

(14) 沿岸微気候の一要素としての 飛塩量特性

DISTRIBUTION OF SEA-SALT PARTICLES IN NEARSHORE ZONE

仲座 栄三^{*} 津嘉山正光^{*} 照屋 雅彦^{*}

Eizo NAKAZA, Sheiko TSUKAYAMA and Masahiko TERUYA

ABSTRACT; In these days, it is well known in all the world that sea-salt damages of constructions in the Ryukyu Islands are in severe state. Additionally, in the mainland of Okinawa, especially in middle and north part of the island, seashore circumstances are changing rapidly due to development for coastal resort facilities. And, in urban district, the water front of residential area are approaching more and more to the surf zone of incoming waves due to land reclamations. Therefore, to find the method to protect the constructions and coastal resort facilities from injuring of sea-salt is urgent necessity. On the contrary, some people pointed out that sea-salt may be benefit to the health of man. So, this is another problem to be studied in relation with sea-salt.

Under these circumstances, the authors considered that it is very important to clarify the fundamental properties of sea-salt in the view point of above mentioned, and they carried out the field observation of distribution of sea-salt amount.

In this paper, the authors present the result of the observation, and discuss on the characteristics of distribution of sea-salt as a factor of local climate of nearshore area.

KEY WORD; coastal resort, sea-salt particles, nearshore circumstances, Okinawa Islands, salt damage, sea wind

1. はじめに

最近、琉球諸島における塩害の深刻さが国内外に広く知られるようになった。また、沖縄本島中北部においては海洋性リゾート開発の進展に伴い沿岸域の自然環境が急速に変化しつつある。さらに都市部においては、海の埋立などによって、住居地域が波の碎波点ぎりぎりになで迫るようになってきた。こうした人間生活の場の海への急速な接近は、アメニティをも含めた新たな塩害対策の検討を必要とするようになった。中でも、海洋性リゾート地域及び沿岸住宅地域における塩害対策は急務と言える。一方、飛塩（海塩）＝塩害という関係とは逆に、海塩は人の健康にプラスの作用をもたらすことが最近指摘されている。沖縄諸島の場合、年平均の飛塩量は他県のそれに比較し数十倍から数百倍にも達すると言われており、飛塩量の空間特性と沖縄県における地域別長寿者数との関係も解明の急がれる研究課題である。

以上のようなことから、筆者らは工学、農学、及び医学の研究者からなる学際的な研究プロジェクトを組み、飛塩量が沿岸環境に与える影響の解明を試みている。本研究はその一環として実施したものであるが、海岸近傍の飛塩量の特性を詳細に把握することにより、沿岸微気候の一要素としての飛塩量分布特性を得ることを目的としている。

飛塩量の空間分布に関する総合的な研究は、遑早く鳥羽・田中ら（1966, 1967～1972）によって始められた。彼らは、風速場を空間的に一定の場として拡散方程式を解き、飛塩量の空間分布に関する理論解

* 琉球大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Ryukyu University

を与えた。鳥羽・田中らの理論解は、大局的には現地観測による飛塩量の空間分布と一致することなども報告されている。しかしながら、実際に沿岸域の飛塩量算定に鳥羽・田中らの理論式を適用しようとすると多くの問題点にぶつかる。例えば、ある沿岸住宅地域への適用を考えた場合、まず地形あるいは風速場の空間特性をどのように取り扱えばよいのか、また古くから沿岸地域は飛塩に対して「植生による一つの自然管理システム」を有しているがその特性評価をどのように行えばよいかなどの未開明の点が多い。以下においては、沖縄本島における一つの沿岸住宅地をモデルにして、沿岸域における飛塩量特性及び風速場の検討を行う。

2. 現地観測位置図及び観測方法

飛塩量の現地観測は、図-1に示すように、沖縄本島の西海岸（宜野湾海岸）にて行った。この海岸一帯は新興住宅地であり、最近建築物などの腐食及び沿岸域特有の気候によるアメニティの低下（例えば、長期間海風にさらされると海塩の潮解性によって、髪の毛がばさついたり、肌がべたついたりする）などいわゆる塩害が深刻な問題となっている地域である。飛塩量の観測は、当海岸の法線がほぼ北西を向いていることから、主に北西よりの風を対象として行った。また、観測点は風向に平行になるように取った一本の測線上で行った。各観測点の海岸からの距離及び平均海面からの水準高を図-2に示した。観測点①は消波ブロックを有する護岸上にあり、観測点②は護岸背後の水叩き直後である。観測点③～⑦は、運動公園内にあり、観測点から100m以内には風を遮る障害物のないような場所である。

観測点⑧及び⑨は住宅地域内にあり、観測点⑧は風に対する障害物のほとんどない公園内に、観測点⑨は琉球大学工学部ビルの屋上に位置する。測定番号⑨で示す琉球大学は、沖縄本島を横断する測線上で一番高所に位置している。

飛塩の採取には、図-3に示すような装置を用いた。採塩器には図に示すような直径10cm、高さ10cmの円筒にガーゼを二重に巻いたものを用いた。ただし、この円筒は、細いフレームからなっており、ガーゼを通り抜けた風が円筒をそのまま通り抜けるような構造になっている。採塩器は、図-3に示すように、地上より2.0mの位置に固定した。採塩器に張り付けたガーゼは、蒸留水で洗浄したガーゼを所定の大きさに裁断した後、デシケーターに入れ各測定点まで持ち運んだ。飛塩量は、各観測点に同時に

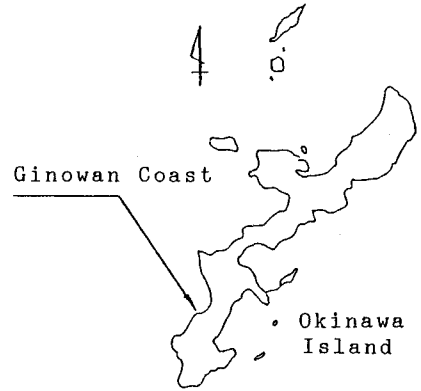


Fig.1 Location of the field observation

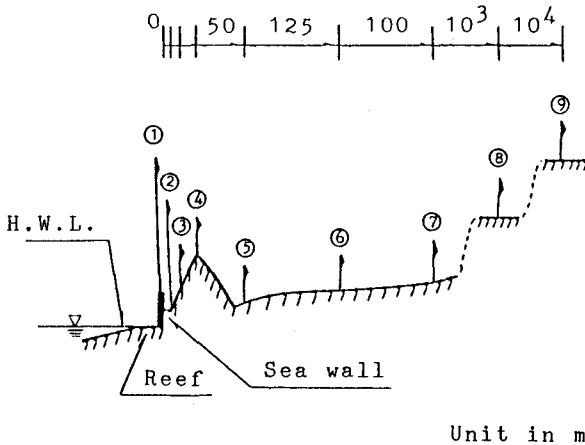
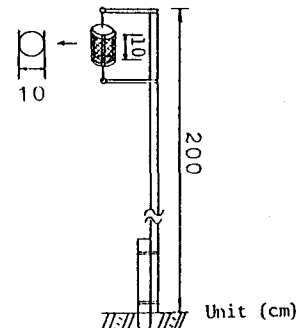


Fig. 2 Location of the measuring points



3 Set up of the Sampler for sea-salt particles

設置し3時間放置した後のガーゼを回収し、それを50℃の蒸留水で攪拌した後、電導度計を用いて測定した。図-4は、電導度計による飛塩量のキャリブレーションを示している。図示のとおり、電導率と飛塩量との関係は良好な直線関係にあり、電導度計を用いて飛塩量を測定し得ることがわかる。

風向及び風速は、中浅式風向風速計(3台)及び熱式風速計(2台)を用い、採塩器と同じ高さ(地上より2mの位置)で測定した。

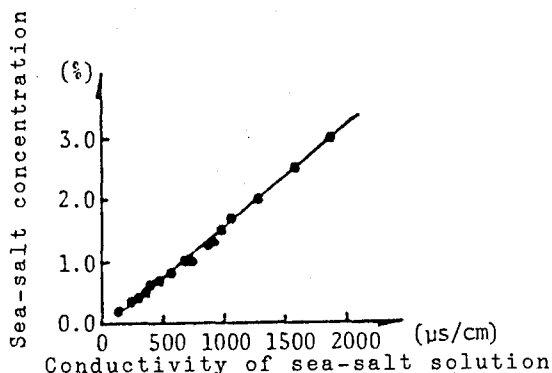


Fig. 4 Relation between the sea-salt concentration and the conductivity of the sea-salt solution

3. 観測結果及び考察

図-5(a)は、地表面より2mの高さにおける水平風速の海岸よりの距離による変化を示している。図示のとおり、風速が比較的小さい場合は、風速場はほとんど土手の影響を受けず、内陸部に向けて一様に風速の減少が見られる。逆に、海岸付近の風速が大きい場合、風速場は土手の後流の影響を強く受け大きく変動している。図-5(b)はその風速場の概念図を示している。

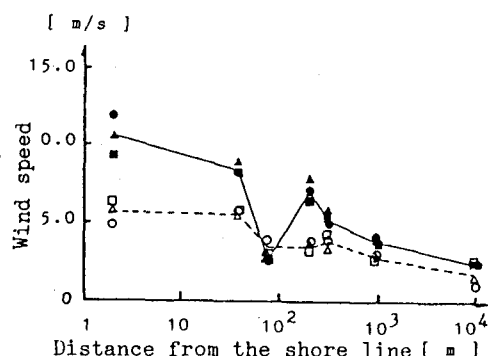


Fig. 5(a) Wind speed in wake area of the bank

図-6は、各測定点における飛塩濃度(C)と風速との関係を示している。図中、●印で示す値が観測値であり、実線は浜田(1986)らの経験式による計算値である。また、波線は観測値を近似する直線である。図示のとおり、飛塩濃度と風速の大きさは観測点⑤におけるデータを除いて波線で示す直線で近似され、飛塩量濃度と風速の大きさは指数関係にあることがわかる。観測点①の○で囲んだデータのバラツキは、護岸前面の消波ブロックに衝突・碎波した波の水滴がガーゼに付着したことによるものである。また、観測点⑤におけるデータが他の観測点の値と大きく異なるのは先に述べたように、土手の後流域の影響によるものである。

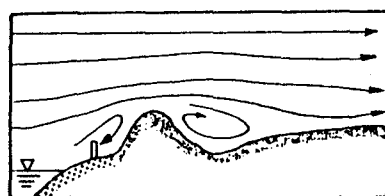


Fig. 5(b) A wind flow pattern in a near shore area

図-7は、図-5の風速場に対する飛塩濃度の海岸からの距離による変化を示している。図中、○印及び●印は、それぞれ図-5に示す強風時及び微風時に対応している。比較的小さい風の場合の飛塩濃度($U < 3\text{m/s}$)は、海岸からの距離によってほぼ一様に減少している。しかしながら、強風時($U \sim 10\text{m/s}$)の飛塩量分布は、土手の後流域付近までは緩やかに変化し、そこを過ぎたあたりから急激に減少している。図-6で示したように、平坦な地形上の飛塩濃度は風速に比例すると考えられるから、土手背後の風速の比較的小さいところで飛塩濃度が相当高くなっているのは後流域で風の水平速度がかなり減速したことによって、ここで比較的大粒径の飛沫が落下すること、あるいは土手の後流域に形成される循環によって濃度の停滞現象が生じることによるものと考えられる。

塩害あるいは人が飛塩に対して感じる不快度(アメニティの低下)は、飛塩濃度というより、飛塩の輸送量に直接的に影響される。例えば、海岸近くにある一本の鉄製ポールなどは風の卓越方向に面した部分のみ腐食しているというようなケースが多い。

図-8は、海岸からの距離による飛塩輸送量

($Q=CU$) の変化を示している。図示のとおり、飛塩輸送量は、海岸からの距離によって急激に減少し、ある程度内陸部でその減少割合が相当鈍くなっている。図中、 部分は、平坦な地形に対する浜田らの現地観測結果を示している。また、実線は、浜田らの経験式による計算値を示している。図示のとおり、浜田らの平坦な地形に対する現地観測値と筆者らの観測値とはほぼ同じ傾向にある。すなわち、飛塩輸送量に限ればある程度不変的な（地形特性によらない）飛塩量算定式を得ることができそうである。海岸近くに限れば浜田の経験式による計算値は、ほぼ観測値と一致している。しかしながら、浜田の経験式は風速の効果を含んでなく、風速が比較的小さくなったとき実験値との誤差が大きくなる。合理的な飛塩量算定式としては、風速及び海岸からの距離などを含んだ何らかの無次元パラメーター表示が必要である。

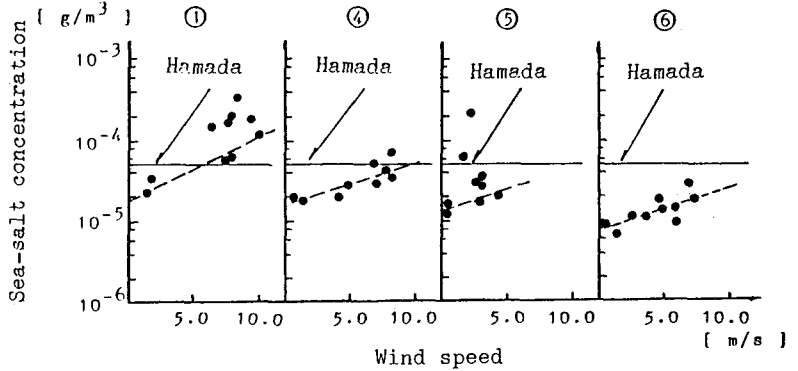


Fig. 6 Sea-salt mass in unit volume versus wind speed

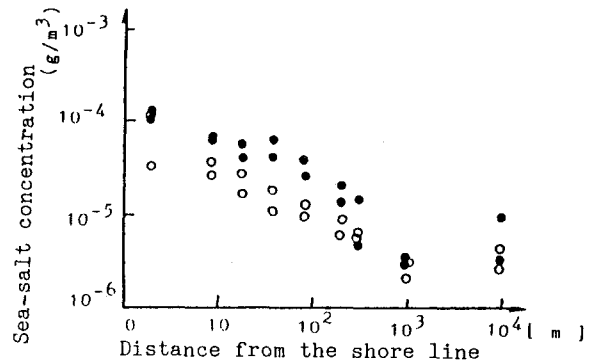


Fig. 7 Distribution of sea-salt mass in unit volume at the near shore area

飛塩量の空間的な分布特性については、海塩粒子の降下速度 (W)、風速 (U)、拡散係数 (K)、及び空間の特性長 (l) などの物理量が関係しているものと考えられる。このような基本物理量を元に、飛塩量を規定するパラメーターの一つを推定すると、 $\xi = w^2 l / KU$ なるパラメーターを得る。

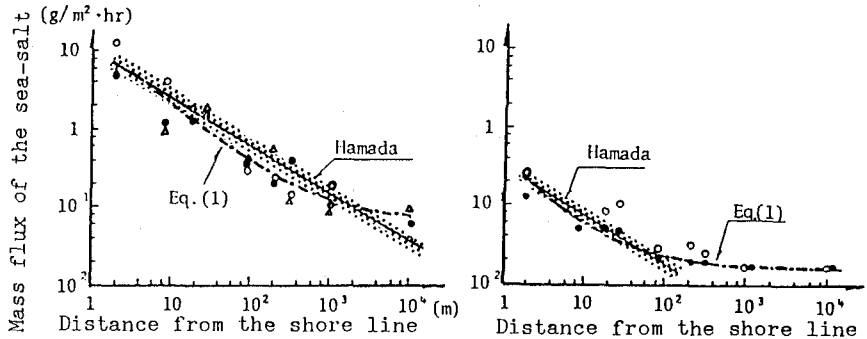


Fig. 8 Change of the sea-salt flux with the distance from the shore line

この無次元量は、鳥羽らが飛塩量に関する理論解を求める際に用いたものと同じである。しかし、本研究においては、飛塩粒子の降下速度及び拡散係数の見積りが困難であることから、これらの項を落とし、新たに $\xi = \sqrt{gh}/U$ なるパラメーターを用いることとする。また、このパラメーターを用い、飛塩輸送量算定式として次式を仮定する。

$$Q = Q_0 \cdot \exp(-D \cdot \log \xi) + Q_0 \quad (1)$$

ここで、 Q : 平均風速が U で海岸からの距離が l の位置における飛塩輸送量、 Q_0 : 海岸から十分離れた

位置における飛塩輸送量（これは、海洋から飛来する飛塩のエアロゾルの輸送量を意味する）、 Q_0 ：汀線付近の飛塩輸送量と Q_∞ との差で与えられる量、 D ：飛塩輸送量の内陸方向への減衰率を表し、物理的には拡散係数及び粒子の沈降速度（あるいは、植生などによる飛塩粒子の除去率）との関係を意味する係数である。

図-9は、パラメーター ξ によって飛塩輸送量を整理したものである。図示のとおり、観測値はパラメーター ξ によって統一した整理ができており、波線で示す直線によって近似される。この直線の傾きから、係数 D が求まり、飛塩輸送量の空間分布は、式(1)を用いて求められる。図-8中の実線で示す値は、式(1)による計算値であり、計算値は観測値と比較的よく一致しており、式(1)の妥当性が示された。

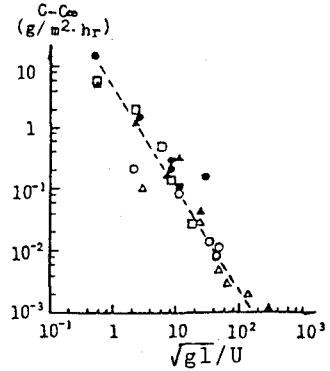


Fig. 9 Sea-salt mass versus non-dimensional parameter

4. 新たな飛塩量予測システムの開発へ向けての準備

本研究で提案した飛塩量算定式を含め従来の飛塩量算定式は、現象をかなり簡略化して考えた場合のものであり、沿岸域の特殊な気候の解明あるいは海岸域の空間設計の一要素としての飛塩量算定のためには、風速場の数値予測モデル及び飛塩の拡散予測システムの確立が必要である。風速場の数値予測モデルに関しては、例えば神田・日野（1989）のモデルがあり、それを応用することによって沿岸域の風速場の把握は可能と考えられる。ただし、飛塩量の数値シミュレーションに際しては、先ず飛塩の発生源である砕波帯の飛塩量特性を把握する必要がある、また沿岸地域の気温分布特性、及び植生などによる飛塩量除去効果などがあらかじめ解明されている必要がある。

以下、新たな飛塩量予測システムの開発の準備として、沿岸域の気温変化及び植生による飛塩除去率の検討を行う。沿岸域の気温は昼夜により異なる分布形態をとる。図-10は、昼間における海岸から内陸にかけての温度変化の一例を示しており、海岸と内陸部とはかなりの温度差のあることがわかる。この温度差によって昼間は海岸付近（飛塩の発生源一帯）で上昇流が生じることになり、これによって海塩粒子の沈降速度が鈍られ遠方まで輸送される可能性がある。また、夜間は陸海風の影響及び前述と逆の効果によって飛塩濃度の低下が予想される。温度変化による風速場の変化は、温度場が与えられれば神田・日野らのモデルを用いて予測可能である。植生による飛塩の除去率に関しては、幸喜・金城ら（1983、1989）の研究がある。彼らは、高さ約5m、幅50m程度の植生で飛塩の除去率は、約50%であることを報告している。しかしながら、それらがどのような風速場でどのような空間分布をとり減衰して行くかの検討は、これまで十分な検討がなされていないように思える。図-11は、沖縄本島南部の米須海岸（海岸から内陸部にかけてはなだらかな勾配を有する平原）における風速の海岸から内陸部にかけての変化と飛塩量の空間分布を示している。ただし、図中の飛塩量を示すコンター値は、汀線付近における平均飛塩量で無次元化した値である。飛塩量を示すコンター値の傾きが急な程飛塩量の減衰が著しいことを示している。コンター値は、汀線背後の砂浜上で大粒径の海塩粒子の沈降により大きく減衰した後、植生の除去作用を受け急激に減衰している。また、海岸植生背後の高さ1m程度の植生（さとうきび畑）による減衰割合はかなり緩やかである。住宅地域内では、家屋などによる表面粗度の増大によって再び減衰率が大きくなっている。

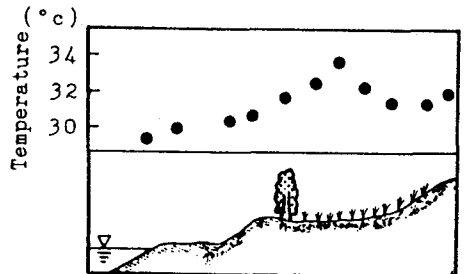


Fig. 10 Distribution of temperature the in near shore area

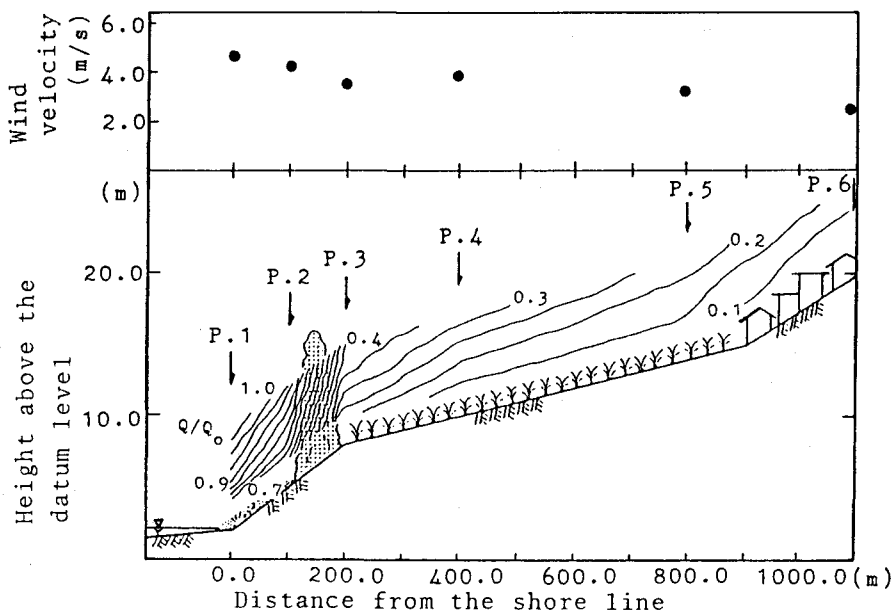


Fig. 11 Distribution of sea-salt mass flux in a near shore area

5. おわりに

本研究においては、沖縄本島における一つの沿岸住宅地域をモデルに飛塩量・風速及び気温・湿度などの現地観測を行い、沿岸気候の一要素としての飛塩量特性の解明を試みた。その結果、飛塩量の空間分布特性及び風速場が飛塩濃度に与える影響を明らかにすると共に、実用的な飛塩量算定式の提案を行った。さらに、新たな飛塩量予測システムの確立に向けての検討を行った。

なお、本研究で述べた飛塩量の現地観測においては、当時卒論の研究に携わった鳥集一郎君をはじめ水工学研究室の協力を得た。また、東京工業大学工学部土木工学科の日野幹雄教授及び大学院生の神田学君には、風速場の数値シミュレーションに関してご指導頂いた。清書及び図面の作成にあたっては、錨忠宏君の協力を得た。ここに深甚の謝意を表したい。また、本研究の一部は、琉球大学学内特別教育研究費「飛塩量が沿岸環境及び人の健康に及ぼす影響に関する研究（代表者：仲座栄三）」の援助を受けている。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 鳥羽良朗：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、41、3・4合併号、1966、PP. 71-118。
- 2) 例えば、鳥羽良朗・田中正昭：塩害に関する基礎的研究（第一報）、京大防災研究所年報、第10号B、1967、PP. 331-342。
- 3) 浜田純夫・日野伸一・兼行啓治・長谷川博：土木学会第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986、PP. 85-88。
- 4) 幸喜善福・金城克明：沖縄県における防風・防風林に関する研究（IV）、日本林学会九州支部研究論文集、NO. 36、1983、PP. 321-322。
- 5) 幸喜善福・島田賢司：強風（台風）時における空中塩分付着量の推定に関する研究（II）、砂丘研究、第34巻第2号、1987、PP. 17-23。
- 4) 神田学・日野幹雄：植生による気候緩和効果に関する基礎的研究、土木学会第33回水理講演会論文集、1989、PP. 685-690。