

# 阿字ヶ浦海岸における砂丘の発達と変形

外崎 公知\* ・宇多 高明\*\*・五十嵐康之\*\*\*  
岩崎 福久\*\*\*\*・畑中 達也\*\*\*\*\*

## 1. ま え が き

我が国沿岸部では、河川からの過剰な流出土砂が飛砂となって運ばれることにより、各地で砂丘が形成されてきた。そして砂丘の周辺部では飛砂による種々の障害に悩まされてきた。このため飛砂に関する研究の重要性は古くから認識され、実際かなり多くの研究が行われてきた。この結果、Bagnold (1936) 以来、いくつかのタイプの飛砂量公式が提案され、定量的な扱いがほぼ可能となっている。しかし、堀川ほか (1981) が指摘したように、我が国では近年海岸侵食の激化とともに飛砂に関する関心が薄れ、わずかに砂丘に隣接する道路の管理者などにより興味が持たれているに過ぎない状況となっている。また、最近では砂丘の開発と植生による砂の固定化が進んだことによって、飛砂問題が減少したことも研究者の関心を減らす一因となったと考えられる。しかし、各地の砂丘では飛砂問題が完全になくなった訳ではないことも事実である。

現地海岸の砂丘では、継続的な風の作用により砂丘形状にかなり大きな変化が生じうると考えられるが、飛砂への関心の薄さに起因してか、綿密な現地調査により砂丘の変形実態を検討するという研究の例はほとんどないのが現状である。また、最近においては、砂丘の人為的改変の一種として、砂丘への四輪駆動車の侵入による植生の破壊の問題があげられる。これは過去には考えられなかった新しい種類の問題である。こうしたことから、本研究では茨城県東部にある水戸射爆場跡地にある砂丘(以下、阿字ヶ浦砂丘)において、砂丘の変形や人為の影響などに関する実態解明を進めるものである。

## 2. 阿字ヶ浦砂丘の概要

阿字ヶ浦海岸は茨城県東部にあり、阿字ヶ浦より日立港まで続く延長約 12 km の砂浜海岸の南端部に位置す

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| * 正会員     | 建設省関東地方建設局国営常陸海浜公園工事事務所 所長     |
| ** 正会員    | 工博 建設省土木研究所河川研究室長              |
| *** 正会員   | 建設省関東地方建設局国営常陸海浜公園工事事務所 調査設計課長 |
| **** 正会員  | 工修 建設省土木研究所海岸研究室 研究員           |
| ***** 正会員 | 元建設省土木研究所海岸研究室 (現 神戸市)         |

る。そしてこの阿字ヶ浦海岸の北側には飛砂により形成された阿字ヶ浦砂丘がある(図-1)。阿字ヶ浦海岸の北側地区は終戦後より水戸射爆場として使われてきており、近年は国営常陸海浜公園と常陸那珂港の建設が進められている。従来、その多くが原野であったため、天然の砂丘が発達する好条件を有していた。一方、阿字ヶ浦海岸の南側を区切る磯崎岬は、火山性の岩石で構成されている。

阿字ヶ浦海岸の風特性として、この海岸の漂砂観測用棧橋地点における 1978 年～1989 年の気象観測より風配図を描くと図-2 となる。図には春、夏、秋、冬の各季節ごとに日平均風速の全風を示した。阿字ヶ浦棧橋の風速計は地上約 5 m の位置に設置されているので、風速が対数則に従うとすれば、飛砂が生じる限界摩擦速度  $u_{*c}$  を逆算できる。砂の粒径を 0.2 mm としてこれより限界風速を求めると、5.1 m/s となる。そこで飛砂に大きく関与すると考えられる 5.1 m/s 以上の風速の出現頻度も示した。これによると、全風では春、夏には NE または ENE 方向が、秋には NE と NW、NNW 方向が、そして冬には NNE または N 方向の風が卓越することがわかる。また、風速 5.1 m/s 以上の風では夏の NE と冬の NNE または N 方向の発達が顕著である。以上のような風向の季節変動はあるが、一年を通じて見ると阿字ヶ浦海岸では N～NE 方向の風が卓越している。

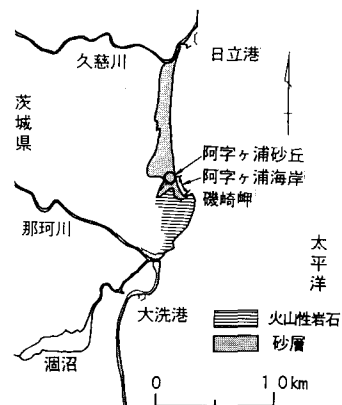


図-1 阿字ヶ浦砂丘の位置

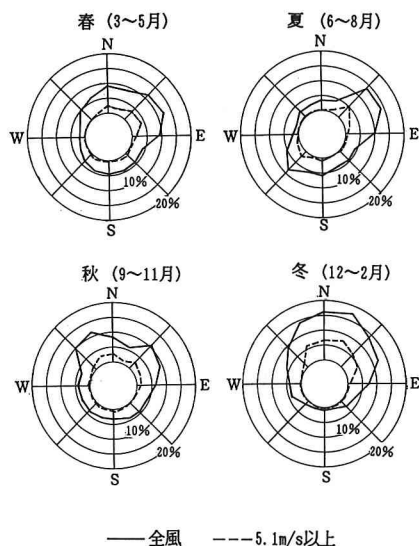


図-2 阿字ヶ浦海岸における日平均風速の風配図

### 3. 空中写真による砂丘形状の変化分析

阿字ヶ浦砂丘は近年でもかなり大きな変化を遂げている。この状況をまず空中写真の比較より調べてみる。この地域を撮影した空中写真は1961年～1990年の間に6組あるが、ここでは1961年、1984年および1990年撮影の空中写真を写真-1～3に示す。写真-1においては、南側より6組の砂丘列が判読される。いずれの砂丘も汀線よりほぼSW方向へと延びており、またこれらの砂丘では汀線から砂丘先端までSW方向に測った距離が南側ほど短いことも特徴である。以下では南側より順に第1～第6砂丘とし、それらの形状変化について調べることにする。写真-1(1961年)では、砂丘はほぼ天然の状態にある。写真-2(1984年)では、この地区の南部に道路が建設され、最も南側の第1砂丘は汀線と分断されたこと、また海浜地の開発が進むことによりほぼ消失した。一方、第2砂丘は1961年よりも発達したように見える。また、第3、4砂丘では植生の成長に伴い砂丘の幅が狭くなりつつある。この時期の砂丘で興味がある点は、砂丘への四輪駆動車の侵入により、砂丘内に数多くの網目状の道が形成されたことである。写真-3(1990年)では、県道の建設が進む一方、第2砂丘の発達が著しい。これと対照的に北部の第3～第6砂丘は植生によりかなり幅が狭められた。また、砂丘への四輪駆動車の侵入が続き、網目状の道がより顕著になるとともに、新たに砂丘列を横断する道が形成された。第2、3砂丘を横切って少なくとも4本の道の形成が判読される。第2、3砂丘間は窪地となっており、その両側はかなり急斜面であるが、そのような状況下でも四輪駆動車の侵入は防ぐことがで

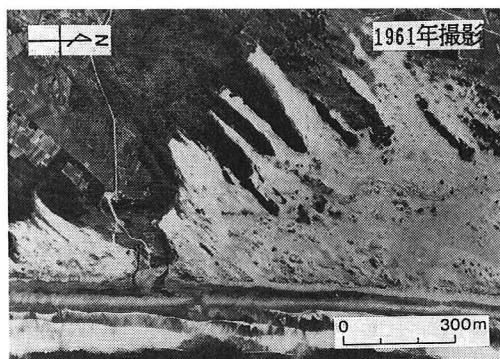


写真-1 阿字ヶ浦砂丘の空中写真(1961年)

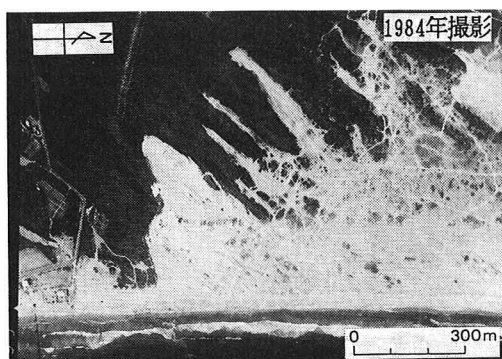


写真-2 阿字ヶ浦砂丘の空中写真(1984年)

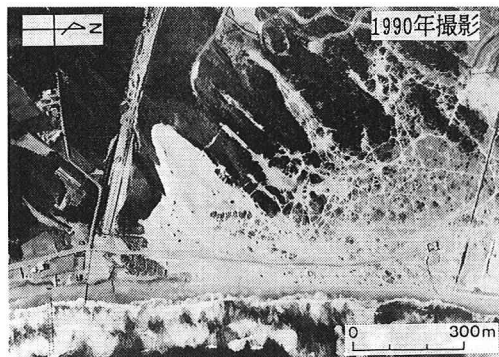


写真-3 阿字ヶ浦砂丘の空中写真(1990年)

きない。一方、写真-3の右側上部では国営常陸海浜公園の自動車道が新たに延びたことがわかる。

### 4. 砂丘の地形変化

写真-1～3をもとに、砂丘形状の変化を調べてみる。最初に、1961年より1984年の砂丘形状の変化を図-3に示す。第2砂丘は23年間で南側斜面の発達が続き、平均約60m南側へと広がった。また、砂丘の先端部は南西方

向に 47 m 延びた。これに対し、第 3～第 5 砂丘では第 2 砂丘とは逆に植生の回復により砂丘の幅が狭くなった。また、第 2 砂丘の南側側面に沿って流れている渋田川は、この時点では砂丘の端部と最も近い所でも 20 m 程度離れていた。同様に 1984 年と 1990 年の砂丘形状の比較結果が図-4 である。第 2 砂丘の南側斜面がさらに発達し、また第 3～第 6 砂丘では植生の回復が続き砂丘の幅がかなり狭くなった。第 2 砂丘の南側斜面では砂丘が広がったため渋田川の河道は南側へ大きく移動した。

既に述べたように、第 2 砂丘は最近でも著しく変化している。そこで図-4 に ABCD で示す矩形域を定め、その範囲内の微地形の変化を 2 回の地形測量の比較によって調べた。矩形域内の地形を図-5 に示す。地形測量は 1983 年と 1991 年に行われている。両者を比較することにより 8 年間の砂丘形状の変化を調べることができる。この場合、比較が容易となるよう点 B に原点を置き、BC 方向に x 軸を、これと直交する BA 方向に y 軸を定めた。砂丘の南側斜面は南西方向に発達したが、点 (0 m,

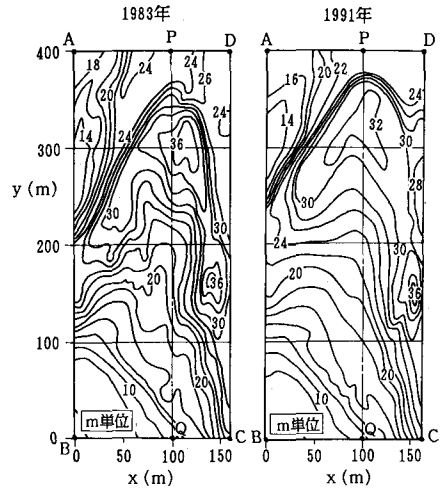


図-5 砂丘の地形図比較：1983 年 vs. 1991 年

220 m) 付近より点 (100 m, 360 m) 方向へ続く急斜面が対角方向に約 20 m 前進している。1983 年時点では砂丘上に 3 つのピークがあったが、点 (150 m, 170 m) 付近のピークを除き砂丘上部にのる 2 つのピークは侵食され、なだらかな斜面となった。しかしいずれの時期においても、砂丘の中央部は窪んだ形状となっている。

以下では図-5 の地形図より、砂丘の縦・横断形の変化を調べてみる。まず、砂丘のほぼ中心軸を通る PQ に沿う縦断形を図-6 に示す。砂丘の先端部は 8 年間で約 40 m 前進しており、前進速度は 5 m/yr となる。また、2 時期のデータより前置斜面の安息角を求めると 35° となる。ここで、砂丘を構成する砂 ( $d \approx 0.2 \text{ mm}$ ) を採取して安息角を求めると約 35° となり、実測値とよい一致を示す。砂丘の東側下部はほとんど侵食されておらず、 $y \geq 100 \text{ m}$  の範囲でのみ侵食が生じている。侵食量は砂丘上部ほど大きく、砂丘頂部で最大の侵食量 3.5 m を示す。また、詳細に見ると、1983 年の縦断形では約 60 m の波長を持った小規模な起伏が存在していたが、1991 年ではこの起伏は明瞭ではなくなったことがわかる。

図-6 の横断面図に示した 4 地点において、測線 PQ と直交する方向に横断面を定め、それらに沿う断面内の地形変化を調べると図-7 となる。代表 4 地点としては、まず前置斜面を形成しつつ砂が厚く堆積した位置に No. 1 を、侵食前、最も標高が高く、その後地盤高の低下が著しい地点に No. 2 を、そして砂丘の斜面上の中間地点に No. 3 を、そして砂丘のすそ野で地形変化の見られない位置に No. 4 を定めた。図-7 の No. 1 断面では、台形状に砂が堆積し、上面はほぼ平坦であること、そして南側斜面は北側斜面より勾配が緩いことがわかる。No. 2 断面では、中央より北側が削られ、南側には土砂

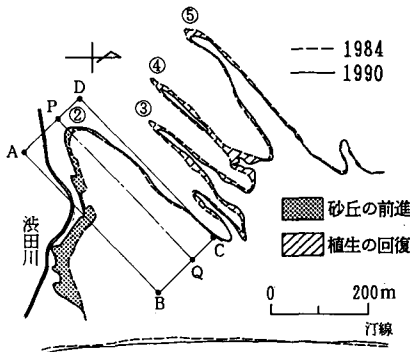


図-3 空中写真による砂丘の発達状況  
1961 年～1984 年

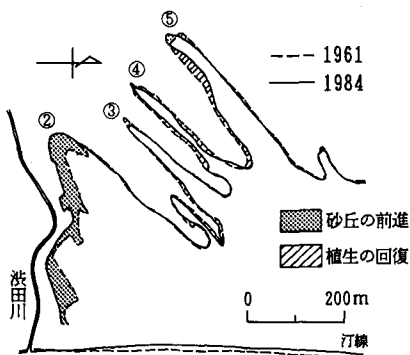


図-4 空中写真による砂丘の発達状況  
1984 年～1990 年

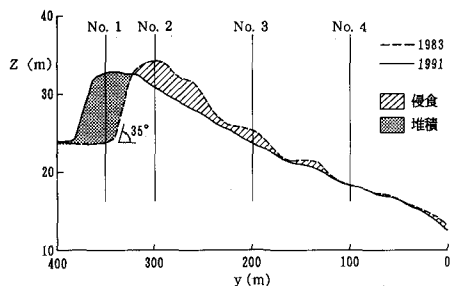


図-6 砂丘の縦断面の変化：1983年 vs. 1991年

が堆積し、台形状の砂丘が形成されたが、上面幅は1983年の60 mより1990年の80 mへと広がった。

1983年と1991年の地形図をもとに、12.5 m間隔の格子点上で地形変化量を読み取り、地盤高の変化量の平面分布としてまとめると図-8となる。図-5に示した地形図と比較すると、砂丘の南側斜面に沿って帯状に砂が堆積し、砂層の堆積厚は6 mに達する。帯状の堆積域の東側には広い侵食域が広がっているが、特に著しい侵食は点(30 m, 170 m)と点(120 m, 280 m)を中心とした区域であり、地盤高が最大で4 m低下した。これらの位置は図-5の1983年の地形図によればもともと小高いピークがあった場所である。対照的に、両ピーク間に挟まれた谷の部分での地盤高の低下はわずかである。以上の

ように1983年～1991年の砂丘地形の変化では、砂丘はほぼ一様に削られるのではなく、砂丘上の小ピークが集中的に削られ、その土砂が前置斜面を形成しつつ堆積したと言える。なお、図-8において前置斜面の南側で地盤高の低下が見られるのは、飛砂によるものではなく、浜田川の侵食作用によると考えられる。砂丘の前置斜面を形成する全土砂量を計算すると、25000 m<sup>3</sup>の堆積、東側の侵食土砂量は33000 m<sup>3</sup>となる。また、砂丘の前置斜面の南西側での侵食土砂量は8000 m<sup>3</sup>である。砂丘から侵食された土砂の全量が堆積して前置斜面が形成されるのであれば、侵食・堆積土砂量は等しいはずである。しかし、堆積土砂量は侵食土砂量より8000 m<sup>3</sup>少ない。この土砂量の欠損は、浜田川の氾濫時に下流へと流下したことによると考えられる。実際、浜田川の狭く部付近でも砂丘の発達が続いたため、1991年には狭く部が完全閉塞し、上流に天然のダムが形成され、その後このダムが決壊し、停滞していた水が一度に流出したため、下流側が大きく侵食された。洪水は右岸側に集中したため側岸が大きく削り取られた。このような洪水が起こったことを考慮すれば、8000 m<sup>3</sup>の土砂量の欠損が存在しても問題ないとする。したがってここでは8年間の総移動土砂量が砂丘の侵食量である33000 m<sup>3</sup>に等しいとおくと、飛砂量は平均で約4000 m<sup>3</sup>/yrとなる。

## 5. 考 察

国営常陸海浜公園の一部にある阿字ヶ浦砂丘では、砂

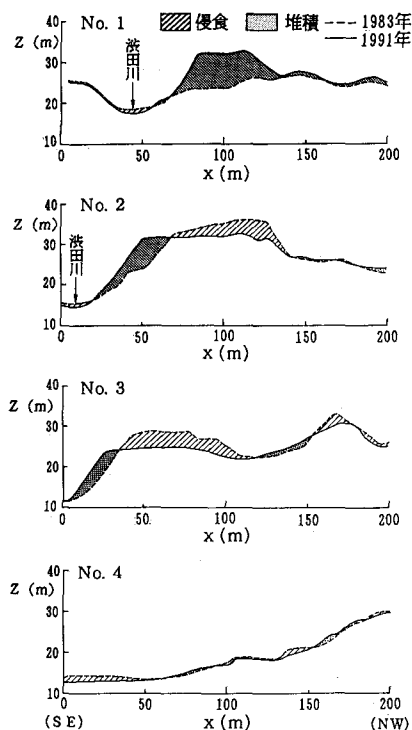


図-7 砂丘の代表4横断面の変化

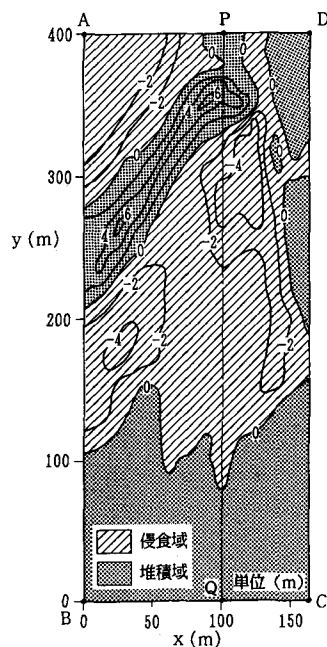


図-8 堆積・侵食域の平面分布

丘列のうち第2砂丘以外は安定化に向かっているが、第2砂丘は依然として発達し、浜田川の閉塞や、その陸側にある県道の交通障害をひき起こす可能性が指摘される。しかし、この砂丘は射爆場跡地にあったため自然の営力で形成されたみごとな砂丘であって、自然環境の保護の面からはできるだけそのままの姿で保全すべきとの考え方もある。河川や道路への障害とならぬようにし、かつ自然の姿を保つには現況の砂丘とその変化速度について十分吟味しておくことが必要である。そこで以下では前節までのデータにより多少の考察を加えてみたい。

砂丘の堆積土砂量より計算した年間の平均飛砂量は  $4000 \text{ m}^3/\text{yr}$  であり、砂丘の前進速度は  $5 \text{ m}/\text{yr}$  であった。概略のオーダーを見積もるために、写真-3より砂丘の南西側端部と県道までのSW方向の距離を測ると、70 m となる。砂丘の延長線上の原地盤の標高は明らかでない。図-6に示した断面変化と同様な形で砂丘が平行移動すると仮定すると、砂丘の先端部が県道に到達するのは約14年後となる。砂丘の先端部が県道に到達するまでまだしばらくの時間はあるが、ここでは砂丘の実質部分が県道に到達することを仮定している。実際にはそれ以前に飛砂が問題になると考えられる。一方、現在、常陸那珂港の建設とともに、海岸線からの飛砂供給は少なくなっているから、今後も砂丘の一部が削れつつ砂丘は前進するはずである。いずれにしても、砂丘が前進すると予想される区域の微地形を十分調査しておく必要がある。

前節では年平均飛砂量が約  $4000 \text{ m}^3/\text{yr}$  に等しいことを示した。この飛砂量について既存の飛砂量公式により検討してみる。例えば、Bagnold (1954) によれば、単位幅あたりの飛砂量  $q$  は、

$$q = B \frac{\rho_a}{g} \sqrt{\frac{d}{D}} u_*^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

により与えられる。ここに、 $q$  は飛砂量、 $B$  は定数、 $g$  は重力加速度、 $\rho_a$  は空気密度、 $D$  は標準粒径、 $d$  は砂の粒径、 $u_*$  は摩擦速度であり、風速について対数則を仮定すれば次の関係が成立する。

$$u_z = 5.75 u_* \log \frac{z}{z'} + u' \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $u_z$  は標高  $z$  (mm) の風速、 $(u', z')$  は focal point の座標である。いま、 $u_z = 10 \text{ m/s}$ 、 $z = 1000 \text{ mm}$ 、 $z' = 10d = 2 \text{ mm}$ 、 $u' = 8.94d = 1.79 \text{ m/s}$  とおけば、 $u_* = 53$

cm/s となる。さらに式 (1) において、 $B = 1.8$ 、 $\rho_a = 1.226 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 、 $g = 980 \text{ cm/s}^2$ 、 $d = 0.2 \text{ mm}$ 、 $D = 0.25 \text{ mm}$  とおくと、 $q = 0.30 \text{ g/s} \cdot \text{cm}$  となる。もし、風速  $10 \text{ m/s}$  の風が年間20日間吹き、さらに砂丘幅が  $150 \text{ m}$ 、砂の単位体積重量を  $1.67 \text{ tf/m}^3$  とすると、年間の全飛砂量  $Q$  は  $4600 \text{ m}^3/\text{yr}$  となる。阿字ヶ浦海岸では風速  $10 \text{ m/s}$  程度の風が年間20日間吹くとの仮定はそれほど非現実的ではない。したがって実測された飛砂量はほぼ妥当な量と判断される。

## 6. 結 論

本研究の主要な成果は以下に要約される。

① NE方向の卓越風の作用により、阿字ヶ浦砂丘は南西方向へと発達してきた。砂丘の南側斜面では安息角  $35^\circ$  の前置斜面が形成された。一方、砂丘下部の海岸線近くでは侵食され切って基盤が露出する状態となっている。

② 1983年より1991年まで8年間における総移動土砂量は  $33000 \text{ m}^3$  であり、約  $4000 \text{ m}^3/\text{yr}$  の割合で飛砂が運ばれた。

③ 1961年時点では6本の砂丘列が存在したが、南端の第1砂丘は道路建設により砂浜からの飛砂供給が止まったため消失した。第2砂丘は南西方向に著しい発達をとげた。そして第3～第6砂丘は植生の回復によりその幅が次第に狭まりつつあることがわかった。

④ 近年、四輪駆動車の砂丘への侵入により、新たな裸地が発生するなど、人為的影響も砂丘の変形に無視できないことがわかった。

⑤ 阿字ヶ浦砂丘では、砂丘の発達に伴い浜田川の閉塞が生じ、河川が滞留したあと一度に流出し、河道が著しい侵食を受けた。このように、砂丘の発達は周辺の河川にも大きな影響を及ぼしている。

## 参 考 文 献

- 堀川清司・堀田新太郎・久保田 進・針貝聰一 (1981): 海岸における飛砂について、第28回海岸工学講演会論文集, pp. 574-578.
- Bagnold, R. M. (1936): The movement of desert sand, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, Vol. 157, pp. 211-235.
- Bagnold, R. M. (1954): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen and Co. Ltd., London, 265 p.