

## 6 沿岸漂砂量の推定<sup>1</sup>について

京都大学大学院

榎木 亨  
村上 正

### 1. 緒言

海浜の浸食、堆積は海浜の砂礫の移動によっておこる。この砂礫の移動は海水の運動または風の吹送に起因するが、汀線付近の移動はほとんどが海水の運動によって行われる。砂礫の移動に最も影響のある砕波後の水が汀線と直角方向に運動するときと、汀線とある角をなして運動するときでは、砂礫の移動は趣をことにしてくる。すなわち、砕波の峯が汀線と平行のときは、水分子は汀線と直角方向に往復運動をするのみであつて、砂礫も汀線と直角方向にのみ移動するが、砕波の峯が汀線とある角をなしているときは沿岸流を発生し、それにともなって沿岸漂砂がおこる。前者の砂礫の移動は海浜の断面形状を決定づけるもので、すでにある程度の説明が行われている。後者の汀線と平行方向の砂礫の移動、すなわち沿岸漂砂は、長期間にわたる海浜の浸食堆積に大きい影響を及ぼすものである。いま、ある地所で運び込まれる漂砂の量が運び去られる量より大きいとそこに堆積がおこり、その逆のときは浸食がおこるはずであるから、ある二地所で漂砂量が推定できれば、それらの漂砂量の差として二地所間の浸食、堆積を計算できるであらう。こうして意味から、この漂砂量と沖波の特性や砕波後の水分子の汀線方向の運動速度すなわち沿岸流速との相関関係を見出すとともに、宮津海岸、明石海岸などにおける実測によって検証し、それらから波エネルギーの沿岸成分と漂砂量の関係を求めて、実際海岸の漂砂量の推定に役立てようというのが、この研究の目的である。

### 2. 実験およびその結果

(1) 実験装置 実験に用いた水槽は京大防災研究所宇治川水理実験所の扇形水槽であつて、半径 18 m、弧長 35.3 m の扇形に、中 10 m の海浜部がついている。波起し装置はプランジャー型のもので、中央から左右へ  $45^\circ$  づつ移動することができ、最大波高は、15 cm、周期は 0.3 sec. から 2 sec. まで無段変速できるようにになっている。

計測装置<sup>(1)</sup>としては、波高、周期は電気抵抗式水位計で測定し、流速は電氣的接点付プロペラ式流速計で測定し、その回転数を図-1に示すような自記装置によって自記させた。その検定曲線は図-2に示すとおりである。漂砂の採集のために、扇形水槽の海浜部の中央から少し偏つたところに、沖に向かって巾 20 cm、深さ 10 cm の溝を作り、その中へ長さ 30 cm、巾 20 cm、深さ 15 cm のブリキ罐を並べた。このブリキ罐には網目 5 mm の金網の蓋をして、一度この罐に入つた

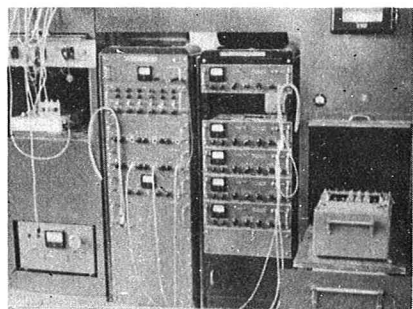


図-1 自記装置

砂が再び外へ出るのを防ぐようにした。この罐は、海浜が平衡状態に達するまで布で覆い、平衡に達した後には布をとることにしたが、そのときが海浜断面にほぼ等しくなるようにした。この方法では、底面滑動漂砂を採取できるが、湾遊漂砂の採取は十分でない。しかし湾遊漂砂は滑動漂砂にくらべて非常に少ないので、これは無視することにした。

使用した砂は京都府網野海岸の砂で、粒径分布は図-3に示す通りであり、平均粒径は0.418 mm、篩分係数 $\sqrt{d_{75}/d_{25}}$ は1.26である。

水深は水路のほぼ中央部の水位計付近で約50 cmに作るようにしたが各実験ごとに精測した。

波起し機は扇形水槽の中央から、 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ のどこに置いて、その角度 $\alpha$ 、沖波の入射角 $\alpha_0$ 、砕波の入射角 $\alpha_b$ は、沖波の波長 $L_0$ 、周期 $T$ と表-1のよう関係にある。この表

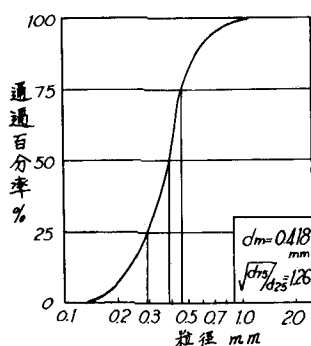


図-3 実験砂の粒径分布

で砕波角の計算には砕波指標<sup>(2)</sup>を用いた。

(2) 沿岸流速とその分布 砕波が海浜とある角を $\theta$ して砕けた場合の沿岸流速は、漂砂の移動量に重要な関係があり、その沿岸漂砂の移動量分布を支配するものと考えられている。そこでこの沿岸流速を前記の電気接点付プロペラ流速計と浮子を用いて測定したが、図-4は波起し機の位置の中央からの角度 $\alpha$ が $30^\circ$ の場合の実験結果を示したものである。この図からわかるように、浮子で測定した流速は沿岸流速のほぼ平均を与えている。また沿岸流速はPutnam, Munk および Traylor が運動量理論から

導いた式によって計算できるが、式中の水底の摩擦係数 $K_f$ として、Inman と Quinn<sup>(4)</sup>の実験式

$$K_f = 0.00404 V^{-3/2} \quad (m - sec \text{ 単位}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

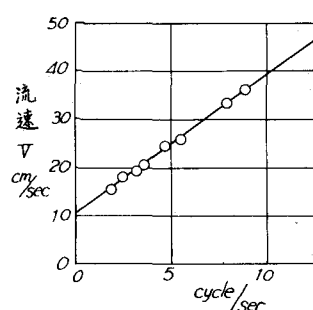


図-2 プロペラ式流速計の検定曲線

| 波起機の角度<br>$\alpha$ | 周期<br>$T(sec)$ | 相当沖波<br>波高<br>$H_0(cm)$ | 相当沖波<br>波の勾配<br>$H_0/L_0$ | 沖波の<br>入射角<br>$\alpha_0$ | 砕波の<br>入射角<br>$\alpha_b$ |
|--------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $10^\circ$         | 0.80           | 13.12                   | 0.1320                    | $10^\circ 01'$           | $9^\circ 20'$            |
|                    | 0.83           | 12.15                   | 0.1130                    | $10^\circ 05'$           | $8^\circ 53'$            |
|                    | 0.84           | 10.81                   | 0.0983                    | $10^\circ 05'$           | $8^\circ 24'$            |
|                    | 0.90           | 10.83                   | 0.0860                    | $10^\circ 08'$           | $7^\circ 26'$            |
|                    | 0.97           | 9.23                    | 0.0628                    | $10^\circ 15'$           | $6^\circ 55'$            |
|                    | 1.05           | 9.01                    | 0.0524                    | $10^\circ 29'$           | $6^\circ 29'$            |
|                    | 1.11           | 8.05                    | 0.0419                    | $10^\circ 43'$           | $6^\circ 03'$            |
|                    | 1.21           | 5.44                    | 0.0239                    | $11^\circ 08'$           | $5^\circ 00'$            |
|                    | 2.00           | 13.15                   | 0.1320                    | $20^\circ 04'$           | $18^\circ 40'$           |
|                    | 0.84           | 13.25                   | 0.1210                    | $20^\circ 11'$           | $18^\circ 11'$           |
| $20^\circ$         | 0.85           | 10.95                   | 0.0978                    | $20^\circ 15'$           | $16^\circ 44'$           |
|                    | 0.97           | 10.98                   | 0.0746                    | $20^\circ 37'$           | $14^\circ 47'$           |
|                    | 1.04           | 8.47                    | 0.0501                    | $21^\circ 02'$           | $12^\circ 46'$           |
|                    | 1.09           | 7.75                    | 0.0418                    | $21^\circ 21'$           | $11^\circ 53'$           |
|                    | 1.19           | 6.23                    | 0.0283                    | $22^\circ 09'$           | $10^\circ 33'$           |
|                    | 3.00           | 8.96                    | 0.0741                    | $30^\circ 24'$           | $21^\circ 24'$           |
|                    | 0.92           | 8.24                    | 0.0580                    | $30^\circ 52'$           | $19^\circ 34'$           |
|                    | 1.00           | 7.01                    | 0.0449                    | $31^\circ 12'$           | $17^\circ 35'$           |
|                    | 1.08           | 6.22                    | 0.0342                    | $32^\circ 00'$           | $16^\circ 01'$           |
|                    | 1.16           | 6.31                    | 0.0301                    | $33^\circ 06'$           | $15^\circ 22'$           |
| $30^\circ$         | 1.23           | 6.12                    | 0.0259                    | $34^\circ 03'$           | $15^\circ 15'$           |
|                    | 1.30           | 4.37                    | 0.0166                    | $35^\circ 14'$           | $13^\circ 22'$           |
|                    | 4.00           | 8.8                     | 0.0750                    | $40^\circ 42'$           | $28^\circ 06'$           |
|                    | 0.92           | 7.75                    | 0.0586                    | $40^\circ 55'$           | $25^\circ 32'$           |
|                    | 0.96           | 7.16                    | 0.0497                    | $41^\circ 23'$           | $23^\circ 29'$           |
|                    | 1.05           | 6.65                    | 0.0387                    | $42^\circ 32'$           | $21^\circ 47'$           |
|                    | 1.14           | 6.06                    | 0.0298                    | $44^\circ 11'$           | $20^\circ 00'$           |
|                    | 1.24           | 5.56                    | 0.0232                    | $46^\circ 23'$           | $18^\circ 50'$           |

表-1 実験に用いた波の特性

を用いるとつぎのようになる。

$$V = \left[ \left( \frac{1}{4}x^2 + y \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}x \right]^2$$

ただし、 $x = (646 H_b i \cos \alpha_b) / T$ 、 $y = C \sin \alpha_b$ 、……(2)

ここに  $H_b$  は碎波高、 $i$  は碎波点と汀線の間の海床平均勾配、 $\alpha_b$  は碎波点における波の峯と汀線のなす角、 $V$  は沿岸流速、 $T$  は波の周期である。しかし、上式によると、実験値よりも過大の流速を与えるようになって、(1)式のように  $K_f$  と  $V$  のみの関数と考えると、底質の移動、底質の粒径、波形勾配などを考慮してさらに研究することが必要であろう。

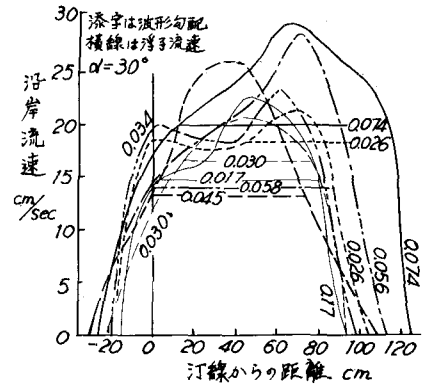


図-4 汀線からの距離と沿岸流速分布 ( $\alpha = 30^\circ$ )

(3) 漂砂量の分布 汀線に直角な断面における沿岸漂砂量の分布は、汀線浸食の問題以外に防砂堤や導流堤などの計画に重要な資料を与えると考えられるが、これについてはすでに Saville<sup>(3)</sup> が無限に長い直線海岸に一方から二種類の波形勾配の波をあてて実験し、海床の断面と砂の移動量分布の関係を求めている。本実験では波起し機の角度を4種類にとり、それぞれについて6~8種類の波形勾配の波をおこして漂砂の移動量を測定したが、その結果は図-5のとおりである。これらの図を見ると、波形勾配が0.050以上の場合(暴風海浜)では、発生した沿岸砂州付近で漂砂量が最大となり、波形勾配がそれにより小さくになると漂砂量の最大点が次第に前浜部分の方に移行して、0.025付近では完全に前浜部分に移ってしまう。そしてその分布状態も対称形から非対称形に変ってくる。前者の場合には沿岸流によって外浜の底質が主として誘導形式をとって海岸と平行方向に移動する沿岸漂砂が卓越し、後者の場合には前浜の砂礫が最終碎波後の打上げ波および引き波による水分子のジグザグ運動にともない掃流形式をとって移動する汀線漂砂が大きな影響を及ぼすであろうと思われる。このことは Saville の実験においても確かめられている。

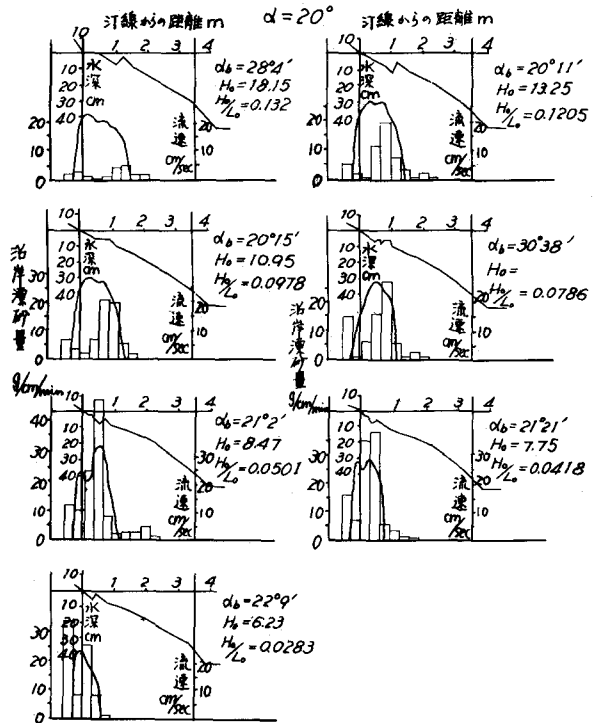


図-5 沿岸漂砂量の汀線と直角方向の分布及び沿岸流速分布 ( $\alpha = 20^\circ$ )

若者ら<sup>(6)</sup> は以前に汀線と直角に波を入射させて、汀線と直角方向に移動する漂砂量分布の実験を行ったが、その場合には波形勾配が大きいときに碎波点付近の沿岸砂州あたりで漂砂量が最大になるという現象は見ら

れはかった。これは汀線に平行方向に移動する漂砂と汀線に直角方向に移動する漂砂との移動機構の相違によるものと考えられる。

図-5には沿岸流速分布も同時に記入したが、それによると波形勾配が大きいと最大流速の付近で最大漂砂量を示しているが、波形勾配が0.025付近に近づくともはや最大流速付近では最大漂砂量を示さず、もっと岸側すなわち前次部分で最大漂砂量を示している。このことも前に述べた波形勾配によって沿岸漂砂と汀線漂砂の移動形式に相違ができることの説明と見るはずである。

(4) 漂砂移動帯 防砂堤はあらゆる性質の波に対して完全に漂砂を止めるようにする必要はない。その防砂堤の有効長さを決定するには、漂砂移動帯の中を推定しなければなら

ない。図-6は沿岸漂砂量の汀線と直角方向の分布の累加曲線であり、図-7はその漂砂量の90%が移動する区間を波長で割って無次元化し、その量と波形勾配との関係を図示したものである。この図によると、波形勾配の増加とともに有効漂砂移動区間が大きくなることを確かめることができる。

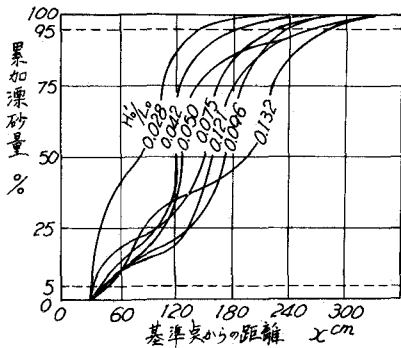


図-6 沿岸漂砂量の汀線と直角方向の分布の累加曲線

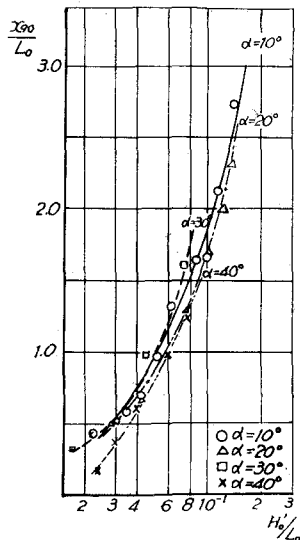


図-7 沿岸漂砂量90%の無次元区間長と波形勾配との関係

さらに掃流漂砂が顕著でなくする水深を見出すことも海岸構造物の計画に重要であるから、これらについて着目<sup>(6)</sup>は泉州海岸および京都府網野海岸で実験し、また汀線と直角方向の砂移動について実験を行った。この実験で汀線方向の漂砂移動限界水深をもとめた結果は、図-8に示すようであつて、ほとんど以前の実験曲線の上にあることがわかった。

(5) 砕波角 沿岸流速および沿岸波エネルギーの計算に用いる砕波角については実験も行ったが、無限長直線海岸では砕け波指標とスネルの法則を用いて計算することができるため、

$$H_b/L_0 = f(H_0/L_0), \quad C/C_0 = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \tanh 2\pi h/L \quad (3)$$

によって、 $H_0/L_0$ を与えて波の入射角 $\alpha_0$ から砕波角 $\alpha_b$ をもとめる図を前に発表しているが<sup>(7)</sup>,

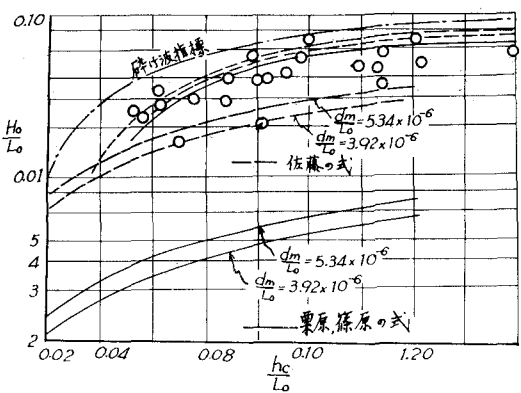


図-8 漂砂移動限界水深と波形勾配の関係

同様の計算を行って碎波角をもとめ実測値と比較したのが図-9である。この図によると実測値は計算値の0.96倍とれるが、この事実は計算値には底面の摩擦を無視しているためであろう。

### 3. 漂砂量の推定

(1) 波のエネルギーと漂砂量 沿岸漂砂量は波のエネルギー、波の入射角、底質、海床勾配および沖波の特性などの諸要素に支配され、前節の研究をさらに発展させることによって、正確な結論に到達することができよう。しかしながら、それらの関係が複雑のため現在までに確実な推定方法が確立されていない。しかしこれらの諸要素が漂砂量にどのような影響を与えるかを明らかにするために若干の実験的研究が行われており<sup>(5),(9)</sup>、例えば Saville<sup>(5)</sup> はエネルギーも波の入射角もともに一定の場合の漂砂量が最大となる波の形状勾配は0.02~0.03であることを示し、また Johnson<sup>(9)</sup> は入射角が30°~40°のときに漂砂量が最大となることを見出したが、こうした実験的研究は漂砂量に及ぼす最も重要な要素を決定するのに役立っている。着者<sup>(10)</sup> はすでに孤立波理論を用いてこれらの諸要素の影響を明らかにし、その結果を考慮して碎波のエネルギーと漂砂量との関係を求めて、宮津海岸の実測結果を説明した。しかし孤立波理論を用いた碎波のエネルギーで処理した関係上、その取扱いも困難であったから、ここでは Santa Barbara<sup>(11)</sup>, Anaheim Bay<sup>(12)</sup>, Florida<sup>(13)</sup> などで微小振中波理論を用いて処理しているのと同様の取扱いにより、着者の実験結果および宮津、明石などの実測値を解釈していくことにした。

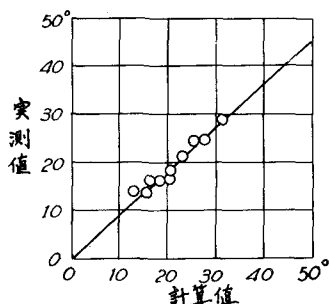


図-9 碎波角の実測値と計算値の関係

微小振中波理論による波の平均エネルギーと漂砂量との関係式はつぎのように表わされる。

$$Q_i = C E_i^m \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに  $C$  は変数、 $m$  は定数、 $Q_i$  は単位時間当りの漂砂量、 $E_i$  は海岸に沿っての単位長さ、単位時間当りの波のエネルギーである。浅海波、とくにいそ波の部分の波の全エネルギー  $E$  は、次式で与えられる。

$$E = \frac{\rho \cdot H^2 \cdot L}{8}, \quad \text{ただし} \quad L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 $\rho$  は水の密度、 $T$  は波の周期、 $h$  は観測点の水深、 $L$ ,  $H$  は水深  $h$  における波長、波高である。この全エネルギーのうちで前方に伝達されるものを  $E_f$  とすれば、

$$E_f = E \cdot n, \quad \text{ただし} \quad n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi h / L}{\sinh(4\pi h / L)} \right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる。したがって一連の波によって前方に運ばれる平均工率は

$$P = E \cdot n / T \quad \dots\dots\dots(7)$$

であり、 $t$  秒間に前方に運ばれるエネルギーは

$$E_{ft} = P \cdot t = (E \cdot n / T) \cdot t \quad \dots\dots\dots(8)$$

とれる。波のエネルギーの沿岸成分、すなわち沿岸砂移動を生じるために働くこの方向のエネルギー成分  $E_i$  は、入射波エネルギーと海岸に近づく波の角度の函数であつて、

$$E_i = E_t f \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots (9)$$

で表される。ここに  $\alpha$  は観測点の波の峰と海岸の作る角である。

波形勾配が漂砂量に影響を及ぼすことは Saville の実験結果からも明らかであるが、本実験の結果からエネルギー一定の場合の  $Q_i$  と  $H_0/L_0$  の関係を求めると図-10 のようになる。

すなわち (4)

式の右は、  
 $H_0/L_0$  によつて影響されることがわかるから、  
 $Q_i = f(H_0/L_0) E_i^m$   
 $\dots\dots\dots (10)$

と書きあら

ためねば 図-10  $E_i$  一定の場合の  $Q_i$  と  $H_0/L_0$  の関係

図-11 は

(9)式を用いて計算した沿岸方向の波のエネルギー  $E_i$  と全漂砂量の関係をプロットしたものであり、この実験値と宮津海岸でもとめた実験値にもとづき図-10 をもとにして  $H_0/L_0$  をパラメーターとして  $Q_i$  と  $E_i$  の関係を示したのが図中の直線群である。この図中には California の Anaheim Bay および Florida 両方に明石海岸で求めた  $Q_i$  と  $E_i$  との関係も同時に記入してある。しかしこの図に示す  $Q_i$  と  $E_i$  との関係における大きな欠点は、底質の粒径についての考察がなされていないことである。California の Anaheim Bay および Florida の底質の平均粒径は 0.3 ~ 0.4 mm、宮津海岸の汀線付近では 1.0 ~ 0.3 mm、本実験では 0.42 mm であるが、明石海岸では 5 ~ 10 mm で order が一桁大きいから、明石海岸の  $Q_i - E_i$  の曲線が本実験値や宮津海岸の実測値より小さいことは当然であらう。したがって、本実験および宮津海岸の実測から求めた  $Q_i - E_i$  の関係は、底質の平均粒径が 0.1 ~ 0.5 mm 程度の海岸において用いてよいと見られる。

## (2) 実際海岸における漂砂量の推定方法

波の特性に関する実測資料の少ない実際海岸において、実験および実測から求めた  $Q_i - E_i$  の関係からいかにして漂砂量を推定するかを、明石海峡北岸垂水海岸の例によつて示そう。波の資料の少ない海岸では、波のエネルギーを求めるために風の資料によらねばならない。すなわち各風向、風速に対して波のエネルギー  $E_i$  とその年間の頻度をもとめて、年間の漂砂量を推定するようにする。垂水における対岸距離は表-2 の通りであり、この対岸距離に対し各風速に対応する沖波波高、波長

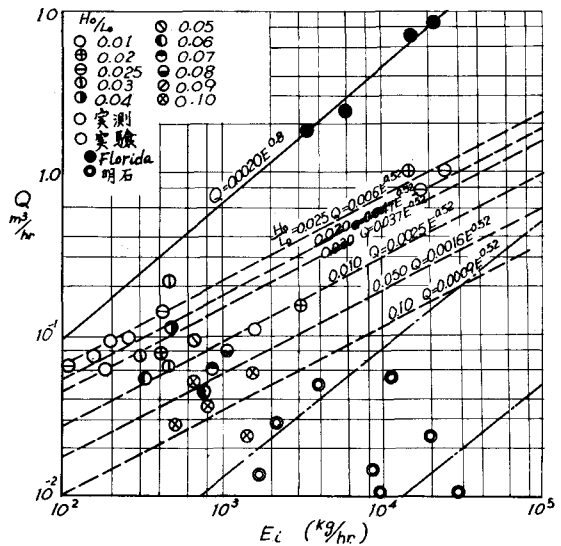
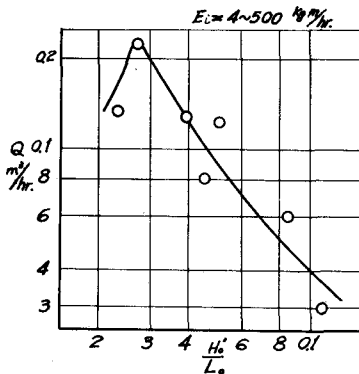


図-11 漂砂量と沿岸方向の波のエネルギーの関係

，周期，波形勾配を

Sverdrup-Munk-Bretsch

neider の Fetch Graph

からもとめ，これから

波エネルギーの沿岸成分  $E_i$  を計算し，その  $E_i$  に対する  $Q_i$  を図-11 から求める。この場合垂水海岸の年間最大移動量を推定する意味で，垂水海岸で漂砂量の最大限度を表わす式  $Q_i = 5 \times 10^{-5} E_i^{0.8}$  を用いることにした。こうしてもとめた垂水海岸における風向，風速と漂砂量の関係を示したものが図-12 である。なお，風の資料として，神戸海洋気象台で観測された昭和30年1月から12月までの1年間の各風向別風速頻度表と図-12を用いて垂水海岸

表-2 垂水における対岸距離 (km)

| E    | ESE  | SE   | SSE  | S    | SSW  | SW  | WSW | W    |
|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| 36.0 | 34.0 | 33.0 | 35.0 | 36.0 | 34.2 | 5.2 | 5.0 | 80.2 |

| 風速<br>m/sec                                        | W   |                          |                             | WSW |                          |                             | SW  |                          |                             | SSW |                          |                             |
|----------------------------------------------------|-----|--------------------------|-----------------------------|-----|--------------------------|-----------------------------|-----|--------------------------|-----------------------------|-----|--------------------------|-----------------------------|
|                                                    | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> |
| 1                                                  | 120 | 0.01                     | 1.20                        | 51  | 0.01                     | 0.51                        | 39  | 0.02                     | 0.78                        | 18  | 0.03                     | 0.54                        |
| 2                                                  | 96  | 0.03                     | 2.88                        | 69  | 0.02                     | 1.38                        | 69  | 0.03                     | 2.07                        | 69  | 0.08                     | 5.52                        |
| 3                                                  | 162 | 0.07                     | 11.34                       | 90  | 0.03                     | 2.70                        | 54  | 0.05                     | 2.70                        | 69  | 0.17                     | 11.73                       |
| 4                                                  | 159 | 0.15                     | 23.85                       | 129 | 0.04                     | 5.16                        | 72  | 0.08                     | 5.76                        | 15  | 0.34                     | 5.10                        |
| 5                                                  | 180 | 0.32                     | 57.60                       | 84  | 0.06                     | 5.04                        | 81  | 0.12                     | 9.72                        | 18  | 0.59                     | 10.62                       |
| 6                                                  | 108 | 0.60                     | 64.80                       | 102 | 0.09                     | 9.18                        | 39  | 0.17                     | 6.63                        | 6   | 0.92                     | 5.52                        |
| 7                                                  | 57  | 1.00                     | 57.00                       | 72  | 0.12                     | 8.64                        | 21  | 0.23                     | 4.83                        | 9   | 1.14                     | 10.26                       |
| 8                                                  | 69  | 1.60                     | 110.40                      | 54  | 0.15                     | 8.10                        | 12  | 0.29                     | 3.48                        | 3   | 1.20                     | 3.60                        |
| 9                                                  | 15  | 2.30                     | 34.50                       | 21  | 0.20                     | 4.20                        | 6   | 0.36                     | 2.16                        |     |                          |                             |
| 10                                                 | 33  | 3.10                     | 102.50                      | 21  | 0.25                     | 5.25                        |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 11                                                 | 30  | 4.20                     | 126.00                      | 12  | 0.30                     | 3.60                        |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 12                                                 | 12  | 5.20                     | 62.40                       | 6   | 0.36                     | 2.16                        |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 13                                                 |     |                          |                             | 3   | 0.42                     | 1.26                        |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 14                                                 | 6   | 7.40                     | 44.40                       |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 15                                                 |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 16                                                 |     |                          |                             | 3   | 0.53                     | 1.59                        |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 計                                                  |     |                          | 698.67                      |     |                          | 58.77                       |     |                          | 38.13                       |     |                          | 52.89                       |
| 風速<br>m/sec                                        | SSE |                          |                             | SE  |                          |                             | ESE |                          |                             | E   |                          |                             |
|                                                    | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> | 頻度  | $Q_i$ m <sup>3</sup> /hr | $\Sigma Q_i$ m <sup>3</sup> |
| 1                                                  | 36  | 0.04                     | 1.44                        | 63  | 0.02                     | 1.26                        | 48  | 0.01                     | 0.48                        | 21  | 0.01                     | 0.21                        |
| 2                                                  | 54  | 0.09                     | 4.86                        | 111 | 0.06                     | 6.66                        | 54  | 0.03                     | 1.62                        | 81  | 0.03                     | 2.43                        |
| 3                                                  | 18  | 0.19                     | 3.42                        | 24  | 0.13                     | 3.12                        | 24  | 0.07                     | 1.68                        | 54  | 0.06                     | 3.24                        |
| 4                                                  | 15  | 0.38                     | 5.70                        | 21  | 0.26                     | 5.46                        | 21  | 0.14                     | 2.94                        | 33  | 0.13                     | 4.29                        |
| 5                                                  | 6   | 0.65                     | 3.90                        | 6   | 0.47                     | 2.82                        | 9   | 0.26                     | 2.34                        | 18  | 0.26                     | 4.68                        |
| 6                                                  |     |                          |                             |     |                          |                             | 6   | 0.42                     | 2.52                        | 15  | 0.46                     | 6.90                        |
| 7                                                  |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             | 15  | 0.74                     | 11.10                       |
| 8                                                  |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             | 12  | 1.10                     | 13.20                       |
| 9                                                  |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             | 3   | 1.66                     | 4.80                        |
| 10                                                 |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 11                                                 |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |
| 12                                                 |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             | 3   | 3.50                     | 10.50                       |
| 計                                                  |     |                          | 19.32                       |     |                          | 19.32                       |     |                          | 11.58                       |     |                          | 61.35                       |
| E方向へ；836.5 m <sup>3</sup> W方向へ；1116 m <sup>3</sup> |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |     |                          |                             |

表-3 垂水における各風向別風速，頻度及び年間沿岸漂砂量

の年間沿岸漂砂量をもとめると表-3のようである。

#### 4. 結論

宮津海岸、明石海岸などで海岸浸食に関する実測をたびたび行い、その都度その結果を発表してきたが、ここではその実測結果を確証するために、実験的研究を進めた。実験室においては実際海岸におけるような潮位の変動、風向、風速の変化、底質の不均一などの障害が除かれ、漂砂量と波エネルギーの沿岸成分の関係について、波形勾配を考慮することによって、実験値と宮津海岸の実測値とがほとんど一致することがわかった。しかし、底質の粒径に対する考察は、今後の研究に残された問題であらう。

本研究によって沿岸漂砂量の汀線と直角方向の分布およびその区間の平均的な漂砂の移動限界水深などが明確となったが、沿岸流速およびその分布、流速分布と漂砂量分布との関係、地質変化とともに生ずる漂砂量の変化並びに構造物の計画設計に関する重要な問題については研究されねばならない幾多の問題を残している。しかし、波エネルギーの沿岸成分と漂砂量の関係が一応もとめられ、それによって漂砂の移動量が推定できることは、海岸の浸食、堆積問題のみならず、防砂堤の計画、漂砂の供給、人工養砂などの工学的問題に寄与するところが大いにあると思う。

最後にこの研究に対し終始御指導を賜った石原教授、岩垣助教授の並びに実験に協力していただいた大学院学生小倉君、学部学生石田、村井両君に感謝するとともに、この研究は神戸市明石海峡調査委員会の事業の一部として、また実験は文部省科学試験研究費によって行われたことを付記する。

#### 参 考 文 献

- (1). 京都大学防災研究所；宇治川水理実験所概要，創立五周年記念論文集，昭.31.11，pp. 303~316.
- (2). 土木学会海岸工学委員会訳；海岸工学 I，昭.30.6，pp. 29
- (3). Putnam, J.A., Munk, W.H. and Traylor, M.A ; The Prediction of Longshore Currents , Trans. AGU, Vol. 30, No.3, 1949, pp. 337~345.
- (4). Inman, D.L. and Quinn, W.H ; Currents in the Surfzone , Proc. 2nd. Conf. on Coastal Engg., 1957, pp. 24~36.
- (5). Saville, J.W. ; Model Study of Sand Transport along an Infinitely Long Straight Beaches, Trans. AGU, Vol. 31, 1950, pp. 555~565.
- (6). 岩垣雄一，榎木 亨；海浜の平衡勾配と碎波による砂移動の実験，海岸工学講演会論文集，昭.30.11，p. 104.
- (7). 石原藤次郎，岩垣雄一，村上 正；明石海峡北岸の浸食について，海岸工学講演会論文集，昭.31.11，pp. 185~193.

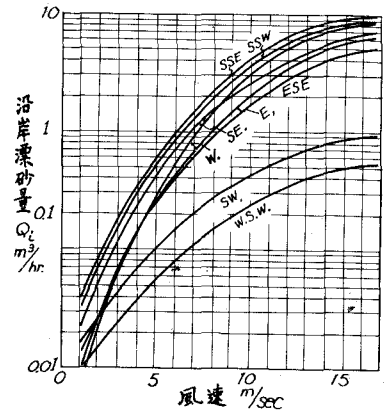


図-12 垂水における各風向別風速と沿岸漂砂量の関係

- (8) Krumbein, W.C. ; *Shore Currents and Sand Movement on a Model Beach* ,  
*Beach Erosion Board, Tech. Memo, No.7, 1944, pp.1~44.*
- (9) Johnson, J.W. ; *Sand Transport by Littoral Currents*, *Proc. 5th. Hydraulics, Conf., Bull.*  
*34, State Univ., Iowa, Studies in Eng., 1953, pp.89~109.*
- (10) 榎木 亨 ; 宮津海岸の漂砂の特性について , 土木学会第12回年次学術講演会講演概要  
 , 昭.32.6, pp.401~402.
- (11) Trask, P.D. ; *Source of Beach Sand at Santa Barbara as Indicated by Mineral Grain*  
*Studies*, *Beach Erosion Board, Tech. Memo., No.28, 1952, pp.1~24.*
- (12) Caldwell, J.M. ; *Wave Action and Sand Movement near Anaheim Bay, California* ,  
*Beach Erosion Board. Tech. Memo., No.68, 1956.*
- (13) Watts, G.M. ; *A Study of Sand Movement at South Lake Worth Inlet, Florida*,  
*Beach Erosion Board, Tech. Memo., No.42, 1953, pp.1~36.*