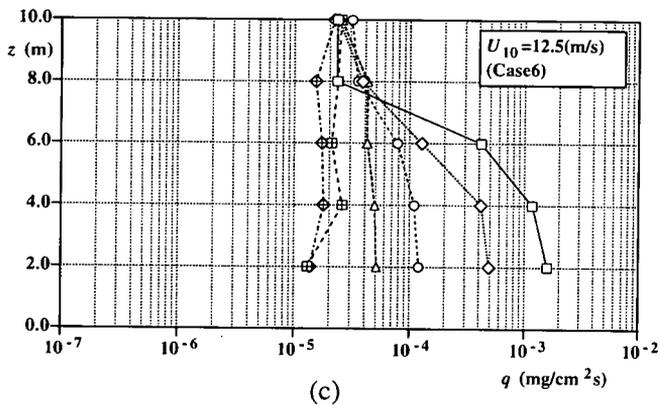
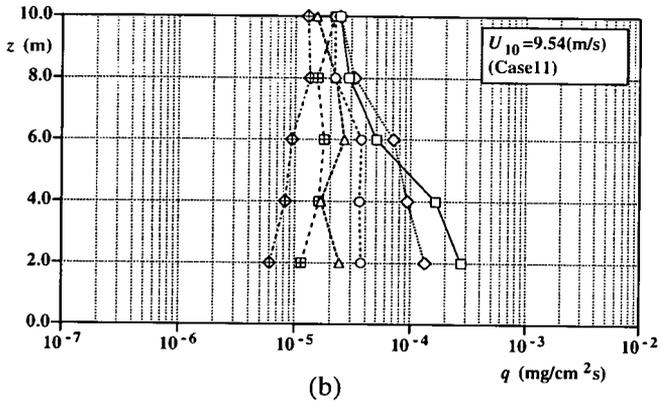
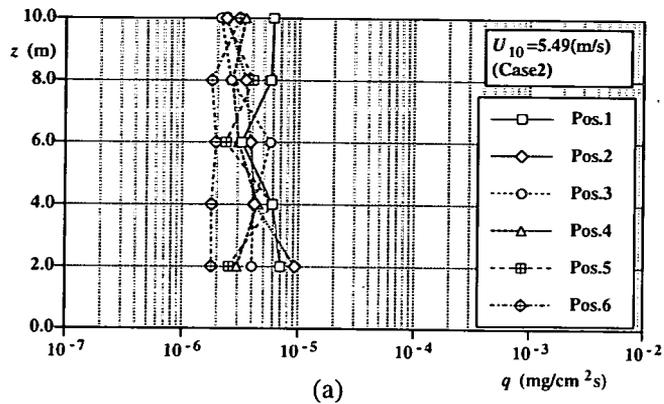


図-11 塩分輸送量の鉛直分布と流下方向変化.

判る。その値は、 U_{10} の増加とともに若干大きくなる傾向が認められる。このことから、10m 以下では塩分は粒径の大きい海水飛沫として輸送され、10m 以上の上空では沈降速度は非常に小さく、海塩粒子として輸送されると推測される。

図-12は、図-11で示された塩分輸送量を $z=0$ から 10m まで積分することによって求められた総輸送量 Q (mg/cm \cdot s) の風下方向の変化を示す。 l は、護岸に対し直角に測られた

距離 x を平均風向を考慮して換算し直した輸送距離、

$$l = x / \sin\theta \quad (3)$$

である。ここで、 θ は平均風向と消波護岸がなす角度である。積分に際して必要な $z=0$ から 2.0m の分布は一樣であると仮定し、 $z=2.0$ m の観測値で近似した。護岸付近での総塩

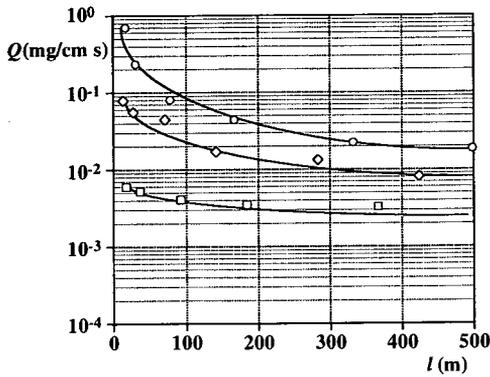


図-12 塩分輸送量の流下方向変化。□：Case 2，◇：Case 11，○：Case 6。

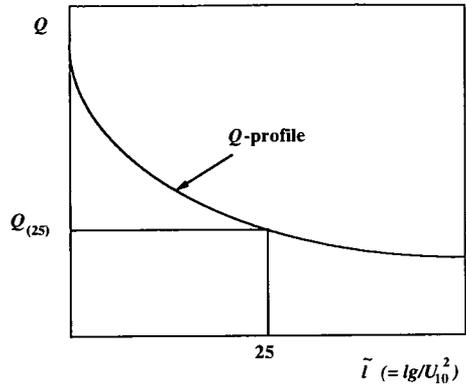


図-13 代表諸量の定義。

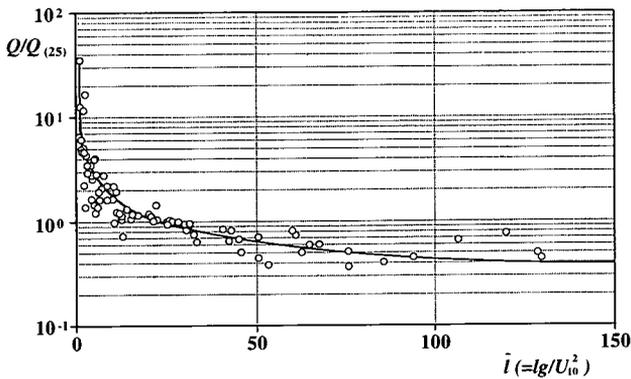


図-14 規格化された総塩分輸送量。

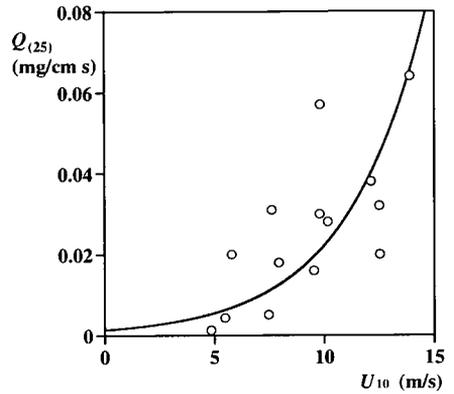


図-15 $Q_{(25)}$ と U_{10} の関係。

分量は急速に減少し、その減少率は U_{10} が大きくなるにつれて増加することが判る。このような定性的特性は、松永ら^{26), 28)}や Hashida, et al.²⁷⁾による消波護岸からの飛沫の発生に関する実験結果と一致しており、沿岸地域における塩分輸送プロセスにおいては、飛沫の沈降と移流が重要であることが想像される。松永ら²⁸⁾は消波護岸から発生する飛沫量を風洞実験により調べ、輸送量を消波護岸上の輸送量 Q_0 で規格化し、輸送距離を重力加速度 g と断面平均風速 U_m で無次元化することにより流下方向分布を普遍的に表した。今回は、Case 1 から 14 で得られた総輸送量の流下方向分布を普遍的に表すために、重力加速度 g と U_{10} を代表量に選り、輸送距離 l を無次元化する。無次元輸送距離 \tilde{l} は lg / U_{10}^2 で定義される。一方、総輸送量を規格化するための代表値として、 $\tilde{l} = 0$ における Q の値を外挿から求めることは、護岸付近の Q の値が急激に変化するため、困難である。従って、すべての観測が $\tilde{l} \geq 25$ の範囲で行なわれたことを考慮して、 $\tilde{l} = 25$ における総輸送量 $Q_{(25)}$ を代表量として導入することとする。この代表諸量の定義を模式的に示したものが図-13である。図-14は、Case 1 から 14 で得られた総輸

送量の流下方向分布を規格化したものであり、すべてのデータは経験的に引かれた曲線と良く一致していることが判る。図-15は、規格化に際して導入した代表量 $Q_{(25)}$ を定量化するために、 U_{10} に対してプロットしたものである。図中の実線は指数関数を仮定し、最小二乗近似法で求めた近似曲線である。多少のばらつきは見られるものの、 U_{10} の増加とともに $Q_{(25)}$ の値も増加する傾向が認められる。

図-16は単位時間・単位面積当たり沈降する塩分量 S_d を輸送距離 l に対してプロットしたものである。 S_d の値は

$$S_d = \frac{1}{l_i} (Q_{i+1} - Q_i) \quad (4)$$

から算定された。ここで、 Q_i は護岸から i 番目の観測点で測られた総塩分輸送量、 l_i は観測点 $i+1$ と i の距離を風向き方向に投影した長さである(式(3)参照)。図-12で示された塩分輸送量の分布と同様に、降塩量も護岸背後で急激に減少することが判る。また、降塩量も U_{10} が増加するにつれて大きくなる。今回の観測で得られたすべてのケースの分布から、図-13で示された定義と同様に $S_{d(25)}$ を算定し、沈降

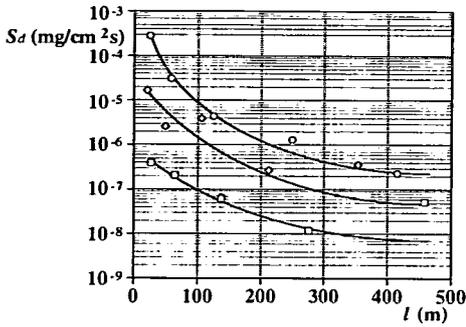


図-16 沈降水量の流下方向分布。□：Case 2。
◇：Case 11。○：Case 6。

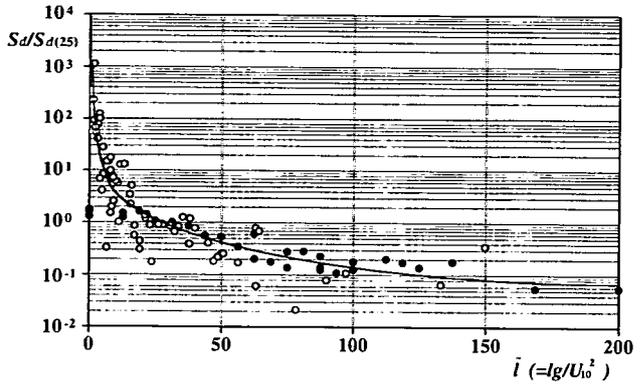


図-17 規格化された沈降水量の分布。○：冬季季節風によるデータ，●：T9117号のデータ。

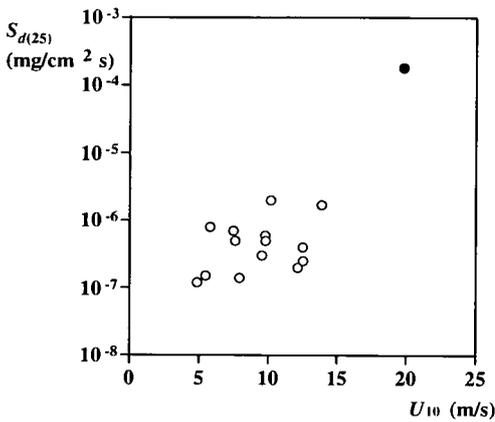


図-18 $S_{d(25)}$ と U_{10} の関係。○：冬季季節風によるデータ，●：T9117号のデータ。

量の流下方向分布を規格化したものが図-17である。○は今回の観測で得られた冬季季節風のデータであり、●はT9117号台風において得られたデータである(図-2参照)。台風によるデータを規格化するために必要な U_{10} の値として渡辺³⁰⁾が報告している午前6時から午前7時の値の平均値19.8m/sを用いた。降塩量のデータは総輸送量のデータと比べてかなりばらついている。この原因として降塩量は塩分輸送量の差から算定されていることが挙げられる。しかし、このような粗い算定でありながら、季節風と台風時におけるデータは経験的に引かれた一つの関係で十分良く近似されることは大変興味深い。図-18は $S_{d(25)}$ と U_{10} の関係を示したものである。冬季季節風のデータに関しては多少のばらつきは見られるものの、 U_{10} の増加とともに $S_{d(25)}$ の値も増加する傾向にある。T9117号台風のデータは、季節風のデータに比べて2桁以上大きな値を取っている。このことから、T9117号台風による塩分輸送量が如何に甚大なものであったかが推測される。

4. 結論

本研究は、荒天時において消波護岸から発生した海水飛沫が陸域にどのように輸送されるかを明らかにするため、日本海に面した埋立地において冬季季節風が吹く荒天時に海水飛沫の現地観測を行なった。観測データから飛沫輸送量と沈降水量を算定し、それらの定量化を試みた。得られた結果は以下の通りである。

(1) 地上10mの範囲において、風速分布は十分良く対数分布に従うことが判った。冬季季節風が発達した気象・海象下において得られた有義波高 $H_{1/3}$ と地上10mの平均風速 U_{10} との間には、非常に高い相関が認められた。

(2) 塩分輸送量は U_{10} の増加とともに大きくなる。また、輸送量の流下方向の変化も大きくなる。地上10mにおける塩分輸送量は流下方向にはほぼ一定で変化せず、飛沫の移流・沈降過程は地上10m内で生じていることが判った。

(3) 流下方向に輸送される塩分量を鉛直方向に積分し、総輸送量と沈降水量の流下方向変化を求めた。総輸送量も沈降水量も U_{10} の増加とともに大きくなる。流下距離を U_{10} と重力加速度を用いて無次元化し、総輸送量と沈降水量を規格化することにより、流下方向分布を一つの関係で表すことが可能となった。特に、T9117号において得られた降塩量も今回の現地観測データと良く重なり、両者の分布が一致したことは興味深い。総輸送量と沈降水量を規格化する際に導入した代表量は U_{10} の増加とともに大きくなる傾向が認められた。

これまで、塩害の実態調査・対策を目的として数多くの研究が行なわれてきたが、台風や季節風のような厳しい気象条件下での観測はほとんど行なわれなかった。従って、このような荒天時において消波護岸から発生する海水飛沫とその輸送過程を調べデータを提供したことは、海塩粒子輸送に関する研究の端緒となるものと思われる。

謝辞：本研究は、文部省科学研究費補助金基礎研究（A）（2）（代表 増田章，課題番号 12304025）の援助を受けて行われた。また、本観測を行なうに当たり北九州市港湾局ならびに（株）測研の方々に多大のご協力と便宜を図って頂いた。ここに、謝意を表します。

参考文献

- 1) 熊本自然災害研究会編：台風 19 号による電力設備被害について，熊本自然災害研究会研究発表要旨集，pp.7-11, 1992.
- 2) 目黒公郎，永田茂，立川貴重，片山恒雄：台風 19 号による大規模停電の都市機能への被害波及に関する調査研究－広島地域における大規模停電の影響－，生産研究，第 44 巻，4 号，pp.194-201, 1993.
- 3) 田中正昭，鳥羽良明：台風 9119 号による塩害と内陸への塩分侵入量について，京都大学防災研究所年報，第 36 号 B-2，pp.103-119, 1993.
- 4) 戸原義男，藤本昌宣：有明沿岸における潮風害，平成 4～5 年度科学研究費補助金総合研究（A）（代表 入江功 研究課題番号 04305012），研究成果報告，pp.17-25, 1994.
- 5) 入江功：強風による沿岸部での塩害とその対策に関する研究，平成 4～5 年度科学研究費補助金総合研究（A）（代表 入江功 研究課題番号 04305012），研究成果報告，pp.1-172, 1994.
- 6) Hayami, S. and Toba, Y.: Drop production by bursting of air bubbles on the sea surface (I). Experiments at still sea water surface, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 14, pp. 145-150, 1958.
- 7) Toba, Y.: Drop production by bursting of air bubbles on the sea surface (II). Theoretical study on the shape of floating bubbles, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, Vol. 15, pp. 121-130, 1959.
- 8) Toba, Y.: Drop production by bursting of air bubbles on the sea surface (III). Study by use of a wind flume, *Memoirs Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. A*, Vol. 29, pp. 313-344, 1961.
- 9) Toba, Y. and Tanaka, M.: Study on dry fallout and its distribution of giant sea-salt nuclei in Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, Ser. II, Vol. 41, pp. 135-144, 1963.
- 10) Toba, Y.: On the giant sea-salt particles in the atmosphere I. General features of the distribution, *Tellus*, Vol. 17, pp. 131-145, 1965.
- 11) Toba, Y.: On the giant sea-salt particles in the atmosphere II. Theory of the vertical distribution in the 10m layer over the ocean, *Tellus*, Vol. 17, pp. 365-382, 1965.
- 12) Toba, Y.: On the giant sea-salt particles in the atmosphere III. An estimate of the production and distribution over the world ocean, *Tellus*, Vol. 18, pp. 132-145, 1966.
- 13) 鳥羽良明，田中正昭：塩害に関する基礎的研究（第一報），海塩粒子の生成と陸上への輸送モデル，京都大学防災研究所年報，第 10 号 B，pp. 331-342, 1967.
- 14) 中島暢太郎，鳥羽良明，田中正昭：塩害に関する基礎的研究（第二報），巨大海塩粒子連続サンプラーの試作と測定例，京都大学防災研究所年報，第 11 号 B，pp.19-28, 1968.
- 15) 田中正昭，鳥羽良明：塩害に関する基礎的研究（第三報），海塩粒子の三次元分布の解析，京都大学防災研究所年報，第 12 号 B，pp. 201-212, 1969.
- 16) 鳥羽良明：海塩粒子－大気と海洋との相互作用の一要素として，海と空，Vol. 41, pp.71-118, 1966.
- 17) 松永信博，樫田操，鶴崎賢一：強風によって輸送される白波砕波上の飛沫量と風応力の関係，土木学会論文集，No.635/II-49, pp.113-126, 1999.
- 18) 樫田操：強風下の沿岸海域から発生する飛沫量とその陸域への輸送に関する研究，九州大学学位論文，pp.1-150, 1999.
- 19) 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 回海岸工学講演会論文集，pp. 385-388, 1982.
- 20) 大木喜久朗，橋田望，吉井勝彦，黒川忠良，杉浦国男：遊水部付緩傾斜消波工の潮風害防止効果について，第 34 回海岸工学講演会論文集，pp.526-530, 1987.
- 21) 仲座栄三，津嘉山正光，照屋雅彦：大気環境アメニティの一要素としての飛塩量特性，海岸工学論文集，第 38 巻，pp.896-900, 1991.
- 22) 灘岡和夫，内山雄介，東川孝治：大気および土壌中の塩分からみた砂浜海岸植生環境について，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 1171-1175, 1996.
- 23) 滝川清，山田文彦，外村隆臣，松本健作，坂本鋼治：内海沿岸域における飛来塩分特性とその対策について，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 1176-1180, 1996.
- 24) 山田文彦，滝川清，外村隆臣：有明海沿岸域における飛来塩分の拡散機構とその数値モデルに関する研究，海岸工学論文集，第 44 巻，pp. 1216-1220, 1997.
- 25) 仲座栄三，津嘉山正光，北村康司，日野幹雄：植生帯を有する海岸における飛来塩分量に関する研究，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 1181-1185, 1996.
- 26) 松永信博，樫田操，入江功：消波護岸によるしぶきの発生と護岸背後地への輸送，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 1046-1050, 1994.
- 27) Hashida, M., Matsunaga, N. and Irie, I.: Landward transport of spray generated from a wave absorbing sea wall, *Proc. 25th Coastal Eng. Conf., ASCE*, pp. 1022-1033, 1996.
- 28) 松永信博，樫田操，香月理：強風下における消波護岸からの飛沫の発生とその低減工法，水工学論文集，第 43 巻，pp. 401-406, 1999.
- 29) 樫田操，松永信博，香月理：冬期響灘沿岸における飛沫塩分量の現地観測，海岸工学論文集，第 46 巻，pp. 1246-1250, 1999.
- 30) 渡辺訓甫：有明沿岸における潮風害，平成 4～5 年度科学研究

FIELD OBSERVATIONS OF SEA-SALT QUANTITY TRANSPORTED FROM A WAVE-ABSORBING SEAWALL BY WINTER MONSOON

Nobuhiro MATSUNAGA, Masashi KODAMA, Misao HASHIDA and Osamu KATSUKI

Field observations of sea-salt quantity transported by winter monsoon have been performed on a reclaimed land facing Japan Sea. The landward transported sea-salt quantity and the deposit rate have been estimated quantitatively and their leeward profiles have been normalized by introducing the representative scales. Especially, the normalization gives us an empirical expression for the deposit rates by winter monsoon and Typhoon 9117. The transported sea-salt quantity decreases rapidly in the dimensionless distance less than 25 because of the settling of sea-salt particles. The representative scales induced for the normalization depend strongly on the mean wind velocity at the height of 10m. The empirical expression for the deposit rates and the quantification of the representative scale enable us to predict the settling flux of sea-salt at an arbitrary place in the coastal area.