

海部川河口閉塞処理に関する模型実験結果

徳島大学教授 工学博士 久 宝 保
同 助教授 田 中 要 三

1. 概 説

徳島県の南に太平洋に注ぐ^{カイフ}海部川がある。その流路延長 35 km で、流域面積は山地部 150 km²、平地部 12 km²、合計 35 km² である。図-1 はその河口付近の平面図で、その計画洪水量 1800 m³/s、潟水量約 1 m³/s、現在において、左岸 2012 m、右岸 3502 m が築堤施工済みで、本年も引き続き工事施工中である。河口左岸側には善蔵寺川が合流し、同川は川東町地区の排水路として、農作に係がふかい。沿岸には左岸側に延長約 2.4 km の大里海岸があり、河口にはスピットが発達し、河口港として瀬港がある（図-2）。河口州は幅 60 m、長さ 540 m、最高 AP+3 m、AP±0 以上の量はほぼ 129 600 m³ で、砂利質である。これに対し、現在施工された築堤は天端高 AP+4 m で、州の最高部と堤高の差がわずか 1 m である。瀬港は小漁港で、以前は母川河口にあつたが、河川改修工事により、母川はやや上流部で合流させ、一部廃川とし、現在は海部川河口港となつている。

図-1 海部川河口付近平面図

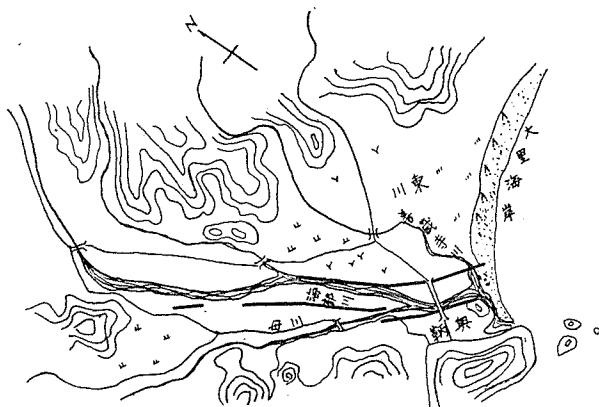
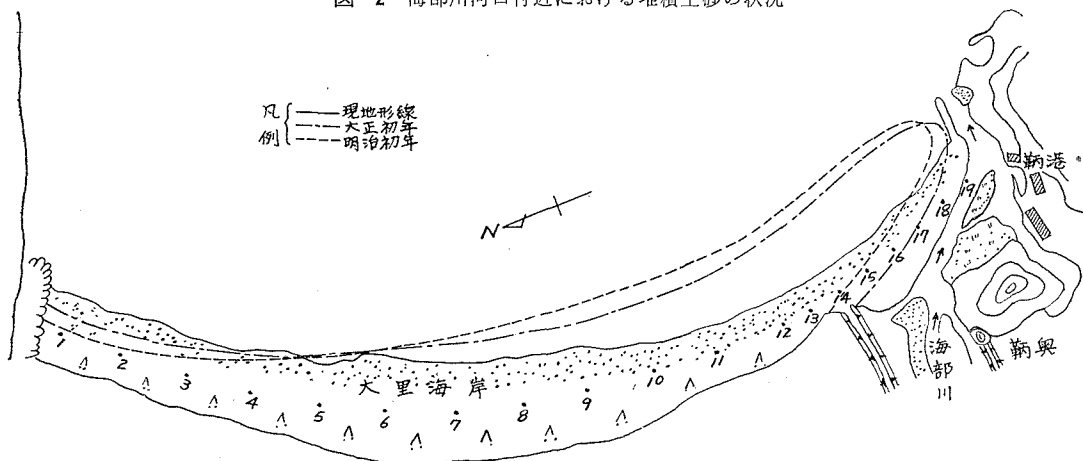


図-2 海部川河口付近における堆積土砂の状況



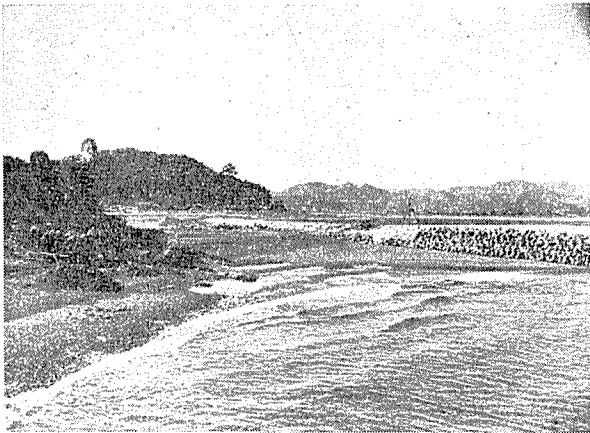
海部川河川の州の消長に関して、正確な資料はえがたいが、ほぼ 図-2 に示したとおりで、河口付近で汀線が約 50 m 後退し、大里海岸の北端で約 100 m 前進しているが、昭和 21 年 12 月の南海道沖地震による地盤沈下、その後の海岸侵食、河川改修工事等に起因したと思われる。

海部川河口州により、つぎのような被害を生じている。すなわち、

- (1) 河口閉塞により、左岸善蔵寺川の排水不能となり、河川流により約 70 町歩浸水による作物の減収。
- (2) 瀬港口の閉塞による漁船の移動困難と、同付近の 620 町歩の浸水と 300 戸の冠水による被害。

以上の2点が主なる被害であるので、現在は洪水前に必死作業により閉塞州の一部を人為的に掘り、あとは洪水流により州を流出させている。しかしなお洪水期間でない時期に河口が閉塞し、毎年上記の被害をくりかえし

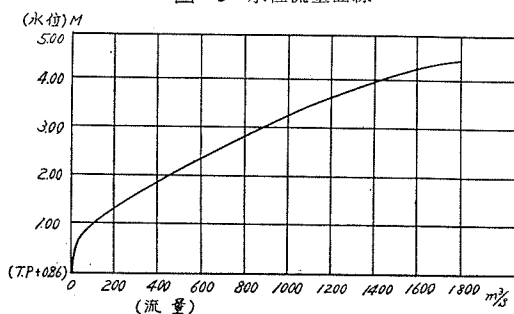
写真—1 河口と港口の閉塞



写真—2 洪水による河口州の開閉



図—3 水位流量曲線



る。とくに善蔵寺川の排水が不能となるのは、水位が 0.5 m 以上の時である。なおそのような渴水位は表—1 より 1~2 カ月間とみられる。

(2) 風

風に関する資料は、河口より約 1 km 上流における記録がかなり整っていることと、河口観測記録とがかなりよく合っていたことにより、上流の記録によることとした。その風向頻度を合計したものを示すと 図—4 であり、風速を方向別に合計したものを示すと 図—5 のようになった。陸より吹く風は一義的に河口閉塞にあまり関係がないものとすれば、南および東の風が頻度も大で、風速もかなり大きい。これとは別に四季別にそれらの図を求めると、冬期渴水期の 11, 12, 1 月の 3 カ月間は南および東の風が少ない。

(3) 波浪

河口の中心より、汀線に直角に沖合 400 m に 2 本の桿を立て、波高、周期、波速をやや荒天時に観測した。そ

ている。写真—1 は河口州（右：テトラポッドの上部）と港口（左）の閉塞状況を示し、写真—2 は洪水後の河口州の流失状況を示したものである。これらの河口閉塞の被害に対し、徳島県ではその対策工事の必要に迫られ、昭和 32 年度に徳島大学へその対策に関する模型実験を委託したが、その後文部省の科学研究費の補助をえて、本年引き続き実験を行なつたので、ここにその結果を発表することにした。

2. 現地調査

海部川河口付近において、模型実験を行なうのに必要な現地調査による資料を示すと、以下のとおりである。

(1) 水位と流量

昭和 26 と 27 年の 2 カ年間の資料が、ほぼそろっているので、その水位の頻度を示すとつぎの表—1 のとおりである。

表—1 0.400 km における水位観測資料

水位 m	頻度 (回)		水位 m	頻度 (回)	
	昭26	昭27		昭26	昭27
0.1—0.2	17	—	1.5—1.6	1	2
0.2—0.3	7	5	1.6—1.7	8	7
0.3—0.4	24	14	1.7—1.8	2	—
0.4—0.5	18	8	1.8—1.9	—	5
0.5—0.6	22	2	1.9—2.0	4	—
0.6—0.7	48	38	2.0—2.1	3	—
0.7—0.8	40	56	2.1—2.2	1	—
0.8—0.9	46	80	2.2—2.3	1	1
0.9—1.0	50	55	2.3—2.4	2	—
1.0—1.1	25	46	2.4—2.5	1	—
1.1—1.2	21	23	2.5—2.6	1	—
1.2—1.3	8	12	2.6—2.7	1	1
1.3—1.4	4	4	2.7—2.8	1	1
1.4—1.5	9	6	2.8—2.9		

(ただし 1 日 1 回測定)

流量観測結果および水理計算による水位流量曲線を示すと、図—3 のとおりである。これとは別に四季別の水位頻度図によると、渴水時は 11, 12, 1 月の 3 カ月間で、水位が 0.5 m 以下となり、流量がきわめて小さくな

図-4 風向頻度合計図

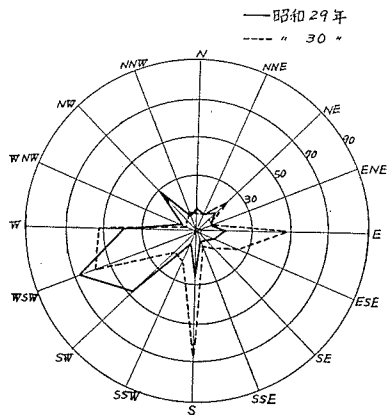
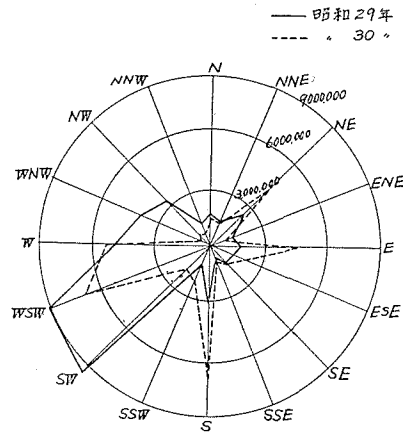


図-5 風速合計図



の結果は表-2のとおりである。ただし、観測の都合上、一つの波の波高、周期、波速は観測されず、それぞれ別個の波の値がえられたので、やむをえずそれらの値を平均することにした。

(4) 底質調査

河口 0.400 km, 0.800 km の2横断、河口州および大里海岸の19断面、港口の断面における底質をとりふるい分け計量を行なつたが、その結果は省略する。

(5) 深浅測量

深浅測量を伴う地形測量を数回実施したが、海底の最大勾配は平均 1/400 で、汀線にはほぼ直交している。沿岸はやや不規則な高低があるが、これらを平面図に示し、模型作製の基礎とした。その資料はここに省略する。

表-2 波浪観測結果

月 日	風 向	観測時間	波高(m)	周期(s)	波 速(m/s)
32.8.19	SSW	12~15時	2.5	9.4	9.9
8.20	S	9~15	3.1	10.1	10.0
9.4	SSE	16~17	2.5	9.5	9.2
9.5	SSE	12~16	2.8	9.5	9.7
9.25	SSE	8~10	2.6	9.4	9.6

3. 模 型 実 験 方 法

艀口の閉塞防止と渇水時の河川の掃流力の増加をはかり、その港口の埋没を防ぐと同時に、善蔵寺川の排水を

図-6 実験用水槽図

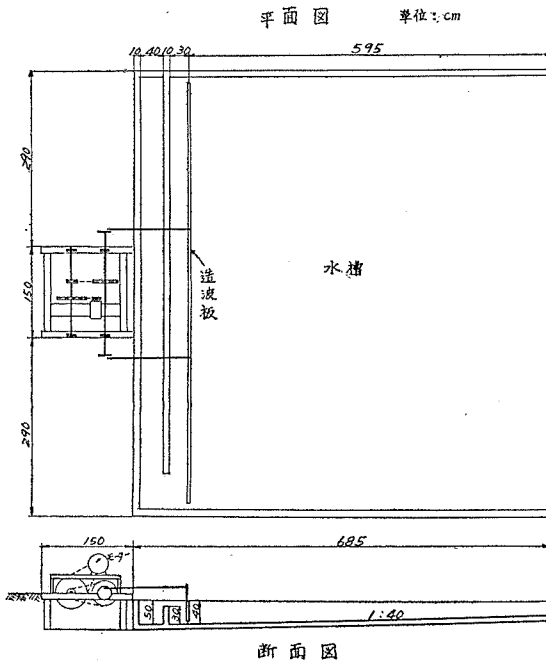
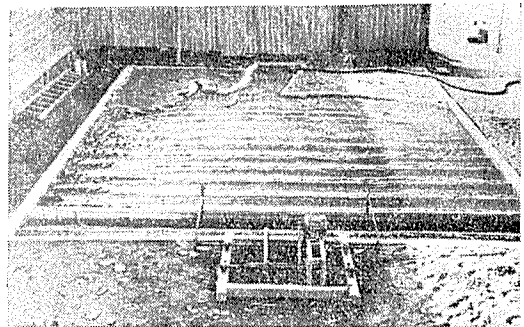


写真-3 実験状況



容易ならしめるために、現在の右岸堤を延長して、港と河川とを分離し、河川流を直進的に海へ放出するような締切堤を設けることを考えた。

つぎに河口州の堆積により、なお河口閉塞を防止する目的で、海岸線より沖へ向つた導流堤によることが考えられる。

さらに河口州の処理に対して、種々なる工作物が考えられるが、河川の水位の長時間の上昇が許されず、経済的に効果の十分なることが考慮されると、できるだけ短い導流堤以外にはよい工法がないように思わ

れた。ここに、本模型実験の目的は、もつとも経済的で効果的な導流堤の位置、形、配置の選定にあることになった。また本実験費もできるだけ安価に、しかも限られた金額内で行なわれる必要があつた。つぎに簡単に実験設備とその実験方法とを述べることにする。

(1) 実験設備

図—6 および写真—3 に示すような現地の縮小模型を作製した。水槽は $7.300\text{ m} \times 6.850\text{ m}$ で、一方に造波機を設け、他方に海部川の一部と海岸模型をつくつた。縮尺は縦横ともに同じく $1/300$ である。海岸線、河川堤防の流れおよび波浪によつて移動しない部分はセメントモルタルを用いた。海底には砂をしいて、実際の海岸勾配に近くした。

造波機は $1/2\text{ HP}$ 単相モーターを用い、造波板の底をヒンジしその上部を前後に移動するフラップ型を用いた。

河床および汀線付近の海岸には豊浦産の標準砂をしき、現地と相似た形とし、水道の水を入れた。河川流としては水道の水を用い、水槽内の水は造波機側よりポンプで排水、または別の水槽より給水することにした。

(3) 相似律

模型実験においては相似律の問題をとまなうので、ここに簡単に示しておく。

表—3 風向別の波浪エネルギーと底質との対応表

位置	風向	S	SSE	SE	ESE	E	ENE
No. 1							
2							
3							○
4		○	○				○
5		○	○	○	○		○
6		○	○	○	○		○
7		○	○	○	○	○	○
8		○			○	○	○
9					○	○	
10							○
11					○	○	○
12					○	○	
13					○	○	
14					○		
15							

a) 波浪の方向 河口閉塞にもつとも関係のある波浪の方向を定める必要があつたので、つぎのような方法によつた。すなわち表—2 に示した波浪観測の結果、周期を 9 秒とし、種々なる方向に関して波浪の回折図を画き、海岸近くにおける波浪のエネルギーの沖波との比率を求めた。つぎに底質の調査資料より平均 d_{50} (mm) (通過率 50% の粒度) を求め、波浪エネルギーの比率と底質の大きさを比較した。すなわち、汀線付近におけるエネルギーの大きいほど、粒径 d_{50} の大きい底質が存在するものと仮定した。その結果を示すと表—3 のとおりである。

ただし位置の No. は図—2 による。○ 印が波浪のエネルギーの比率と底質とが対応しているところ。

河口付近は底質がさかんに移動するので、波浪のエネルギーと底質の大きさが対応しにくいように思われた。しかし、上表が示すように ESE の方向の風浪がもつとも広く、底質と対応しているので、この方向の風による波を実験に用いることにした。

b) 波浪および河川流 重力の場として Froude 数によることとした。長さの縮尺を $1/300$ としたから、それぞれつぎの比率を用いればよいことになる。すなわち

$$\begin{aligned} \text{河川流量} & (1/300)^{2.5} = 1/15.6 \times 10^5 & \text{波 長} & 1/300 & \text{波 高} & 1/300 \\ \text{周 期} & (1/300)^{1/2} = 1/17.3 & \text{波 速} & (1/300)^{1/2} = 1/17.3 \end{aligned}$$

いま表—2 に示した波浪観測の結果を用いると、

	現地波	模型波	(実験に用いた波)
波 高	2.8 m	0.0093 m	0.017 m
波 速	9.8 m/s	0.56 m/s	0.73 m/s
波 長	93.8 m	0.32 m	0.45 m
周 期	9.3 分	0.52 s	0.63 s

しかるに、河口閉塞時の現地波も判然とせず、実験用の波も計算通りになしえなかつたので、上記のようにかなり模型波に近い波を用いることにした。

c) 底質 河口口の底質として、縮小粒子を用いると、流れおよび波浪による移動状態が、現地の底質のそれと全く相違するので、やむをえず豊浦産の標準砂を用いることにした。したがつて、定量的な閉塞に関する実験結果をうる事が困難であつた。ゆえに、後述のように導流堤のない場合に河口口の河川流によつて流失する状態および波浪によつてもとの閉塞状態とを、現地の状況と比較して、よく合つておれば、本実験は定性的に正しい結果をうるものと考えた。

(3) 実験方法

まず河口閉塞状態において、波浪を生ぜしめず、平均河川流 342 cc/s ($533\text{ m}^3/\text{s}$) によつてその州の一部を流失せしめ、しかる後に河川流を通ぜず波浪のみによつて、河口閉塞状態を実験した。

また 36 cc/s ($56\text{ m}^3/\text{s}$) の河川流と波浪とにより、導流堤を用いた場合の河口口の移動を実験したが、河口は閉

塞しなかつた。またこの間に種々の導流堤を配して、その効果をくらべたが、いずれも、河川流がほとんどなく、波浪があると、時間的差違はあるが、河口は閉塞するという結果になった。

4. 模型実験結果

前記のように、右岸の締切堤により、もしも河口州の一部が流失していれば、河川流により、その開口部が拡がり、河川流による水位上昇時間はかなり短かく、善蔵寺川には被害を与えることはない。またこの締切堤により軀港への流出土砂はなくなり、波浪による港口の閉塞の恐れも少なくなつて、締切堤は必要であると思われる。

現地において洪水時に流下する土砂は、従来は河口州の開口部より一応海へ運び出され、洪水後の波浪によりその運び出された土砂が海岸にうち上げられ、これが河口閉塞をなしている。したがつて、河川流によつて運ばれる土砂が、ただちに河口州とならないので、河川流をできるだけ沖合へ導流することが、河口閉塞対策として考えられる。ここにこれを導流堤とよぶことにする。ここに河川流は右岸導流堤にそつて流下し、渇水時以外には、河口が閉塞することがない。したがつて、右岸導流堤が必要である。

河川にある程度の流量があると、導流堤にそつたある程度の区間は開口しており、ここへもしも洪水流があつても上記のようにその開口部が拡がり、洪水の被害はほとんどない。したがつて、河川流がある程度以上であれば、河口閉塞を起さないといえと同時に、河川流はこの河口閉塞の直接の原因とならないので、実験的にはあまり問題とならない。

ただし渇水時に約 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量が、この右岸導流堤に沿つて流れるかどうかが問題となる。これについては、おそらく実際には河口で浸透して、導流堤に沿つて流下しないものと考えられる。

導流堤として短かい透過構造のものをを用いると、ほとんどその効果がなく、かえつて速かに河口が閉塞する場合がある。とくに左右兩岸にこのような導流堤を用いると、沿岸漂砂が河口へ向つて集中的に移動する。この結果は後表より明らかである。

閉塞州の発達は、漂砂の移動による汀線の変化によつて時間的に違つた条件になる。いま河川流として、平均 342 cc/s を 10 分間通じ、河口州を流失し、その状態を測定し、河川流をとめ、波浪のみによる閉塞州の発達状態を一定時間ごとに測定することにした。ただし上水道を水源として用いたので、その流量に多少の変動があり、さらに導流堤の位置および種類により河川による流出土砂の海岸における堆積状況が相違し、これら実験の比較がやや困難であつた。

河口付近における沿岸流速の測定には、電極を用い、増幅し、インクリターにより、食塩水塊の移動速度によつて測定することにした。その結果は、波浪の状態により、同種の実験中でもかなりの差があつた。すなわち砕波のよせ波と引き波との合成によつて、汀線には必しも同じ沿岸流速を生ずるのではなく、ときには大きく異なることがあることを示している。

河口閉塞にもつとも関連のあるのは、主として波浪のはいり上り区間で、これが導流堤に向う方向がほぼ 2 種あり、一方は沿岸移動で、他方はそれに直角な移動である。導流堤構造を不透過な直立防波堤構造にして、その反射波による河口閉塞防止はかなり効果があると思われる。

左岸導流堤は、この場合にはあまり効果があると思われぬ。むしろ、河口土砂をここで阻止することは大里海岸の浸食を増長せしめるおそれがある。

防波堤構造の導流堤では、河川流がそれに沿つて流下し、その基礎の一部を洗掘する傾向が大である。

長い右岸導流堤がもつとも閉塞防止には効果的であるが、なおその基礎が河川流により洗掘されるおそれがあり、工費がかさむことになる。以下簡単にその導流堤による実験結果を示しておくことにしよう。

(0) 工事を行わぬ場合

港口および河口の閉塞しない状態では、河川流は流下し、河口州を乗り越えることはないが、水位は上昇し、築堤が危険になる。このさい、河口州の一部を人為的に開口すると、洪水がその開口部を拡げることは、上記のとおりである。河川流量をなくし、波浪のみによると、ほぼ原形に復し、河口が閉塞する。その閉塞後の水流および砂の移動状況は大体 図-7 のようになり、これらの実験は現地の状況とかなりよく合つていたので、この実験結果が信頼できるものと考えられる。なお河口州の閉塞速度はつぎの実験 1 (次節の場合)と同様である。

(1) 締切堤のみの場合

図-8 の右岸の位置において、不透過の締切堤を設け、前と同様な実験を行ない、表-4 のような結果をえた。その波浪による閉塞州の移動距離は、波浪を生じ始めた時間を零とし、図-8 の 1 の方向に測定したほぼ州の先端の移動量を示したものである。この移動量をその測定時間で割り、その時間までの州の移動速度とした。他の実

図-7 沿岸流および砂の移動状況

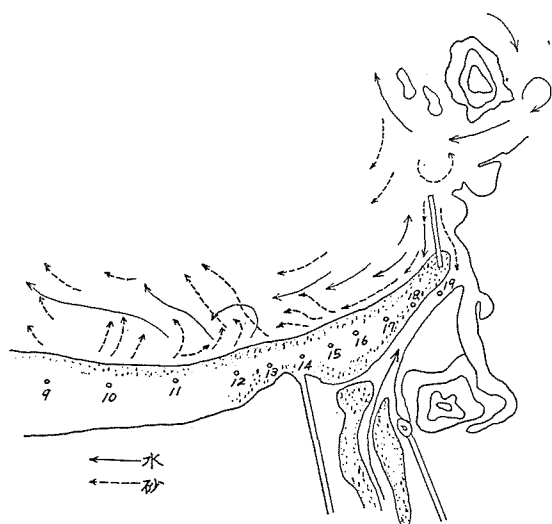


図-9 閉塞川の発達平均速度

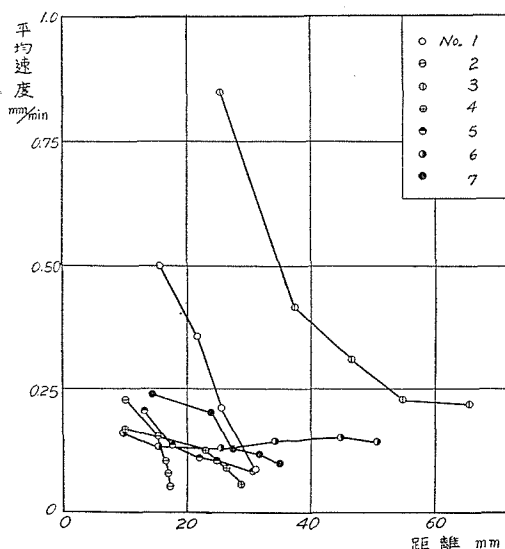
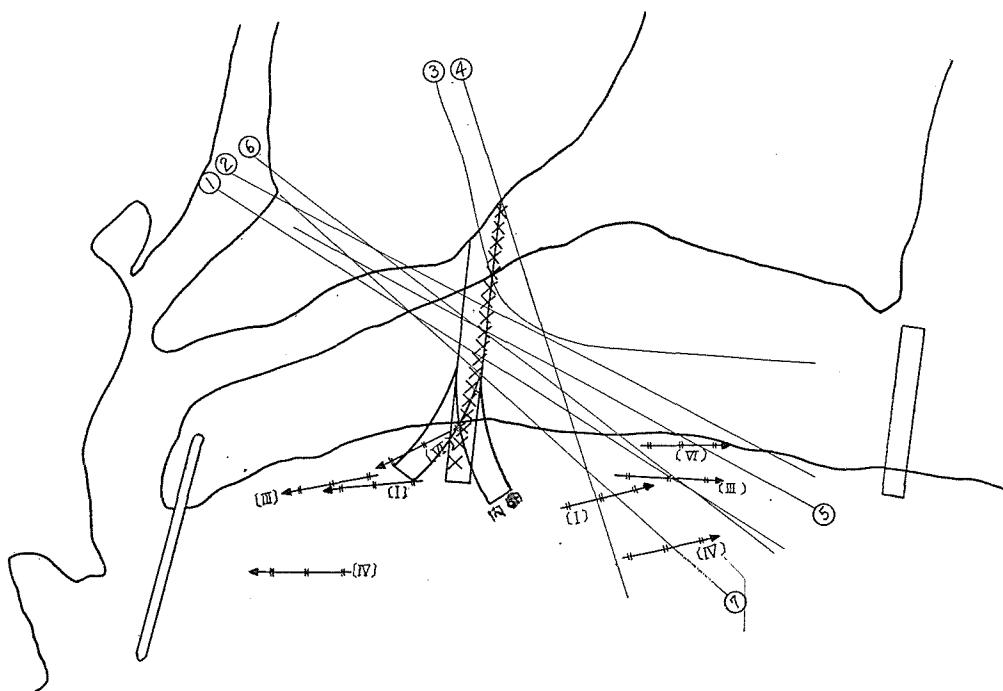


図-8 測定位置に関する図



験においても同じであるが、最初の開口部の堆積土砂の形状（すなわちその時の河川流量）によつて、その値が相違する。この場合は 0.3587 lt/s の河川流を 10 分間通じたものである。閉塞川は最初の間は急に移動するが、徐々にその速度を減ずることが明かである。また沿岸流速は図-8 の〔I〕に示した位置において測定した値である。その結果をさらに図示すると 図-9 のようになる。他の実験に比して流量が大で、かなり沖合へ州を流出しているはずであるのに、その閉塞速度はかなり大きく、導流堤を用いた場合よりは速かに閉塞することが明かである。

(2) 右岸にかなり長い透過水制式の導流堤を用いた場合

前と同様に実験をし、その結果を 図-8 および 図-9 に示しておいた。この場合に最初の閉塞速度はかなり大きい、概して有効であるといえる。しかし流量が平均よりやや小さく、河口州が河川流によつて遠くへ運ばれ

なかつたことが、閉塞時間が小さくなつた原因であるとも考えられ、ただ 45 分から 100 分までの間の移動速度勾配の大きいのは、あまりよい傾向ではない。

(3) 左右両岸に透過水制式の導流堤を用いた場合

この場合は流量が小さかつたにもかかわらず、図—9 のような州の移動速度を示し、閉塞の速なことは、前記の通りである。

(4) 両岸に不透過で防波堤構造の導流堤を設け、右岸堤を外曲させた場合

図—9 に示すように、かなり有効な結果をえた。

(5) 同上で、右岸堤を内曲させた場合

流量がもつとも大で、州が遠方へ流失したはずであるのに、かなり有効な結果をえた。ただし、内曲した場合には、河川流によってその導流堤に沿つて洗掘がいちじるしく、実際にはその基礎工がやや厄介になるのではないと思われる。

(6) 同上で、両岸に直線式の不透過導流堤を用いた場合

この場合もかなり有効なようであるが、その右岸導流堤沿いが、河川流によつて洗掘されることは、前と大差がない。

(7) 右岸のみに外曲の不透過導流堤を設けた場合

この場合には導流堤沿いの洗掘が、前者の不透過導流堤の場合に比してやや少

なく、しかも流量が平均より大きいにもかかわらず、最初の閉塞速度 (60 分より 120 分) がかなり小さく、有効であるといえる。いいかえると、実験 4 に比して (流量が大きいので、図—9 の上では簡単に比較されないが) ほぼ同様な傾向を有し、左岸導流堤は河口の閉塞防止に大した役割を有しないことが明らかである。

以上が、大体本年度に行つた実験の一部であるが、目下なお実験中である。また前記の結果は、昨年度に行つた実験結果となんらの矛盾のないことより、施工に都合のよい右岸導流堤 (外曲、不透過式防波堤構造のもの) のみを用いるとかなり有効ではないかと考えている。

5. 結 語

わが国のように、河状係数のきわめて大きい、流量変動しやすい河口における導流堤は、必ずしも両岸導流堤が有効なのではなく、本実験結果に示したような片側導流堤を用いて、渇水路を人為的に維持することができれば、河口閉塞対策として有効なのではないかと考えられる。さらに、不透過の直立防波堤構造として、その反射波を利用して、その閉塞を防止するのも一策であるといえる。

また一方、河口が全く開口しているために、下流地区が塩害をうけたり、河川堤防が波浪によつて欠損しないためには、洪水後ある程度河口が閉塞する方が、むしろ好都合な場合も少なくないであろう。

本実験は文部省の科学研究費によつた部分を示したもので、昨年度の実験結果とほぼ同様になつた。

表—4 閉塞州の平均移動速度

	測定時間 (min)	閉塞州の移動 距離 (mm)	閉塞州の移動速 度 (mm/min)	沿岸流速 (cm/sec)	河川流量 (l/sec)
実験 1 締切堤のみ	30	15.5	0.5017	左岸側 3.7	0.3587
	60	21.7	0.3616	5.0	
	120	25.7	0.2147	右岸側 3.7	
	240	29.6	0.1233	7.7	
	360	30.9	0.0858		
実験 2 同上および右 岸長い透過水制	45	10.2	0.2270		0.3049
	100	15.4	0.1540		
	160	16.4	0.1025		
	220	16.9	0.0768		
	280	17.1	0.0611		
	340	17.2	0.0509		
実験 3 同上および左 右両岸透過導流 堤	30	25.4	0.8467	左岸側 11.9	0.2869
	90	37.4	0.4156	9.0	
	150	46.4	0.3093	12.7	
	240	54.7	0.2279	右岸側 5.9	
				11.2	
実験 4 同上および不 透過導流堤 (右岸外曲)	60	10.0	0.1667	左岸側 3.1	0.3587
	120	16.8	0.1400	1.8	
	180	21.0	0.1167	4.5	
	240	25.0	0.1042	右岸側 7.4	
	300	26.2	0.0873	7.4	
				5.3	
実験 5 同 上 (右岸内曲)	60	12.5	0.2083		0.4034
	120	17.0	0.1417		
	180	23.0	0.1278		
	240	25.0	0.1042		
	360	30.5	0.0847		
実験 6 同 上 (両岸直線)	60	9.8	0.1633	左岸側 8.3	0.2959
	120	15.6	0.1300	10.0	
	180	23.3	0.1294	5.7	
	240	34.3	0.1430	右岸側 13.3	
	300	45.0	0.1500	7.1	
	360	50.4	0.1400	9.5	
実験 7 同 上 右岸のみ外曲 導流堤	60	14.5	0.2417		0.3855
	120	24.0	0.2000		
	210	27.0	0.1285		
	270	31.5	0.1167		
	360	35.0	0.0972		