

現位置透水試験装置の開発および海浜の透水係数と 海岸侵食との関係について

砂子 浩*・泉宮 尊司**・石橋 邦彦***

1. 緒 言

海浜砂の粒度分布や重鉱物含有率の沿岸方向の分布を用いて、沿岸漂砂の卓越方向を推定する方法は、近年においてもよく用いられている（たとえば、堀川・砂村，1971，和田・石原，1991）。しかしながら、最近になって平均粒度の分布からでは沿岸漂砂の卓越方向が決定できない事実が明らかにされつつあり（山本ら，1995），さらに詳細でかつ広範囲の調査が必要となってきた。これを実行するためには，多地点にわたる粒度分析を行わなければならない，大変な労力と時間を費やすことになる。また，海浜の平均粒径の経年変化や季節変化を見いだすには，ふるい目のサイズが限られているために，微細な変化を捉えるには困難な場合が予想される。

そこで本研究では，海浜砂の粒径と透水係数の間には，密接な関係があることに着目して，まず現地海浜で簡便に測定のできる透水試験装置を開発することを研究の目的とする。さらに，新潟県内の代表的な3つの海岸を調査対象地域に選び，透水係数と粒径との関係，透水係数と海岸侵食量との関係，前浜および後浜の海浜砂の特性を詳しく調べる。また，透水係数と粒径の沿岸方向分布と沿岸漂砂の卓越方向との関係を考察し，粒度の粗い所から小さい所へ向かう沿岸漂砂が存在するというこれまでの仮説を検証する。

2. 現位置透水試験装置の開発

2.1 透水試験装置の概要

本研究では，現地海浜で透水係数を簡便に測定できる透水試験装置を開発した。この装置は，図-1に示すように変水位型の透水試験装置で，深さ67mmの円筒部を砂層に差し込むようになっている。また，不飽和浸透にならないように，気泡を抜くバルブを2箇所にかけており，透水が定常になるまで試験を繰り返し，透水時間がほぼ一定となった3回の測定結果を用いて透水係数を算定するようにしている。さらに，測定時間の誤差を少なくす

るために，透水係数の大きさによって2種類のアクリル円筒管（内径154mmおよび50mm）をこの装置の上部に取り付けることができるようにしている。この円筒管に海水を入れ，バルブを開くことによって砂層に海水が流れ込む仕組みになっている。砂層の上端部が水流によって乱さないようにするために，図-1のAの部分に穴開きの円盤を設け，バルブから直接的に海水が砂層に流れないように工夫している。なお，この装置により測定できる最大の透水係数は，0.9～1.0 cm/s程度である。

2.2 透水係数の測定法

図-2に示すように，測定初期の水面の高さを h_0 ， t 秒後の水面の高さを h ，砂層内の浸透流速を V_s ，砂層表面での水圧を P_1 ，深さ L の位置での水圧を P_2 とする。ここで，砂層表面と深さ L の位置に対して，ベルヌーイの定理を適用すると，

$$L + \frac{P_1}{w} + \alpha \frac{V_s^2}{2g} = 0 + \frac{P_2}{w} + \alpha \frac{V_s^2}{2g} + h_r \quad \cdots \cdots (1)$$

となる。ここに， w は海水の単位体積重量， h_r は損失水頭である。深さ L の位置での圧力 P_2 は，地下水面から離れているとすると大気圧にほぼ等しいと考えられる。したがって，損失水頭 h_r は，

$$h_r = L + \frac{P_1}{w} = L + h \quad \cdots \cdots (2)$$

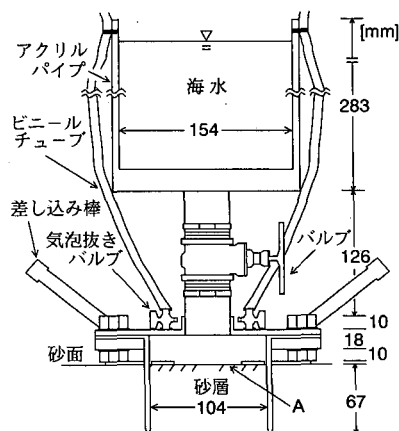


図-1 現位置透水試験装置

* 学生会員 学修 新潟大学大学院 自然科学研究科

** 正会員 工博 新潟大学助教授 工学部建設学科

*** 正会員 新潟大学技官 工学部建設学科

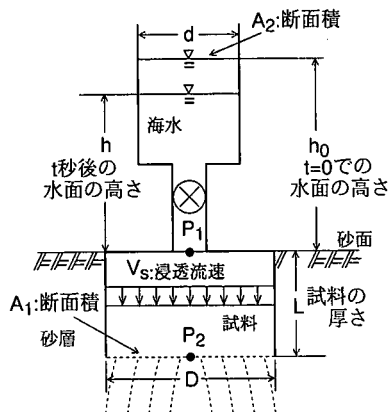


図-2 透水係数の測定原理

で与えられる。ここで、透水係数を k とし、 dt 時間に流れる流量の連続式を考えると、次の関係式を得る。

$$-A_2 dh = k \frac{L+h}{L} A_1 dt \quad (3)$$

ここに、 A_1 および A_2 は、下部および上部の円筒の断面積である。上式を時間 t まで積分すると、

$$-\int_{h_0}^h \frac{dh}{L+h} = \frac{k A_1}{L A_2} \int_0^t dt \quad (4)$$

となる関係が得られるため、透水係数 k は次式で算定できる。

$$k = \frac{L}{t} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \ln \left(\frac{L+h_0}{L+h} \right) \quad (5)$$

ここに、 d および D は、上部および下部の円筒の内径である。式 (5) の関係を導くにあたって、出口の圧力 P_1 が大気圧に等しく、砂層内の動水勾配が $(L+h)/L$ になるものと仮定している。なお厳密には、大気圧に等しくなる位置が若干ずれると考えられるが、本研究では補正係数を用いない式 (5) で評価することにした。

3. 透水係数と平均粒径との関係

透水係数と平均粒径との関係を検討するために、平均粒径の異なる新潟県内の3つの海岸を選び現地調査を行った。それらの海浜は、図-3に示すように、新潟県北東部の三面川から胎内川の海岸、新川から角田岬までの海岸および大潟から米山までの海岸である。北東部の海岸では、平均粒径 $0.4 \sim 0.8 \text{ mm}$ 程度であり、河口部付近には礫が存在している。新川から角田岬までの海岸は、 $0.1 \sim 0.4 \text{ mm}$ 程度の細粒径の砂浜であり、大潟海岸では $1.0 \sim 2.0 \text{ mm}$ 程度の粗砂または小さい礫からなる海浜である。

透水係数は、前浜と後浜の区別がつく海岸ではその両方で調査し、合計72地点で測定した。また、透水係数と粒径との関係を調べるために、粒度分析は27地点で採取

した砂または礫について行った。

図-4は、透水係数 k と中央粒径 d_{50} との関係を示したものである。データには多少のばらつきが見られるが、透水係数と平均粒径の間には、ほぼ一意的な関係が認められる。そこで、最小二乗法を用いて両者の平均的な関係式を求めると、

$$k = 0.207 \times d_{50}^{1.265} \quad (6)$$

を得る。ここに、 d_{50} は mm 単位、 k は cm/s 単位とする。また、図-5には透水係数 k と d_{20} との関係も示している。この粒径に対する関係も d_{50} との関係と同様に、ほぼ一意的な関係があり、

$$k = 0.278 \times d_{20}^{1.256} \quad (7)$$

で表される。

ここで注目されることは、 d_{50} および d_{20} に対してもほぼ同じべき乗であり、それぞれの代表粒径の約1.26乗に透水係数が比例していることである。さらに、 1 mm 以上

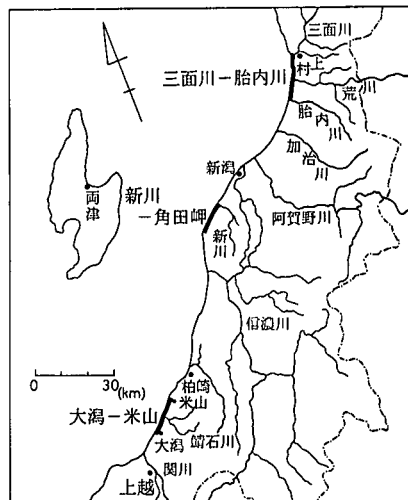
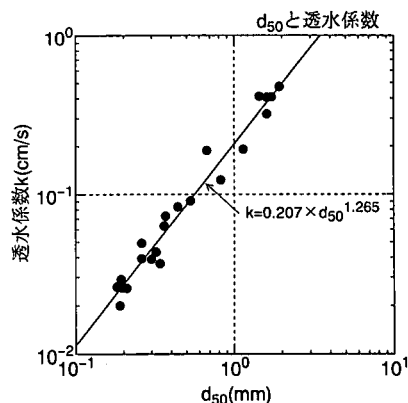


図-3 調査対象海岸

図-4 透水係数と d_{50} との関係

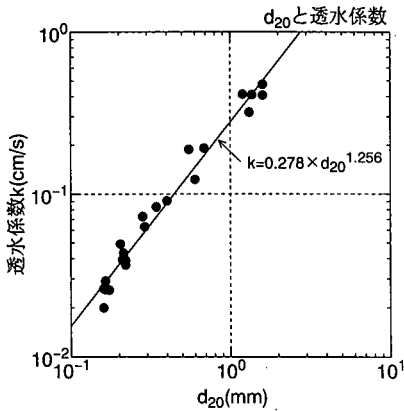


図-5 透水係数と d_{20} との関係

の礫成分についても、上式がほぼ成立することである。 d_{75} との関係についても調べた結果、予想以上に良好な対応関係が認められた。これは、海浜砂の淘汰係数が沿岸方向に大きく変化していないので、 d_{20} と d_{75} との間に比較的高い相関関係が存在しているためであると考えられる。

4. 透水係数と海岸侵食量との関係

一般に、海岸の侵食が大きい海浜では構成砂の粗粒化が起り、前浜の表面はアーミングが進行するとされている（たとえば、橋本・宇多，1980）。したがって、海岸侵食量の大きい海岸では平均粒径が周辺の海岸よりも大きくなり、砂浜の透水係数も大きくなることが予想される。

図-6 は、新潟市西部の新川から角田岬における透水係数の沿岸方向分布と汀線変化量を示している。この図には、前浜だけでなく後浜の透水係数も同時に示している。汀線変化量については、昭和43年と平成元年の国土地理院発行の1/25000の地形図をディジタイザーにより入力して算定したものである。図-6によると、内野上新町から越前浜にかけて前浜の透水係数が単調に小さくなり、越前浜付近で最小になった後、角田浜近くで急激に大きくなっている。後浜の透水係数もほぼ同様な傾向を示している。

この新川から角田岬にかけての約12 kmの海岸には、流入河川はなく現在離岸堤が設置されている越前浜付近を除き全体的に侵食傾向にあり、特に新川から四ツ郷屋にかけてはおよそ10 m程度汀線が後退している。図-6より、汀線後退量と海浜の透水係数との間には、ほぼ対応した関係が見られ、侵食傾向にある所では透水係数が大きく、堆積傾向にある所では小さくなっている。

さらにこの関係を詳しく見るために、この海岸の透水係数と汀線後退量との関係を示したのが、図-7である。

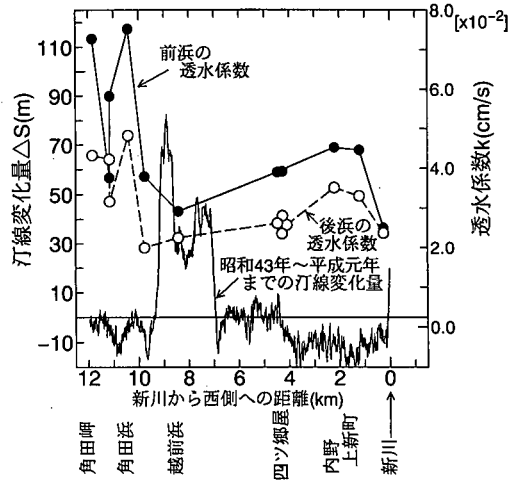


図-6 新川-角田岬における透水係数の沿岸方向分布と汀線変化量

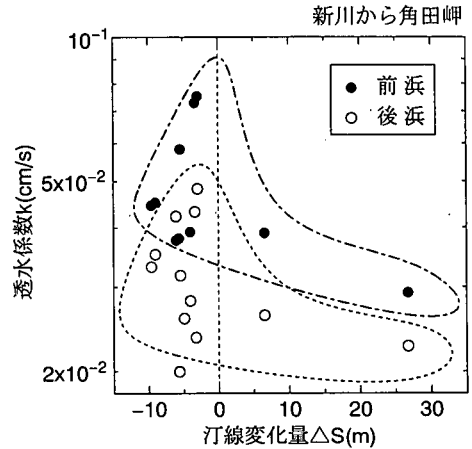


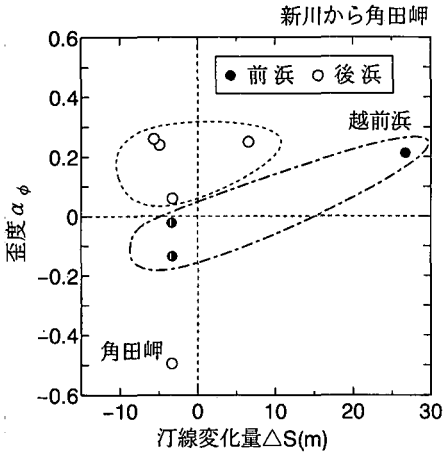
図-7 透水係数と海岸侵食量との関係(新川から角田岬までの海岸)

この図より、侵食量の小さいデータにばらつきが見られるものの、前浜および後浜ともに透水係数と汀線変化量との対応が比較的明瞭に見られる。したがって、この海岸では海岸侵食に伴う粗粒化、および堆積による細粒化が進行していたと考えられる。

図-8 は、汀線変化量と歪度 (skewness) α_ϕ との関係を示したものである。歪度 α_ϕ は、次式で近似され (Inman, 1952),

$$\alpha_\phi = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} \dots\dots\dots (8)$$

粒度分布の非対称性を示すパラメタであり、負の値の場合粗粒部側へ尾を引いた分布となっていることを示す。汀線変化量が負すなわち侵食している海岸の前浜の歪度

図-8 汀線変化量と歪度 α_ϕ との関係

α_ϕ は、負の値を示しており、粗粒成分の残存が顕著となっていることを示している。一方、堆積海岸のそれは正の値であり、細粒成分の残存量が顕著となっている。以上のことから、新川から角田岬までの海岸では、侵食による細粒成分の流失、および堆積による細粒成分の漂着作用があることが認められる。

5. 粒度特性と沿岸漂砂の卓越方向との関係

これまで平均粒径の沿岸方向の分布より、沿岸漂砂の卓越方向を推定する方法がよく用いられてきたが、最近になってこの方法が適用できない海岸があることが指摘されている(山本ら, 1995)。そこで、沿岸漂砂の卓越方向が明瞭に分かっている、新潟県北東部海岸の三面川から胎内川までの海岸(泉宮・砂子, 1994)において検証することにした。

図-9 は、三面川から胎内川にかけての透水係数の沿岸方向の分布を示したものである。前浜の透水係数は、三面川、荒川および胎内川の河口付近において、大きくなっており、平均粒径が大きいこと示している。後浜の透水係数も胎内川付近を除き、ほぼ同様な傾向を示している。

この海岸の沿岸漂砂の卓越方向は南西方向であるので、三面川から胎内川方向への漂砂がある。したがって、従来の仮説によると胎内川方向へ行くにしたがって、粒径が小さくなるはずであるが、そのようにはなっていない。この海岸には礫浜が点在しており、特に三面川および荒川の河口付近では、平均粒径が 10 mm 以上もある。岩船港により北東の三面川にかけてもこの法則が成立していない。しかしながら、前浜の透水係数と汀線変化量(田中ら, 1972, 新潟県, 1992)との関係を比較したところ、図-10 に示すようにデータ数は少ないが、侵食域では透水係数が大きいほど侵食量大きい関係にあること

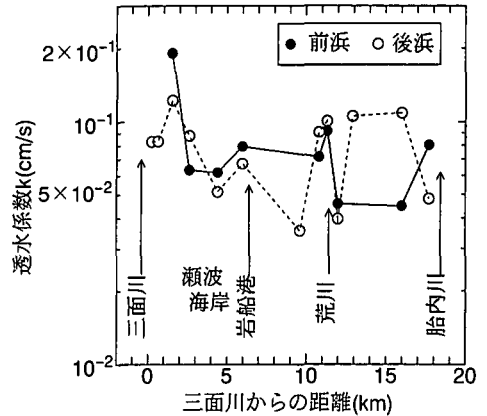


図-9 三面川から胎内川にかけての透水係数の沿岸方向分布

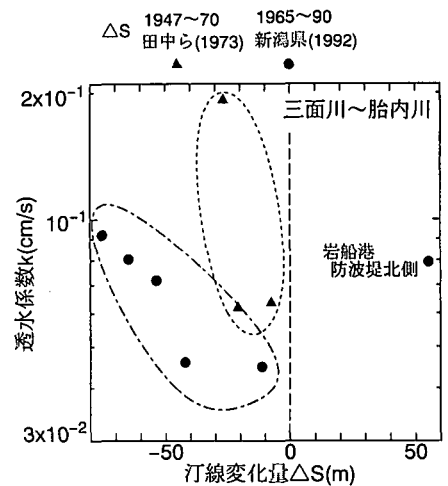


図-10 透水係数と汀線変化量との関係(新潟県北東部海岸)

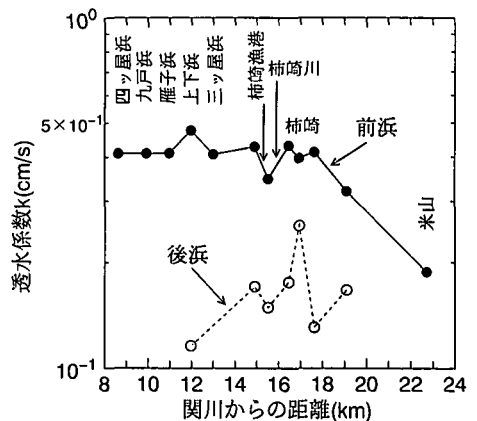
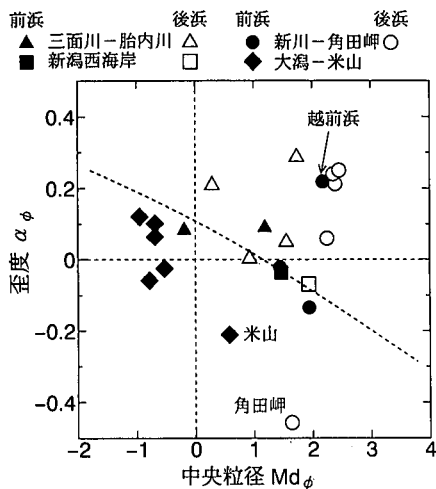


図-11 四ツ屋浜から米山までの海岸の透水係数の沿岸方向分布

図-12 中央粒径 Md_ϕ と歪度 α_ϕ との関係

が確認された。

以上の結果より、平均粒径の沿岸方向の分布からのみでは、沿岸漂砂の卓越方向を決定できない場合があり、海岸の侵食量や河口部付近の砂礫や海浜の比較的浅い地中に存在する砂礫層の影響を考えなければならないことが分かった。

図-11 は、四ツ屋浜から米山までの海岸の透水係数の沿岸方向の分布を示したものである。この図より、前浜の透水係数は四ツ屋浜から柿崎まではほぼ一様であり、柿崎から米山にかけて小さくなっていることが分かる。従来の考えによると、米山方面で粒径が小さくなっているため、沿岸漂砂の卓越方向は米山方向と推定されるが、海岸侵食の状況から逆向きの比較的小さい沿岸漂砂が存在するものと推測される。

ここで、代表粒径の分布からでは沿岸漂砂の方向が推定できないので、海浜砂の特徴をもう少し詳しく調べてみることにする。上杉 (1972) は、海浜砂の平均粒径と歪度 α_ϕ により、風成砂と海成砂が区分できることを指摘している。ここでは、平均粒径の代わりに、中央粒径 Md_ϕ と歪度 α_ϕ との関係を示したのが、図-12 である。黒塗りの記号が前浜のデータを、白抜きの記号が後浜のデータを表している。前浜のデータの殆どは、上杉 (1972) による分類の海成砂に相当し、後浜の多くは風成砂に対応している。今回調査した前浜と後浜のデータの境界線を破線で示している。越前浜の前浜のデータは、堆積海岸であり細粒成分がより多く含まれるために風成砂の特徴を有している。一方、米山の前浜のデータは、 α_ϕ の値が -0.2 で負であり、細粒成分が流失していることから、堆積性の海岸ではないことがこの図からも推測される。

6. 結 論

現地海浜で直接測定できる透水試験装置を開発し、これにより測定された透水係数と代表粒径との関係を調べた。さらに、透水係数と海岸侵食量との関係や沿岸漂砂の卓越方向との関係について考察した結果、以下の事柄が明かとなった。

(1) 開発した変水位型透水試験装置によれば、現位置で迅速に透水係数が求められ、ふるいによる粒度試験と比べて連続的な測定が可能であるので、季節変化等、微細な変化も捉えることも可能である。

(2) 透水係数と海浜砂の平均粒径 d_{50} および d_{20} との間には、ほぼ一意的な関係が存在し、透水係数はいずれにおいてもそれぞれに粒径の約 1.26 乗に比例することが分かった。

(3) 海岸侵食量と前浜および後浜の透水係数との関係は、河川の流入のない海岸においては比較的明瞭な対応関係が存在することが分かった。

(4) 沿岸漂砂の卓越方向が明瞭に分かっている海浜で、透水係数や粒度分布から推定される卓越方向は必ずしも一致せず、海岸侵食量や河口部付近の砂礫や海浜の比較的浅い地中に存在する砂礫層の影響を考えなければならないことが分かった。

(5) 海浜砂の粒度特性と海岸侵食量との関係を調べる際には、中央粒径だけでなく、歪度 α_ϕ との関係も有効であり、海岸侵食が生じると、この値が負の方向へ遷移することが分かった。

参 考 文 献

- 泉宮尊司・砂子 浩 (1994): 新潟県北東部海岸の広域的海岸侵食の総合的原因調査, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 531-535.
- 上杉 陽 (1972): 粒径頻度分布からみた風成砂・海成砂の諸特徴, 第四紀研究, Vol. 11, No. 2, pp. 49-60.
- 田中則男・小笹博昭・小笠原 昭 (1973): 海浜変形調査資料 (第 1 報), 港湾技研資料, No. 163, pp. 1-95.
- 新潟県 (1992): 汀線変化解析 (新潟県村上市～北蒲原郡聖竜町) 報告書, 39 p.
- 橋本 宏・宇多高明 (1980): 前浜勾配, 粒径および波向の動的関係について, 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 221-225.
- 堀川清司・砂村継夫 (1971): 千葉県九十九里海岸における漂砂の卓越方向に関する研究, 第 18 回海岸工学講演会論文集, pp. 417-421.
- 山本幸次・張 達平・田中茂信 (1995): 富士海岸における底質の分布特性について, 土木学会第 50 回年講概要集 2-B, pp. 868-869.
- 和田 清・石原安雄 (1991): 渥美半島・高堂漁港海岸の海浜変形と沿岸漂砂の素過程, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 291-295.
- Inman, D. L. (1952): Measures for describing the size distribution of sediments, Jour. Sed. Petro., Vol. 22, No. 3, pp. 125-145.