

砂 丘 の 風 食 と 飛 砂

——一般道道稚内—天塩線——

竹 内 政 夫* 野原他喜男** 加 藤 清 志***

1 ま え が き

現在建設中の一般道道稚内天塩線は、稚内市と天塩町を日本海沿いに結び、一般国道 232 号と連絡する道路で道北の経済・産業の振興の面から早期開通が期待されている。この区間内の夕来地区では、原始砂丘の風食による飛砂のため、工事中の路面が砂に埋没する現象が現われ、車の通行が不可能な状態が生じた。このため、飛砂防止対策が必要になりその基礎調査として、飛砂に関する種々の調査を行うとともに、柵による飛砂防止工に関する試験工事を実施している。ここでは、基礎調査の概要と現在までに得られた調査結果について述べる。

2 調 査 方 法

(1) 調 査 個 所

現在、飛砂が円滑な道路交通の障害となっているのは、写真-1、図-1 のように 2 カ所あって、いずれも、風食域が道路を横断して内陸側に発達している。調査箇所はこの 2 カ所を選んだ。図-1 で A 地点とした場所は、道路が海岸に 80 m 位にまで接近しており、道路と海岸の間は風食された砂丘地帯となっている。この付近の道路の切土区間は、とくに砂の吹溜りが激しい。一部は浅い沢を横断した低い盛土になっているが、この沢が風向に沿った形となって、飛砂の移動量の多い道筋になっている。B 地点は海岸まで約 300 m あり、その間は 4~5 列の原始砂丘が風食されて、一帯に砂が露出しており、ごく部分的に残存している緑地帯をも埋めつくす勢いで砂が移動している。この付近の道路は、いくらか盛土になっている。

(2) 調査項目および調査方法

a) 気 象 調 査

自記風向風速計による風の観測と降積雪有無の観測。

b) 地 形 調 査

A 地点および B 地点の一部において平面測量と縦横断測量による砂の堆積と風食の変動調査。

過去に撮影された航空写真による地形変化の調査。

c) 飛砂発生源調査

水準測量および目視による飛砂発生源の調査。

d) 飛砂量の測定

風速による飛砂量の推定と飛砂計による測定。

e) 植 生 調 査

現地における砂丘植物の種類と成長速度の調査。

これは砂丘を植物によっておおい、飛砂防止をはかることを前提に、その可能性を見るために行ったものである。

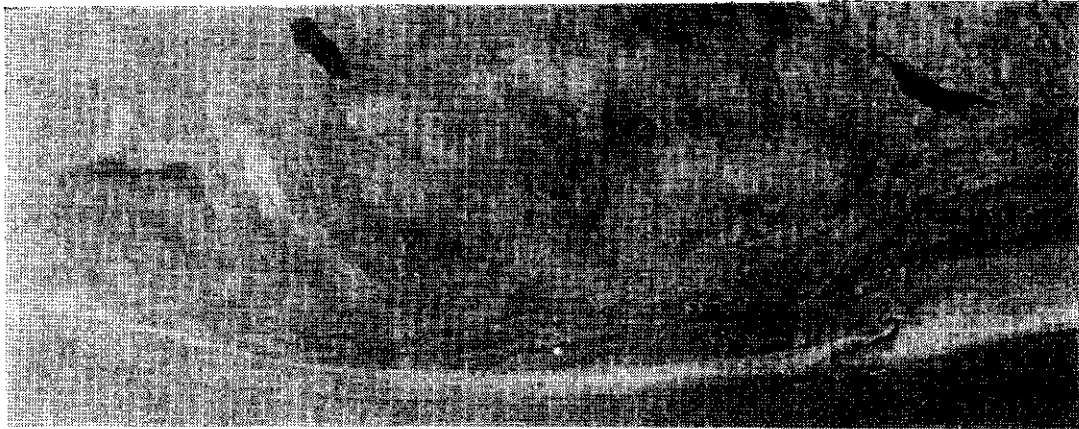
以上のような調査を稚内開発建設部と当所とで分担して行った。これらのうち、ここでは主として地形調査、飛砂に関する調査および気象調査の結果を中心に述べる。

3 砂丘の発生と発達

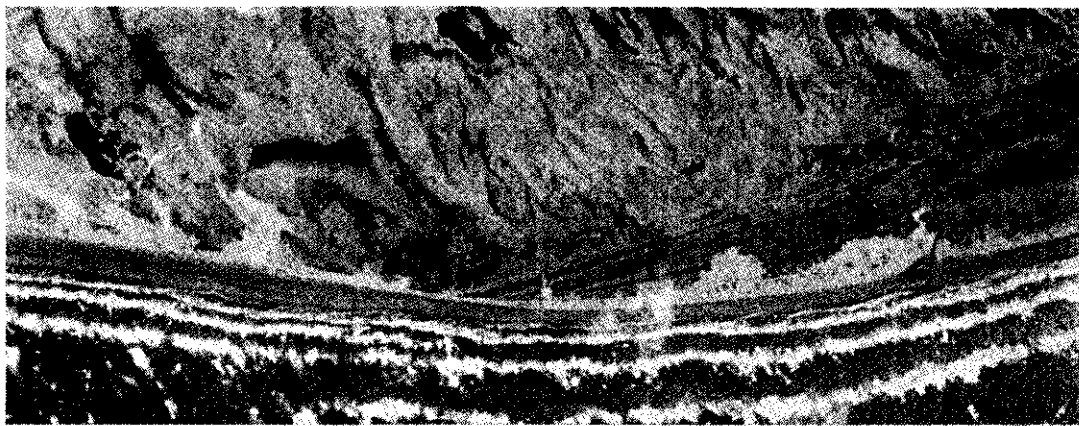
稚内市郊外から天塩川河口にかけて、数 10 km の長さに、海岸隆起によるとされる原始砂丘が、海岸に沿って数列並んでいる。ここでいう原始砂丘とは、風食されておらず、自生地としては北限といわれるミズナラやハマナスなどの草木でおおわれた長く低い丘で、表層 40~50 cm は有機質を含んだ細かい砂で、その下は海岸と同じ砂になっている。このように、植生と表層土の殻によって守られていた原始砂丘の一部は、今日夕来地区で見られるように、崩壊し原始砂丘内部にあった砂が風で移動し、植生を埋め枯らしながら砂漠化している。

現在の道路への飛砂対策をはかるにあたって、飛砂に関する現状把握とその防止を行うことのほかに、原始砂丘全体も同様な条件にあることから、将来同じことがどこかで起きることも想定しなければならない。このことから、過去にさかのぼって原始砂丘侵食の発生からどのように発達してきたかを調査した。調査は航空写真と現地測量によって行った。入手できた航空写真は、1947 年、1964 年、1967 年、1974 年に各々撮られたものである(写真-1 参照)。写真は砂丘の調査を目的にしたものでなく撮影高度や方向、時期も異なっている。そのため、写真から変動のない基準点をいくつかとりそれをもとに、1/15,000 の地形図に書きなおした。1947 年の写真では

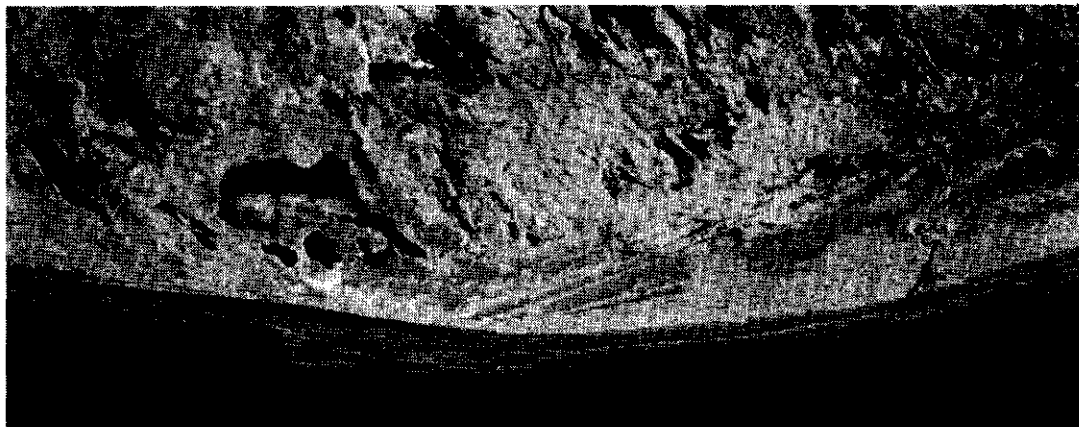
* 応用理化学研究室主任研究員 ** 同室員 *** 稚内開発建設部稚内開発事務所道路課建設係長



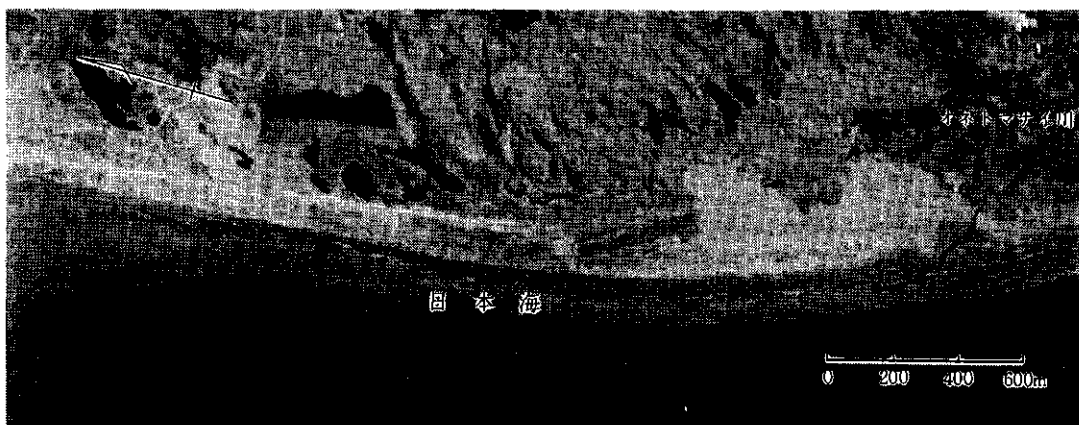
1947年



1964年



1967年



1974年

写真-1 砂丘風食の進行状況（航空写真）

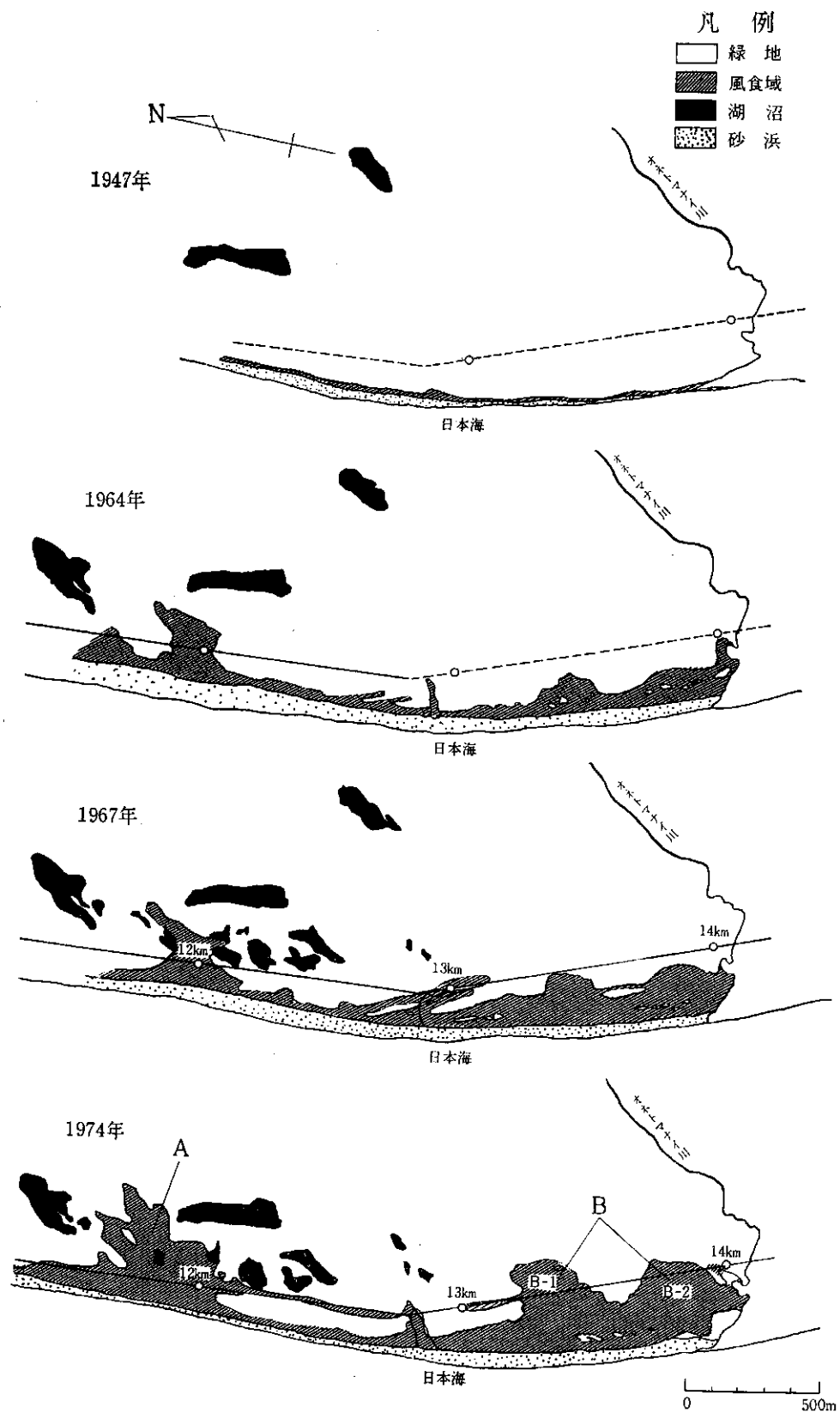


図-1 風食の進行状況（航空写真による）

A・B地点ともに、侵食のごく初期段階ではあるが、現在のA・B地点で侵食の発生がうかがえる。しかし写真そのものが不鮮明で、侵食域も小さく正確な面積を求めるのはむずかしい。原始砂丘侵食の発生は1947年より以前であることはわかるが、それがどんな力によったのかはわからない。しかし、その後の侵食は、主として風によって発達して行ったものと考えられるので、以後は風食と呼ぶことにする。風食の発達がはっきりするのは、1964年の写真からで、以後急激に発達拡大している。航空写真をもとに風食の発達状況を植生と砂とで区別して示したのが図1である。このように1964年以後になっ

て、A・B地点での風食の発達が明瞭となる。またA・B地点以外にも、今後発達のおそれのある部分が見られる。図-1をもとに風食域(砂地)の時間的面積変動を示したのが図-2である。図-3はB-2における風食域の変動で現地測量の結果も加えたものである。図-2(a)の曲線は、図-2(b)の片対数グラフでは直線になっており、風食の発達拡大は対数的に進んでいることがわかる。この直線を延長することによって、将来の風食の発達程度が予測できる。このように風食域が対数的に発達するのは、風食域の拡大に伴って飛砂の供給源も拡大し、砂の移動量の増加につながり、その分だけ早く植生を埋めて

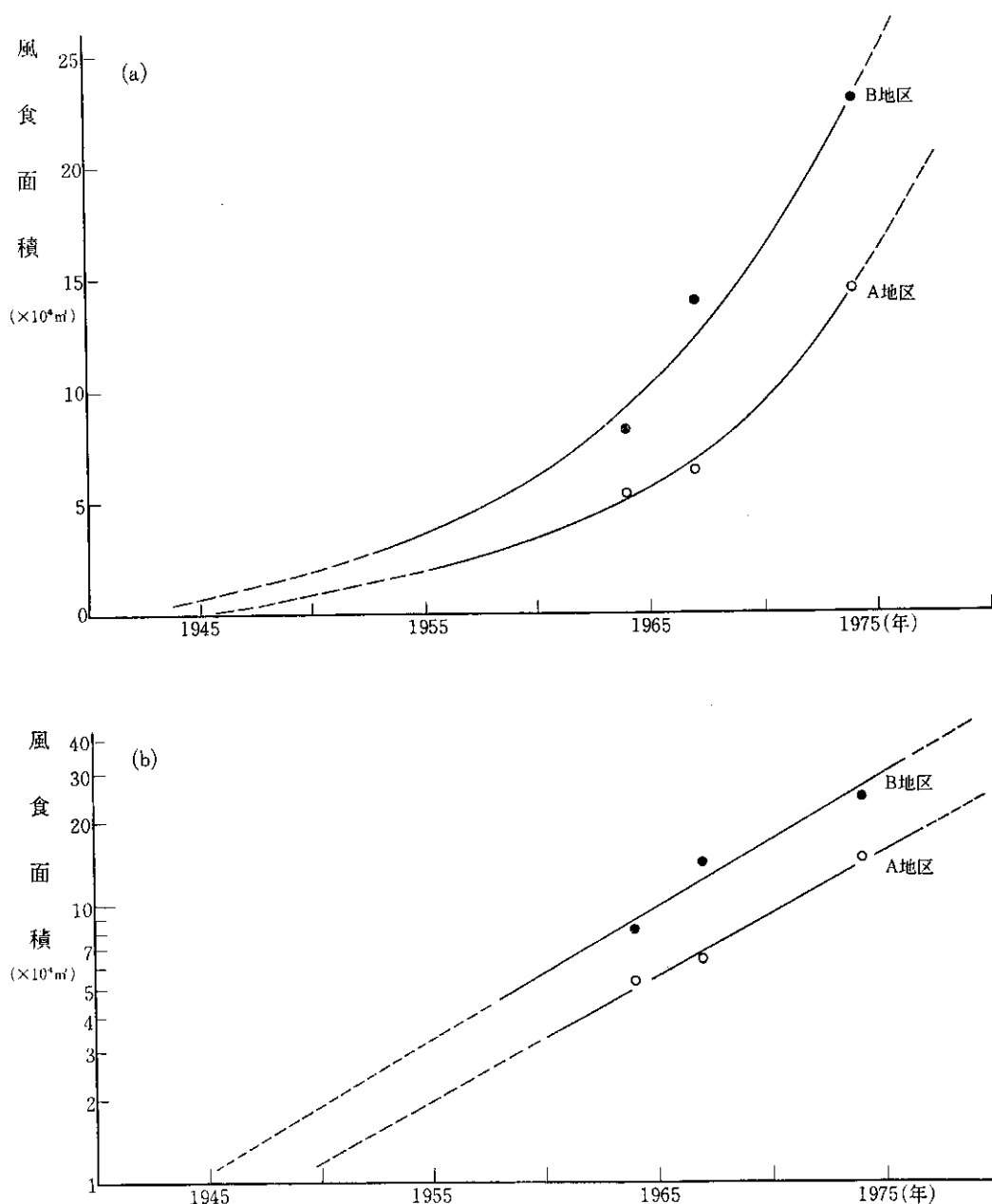


図-2 風食域の拡大

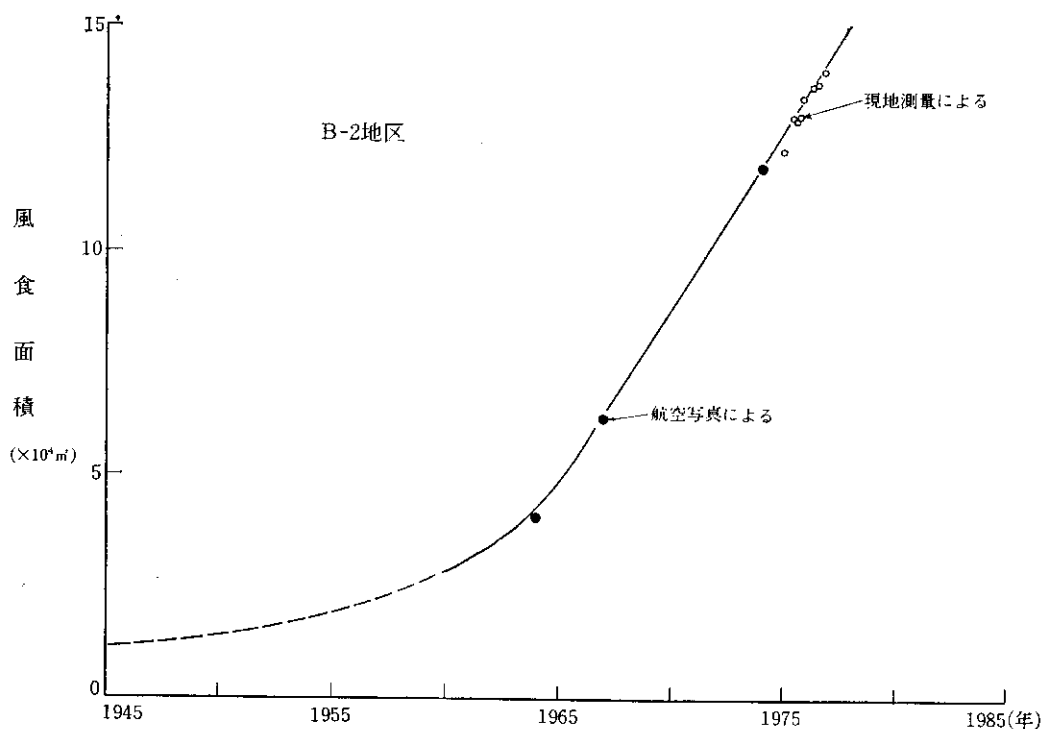


図-3 B-2 地区における風食の拡大

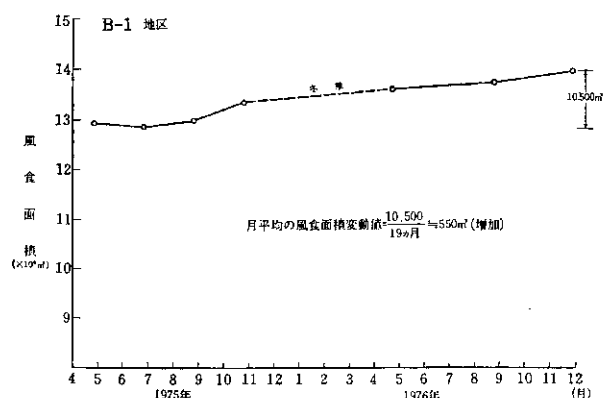


図-4 風食域の変動 (現地測量による)

行くからである。

これらのことから、防止対策の実施は早ければ早いほど労少なく効果が大きいことがわかる。また現在は障害にならない未発達風の風食域も、将来発達する可能性は十分あるので早期対策が望まれる。

次に現地測量による B 地点での侵食域の発達状況を図-4に示す。この図で1975年4月末から6月末にかけて侵食域が減少して見えるのは、後で述べるようにこの時期には陸地から海への風が卓越していることと、春から夏にかけて植生が生育して緑地帯が増えたためと思われる。8月末から10月末にかけては風食が発達している。

が、これは、この時期に海からの風が卓越し、飛砂が緑地を埋めて行ったことによる。12月から3月までの積雪期には、砂が露出しているごく一部を除いて風食はないと考えられる。

原始砂丘侵食の発生と発達を模式的 (図-5 参照) に示す。1947 年以前それも高さ 10~20 年程度前のことと思われるが、原始砂丘に強い外力が働いた。この外力は、強風、豪雨、高波などやその組合せによるなど考えられるがよくわからない。海岸線の後退が指摘されていることから考えると、潮流の影響も考えられる。この外力によって海岸に最も近い所で 2 カ所にわたって、これまで、原始砂丘をおおっていた表層部が破壊された (図-5 (b) 参照)。表層土下の砂は浜砂と同じで、非常にもろく容易に風で飛ぶ。このため内部の砂がえぐられ表土が崩落した (図-4 参照)。写真-2 は砂の風食による表土の崩落を示したものである。表土は砂に有機質が含まれたもので、粒子間の粘着性も砂と比べて強く、草木の根張りによって内部の砂を守る殻の役割を果たし風食に対して強い抵抗力となっていた。風食が始まってからは砂丘内部の砂が、飛砂の供給源となり表土の崩落が続き、植生を埋め枯らし、次々と連鎖反動的に発達し、現在では、一部の地域では 6 列もの原始砂丘が砂漠化して、道路予定地の一部も、その中にとり込まれた状態になっている。

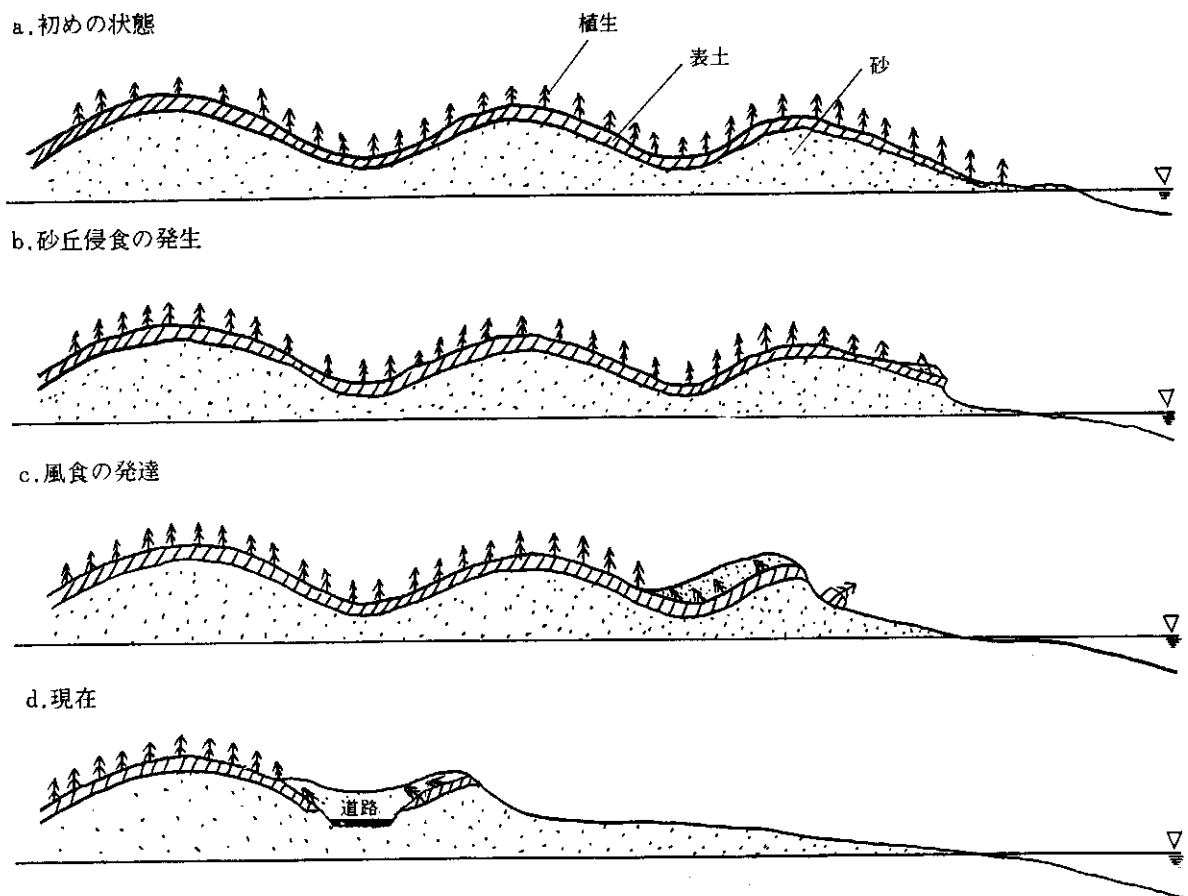


図-5 原始砂丘侵食の発生と発達



写真-2 表土の崩落

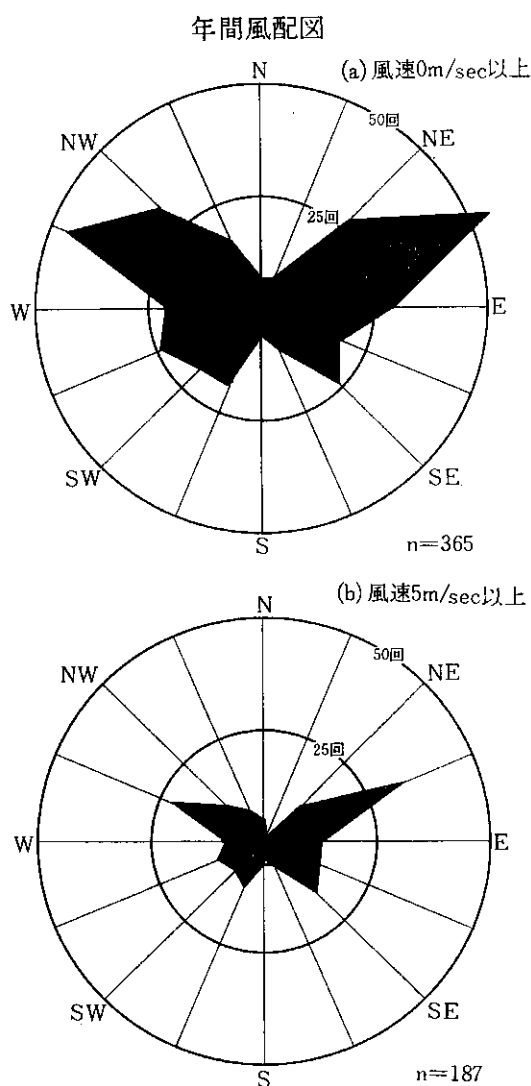


図-6 風 配 図

4 風向風速と飛砂量の推定

風によって飛砂が発生し移動することから、風向風速の観測が重要である。図-6は現地における風向風速の観測記録から、風がどの方向からどの程度の頻度で吹くかを示したものである。図-6の風配図から、年間を通して東北東と西北西からの風が卓越しているのがわかる。飛砂が発生すると考えられる風速5 m/sec以上の風だけについてまとめた風配図(図-6(b)参照)からも同じ傾向が見られる。このことは、道路がほぼ南北に走っていることから、風はほぼ道路に直角に陸側からも海側からも吹いていることを示す。これをさらに季節別に細分して見ると、図-7のようになる。ここで1年を3期に分けたのは、12月から3月までの間は砂丘が積雪でおおわれるため、砂の移動はほとんどないと考えられることと、春から夏と夏から秋にかけて、現地では風の吹き方が異なる

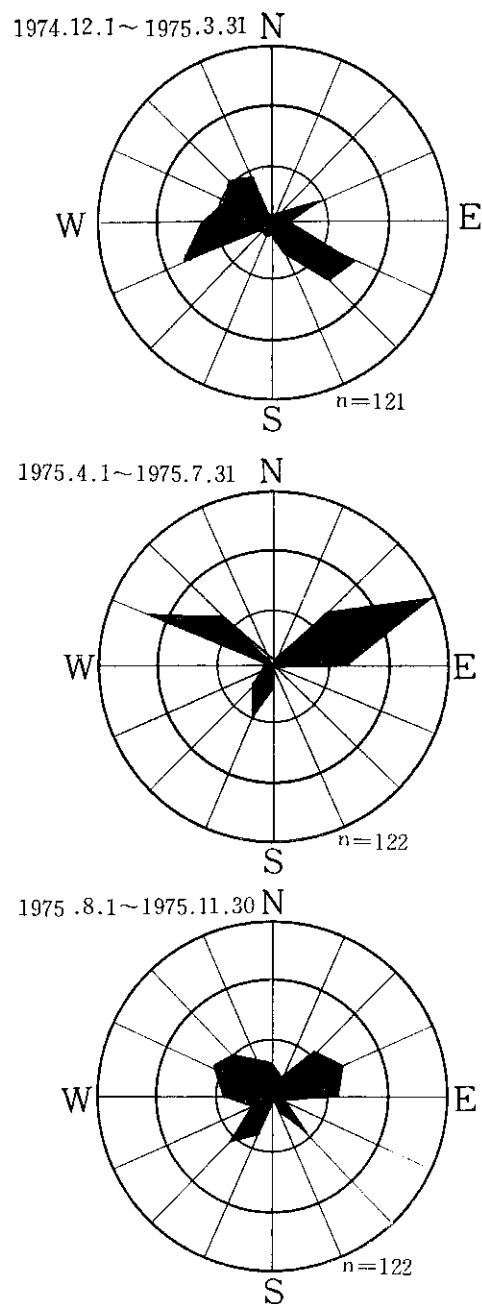


図-7 季節別の風配図

るためである。例えば図-7でわかるように、4~7月の間は東北東の風、8~11月の間は西寄りの風が多い。図-8は各季節における風速別の頻度分布を示したもので、現地では冬の12~3月の間が最も風が強く、4~7月の間は最も弱いことがわかる。以下では積雪期の12~3月の間は飛砂はないとみなし、4~11月の間だけについて述べることにする。

風配図では、砂の飛ぶ方向については予想できるが、飛砂の量的なことについてまではわからない。それは、風配図では風向の頻度を表わすだけで、風速については

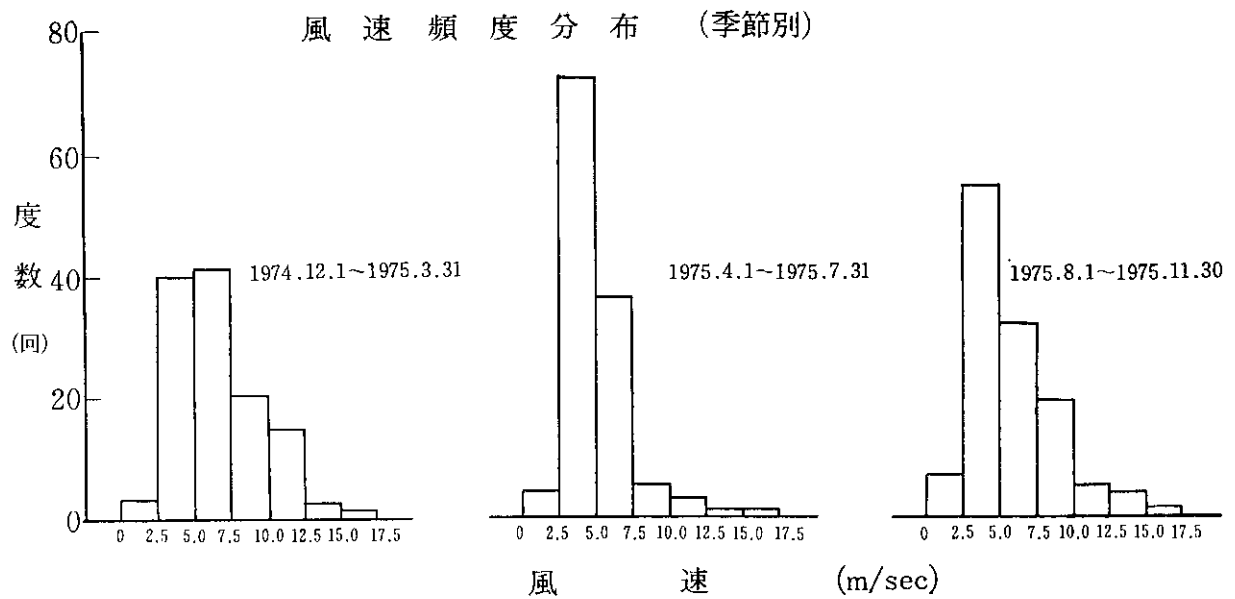


図-8 風速のヒストグラム

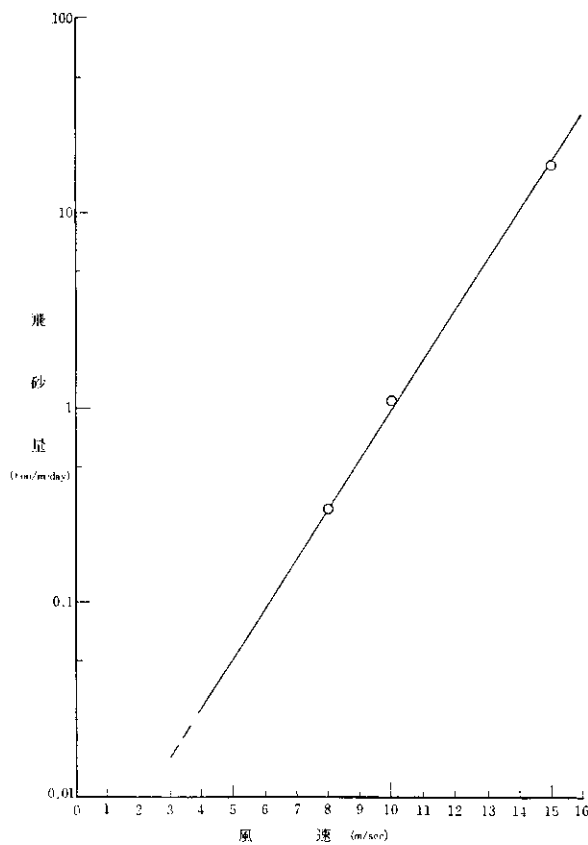


図-9 風速と飛砂量の関係図

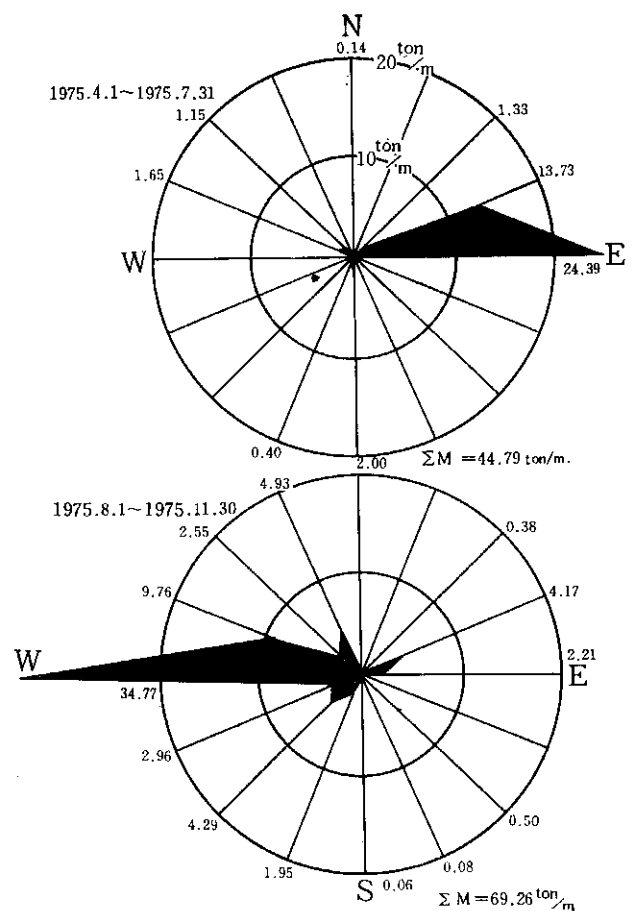
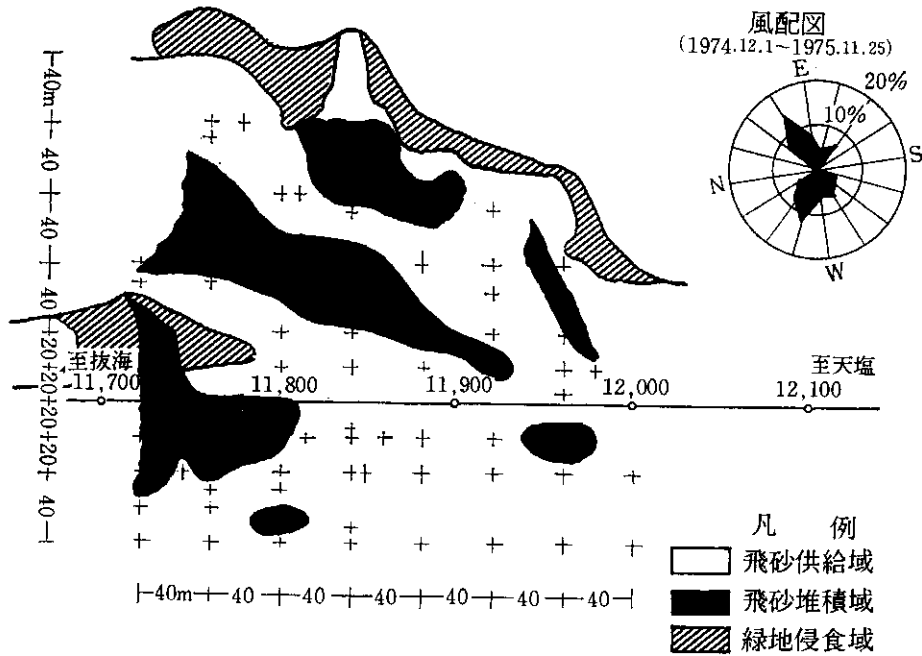


図-10 方向別推定飛砂量

A地区における1年後の地形変化(1974.11.9-1975.11.22)



B-2地区における1年後の地形変化(1974.11.9-1975.11.22)

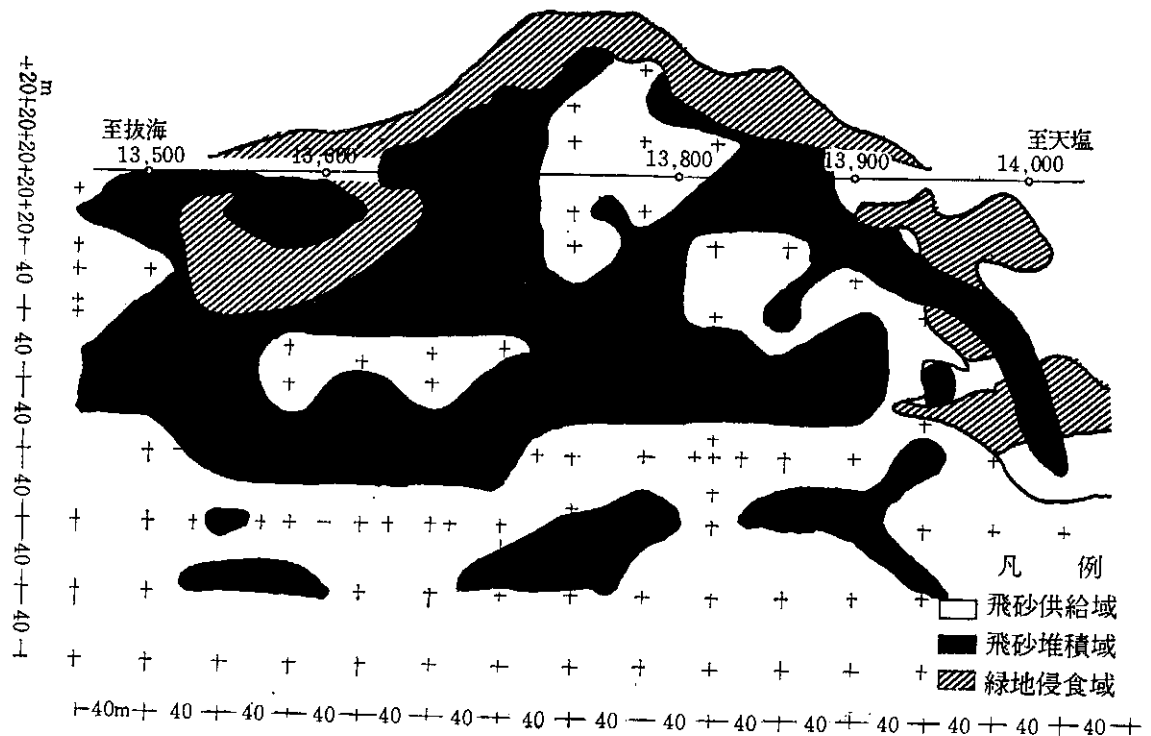


図-11

10 m/sec も 5 m/sec も同じ量として取扱っているためである。実際の飛砂量は、風速の違いによって非常に異なることから、風速によって飛砂量を推定するためには、飛砂量と風速との関係を知る必要がある。河田は、風速と飛砂量との関係を測定した。この測定値を片対数グラフで表わすと、図-9のような直線関係になる。図-9はある風速の風が1日間(24時間)吹いた時の飛砂量を表わし、風向に直角な1m幅の長さの線分を1日に何トン砂が移動するかを意味している。図-9を用いて風の観測から飛砂量を推定し、どの方向から砂が移動しているかを知るために、風配図の形で表わしたのが図-10である。この図から4~7月の間は道路に対して陸側からの飛砂が卓越しているのがわかり、すでに述べたように、4月から6月にかけての砂地面積の減少に対応するものと思われる。また8~11月の間は海側からの飛砂が卓越

しており緑地面積の減少に対応する。

推定飛砂量の計算で、同じ風速なら風向に関係なく同じ飛砂量になるとしているが、後で述べるように、道路からみた場合は、飛砂の供給域の少ない陸側からの飛砂は、風速が同じでも海側より少ない。図-10の推定飛砂量では飛砂の60%が道路の海側、40%が陸側であるが、実際には、陸側からの砂はもっと少ないと見ることができ。このように海側からの砂移動量が多いことから、砂の風食域がしだいに陸地に入っていくものと考えられる。風食の発達している方向も、ほぼ卓越風の方角に合っている。飛砂量は供給域の大小のほかに地形や植生、降水などの天候によっても左右されることから、図-10の推定飛砂量の絶対量は厳密なものではなく、予想される最大の飛砂量と理解すべきものとする。

砂が海側から陸側へ移動していることは、年間の地

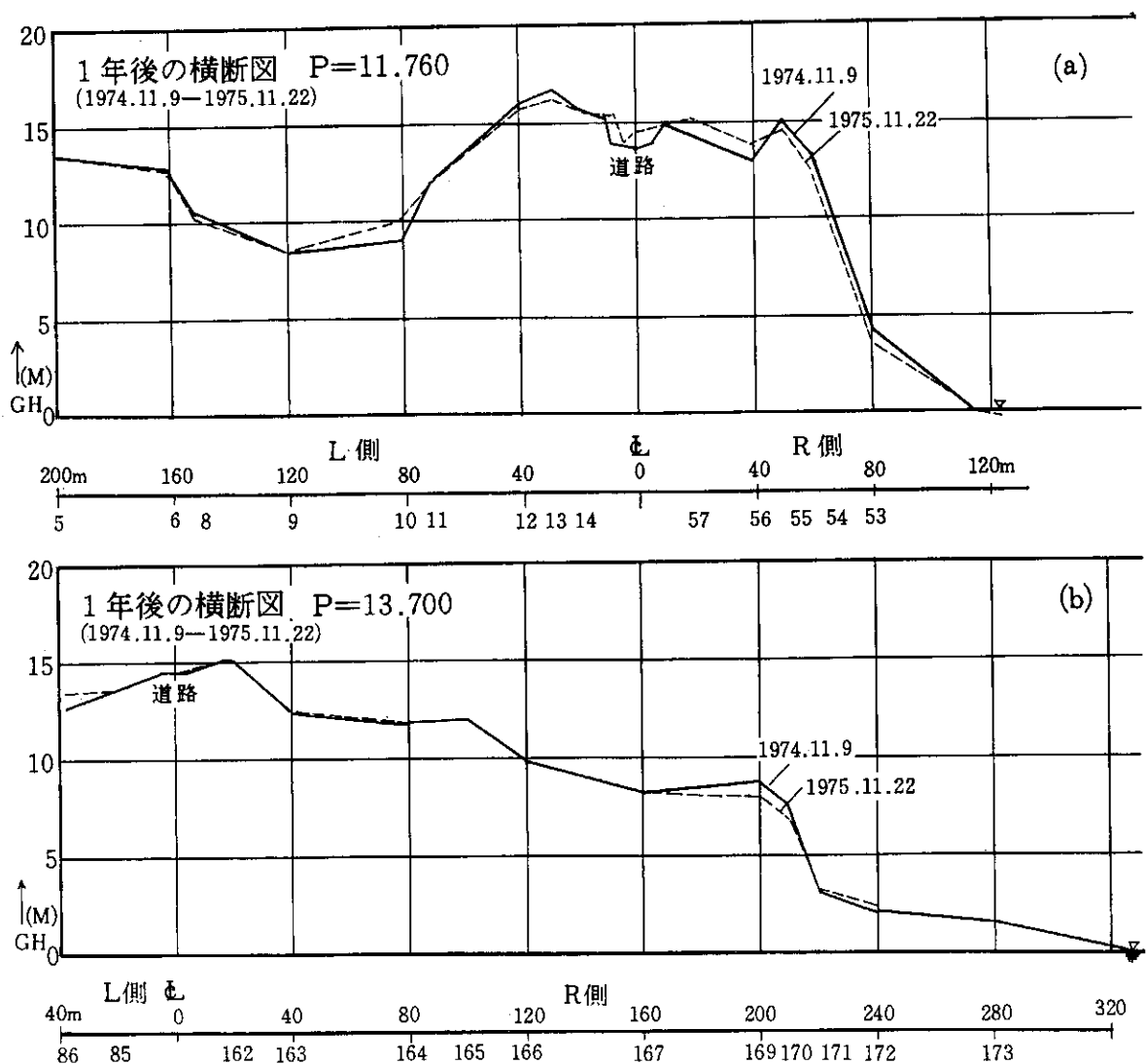


図-12 1年後の横断面図

形、植生の変化からも明らかである。図-11はA地点とB地点の一部で行った2回の地形測量の結果から、1年間の地形変化を表わしたものである。図で飛砂供給域とは、風食のため地表高が低下したところで、堆積域は逆に上昇したところである。全体的に砂は陸側に堆積しており、供給域は海岸寄りで、砂地に接している緑地が砂で埋もれているのがわかる。また、水準測量による横断面図の年変化（図-12参照）からも、海側の砂が陸に吹寄せられているのがわかる。A地点では道路から55mのところには山があり、この山から海側一帯が飛砂の供給域となっており、道路に吹溜る砂の多くはここから移動し

てきたと考えられる。緑地の埋没も1年間で40mにも及んでいる。測点11,760mの付近は図-12(a)のような横断地形で、砂丘の凹んだ位置に切土をして道路を作ったため、砂が吹溜りやすく車の通行は不可能になる。この傾向は今後も続くものと思われる。ここに隣接する測点11,800~12,000m間は浅い沢形の地形を盛土して道路が作られており、風の通り路になっていて吹払われやすく、砂の堆積はないが逆に盛土（砂で盛土し表層30cmは普通土）のり面が風食されており、しだいに削られて行くおそれがある。

B地区での主な飛砂の供給源は道路の海側200mの

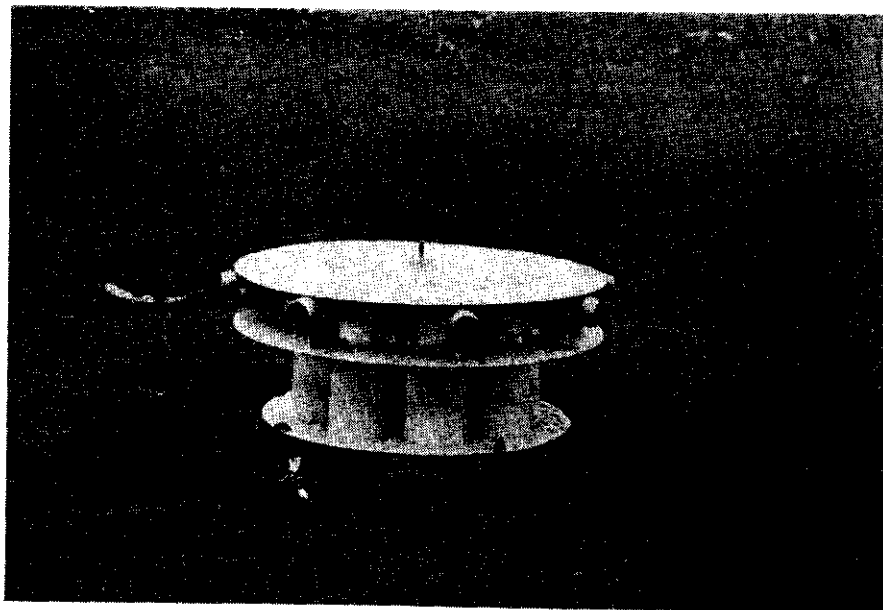
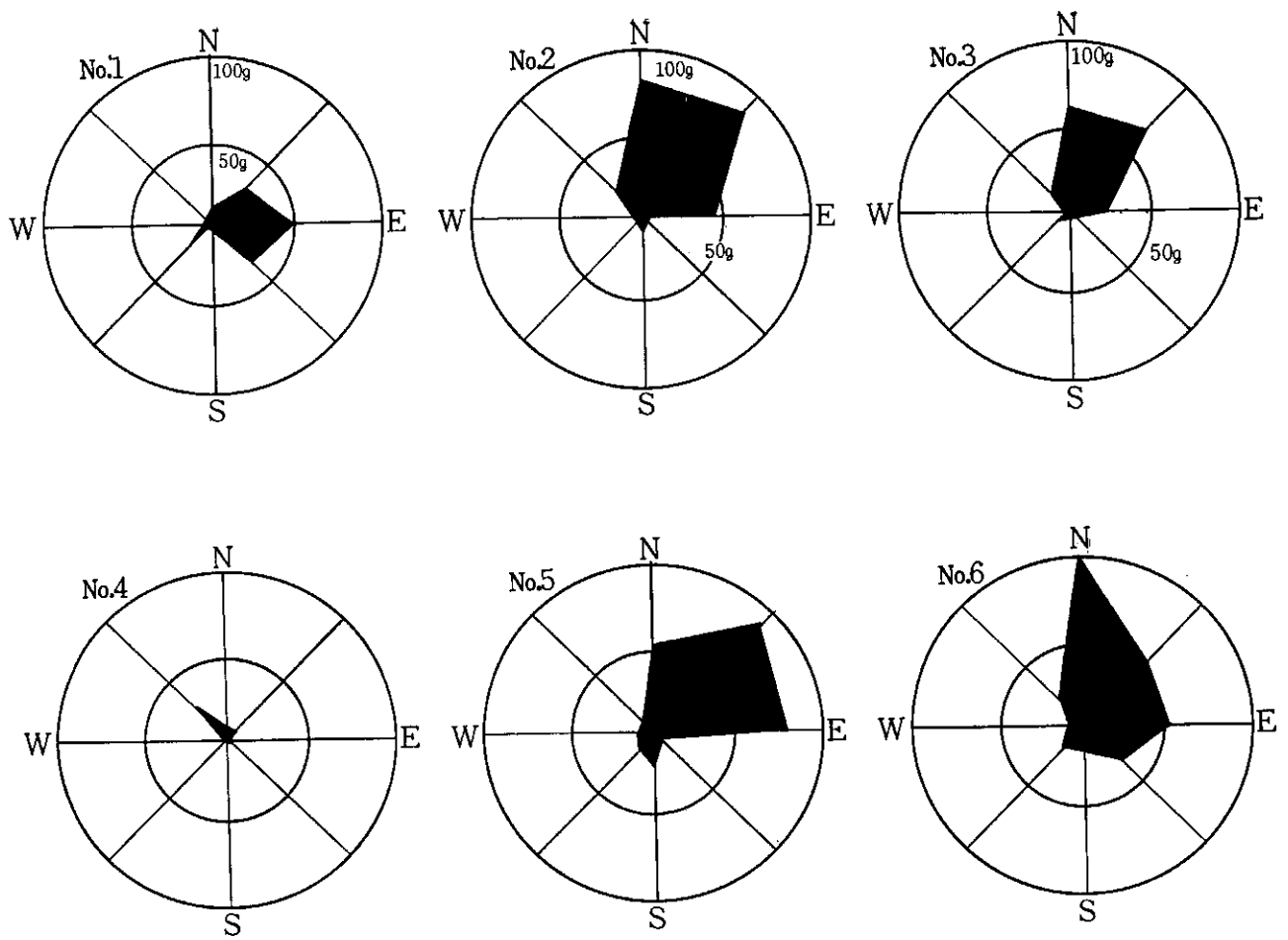


写真-3a 2 π 型飛砂計（八方位）

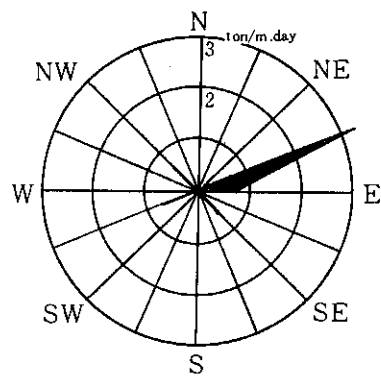
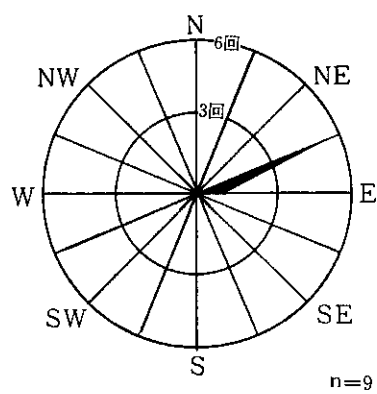


写真-3b 風向追従型



風配図

飛砂量推定値



1975.8.12~9.2

図-13 方向別飛砂量の測定および同期間における風配図と飛砂量推定量

砂丘で、道路と海側砂丘にも一部堆積しながら道路を越えて内陸へ砂が移動し、ここでも、年間 20~40 m の緑地が砂をかぶっている。この傾向は今後も続くと考えられる。

5 飛砂計による飛砂の測定

風速による飛砂の推定は、全体が一樣で広い平坦な砂地を仮定したものであるが、実際には地形、植生などによって変わると考えられる。ここでは、推定飛砂量を補足して、場所による飛砂量の違いを見る目的で、道路に沿って代表的な場所 3 点を選んで、道路の両側に飛砂計を設置し飛砂の測定を行った。使用した飛砂計は写真-3 に示すような 2 種類のもので、2 π 型は飛砂のくる方向を調査する目的で、飛砂の取入口を方位別 8 カ所設けた。風向追従型は入口が風に向くよう設計したものである。

(1) 設置場所

a) A 地区 (No. 1, No. 2)

A 地区の盛土部で、浅い沢状地形を横断した道路の両側に、海側に No. 1、陸側に No. 2 を設置した。以下も奇数番が海側で偶数番が陸側である。海側は海岸まで 80 m が砂地で、風食がかなり進んでいる。山側は 80 m が砂地である。

b) B 地区 (No. 3, No. 4 および No. 5, No. 6)

B 地区内で陸側の砂地が 20~30 m で海側が 250 m の地点に No. 3, No. 4 を、また陸側の砂地が 80 m、海側 260 m の地点に No. 5, No. 6 を設置した。

(2) 測定結果

測定は 1975 年 7 月 10 日から 9 月 2 日までの間に 5 回行った。この間風はすべて陸からの風であった。測定結果の一例とその時の風速 5 m/sec 以上の風の風配図と推定飛砂量の方位図を図-13 に示した。このように測定場所や、道路の陸側か山側かによっても飛砂量は異なる。推定飛砂量の方向と比べて、実測値が各風向にまたがるのは飛砂量の推定には日単位の平均風速を用いたからであり、実際の風向風速は 1 日の中でも変動しているからである。この場合のように風が陸から吹く場合は、B 点の No. 3, No. 4 ではほかと比べて飛砂量が少ない。これは、この地点では、陸側の砂地が 20~30 m と狭く、したがって、飛砂の供給域が狭いためである。飛砂は発生してから砂面を移動する間に、次々と飛砂を連鎖反動的に増やしなが³⁾ら、その時の風速では運びきれない量(飽和飛砂量)になるまで増え続ける。No. 3 は風上側の砂地の長さが短いため、まだ発達段階で、No. 4 との間でも飛砂は増加している。A 地点の No. 1, No. 2 と B

地点の No. 5, No. 6 とでは量的に大きな違いはなく、どちらも風上側の飛砂量のほうが多く道路とのり面の周辺に砂の一部が堆積しているのがわかる。

このように飛砂量は風速や、地形、植生などのほかに、風上側の砂地の長さにもよる。これが推定飛砂量の海側と陸側との比率以上に、実際に道路へくる飛砂の割合が海側のほうが多い理由である。

6 ま と め

一般道道稚内天塩線内の夕来地区における原始砂丘の風食を現地観測と過去に撮影された航空写真によって調査した。当該地域の砂丘の風食は道路のできる 20 年以上前から始まっており、現在では飛砂による道路の埋没が見られるようになっている。航空写真と現地測量によると風食の発達⁴⁾は年々激しくなっているのがわかった。

現地における主として風向風速による気象調査の結果、積雪期を除くと春から夏にかけては東風が、夏から秋には西風が卓越し、砂は道路の陸側からも海側からも移動しているが、総じて海側からの飛砂量が多く、風食域は海側で堆積域は陸側に偏していることがわかった。

7 あとがき

道路への飛砂による障害として砂が路面に滞留した場合の摩擦係数の減少があり、車の高速走行上問題になっているところがある。夕来地区もこのことが、将来道路維持管理上重要な問題になってくると思われる。しかし現在のように、道路が砂に埋没し車の走行が不可能になることはあまり例を見ない現象であろう。このように飛砂量が多いのは砂丘の風食がまだ発達段階にあるため、このことが飛砂防止を道路用地内だけで行うことを困難にしている。また現在は風食の初期段階にあって、道路に直接被害を及ぼしていない場所も将来は風食の発達によって障害箇所になるとと思われるところもある。これらのことから、飛砂防止を行うのは早いほど効率的であり、緑地帯が飛砂防止にも役立つことから緑地の保護も含めて、国立公園内という特殊事情はあるが、道路用地に限ることなく広域的な対策が必要である。

現地では現在柵による飛砂防止工を試験しているの⁵⁾で、その結果を含めて飛砂防止対策を検討して行きたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 河田三治; 海岸砂地造林に関する調査報告, 林野庁治山事業参考資料, 1, (1949), 1—11
- 2) 馬場 茂, 加藤清志, 仁藤吉昭; 一般道道抜海天塩

- 線飛砂調査について，第19回北海道開発局技術研究
発表会論文集（1977），109—116
- 3) 河村龍馬；風による砂の運動，科学18巻11号（1948），
24—30
- 4) 柳場重正，小泉 徹，長久太郎；海浜部を通過する
高速自動車道の冬季における二・三の問題点，土木学
会誌，1975年6月号，31—38

*

*

*