

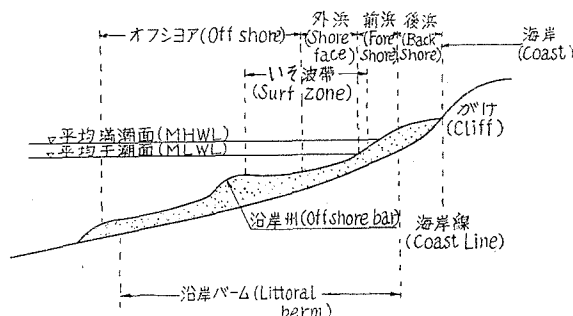
漂砂と沿岸流について

北海道大学助教授 真 嶋 恭 雄

I. 概 説

海岸を地質的にみると砂浜、磯浜、懸崖に分けられ、その間に河口が点在している。また海岸線に直角の方向では海岸及び海底の地質は自然現象により移動している部分と、その基層となる移動していない部分とに分けられる。この移動部分の海側の境界は海底の砂粒が海水の沿岸現象により生ずる流動によつて、移動させられる限界と考えている。実際の限界は大体波長の半分くらいの水深の所と考えられている。海岸に直角の断面形は一般的に 図-1 のように分類される。この断面中の外側でも陸上では風による飛砂があり、沖側でも海水に浮遊する微細な泥土が潮流、海流等で運ばれて深海に沈積するが、沿岸現象としては実質的な影響は大きくはない。従つて海岸現象のおもなる範囲は海岸に沿う、巾の割合に狭い非常に長い区域である。この区域内において海水（湖沼では淡水）の流動によつて可動性の砂礫類の移動することを漂砂

図-1



(Littoral drift) といい、その結果として海岸地形が一定不変であるかまたは浸食、堆積を生ずる。

漂砂の領域においては常に海水の流動があつてたえず漂砂を生じているが、この領域に可動物質の出入を考えてみる。内陸よりは河川、排水路等によつて運ばれてくる土砂がある。これは河川流域の浸食によつて生じた土砂が河川流送により浮遊状態または掃流状態で海岸に達するものである。また海岸地質が気象、海水の断えざる作用をうけて浸食され破碎されて可動土砂となつて漂砂領域に供給される。これらのうち前者は 広大な面積上の浸食により生ずるもので線状の海岸基層の浸食によるものより大量であらう。しかし河川より流出の土砂は Wash load 及び Bed load¹⁾ の制約を受けて 海岸に達するためにその粒径、比重がその地方の地質、気象、地形、河川の勾配、流量等に支配されある程度の選別作用を受けている。これに反し海岸基質の浸食、破碎によるものはそれ自体海岸に存在し漂砂流動の機構によつて移動選別されることになるもので、供給域は懸崖海岸、岩礁海岸及び海岸浸食の進行にともなつて海岸基質部の浸食を生ずる部分である。

また漂砂領域より外に出るものは海水に 浮遊状態で流出し深海に堆積する 微細な泥土類及び漂砂の堆積が進行安定して漂砂領域とみなし得ない状態になつた部分の堆積土砂である。

以上の供給土砂量と流出土砂との平衡関係が海岸地形の安定、不安定に重大なる影響がある上に、漂砂領域内における不断の海水の流動の変化にともなつて漂砂を生じ、ある部分は浸食されある部分は堆積し、また同一地点でも時期的に浸食されたり堆積して長期間後には、海岸海底のある範囲内への供給と減量との平衡によつてその範囲の安定、不安定が決定することになる。

しかしながら地質時代的な長期間には内陸の安定化にともなつて海岸砂礫の破碎の進行のため、漂砂領域より流出堆積する泥土が多量になり、海岸堆積物は次第に粒径の大きいものより成る安定海岸となるものと考えられる。

すなわち海岸は作用する力に抵抗して移動しない岩礁、懸崖及び石礫の安定した海岸に移行し砂浜はその中間の状態である。しかも漂砂は海岸に直角方向のみならず沿岸方向にも移動するものであるから、漂砂領域全部（特に岬等によつて漂砂領域を遮断している場合はその不連続点の間）が安定しないかぎり、岩礁地帯といえども河口、砂浜のあるかぎり多量の漂砂は存在する。ゆえに人工の施設について漂砂を考える場合は 海岸発達の間段階に対応して自然の沿岸作用を害しないようにするか、工作物を必要とする場合はこのために漂砂の不均衡を生じないように、また生じた場合は浸食、堆積の被害を大ならしめないように、それぞれの海岸の漂砂機構を十分に解明して合理的な計画と施工を行うことがきわめて重要である。

われわれが必要とする臨海構造物はほとんどすべて漂砂領域内にある。また自然の沿岸作用の当然の結果として海岸の浸食が至るところに見受けられ、これが防護を要するところが多い。この浸食防護工もまた漂砂領域内に構築しなければならない。かかる工作物は自然の沿岸作用に影響を与え、さらに他に影響を及ぼし連鎖的に海岸全

般の安定条件を変えてしまうおそれがある。従つて漂砂現象の解明には海岸全域にわたり長期間連続の調査、観測資料が必要である。

II. 漂 砂

漂砂は海水の流動によつて生ずる砂礫の移動現象で、海水中に浮遊して、あるいは海底を滑動または転動、躍動して移動する。すなわち浮遊漂砂と掃流漂砂に大別される。また海洋週辺の狭い帯状の漂砂領域における海水の流動は、海洋全域の波及流れが海水の地形、水深及び流出河水等の影響を受けたものできわめて複雑な様相を呈する。海水の波動及び流れを生ずる原因は主として気象（風、気温）比重、潮汐等でそのうち海岸に作用するものは風により生ずる波、遠い波の発生域より伝播してくる「うねり」、海流、潮流、波にともなう沿岸流、海湾内の海水振動にともなう流れ等である。これらが海岸砂礫に力を作用して漂砂を生ずるのであるから、漂砂現象の解明には砂礫の性質、海水の流動状態、気象、海潮流及びこれらの相互関係を明らかにし、海岸全域の気象、海潮流、副振動等の統計資料より漂砂領域より沖における海水の流動状態を統計的に求め、これが沿岸要素（位置、地形、水深、地質、河川、海岸工作物）の影響による流動の変化を明らかにする。次に海水の流動と漂砂の関係から漂砂の統計量を求め、ある区域における土砂の流入流出の平衡関係に求めることによつて統計的にその区域の安定、不安定とその程度、数量がわかり、その対策も確立しうるはずである。

ゆえに漂砂に関係することは海岸工学全般にわたるのみならず気象学、河川工学、地質学、海洋学、地球物理学等とも密接なる関係があり相互の協力を必要とするものである。

上記の諸現象及び相互関係にはまだ明らかでないものが非常に多く、米国を始めとして各方面において研究が行われ急速な発達途上にある現状である。

以下漂砂と沿岸流との問題について各項に分けて述べることにする。

(A) 海岸地質 概説に述べたように漂砂の結果として海岸、海底に浸食または堆積を生ずる。従つて漂砂の結果構成された海岸、海底地質は可動物質より成るわけである。この漂砂領域内の水中の可動物質は重力及び海水の運動による力を受けて安定限界の抵抗力を越えると移動して漂砂となる。この作用する力を総称して沿岸力といい方向性を持つている。

海岸地質を作用力に対する移動抵抗力によつて分類すると

1. 岩石（火成岩、水成岩その他）……………懸崖、岩礁
2. 石 礫……………礫 浜
3. 砂……………砂 浜
4. 粘土、泥土……………泥 浜

となり海水の接するところ、たえずその作用を受ける。砂粒の抵抗はその大きさ、比重、形状、表面粗度に関係するが主として大きさと比重の影響が大きい。比重は母岩の種類によつてかなりの差があつて、火山礫（北海道噴火湾、胆振海岸に多い）では比重 1.1 前後である。いま比重、形状、表面粗度を含めて砂粒を球として扱い、その直径はこれらの要素を含めた安定度を表わすような equivalent diameter d_f または d_t で表わすことにすると、

$$\text{浮遊状態では } k_1 \frac{\pi d^2}{4} = k_1' \frac{\pi d_f^2}{4}, \quad d_f = \left(\frac{k_1}{k_1'} \right)^{\frac{1}{2}} d \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{掃流状態では } \frac{k_1 \frac{\pi d^2}{4}}{k_2 \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_0)} = \frac{k_1' \frac{\pi d_t^2}{4}}{k_2' \frac{\pi d_t^3}{6} (\rho' - \rho_0)}, \quad d_t = \frac{k_1' k_2}{k_1 k_2'} \frac{\rho - \rho_0}{\rho' - \rho_0} d \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし k_1 : 形状による係数 k_1' : 球としての形状係数
 ρ : 砂粒の密度 ρ' : 標準砂の密度
 ρ_0 : 海水の密度 k_2 : 表面粗度に関する係数
 k_2' : 標準砂の表面粗度係数

海遊状態の水平移動に対しては密度は関係しないが、上昇、沈没及び掃流には密度が関係する。例えば火山礫で

$$\text{は } d_t = \frac{1.1 - 1.03}{2.7 - 1.03} d = 0.042 d \text{ となり、極めて移動しやすい上に容積が大きい。また扁平なものは上昇に対して}$$

k_1 が大きいいため容易に上昇浮遊して大きさの割合に移動しやすい。

このように砂礫の安定度を直径で表わすと、上記の海岸地質の分類は直径の大きさによる分類と考えられる。

岩石海岸においては海水の流動による力及び海水により流動させられる砂礫の運動による力によつて岩石表面が浸食される。その現象を海食という。このため岩石は脆弱部分から次第に破壊して細片となり砂礫の供給源となる。

また海水の流動により砂礫は相互に衝突、摩擦してさらに破碎して礫より砂、砂より粘土となる。河川より流送される砂礫、泥土も海岸にて同様の作用を受け次第に細粒となる。

すなわち海水の流動によつて海岸物質は移動と破壊を行う。従つて岩石海岸では母岩の粗大のものから砂、粘土に至る各種の粒径のものが生ずるはずである。しかし海水は広い範囲にわたつて移動する上に流動の強さも変化するに対して、砂礫の安定度に差違があるため、一定の沿岸力に対してある径以下のものは浮遊し、または移動し、ある径以上のものは静止のままとどまり、いわゆる選別作用を行う。

一般の海岸構成物質を観察すると、その粒径状態がほぼ一様で前記のごとき分類をなしうることより考えると、海水の流動の長期間の平均状態はそれぞれの海岸においてはほぼ一定の沿岸力が支配的であると考えられる。しかもこの沿岸力によつて海岸物質が浮遊、掃流状態で移動していることより海岸の安定は砂礫の流入流出の平衡によることが明らかで浸食、堆積はこの平衡を保ち得ないために生ずるものである。

長年の間は安定であると考えられていた海岸が浸食の被害を急に訴てその対策を講ずることがしばしば見受けられるが、これはその海岸が浸食性の海岸で年々微小な浸食が行われて長年月の間に大きな被害となるか、または付近に海岸工作物を設置したためあるいは異常の暴風によつて平衡が破られた場合であるようである。

(B) 海水の選別作用 海岸構成砂粒の粒度分布曲線を作つてみるとある粒径のものが最も多く、それより大または小径のものは急に少なくなつていく。この結果は海水流動のために生じたものである。いま簡単に流速 v のみによつて移動する砂粒のうち最大の直径を l_c とすると l_c より大径のものはそこに供給されることなく、前からそこにあつた l_c より大きいものはそのまま止まる。 l_c より小さいものは粒径に応じた速度で流出する。

もし上流側より補給がなければそこに残る砂粒の径の最小のものが l_c となるが補給されると移動状態のものを含めて量は変らない。しかし粒径に応じて移動状態が変化し流速が異なるから移動流量は状態または粒径によつて変化している。

また海水は碎波等によつて強い攪乱を生じているから、流動状態が静穏になるとき大径のものから沈降して粒径に応じて配列され成層をなし、表面の砂の径はそのときの v に相当する l_c である。もし海岸に各種の径のものがすべてある場合、その隣接区域に移動した最大径のものはそこに生じた最大流速に相当するものと考えられる。ただし直径は Equivalent diameter で表わし地形、勾配等の影響は一樣であるとする。また v は同時に存在する波、沿岸流、潮流、碎波等すべての流れによる流速の合成されたものである。

以上の考え方より

$$l_c = f(v) \dots\dots\dots (3a)$$

の関係が考えられる。また v が一様と考えられる場合には s を海底勾配とすると

$$l_c = f_1(s) \dots\dots\dots (3b)$$

の関係が推定される。

従つて v_2 から v_1 に変ると l_{c2} から l_{c1} に変り

$$l_{c2} - l_{c1} = (f v_2) - (f v_1)$$

によつて粒径の変化により v の変動範囲が推定される。

さらに v_2 より v_1 に減ると l_{c2} より l_{c1} までの粒径のものは大径のものを先にして堆積し l_{c1} 以下のものはそのまま移動し続ける。ゆえにこの変動部分では堆積層の粒度分布に一つの傾向を生ずる。

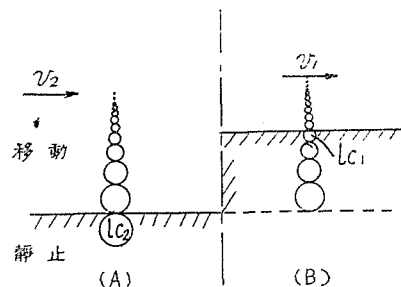
例えば 図-2 において B の部分では $l_{c2} \sim l_{c1}$ のものが止まるが、B の区域の上流側ほど、かつ径の大きいものほど下層に堆積し、下流側になるほど径の小さいものが堆積する。

海水の流動の方向は時間的に位置的に各種各様でそれぞれの流動に応じてこのような選別作用が行われる。

海岸付近においては碎波等により攪乱されその渦動性のため浮揚力を受け、細粒のものは水中に浮遊状態となり、Turbulence の変化に応じて一時浮遊してただちに沈降し再び浮遊する状態のものも生ずる。浮遊した砂粒は海水の流速のままに移動する。いま Turbulence を含めて v にて流動状態を表わし、 v に対して掃流状態で移動する粒径のうち最小のものを l_{ic} とする。すなわち l_{ic} 以下のものはすべて浮遊する。一般的に

$$l_{ic} < l_c \dots\dots\dots (4)$$

図-2



v が増加すると l_c も l_{tc} も大きくなり、減ずると小さくなる。図-3 で v_2 より v_1 に減ずると l_{tc2} から l_{tc1} に減少し $l_{c2} \sim l_{c1}$ のものが静止する。すなわち

$$l_{tc} = f_t(v) \dots \dots \dots (5)$$

の関係が推定されれば

$$l_{tc2} - l_{tc1} = f_t(v_2) - f_t(v_1) \dots \dots \dots (6)$$

の範囲は流動状態の変化を表わすことになる。

また浮遊砂粒の水中に浮遊する位置も一樣な Turbulence ならば粒径に応じほぼ一定の高さになり大きい径のものほど下になるはずである。かかる粒径に応ずる分布位置の流速流向は必ずしも一樣でないため、流れの方向別に選別され堆積して漂砂領域で粒度の不連続を生ずる。

(C) 漂砂の一般的性質 (1) 粒度分布曲線：海水の流動状態がほぼ一樣で方向、流速の分布も明瞭であるならば、前項の選別作用と供給源の砂の粒度曲線を用いて移動量及び堆積量または浸食量のある程度計算によつて推定することができる。

しかしこのような明瞭簡単な海岸はきわめて少なく、流動状態は時々刻々変化し、これにともなつて漂砂も変り、長い期間の合成的な結果として浸食堆積または安定の結果を生ずるわけで、一地点のある時期の粒度曲線も粒径のある範囲が無数の変化作用によつて影響を受け、最も影響力の大きいものに対応する粒径の割合が最も大きくなり、その粒度曲線は Log-probability law に従う。すなわち粒径を l とすると

$$\log_e l = \sum_{n=0}^{\infty} \log_e l_n \dots \dots \dots (7)$$

$$y = \log_e l$$

とすると y が正視分布をすると考えると y の分布函数 $F(y)$ は

$$F(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_y} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}} \dots \dots \dots (8)$$

ただし σ_y : y の標準偏差

苫小牧海岸の砂の分布曲線 図-4 を見るとこの関係がほぼ成立することがわかる。この砂は前浜の表面部分のものである。

この粒度曲線の範囲、平均粒径及びその割合、標準偏差等は海水の流動を通じて付近の砂と関係があり、その変化を生ずる間にはきわめて多数の作用が影響を与えているはずであるが、海水流動の主要素によつて最も強く左右されるものと考えてさしつかえないであろう。

海水流動の主要素と考えられるものは漂砂領域内の位置によつて異なるであろうが波高、波形勾配、沿岸流、海

図-3

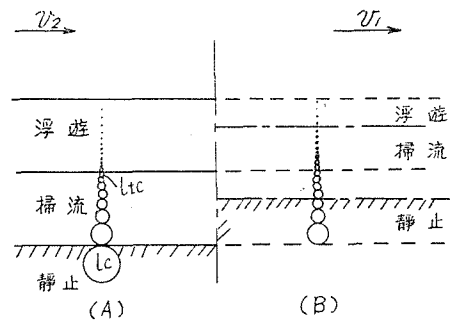
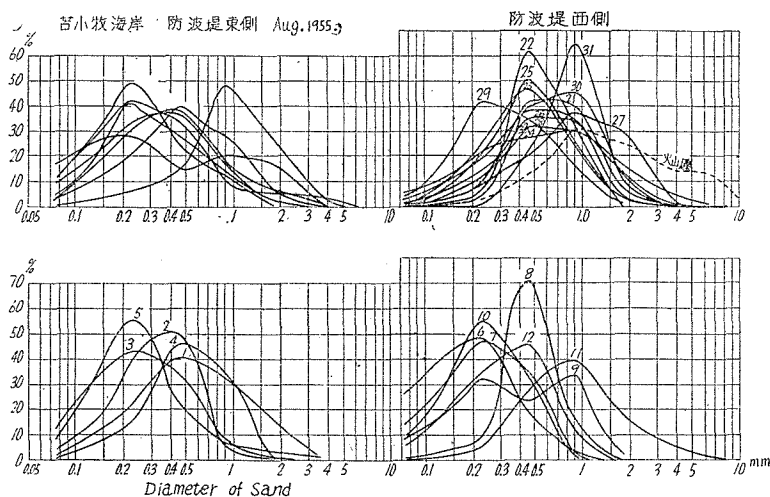


図-4



浜流, 潮流, 水深, 海底勾配, 海底粗度, 海岸地形等である。

(2) 海岸砂層: 海岸付近の砂礫層を考えると, ある一定期間内に生ずる最大の流動によつて攪乱される深さはほぼ一定であると考えられる。これを D_s とする。 D_s は流動の程度に応じて変る。単位面積で深さ D_s の容積内の砂粒が攪乱されたとき, 微細なものは浮遊し表面には小粒その下は大粒と配列しその部分の速度に応じて浮遊漂砂, 掃流漂砂となる。なお滲透流のため D_s 以下でも微細のものは, 砂粒間隙を移動して表面に出るものもあるであろう。

流動状態が長く続くときは浮遊したものは D_s の層から失われ, 掃流移動するものも他より補給されないかぎり流出して D_s はさらに下層に進行し D_s 内では掃流されない大きい径 l_c 以上のものが止まつてこの部分が次第に厚くなり, ついには流出するものがなくなると D_s の下層への進行はとどまる。もし隣接地域より掃流漂砂が補給される場合は D_s は下層へ進行しないのでほぼ元の位置にとどまる。表層下にある径の大きい部分は耐浸食性のもので, もし在来海岸の地質にこのような粒度のものを含まない場合, 例えばこれまで常に砂の補給の行われていた海岸に防砂堤の如きを設けると浸食は海水の流動状態が弱まる所まで進行することになる。なおこの変化はある時間を要し, 砂の安定度が大きいほど緩慢であるが, 異常の大時化のごとき場合の浸食は非常に迅速である。

次に堆積の場合には海岸の一部分の流動が弱まつて補給される方が多く, 流出するものが少ない場合, または海岸障害物によつて補給のみで流出が遮断される場合等がおもなものである。しかし漂砂の経路が浮遊と掃流とに分れる場合があり, その粒度配分も海水の流動状態で変化するので, ある時期には細粒のものが, 次には粗大のものが堆積し, 浮遊漂砂の堆積の場合または掃流漂砂の堆積の場合もある。いずれにしても堆積砂層は流動の変化に応じて層状をなすのが普通である。

堆積及び浸食の最も敏感であるのは D_s の表層で長期間の変化を考える場合は砂層断面の検討を行うべきである。

D_s の進行の時間的關係は荒天継続時間と関連して海岸線の前進後退と関係が深い。

さらに堆積の場合漂砂は細粒のものが一般に移動速度が大きいから, 静穏区域に堆積する量は時間の経過とともに細粒のものの割合が多くなってくる。静穏な港内沈殿物が粘土状の微細なものであることが多いがこれは防波堤の被覆効果が充分であることを示すが, 必ずしも粗粒のものが流入しないとは限らないことに注意すべきである。

(3) 沿岸海水の渦動: 海岸において砂粒が海水に浮遊することは海底に沿う流速によるせん断力になるのみでなく, 碎波の激しい渦動性によるもので特に碎波線と汀線付近及びこの2線の間は碎波による Turbulence によつて海底物質が拡散維持されることは各種の観測で明瞭である。しかしながら Surf zone における浮遊量及び粒度は主として碎波によつて規定されたとしてもその移動は沿岸流等の速度で移動する。すなわち漂砂領域内の位置によつて浮遊量及び粒度の推定は流速とともに碎波の状態を考えに入れなければならない。

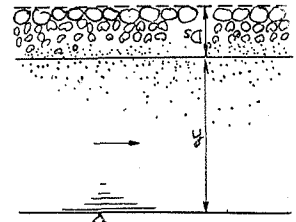
このような浮遊漂砂は沿岸流及び Rip current になつて沿岸方向または冲向きに運ばれ Turbulence が減少するにつれて流速の渦動性のみによつて支持されることになり, 細粒のもののみ速くはこばれる。沿岸一帯が碎波のため一様な渦動をなしているときは遠くまで運ばれることになる。

Johnson¹⁾ によれば Offshore において波動による前後運動は岸に近づくにつれて前進性が強くなるのに対し, 岸近くでは Rip current と反射波による冲向きの流れが強いため, その平衡位置に沿岸州 (Longshore bar) が形成されやすくなる。この位置は水深, 勾配, 海底物質及び波の特性によつて決まるが, 潮位変化の大きいとき, または波の特性が一樣でない場合には変化して沿岸州は発達しにくい。この沿岸州の存在が碎波の位置をある程度拘束して Longshore current を Trough の中に局限する結果になり沿岸漂砂を助長する。

以上より碎波線より岸側の Surf zone と沖側の Offshore では漂砂の状態がかなりの相違があることがわかる。すなわち沖側では主として掃流漂砂と Rip current による浮遊漂砂があり Surf zone では掃流漂砂と碎波浮遊漂砂の Long shore current, Rip current によるものがいじりあひである。

(4) 沿岸力: 海岸構成物質に作用してこれを移動させる力を総称して沿岸力と考えるとき, これには重力及び海水の運動によつて作用する力の二つがある。これが漂砂を助長する状態に作用したとき沿岸力が大きいということが出来る。

図—5



従つて沿岸力のおもな要素となるものは

1. 波による流れ 波の質量輸送による流れ
砕波の運動量による流れ
2. 波の力 波の水分子の往復の速度差
砕波の水分子の往復の速度差
3. 質量の輸送のもどり流れ (Rip current)
4. 反射波による質量輸送による流れ
5. 海底勾配上の重力
6. 潮流 干満潮によつて方向流速が変化する
7. 海流 定常的な流れであるが季節によつて変化する
8. 地形、河口、海岸構造物 (防波堤、防砂堤その他) のため主沿岸流にともなう反流、渦流等
9. 汀線砕波 (最終砕波) (Plunging point) による流れ、これには Uprash, Backwash 及びこの結果生ずる海浜流が含まれる

等が考えられる。以上のうち 1, 2 は岸に向い、波の方向によつて海岸に直角から海岸に平行の力となる。3, 4, 5 は沖に向う力を持ち、地形、Long shore bar によつて海岸に直角から沿岸方向に作用する。6, 7 は各海岸特有のもの、8 は主流に応じて変化する局所的ではあるが漂砂に重要な関係がある。9 は海岸に対して前後に作用し波の方向と海岸の方向によつて、Cusp の成長に関係し前浜、後浜の直接の浸食、堆積に関係する。結局 1, 2, 3, 4, 9 が波によるもの、5 は海底勾配上の重力、その他は海岸特有のものと分類される。

波は気象資料、天気図の統計的取扱によつて年間の状態をおよそ推定することができる。波より沿岸流²⁾を推定すると海底物質との関係によつて漂砂をその方向、量、粒度、季節について明らかにしなければならない。特に大波に際しての海岸物質との関係が必要である。しかしながら海岸物質と波及び沿岸流との関係には不明なものがきわめて多く、まだ漂砂量の推定をなすにはほど遠い状態である。

ただし総合的な近似推定法¹⁾として波のエネルギー、仕事のベクトル合成を用いて漂砂量との相関を調べたものがあるが、きわめて不完全で今後の研究を待たなければならない。

また Johnson¹⁾ は一つの水深、勾配、波に対して水分子の往復運動の軌道から外れない砂粒を鈎合粒度として密度、形状、位置を一定として直径のみで表わし次の仮説をたてた。

- (a) 勾配、波が一定：鈎合粒度の大きさは水深が減ると大きくなる (岸向きの流れが強くなる)
- (b) 水深、波が一定：鈎合粒度の大きさは勾配が急であるほど大きい (勾配が急になると重力の影響が大になり同じ粒径のものなら緩勾配上で高くおし上げられるからである)
- (c) 水深、勾配一定：鈎合粒度は底速度が減ると、すなわち波の週期または波高が減ると、大きくなる (流れが弱いほど大きいものは上におし上らない)

この仮説も潮位変化、津浪の変化 (波形、方向等) 海底物質の粒度の複雑さより大体の傾向を示し、量的推定の段階には達していない。

この鈎合粒度は II (B) の l_{ic} にほぼ相当するものと考えられる。

(D) 漂砂の分類 前項までの要素を考えに入れて漂砂の分類を行うと次のようになる。移動状態により

- (1) 浮遊漂砂 (Suspended littoral drift)
- (2) 掃流漂砂 (Tractive drift)
- (3) 躍動漂砂 (Saltation drift)

位置により

- | | |
|--|---|
| (1) 離岸漂砂 Rip current drift または Under-tow drift | 正常海浜漂砂 Normal beach drift
暴風海浜漂砂 Storm beach drift |
| (2) 向岸漂砂 On shore drift | (7) 沿岸漂砂 Long shore drift |
| (3) 砕波点漂砂 Breaking point drift | (8) 最終砕波線漂砂 Plunging point drift |
| (4) いそ波帯漂砂 Surf zone drift | (9) 磯浜漂砂 Rocky shore drift |
| (5) 沖漂砂 Off shore drift | (10) 砂浜漂砂 Sandy shore drift |
| (6) 汀線漂砂 Beach drift | |

特殊な位置または状態として

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| (1) 河口漂砂 Estuary drift | 移動する漂砂で沿岸漂砂の一種と考えられる。 |
| (2) 港内漂砂：港内の波浪、回流等により港内底質の移動するもの | (6) 越波漂砂：防波堤等の越波とともに移動する漂砂 |
| (3) 河川漂砂：河川より流出した漂砂 | (7) 打上げ漂砂：海岸堤防等に跳波とともに押し上げられる漂砂 |
| (4) 通過漂砂：河口及び港口前、防砂堤等の先端を通り過ぎて移動する漂砂 | (8) 進入漂砂：港口より港内に入る漂砂 |
| (5) 導流漂砂：防波堤、防砂堤、導流堤等に沿つて | (9) 透過漂砂…捨石等の間隙より侵入する漂砂 |

(10) 滲透漂砂：防波堤附近の海底物質内の滲透流による微砂の移動

漂砂物質の性質によつて

- | | |
|---------------------------|--|
| (1) 普通漂砂 (砂礫) | (4) 海草, 漂流物類 (漂砂とは普通いはないが漂砂にともなつて堆積し影響の大きいことがある) |
| (2) 特殊漂砂 (火山灰, 火山砂礫, 軽石等) | |
| (3) 粘土, 泥土 | |

これらの物質の供給源によつて

- | | |
|------------|----------------|
| (1) 内陸流出土砂 | (2) 海岸, 海底浸食砂礫 |
|------------|----------------|

に分けられる。

漂砂堆積の状態を分類すると

- | | |
|---|---|
| (1) 砂堆 Sand ridge 沿岸州 Long shore bar, Off shore bar | (7) 港口寄州 |
| (2) 砂州 Sand bar | (8) 防波堤打上砂 |
| (3) 浅瀬 Bar | (9) 海岸打上砂 |
| (4) 河口砂州, 河口砂堆, 潟口砂州 | (10) 港湾埋没, 水深減少 |
| (5) 防砂堤基部の堆積砂 | (11) 砂嘴 Sand spit |
| (6) 防波堤基部の堆積砂 | (12) 砂丘 Sand dune : 漂砂の堆積が風力で集められるか海岸上昇等によつて生ずる |

海岸浸食を位置によつて分類すると

- | | |
|-----------------------------|---------------|
| (1) 砂浜の浸食 (海岸線の後退) | (5) 河口浸食 |
| (2) 岩礁の海食 (懸崖, 平磯等) | (6) 海岸線の浸食 |
| (3) 防波堤, 防砂堤基部の浸食 | (7) 港口浸食 (洗掘) |
| (4) 海底浸食 (Trough, 防波堤に沿う洗掘) | |

海岸浸食の原因は海水による漂砂が大部分を占めるが特殊な場合として流水による浸食, 結氷による浸食, その他の漂流物による浸食があり, また河水による河口浸食及び降雨, 積雪による海岸陸上部の表面浸食, 飛砂, 凍結融解その他の風化による浸食も行われる。

III. 粒度曲線の変化

II. において述べたようにきわめて多くの選別作用が行われ, 漂砂粒度分布は粒径を l とすると $y = \log_e l$ が正規分布となり, ほぼ Log-probability law に従う。この分布は Semi-log 紙上で正規分布をなし

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma y} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2 y^2}} \dots\dots\dots (8)$$

で表わされ l の分布曲線は

$$\phi(l) = F(y) \left| \frac{dy}{dl} \right|, \quad \frac{dy}{dl} = \frac{1}{l} = e^{-y}$$

$$\text{より} \quad \phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} l \sigma \log_e l} e^{-\frac{(\log_e l - \log_e \bar{l})^2}{2\sigma^2 \log_e l^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} e^y \sigma y} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2 y^2}} \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{ただし,} \quad \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i (l_i - \bar{l})^2, \quad \bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i l_i$$

f_i は l_i の生ずる回数, N : 全回数

$$\text{この分布範囲は} \quad \int_{-\infty}^{\infty} F(y) dy = \int_0^{\infty} \phi(l) dl = 1 \dots\dots\dots (10)$$

この粒度分布をなしている砂が海水の選別作用を受けて 図-6 の (2) より (1) の組成のものに変わったとすると (a) の部分の流失した割合, (b) の粒度の砂の流入した割合等変化の状態が明らかになる。

いま海水の選別作用において $y_{tc} = \log_e l_{tc}$ (l_{tc} は掃流の最小粒径) を考える。 y_{tc} 以上は残留し y_{tc} 以下はすべて流失すると 図-6 において影線の部分が残る, この面積が 100% になるように一様に拡大された分布曲線となるが, 自然の選別作用は Turbulence によつて y_{tc} より小さいものも多少残ると同時に大きいものも多少失われて破線のような分布曲線になる。さらに試料採取の砂層が表面に近いときは攪乱作用を受けて粒の大きいものは下層に細粒のものは上に移動する。時間の経過とともに y_{tc} 以下のものはますます減少し, y_{tc} またはそれより少し大きいものは表層に集まつてきて, y_c より大きい粒径の割合が増大する傾向になつて鎖線のような分布曲線になる。従つて試料採取の層を非常に薄くするときは $\bar{y}$ は y_{tc} に接近したものとなるはずである。自然の海水流

動においては y_{ic} は時々刻々変化し、各 y_{ic} に対応した粒度分布に配列するといまほとんど無いと考えられるほど状態は変るから、Surt zone のごとき場所における $\bar{y}$ はある期間の平均的な標準限界粒度であると考えられる。しかし Off shore のごとく割合に状態変化の少ない掃流区域では $\bar{y}$ は y_{ic} に近いものと考えてさしつかえないであろう。

以上の考えをもとにして海岸表層の粒度曲線の変化を考察すると次のようになる。

(1) 一地点において時間の経過に対する変化

(a) y_{ic} が增大するとき $\bar{y}$ が大きくなる。

これは流動状態が強くなり浸食の傾向になったことを示すが浸食に対する抵抗性が増しているため隣接地区からの補給のいかんによつて浸食が行われるかどうかが決まる。

(b) y_{ic} が減少するとき $\bar{y}$ は小さくなる。

流動状態が弱くなり堆積の傾向を示す。

(c) y_{ic} が変らない、 $\bar{y}$ は一定で海水の状態は変化がないと考えられる。在来海岸地質が均質ならば状態の変化によつて $\bar{y}$ が変らないことになるが、ほとんど均質の海岸はまれであるので補給の増減によつて堆積または浸食を生ずる。

(2) 海岸上の位置による粒度の変化

漂砂移動の一般的方向の上流側 y_2 より下流側 y_1 に変つていっているとすると

(a) $y_{ic2} < y_{ic1}$ すなわち $\bar{y}_2 < \bar{y}_1$ の場合

移動してくる砂粒は y_{ic1} より小さいからすべて流出し表層に補給がない。従つて下流側に浸食性を生ずる。同じ流動ならば下流側が安定である。

(b) $y_{ic2} > y_{ic1}$ すなわち $\bar{y}_2 > \bar{y}_1$ の場合

移動してくる砂粒には y_{ic1} より大きいものがあり下流側に止る。 y_{ic1} より小さいものはさらに流れ去る。移動速度減少して堆積を生ずる。同じ流動状態ならば下流側が浸食性である。

(c) $y_{ic2} = y_{ic1}$ すなわち $\bar{y}_2 = \bar{y}_1$

移動してくる漂砂はそのまま移動し続ける。浸食、堆積を生じていない。

一般的に (1) 及び (2) のいずれも漂砂流動の方向を推定して適用できるように考えられるが、海岸線に直角の方向の漂砂移動量が一般に大きい点に注意が必要である。

(3) 漂砂移動経路が粒度によつて異なる場合

このことは大波の場合の漂砂の移動主方向と小波のときの移動主方向が異なるとき、あるいは浮遊漂砂を含むある水層が掃流漂砂の移動方向と別れているとき等に生ずる。このようなときには粒度分布曲線は不連続になるため、(1), (2) の仮説をそのまま適用できないことになる。沿岸流向及び流速の分布を全海域について詳細に検討して漂砂領域内の海水の circulation を明らかにしてのち、粒度の調査より漂砂移動の影響を考究すべきであろう。

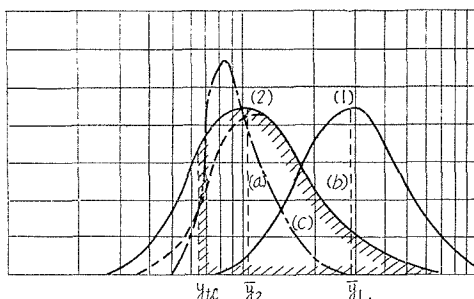
IV. 沿岸流と漂砂との関係

前章にのべたごとく沿岸力として海底勾配上の重力が漂砂の安定に大きい影響がある。従つて前浜の勾配とその部分の粒度との間に式 (3b) の関係があることは考えられる。この問題について著者が苫小牧海岸において実施した研究結果について述べることにする。苫小牧港を中心にして沿岸 70 km の範囲にわたり前浜の勾配を長さ 2 m の水平器にて測定し表面砂を採取してフルイ分析を行つた。粒度曲線は 図-4 のごとくであつた。

苫小牧付近は沿岸州の発達した暴風海岸であるが Bascom の提唱した最小可能勾配²⁾の存在が認められる。1, 2 点範囲外のものがあるがこれは河口付近の特殊なものである。これより一般に防波堤の東側が浸食性が強く西側が安定であることを示している。局部的に防波堤の西側が浸食性であることは沿岸主流の方向からも予想されるものである。

よつて 図-7 の鎖線で示した最小可能勾配の位置を安定状態を表わすとし、これより下に離れるほど同じ流動状態で不安定、すなわち浸食性であると考えて破線が浸食線を表わすとする。このように考えると図上の点は観測点の状態とほぼ一致することが認められる。またこの性質は Johnson の仮説及び本文 III. の (2) の仮説とも一致する。この最大可能勾配は浸食の進行段階によつてさらに下に移るものと考えられるが、海岸で浸食が認めら

図-6



れる程度では図の破線の位置になるようである。

なおこの不安定線は成因として流動が少なく堆積した所であることを示し安定線は流動が強く浸食された所であることを表わすことになる。

また苫小牧海岸海岸において、同時に長さ 30 cm, 断面 4.5×4.5 cm の木製フロート（下端に石塊を附す）を用いて沿岸流速を観測した。沿岸流速は波の運動量の沿岸方向の成分に支配されるため漂砂の沿岸移動に重要な関係がある。この考えより沿岸流流速と砂粒の平均径との関係と同じ対数方眼紙上に示すと図-8 のようになり図-7 と同様に鎖線が安定流速、破線が浸食流速を示しその間に浸食性が変化すると考えることができるようである。破線は式 (5) の関係を示すものである。

さらに沿岸流速と前浜勾配との関係を前図と同様に求めると図-9 のようになる。

この図では上部の破線が浸食性を、下部の鎖線が安定性を示しその間で下にさがるほど安定である。この浸食線は (3b) 式の関係を表わすもので、もし図上で直線で表わせると仮定すると、

$$s = av^c \dots \dots \dots (11)$$

の形になつて a が小さいほど浸食性が強く、大きいほど安定である。この図では

$$s = 0.153 v^{1.71} \text{ 浸食線} \dots \dots \dots (12)$$

$$\left. \begin{array}{l} s_1 = 8.7 v^{1.71} \\ s_2 = v^{1/2} \end{array} \right\} \text{安定線} \dots \dots \dots (13)$$

観測資料が一部に偏したため、べき数 c の値を推定することが困難であつた。今後さらに

図-7

苫小牧海岸 Aug. 1955.

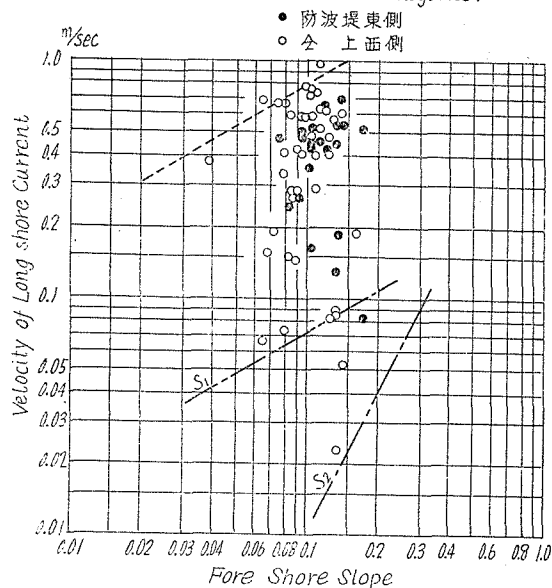


図-8

苫小牧海岸 Aug. 1955.

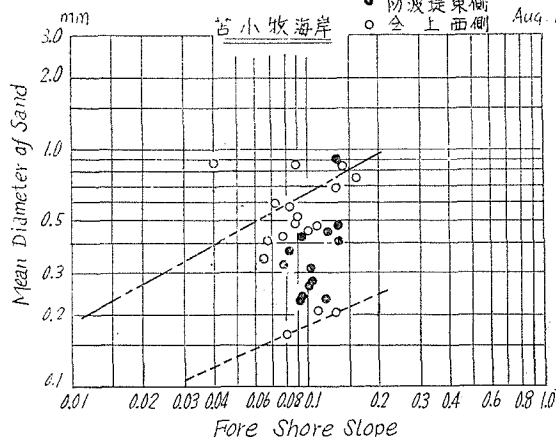
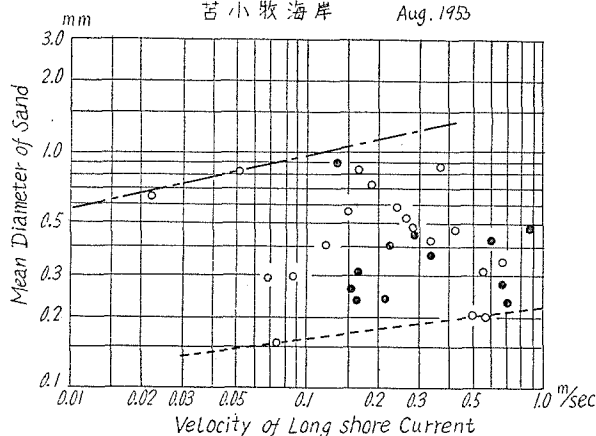


図-9

苫小牧海岸 Aug. 1955



追加検討の予定である。

V. 結 び

漂砂の一般的問題について述べたが、諸種の数量間の関係に未解決の部分が非常に多いため適確な漂砂量の推定は未だ困難である。しかし各方面との協力によりこれらの問題の解決をはかるならば現在の定性的方法をさらに進歩させることができるものと確信しているものである。

この研究は文部省総合研究費、北海道開発局及び苫小牧市の協力によつたもので深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) J.W. Johnson: Proceeding of the Council on Wave Research on Coastal Engineering I. 1950.
 - 2) 土木学会関西支部：海岸工学研究発表会論文集，昭和 29 年 11 月。
-