

沿岸流と漂砂について

北海道大学教授 理学博士 池田 芳 郎

1. 緒 言

沿岸流による漂砂の量を計算できるか、突堤または防波堤をある地点に建設したときに、そこに集まる漂砂の量を数量的に決定できるか。この二つの問題は、非常に大切な海岸工学上の問題であると思う。実際、波、風、潮及び地形と漂砂との間に内在する関係を明らかにすることは、自然科学上の問題として、興味深いものと考えられる。

漂砂の輸送に関係する最も大切なものは、沿岸流であつて、沿岸流を起すものは波であり、その波を作るものは風である。海岸に沿うて流れる漂砂の輸送の時間との割合を Q をもつて示すとき、

- (1) Q と沿岸流 (岸に沿う流れ)、
- (2) Q と波 (波高、波長、方向)、
- (3) Q と天候 (風速、風向、吹送距離)、

の三つが主題になる。このうち比較的に見て、正確にとらえることの容易なものは天候である。従つて (3) が实际的ではあるが、困ることには実験するというわけにはいかない。どうしても既存の資料から計算して、その統計的な推論によらねばならない。天候と波との関係は、必ずしも等価ではなく、問題にしている点が吹送距離の終点でもあれば、比較的簡単であるが、そうでないときには種々の場合が考えられる。

(2) は波高、波長からエネルギーを計算し、波の方向をパラメーターとして、砂の輸送を決定しようとしている。これは波圧計の改良によつて実測が可能であるばかりでなく、水槽実験によつて系統的に研究することができる。しかし波の方向については、実験室内では容易に測定できるが、実測に際してはいまだ適当な装置がなく、風向より推定するより仕方がない。また波のエネルギーが深海で与えられていても、海岸の形状、水槽の構造などによつて、沿岸流に寄与するエネルギーの大きさは不確定のものを含み、個々の問題についてその地点特有な補正を必要とする。

(1) は最も直接的であるが、沿岸流の流速、流向、抵抗力は非常に複雑なもので、その平均をつかむことは甚だ困難である。その上、輸送は沿岸流 (海浜流) によるが、漂砂を捲き起すものは波である。従つ

て (1) によつて一般の法則を見出すことは困難であるが、海浜に突堤または防波堤を建設するとき、その影響について研究するには、(1) の問題について詳細な研究を必要とする。

この論文では、まず (3) に関連して北大真嶋恭雄助教授の研究を引用し、(2) に関連してカリフォルニア大学 Johnson 教授の研究を紹介するつもりである。

2. 漂砂と天候

1. 概 説

海水の流れの状態を分類すると、つぎのようになる。

(1) 時間に関しては、

1. 一定の流速と方向とを持ち続ける流れ。
2. 流速または方向、あるいはこの両者が時間に対して変化する流れで、周期的のものとそうでないもの、とがある。
3. 上記の 1. と 2. の性質を有する流れの合成したもの。

以上のうち、1. は定常流で、2. は不定流であるが、時間をどのようにとるかによつて、定常流としてあるいはまた周期的流れとして取扱うことができる。

(2) 海水の容積に関しては、

1. 微小な水分子の流れを考える場合、
2. 海水のある mass を 1 体としてその流れを考える場合、

に分けられるが、海水は普通水分子の各種の運動を伴いながら、全体として移動する。この mass の大きさは、考える問題に応じて変えて取り扱っている。海水を水塊の集合と考えるとき、水塊特性として温度、比重、溶解成分、浮遊物などを用いて区別することができる。この場合、海水は異種流体の集合体となり、一般の同種海水の流れとは別に取り扱われるものである。

(3) 位置に関しては、基準点を普通陸地海岸にとつて、つぎのように分けられる。

1. 海岸より速く沖にある流れ。これは海岸の影響を受けることが少なく、大洋中を環流し、ほとんど常

に存在し、季節によつて多少変化する。いわゆる海流 (ocean current) といわれるものは、これに属する。

2. 海岸近くの流れ、すなわち海岸流 (coastal current). これは海岸に近い海水の流れで、海岸の影響を受けて流速、流向の変化する部分である。波打ち際からの距離に応じて、1) 沿岸流 (inshore current), 2) 海浜流 (nearshore current) の二つに分けられる。前者は海浜に最も近い砕け波附近から汀線までの間の海水の流れで、後者はそれより沖側の流れである。これらの流れは流動海水の水深によつて、表層流、中層流、底層流などに分けられる。また、流れの方向が海岸に平行のものと、ほぼ直角のものがある。従つて以上の流れを分類すると、表-1 になる。なお、これは1案で、英語も不適当なものがあると思われるので、今後の検討を要するものである。*

8. 黒潮 (Kuroshio), 9. 回折流 (diffraction c.), などの区別がある。

(5) 流れを生ずる原因となる力または作用に関しては、1. 潮流 (tidal current), 2. 密度流 (density c.), 3. 吹送流 (drift c., wind c.), 4. 砕け波による沿岸流 (longshore c.), 5. 反流 (counter c., supplemental c., secondary c.) の区別がある。海浜流の引き波、打寄せ波に伴う流れは、普通引き波、打寄せ波または打上げ波といい、流れと波とを同一名称で呼んでいる。

分類 (1), (2), (3) 及び (4) は、流れの主な特徴によつて名称をつけたもので、その生成原因はただ一つであるとは限らない。例えば沿岸流もこの海域に流れ込んでくる海流、潮流及び砕け波による沿岸流が含まれていて、その特性によつて分解することができる。

表-1 位置からみた流れの分類

位 置		深 さ	流 れ の 方 向			
			海 岸 に 平 行		海 岸 に 直 角	
			海に向つて 左 方 向	海に向つて 右 方 向	沖に向う	岸に向う
沖	海流 (ocean current)	表 層 流 (surface c.)				
	沖流 (offshore current)	中 層 流 (subsurface c.)				
		底 層 流 (bottom c.)				
海岸 附近	海 岸 流 (coastal current)	沿 岸 流 (inshore c.)	沿 岸 流 (longshore current)		離 岸 流 (offshore current)	向 岸 流 (onshore current)
		汀線より沖に 離れた部分	左向沿岸流 ¹⁾ (leftest longshore c.)	右向沿岸流 ²⁾ (rightest longshore c.)		
	海 浜 流 (nearshore c.)	表 層 流	左向海浜流 (leftest littoral current)	右向海浜流 (rightest littoral current)	離 岸 流 (rip current) 引 き 波 (undertow, backrash, backwash)	砕 け 寄 せ (surging c.) 打 上 げ 波 (uprash, swash)
		底 層 流				
		汀線に近い部分				

¹⁾ 上潮 (かみしお), ²⁾ 下潮 (しもしお) ということが多いが、上, 下の区別は地方により差がある。

* さらに、上下の方向に応じて、上昇流 (upwelling) と下降流 (descending or sick current) とがある。海流では、特に海岸に対し平行あるいは直角方向の流れとして呼ぶことはまれである。

(4) 流れの状態または特定海域に関しては、1. 濁度流 (suspension current, turbidity current), 2. 恒流 (permanent c.), 3. 定常流 (steady c.), 4. 旋回流 (rotary c.), 5. 瀬戸急流 (race), 6. 回帰潮流 (tropic c.), 7. 暖流, 寒流 (warm c., cold c.),

このような流れがある場合に、海水中に浮遊物があればともに移動する。また海水の流動の力の変化に応じて、海底の砂礫は浮動したり沈降したりしながら移動する。この両者を漂砂 (drift) といい、主として沿岸流によるものを沿岸漂砂 (longshore drift) といい、主として海浜流によるものを浜漂砂 (beach drift) と名づける。海岸に直角方向の流れによる漂砂は海岸の浸食、海岸堤防などに重要な関係がある。また海岸に平行な流れ及びこれに伴う漂砂は、防砂

堤、港湾、河口の水深維持、などの工法の設計資料として重要である。前述のようにいわゆる沿岸流は、海流、潮流及び波による沿岸流よりなっている。今海上1地点にて波のほとんど無いときに、流向流速計にて連続観測を行い、その記録の調和分解をすると、定常流と潮流に分解することができる。この場合、観測点はなるべく多く取るべきである⁽¹⁾。ところが才3の成分である波による沿岸流は、波の伝播方向の波自身の進行性による流れ及び砕け波にともなう運動量のために生ずる流れであつて、前2者とは異なり、流速、流向は波によつてきまる。従つてその原因である風向、風速に支配される。海岸における波には風波(wind wave)とうねり(swell)(まれに津波)の2種類あるが、うねりは遠く離れた波の発生域から伝わってくるもので、海岸に風が無くとも見受けられるものである。しかし海岸に平行な沿岸流に対しては、うねりはあまり大きな影響を持たないと考えられる。それは、非常に速い所から伝わってきた波であるため、水深の影響を受けて伝播速度が変わり、等深線にほとんど直角に伝わってくることになるからであつて、海岸が等深線にほぼ平行な海岸ではうねりはこれに直角に伝わってくる。またこのうねりの砕けるのはほとんど海岸に最も近いところで生じ、強い打上げ波と引き波を生じて、海岸に直角の浜漂砂を生ずるが、海岸に平行な方向の流れは少ないからである。

しかし海岸近くの等深線が海岸に平行でないような海岸(主として岩礁海岸または海岸構造物の突出しているところなど)では、うねりもまた沿岸流の原因となつてことがある。なお、台風などの発生域が近づくとき、風波に変わつてくることはもちろんである。

2. 沿岸流の発生

(1) 波の有する運動量による流れ 一定振巾の深海波につき非回転波の理論として Stokes の理論⁽²⁾⁽³⁾を用いると、水深 h' の点の流速は、

$$u' = k^2 \cdot a^2 \cdot c \cdot e^{-2kh'} = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c \cdot e^{-\frac{4\pi}{\lambda} h'} \quad (1)$$

ここに、

$$2a = \text{波高}, \lambda = \text{波長}, c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} (1 + \pi^2 \delta^2 + \frac{5}{4} \pi^4 \delta^4 + \dots)}$$

= 伝播速度, $\delta = 2a/\lambda$ であり、表面では、

$$u'_0 = \pi^2 \cdot \delta^2 \cdot c = k^2 \cdot a^2 \cdot c \quad (2)$$

また浅海における一定振巾の波の運動量による移動速度は、佐藤博士の研究⁽³⁾によると、

$$\text{表面; } u'_0 = k^2 \cdot a^2 \cdot c \cdot \frac{1}{2} (\coth^2 kh + 1), \quad (3)$$

$$\text{海底; } u'_0 = k^2 \cdot a^2 \cdot c \cdot \frac{1}{2} (\coth^2 kh - 1), \quad (4)$$

水深 h に対する平均流速は、

$$u_m' = k^2 \cdot a^2 \cdot c \frac{\coth kh}{2kh} \quad (5)$$

これが砕波帯と汀線の間に流入したときの沿岸流の速度は、

$$v_s = \frac{2i\lambda'}{H} u_{mb}' \cos \theta, \quad (6)$$

ここに、 λ' = 波頂長, H = sand ridge の水深, $i = H/l$ = 勾配, l = sand ridge と汀線との間の距離, θ = 波頂線と汀線とのなす角, u_{mb}' = 砕け波のときの波の平均前進速度である。一般に $\theta \approx 0$ としてよいから、

$$v_s = \frac{2i\lambda'}{H} u_{mb}' \quad (7)$$

以上の流速は風がなくとも、一定波高の波が伝わってくる場所では常に存在する。風のない場合の波による流れは、概説に述べたように主に海岸に直角で、そのために under current を生じ、平坦な海岸では sand ridge のところどころに間隙を生じている⁽⁴⁾。風波による流れは必ずしも海岸に直角ではなく、沿岸流となる。

(2) 砕け波による沿岸流 波が砕けるとその持つているエネルギーを放出する。この1部は沿岸流を生ぜしめて維持し、流れの摩擦による機械的損失の割合と等しいときに平衡状態になる。他の放出エネルギーの1部は熱に変わつたり、水を海浜に押し上げて離岸流を発生せしめる。この場合の沿岸流の流速は、Putnam, Munk and Traylor⁽⁵⁾によると、エネルギー法から、

$$v = K \left[\frac{mH^2}{T} \sin 2\alpha \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (8)$$

ただし、 $K^3 = 0.871g/k$, (9)

ここに、 $m = h/l$ は海底勾配, T は砕け波の周期, H は砕け波の波高, α は波頂線と汀線のなす角, v は海岸に平行な沿岸流の流速, k は海底の水理粗度によるエネルギー消費の係数、すなわち k 及び K は海岸特有の常数である。また運動量の方法によると、

$$v = \frac{1.306 m H \cos \alpha}{k T} \left[\sqrt{1 + \frac{2.312 g^{\frac{1}{2}} k T \sin \alpha}{m H^{\frac{1}{2}} \cos \alpha}} - 1 \right] \quad (10)$$

(8) または (10) 式より、砕け波の波高、方向、周期とともに海底勾配 m 、摩擦係数 k を知ると、沿岸流の流速を計算できる。

3. 沿岸流の推定

1. で述べたように、海岸に対する位置に応じて流れの状態が異なり、これにともなつて漂砂の状態も変わってくる。また沿岸流の成因も一つではなく、その成分として海流、潮流及び波による流れがある。これ

らのうち海流及び潮流は 1. に述べた方法によつて、なるべく長期間にわたり多くの地点にて観測すると、調分解によりその状態を推定することができる。ところが波及び砕け波による沿岸流は 1. の式より計算されるが、波の観測を継続的に行うことは困難で、かなりの費用を要する⁽⁷⁾。これに反し波を生起せしめる風速、風向は常時各地の測候所にて観測しており、その資料は数十年以前よりのものが残されている。従つて風向、風速より直ちに沿岸流の流速及び方向を知ることができれば便利である。また海浜流は海岸地形、海岸構造物などによつて直ちに影響を受けるので、海岸の沿岸流の一般的性状を示すには不適當で、沿岸流によるべきであると考えられる。以上の考えから筆者は海岸より少し沖側の沿岸流、すなわち longshore current を風速、風向より推定する式を (8) 式を変形して求めた⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

$$v = K' \left[\frac{V}{(1+10/t)(1+bV/F)^2} \sin 2\alpha \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

ここに、 α は風の吹走方向と海岸線のなす角、 t は風の継続時間 (hr), F は fetch (km), V は風速 (m/sec), b は fetch に関する常数、 K' は海底勾配及び海底摩擦など海岸特有の常数である。

海岸が大洋に面して、 F が極めて大きい風の場合には、

$$v = K' \left[\frac{V}{1+10/t} \sin 2\alpha \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

となる。ただしこれらの式は文献 (10) にて指摘しているように、波の伝播速度が風速より小さい場合、すなわち波の発達の場合の沿岸流を表わすものである。沿岸流の減衰については、文献 (10) を用いて求めると、

$$v = v_F (1 + 0.023 t_D / T_F)^{-1.770} \quad (13)$$

ここに、 v_F は fetch の終端における沿岸流流速、 T_F は fetch の終端における波の周期、 t_D は波の発生域がその地点を通過した後の経過時間である。

この式は発生域の減衰部分におけるもので、発生域が消滅した場合は流速の減衰を $-dv/dt = nv$ の関係で表わせると考えると、

$$v = v_0 e^{-nt} \quad (14)$$

ここに、 v_0 は最初の沿岸流速、 t は経過時間、 n は常数である。

苫小牧海岸の実測⁽⁸⁾ では $n=0.85$ であつた。また K' は苫小牧海岸⁽⁸⁾ で 10.4、羽幌港外の観測⁽¹⁾ では海岸よりの距離により変化することが認められた。

4. 結 び

測候所、その他の風向、風速の観測資料より砕け波による沿岸流 (longshore current) が求められ、これに海流及び潮流が加わつて、その海岸の一般的性状を表わす沿岸流 (inshore current) となる。これが海岸地形、海岸構造物の影響を受け、打上げ波、引き波などが加わつて海岸に直接作用する海浜流 (near-shore current) となるものと考えられる。これら相互の関係は、いまだ充分には明らかではないが、long-shore current のみの年間の変化については苫小牧港⁽⁸⁾⁽¹²⁾、羽幌港⁽¹³⁾、天塩河口⁽¹¹⁾ に応用し、大体その海岸の特性を示すことを明らかにすることができた。

3. 漂 砂 と 波

漂砂と波の関係については加州大学の Johnson 教授が 1952 年アイオワ大学で举行された第 5 回水工学大会での講演を引用する。

砕破点から海浜に向う波の運動の性状が、海岸工学の主要なものである。すなわち海浜によせる波が汀線となす角は小さくとも、もしそれが存在すればそのため沿岸に沿う流れを形成する。この論文では沿岸流と海浜流を同意義に使っている。これが砕波により擾乱された砂を輸送すると考えられる。この報告は比較的直線と見られる海浜をもつある場所の実測と実験室内の一直線な汀線の模型実験とより成立つ。深さが波長の半分位のところから、波の運動が水底に触れ始めて波の形に影響する。初めは波高が少し減少するが、やがて増してくる。砕破点で最高となり、その点の近くで波をつくる流体の実質部分が加速度を受け混乱流動となり砂を捲き起こす。波がさらに岸に近づくときに、摩擦により形がくづれる上に、反射波によつて影響され、波が大体岸と平行となる。深海の波高を H_0 とし、その波長を L_0 とするとき、 H_0/L_0 が 0.025~0.14 という荒海型の手浜が安定しているところがあるのに、 H_0/L_0 が 0.025 より小さい夏海型の海岸で沿岸沿いの漂砂が相当多いところがある。すなわち砂の輸送と H_0/L_0 とは必ずしも比例していない。デンマークの海岸工学者 Munch-Petersen の作つた式では、輸送量の時間的割合 Q は深海の波のエネルギー E と波の海岸へ進む方向と汀線となす角 α_0 とによつて示される。すなわち

$$Q = K \cdot E \cos \alpha_0 \quad (15)$$

であつて、 K は比例の常数である。そして実際には天候の記録から E や α_0 を求めている。

1942年に Krumbein 氏は加州大学にて 38×59 ft の水槽で実験した。1949年には Saville 氏がこの水槽

をさらに $66 \times 122 \text{ ft}$ に改造して $\alpha_0 = 10^\circ$ の場合の実験をした。1950年に Shay-Johnson 氏などが $\alpha_0 = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ の場合の実験をした。この実験から得られた最も重要な結果はつぎの三つである。

(1) 才一の成果 $H_0/L_0 = 0.02 - 0.03$ の場合に Q が最大である。すなわち 0.025 よりも大きい荒海型の場合よりも 0.025 より小さい夏海型の方が輸送について重要なものである。波の強いときは沿岸堤州を作り、かえって Q を減少させる。こう云うときには、沿岸堤州の位置を変化させるか、または大きさを増すことはあるが、 Q はあまり大きくならない。

(2) 才二の成果 α_0 を $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ と変えて行つた実験の結果は、 $\alpha_0 = 30^\circ$ のときの Q が最も大きい。図-1 にこの二つの成果を示す。

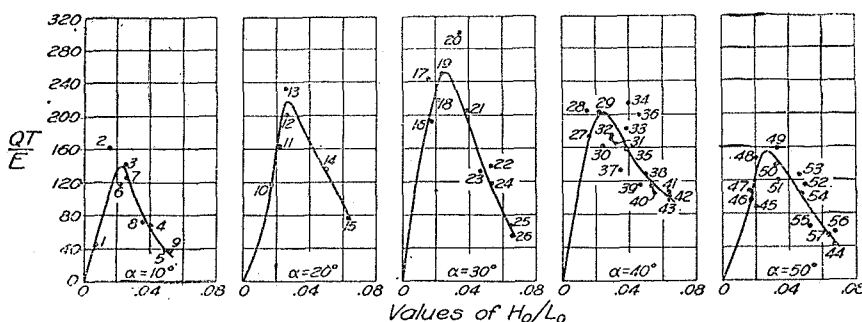


図-1 単位時間の漂砂量、波のエネルギー、波形勾配及び入射角の間の関係の無次元表示

(3) 才三の成果、海浜の断面変化の時間 H_0/L_0 が 0.0217 の状態で安定のとき急に 0.039 の状態に変えると、 Q がどのように変化するかを $\alpha = 10^\circ$ の場合について実験した結果、才一の安定状態より才二の安定状態にうつるため 18 時間、波数にして 75,000 波を要した。この事実は Q が次才に減少してつぎの安定状態にうつる時間が長いから、海浜に現れる小さい変化(波や流れの)は断面変化にあまり影響しないことを示すものと考えられる。

実例については加州 Santa Barbara の港について述べている。1932 年よりほとんど 2 年か 3 年ごとに浚渫をつづけており、深浅は常に測定している。それより Q の日平均を知ることができるが、1950 年までは H_0/L_0 の測定をしていなかったため、上の実験と比較するに不足であつた。1950 年から波の記録をとつた。すなわち Santa Barbara の沖で 30 ft の深さのところとそれより西 10 哩の水深 40 ft のところとに波の記録計を入れて記録をとつた。その結果才一の成果を実証している。たゞ港内に入つた砂を Q としているが、沖より入つたのと出て行くのとの差が Q に加

わつてはいるはずである。以上は Johnson の報告である。

4. 漂砂と沿岸流

沿岸流と漂砂との直接の関係についての研究結果を述べる。実験室内ではいまだ系統的結果を得ていないが、数年にわたり北海道周辺で沿岸の流速及び漂砂の量を測定したので、多くの実測をもととして概要を報告する。

(1) 漂砂。漂砂の量の多いのは海岸近くであり、海岸に沿う漂砂の量の最も大きいのも海岸近くである。従つて沿岸流と海浜流が重要である。また深さも 5~6 m 位のところでは非常に小さくなる。しかし 5~6 m 位でも州の周辺では相当の量がある。Johnson

の実験には径 0.3 mm の砂を用いた。Santa Barbara では平均は 0.2 mm と云われる。北海道の海岸では 0.3 mm のところが多く、新潟方面より概して大きい。砂が水中を輸送される場合、摩擦により円くなることと破碎により小さくなることと考えられる。従つて若干の数学的仮定をするとき、採取した砂の形、大きさより輸送の方向を推定し得るはずである。事実石狩川河口や天塩川河口においてはこのことが明らかにされたが、苫小牧ではその差はほとんど認められない。また海浜に試験突堤を出すとき、海浜流を遮る方の側に砂が集まり、反対側はかける。集まる方には大粒のものを多く含み、しかも汀より陸に高くなり、海はすぐ深くなる。これに反し欠損側の砂は細かく、陸から海へ緩傾斜である。河口において河川も一つの撓む突堤のような作用をする。

(2) 沿岸流、海浜流 苫小牧海岸にて数年にわたり実測したが、沿岸の流れは非常に複雑である。場所により方向を変えるが、同一場所でも深さにより時間により方向を変える。沿岸堤州の内外では著しい差があるばかりでなく、その州の切れ目をまわり、さらに

複雑な流れを作っている。大体は風の影響によるが、そうとも限らないことがある。沿岸堤州の内部で、あるとき風向の大きい変化がなかったのに、2日間同一方向であつた流れが、3日目の数時間だけ方向が逆になつたことがある。干満の影響はあるように思われたが、確かでない。

(3) 海濱の形 日高の様似の近くより室蘭に至る海岸はすべて漂砂の場であるが、海岸線は彎曲していて、苫小牧はその北の頂点である。漂砂を引き起す風は東南、西南の風であつて、その影響は彎曲線上の位置によつて異なるはずであるが、連続した一つの沿岸流を作っている。それで1個所の風の方向をとつただけで、直接輸送量を決定できるとは限らない。

これに反し北見の海岸はほとんど一直線である。北見の国湧別川の河口近くで漂砂の測定中、突然海岸沿いの強い北風に会い、遭難しかけたことがあつた。岸にあがると波は汀に $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の角をしていた。ところがこのときの漂砂の輸送方向は海浜では波と逆な方向をとり、沖では南東に向つていた。実際大風のとき河口の州の延びる方向は、必ずしも風の方と一致しない。

(4) 砂の輸送量 実験室内で Q を決定することは容易であるが、実測はむづかしい。われわれは竹竿式と金網式を用いて多数の実測をしているが、個々の場所の Q の決定はできるが、非常に異なるので、そ

の平均の意味を求めがたい。築設物周辺の漂砂の状況を求めるには適しているが、全体として平均は非常に沢山の個所の測定を要する。ところが苫小牧の捨石堤の東側に相当の砂が集まりつゝある。汀線の測定は毎日しているが、その高低測定がない。汀線の差は両側にそれほど著しくないが、高さの差が大である。すなわちその体積増加を記録するならば、輸送量を測定できるはずである。Santa Barbara の Q は $800 \sim 1,000 \text{ yd}^3/\text{日}$ となつてゐるが、苫小牧の沿岸ではそれより遙かに小さいと思われる。

(5) 漂砂の方向と量 北大水産学部の講師佐藤修氏はわれわれとともに実測をやつてゐるが、氏は金網式を改良して今年は五段式にした。すなわち水底より 7, 19, 31, 43, 55 cm のところに互に直角な四方向に口を開いた金網のトラップを装置したものを用い、24時間後その採取した量を調べた。その結果海岸堤州の近くで多くの砂が移動することが確認された。同一個所でも高さによりその方向が異なつており、同一個所、同一方向で高さの関係はほぼ指数関数で示される。網の口の断面積に対する24時間の輸送量はこの方法にて決定される。図-2はその各地点の同一高さの点の4方向への輸送の代数和をベクトルで示したものであつて、各地点のベクトルを左より右へ水底より高さに従つて示してある。以上、結論は講演で述べる。

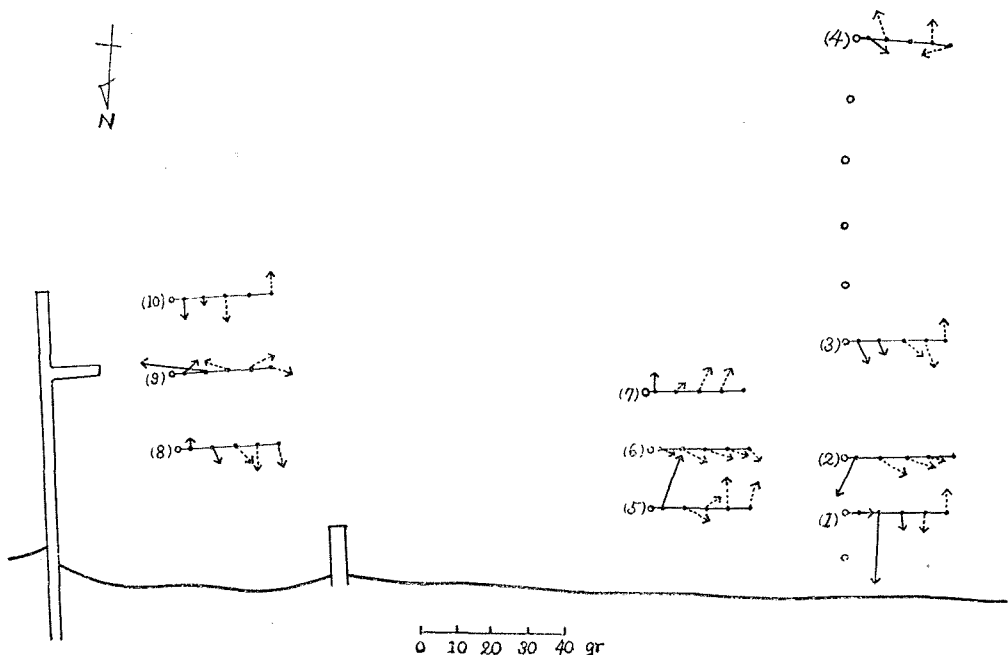


図-2 苫小牧における漂砂の量と方向 (昭和29年8月22日投入, 23日上げ)

文 献

- (1) 眞嶋恭雄：フロートによる沿岸流測定法について，土木学会誌，38-10，昭.28.10.
- (2) Lamb: Hydrodynamics, 1932, p. 419.
- (3) 佐藤清一：漂砂に関する研究(4)；浅水表面波について，土木研究所報告，第82号(5).
- (4) 眞嶋恭雄：苫小牧海岸地形に関する考察，北海道土木試験所彙報，第5号，昭.27.
- (5) Martin A. Mason: Surface wave theories, Proc. A.S.C.E., Vol. 78, Sepr. No. 120, March 1952.
- (6) J. A. Putnam, W. H. Munk, and M. A. Traylor: The prediction of longshore current, Trans. Amer. Geophy. Union, Vol. 30, No. 3, June 1949.
- (7) 眞嶋恭雄：波の測定，日本測量協会誌“測量”，昭.29.8.
- (8) 眞嶋恭雄：苫小牧附近の沿岸流(2)，北海道土木試験所彙報，第5号，昭.27.
- (9) J. M. Caldwell: Beach erosion, Scientific Monthly, Oct. 1949.
- (10) H. U. Sverdrup and W. H. Munk: Wind, Sea and Swell, Theory of relation for forecasting, March 1947.
- (11) 眞嶋恭雄：天塩河口港調査報告(I),(II),(III)，未刊.
- (12) 眞嶋恭雄：港湾に於ける沿岸流及び最大波高の推定について，土木学会誌，39-8，昭.29.8.
- (13) 眞嶋恭雄：羽幌港調査報告，未刊.