

# 新潟海岸における飛砂の実態と防砂フェンスの機能

佐藤 慎司\*・大谷 靖郎\*\*・橋本 新\*\*\*・堀口 敬洋\*\*\*\*

## 1. はじめに

新潟海岸は、関屋分水路から五十嵐一の町に至る延長約 8 km のほぼ直線的な砂浜海岸であり、海浜の直背後には国道 402 号が走っている。新潟海岸では、冬季の北西一西北西方向の強い季節風によって発生する飛砂が著しく、道路上に侵入・堆積した飛砂が車両通行の妨げとなっている。また、飛砂による海浜からの土砂流出は、新潟海岸における海岸侵食の原因の 1 つとして、無視できない量となっている可能性も考えられる。

このような飛砂による被害を防止するために、道路に沿って堆砂垣、人工砂丘、飛砂防備林などの対策が実施されているが、道路が海浜に接している区間では、さらに道路の海側数 m の位置に高さ約 2 m の鋼製の透過性防砂フェンスを設置して飛砂の防止を図っている。しかし、高さ 2 m の防砂フェンスは、初期の段階では十分な飛砂防止機能を有しているが、冬季の後半ではフェンス上部付近まで達する土砂の堆積が生ずるため、埋没による防砂フェンスの機能低下も見られる。

本研究では、新潟海岸における飛砂の実態および防砂フェンスの飛砂防止機能を解明することを目的とし、現地海浜において、砂浜地形の測量、水平・垂直捕砂器による飛砂量の観測および風向・風速の連続観測を実施した。その結果、飛砂対策の実務において参考となる有益な定量的成果を得ることができた。

## 2. 現地観測の概要

### 2.1 観測地点および観測内容

現地観測は、図-1 に示す新潟海岸上新栄町地先において 1998 年 12 月 4 日から 1999 年 3 月 7 日までの約 3 ヶ月間にわたり実施した。観測地点の上新栄町地先海岸には、汀線より約 50 m 沖合に離岸堤が建設されており、約 100 m 程度の広い砂浜が存在する。砂浜の内陸側は国道 402 号と接しており、道路より海側約 7 m の位置

に透過性の鋼製フェンスが立てられている。

観測項目は、(1) 道路に対して垂直方向(汀線にほぼ直角)の砂浜地形の測量、(2) 地形上重要な地点における飛砂量の鉛直分布、(3) 防砂フェンスを越えて道路の海側・陸側に落下する浮遊飛砂量および(4) 観測期間中の風向・風速の連続観測である。

### 2.2 観測機器と方法

図-2 に観測機器の平面配置を示す。測線 No. 1, No. 2, No. 3 は、飛砂の堆積過程を測量するために設けたものであり、測線間隔は 25 m となっている。各測線の汀線から道路の陸側 10 m までの範囲を対象として、1998 年 12 月 4 日から 1999 年 3 月 7 日までの約 3 ヶ月間に合計 6 回の測量を約 2 週間の間隔で実施した。

飛砂量の鉛直分布の測定は、St.A-V, St.B'-V, St.B-V, St.C-V の 4 地点において実施した。St.A-V は砂浜平坦部の自然状態、St.B'-V は防砂フェンスの風下(道路側)に形成される砂丘頂部、St.B-V および St.C-V はフェンス付近に形成される砂丘背後の道路の海側端と陸側端における鉛直分布の測定を目的としている。観測に用いた捕砂器は、塩澤ら(1993)が用いた捕砂器と同様の形状・寸法であり、砂面からの高さ方向に 10 層(砂面上 2.5 cm, 7.5 cm, 12.5 cm, 17.5 cm, 22.5 cm, 27.5 cm, 35 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm)の採取が可能である。

フェンスを越えて落下する浮遊状態の飛砂量の測定は、道路の両側に位置する St.B-H, St.C-H, St.D-H, St.E-H の 4 地点において実施した。測定には、縦横の長さが 2 m × 2 m、深さが 0.5 m の全量型の水平捕砂器を用いた。水平捕砂器は、地面を掘削した後に砂留をした四

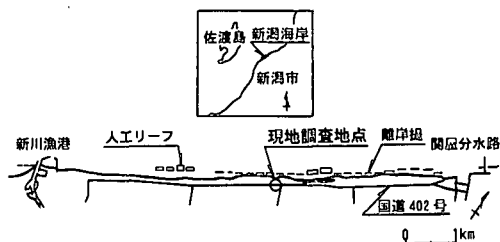


図-1 調査対象地点

\* 正会員 工博 東京大学助教授 大学院工学系研究科(前建設省土木研究所 海岸研究室)  
\*\* 正会員 (株)アイ・エヌ・エー 海岸部  
\*\*\* 水修 (株)アイ・エヌ・エー 海岸部  
\*\*\*\* (株)アイ・エヌ・エー 海岸部

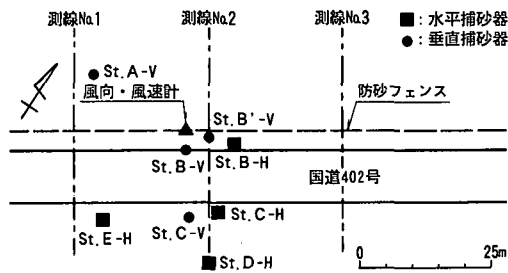


図-2 観測機器の平面配置

方形の凹形状の穴に、目合が70 $\mu$ mのプランクトンネットを用いて作成した捕砂袋を設置した。

垂直・水平捕砂器による観測は、飛砂の発生しやすい乾燥状態の強風時を対象として、1998年12月24日、1999年1月21日、3月6日の計3回実施した。なお、▲印は、風向・風速計の設置地点であり、センサー一部を防砂フェンス上端より3.35mの高さ(T.P.+13.40m)に設置し、1時間毎に10分間の測定を3ヶ月間連続で行った。

### 3. 観測結果

#### 3.1 観測期間中の気象

図-3に観測期間中の平均風速の経時変化を示し、図-4に風向・風速の出現頻度を示す。なお、風向・風速の複合出現頻度には、観測地点周辺の平均的な海岸線も示してある。風速が10m/sを超える強風は大部分が海側から吹いており、観測期間中には最大で20m/sの強風が発生している。また、卓越風向はWNW方向であり、海岸線に対して西寄りの風向が卓越している。

#### 3.2 フェンス周辺における飛砂の堆積過程

図-5に測線No.1における飛砂の堆積過程を示す。なお、地形変化を明瞭に示すために第2回、第5回の測量結果は省いてある。第4回測量(1999年1月22日)の時点では防砂フェンスはほぼ埋没しており、それ以降ではフェンス陸側の堆積量が増加している。また、フェンス海側の海浜部における地形変化を見ると、フェンスより約50m海側の地点までの領域で堆積が生じており、この傾向は、他の2測線においてもほぼ同様であった。

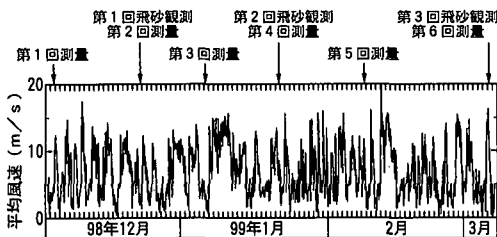


図-3 観測期間中の平均風速の経時変化

図-6は、①道路の陸側(10m)、②道路海側端～防砂フェンス間(7m)、③防砂フェンスの海側(47m)の3区間に分け、3測線の平均堆積量の経時変化を示したものである。区間③の防砂フェンスの海側では、初期の20日間の堆積が著しく、その後は平衡状態となっているのに対して、区間②の道路～防砂フェンス間では、平衡状態に達するまでに約50日間を要している。また、第4回測量以降では、フェンスの捕砂機能は失われていたものと考えられ、区間①の道路の陸側では、フェンスの機能が低下した後に堆積量が増大する傾向が伺える。

なお、区間②に相当する道路脇の堆積土砂については、

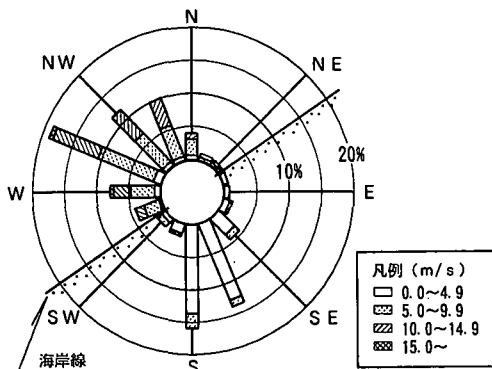


図-4 観測期間中の風向・風速の出現頻度

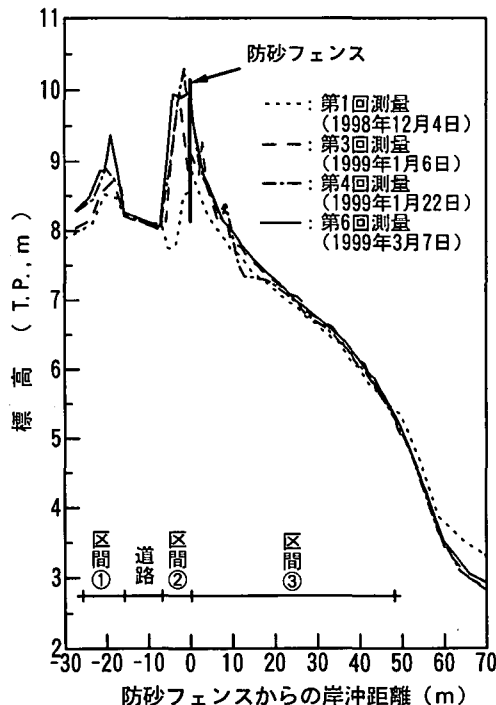


図-5 測線No.1における飛砂の堆積過程

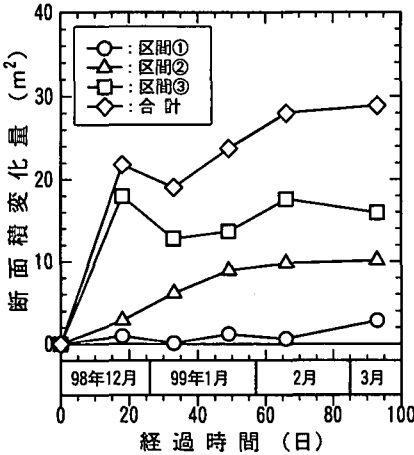


図-6 飛砂による堆積断面の経時変化

毎年春季に道路管理者が除去しており、除砂量は約1万m<sup>3</sup>前後である。観測結果による区間②の堆砂量は約10m<sup>3</sup>/mとなっている。除砂が行われている延長が約2kmであることを考慮すると、堆積量の合計は年間の除砂量にほぼ等しい1~1.5万m<sup>3</sup>程度と推定される。また、防砂フェンス海側の堆積土砂は、フェンスの機能を回復させるために、海側に押し出す形で処理されている。

3.3 飛砂量の実測値と推算値の比較

図-6に示したように防砂フェンス周辺における観測期間中の平均堆積量は約30m<sup>3</sup>/mとなっている。また、図-5によると、この飛砂の堆積は、主としてフェンス海側の19m地点から道路陸側10mまでの約56m区間(道路幅を除く)で生じている。この区間の海側端を通過した全飛砂量が堆積しているものと仮定し、堆積量と推算飛砂量の比較を行った。飛砂量の推算は、堀田(1985)に基づく以下の手順で行っており、砂面の湿潤状態を定量的に評価できないことから乾燥砂面として取り扱った。

(1) 計算に用いた飛砂の代表粒径は、図-7に示す水平捕砂器により採集された試料の粒度分析結果から中央粒径  $d_{50} = 0.24 \text{ mm}$  とした。

(2) Zingg (1952) の式よりフォーカルポイント(砂粒子が運動状態にある時の風速鉛直分布を表す直線群の集中する点)は、 $u' = 2.15 \text{ m/s}$ 、 $z' = 0.0024 \text{ m}$  とする。

(3) 風向・風速計の高さを3.5mとして、摩擦速度  $u_*$  と高さ3.5mにおける風速値  $u_{3.5}$  の間に(1)式を仮定する。

$$u_{3.5} = 5.75u_* \log_{10} \frac{3.5}{z'} + u' \dots\dots\dots (1)$$

(4) 飛砂量公式としては、以下の河村(1951)の式を用いる。

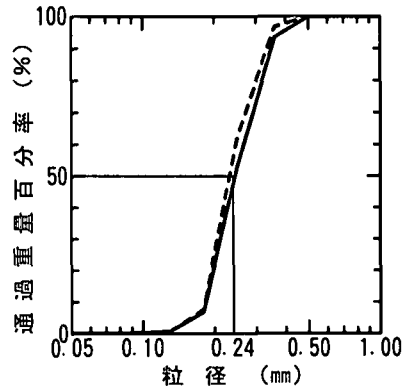


図-7 海浜砂の粒径分布

$$q = K \frac{\rho_a}{g} (u_* + u_{*c})^2 (u_* - u_{*c}) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $q$ : 飛砂量(kg/m<sup>3</sup>・s)、 $K$ : 実験係数(1.0)、 $\rho_a$ : 空気の密度、 $g$ : 重力加速度、 $\rho_a/g = 0.125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ 、 $u_{*c}$ : 移動限界摩擦速度(0.20 m/s)である。

(5) 式(2)により推算される飛砂量は、風向に対して直角方向の単位幅を通過する量であることから、風向がフェンスの直角方向に対して  $\theta$  だけ傾いている場合には、式(2)の値を次の式(3)により補正する。

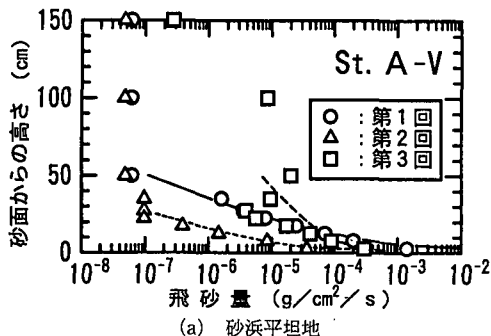
$$q' = q \cos \theta \dots\dots\dots (3)$$

以上の手順により、毎時の風向・風速の観測値を用いて全飛砂量  $q' dt$  を算定する。なお、風が陸側から吹く場合および計算される摩擦速度が移動限界摩擦速度より小さい場合には、飛砂量の算定は行わないものとした。

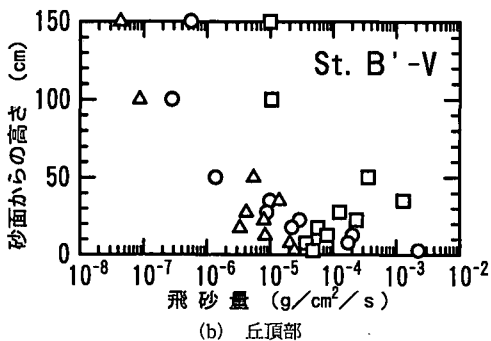
推算された全飛砂量を砂の単位体積当りの質量を1800 kg/m<sup>3</sup>として容積に換算すると約26m<sup>3</sup>/mとなる。しかし、堀田(1985)によると、粒径が0.2mm~0.3mmで砂澁が存在する乾燥砂面における  $K$  の値は、 $K = 2.0 \sim 2.5$  程度であることから、推算飛砂量は  $K = 2.0$  で約52m<sup>3</sup>/m、 $K = 2.5$  で約65m<sup>3</sup>/mとなる。一方、砂浜地形測量から求めた飛砂量は約30m<sup>3</sup>/mであり、乾燥砂面上の推算飛砂量の50%程度となる。実測値が小さい理由としては、現地海浜では砂面が湿潤状態にあること、測量範囲外の内陸側にも飛砂が及んでいることが考えられる。

3.4 飛砂量の鉛直分布

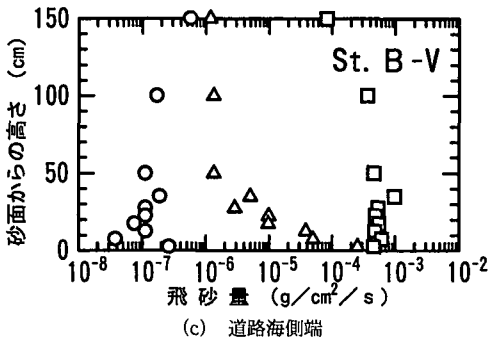
図-8に各測点における飛砂量の鉛直分布を示す。(a)は砂浜平坦部のSt.A-Vにおける鉛直分布であり、図中の曲線は、堀田ら(1991)の提案する方法で河村(1951)の鉛直分布式を当てはめたものである。第3回の観測データには多少バラツキが見られるが、地表面上約50cmまでの範囲では河村の式は観測値と一致している。しかし、50cmより高い位置における観測データは説明できない。これは、河村の式では砂粒子の跳躍運動(salta-



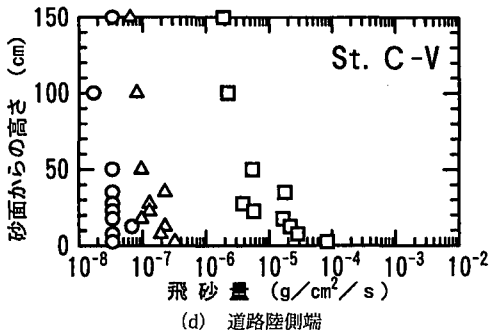
(a) 砂浜平坦地



(b) 丘頂部



(c) 道路海側端



(d) 道路陸側端

図-8 飛砂量の鉛直分布

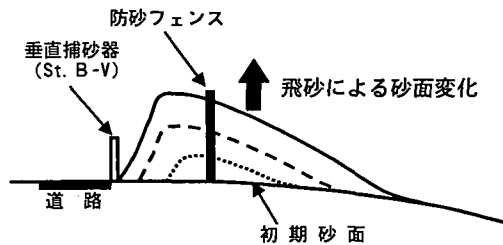


図-9 防砂フェンス周辺の観測条件変化の模式図

る。捕砂器は、丘頂に沿って設置したため、風向に対しては直角に位置していない。第1回、第2回の観測では、地表面の飛砂量が最大となっており、高さ方向に減少する傾向が認められるが、第3回観測では、地表面上50 cmまでは高さ方向に増加する傾向が見られる。これは、地表面から30 cm～50 cm露出している防砂フェンスが背後の飛砂量の鉛直分布に乱れを生じさせたものと考えられる。

(c)は、道路海側端のSt.B-Vにおける鉛直分布であり、捕砂器は、道路(防砂フェンス)に対して平行に設置している。この地点は、防砂フェンスによって形成された砂丘の風下側の遮蔽域に位置することから、図-9に示すように、砂丘の成長にともない環境が複雑に変化する。また、フェンスの風下側では循環流が形成されることが予想され、地表面近くでは風は海側に向かって吹き、かつ風向が丘頂に対して斜めになるため、遮蔽域では斜面に沿った流れも生じ、流れが3次元的で強い乱れを含むものになっていると考えられる。また、第1回観測では、捕砂量が微量であるために評価は難しいが、既に防砂フェンスが埋没した状況にある第2回と第3回の観測では、地表面近くで有意な飛砂量が得られており、砂丘頂部をジャンプした砂粒子を捕捉したものと考えられる。特に第3回観測においては、砂丘の風下側斜面は道路端まで達しており、砂丘頂部をジャンプした砂粒子は直ちに道路面上に落下・堆積する状況となっており、防砂フェンスはほとんど機能していない状況にあった。

(d)は、道路陸側のSt.C-Vにおける鉛直分布である。第1回と第2回の観測における捕砂量は微量であるため量的な評価は難しいが、第3回観測では、有意な捕砂量が得られており、丘頂をジャンプして道路面上に落下した砂粒子がさらに風下側に移動し捕捉されたことも考えられる。しかし、道路上の砂粒子は、走行する車両によって巻き上げられ跳ね飛ばされた後に、道路陸側に移動した可能性が高く、St.C-VおよびSt.B-Vのような状況下における飛砂現象の解明は今後の課題である。

3.5 水平捕砂器による飛砂量

図-10に水平捕砂器によって捕捉された浮遊飛砂量

tion)を前提として尋かれているが、現地海浜では、高さ50 cm程度より上方の砂粒子は浮遊状態となっており、砂粒子の運動形態が異なっているためと解釈できる。

(b)は、丘頂のSt.B'-Vにおける鉛直分布であり、丘頂(クレスト)は防砂フェンスにほぼ平行に形成されてい

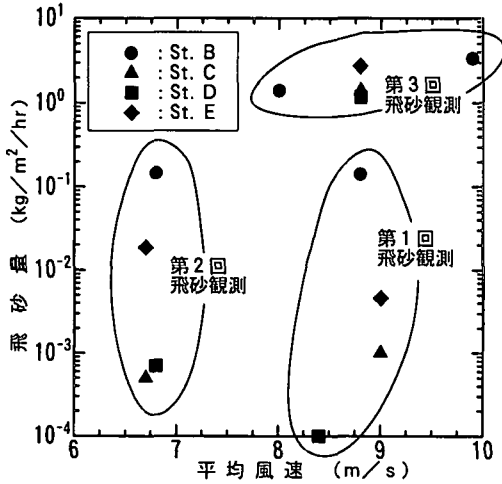


図-10 浮遊飛砂量と平均風速の関係

と平均風速の関係を示す。捕捉された飛砂量は、いずれの測点においても風速に関係なく、第1回と第2回の観測は同程度の量であり、防砂フェンスが埋没した後の第3回観測では、 $1\sim 3 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ と $1\sim 2$ オーダー多くなっている。これは、新潟海岸で道路への飛砂が著しい約2 km区間の合計で $2\sim 3 \text{ m}^3/\text{hr}$ 程度の量となる。

また、第3回観測では、道路陸側のSt.C, St.D, St.Eのいずれの測点においても道路海側のSt.Bと同じオーダーの飛砂量が捕捉されている。このことから、防砂フェンスによって形成される砂丘が道路まで達すると、車両の通行等によって砂丘の発達が抑制されるため、本来は道路上に堆積する飛砂の大部分が道路を越えて内陸側に移動しているものと推察される。したがって、内陸部への飛砂の移動は、防砂フェンスの高さおよび設置位置によって決定されるフェンスの捕砂能力に大きく依存しているものと考えられる。

#### 4. 新潟海岸における飛砂の実態

新潟海岸では、防砂フェンス前面に広い砂浜があり、飛砂の発生する領域は広い。砂面で発生した飛砂は、陸側に移動してフェンスの位置に達した時、フェンスによる減風作用によってフェンス周辺に捕捉され、砂丘の形成が始まる。時間的推移を見ると、砂丘は丘頂をわずかずつ陸側に移動しながら成長し、丘頂の陸側の斜面はほぼ安息角に近い角度を保ちながら砂丘全体が発達していく。さらに堆積が進み(2月上旬)、フェンスがほぼ埋没し、砂表面から $30\sim 50 \text{ cm}$ 程度のみが露出している状況になると、防砂フェンスの飛砂捕捉能力は著しく低下する。このような状況では、風上側の砂丘斜面を移動して

きた飛砂は、そのほぼ全量が風下側の斜面に落ち込むことになる。フェンスが埋没した状態(2月上旬以降)では、砂丘の風下側端は道路に達し、それ以後は道路を含めた内陸部に飛砂が大量に堆積することになる。

#### 5. まとめ

本研究の主要な成果は以下に要約される。

① 砂浜地形測量によると、観測期間中の3ヶ月間では、区間平均の単位幅当たりの堆積量は約 $30 \text{ m}^3/\text{m}$ であり、この値は、砂面が乾燥状態にあると仮定した時の河村公式で推算される飛砂量の約50%程度となる。

② 飛砂量の鉛直分布によると、平坦な海浜上では、砂面から高さ50 cmの範囲では、跳躍運動を仮定した河村の式と良い一致を示している。一方、その他の測点では、防砂フェンス、砂丘、道路等によって自然海浜と異なる複雑な分布形態となっており、砂丘の直背後では、風下斜面に形成される強い乱れによる混合の影響も見られた。

③ 防砂フェンス風下側の水平捕砂器で捕捉された飛砂量は、フェンスが埋没した状況では $1\sim 3 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ と埋没前より $1\sim 2$ オーダー多くなっている。また、砂丘が道路まで達すると、道路を越えて内陸側に移動する飛砂量が著しく増大することから、防砂フェンスの高さおよび設置位置がフェンスの捕砂能力の支配的要因であると考えられる。

最後に、本研究を発表する機会を快く与えて頂いた建設省信濃川下流工事事務所の関係各位に深甚の謝意を表します。また、現地観測の実施に当たり貸重など助言を頂いた泉宮尊司新潟大学教授、堀田新太郎日本大学教授および観測計器の設置等に多大なご協力を頂いた新潟県新潟土木事務所に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 河村竜馬(1951): 飛砂の研究, 東京大学理工学研究所報告, Vol. 5, No. 3-4, pp. 95-112.  
 塩澤俊彦・中谷内信一・赤澤 守・玉城重則・黒木啓司(1993): 新潟海海岸における飛砂の現地観測, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 281-285.  
 船越晴世・大野正人・阿部勝雄・鈴木幸一・黒木敬司・玉城重則(1993): 飛砂防止対策について, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 291-295.  
 堀田新太郎(1985): 海岸環境工学, 第2編第5章, 東京大学出版会, pp. 191-209.  
 堀田新太郎・武田 力・堀川清司(1991): 飛砂量の鉛直分布についての実験的研究, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 261-265.  
 Zingg, A. W. (1952): Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material, Proc. of 5th Hydraulics Conf., IAHR, pp. 111-135.