

河口閉塞とその防止策について

——神戸川における河口処理の一例——

建設省土木研究所 工学博士 佐 藤 清 一

I. 緒 言

中小河川の河口で漂砂のために河口閉そくを生じたり、あるいは河口が落付かず治水・利水上困難している河は少なくない。しかもその対策について一定の方法があるわけでもなく、調査方法も確立していない。

河口は河水のエネルギー、波浪のエネルギー及び河口の構成材料の三者の釣合いの下に形成されるものであつて、波浪の影響が加わるだけ普通河川よりもさらに取扱いが複雑である。また実際問題としては潮汐が河水の運動あるいは波浪の性質の複雑性を増しているといった面もある。

著者はこれまでに、多くの例について河口閉そくを含む河口処理の問題を手がけてきたが、本文では島根県神戸川を例にとつて河口閉そくとその防止策の考え方を述べることにする。

河口閉そくには、それを生ずるある限界流量があることが経験的に知られているが、それがどの程度のものであるかは、明瞭でない。河口処理を手がける上にその大体の値を知っておくことはきわめて重要であるから、まづ河口閉そくを生ずる限界流量について述べる。

次に、風あるいは波浪と河口漂砂とをいかにして関係づけていくか、その方法を説明する。

II. 河口閉塞を生ずる最低流量

(1) 神戸川の概況 神戸川は島根県飯石郡赤名町女亀山に発し、それから約 80 km の間は山間部を流れ河口より約 11 km の馬木に至つてようやく簸川平野に出て日本海に注ぐ、全流域面積は約 500 km² である。

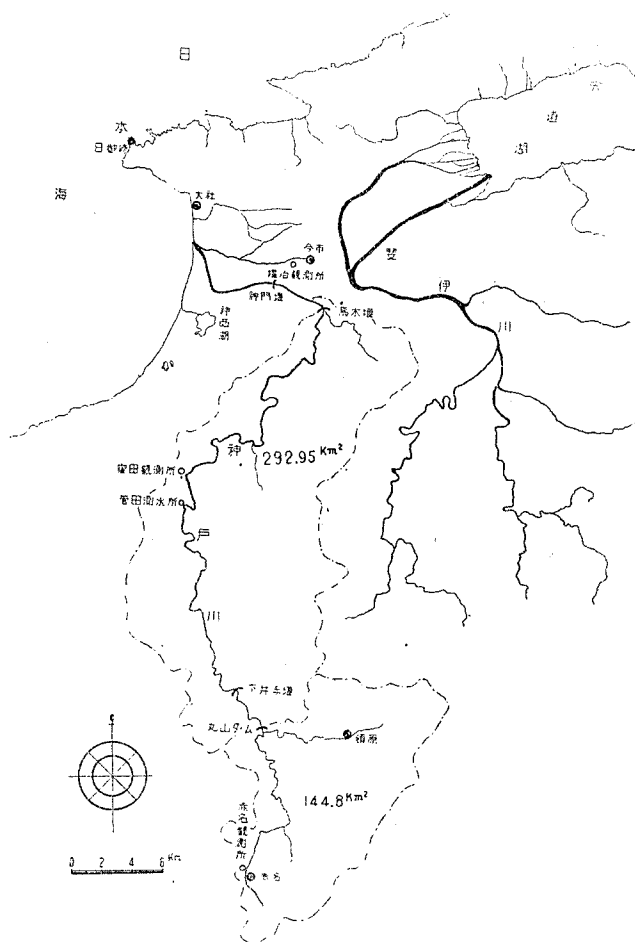
神戸川における流量観測は中流部窪田村管田発電所において大正 3 年以来続けられている。通産省発行の流量要覧により既往 27 年間の平均を示せば次のとおりである。

豊 水 (m ³ /sec)	平 水 (m ³ /sec)	低 水 (m ³ /sec)	過 水 (m ³ /sec)	年平均 (m ³ /sec)
11.40	7.17	4.82	2.82	11.10

また豊原博士の調査¹⁾によれば、既往 30 年間の神戸川流量の経年変化は図-2のごとくである。図には各年の平均流量および各年のかんがい期間(6~9月)中の平均流量並びに各年の非かんがい期間 8 カ月の平均流量を記入してある。

これによると、非かんがい期間の流量変化はかんがい期間の流量変化にくらべて小さく、全年の流量変化は主としてかんがい期間中の流量変化に支配されている。すなわち全年平均流量の較差が大よそ 6 m³/sec であるに對しかんがい期間の平均流量の較

図-1



1) 豊原義一：神戸川電源開発に伴う下流の農業用水について、昭和 28 年 12 月。

図-2

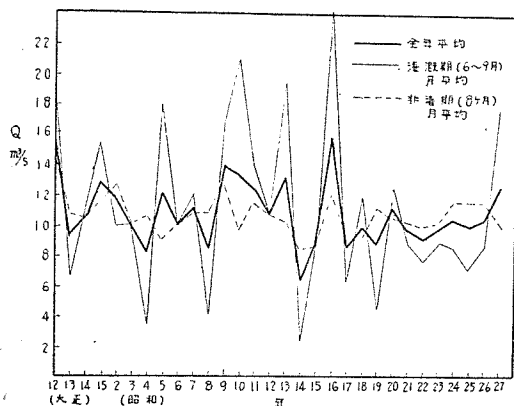
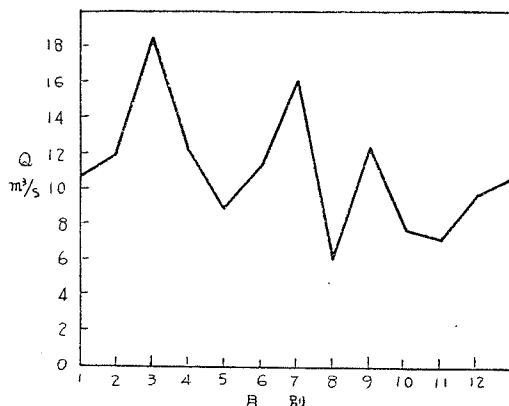


図-3



差は $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ にも及ぶが、非かんがい期間の較差は大体 $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度である。

またこの 30 年の経年変化をみると豊水と渇水とが 4, 5 年の間かくであらわれている。

次に管田における月別流量を図-2 の 30 年について調べると図-3 のごとくである。8 月が最低水で 7 月と 9 月が豊水であることは山陰地方の共通の性質であり、3 月の豊水は融雪水である。

(2) 流量, 風, および河口巾の関係 漂砂のある海岸の河口は、河川の流量とその場所の漂砂との影響のもとに形成されるものである。太平洋岸のごとく潮差の大きい海岸では潮汐の影響も考えなければならないが、神戸川は潮差の少ない日本海に注ぐのであるから潮汐の影響は一応除外して考えてもよいであろう。従つて神戸川の調査にあつては上流馬木堰(河口より約 11 km)の流量をもつて河口の流量と考えた。また漂砂量をあらわすパラメーターとしては、神戸川河口における海風の資料を用いる方針をとつたが、神戸川の風資料は昭和 28 年以降にかぎられているので、付近の日御崎灯台の資料との相関関係をしらべた上、日御崎灯台の資料によつて神戸川を代表せしめることとした。

a) 馬木堰流量の算出: 馬木堰の流量は昭和 16 年以降においては毎日の平均流量が通産省発行流量要覧に発表されている。一方川巾の実測資料となる汀線測量は昭和 13 年から行われているので、馬木堰流量が不明の昭和 13~15 年の期間は、管田流量から馬木流量を推定することとした。

その方法としては両地点の比流量の比と管田流量との関係を定めてそれを用いた。比流量にすれば、雨量の資料を使わずに直接管田流量から馬木流量を算出しうる利点がある。使用した記録は昭和 16 年および 17 年の 2 年間のものである。

図-4 は管田流量と(馬木比流)/(管田比流)との関係を示すものである。図中○あるいは△の点は流量が大きく出水があつたと思われる場合であるが、これらの点は平均値からのはずれが比較的大きい。これは出水の場合に流量ピークが両地点でづれるためと考えられる。河口閉そくに特に重要な小流量の場合であり、従つて流量の大きい場合のピークの時間的ずれはそれほど重要性をもたないから、いまの目的には図-4 の実線で示した平均値で毎日の流量を推定してさしつかえないと考えられる。

図にはまた各月の平均流量から求めた月平均比流比を×で示したが、×の点は実線の平均値曲線にかなりよのつている。

比流比は管田流量約 $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ で 0 で、それから約 $14 \text{ m}^3/\text{sec}$ まで増加して最大値 0.94 を示し、その後減少して管田流量 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上ではほぼ 0.90 なる一定値を示す。

比流比の値は、かんがい期と非かんがい期で異なつた性質を示すかも知れないので、図ではかんがい期を●で非かんがい期を▲で記入したが、図にみられる範囲では、両者に差異は認められなかつた。

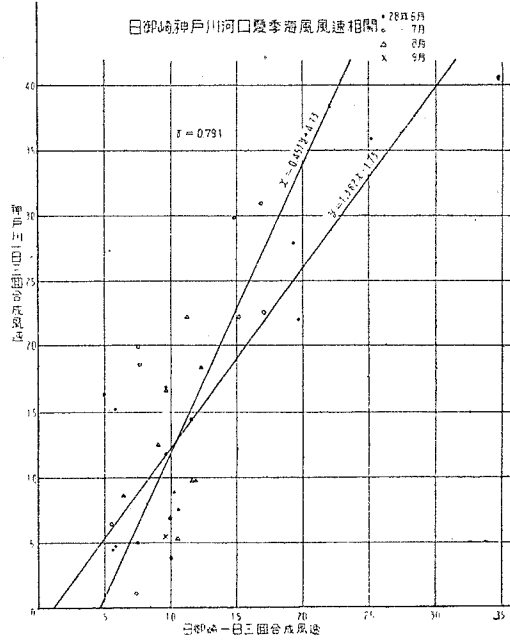
b) 風の資料: 日御崎においては古くから風の観測が行われており、もちろん昭和 13 年以降の資料は入手できた。神戸川河口の風の観測は昭和 28 年に始められた。日御崎においても毎時の自記記録がとられたのは、昭和 28 年以降で、それ以前は 1 日 3 回の観測である。昭和 28 年以前における神戸川河口の風の状態を推定するには日御崎の資料を利用するほかないのであるが、両地点とも資料のそろつている昭和 28 年の記録について、風速・風向の相関関係をしらべることとした。

まづ 1 日 3 回(6 時, 14 時, 22 時)の風速・風向をベクトルの合成して合力の大きさと方向とを定めた。

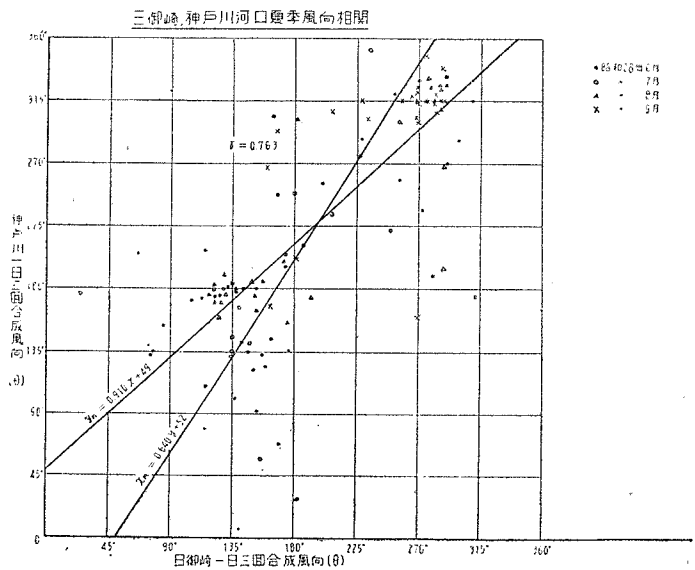
漂砂の量をあらわすパラメーターとして風を使うのであるから、毎時刻の風速・風向よりむしろ1日を単位とするような比較的長時間の平均値が重要であるとの考えから上述のごとき整理方法をとつた。また陸風は海風と異り局地の地形的な影響をうけることが多く、また波浪の原因として考える場合も海風と同じ効果をもつものとはみなし得ないから、合成風を海岸線の方角で区分して海風と陸風とに分けて扱うこととした。

次にまた季節的に両地点の風の相関関係が異なることを予測して、冬期(12~2月)、春期(3~5月)、夏期(6~8月)、秋期(9~11月)

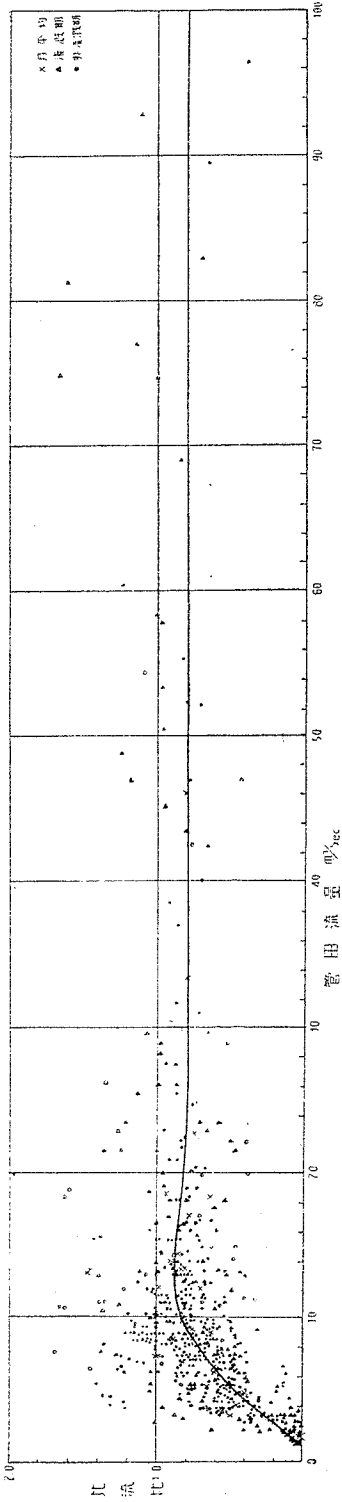
図—5 (a)



図—5 (b)



図—4



の4期について資料の比較を行つた。風向は角度であらわし北から反時計まわりに測つて比較した。一例として図—5に夏季の海風風速および風向の相関関係を示した。海風速は強風の場合に神戸川において日御崎よりやや大きく、風向角度は神戸川において日御崎より大きく、風向が西あるいは南に偏する傾向がみられる。相関係数 r は風速で $r=0.79$ 、風向で $r=0.76$ で風の相関としては両者ともかなり高い値と云える。

表—1 に各季節の海陸風の相関係数と回帰直線の式とを示す。

表—1 日御崎と神戸川との風の相関

季節	海 風				陸 風			
	風 速 (m/sec)		風 向 (°)		風 速 (m/sec)		風 向 (°)	
	回 帰 直 線	相 関 係 数	回 帰 直 線	相 関 係 数	回 帰 直 線	相 関 係 数	回 帰 直 線	相 関 係 数
冬期 (12~2月)	$y=1.46x-1.87$	—	$y=0.93x+42$	—	$y=0.71x+2.50$	—	$y=0.93x+42$	—
春期 (3~5月)	$y=1.25x-1.67$	$r=0.85$	$y=0.86x+40$	$r=0.85$	$y=0.64x+3.04$	$r=0.60$	$y=0.86x+40$	$r=0.85$
夏期 (6~8月)	$y=1.38x-1.73$	$r=0.79$	$y=0.91x+49$	$r=0.76$	$y=0.87x+0.65$	$r=0.89$	$y=0.91x+49$	$r=0.76$
秋期 (9~11月)	$y=1.67x-2.07$	$r=0.69$	$y=1.0x+44$	$r=0.87$	$y=0.79x+1.95$	$r=0.83$	$y=1.0x+44$	$r=0.87$

y : 神戸川 x : 日御崎

ただし上表中冬季の値は欠測が多かつたため秋季と春季との 平均値であつて実測にもとづくものではない。風向は海・陸風によつて差異が認められず、両者を一括して相関をしらべた。

表—1 にみられるとおり、年間を通じての神戸川と日御崎との風の相関関係はかなり密接で、日御崎の資料をもつて神戸川の風の状態をあらわすことができる。著者は河口漂砂に関係するのは 海風が主で陸風は影響が少ないとみて、以下海風にのみ注目して整理を進めた。

c) 河口流量、風および河口巾の関係：漂砂海岸における河口巾は、河口流量と河口漂砂との相互の釣合いの下に形成されるものと考えられるが、そのうち河口漂砂は波によつて生ずるものであり波はまた風で生ずるから河口漂砂は風で代表させうると考えられる。

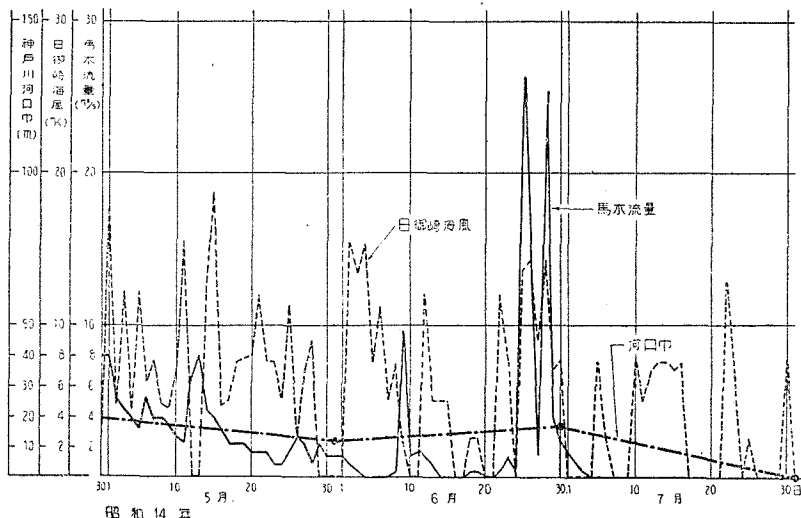
図—6 は昭和 14 年 5~7 月の間の河口巾、馬木流量および日御崎海風の三者を示したものである。図において 6 月 30 日測定の日御崎 17 m は 6 月 30 日の流量ではなく、それより以前の 6 月 25 日の流量 26.2 m³/sec によつて定まつたものとみるべきであらう。また 5 月 31 日の河口巾 12 m も 5 月 13 日に生じた 7.9 m³/sec なる流量に対応する河口巾がその後の河口漂砂によつて縮小した結果であると考えられる。

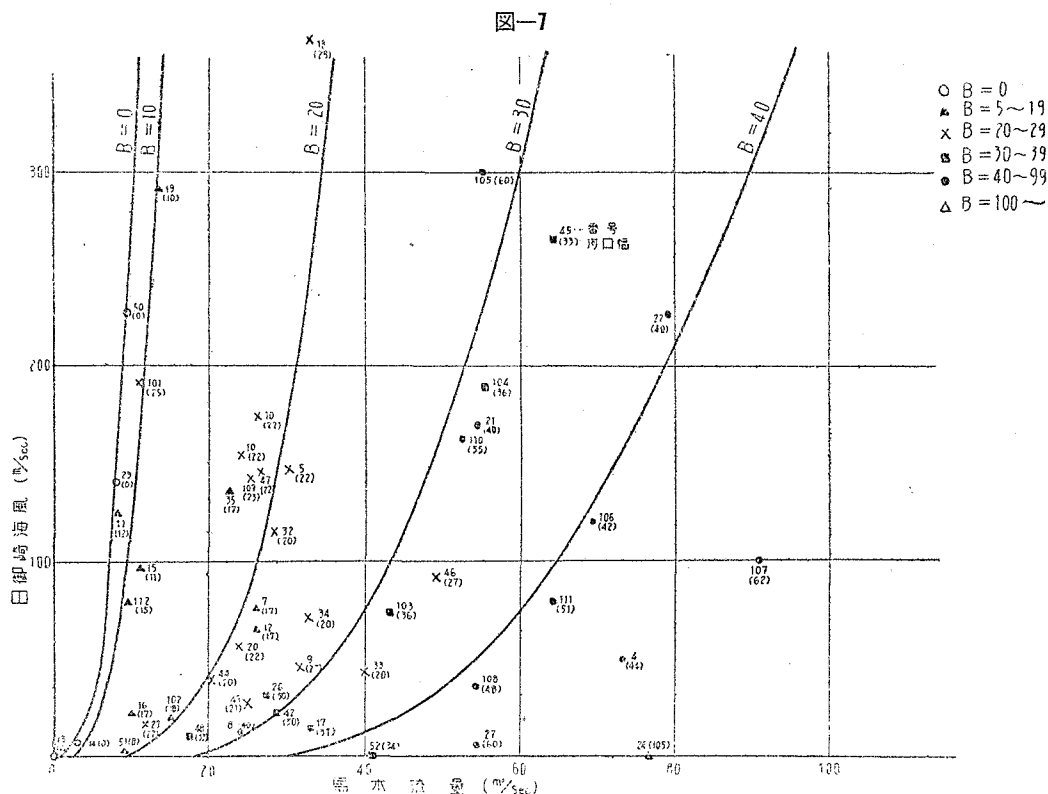
そこで河口巾、河口流量および風の間の関係を定めるに、河口巾実測日またはそれ以前に生じた極大流量（河巾支配流量）とその日以後の海風累計値（1 日 3 回）とで河口巾が定まつたものと考えた。

このような考え方の下に昭和 13~17 年、昭和 27.12~28.12、昭和 25 年および 26 年の期間中に行われた合計 65 回の汀線測量結果から河口巾と馬木流量および日御崎海風の関係をしらべて 図—7 を得た。

図—7 によれば流量小さく 海風累計値の大なるほど河口巾は小さくなる傾向がみられる。また河口巾の大きな

図—6





所で点は多少散乱するけれども、河口閉そくに特に重要な川巾のせまい所では点の散乱も少なく、いまの目的にはほぼ満足しうる結果である。

(3) 河口閉そくを生ずる最低流量 図-7 から得られた重要な結論は

1. 馬木流量が約 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ を下らなければ、海風累計値がいかに大となつても、すなわちいかなる時化によつても河口の完全閉そく（川巾 $B=0$ ）は生じない。

2. 完全閉そくが生ずるときの馬木流量と日御崎海風累計値との関係は表-2のごとくで、流量のわずかな増減が河口閉そくに大きく関係することがわかる。

表-2

流 量 (m^3/sec)	10	7.5	5.0	2.5
海風累計値 (m/sec)	230	110	25	5

例えば流量が $2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度にさがればごくわずかの風で河口

が閉そくするに對し、流量が $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度であれば $10 \text{ m}/\text{sec}$ 程度の風が 7~8 日も吹き続けなければ 河口が閉そくしないわけである。

III. 河口漂砂の特性

(1) 河口漂砂と風、流量との関係 前章に求めた河口巾、流量、風の関係から河口閉そくは流量がある限度以下に減じ、そのときに風が限度以上に吹けば起ることがわかつた。

本章においては河口漂砂の方向をしらべ、いかなる状況の下で河口閉そくが起るかを明らかにしたいと思う。

そこで昭和 13~17 年および 28 年における河口付近の平面図から河口の位置および河口の走行をしらべた。河口の位置としては河口巾の中点をとり前月の位置と比較して偏移量を求め、付号としては便宜上右岸に寄るものを + 左岸に偏移するものを - と定めた。これを図-8 の上二段 (a) と (b) に示した。

これによると偏移量は +, - 同程度の大きさでしかも季節的に共通の傾向をもっていることがわかる。すなわち、11~12 月の間は一般に偏移量は - で、4~6 月の間は偏移量が + である。

河口の走向は偏移量が - のときは WSW の方向をとり偏移量が + のときは WNW の方向をとる。

偏移量が + で走行が WNW の方向をとることは、漂砂が左岸側から右岸側の方向をとっていることを意味し、偏移量が - で走行が WNW の方向をとることは、漂砂が右岸側から左岸側に向いていることを示すと考えられる。

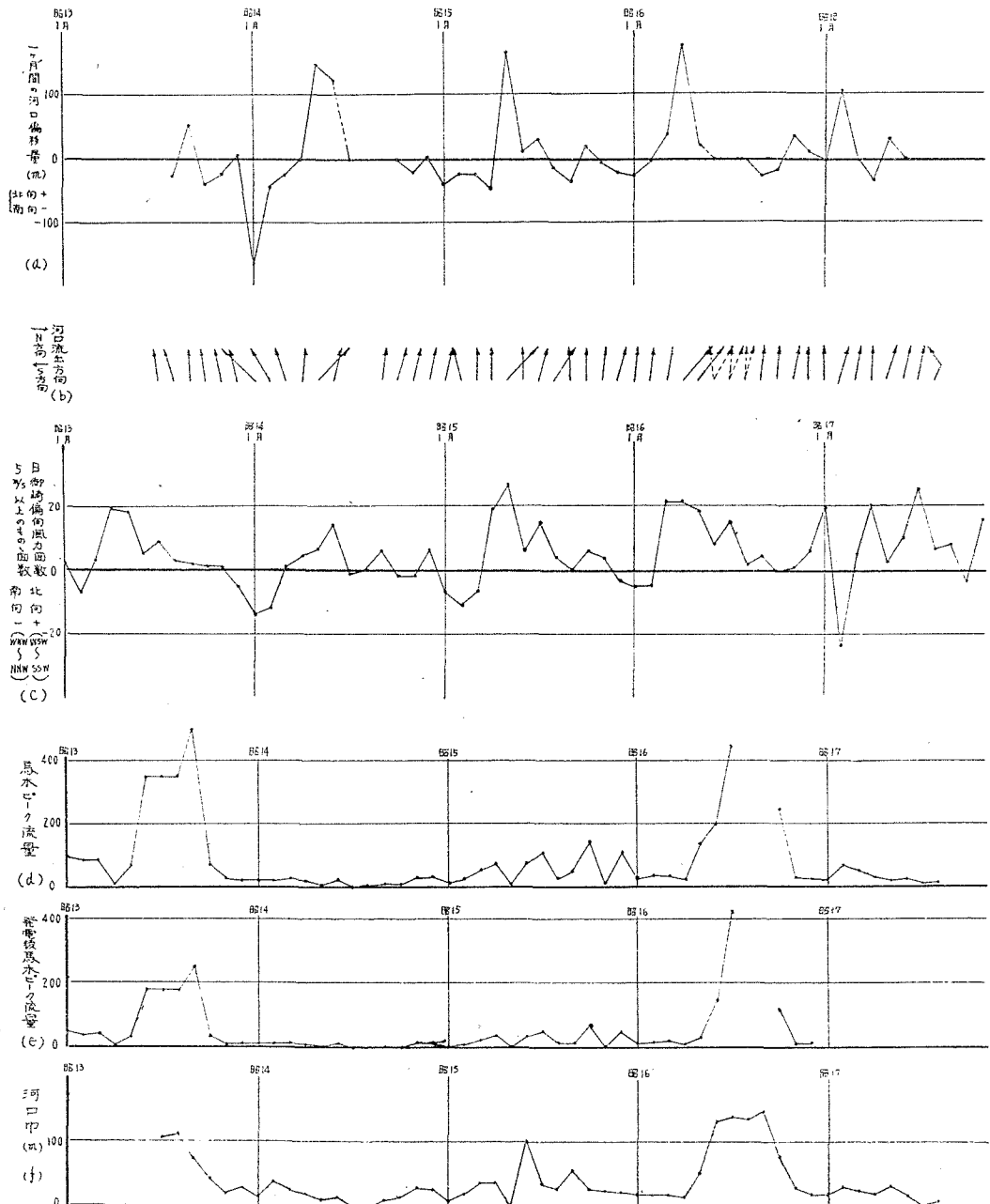
そこで漂砂の方向を支配するものは風の方であると考えられるから、各月の日御崎の風資料のうちから 5 m/s

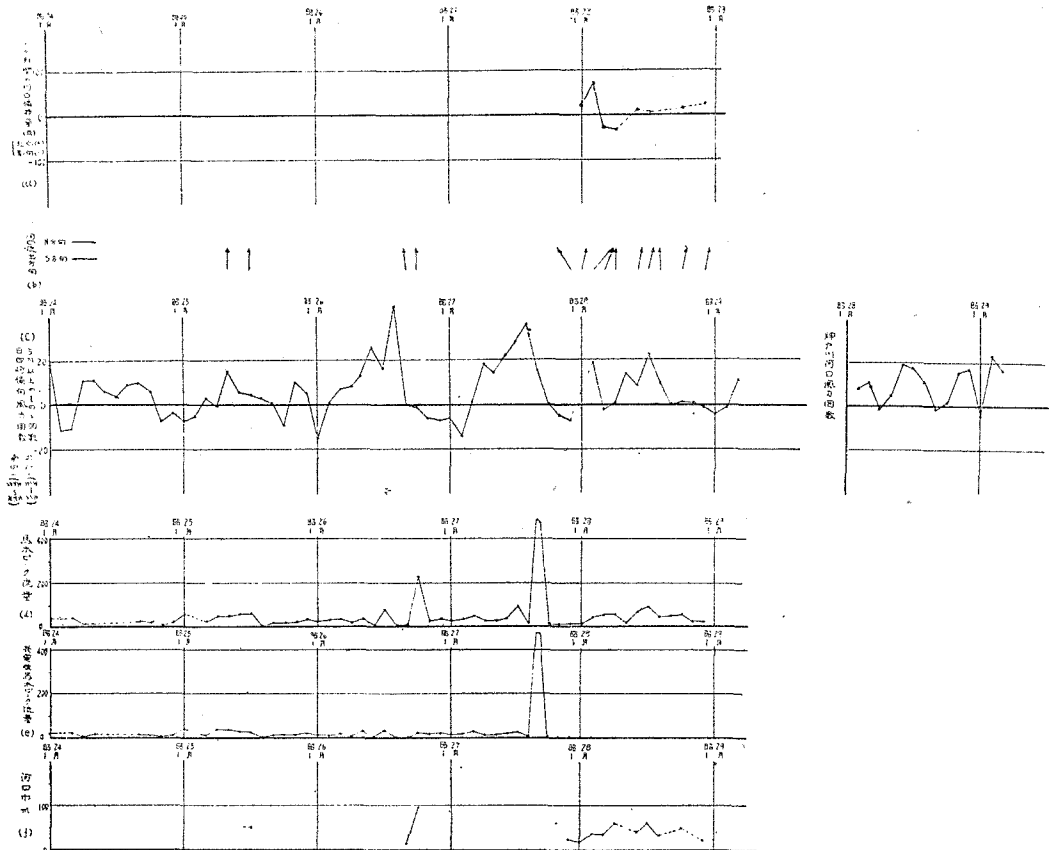
以上のものをえらび出し、SSW~W方向のものとNNW~W方向のものと回数の差を求めた。ただし回数の積算にあたっては、10 m/sec 以上のものは2回と算定して 5 m/s~10 m/s の回数に換算した。これを 図-8 (e) に示した。

図 (a) と (c) とを比較すれば、両図は定性的にはきわめてよく一致した傾向をもっていることがただちにわかる。風向回数が+で SW 方向の風の回数が多いときは偏移量も+となり、風向回数が-で NW 方向の風の回数が多いときは偏移量も-となり、偏移量の大小もほぼ風向回数差の大小に対応している。

13.8~10月, 16.4~7月および 17.1~6月は風の回数と偏移量とが一致した傾向を示していない。これは図 (d) の馬木流量から説明される。流量がかなりの大きさに達すれば河口巾は広くなり、海に向つて最急勾配の最短距離を流れる傾向をもつから、河口の偏移量および河口の漂砂の方向とあまり関係がなくなる。13.8~10月, 16.4

図-8





～7 月はいずれも馬木流量が $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水の時期である。またこの区間の河口の走向はほとんど海に向つて最短距離をとつている。この例は 27. 10 月にもみられる。また 17.1～6 月是新内藤川がきれて海岸砂丘を破つて直接海に通じたため、神戸川右岸の海浜が神戸川と新内藤川との両者によつて押し流され、そのため一時的に河口が極端に右岸に偏したものであり 16.9 月以前に生じた大きな出水の影響とみることができる。

以上の結果を総合すれば河口漂砂の特性に関し次の結論が得られる。

- (1) 河口漂砂の方向は、神戸川河口の風の方角によつてきまる。SW 方向の風が多い月には左岸から右岸へ向う漂砂が生じ、NW 方向の風が多い月には右岸から左岸に向う漂砂が生ずる。
- (2) 年間を通じて考えれば、この河口漂砂の活性度はどちらへ向くものも同じ程度で、特定の方向が特に強いということはない。
- (3) 漂砂の方角をしらべるための風向の表示方法としては 5 m/s 以上の風をえらび SSW～W の方向のものと NNW～W 方向のものに 2 分して総計してその差をとればよい。この場合 10 m/s 以上のものは総計に当つて回数を 2 倍して加算すればよい。
- (4) 流量が $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上にも達すると、河口の走向は風に無関係に海に向つて最急勾配の最短距離をとるような方向となる。

(2) 風と波浪の関係 神戸川河口より左側約 200 m の位置に波浪観測用の ヤグラおよび浮子を設置し、陸上から波高および周期を測定した。期間は昭和 28. 10. 10～11. 5 日の間にある。その結果を表一 3 に示す。これから波高と風速との関係を図示すれば 図一 9 のごとくで点はかなりばらつくが、図中の直線は平均値を通るように引いたものである。波高は風速のみでなく対岸距離、風の吹続時間に関係するから図中の点のちらばりはむしろ当然であろう。また図には陸風の場合の測点も示したが、当然のことながら海風にくらべて波高はかなり小さい。従つて II. において行つたごとく、河口閉そくに陸風の効果を除外して考えることは妥当である。

図から概略の見積りとしては、風速 $5 \sim 10 \text{ m/s}$ の海風に對して波高は $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 、風速 10 m/s 以上の場合には波高 $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ と考えてよいことが結論される。

次に風速と波の周期との関係をしらべると 図-10 が得られる。これによると周期は波高と同様に風速の増加函数であつて、風速 5~10 m/s の場合に周期は約 5 s, 10 m/s 以上の風速に対して約 7 s と見積つてよいことがわかる。

海岸の漂砂を考える上には砕波点の位置をしらべることが重要であつて、砕波点より岸側の部分が特に漂砂のはげしい地帯となつている。

観測した砕波点を風速と結びつけると 図-11 が得られる。砕波点は風速の増加とともに沖に移動し、風速 5~10 m/s では平均砕波水深は 2.5 m, 風速 10 m/s 以上では約 4 m となることがわかる。

(3) 底質とその移動限界 昭和28. 10 月に底質の性質をしらべるため採泥を行つた。その範囲は 図-12 に示すとおりである。

各測点における底質の平均粒径を求め、水深と平均粒径との関係をしらべると 図-13 のごとくである。図にはほぼ河口の位置にあたる測線 No. 12 を境界としてそれより右岸側と左岸側に分けて示した。

漂砂の移動範囲は、波浪による海底せん断力が底質に対応する限界せん断力より大きい範囲に限られる。

一方底質の平均粒径をみると、左右岸とも水深 6.0 m 以上の範囲は平均粒径 0.19 mm なるほぼ一定値を示し、水深 3.5 m までを考えても大部分は平均粒径 0.19 mm である。この底質分布がいかなる波に対応しているかをしらべるため、前節の波浪観測結果を用いて海底せん断力を計算してみる。

神戸川河口の波浪は前述のとおり風速 10~13 m/s 程度の風に対する周期 7~8 s, 波高 1.0~1.5 m のうねりと風速 5~10 m/s 程度の風に対する周期 4~6 s, 波高 0.5~1.0 m の風浪とがある。前者は日本海を風域にもつ大きな起波圏から生ずるものであり、後者はそれ以下の比較的小規模な局地的風域から生ずるものと考えられる。

まづうねりに対して底質の平均粒径と海底せん断力との関係をしらべる。平均粒径 d_m なる粒子の移動限界流速は筆者の研究²⁾ によれば

表-3

月・日時	風速 (m/sec)	風向	波高 (cm)	波高 最頻値 (cm)	周期 (sec)	砕波水深 (m)
10.10 14h 30'	11.5	WSW	100~200	150	7.3	4.20
15h 40'	11.5	WSW	100~150	130	7.0	
16h 15'	11.2	SW	100~200	150	6.9	
10.12 11h 00'	6.0	WSW	40~60	60	4.5	1.50
12h 00'	7.0	WSW	50~80	70	5.0	2.00
12h 30'	7.0	WSW	70~90	80	5.0	2.20
13h 00'	8.0	WSW	70~120	100	5.5	3.00 及び 1.50
14h 00'	9.0	SSW	100~150	120	5.7	3.00 及び 1.50
15h 00'	9.0	SSW	90~130	110	5.4	3.00 及び 1.70
15h 30'	9.0	SSW	100~150	120	5.5	3.00 及び 1.70
10.13 14h 40'	7.6	SSW	70~120	100	4.7	3.00 及び 1.70
15h 30'	6.5	SSW	70~140	110	5.2	
10.24 14h 30'	6.5	SW	20~100	50	3.6	1.50
15h 30'	6.7	SW	20~60	50	4.7	1.70
11. 1 14h 00'	10.8	WSW	70~130	90	6.5	3.55
10.22 15h 30'	6.5	E	10~20	10	6.4	
10.30 9h 00'	9.1	NE	40~60	50	7.3	1:60
11h 00'	12.5	NE	25~80	30	8.3	

図-9

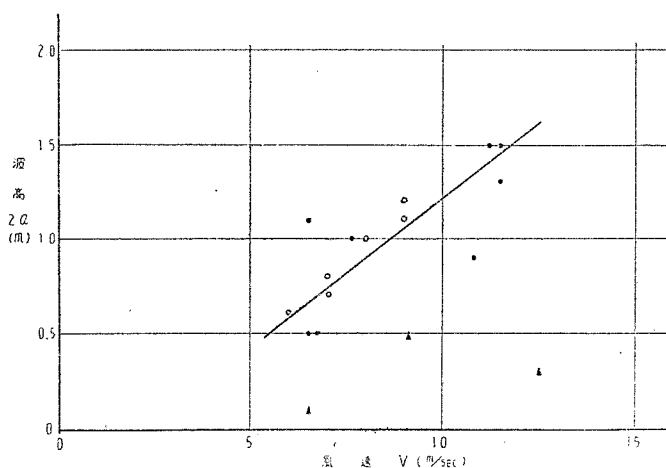
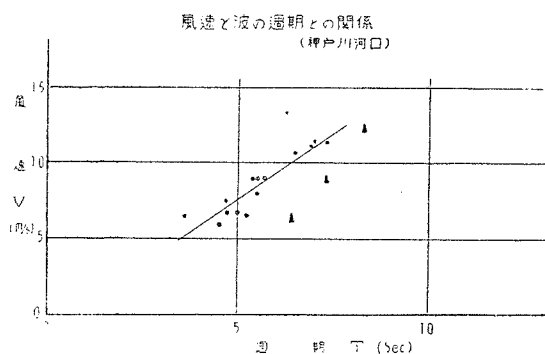
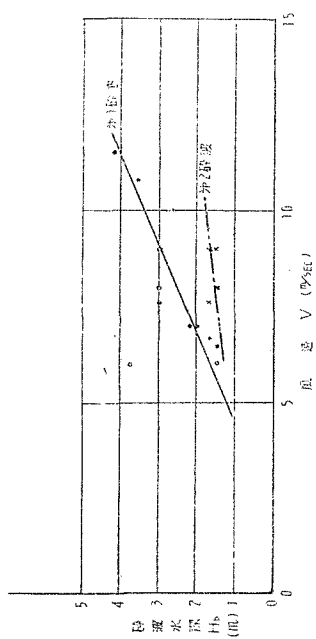


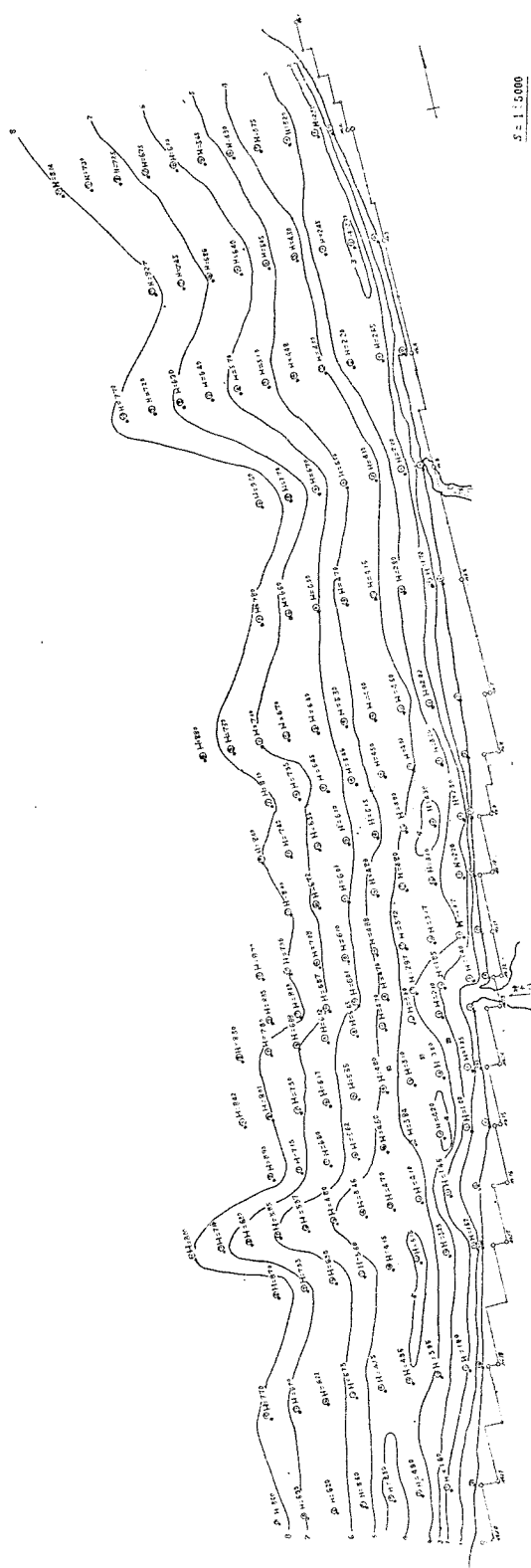
図-10



2) 佐藤清一, 岸 力: 波動による海底剪断力と底質の移動, 建設省土木研究所報告, 85 号。



図面作成機 12-1 図



$$d_m = 2.5 u_m^2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし d_m : 平均粒径 (mm), u_m : 限界流速 (m/s)

一方波動による底面流速は

$$u_m = \frac{\pi a}{T \sinh kh} \dots \dots \dots (2)$$

ここに a : 半波高, T : 周期, h : 水深,

k : 波数 $2\pi/\lambda$, λ : 波長

で求められる。底質の平均粒径は前述のとおり水深 3.5 m より深い部分では $d_m = 0.19$ mm のものが大部分である。(2) にうねりを考えて $2a = 1.0$ m, $T = 7$ s を代入し (1) とあわせて $u_m = 0.19$ mm に対応する水深 h を求めると $h = 5.8$ m となり、うねりに対しては水深 5.8 m より浅い範囲が漂砂帯となっていることがわかる。

次に風浪を考慮して $2a = 0.9$ m, $T = 5$ s に対して移動限界を求めると $h = 3.5$ m となり、風浪に対しては水深 3.5 m より浅い範囲が漂砂帯であることがわかる。

(4) 河口における風の季節的特性 III. (1)

に述べたとおり、神戸川河口における漂砂はかなりの活性度をもち、SW 方向の風の回数が多ければ S→N に向う漂砂を生じ、NW 方向の風の回数が多ければ N→S に向う漂砂を生ずることがわかった。そこでこの漂砂を防ぐためには漂砂帯がどれくらいの水深の点にまでおよんでいるかを知り、その点から漂砂をさえぎるなんらかの構造物を設けなければならない。そのために風速と碎波水深、風速と底質の移動限界との関係をしらべた。すなわち

移動限界水深は

風速 5~10 m/s の風浪では 水深 $H = 3.5$ m

風速 10 m/s 以上 のうねりでは 水深 $H = 5.8$ m

碎波水深は

風速 5~10 m/s の風浪では 水深 $H = 2.5$ m

風速 10 m/s 以上 のうねりでは 水深 $H = 4.0$ m

であつた。このことは風速 5~10 m/s で水深 3.5 m より岸寄りの部分が漂砂帯となり、そのうちでも水深 $H = 2.5$ m 以浅の範囲が特に移動はなはだしく、これが風速 10 m/s 以上になると水深 5.8 m の所から移動し始め、水深 4 m 以浅の場所で特になはだしくなることを意味している。従つて底質の移動限界は構造物の延長の所要最大限度を示し、碎波水深は最小限度を示すと考えられる。移動限界、碎波水深は前記のとおりそこに生ずる波浪の規模すなわち海風速によつてきまるから、構造物の延長はいかなる大きさの風が支配的かによつて決定されねばならない。

図一14 (a) には昭和 13~28 年, 16 年間の日御崎灯台における風の観測資料 (1 日 3 回) から風級 2, 3 および 4 以上の風の回数をしらべ各月別の平均値を示した。

まづ風級 4 以上の風は

12, 1 月が多く平均 5 回を示し, 5~10 月は少なく平均 1 回程度である。

風級 3 の風については

1 月の約 30 回から順次減つて 10 月が最も少なく平均 5 回となり, 11, 12 月と再びふえて 12 月は 1 月よりやや少いが 25 回に達する。

風級 2 の風は

風級 3 のものとはほぼ同様の傾向をもつが, 最低は 8 月において生じ, 3~10 月の間は風級 3 のものより回

図一13

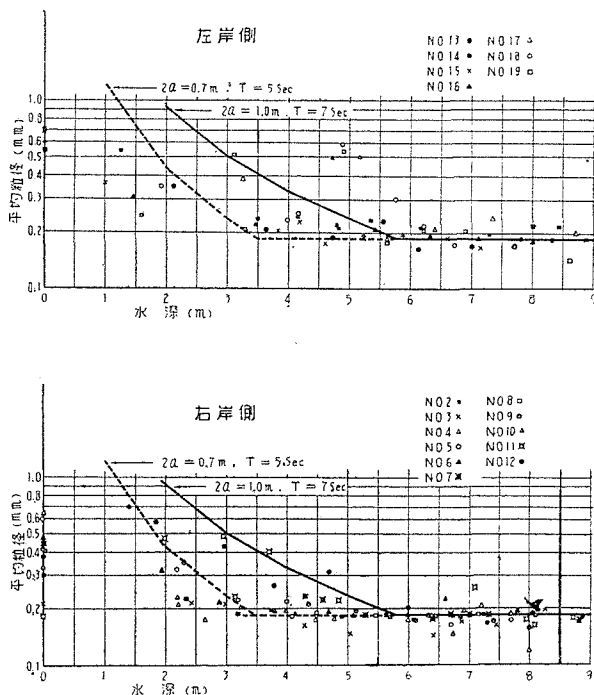
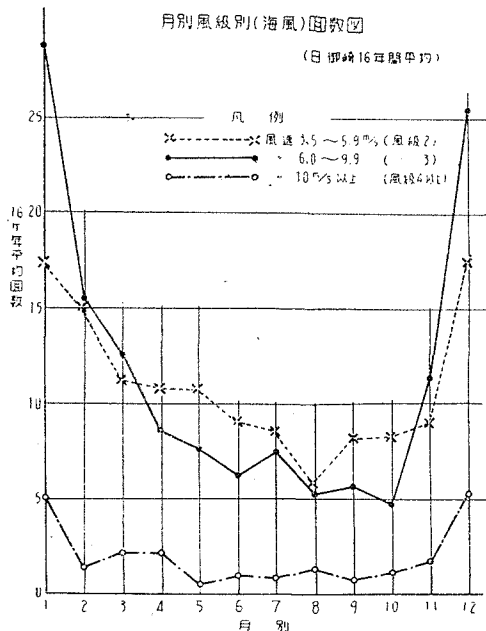


図-14 (a)



数が多くなる。

以上のことから

5~10 月の間では風級 3 の風 (6.0~9.9 m/s) が支配的であり、1 月と 12 月は風級 3 のものが回数においてはもちろん最も多いが、風級 4 以上の風も月に 5 回程度生ずるから、この風の影響もかなりあると考えなければならない。またその他の月はこの 2 つの場合の間にあると考えればよさそう。

これを構造物の先端水深で考えれば

1 月および 12 月では

$$H=4.0\sim 5.8\text{ m}$$

5 月~10 月では

$$H=2.5\sim 3.5\text{ m}$$

その他の月はこの中間にとるべきである。従つて構造物の先端水深は河口閉そくの生ずる 月が何月であるかによつて決定される。

なお上記の風の整理で右岸風, 左岸風に分けたものを 図-14 (b) に示す。4~9 月は左岸風が多い。

(5) 河口の深淺変化 昭和 26 年 9 月と 10 月の深淺図を入手できたので、その比較を行った (図-15)。図にあらわれた特徴は、河口から左岸沿いに侵食部があらわれ、河口前面の水深 3~4 m の位置に堆積部があらわれたことである。

この測量期間内における流量および風の状況は 図-16 のとおりで、風はみるべきものほとんどなく、流量は 10 月の測量の 5 日前 10 月 15 日に 129.8 m/s のかなりの出水が記録されている。これからみれば、図-15 の深淺比較図にあらわれた特徴は出水の影響とみることができよう。左岸沿いに侵食部ができたのは、河口前面に浅瀬があり、その高さが N→S に向つて次第に低くなつてゐるため、流れが左岸寄りに偏したものと推定される。

次の特徴は侵食・堆積のいちじるしい部分が水深にして 5 m より岸寄りの範囲に限られてゐることで、出水によつて河から海へ押し出された土砂は広い範囲に分散することなく、比較的浅い所でしかも河口の近くにとどまることである。

図-14 (b)

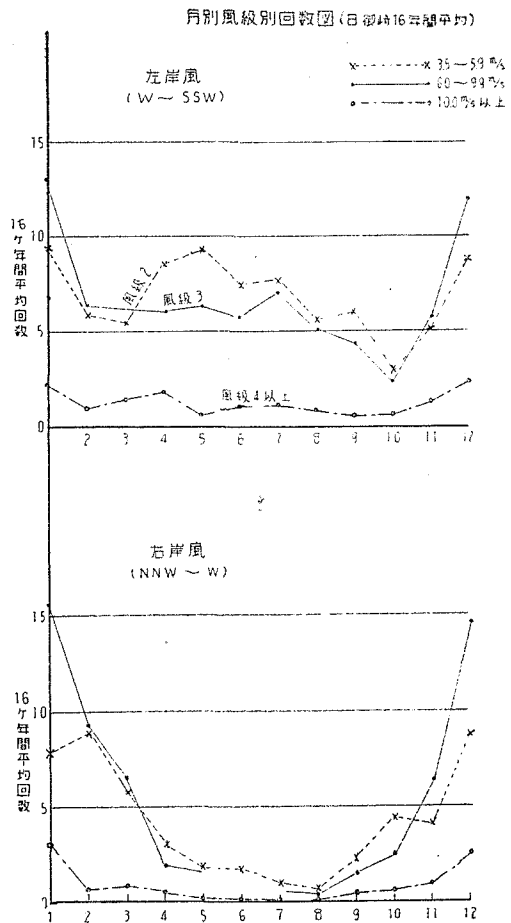


図-15 (a) 神戸川河口深淺比較図 (昭.26.9.20, 昭.26.10.20)

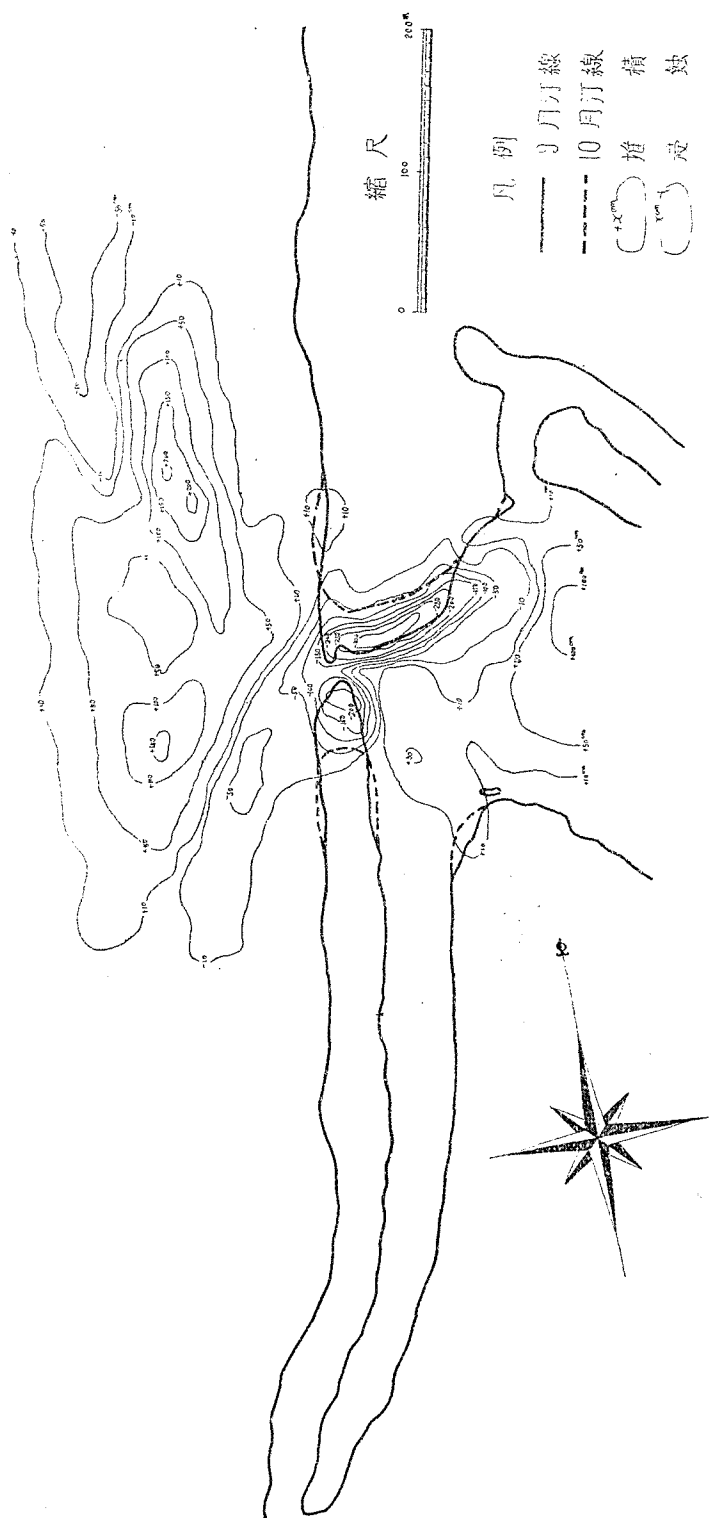


図-15 (b)

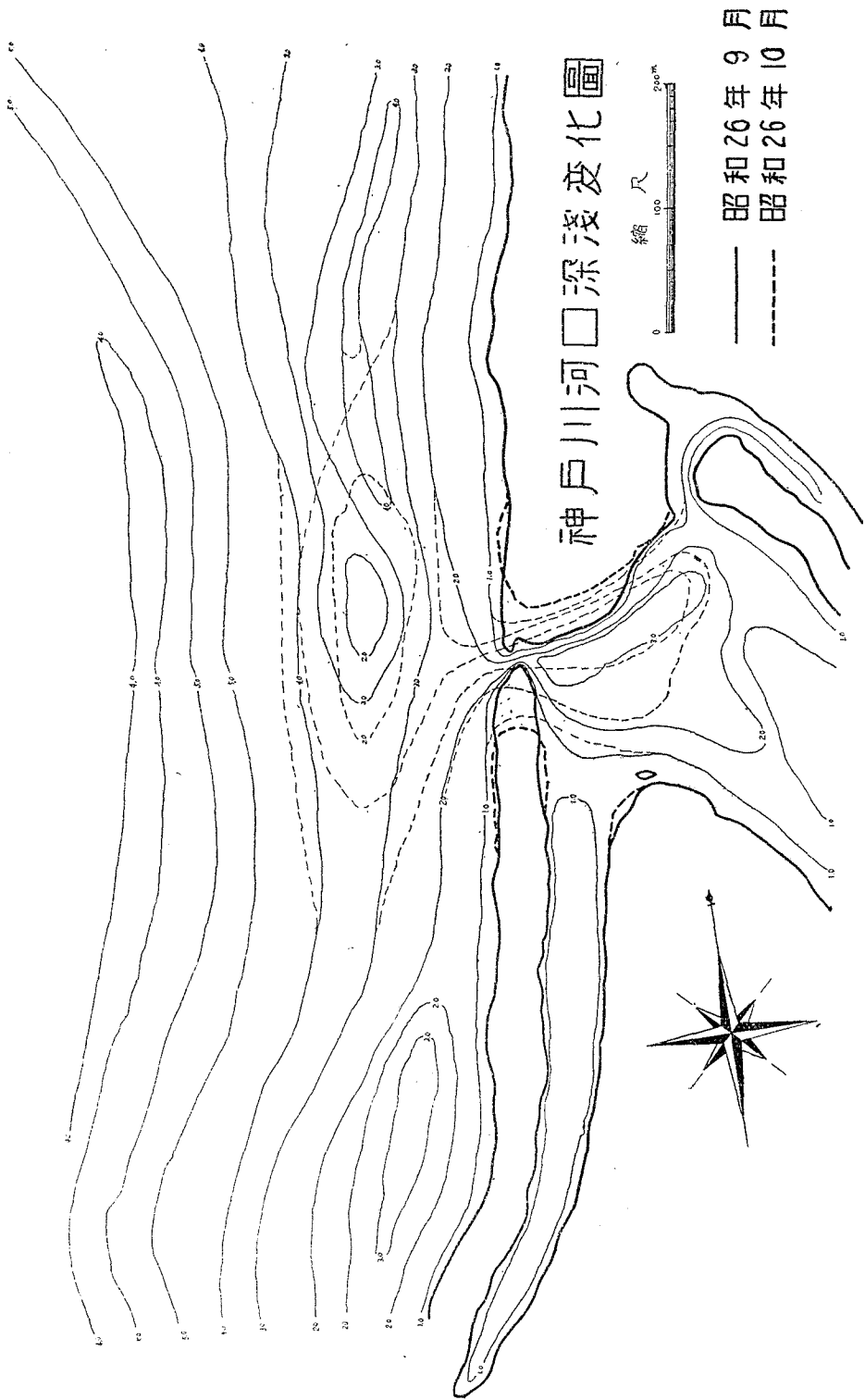
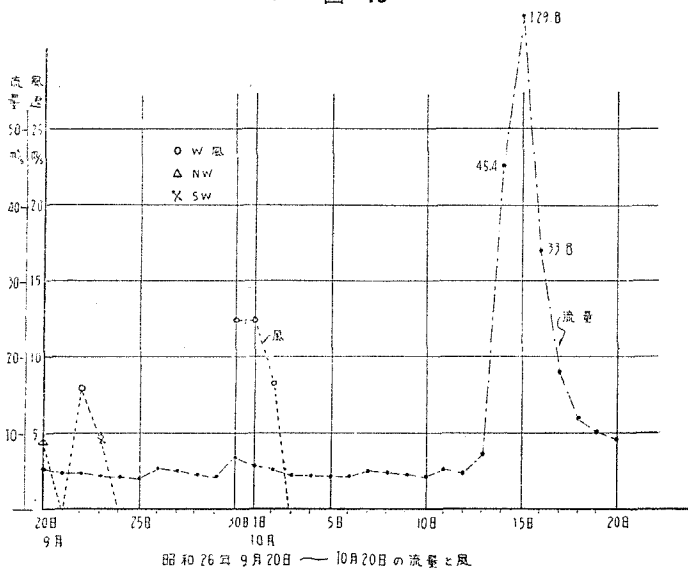


図-16



(6) 河口における流況観測 昭和28.8.26日河口附近において流況の観測を行った。この日の流量は河口において約 $40 \text{ m}^3/\text{s}$ で、夏季としては中等程度の出水であつた。

観測は 図-17 に示した測点 1~6 および 1'~3' の9点で流向、流速、比重および水温をそれぞれ表層、表面下40cmの中層、および底面から30cmの底層で測定した。図-17(a)~(c)は表層、中層および底層における観測結果である。

図-17 (a)

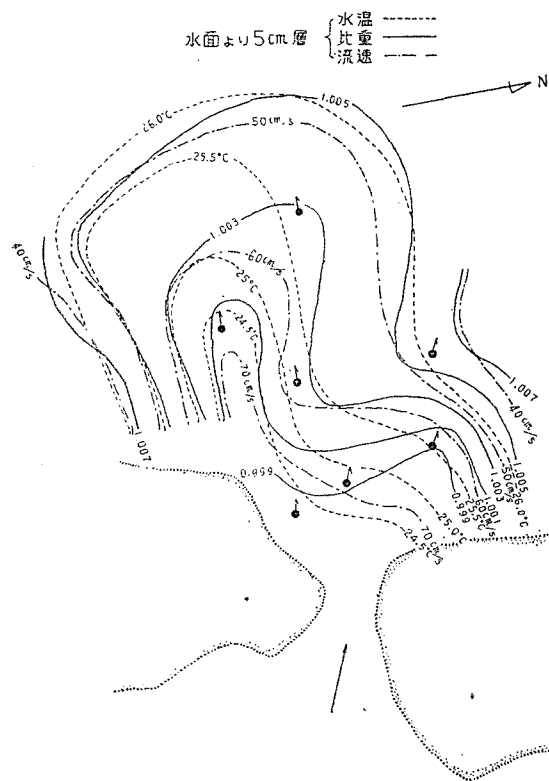


図-17 (b)

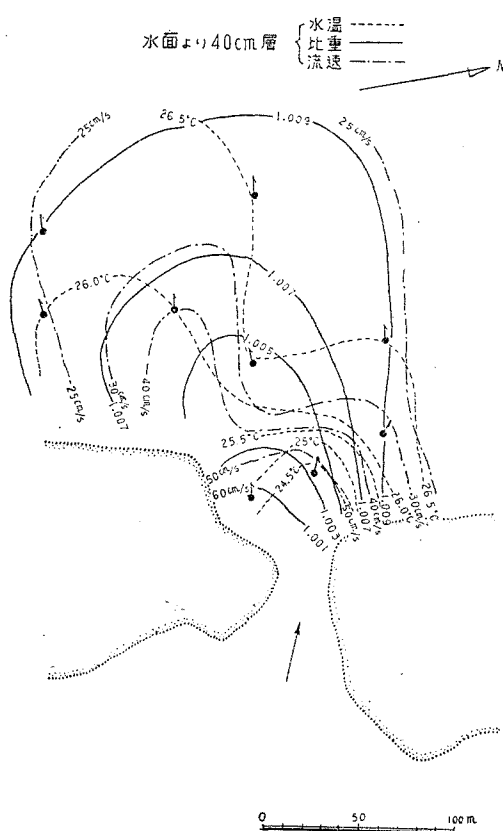


図-17 (c)

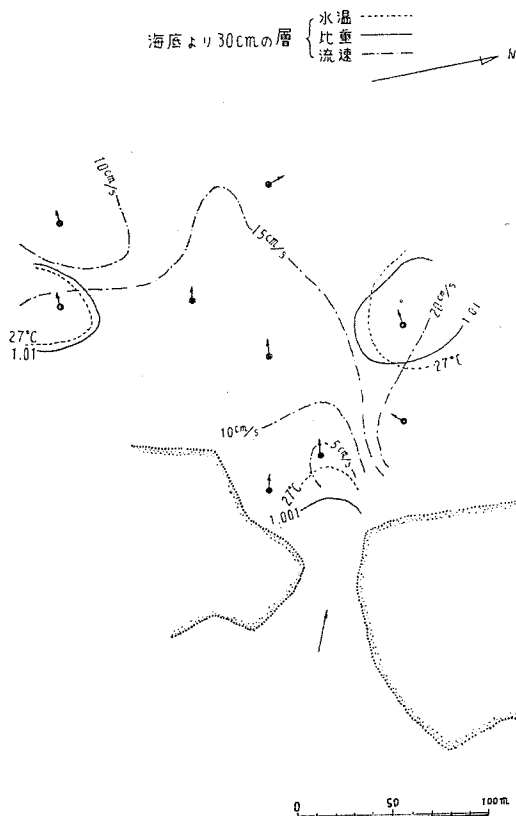
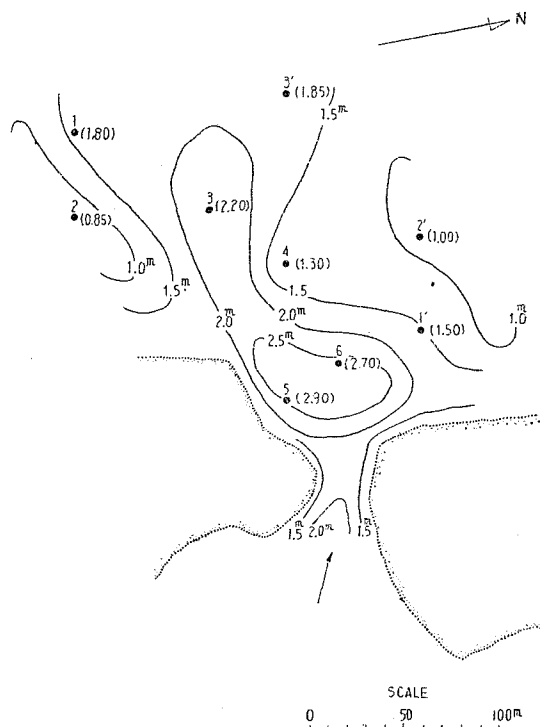


図-18

深浅 8 26.1953



海底地形は 図-18 にみられるとおり河口前面の汀線から約 100 m の位置に浅瀬があり、その中央よりやや左岸寄りの位置に向つて河口から浅瀬をつき抜いて深みができている。

表層流を示す 図-17 (a) をみると、表層では等流速線、等比重線、等水温線は大体にた形を示し、河水が WSW の方向と N との二方向に流れていることがわかる。このうち ENE 方向の流れは WSW 方向の流れにくらべ、はるかに微弱である。

次に中層流である 図-17 (b) をみると流速と水温は表層とほぼ同様の傾向をもち、WSW の方向に向つて河水が流れていることを示しているが、比重はより強い拡散傾向を示している。

図-17 (c) に示した底層では流速小でしかも比重水温とも海水に近く、河水と海水はほとんどまじり合わずに河水が海水の上を流れていることがわかる。また右岸汀線付近は表層と底層とでは流向が異なり、その流向から判断してここでは水平軸をもつ渦ができていると考えられる。また底層における流速は河口直前の深みにおいて 5 cm/s でそれを過ぎると逆に速度が大きくなり河口より W~WSW の方向に汀線から 100 m ほどの沖合まで流速 15 cm/s となつている。このことから、40 m³/s 程度の流量では河口直前の深みは漸次埋設し、流速 15 cm/s の領域における水深 1.5~2.0 m くらいにまで浅くなるものと思われる。

IV. 総括と河口閉そくの防止対策

本章においては前述の調査結果のなかから特に河口閉そくに重要なことがらをとりまとめ、あわせて河口閉そくの防止対策を示す。

(1) 河口閉そくを生ずる最低流量 河口巾と馬木堰流量および日御崎海風との関係を求めて 図-7 を得た。河口巾は流量の小なるほど、海風の大なるほど狭くなるが、馬木流量がある限度以上であれば風がいかにも大きくても河口巾は 0 にはならず完全閉そくは生じない。図-7 によれば、この限界流量は約 10 m³/s であつた。完全閉そくが生ずるときの河口流量と海風累計値との関係は表-3 に示すごとくで、流量のわずかの増減が河口閉そくに大きく関係することがわかる。

(2) 河口漂砂の特性

(a) 河心の移動と走向：河口における河心の移動および走向の変化は河口漂砂の方向を示す標識と考えられるので、昭和 13～17 年および昭和 28 年に行われた毎月の汀線測量図から河心の移動（偏移量）および走向の変化をしらべた。それによると河道は一般に 11～2 月の間には左岸側（南側）に移動し、4～6 月の間は右岸側（北側）に移動する傾向をもち、走向も 11～2 月の間は西南西を向き 4～6 月の間は西北西を向く。

河心が左岸側に移動し走向が西南西であることは、右岸（北）から左岸（南）の方向に漂砂があることを意味し、河心が左岸側に移動し走向が西北西であることは左岸（南）から右岸（北）の方向に漂砂があることを意味していると考えられる。

(b) 河心の移動および走向変化の原因：河心の移動と走向は河の流れと河口に押し寄せる波の大きさと方向との相互作用でできまると考えられる。波の大きさと方向とは風の強さと方向とであらわされるであろうから、各月の日御崎の風資料のうちから 5 m/s 以上のものをえらび出し、南々西ないし西方向のものと、北々西ないし西方向のものとの回数の差を求めた。ただし回数の積算に当つては 10 m/s 以上の風は 5 m/s の風 2 回に換算した。このようにして作られた回数差は時化波の河口に対する総合効果をあらわす標識と考えることができる。

この風の回数差および河川流量と河心の移動量および走向の変化を比較して、以下の結論を得た。

1. 河心が左岸側に寄り、走向が西南西であるときには風は北々西ないし西の方向の回数多く、河心が右岸側に寄り、走向が西北西であるときには風は南々西ないし西方向の回数が多く、しかも河心の偏移量の大小はほぼ風の回数差に対応している。

2. 河心の偏移量は左岸へ寄る場合も、右岸へ寄る場合も同程度で、今回しらべた範囲では月最大約 150 m に達した。この偏移量は風の吹き方、すなわちどちらの方向の風が多く吹くかによつてきまるものである。

3. 出水があつて河川流量が 200 m³/s 以上に達すると河の走向は波浪の影響をうけず、海に向つて最急勾配の最短距離をとるような方向となる。またこのときの河口巾は 250～300 m である。

(3) 漂砂帯 漂砂帯は沖は底質の移動限界水深から始まり、砕波点より浅い部分において、特に活性度が大きい。底質移動の限界水深および砕波点は波浪の性質によつてきまるから、風と波浪との関係がわかれば風資料にもとづいて漂砂帯の季節的な消長を推定することができる。このため昭和 28.10～11 月の間現地観測を行い次の結果を得た。

1. 風速 5～10 m/s の海風に対して波高 0.5～1.0 m、周期約 5 s の波浪が生じ、風速 10 m/s 以上の海風に対しては波高 1.0～1.5 m、周期約 7 s の波浪が生ずる。

2. 陸風による波浪は波高が小さく風速 10 m/s 以上でも波高は 0.2～0.3 m の程度で、漂砂に対する陸風の影響は無視しうる。

3. 波向はほぼ風向に一致する。

4. 砕波点は風速の増加とともに沖に移動し、風速 5～10 m/s では平均砕波水深は約 2.5 m、風速 10 m/s 以上では約 4 m となる。

5. 底質移動の限界水深をしらべるため、昭和 28. 10 月に底質採取を行つた。その結果から平均粒径を求め水深と平均粒径との関係をしらべたところ、水深 3.5 m より深い所では底質の平均粒径は水深にかかわらずほぼ一定の 0.19 mm であるという共通の性質がみられた。そこで平均粒径 0.19 mm なる底質の移動限界水深を計算すれば波高 1.0 m、周期 7 s の波（風速 10 m/s 以上に対応）では水深 5.8 m となり、波高 0.9 m、周期 5 s の波（風速 5～10 m/s に対応）では水深 3.5 m となつた。すなわち風速 10 m/s 以上の風が吹けば水深 5.8 m の所から底質の移動があり、そのときの砕波水深 4 m 以浅では特に活性度がいちじるしくなり、風速 5～10 m/s の風では水深 3.5 m の所から底質の移動がありそのときの砕波水深 2.5 m 以浅で特に活性度がますますことがわかる。

6. 神戸川の河口閉そくは昭和 13～17 年および昭和 24～27 年の実績では冬季の 12～1 月の間にはみられないのであるが、神戸川では流域変更方式による発電計画があり、それによると冬季の 12～1 月にも河口閉そくが生ずることとなる。一方日御崎灯台の風資料をしらべたところでは 12～1 月は風の最も強い月であつて、風級 4 以上（10 m/s 以上）の風が月平均 5 回（1 日 3 回観測）すなわち延べ 2 日ほど吹くことになつており、またこれにづく風級 3（6.0～9.9 m/s）の風ももちろん、12～1 月の間が 1 年中で最も回数が多い。

従つて河口閉そくの防止対策を考える場合、冬期 12～1 月の間においても河口閉そくが生ずるのであるから、漂砂帯として風級 4 以上の風による時化を考えに入れて、底質の移動限界水深を 5.8 m、砕波水深を 4 m にとるべきである。

(4) 河口閉そくの防止対策 河口閉そくの防止対策としては河口に供給される土砂を減ずる構造物を設けなければならないが、構造物としては導流堤と防砂突堤との2つが考えられ、そのどちらを採用するかによつて基本的な設計方針も変つてくるが、もともと渇水期には河口流量が減じて数 m^3/s の程度となることがしばしばあり、流れによつて河口を維持する導流堤の考え方は不適當であり、防砂突堤の考えを基本として出水時にはこれが導流にも役立つようにすべきである。

(a) 突堤の数：III. において河口漂砂の方向は海風の風向によつて支配され、卓越風向の性質によつて平均的には 11～2 月の間は右岸（北）から左岸（南）に向い、4～6月の間は左岸（南）から右岸（北）に向い、どちらも同程度の活性度をもつことを知つた。従つて突堤は河口の左右両岸に少なくとも一本設けなければならない。

(b) 突堤の間かく：突堤の間かくは、出水時の神戸川最大川巾より狭くはできない。今回調査したところでは上流馬木流量が $200 \text{ m}^3/\text{s}$ をこえるときは川巾は 250～300 m であつた。従つて突堤間かくは少なくとも 300 m 以上でなければならない。

(c) 突堤の長さ：突堤の長さは先端が碎波水深より沖まで達していなければならないが、12 月、1 月の間にも河口閉そくが生ずることから、この間に吹く風級 4 以上の風まで考えて最小限水深 4 m の点までの長さを要する。

(d) 突堤の方向：波浪および漂砂の方向と程度は北からのものと南からのものとはほぼ同一とみなしうるので、突堤の方向は西向きでよい。

参 考 文 献

佐藤清一・岸 力：神戸川の河口処理について，土木研究所報告 93 号（未刊）