

明石海峡北岸の浸食調査について

京都大学教授 工学博士 石 原 藤 次 郎
 同 助教授 工学博士 岩 垣 雄 一
 同 大学院 学 生 村 上 正

1. 緒 言

海浜は自然に形成された海岸防護地帯である。柔軟性に富み、その断面形状は波の特性に応じて自由に変化する。嵐のときには汀線が後退し、勾配は緩となり、沖に沿岸砂州を形づくるが、嵐が去りおだやかになると汀線は少しづつ前進を始め、勾配は急になりさらに沿岸砂州は漸次消滅して行き、もとの海浜へかえろうとする。多くの海浜はこのような浸食と堆積をくりかえしながら平衡を保ち、海岸防護の役目を果たしている。しかしながら、長年月のうちには平衡を保っていると思われた海浜が少しづつ浸食され、海岸防護の役目を充分果たさなくなったり、また海浜の利用が著るしく阻害されるに至る場合が少なくない。一体このような海岸浸食は何故おこるのであろうか。さらにこの原因を解明するにはどうしたらよいか。そして、そのためにはどのような調査を行えばよいかという問題がおこってくる。

海岸浸食が海浜砂礫の移動に起因することはいうまでもないことであり、またこの砂礫の移動には水の運動がともなわなければならない。そして、とくに海浜砂礫の移動に最も密接な関係をもつ碎波点より岸側における水の運動には二つの異なつた型がある。一つは波の進行にともなう往復運動であり、他の一つは波が汀線に斜めに砕けることによって生ずる沿岸流である。前者の水の運動は主に汀線と直角方向の砂礫の移動に寄与し、これが海浜の断面形状を決定づける直接原因となり、嵐が来襲すれば汀線が後退し、平穏にかえると堆積を始めて汀線が前進するというごく短期間のしかも変化の急な現象をもたらすわけである。これをいま海浜変形とよぶことにしよう。後者は汀線と平行方向に移動するいわゆる漂砂の原因となるものであり、さらにこの漂砂が海岸過程の長期傾向を決定づける要因であることは、河川において河床の変動が流砂と密接な関連をもつものと同じことである。換言すれば、海岸浸食現象を究明するためには、その海岸における漂砂の特性を把握することが必要となる。すなわち、

1. 海岸に沿う漂砂量分布 2. 汀線と直角方向の漂砂量分布 3. 漂砂の一般的性状

を明らかにすることであつて、浸食調査の基本方針もこれにもとづいて決定されなければならない。しかしながら、現在の段階では、これらの項目について実地に観測し、あるいは理論的に解明する手段はほとんどなく、間接的に定性的な傾向を知るか、各種の資料を総合して推定する程度の域を脱していない。とすれば、間接的な方法とは何か、また各種の資料とはどのようなものが必要であるか。以下この問題について考察を進め、著者らの見解を明らかにしたいと思う。

(1) **海岸に沿う漂砂量分布** もし漂砂量が海岸に沿つて一様であれば、海岸は海浜変形によつて汀線の前退、後退がおこるのみであつて、何ら長期間の平均的な海岸の浸食や堆積の現象はおこらない。しかしいま漂砂量が漂砂の移動方向に行くに従つて増大するものとすれば、海浜は段々と浸食されていくであろうし、また反対に減少するものとすれば、漸次海浜は堆積して年々汀線は前進していくであろう。漂砂量に関する最も重要な二要素は、沿岸流速と底質である。従つて、海岸に沿つて底質の大きさがわかり、また沿岸流速を推算することができれば、漂砂量の分布をほぼ見積ることができよう。すなわち、この目的のためにはその海岸の底質を調査することであり、さらにくわしく述べると、沿岸流速の推算のためには、碎波高、碎波角、海浜勾配および周期など、海岸に来襲する波の特性と海底地形および海浜断面形状などを明確にすることである。

(2) **汀線と直角方向の漂砂量分布** これは漂砂帯の範囲や、漂砂が最も多く移動する水深などを明らかにすることであつて、漂砂の移動を阻止する防砂堤とか防波堤などの汀線より突出した海岸構造物の計画、設計に対して有力な資料を与えるとともに、既存の防砂堤の効果、換言すれば、漂砂がその防砂堤によつて完全に遮断されているかどうかを知ることができる。このような汀線と直角方向の漂砂量分布はある程度実測が可能であり、北大では各種の漂砂捕集装置を考案して使用している¹⁾。しかし波の作用が最もはげしい汀線付近における漂砂の観測ははなはだ困難であつて、波高があまり大きくない場合以外は実測できない。とすれば(1)と同様、漂砂量分布に関する各要素について検討し、実験による結果を参照してその特性を推定するほか仕方がない。すなわち、汀線と直角方向の沿岸流速の分布および底質の大きさを調べるとともに、漂砂量分布と密接な関係のある波の特性、主として波形勾配および海浜断面形状について検討しなければなら

らない。

(3) 漂砂の一般的性状 漂砂の移動方向とか移動形式など、漂砂の一般的な性状を明らかにすることが、浸食機構の考察や、海岸構造物の計画、設計に寄与する重要な調査項目となる。漂砂の移動方向は一般に波の来襲方向によつて推定されるが、複雑な地形の海岸や構造物によつて波が変形をうけるような場合には、屈折図を描いて碎波の方向を見出すとか、浮子あるいはアイソトープ²⁾を用いて追跡する方法、漂砂捕集装置による方法などが用いられる。深さ方向の漂砂量分布を知ることができる漂砂捕集装置によつて、ある程度深い部分の漂砂の性状が観測されるが、底質の大きさと波の特性を知ることによつて、漂砂の移動形式を大よそ推察することができるであろう。

以上海岸浸食調査に際しての基本的事項を簡単に考察したが、昨年より開始した明石海峡北岸の浸食調査の結果を中心として上記の考察を具体的に説明し、著者らがこれまで行つてきた海岸浸食の調査方法をとりとまとめて提示したいと思う。

2. 北岸海岸の海底勾配

須磨海岸東端の妙法寺川から明石市西端の明石川に至る約 15km にわたり、海岸線に直角に約 100 本の測線を出して水深約 5m まで深淺測量を行った。測量期間は昭和 30.7.20~8.30 である。図-1 は各地点の代表的な海浜断面形を示したもので、汀線付近はいずれも 1/10 ないしはそれ以上の急な勾配をもち、とくに西垂水、塩屋および東垂水では沿岸砂州が見られず、汀線より 100m 沖では 7~8m の水深を示している。一方明石、西須磨、東須磨および舞子では汀線より 50m 沖附近(水深にして舞子では約 4m, その他は約 2m)に沿岸砂州が存在している。いまこれらの海浜断面形のうち、明石、西垂水および西須磨の三つを選び、SE の風によつておこる波の波形勾配に対応する平衡勾配と比較してみよう。図-2 は風速 5m/s, 10m/s および 15m/s の風によつておこる波の波長を後述の Fetch graph (図-7) から求め、これを用いて汀線からの距離および水深を無次元化して海浜断面形を示したものであるが、やはり Fetch graph から算出される波形勾配(図-8)に、屈折図から求められるそれぞれの地点の屈折係数をかけた相当波形勾配 H_0/λ_0 に近い平衡勾配(図に示したものは京都大学で実験して得られた結果^{3,4)}で、 d_m は実験に用いた砂の平均粒径を示す。)を比較のため一緒に図示してある。この図を見ると、風速が 5m/s, 相当波形勾配 0.03 前後の場合に明石および西須磨の海浜断面形状が平衡勾配に近く、西垂水の海浜断面形状は他の海浜と異なり、風速が 10 あるいは 15m/s で相当波形勾配が 0.04 程度の場合に平衡勾配に近づくようである。しかしその形状は非常に異なっている。これは E あるいは W の風のように非常に屈折係数の小さい波のときには、相当波形勾配 H_0/λ_0 の値が小さくなるので、そのような風向の場合のときの平衡勾配と一致したとすれば、西垂水海岸で沿岸砂州が発生していない理由を見出すことができるであろう。これについてはさらに検討したいと考えている。

図-1 明石海峡北岸の代表的な海浜断面形

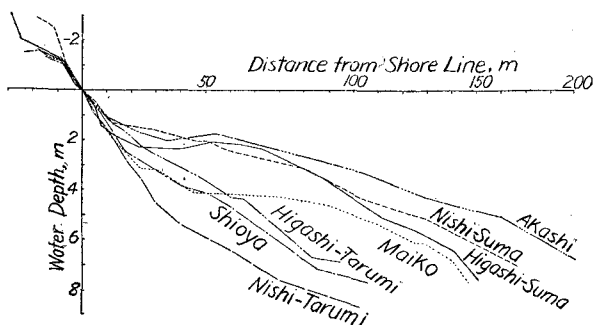
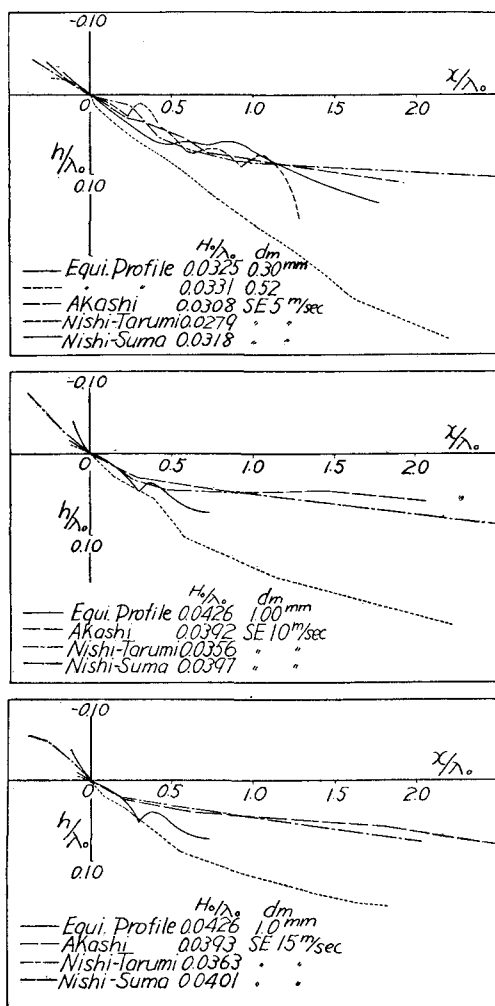


図-2 海浜断面形の無次元表示



3. 北岸海岸の底質

前述の深浅測量と同時に、約40測線（各測線について約20点）と各河口において底質を採集し、それを JIS の篩によつて機械分析を行つた。図-3 は代表的な4地点を選び、汀線からの距離と底質の平均粒径および水深との関係を示したものである。この図を見てわかることは、波の作用が最もはげしい汀線付近あるいは前浜部分の粒径が小さく、それより岸側および沖側へいくに従つて急に大きくなつていくところが多い。Basscom⁵⁾ が大平洋岸各地で実測した結果では、これと同様な粒径分布曲線が得られており、最終碎波点付近と前浜の部分に二つの極大があらわれている。また泉南海岸における実測例⁹⁾ でも、やはり碎波点付近が極大で礫となつている海浜がほとんどである。またこの極大の粒径が汀線付近の粒径に較べて大きいほど底質の淘汰がわるいことを示したが、図-3 をみると東垂水より西側の海浜では底質の淘汰がよくないことを知ることができる。表-1 は各地点における汀線付近の底質の篩分係数 (Sorting Coefficient) $\sqrt{d_{25}/d_{75}}$ を示したもので、西垂水は他の海浜に較べて非常に大きい値となつてることが注目される。

図-3 代表的な海浜部分における底質粒径、水深および汀線よりの距離の関係

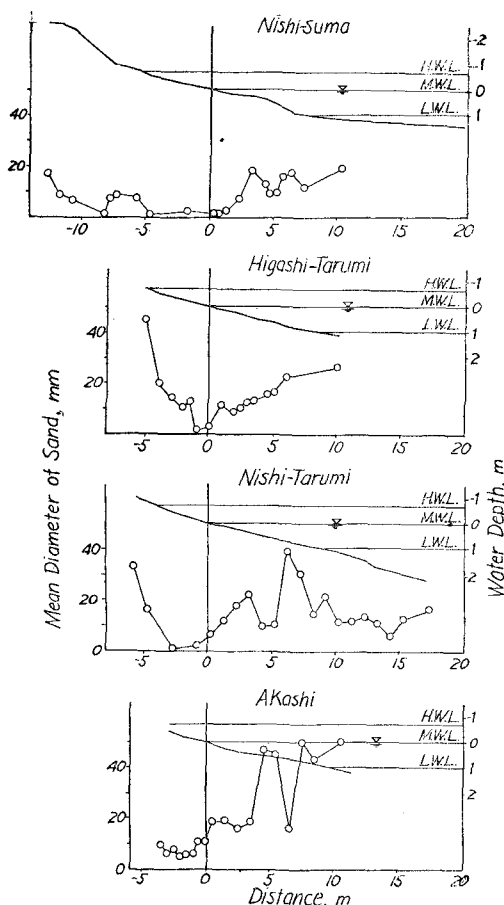


表-1 代表的な海浜部分における汀線付近の篩分係数

	西須磨 No.26	西垂水 No.64	鉢子 No.74	明石 No.97
篩分係数	1.45	4.85	2.58	2.15

図-4 明石海峡北岸における汀線付近の底質平均粒径の分布

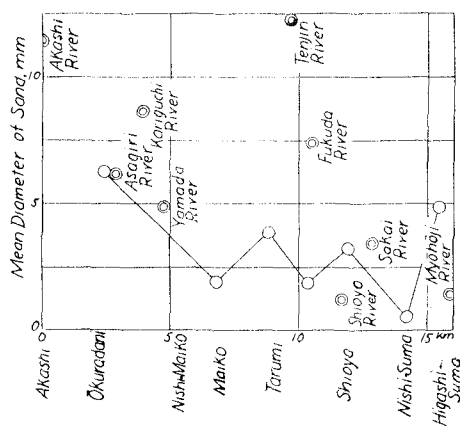


図-4 は汀線付近にあらわれる極小の平均粒径を海岸に沿つてプロットしたものであるが、西須磨を除きこの海岸の大部分は数 mm 程度の平均粒径を示し、海岸に沿つてははつきりした傾向が認められない。なお同図には参考のため、その間の小河川の河口における砂の粒径をプロットしてある。

4. 神戸および明石における風

北岸海岸の前面は大阪湾および瀬戸内海であつて、後述するように約 80km 以下の fetch であるから、

多少太平洋からのうねりが紀淡海峡から進入することはあつてもその影響は小さく、この海岸に來襲する波は大部分風波によるものであると云えよう。従つてその発生原因である風について考察することは、この海岸の漂砂の性状を把握するための重要な項目といえる。図-5 は神戸（昭29.12~30.11）および明石（昭30.1~11）における風向別（陸風は除く）の風速頻度図を示したものであるが、この図から大きい風速が多くあらわれる風向は E, S, SSW, WSW, W, であつて西寄りの風が大きい風速をもたらし傾向が見られる。このことは図-6 を見れば明瞭に理解される。すなわち、図-6 は神戸の風について東寄りの海風と西寄りの海風とにわけて、それぞれの風速の頻度を示したもので、5m/s 程度以上の風速の風はほとんど全部西寄りに含まれることがわかる。このことから漂砂の大部分は西から東へ向うことが推察される。

5. 北岸海岸における波

図-5 神戸および明石における風向別の風速頻度図

神戸：点線，明石：実線

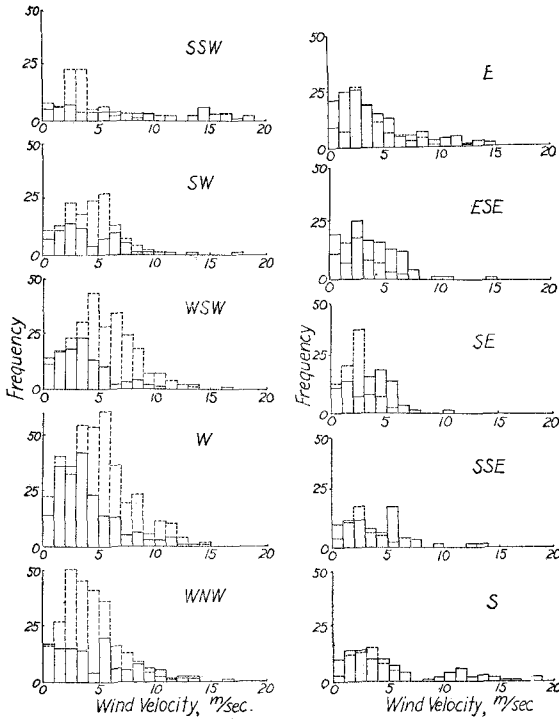
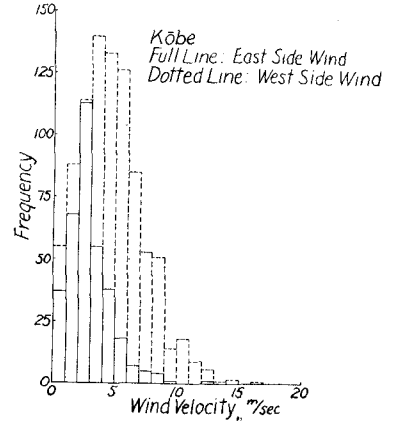


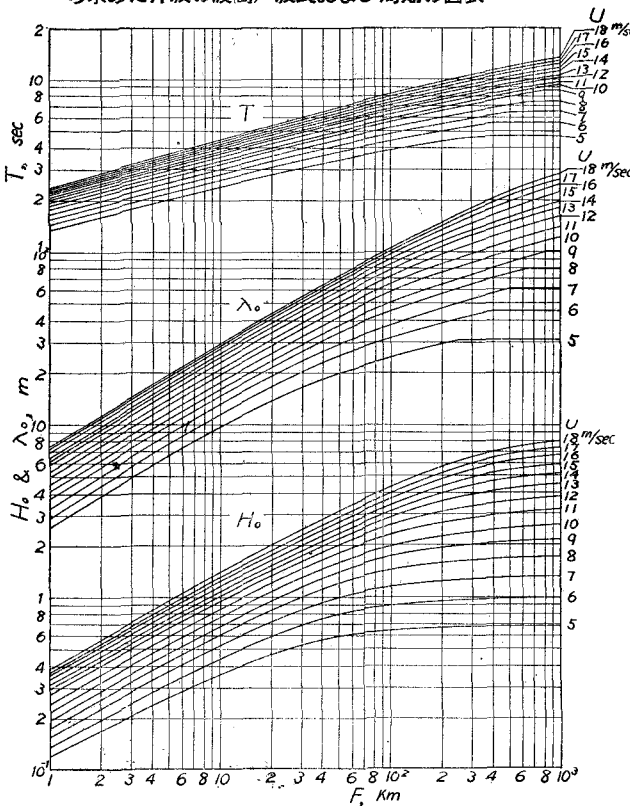
図-6 神戸における東寄りおよび西寄りの風に対する風速頻度図



(1) 沖波の特性 この海岸のように数 10 km 程度の限られた fetch をもっている海岸における波は、fetch と風速によつて沖波の特性が決定される。

図-7 は Bretschneider⁷⁾ が Sverdrup-Munk のものを修正した Fetch graph から計算して求めた沖波の波高 H_0 、波長 λ_0 、周期 T と風速 U および fetch F との関係を

図-7 Sverdrup-Munk-Bretschneider の Fetch graph から求めた沖波の波高、波長および周期の図表



図示したもので、この図から U および F の値を与えれば H_0 、 λ_0 、および T の値が直ちに求められる。また図-8 は図-7 から作った波形勾配 H_0/λ_0 のグラフであつて、やはり U および F の値を与えることにより H_0/λ_0 の値が求められる。これらのグラフを用いて沖波の特性を求めるわけであるが、それに必要な風速についてはすでに述べたので、つぎにこの海岸の fetch を調べてみよう。図-9 は西須磨、垂水および明石の各海岸における各方向の fetch を示したもので、SSW~E 方向では fetch が大体 30~40km の程度であるのに対し、SW~W は 70~80km に及んでいる。

いま風速として、かなり大きくかつ頻度の多いものを選ぶこととし、図-5 から表-2 に示すような風を採用することにする。そしてこれらの風速を用いて各地点の沖波の波高 H_0 、周期 T および波形勾配 H_0/λ_0 の値を決めると、どの地点でもほぼ表-2 に示すような値となる。

(2) 波の屈折と相当波形勾配 少し大きい風速の風のときには、このような特性の沖波がこの海岸へ来襲するわけであるが、沖波が海岸へ到達するま

図-8 Sverdrup-Munk-Bretschneider の Fetch graph から求めた沖波の波形勾配の図表

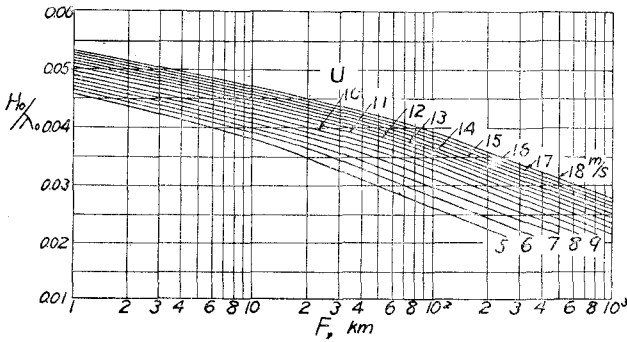


表-2 明石海峡北岸における沖波の波高、周期および波形勾配の概略値

	E	SE	S	WSW	W	WNW
U_m/sec	8	5	12	8	8	10
H_0/m	1.0~1.2	0.5~0.6	1.8~1.9	1.4	1.4	1.5~1.7
T/sec	4.0~4.4	3.1~3.2	5.2~5.4	5.0~5.2	5.0~5.2	5.1~5.5
H_0/λ_0	0.036~0.037	0.031~0.032	0.040~0.041	0.032~0.033	0.032~0.033	0.037~0.039

でに海岸地形あるいは淡路島の影響のために波は屈折あるいは回折し、沖波よりずっと小さい波高の波になる場所があらわれる。このような海岸における波の特性を知るためには、屈折図あるいは回折図を描いて屈折係数や回折係数を求めなければならない。図-10はその一例として E の方向から 4sec の周期の波が来襲するときの屈折図を示したもので、これは波の峰による方法 (Wave-crest method)⁸⁾ で描いたものである。このようにしてそれぞれ SE の方向からくる場合には 3sec, S, WSW, W, WNW の方向からくる波のときには 5sec の周期の屈折図 (淡路島の影響があるときは回折を

図-9 明石海峡北岸の代表的海濱における方向別の Fetch 図表

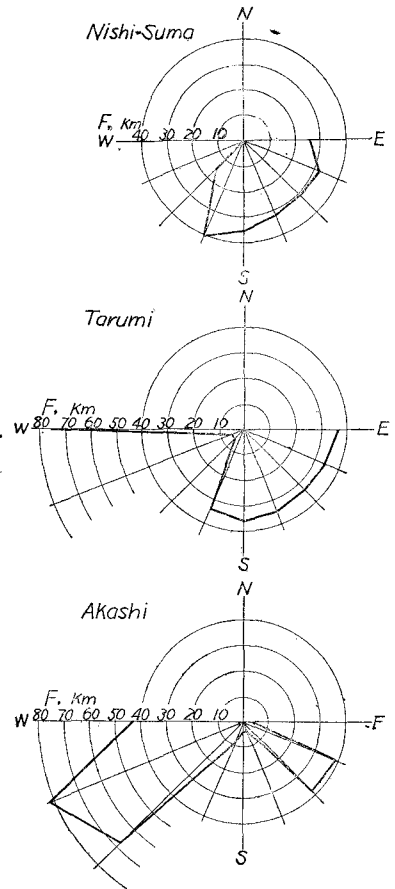
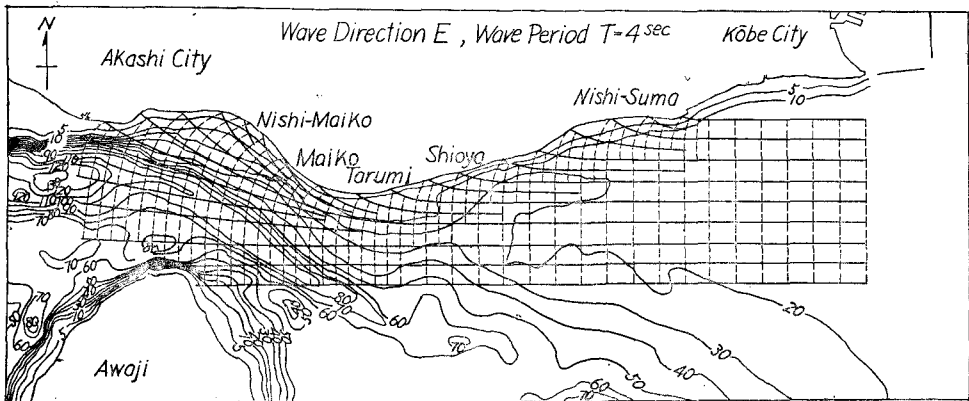


図-10 波の方向 E および周期 4sec の場合の屈折図



考慮して描いた)を描いて、各地点の屈折係数を求めた。この場合屈折係数としては、沖における直交線間隔 S_0 と海岸 (砕波点) における直交線間隔 S_b との比の平方根 $K_b = \sqrt{S_0/S_b}$ を採用した。

いま屈折して海岸に到達した波と全く同じ特性をもつ波が、何ら屈折しないで海岸に直角に来襲して海岸に出現するような equivalent な沖波を考える。このような沖波の波形勾配 (これを相当波形勾配とよぶことにする) は表-2 の H_0/λ_0 の値に $\sqrt{S_0/S_b}$ をかければ簡単に求められ、これを表-3 に示す。

この表から一般的にこの海岸の相当波形勾配は小さい。沿岸砂州が発生するいわゆる暴風海浜となりうる

表-3 明石海峡北岸の代表的海濱における
特定風速に対する沖波の相当波形勾配

風 向	E	SE	S	WSW	W	WNW
明 石	0.005	0.031	0.017	0.013	0.008	0.027
山 田	0.005	0.025	0.023	0.017	0.006	0.022
西舞子	0.008	0.028	0.025	0.030	0.008	0.014
西垂水	0.022	0.030	0.040	0.001	0.010	0.009
塩 屋	0.023	0.031	0.040	?	0.010	0.006
西須磨	0.021	0.032	0.041	?	0.008	0.003
東須磨	0.026	0.032	0.040	?	0.004	0.002

表-4 明石海峡北岸の代表的海濱における
特定風速に対する碎波水深 (単位 m)

風 向	E	SE	S	WSW	W	WNW
明 石	0.4	0.8	1.1	0.9	0.7	1.4
山 田	0.4	0.6	1.5	1.1	0.6	1.3
西舞子	0.5	0.7	1.6	1.7	0.7	1.0
西垂水	1.0	0.7	2.4	0.4	0.8	0.8
塩 屋	1.0	0.7	2.4	?	0.8	0.6
西須磨	0.9	0.8	2.4	?	0.7	0.4
東須磨	1.0	0.8	2.4	?	0.5	0.3

風向と場所は、SE：明石、西垂水以東、S：西垂水以東、WSW：舞子、WNW：明石であつて、とくにSの風は波形勾配が比較的大きいが、冬季の季節風であるW～WNWの風は波形勾配がとくに小さい。この事実は夏季および冬季における海浜勾配や漂砂の移動性状を決定づけるものであつて、この海岸の重要な特色の一であろう。

(3) 碎波水深と碎波高 碎波水深は相当波形勾配がわかると Breaker index⁹⁾ から求めることができる。表-4はその結果であつて、とくにSの場合には碎波水深が2mを越える地点があらわれる。須磨海岸において、この程度の水深のところに沿岸砂州が発生している理由が理解される。一方碎波高は近似的には

$$H_b = H_0 (S_0/S_b)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

によつて求められるが、正確には屈折しないときの $H_b/H_0 = f(h_b/\lambda_0)$ の関係⁹⁾ を組合せた

$$H_b = H_0 f(h_b/\lambda_0) (S_0/S_b)^{1/2} \dots\dots\dots (1')$$

を用いて算出すればよい。しかしこの海岸は底質粒径がかなり大きいので、海底における滲透 (Percolation) の影響¹⁰⁾ によつてかなりの波高の減少が予想されるので、(1) 式の関係を用いて充分であろう。図-12 には(1) 式の関係を用いて算出された碎波高の分布が図示してある。

6. 北岸における沿岸流速

Inman および Quinn¹¹⁾ は、Putnam, Munk および Traylor¹²⁾ が導いた沿岸流速の関係式

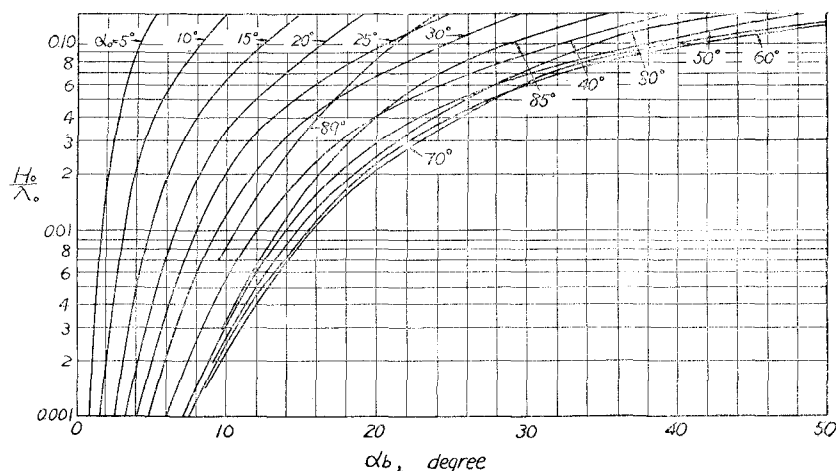
$$\left. \begin{aligned} V &= (a/2) [\sqrt{1 + (4c/a) \sin \alpha_b} - 1], \\ a &= (2.61 H_b i \cos \alpha_b) / kT, \quad c = (2.28 g H_b)^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

における摩擦係数 k を、多くの実験実測資料に基づいて V の函数として表わし、これを(2) 式に代入してつぎのような沿岸流速計算式を作つた。

$$\left. \begin{aligned} V &= \left\{ \left\{ \frac{1}{4x^2} + y \right\}^{1/2} - \frac{1}{2x} \right\}^2, \\ x &= (646 H_b i \cos \alpha_b) / T, \quad y = c \sin \alpha_b \end{aligned} \right\}, \text{ (m-sec 単位)} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 V は沿岸流速、 α_b は碎波点における波の峰線と汀線のなす角、 i は碎波点と汀線との間の海浜平均勾配、 g は重力加速度である。

(3) 式に含まれる各要素のうち、 T および H_b は既に与えられ、 i は海浜断面形から求められるから、問題になるのは α_b である。これは図-10に示すような屈折図から求められるが、この図では縮尺が小

図-11 沖波の波形勾配 H_0/λ_0 および峰線の角度 α_0 を用いて碎波点における峰線の角度 α_b を求める図表

さいため α_b の値をかなり大きく見積る傾向がある。それであるべく真の α_b に近い値を見出すために、図-11を用いることにした。この図は Snell の法則と Breaker index とから作製したもので、等深線が平行な直線海岸の場合に適用される α_b のグラフであるが、Groen および Weenink¹³⁾ が砕波条件として孤立波の理論を用いたのに対し、ここでは Breaker index を使用している。この図から、沖波の波形勾配 H_0/λ_0 および波の峰線の角度 α_0 を与えると、砕波点における峰線の角度 α_b を求めることができる。この明石海峡北岸の沖波は波長が短く、水深が 15~20m 程度のところから浅海波となるので、局部的に直線海岸とみなして、その近傍の海岸を代表するような α_b の値を求めることができる。図-12はこのようにして求めた α_b を用い (3) 式から計算した沿岸流速の分布を示したものであつて、そのときの砕波高をも一緒に書きこんでである。この図は後述する漂砂の特性や浸食機構を考察する場合の有力な資料の一つとなるものである。なお、著者らは昭 30. 10 と昭 31. 8 に東垂水において沿岸流の実測を行つたが、 α_b の観測精度があまりよくないため、ほぼ計算値に近い値を示す場合のみでなく、その数倍にも達する場合もあつた。しかし (3) 式は理論的な問題はともかくとして、多くの実測実験の結果に基づいているので、現在のところでは一応この式を用いて差支えないであろう。

7. 北岸海岸の漂砂と浸食機構の考察

(1) 海岸に沿う漂砂量分布 漂砂量に關係する最も重要な要素は、流速と底質粒径であろう。この海岸の底質粒径は場所によつて異なるが、一般に底質粒径が大きく、相当波形勾配が比較的小さいために、汀線付近の移動、すなわち浜漂砂 (Beach drift) が大部分であると推察される。このことから汀線付近の底質粒径を見ると、図-4 に示すように海岸のどの部分でも数 mm 程度である。従つてこの海岸においては、主として沿岸流速の大小が漂砂量に最も大きい影響を与えるものとみなしてよいであろう。

著者らは昭和31年8月18日から30日まで、東垂水において写真-1のような仮設防砂堤を設けて、その両側の堆積量および浸食量を毎日午前9時と午後3時に測定して漂砂量を算出し、同時に観測した沿岸流速との関係を把握しようと試みた。その結果によると漂砂量があまり多くなかつたので測定誤差が大きくなり、はつきりした関係が得られなかつたが、大体6時間の漂砂量が 0.3m^3 程度であつて非常に少なく、観測期間中の最大の沿岸流速は 0.47m/s 程度であつた。

さて、漂砂量分布の形状が図-12に示す沿岸流速分布によつてほぼ表現されるものとすれば、この図を用いて浸食機構を論じても差支えないであろう。著者らが泉南海岸における浸食機構を考察したときは砕波高の分布をもつてしたが¹⁴⁾、海岸線が屈曲しているような海岸では、やはり沿岸流速によつて考察した方がよいであろう。図-12において、沿岸流の向う方向に流速が増大するときに浸食され、反対に減少するときに堆積するという考え方から、海岸の各部分における傾向を表示すると表-5のとおりになる。

この表から特に注目されることは、西舞子-西垂水の間および西須磨-東須磨、西舞子-山田の間の海岸

図-12 特定風速の場合の明石海峡北岸における沿岸流速および砕波高の分布

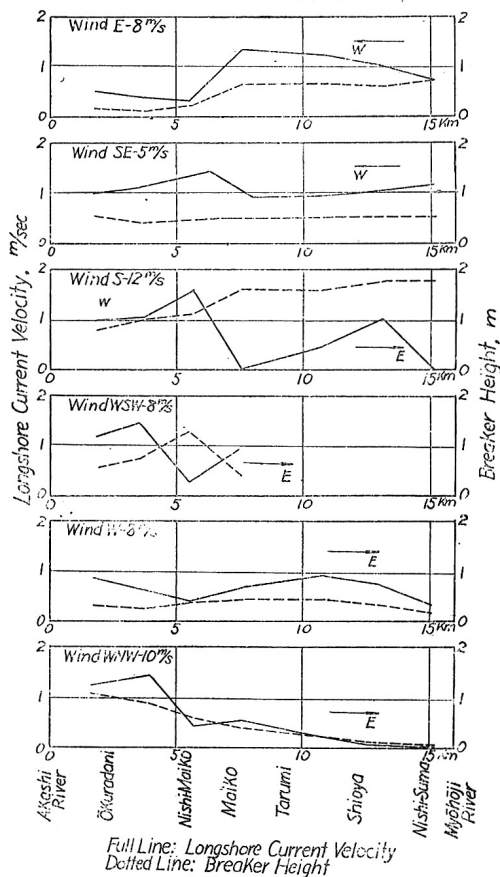
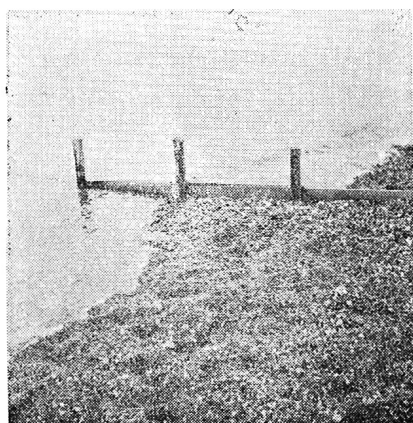


写真-1 漂砂量観測のための仮設防砂堤



表—5 各種の風向の場合における海岸各部分の
海濱過程の傾向

海岸部分	風 向					
	E	SE	S	WSW	W	WNW
明石—山田	変化なし	堆積	変化なし	浸食	堆積	浸食
山田—西舞子	変化なし	堆積	堆積	堆積	堆積	堆積
西舞子—西垂水	堆積	浸食	浸食	浸食	浸食	浸食
西垂水—塩屋	変化なし	変化なし	浸食	?	浸食	堆積
塩屋—西須磨	浸食	変化なし	浸食	?	堆積	堆積
西須磨—東須磨	浸食	堆積	堆積	?	堆積	堆積

に限られることを明らかにしたが、この明石海峡北岸の海岸底質が数 mm 以上であつてかなり大きいことを考えると、Saville の実験結果はほぼこの海岸における漂砂の挙動に対応しているように思われる。表—3 に示したように、この海岸の相当波形勾配は S および SE の場合を除くと非常に小さく、S の場合に 0.04 に達するところもあるが、底質が大きいために碎波点より沖側の漂砂はほとんどないと考えられる。しかしこの海岸では潮流が非常に速く、潮流による漂砂が考えられるので、どの程度の底質のときに潮流で移動しうるかを調べてみよう。海岸近くで実測された潮流流速のうちで最も大きいものをとれば、水深 $h=10\text{m}$ で流速 $V=1.6\text{m/s}$ であつて、この場合に動かす最大粒径を限界掃流力の関係式¹⁸⁾と

$$\sqrt{\tau_0/\rho} = u^* = n V g^{1/2} / h^{1/6} \dots\dots\dots (4)$$

を用いて計算すると、大体 2~6mm 程度の値が得られる。ここに、 τ_0 は海底における摩擦応力、 ρ は海水密度、 n は Manning の粗度係数であつて、 $n=0.01\sim 0.02\text{m}^{-1/3}\cdot\text{sec}$ とみなした。

一方、このような高速度の潮流が汀線付近でどの程度の流速をもっているか、さらに沿岸流との関係がどうなっているかを、昭 30.10 に調べてみた。図—13 はその実測結果の一例を示したもので、碎波高は非常に小さいが、碎波点より沖側の潮流と岸側の沿岸流とに明瞭に分けうる事がわかる。そして潮流は沖へ行くに従つて流速が大となるが、沿岸流は碎波点から汀線まで一様に分布しないで、汀線に近づくほど流速を増大することなども明瞭に認められる。この場合潮流は沿岸流よりも大きい流速をもっているが、岸側あるいは沖側への流れを伴わないので、潮流のみでは底質を輸送させることができない。一方、碎波点より岸側では沿岸流速は小さいが、この海岸の漂砂は沿岸流速そのもののために移動するのではなく、碎波による岸側または沖側への底質の移動の汀線方向の分値であるから、碎波によつて底質が動く限り漂砂が存在することになる。

巾 4cm、高さ 2cm の矩形断面の口をもち、後側に長い布袋をつけた砂礫捕集器を用いて、漂砂量の分布を測定した一例が図—14 であるが、底質の移動は碎波点付近から岸側が大部分であつて、著者^{3),4)}らが実験して得た分布形と非常によく似ており、実験と同様に汀線付近に最大値があらわれている。

(3) 漂砂の一般的性状 S の風のときに西方向への沿岸流が見られるところもあるが、4. において述べたように、大きい風速の風は西寄りのものがほとんどあることから、この海岸の漂砂は西から東へ移動していると見られる。しかし海岸には多くの防砂堤によつて小さい波の場合は漂砂が止められ、浸食や堆積の速度はかなりゆるやかであることが予想される。

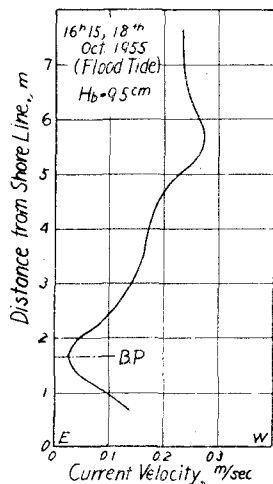
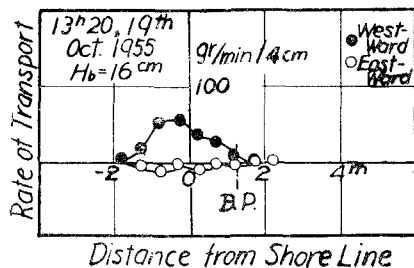
また漂砂の移動形式は前述したように、相当波形勾配が小さいこと、底質がかなり大きいことから、S および SE の風の場合を除き、主として汀線付近を移動する浜漂砂の移動形式であつて、かなり短い防砂堤でも漂砂の大部分を止めることができよう。ただし S の風の場合には、西垂水以東では碎波水深も深く波形勾配も大きいので、漂砂を止めるには慎重に考えて防砂堤の長さを決めなければならない。

8. 結 論

以上著者らはまず海岸浸食調査の意義と基本的方針を明らかにし、明石海峡北岸海岸の浸食調査の結果を中心として具体的に説明しながら、各種の資料の取扱い方およびそれらと

において、前者が E 以外のすべての風に対して浸食傾向をもつのにに対し、後者の二区間が逆に堆積傾向を示している点である。とくに風速の大きい風は S を含めた西寄りのものが多いことから、この傾向はそれぞれの海岸区間に特色づけられた宿命的なものである。

(2) 汀線と直角方向の漂砂量分布 Saville が平均粒径 0.3mm の砂を用いて行つた漂砂の実験結果では、波形勾配が 0.025 以下のときは大部分掃流形式で移動し、その移動が汀線付近

図—13 東垂水海岸の外濱
付近における流れの速度
分布の一例図—14 東垂水海岸における汀線付近
の漂砂量分布の一例

浸食機構との関連性について論じてきた。ここに述べた調査はなるべく費用がかからず、しかも効果的という点を考慮して行ってきたもので、他に多くの調査事項あるいは観測事項が残っている。例えば波浪観測、波の屈折に及ぼす潮流の効果、防砂堤の効果、漂砂の供給源、人工養砂など多くの問題がある。しかしこれまでに述べてきた調査方法は一応一貫した考え方および取扱い方にもとづいたものであつて、著者らの行つてきた海岸浸食調査の一つの方法を紹介したものである。

最後に調査に協力していただいた大学院の榎木、喜多および学部の小合、松岡の諸君に感謝するとともに、この調査は神戸市明石海峡調査会の事業の一部として、神戸市港湾局の絶大な協力と支援によつて行われたものであることを付記して、関係者の方々に深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 福島久雄, 溝口裕: 漂砂とその測定について, 海岸工学講演会講演集, 昭30.11, pp.155-161.
- 2) 猪瀬寧雄: 放射性ガラス砂を用いた漂砂の現場実験について, 海岸工学講演会講演集, 昭30.11, pp. 163-174.
- 3) 岩垣雄一, 榎木亨: 海浜の平衡勾配と碎波による砂移動に関する実験, 海岸工学講演会講演集, 昭 30. 11, pp. 99-105.
- 4) 岩垣雄一, 榎木亨: 海浜の平衡勾配に関する二, 三の問題について, 京大防災研究所創立 5 周年記念論文集, 昭 31. 10 (印刷中).
- 5) W. N. Bascom: The Relationship between Sand Size and Beach-Face Slope, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 32, No. 6, Dec. 1951, pp. 866-874.
- 6) 速水頌一郎, 足立和平, 土屋昭: 泉南海岸の浸蝕に関する基礎的研究, 第 4 報 泉南海岸における底質について, 泉南海岸浸蝕調査報告書, 第 2 報, 昭26度, 昭27.10, pp. 3-26.
- 7) C. L. Bretschneider: Revised Wave Forecasting Relationships, Proc. 2nd Conference on Coastal Engineering, Nov. 1951, pp. 1-5.
- 8) J. W. Dunham: Refraction and Diffraction Diagrams, Proc. 1st Conference on Coastal Engineering, Oct. 1950, pp. 33-49.
- 9) M. A. Mason: The Transformation of Waves in Shallow Water, Proc. 1st Conference on Coastal Engineering, Oct. 1950, pp. 22-32.
- 10) J. A. Putnam: Loss of Wave Energy due to Percolation in a Permeable Sea Bottom, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 30, No. 3, June 1949, pp. 349-356.
- 11) D. L. Inman and W. H. Quinn: Currents in the Surf Zone, Proc. 2nd Conference on Coastal Engineering, Nov. 1951, pp. 24-36.
- 12) J. A. Putnam, W. H. Munk and M. A. Traylor: The Prediction of Longshore Currents, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 30, No. 3, June 1949, pp. 337-345.
- 13) P. Groen and M. P. H. Weenink, Two Diagrams for Finding Breaker Characteristics along a Straight Coast, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 31, No. 3, June 1950, pp. 398-400.
- 14) 石原藤次郎, 岩垣雄一, 土屋昭: 泉南海岸の浸蝕に関する基礎的研究, 第 5 報, 泉南海岸の海底勾配と波高分布について, 泉南海岸浸蝕調査報告書, 第 2 報, 昭26度, 昭 27. 10, pp. 27-40.
- 15) T. Saville, Jr.: Model Study of Sand Transport along an Infinitely Long, Straight Beach, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol.31, No. 4, Aug. 1950, pp. 555-565.
- 16) 岩垣雄一, 土屋義人: 限界掃流力に関する基礎的研究, 土木学会論文集に投稿中