

圧電飛砂計を用いた砂丘斜面における飛砂の解析

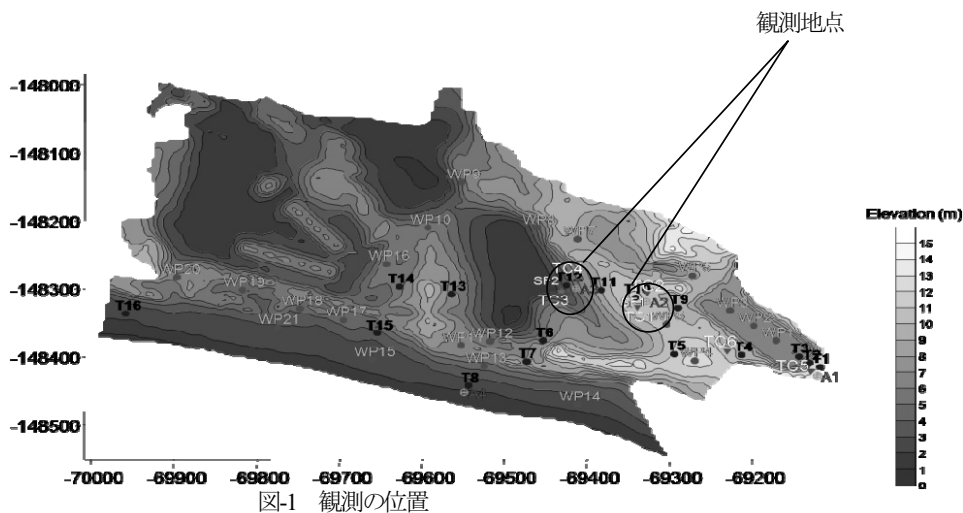
東北大学工学部 満塩将太

東北大学災害制御研究センター 有働恵子・真野明

1. 緒言

海岸の砂浜で起こる砂輸送の現象には「波による砂輸送」と「風による砂輸送」の2種類がある。前者は漂砂と呼ばれ主として前浜で起こる。後者は飛砂と呼ばれ主として後浜で起こる。飛砂は砂浜地形の変形をもたらす他にも、周辺地域に砂漠化をもたらしたり隣接する農地へ塩害をもたらしたりするなど様々な分野で深刻な問題を引き起こしている。飛砂に関する諸問題を扱うためには飛砂量の算定が必要であり、様々な研究者によって研究が進められてきた。その中でいくつかの飛砂量の算定式(河村,1951;Owen,1964)が提案されている。また、提案されている飛砂量算定式には限界摩擦速度や摩擦速度が含まれるのだが、限界摩擦速度式(Bagnold,1941)や摩擦速度と粗度長さの関係式(Raupach,1991)も提案されている。しかし、どの推定式も研究室で行われた実験によって導き出されたものであり、実際に現地で飛砂量観測を行ってこれらの推定式の現地での適用性を検討した例は少ない。様々な条件下で飛砂量の現地観測を行い提案されている推定式の適用性を検討することが必要である。

すでに行われている飛砂の現地観測では気象条件の変化に伴う限界摩擦速度特性や気象条件の変化に伴う海岸の飛砂特性(有働,2007;有働,2008)が調べられた。これらの研究は平面で行われた。しかし、飛砂が問題となっている場所は必ずしも平面だけではなく、砂丘などの斜面勾配をもった場所も少なくはない。斜面では風の場合も変化し飛砂の動きも変化してくると考えられる。そこで本研究では、静岡県中田島砂丘において2009年2月21日の平均風速及び飛砂粒子数データを用いて解析を行い、平面と斜面における摩擦速度と飛砂フラックスの関係を調べた。



2.解析データの概要

本研究で用いてデータの観測は、静岡県中田島砂丘において豊橋技術科学大学と東北大学が共同で行った(図-1)。計測日は2009年2月21日で、中田島砂丘のふもと(以下 foot)と頂上(以下 crest)の地点でそれぞれ0.3m, 1m地点の1分間ごとの平均風速、1秒間ごとの飛砂粒子数の計測を行った。風速は超音波式風向風速計を用いて、飛砂粒子数は圧電飛砂計を用いて計測した。圧電飛砂計は圧電振動子に飛砂が衝突する際に生じるノイズを利用して10kHzで飛砂数を計測し、1Hzで飛砂数を記録する。1秒間あたりの最大カウント数は10000である(図-2)。圧電飛砂計で計測される飛砂粒子数 $n(s)$ を飛砂フラックス $q(kg/s)$ に換算する際には、はじめに1分間の積算飛砂フラックスを算定しそれを60で除して1秒間あたりの平均飛砂フラックスを計算した。計算式は、

$$q = \sum_{i=1}^{60} \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d \times 10^{-3}}{2} \right)^3 \rho n \times \frac{1}{60}$$

を用いた。ここで、 d : 砂の中央粒径(crest : 0.35mm, foot : 0.33mm), ρ : 砂の密度($2.65 \times 10^3 kg/m^3$)。

観測日の風向は北西に卓越していた(図-3)。0.3mの高さにおいて記録された風速が1mの高さにおいて記録された風速より大きな値を示すことはなかった(図-4)、0.3m, 1mの2つの高さにおける風速のデータを用いて1分間ごとの摩擦速度と粗度長さを算定した。これを算定するにあたっては、

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_{0s} \times 10^{-3}}$$

という風速分布式を用いた。ここで、 u : 風速(m/s), u_* : 摩擦速度(m/s), κ : カルマン係数(=0.4), z : 風速計の砂面からの高さ(m), z_{0s} : 粗度長さ(mm)。

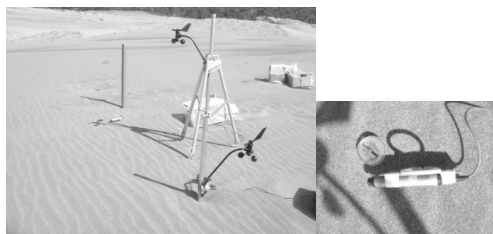


図-2 計測機器の設置状況

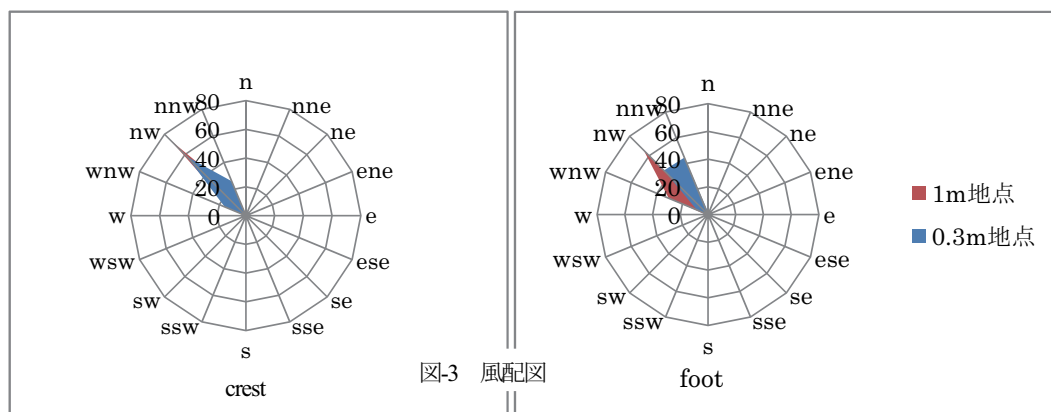
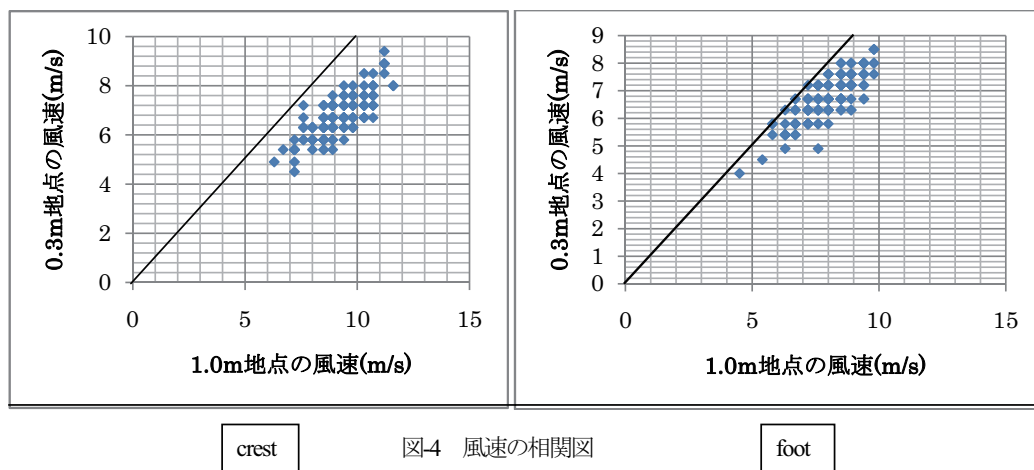


図-3 風速図



3.粗度長さと摩擦速度との関係

粗度長さと摩擦速度の関係については Raupach(1991)によって以下のような式が提案されている。

$$z_{0s} = c_0 \frac{u_*^2}{2g}$$

ここで c_0 ：定数(=0.16)。この式の現地での適用性について調べるために、先に現地観測のデータに基づいて導出された粗度長さと摩擦速度の2乗の関係を表したものと比較した(図-5)。crest では粗度長さと摩擦速度の2乗は高い相関関係を示した。しかし、Raupach の提案する関係式と現地観測のデータをもとに引いた線形近似曲線は一致しなかった。同様に、foot でも粗度長さと摩擦速度の2乗は高い相関関係を示したのだが、現地観測のデータをもとに引いた線形近似曲線と Raupach の提案する関係式は一致しなかった。また Raupach の提案している式の c_0 の値を crest では0.40、foot では0.26 とすると線形近似曲線にほぼ一致するという結果が得られた。

4.摩擦速度と飛砂フラックスとの関係

発生した飛砂フラックスとその時の摩擦速度の関係について調べた(図-6)。crest では飛砂フラックスと摩擦速度との間にはほとんど相関がみられなかったが、foot では中程度の相関がみられた。

5.風速と飛砂フラックス

発生した飛砂フラックスとその時の風速の関係について調べた(図-7)。風速と飛砂フラックスとの関係も摩擦速度と飛砂フラックスとの関係と同様に crest の方が foot よりも低い相関関係を示した。つまり、斜面を移動してきた飛砂は平面を移動してきた飛砂よりも風速との相関関係が低いことを示している。

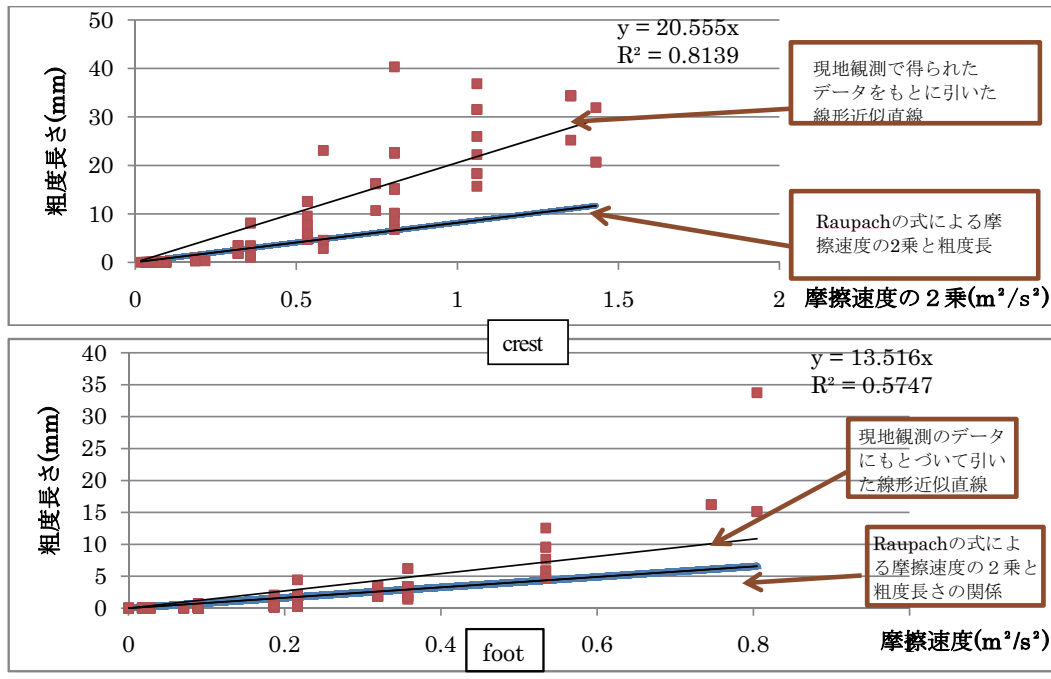


図5 粗度長さと摩擦速度の2乗の相関図

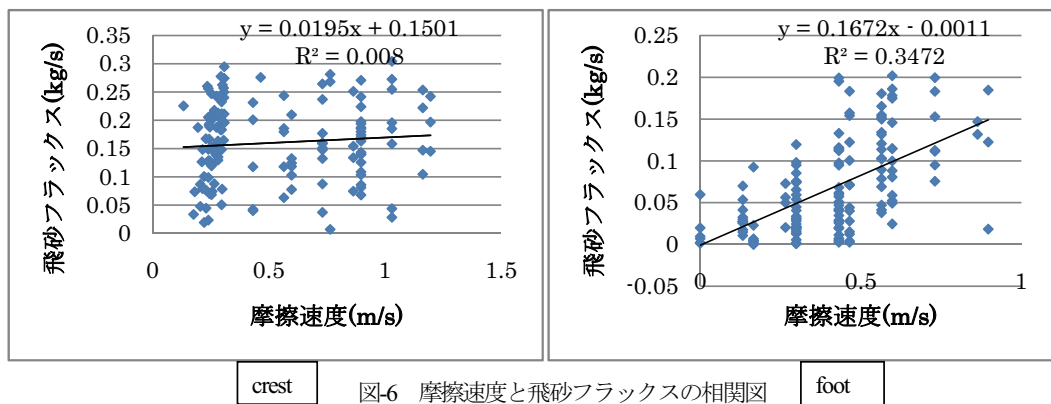


図6 摩擦速度と飛砂フラックスの相関図

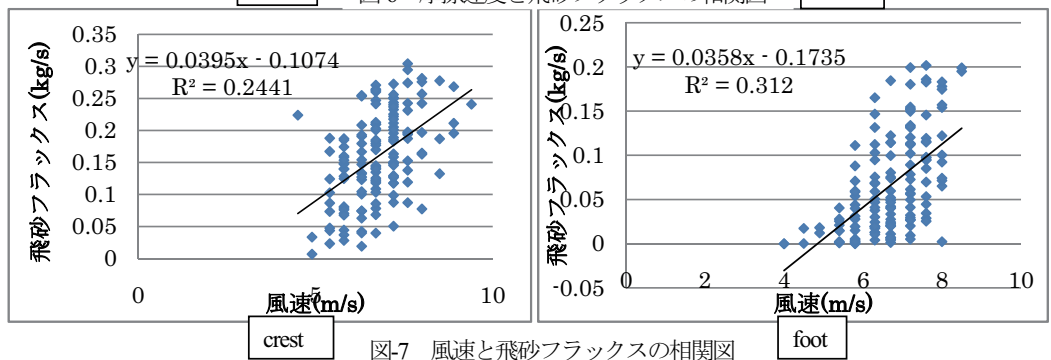


図7 風速と飛砂フラックスの相関図

6.結論

現地海岸において、圧電飛砂計を用いて砂丘のふもと(foot)と頂上(crest)で観測されたデータをもとに解析を行った。粗度長さと摩擦速度の関係に関しては foot, crest ともに高い相関関係を示した。また, Raupach の式の c_0 の値を foot, crest でそれぞれ 0.26, 0.40 と変更することで今回の現地観測の結果と概ね等しくなることを示した。

観測日当日の風向から考えると crest では主として斜面を移動してきた飛砂を, foot では主として平面を移動してきた飛砂を観測していたことになる。このことから、摩擦速度と飛砂フラックスの関係に関しては平面を移動してきた飛砂は摩擦速度と相関を示した(foot)ものの斜面を移動してきた飛砂は摩擦速度とはほとんど相関を示さなかった。平面を移動してきた飛砂と斜面を移動してきた飛砂にこのような特性の違いがみられた要因としては斜面における風の場の変化や、頂上(crest)で観測した飛砂が斜面を移動してきた飛砂だけを正確にとらえたものではなく飛砂計周辺の飛砂も計測していた可能性があることが考えられる。

参考文献

- 有働恵子(2007)：飛砂の限界摩擦速度に関する現地観測，海岸工学論文集，第 54 巻， pp.536-540.
- 有働恵子(2008)：圧電飛砂計を用いた飛砂フラックスの現地観測，海岸工学論文集，第 55 巻， pp.551-555.
- 河村龍馬(1951)：飛砂の研究，東大理工研報告，No. 5， pp. 95-112.
- Bagnold, R. A. (1941)：The physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen, London, 265p.
- Owen, P. R. (1964)：Saltation of uniform grains in air, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 20, pp. 225-242
- Raupach, M. R. (1991)：Rough-wall turbulent boundary layers, Applied mechanics reviews, Vol. 44, pp. 1-25.

