

圧電振動子による飛砂粒子数の計測

EXPERIMENT FOR WIND BLOWN SAND USING A CERAMICS PIEZO-ELECTRIC SENSOR

保坂幸一¹・鵜飼正志¹・久保田進²・小栗保二³

Koichi HOSAKA, Masashi UGAI, Susumu KUBOTA and Yasuji OGURI

1 非会員 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)

2 正会員 日本大学理工学部土木工学科教授 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14)

3 非会員 有限会社中央工測代表取締役 (〒160-0012 東京都立川市曙町 3-9-10)

For measuring the sand transport rate by wind, an apparatus made from a piezo-electric ceramics sensor was examined. In an experiment of hitting a sand grain to the surface of ceramics sensor, a clear electrical signal was occurred at the collision between a sand grain and the sensor. Response time of this sharp signal was 0.001s or less, and the voltage of this was high beyond noise level. The result from experiments using large wind tunnel showed that the number of the electrical sharp signal proportionally increased with the wind speed under the condition of the shear velocity in 82cm/s or less.

Key Words: Measuring instrument, wind blown sand, piezo-electric sensor

1. 目的と背景

かつてわが国の海岸が豊かな砂浜に覆われていた時代は、飛砂による河口閉塞、漁港の埋没などの問題があり、また海岸に隣接する工業用地、耕地、道路用地などへの飛砂の侵入により経済活動ならびに人々の生活環境に影響を与えていた。従って飛砂の防止のための研究も盛んに行われていた。近年、海岸侵食により砂浜が失われてきた結果、海岸における研究の対象は波のメカニズムや漂砂対策などに重点が移り、海岸侵食対策としての養浜や人工海浜の造成なども行われるようになって来た。このような人工海浜においては飛砂による砂の損失を予測しておく必要があると同時に相変わらず道路などへの飛砂侵入による問題についてもその解決が求められている。

飛砂量の測定には主にトラップが用いられてきたが堀田(1985)¹⁾は、捕砂器には個々に捕砂効率が異なっておりこれが現象の解明を妨げていると指摘している。またトラップに一定量の砂が捕らえられるまで時間がかかり時間平均データしか得ることが出来ない。様々な条件下での飛砂現象を調べるためには飛砂量の時間変化を測定できる装置が必要になる。ここでは以上のような観点より飛砂量の時間変化を電氣的に測定すべく、圧電振動子を用いた実験を行った。

2. 新しい飛砂量計の概要

著者らが 1979 年に浜名湖付近において、超音波風速計のテスト観測を行った折に超音波センサーに飛砂が衝突した際に発生するノイズによる飛砂量の測定の可能性があることが考えられた。そこで超音波センサーとして利用されている圧電振動子を使用して、圧電振動子に砂粒子が衝突した際に発生する電気信号から衝突する砂粒子の数を測定することとした。

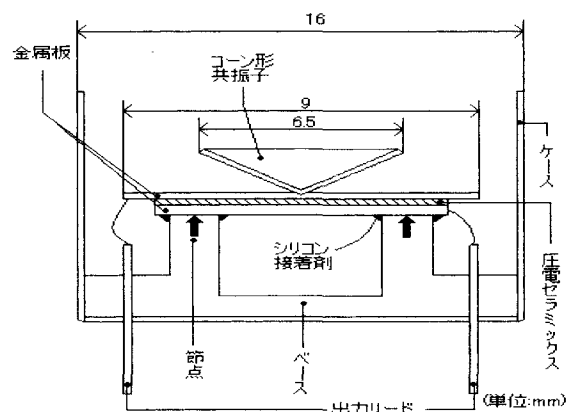


図-1 圧電振動子の概要

使用した圧電振動子の概要を図-1に示す。共振子に砂粒子が衝突し、その振動が金属板(極板)に伝わり、

金属板内の圧電セラミックスが歪み、極板間隔が狭まることにより電位差が生まれ電気信号が発生する。これらの信号は微弱なため、増幅器によりそれを増幅し、AD 変換器を通じてコンピュータに収録される。計測装置の回路図を図-2 に示す。使用した AD 変換機の応答周波数は 1,000Hz とし、許容入力電圧は 10V とした。

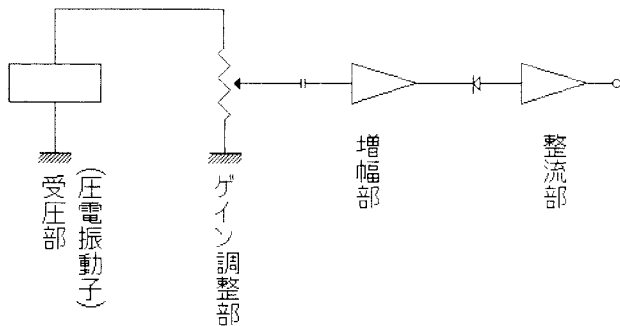


図-2 計測装置の回路図

3. 圧電振動子の応答実験

(1) 実験内容と方法

圧電振動子に砂 1 粒が衝突した際どのような電気信号が発生するかを調べた。図-3 のようにストローに砂 1 粒をのせ、空気を送り、圧電振動子に当てる。砂の粒径は約 2mm で、常に同一の砂を使用した。衝突する前後 2～3 秒間の約 5 秒間の測定を 150 回繰り返した。検討項目は、応答信号の形状、砂衝突時の電位の最大値、最小値および応答時間である。

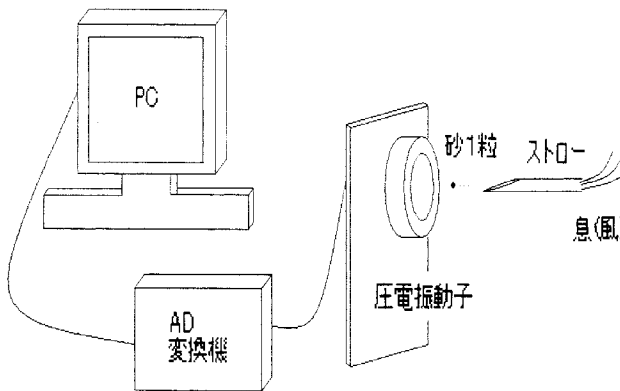


図-3 実験模式図

(2) 実験結果と検討

応答信号の形状は、すべてのケースが図-4(a), (b) に示される 2 つのパターンのいずれかに相当した。2 つのパターンは衝突した瞬間の電気信号が正にでる場合が 53%であり負にでる場合が 47%であって、発生確率は同様であった。また、砂 1 粒が衝突した瞬間、正方向もしくは負方向に大きく変化し、その 1,000 分の 1 秒後に逆符号側に小さな反応がある。本来、圧電振動子の応答において衝突した瞬間の応答が負方向に発生することは振動子の構造上ありえない。おそらく負方向への応答は砂粒子の衝突により振動子内の金属板が振動することによって発生していると考えられる。また 1,000 分の 1 秒ごとの測定では振動の反応の正負両方とも最大値を感知することが不可能であると考えられる。正方向にのみ大きな応答があるパターンは負方向の振動による反応の最大値を感知できていないものであり、負方向にのみ大きな応答があるパターンは衝突した瞬間の正方向への反応の最大値を感知できていないものと考えられる。しかし、正の場合も負の場合も 1 つだけ大きな応答が表れる事実から砂 1 粒の衝突した反応を認知することは可能である。大きな応答の電気信号の大きさは、正負に関わらずほぼ等しい。つまり正負に関わらずある特定の電気信号の大きさを超えた応答を数えることによって衝突した砂の個数を計数できる。ここでは正の場合も負の場合も砂 1 粒が当たった応答として計数することとした。

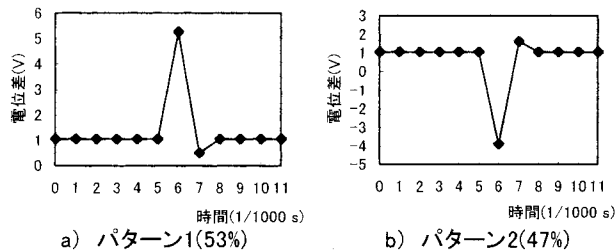


図-4 圧電振動子の応答パターン

4. 飛砂粒子数の計測実験

(1) 実験方法

飛砂風洞装置内に砂を敷き、砂面上に圧電振動子を設置して風を起こし、発生する飛砂の粒子数を測定した。使用した飛砂風洞装置(図-5)は、吐出し型で測定

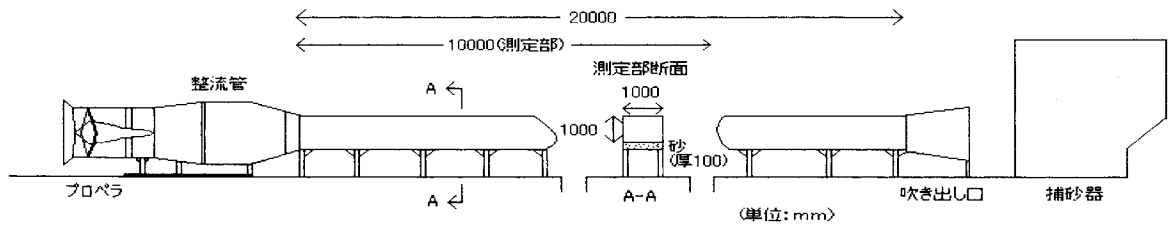


図-5 飛砂風洞装置

断面 $1 \times 1\text{m}$ ，測定部の長さ 20m で，風速は $3 \sim 30\text{m/s}$ が可能であり，底質砂の敷設厚さは 10cm である．使用した砂は図-6 に示されるように中央粒径 0.112mm の自然砂（海岸砂を分級して得られた砂）である．

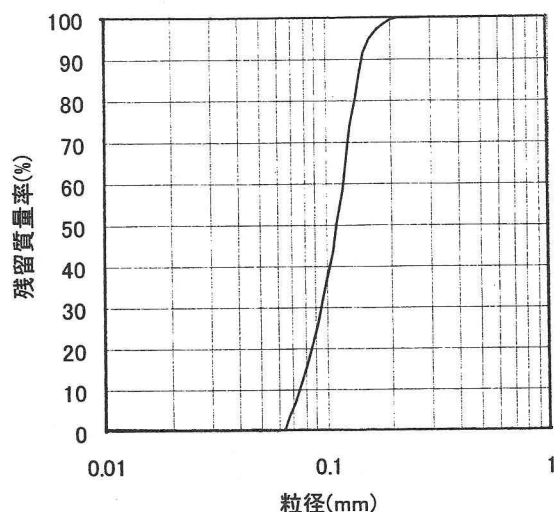


図-6 粒径加積曲線

風速の測定には熱線風速計(写真-1)を使用し，風速の鉛直分布から求められた摩擦速度 u_* が 37, 82, 125cm/s (砂面上 10cm での風速 6, 11, 15m/s に相当) の 3 ケースの風速で測定を行った．圧電振動子は吹出し口より風下側 10m 地点に砂面から高さ 1.1cm に設置した(写真-2)．また， u_* が 37cm/s においては鉛直方向の違いを見るために砂面上 4.5cm に圧電振動子を設置したケースも行った．砂の個数の判定法は，まず飛砂が生じていない高さに振動子を設置し，風のみによる信号を測定して，これをノイズとし，飛砂が生じている実験値からそのノイズを取除き，衝突した砂の個数を求めた．各ケースの測定時間は約 2 分間である．

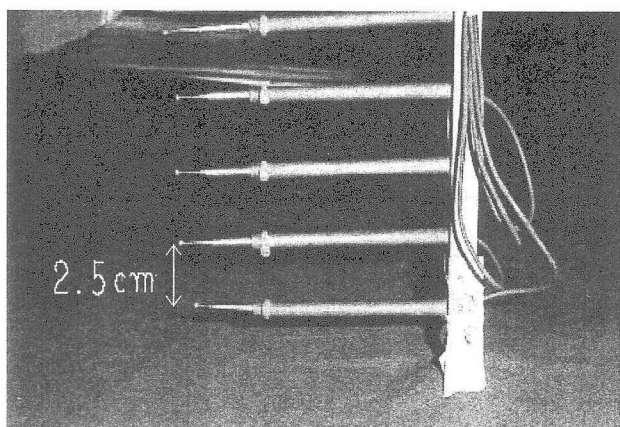


写真-1 熱線風速計

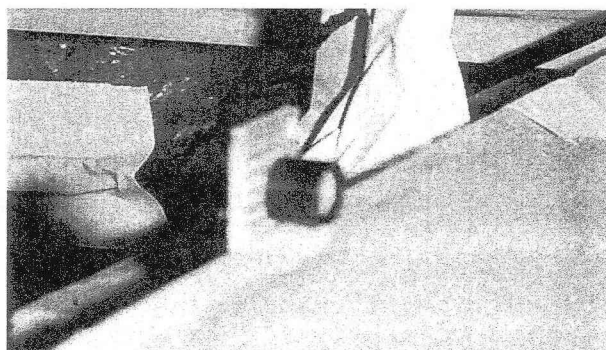


写真-2 圧電振動子(径 16mm)の設置状況

なお，この実験における計測の精度評価の基準とするために，予備実験として鉛直分布型トラップによって飛砂量の鉛直分布を測定した．使用したトラップを図-7 に示す．

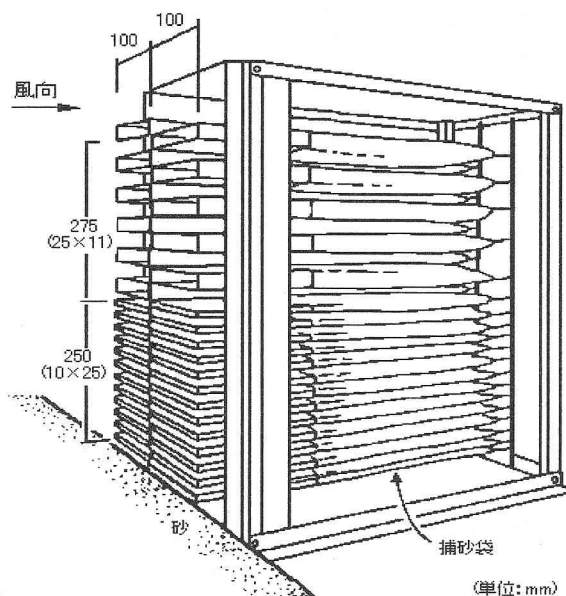
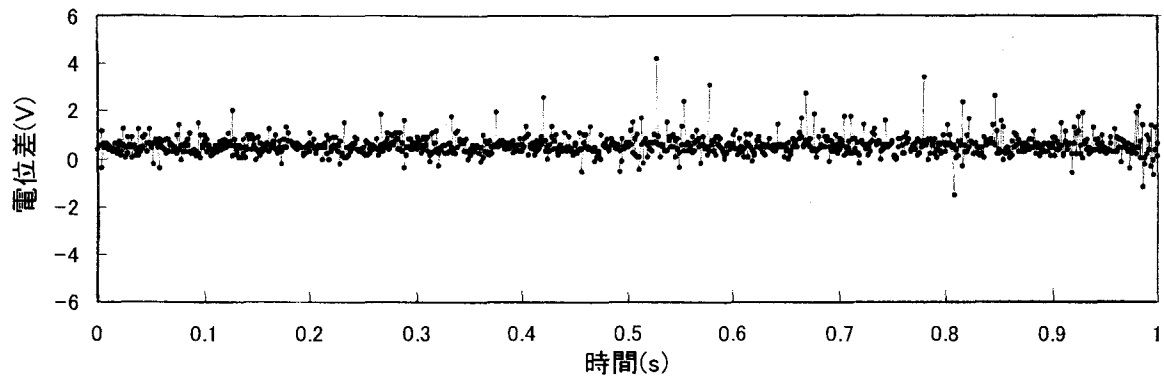


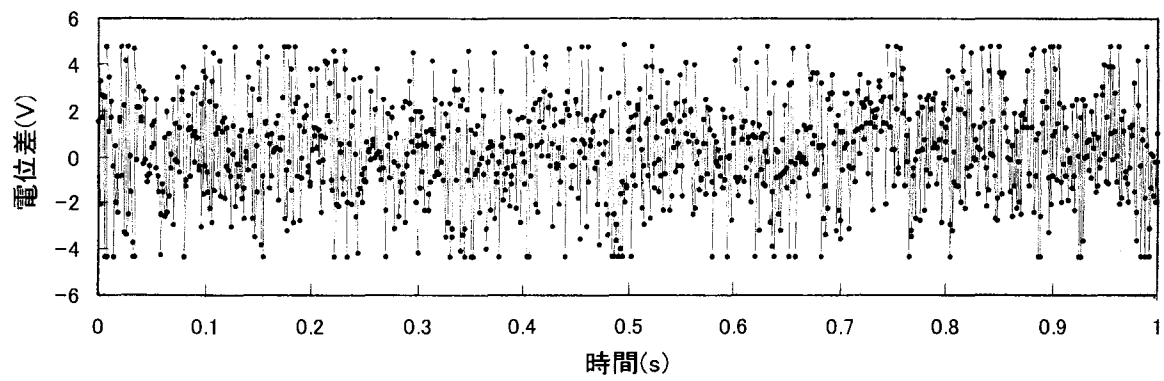
図-7 鉛直分布型トラップ²⁾

(2) 実験結果と検討

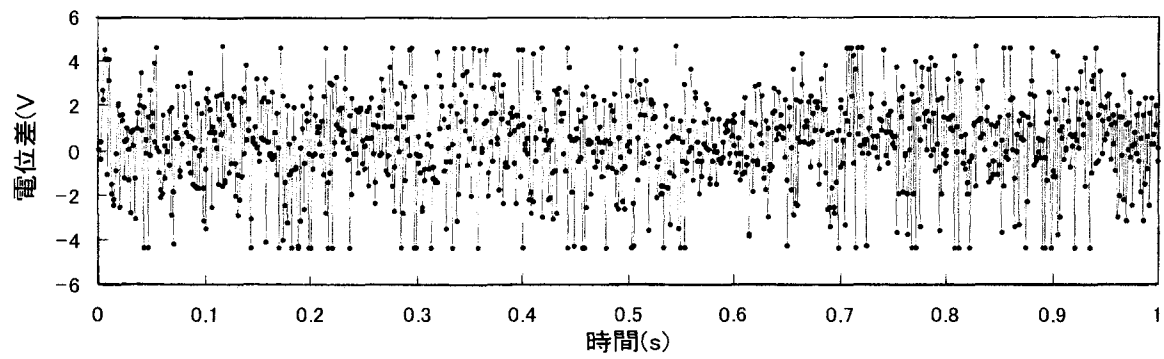
図-8(a), (b), (c), (d) に計測開始から 1 秒間の振動子の応答を示す． u_* が 37cm/s に対して 82cm/s では飛砂による応答信号が増加しており， 37cm/s の砂面上 1.1cm に対して 4.5cm/s では応答信号が減少していることがわかる． u_* が 82cm/s と 125cm/s との応答の違いは，一見して識別できない．飛砂が生じていない高さに振動子を設置したときの応答を図-9(a), (b), (c) に示す．風速が強くなるに従って，風によるノイズもわずかに大きくなる傾向がある．また，風のノイズの大きさに対し砂粒子が衝突していると考えられる振動子の応答の大きさは明らかに大きい．よって上に述べた個数の判定法に従い，図-8 から図-9 に示されるノイズを取り除き，衝突した砂粒子の個数の計数を行った．



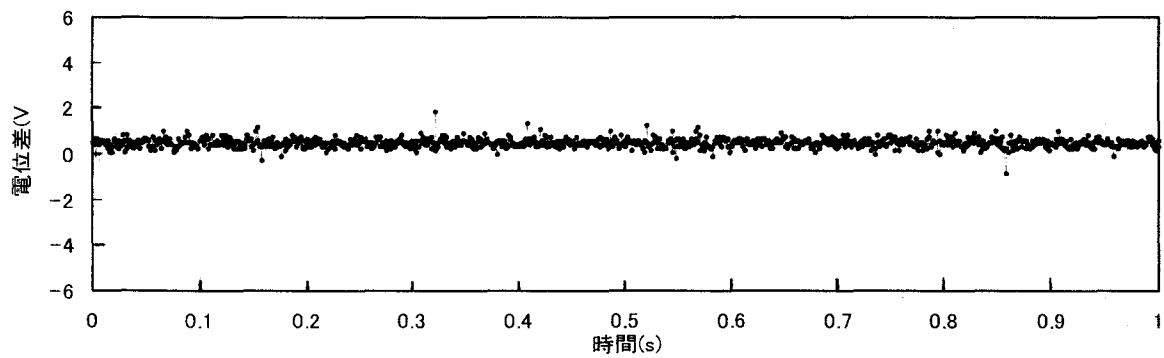
(a) $u_* = 37 \text{ cm/s}$ ($z = 1.1 \text{ cm}$)



(b) $u_* = 82 \text{ cm/s}$ ($z = 1.1 \text{ cm}$)

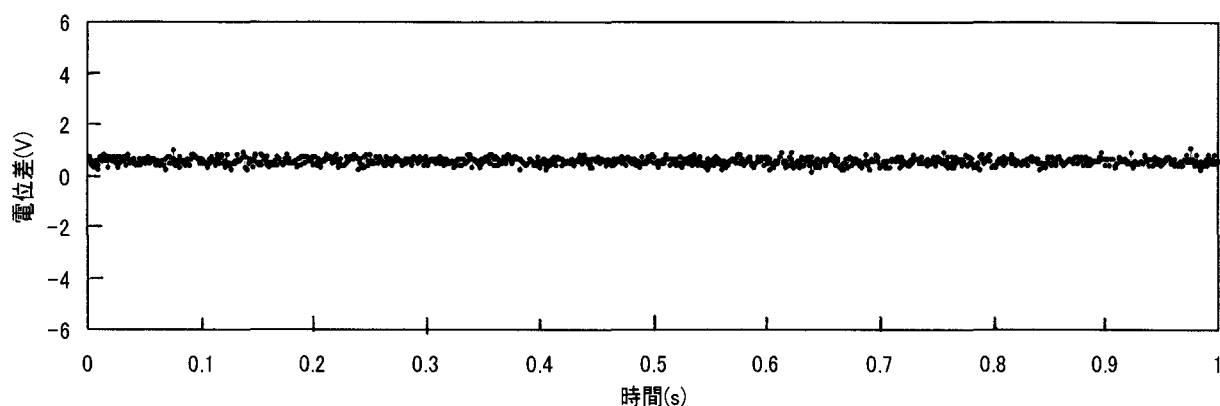


(c) $u_* = 125 \text{ cm/s}$ ($z = 1.1 \text{ cm}$)

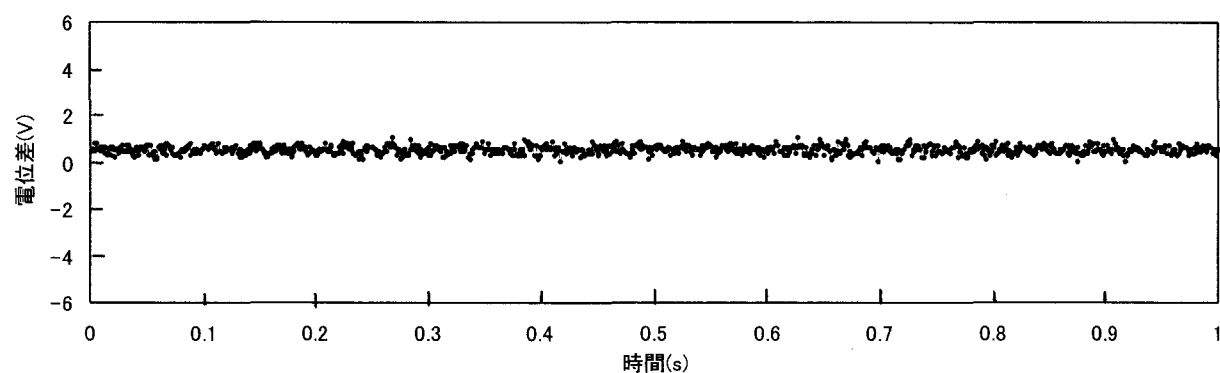


(d) $u_* = 37 \text{ cm/s}$ ($z = 4.5 \text{ cm}$)

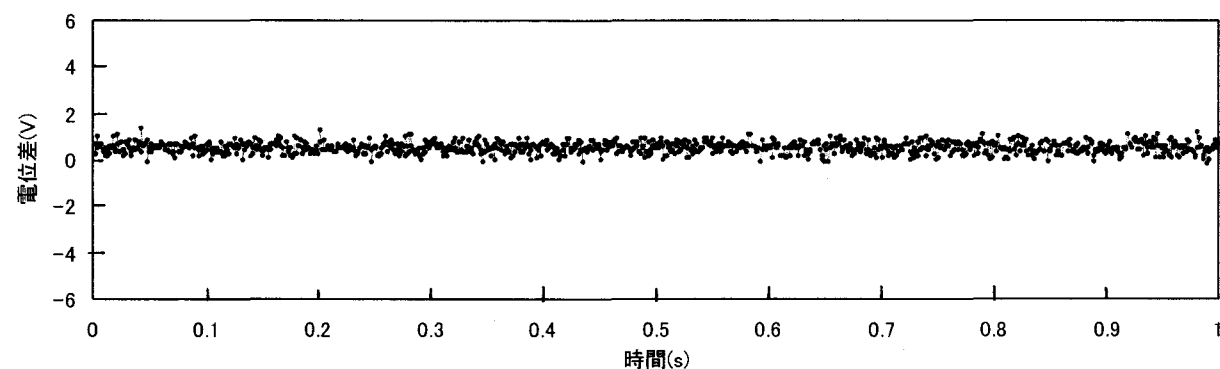
図-8 圧電振動子の応答(z は砂面上の高さ)



(a) $u_* = 37 \text{ cm/s}$



(b) $u_* = 82 \text{ cm/s}$



(c) $u_* = 125 \text{ cm/s}$

図-9 風によるノイズ信号

得られた個数を評価するために鉛直分布型トラップによって得られた飛砂量の鉛直分布(図-10)を用いた。鉛直分布型トラップの捕砂効率(率)は吐出し型風洞の端部に設置されている全量型捕砂器で捕らえられた飛砂量との比較により得られる(図-11)。捕砂効率は摩擦速度によってばらつきが大きい結果となり、鉛直分布型トラップで得られた飛砂量の捕砂効率による補正は摩擦速度毎に行うこととした。図-12は圧電振動子による計測と鉛直分布型トラップによる計測との比較である。図-12中のトラップ計測は、図-10から求められた

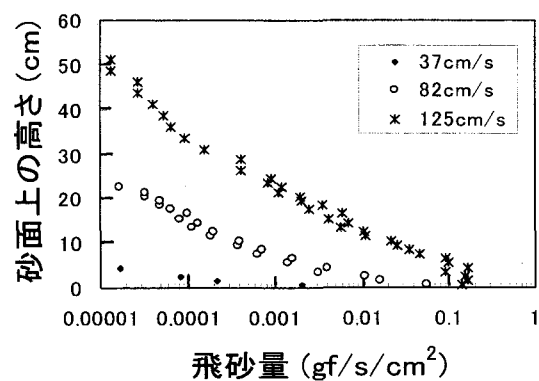


図-10 飛砂量の鉛直分布

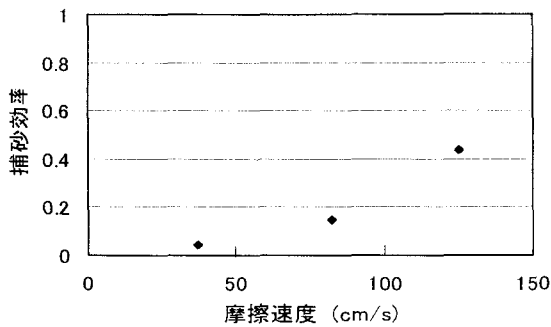


図-11 鉛直分布型トラップの捕砂効率

u_* が 37, 82, 125 cm/s の砂面上 1.1 cm における単位面積あたりの捕砂量を捕砂効率により補正し、圧電共振子の面積を乗じて、砂の密度を 2.729 gf/cm^3 としたときの 1 秒間に振動子に衝突する砂の個数である。圧電振動子による計測で得られた飛砂粒子数はトラップ計測に比べて 2 桁程度小さい値となっているが、変化傾向には関連性が見られる。また、 u_* が 82 cm/s から 125 cm/s になるとトラップ計測では増加傾向が弱くなるのに対し、圧電振動子による計数値には増加が見られない。これは、圧電振動子に同時に複数の砂が衝突する場合が増加したからであると考えられる。2 つの計数値の u_* が 37, 82 cm/s の結果の比を求めると、圧電振動子による計測値に対し、トラップによる値が約 64 倍となっている。ここで用いたトラップには捕砂効率の問題があることと、トラップ計測による計数値を求める際に圧電共振子の全面積を乗じており、共振子の応答する面積は全面積に対し小さいことが考えられるが、これらは今後の課題となる。

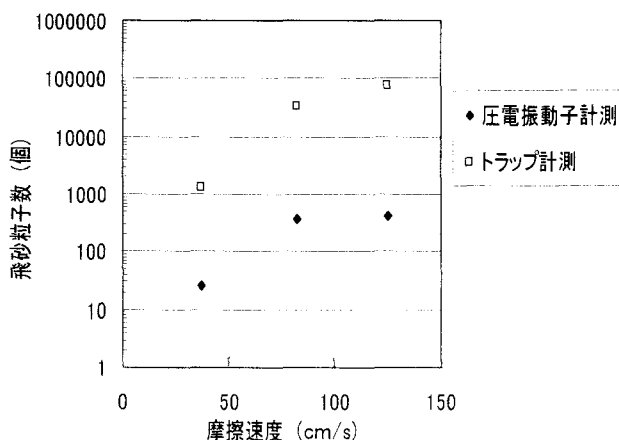


図-12 圧電振動子と鉛直分布型トラップの計測データ比較

最後に、 u_* が 37 cm/s において砂面上 1.1 cm と 4.5 cm の計数値の飛砂量の鉛直方向に対する評価を行った。

図-13 に鉛直分布型トラップで得た飛砂量との比較を示す。ここで、圧電振動子計測は振動子によって得

られた計数値を飛砂量に換算したもので、トラップ計測(a)はトラップ計測値を 1.1, 4.5 cm 共に等しい捕砂効率で補正したもの、トラップ計測(b)は砂面付近に近い方が比較的捕砂効率が高いと考え、平均が本来の捕砂効率と等しくなるように、異なる捕砂効率で補正したものである。飛砂量を対数表示すると圧電振動子計測とトラップ計測(b)は高さ方向の飛砂量の勾配が類似している。

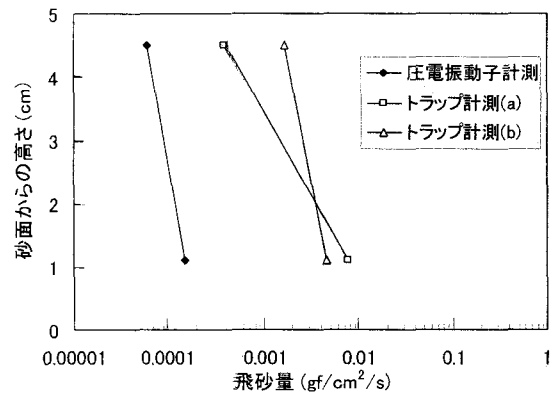


図-13 鉛直分布の比較

5. 結論

今回の実験で得られた知見は以下のとおりである。

- ① 砂粒子が圧電振動子に衝突した際、風のみによるノイズレベルより大きな電気信号が生じる。
- ② 砂 1 粒による応答時間が短いので、衝突した砂粒子数の計数が可能である。
- ③ 摩擦速度 u_* が 37~82 cm/s (砂面上 10 cm での風速 6~11 m/s に相当) の条件下であれば飛砂粒子数の測定が可能である。

今回の実験により 1 粒、もしくは多数の砂粒子が圧電振動子に衝突した際の応答状況が明確になった。今後は圧電振動子の共振子の有効面積に対する検討を行った後、さらに大きな摩擦速度の条件下での検証実験、実際の海岸の砂を使用しての実験などを実施する予定である。

謝辞：本研究を行うに際し、日本大学国際関係学部堀田新太郎教授に適切な助言を頂いた。実験にあたっては日本大学理工学研究所の研究費を一部利用させて頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 堀田新太郎: 海岸環境工学, 第 5 編, 第 7 章, 東京大学出版会, pp.490-499, 1985.
- 2) HOTTA, S and HORIKAWA, K: Vertical distribution of sand transport rate by wind, Coastal Engineering in Japan, Vol.36, No.1, pp.91-110, 1993.