

植栽による飛沫（海塩粒子）の軽減に関する現地実験

村上 和男* ・加藤 一正**・清水 勝義***
尾崎 靖****・西守 男雄*****

1. はじめに

海岸付近に住む人々にとって、海から運ばれてくる飛沫（海塩粒子）は塩害の原因であり、生活環境にとってあまり好ましいものではない。海岸付近の住民への飛沫に対する認識やその被害に関してのアンケート調査結果（村上他, 1994）からも、塩害の重要性が述べられている。このような飛沫を減少させるために幾つかの方策が採り上げられているが、海岸線に沿っての植栽もその有力な一つの方法である。香川県津田海岸の現地調査結果からも、大きな松林の背後での飛沫量は他の測点の飛沫量よりも小さいことが確かめられている。しかしながら、植栽によってどの程度飛沫が減少するのか、また飛沫軽減を効果的に行うにはどのように植栽をしたらよいのかの知見があまりなく、たんなる経験から植栽を行っているのが現状である。

海面からの飛沫の発生に関しては、筆者ら（1992）の茨城県波崎海岸での観測例がある。また、海面から発生した飛沫が背後域に輸送されるメカニズムに関しては田中（1970）や浜田ら（1986）の研究例がある。

本研究においては、海面から発生した飛沫の輸送、及び植栽による飛沫の効果的な軽減方策を明らかにする目的で現地調査を実施した。砂浜に疑似植栽を設置し、風速分布と塩分付着分布を測定し、疑似植栽による飛沫軽減効果とそのメカニズムについて検討した。

2. 現地調査方法

2.1 調査地点と調査時期

現地調査地点は前報と同じ茨城県の波崎海岸（図-1）である。調査時期は、1992年12月、93年3月、93年11月の3回である。表-1にその調査概要を示す。ただし、風が陸風の場合は海面からの飛沫は発生するが、それが陸上部に輸送されないために調査不能の場合があった。ここでは、比較的調査条件の良かったCase-6～Case-9

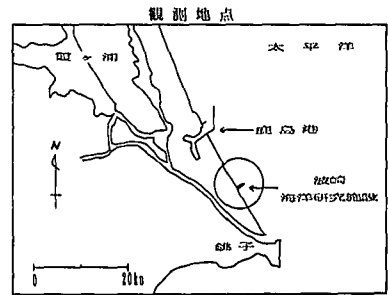


図-1 観測調査地点（茨城県鹿嶋市）

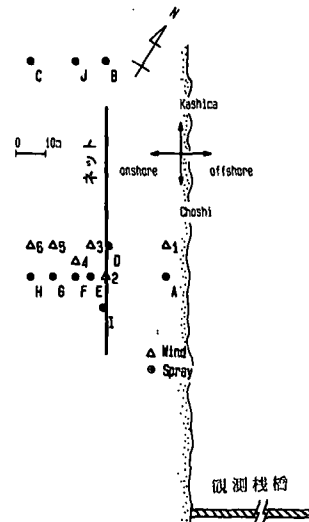


図-2 飛沫量（●）と風速（Δ）の測定点の位置図

の解析結果を述べる。

2.2 調査方法

図-2に、飛沫による塩分付着量及び風速の測点配置図を示す。前報（村上他, 1992）は海面からの飛沫の発生に関する調査であったために、観測桟橋上での調査が主であったが、今回は飛沫の輸送及び植栽による飛沫軽減を目的としているので陸上部の観測を主に行った。図中の太い実線は疑似植栽ネットの設置位置を示す。

風速は、現場型風速計（米国 Young 社製 Model 27106）

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
*** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部
**** 運輸省第三港湾建設局小松島港工事事務所
***** 運輸省港湾技術研究所海洋環境部

表—1 飛沫調査の期日

調査年月日	調査時間	ケース番号	調査概要	風向・風速
1992.12.22	9-11	No. 1	海上部の測定	$V_0=3.4 \text{ m/s}$, $\theta=-64^\circ$
1992.12.22	11-13	No. 2	陸上, ネット無し	$V_0=3.3 \text{ m/s}$, $\theta=-66^\circ$
1992.12.22	13-15	No. 3	陸上, ネット無し	$V_0=1.7 \text{ m/s}$, $\theta=-121^\circ$
1992.12.23	9-11	No. 4	陸上, ネット無し	風データ欠測
1993.03.10	15-17	No. 5	陸上, ネット有り	$V_0=7.4 \text{ m/s}$, $\theta=-36^\circ$
1993.11.05	11-13	No. 6	陸上, ネット有り	$V_0=1.6 \text{ m/s}$, $\theta=-45^\circ$
1993.11.05	13-15	No. 7	陸上, ネット有り	$V_0=1.9 \text{ m/s}$, $\theta=-67^\circ$
1993.11.05	7-9	No. 8	陸上, ネット有り	$V_0=3.4 \text{ m/s}$, $\theta=-2^\circ$
1993.11.06	9-11	No. 9	陸上, ネット無し	$V_0=2.5 \text{ m/s}$, $\theta=+22^\circ$

注) 風向 θ は真沖向きからの風を 0° とし, 時計回りに回転する。

を5本のポールに取り付け、地上1mから7.0mの高さまでの岸沖方向の風速を合計20の測点で測定を行った。なお、本風速計は1方向成分しか測定できないので、汀線近傍の測点1では2方向の風速を測定し、他の測点では岸沖方向成分のみの風速を測定している。

飛沫分布の測定も、10本のポールに測定ガーゼを取り付け、地上0.5mから8.5mの高さまでの測定を合計70の測点で行った。測点A～Hの測線では疑似植栽ネットのある断面の、また、測点B～Cの測線ではネットのない断面での飛沫量の測定を行っている。飛沫による塩分付着量は、縦横10cm×10cm（受風面積100cm²）のガーゼを約2時間空気中に放置し（乾式ガーゼ法）、それに付着した塩分量をKent-Taylor社の電導度計を用いて行った。なお、飛沫量の測定法に関しては前報に詳しく述べられているのでこちらを参考にされたい。

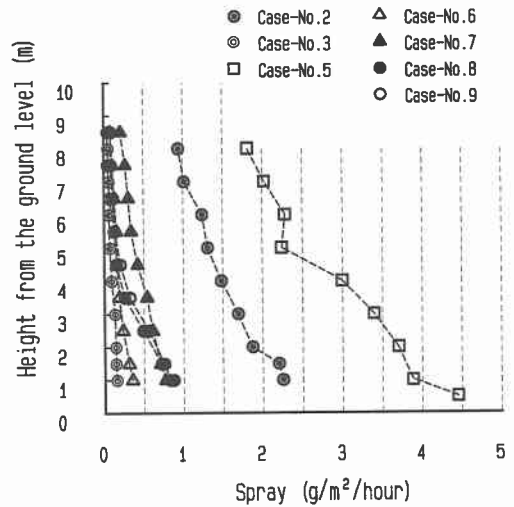
疑似植栽としては、海岸に幅80m、高さ3mのネットを図—2の太い実線で示す位置に設置した。用いたネットは防砂用（繊維土木開発社製 Type 5016：目合、縦1.2mm、横1.2mm）のものである。なおCase-9の調査は、海岸に設置されたネットを倒して行ったものである。

以上述べた現地調査の概観を写真—1に示す。

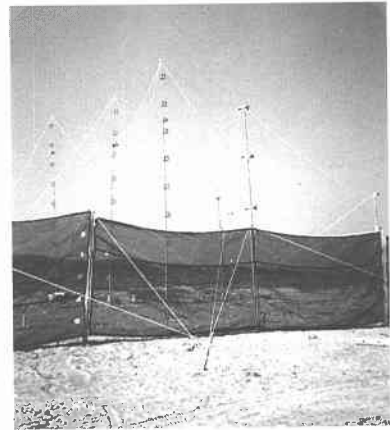
3. 調査結果とその検討

3.1 飛沫量分布と風速分布

ガーゼに付着した塩分量から飛沫量を算定した。図—3に汀線近傍で測定した飛沫量の鉛直分布を示す。この分布は、砕波点近傍で発生した飛沫が風によって運ばれてきたもので、陸上部の飛沫の境界条件となるものである。風向 θ は $-90^\circ \sim 90^\circ$ が海からの風であり、表—1をみるとCase-5が鹿島側からの強風、Case-2, 6, 7が鹿島側からの弱い風、Case-3が陸側からの風、Case-8, 9が沖側からの風となっている。海からの強風の場合に飛沫量は最も多く、陸風の場合はほとんど飛沫はない。また、鹿島側からの風の場合、沖側の風に比べて飛沫量が多く、上層での飛沫量の減少も緩やかになっている。地形的な要因、あるいは観測桟橋の存在による影響が現れたもの



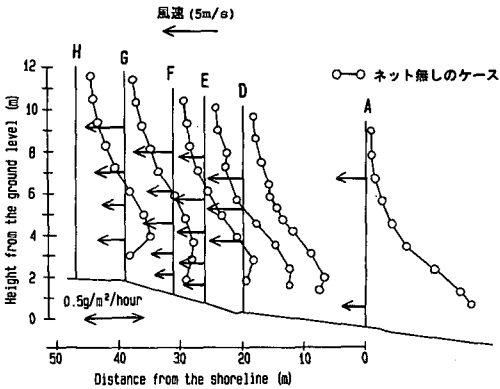
図—3 汀線近傍での飛沫量分布 (Case No. 表—1 参照)



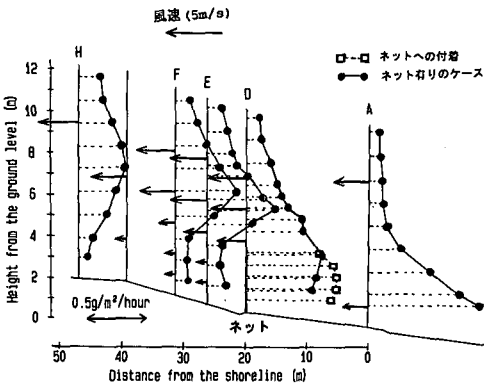
写真—1 現地調査の概観 (風速計、ガーゼ及びネット)

と思われる。またこの図から、海面から10m程度上層に行けば飛沫量は1/10～1/2に減少していることが分かる。

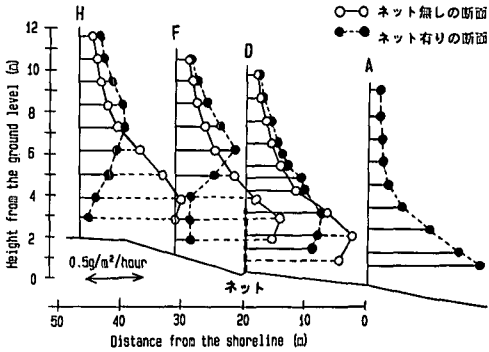
次に、疑似植栽ネットによる飛沫量軽減について示す。ネットの有無についての比較を、測点Aでの分布が類似しているCase-8とCase-9によって行う。図—4に疑似植栽ネットを設置しない場合の飛沫量分布を示す。その時の風速分布を同図中の矢印で示す。海岸汀線近傍での飛沫量は下に多い指数分布を示している。この指数分布は、海面からの飛沫の供給がある場合の分布に一致している。汀線近傍で指数分布となっていた飛沫量は、風によって陸上部に輸送される場合に、下層では減少し、上層では若干増加する傾向にある。また風速分布は、汀線付近においても上層に比べて下層の風速の方が若干小さいが、下層の風速は内陸部に進むにつれて砂浜の摩擦抵



図一4 飛沫量分布と風速分布 (ネット無し, Case-9)



図一5 飛沫量分布と風速分布 (ネット有り, Case-8)



図一6 ネットの有無による飛沫量分布の比較 (Case-8)

表一2 海岸においたガーゼへの付着量

番号	付着量 (g/m ² /h)	地表上 (m)	設置条件 (南南東5.9 m/s)
No. 1	0.0107	0 cm	下に鉄板を敷いた
No. 2	0.0093	0 cm	下に鉄板を敷いた
No. 3	0.0045	0 cm	ガーゼのみ設置
No. 4	0.0290	9 cm	ガーゼと地表に空間
No. 5	0.0231	9 cm	ガーゼと地表に空間
No. 6	0.0259	12.5 cm	ガーゼと地表に空間

注) 飛沫の地上への付着量の測定は、表一1の調査日とは別途実施している (1993年6月25日実施)。

m²/hourである。地表から若干上に浮かせた場合の結果が大きき値を示している。地上への飛沫落下量の測定は、設置の方法によっては風で移動している海岸の砂がガーゼに接触したりして難しかったが、垂直に設置したガーゼへの飛沫量と比較して1/100~1/10の大きさであり、あまり大きな飛沫量ではないものと考えられる。

3.2 数値計算による検討

観測結果に示した飛沫量分布及び風速分布からガーゼに付着した塩分量と風速との関連を把握する目的で数値計算による検討を行った。数値計算による検討は、風の支配方程式である Navier-Stokes の方程式を数値的に解いて行う方法も考えられたが、ここでは観測より得られた風速結果を連続式を満たすようにマスコンモデルを用いて縦29、横50の格子(横1.25 m、高さ0.5 m)に鉛直2次元的に内挿し、汀線近傍での飛沫量を上流端の境界条件として塩分の拡散計算を実施した。図一4に示すように観測地点の砂浜は約0.05の勾配があるが、この地形変化を無視して便宜上図一7に示すような矩形形状とした。

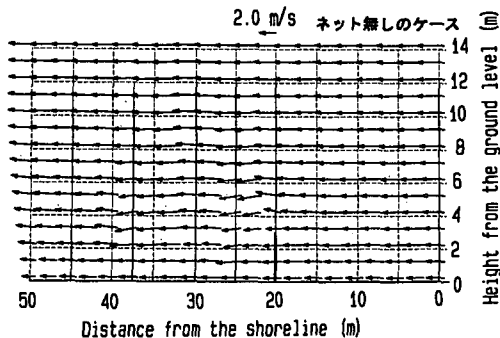
図一7に疑似植栽がない場合の風速の内挿結果を、また図一8には疑似植栽をおいた場合の風速の内挿結果を示す。疑似植栽ネットは空気の流れを完全に遮断するわけではないので、ここでは便宜上ネットの上方の風速の

抗を受けて少し減少する傾向が見られる。

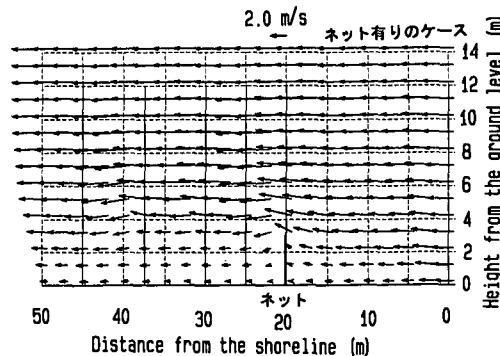
次に、疑似植栽ネットを設置した場合の飛沫量分布と風速分布の結果を図一5に示す。この図から、ネットの背後で飛沫量が急激に減少している様子、また風速も大幅に減少している様子が読みとれる。また同図には疑似植栽ネットに付着した飛沫量(□印)の結果を示す。ネット直前の測点でガーゼにより測定した値よりも若干大きい値が得られている。ただし、ネットの高さが3 mと低いので、飛沫は上層を通過している。

図一4、5は同じ日の測定結果ではあるが測定時刻は異なっており、その時の気象も若干異なっている。そこで、疑似植栽ネットの飛沫軽減効果をみるために、同時刻での測定のネットのある断面とない断面(図一2参照)での比較を行った。その結果を図一6に示す。各々の測定断面は約70 m離れており、波や海岸形状が必ずしも同じ条件ではないが、疑似植栽ネットによる飛沫量軽減効果の大きいことがこの図からもよく分かる。

これらの飛沫が地上に落下しているのかを調べる目的で、前記のガーゼを砂浜においた場合の結果を表一2に示す。地上のガーゼに付着した飛沫量は、0.005~0.03 g/



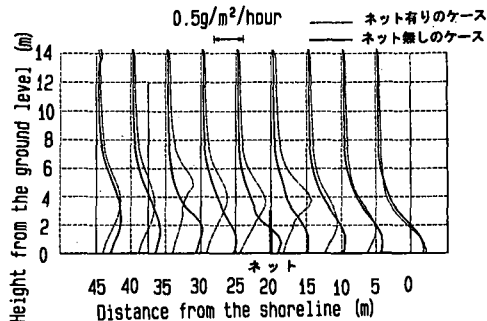
図一七 風速の内挿結果（ネット無しの場合）



図一八 風速の内挿結果（ネット有りの場合）

10%の空気量がネットを通過すると仮定して計算を行っている。疑似植栽ネットの場合、風は地表面近傍での風速が小さく、またネットの直前で上向きの流れとなっている。この上向きの流れが、飛沫量分布が上層で大きくなっている理由である。なお、風速の測定点で観測値を代入し、連続の式で内挿しているので所々で不自然な流れとなっている。

次に、前述の風速分布の結果を用いて上流端の塩分の濃度分布を境界条件として拡散計算を実施した。拡散計算は、水平拡散係数 $K_x = 1.0 \text{ m}^2/\text{s}$ 、鉛直拡散係数 $K_z = 0.05 \text{ m}^2/\text{s}$ で、濃度が定常になるまで行った。図一九に、飛沫量として濃度と断面空気通過量（風速×断面積×時間）との積によって表した場合の飛沫量分布を示す。実線がネット有りのケース、破線がネット無しのケースの結果を示す。この計算の場合、飛沫（海塩粒子）の沈降速度は考えず、鉛直拡散係数と濃度勾配によって地表に付着するものとした。疑似植栽ネットの場合、ネット直前での上昇流によって飛沫も若干上昇するが、ネット背後ではネットに付着すること及び風速が減少するので飛沫量はかなり減少する結果となっている。この結果は、



図一九 数値計算による飛沫量分布（実線：ネット無し、破線：ネット有り）

図一四、五に示した現地調査でのガーゼに付着した飛沫量の分布と類似しており、ここで実施した数値計算が現地の状況を再現しているものとみなすことが出来る。なお、地表面において鉛直換算係数をゼロ、すなわち地表には飛沫は何も付着しないと仮定した計算も実施した。その結果は図一九の飛沫量分布と比較して、地表付近で若干の濃度の上昇はみられたが、その他の領域では殆ど同じであり、地表への付着の影響は小さいものと判断される。

3.3 飛沫の付着のメカニズム

数値計算においてガーゼに付着した飛沫量は空気中の塩分濃度と断面空気通過量の積によって表し、ほぼ現地調査と類似した結果が得られた。このことは、構造物への塩分付着量は、空気中の塩分濃度のみならず風速の大きさにも依存することを意味している。この結果は、不透過の板上に設置されたガーゼへの飛沫量が、本調査のように空気が流れやすいようにした場合に比べて小さい結果が得られていることから頷ける結果である。

しかし、風速が非常に小さくなる疑似植栽ネットへの飛沫量は他の測点でのガーゼへの飛沫量とほぼ同じ値となっている。これは、空気の流れが疑似植栽ネットに衝突して上昇流となるために、疑似植栽ネットでは平均風速は小さくなっているが塩分の付着量は大きくなったものと解釈される。このことは、平均風速は小さくとも空気の乱れによる構造物への衝突が大きい場合には飛沫量は大きくなるものと考えられる。したがって、砂浜に置いたガーゼに付着した飛沫量は空気中の海塩粒子が沈降したのではなく、底面付近での空気の乱れによって塩分がガーゼに付着したものと想定される。

以上のように、構造物への飛沫の付着は空気中の塩分濃度にその構造物への空気の接触量との積で表すことができる。図一九のネット前面の地表面近傍での計算結果が実測に比べて小さいのは、空気の接触量を風速だけで表現し、乱れの効果を考慮していないためと思われる。

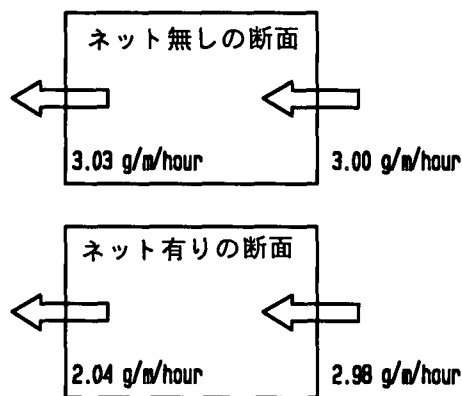


図-10 疑似植栽ネットによる飛沫量の軽減量

3.4 観測結果のまとめ

以上の結果から、疑似植栽ネットがある場合とない場合の海上からの飛沫の輸送量、及び内陸部への輸送量を算定した。その結果を図-10に示す。ネットがない場合には 3.00 g/m/hour の飛沫量が海から輸送され、 3.03 g/m/hour の飛沫量が内陸部へ輸送された。これに対しネットがある場合には、 2.98 g/m/hour の飛沫量が海から輸送され、 2.04 g/m/hour の飛沫量が内陸部に輸送された。これらの結果から、飛沫の地上への落下は無視できること、また 3 m の疑似植栽による飛沫量軽減は約 30% であったことがわかる。高さ 3 m の植栽による飛沫軽減は効果的ではあるものと考えられる。汀線近傍の飛沫分布から判断すると、高さ 10 m 程度の樹木であればより効果的な飛沫軽減ができるであろう。今回の調査では、大がかりな工事を含まない形での疑似植栽ネットの設置であったために、かなり低い高さのネットしか設置できなかった。飛沫分布から考えると、もう少し高いネットでの検討が必要であると思われる。また、実際の樹木とネットとの違いを把握しておく必要がある。

4. おわりに

本研究で得られた結論をまとめると以下の通りであ

る。

- ① 汀線付近で下に多い指数分布をした飛沫量の分布は、陸上部に輸送されるにつれて、地表付近は減少、上層は若干上昇する。これは、鉛直方向の拡散と地表付近での風速が小さくなることによる。
- ② 測定ガーゼに付着した飛沫量は、近似的には空気中の塩分濃度と風速の積に比例するものと考えられる。ただし、構造物への飛沫の付着量は空気中の塩分濃度とその空気の構造物への接触量と考えることができる。このことから、飛沫量は空気中の塩分濃度、風速、及び風の乱れの関数と考えられる。
- ③ 疑似植栽ネットにより背後の飛沫量が減少する。この結果より、植栽による飛沫量軽減が期待できる。
- ④ 飛沫量の陸上への付着が小さいことから、陸上部における飛沫（海塩粒子）の沈下量は非常に小さい。

最後に、本調査は多くの人による共同調査の成果である。ここに、本調査に参加して戴いた当研究所漂砂研究室の栗山善昭主任研究官、柳島慎一主任研究官、中村聡志主任研究官、福田真人研究員（現第五港湾建設局）、また海域環境研究室の山田邦明研究員（現第一港湾建設局）に感謝いたします。

参考文献

- 田中正昭 (1970): 塩害に関する基礎的研究 (第4報), 一海岸近くにおける海塩粒子の分布一, 京都大学防災研年報, 13. B, pp. 445-456.
- 浜田純夫・日野伸一・兼行啓治 (1986): 海岸付近の飛沫量調査, 山口大学工学部研究報告, Vol. 36, No. 2, pp. 255-260.
- 村上和男・加藤一正・沼水勝義・福田真人・宮崎啓司 (1992): 碎波帯内における海塩粒子の発生に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1046-1050.
- 村上和男・山田邦明・西守男雄 (1994): 沿岸域の飛沫に関する現地調査—津田における現地調査結果とアンケート調査結果—, 港湾技研資料, No. 784, 48 p.