

海岸水制の効果に関する実験

東京大学教授 工学博士 嶋 野 貞 三
東京大学教授 工学博士 本 間 仁
東京大学助教授 堀 川 清 司

1. 緒 言

海岸を保護しあるいは改良する方法の一つとして広く用いられるものに Groin がある。これは海岸線にほぼ直角に出された構造物で、巾は狭く、長さは 30m たらずから 100m 程度に至るものもある。主要な目的は漂砂をため沿岸の浸食を防止するにあり、構造としては鋼矢板、木、コンクリート、石、アスファルト等を材料とした各種の形状のものが考案されている。機能的に分類すれば、(1)透過性か不透過性か、(2)堤高が高いか低いか、(3)固定したものか調節しうるものか、となる。このようなものをわが国では一般に防砂堤といっているが、防砂を目的とする防波堤に近いものと機能的に分離するために、我々はこれを海岸水制と呼んでいる。

先ず透過性か不透過性かの別であるが、一般に不透過水制を用いると、その両側の汀線の位置に著しい差ができる。すなわち沿岸流に対して上手側には堆積が起り、下手側には浸食が起ることが多いために、海岸線がその点で不連続になる。そこで透過構造とすることにより堆積した砂を下手側に供給し海岸の線形を自然時に近くすることを主目的とし、更に適当な設計施工により工事費を安くしようといわれている。しかしこれは構造的に果して巨大な波に耐えうるか疑問とされ、かつ荒天時に砂の持ち去られるのをできるだけ緩和するための水制の効果は余り期待できないのではないかと考えられている。

次に堤高の高低であるが、水制の上流側に堆積した土砂で裏側に持ち込まれるのを防止する必要がある場合を除いては、一般には堤高は低く、荒天時の波浪、あるいは高潮 (high tide) 時の波浪がこれを越えうるものの方が経費も安く適当と考えられ、かつ透過水制と同じ機能を持たすことができよう。しかし余り低くは安定した浜を形成する能力を欠き、かつ水制の間に入る波を減衰せしめる効果は期待できぬわけで、そこには自ら限度があるのは当然である。

最後に、調節しうる水制に言及するが、一般に造られるのは固定したものであるのに対し、英国では Case と Du-Plat-Taylor の考案した調節しうる水制を用いて成功したと報ぜられている¹⁾。これは砂の面からの堤高をある一定の高さに保つように工夫したもののようである。

海岸水制が防護工として有効な手段であると判断された場合には、上述のような夫々の機能を考慮して構造が決定されるのであるが、では水制の長さをどのようにして決定するかが問題となる。また、水制は一本だけでは充分にその機能を果たすことができず、かえって海岸変形を促進する結果ともなるので、何本かの水制を配置せねばならぬ。その場合に間隔を何程にとるかは極めて重要な要素となる。この点については、アメリカでの既往の考え方によれば、将来安定した時の浜の形状、あるいは、どこまで浜を広げたいかに応じて決定する。その際に、安定化した汀線は、卓越した波の直交線 (orthogonal) に垂直になると考えている。我国においては余り明瞭な規準はないが、第2回海岸工学講演会²⁾にて永井博士が広範にわたる研究結果を発表された。それによると碎波線から汀線までの距離の40%の長さを適当とし、間隔はその3倍、方向は襲来する波の角度に応じて若干下流側に傾けるのがよいと結論されている。その他、佐藤博士の研究³⁾がある。我々もこの問題に関して研究する機会を与えられたので、異つた角度から我々なりの判断を下してみるために実験を行つた。かくて得られた結果を中心に、実験中に感じた事どもを以下に記述する。しかし、本論文にては明確な設計指針を与えるに至つてはならず、たゞ比較的単純化して考えられている現象が、極めて複雑なものであることを明らかにしており、この方面の研究を進める上の一助ともなり、実地にあたられる方々の御参考になればと念願してやまない。

2. 実験設備並びに方法

実験に使用したコンクリート水槽は、運輸技術研究所港湾物象部波浪実験室にある長さ 10m、巾 8m、深さ 50cm で一端に波起し機をとりつけ、これによつて生ずる波峯と等深線とのなす角は、一様水深 (30cm) の所で 30°であるように、1/15勾配の海浜を形成した。本実験の大部分は、このモルタル仕上げ面の固定床にて行い、必要に応じて、平均粒径 150 ミクロン、比重 2.64 のほぼ一様な小名浜砂と、粒径 200 ミクロン、比重 1.5 の石炭粉を用いて底砂の移動状況を観察した。

測定した項目は、沖波の特性（電気抵抗線波高計）、磯波の波高（ネオン管式波高計）、流速（小型流速計）で、水制を色々の長さに出し、方向も汀線に対して $45^\circ \sim 135^\circ$ の範囲で 15° 間隔に変化させた。堤高は 3cm, 4cm 及び波の越えぬ高さ（これを ∞ で表わす）の巾 1.5cm の模型及びこの側壁に捨石を行ったもの、あるいは、透過水制の模型としては不充分であるが、硝子玉（粒径 2 種）を中詰とした巾 5cm の鉄筋の籠を用いた。ただし、夫々底には、スポンジを張りつけ、底から水の抜けるのを防いだ。

次に、波の選定であるが、実験期日を考え、平坦な波、唄つた波、中間の波の 3 種とした。これ等の波の特性は表一 1 に示す通りである。

我々の水槽において発生する波の変動性並び

に流速の変動性を調べて、測定を開始する時刻、並びに測定継続時間を決定したいと考え、上記 3 種類の波について、水深 30cm での波高、周期、更に水制を汀線に直角に 25cm の長さ出した時の先端附近の流速を、夫々、連続 2 分間測定した。ただし、波を起し始めて 15 秒経過してからオッシログラフを作動させた。その結果、2 分間の平均値を標準として最大偏差を求めると、表一 2、表一 3 のようになる。これによると一般に平坦な波程変動が著しいことがわかるし、測定時間を長くすると急速に精度がよくなつて来る。更に、表にはあらわさなかつたが、波 I の波高を調べると、測定を開始してから 15 秒位迄は変動が激しく、その後 1 分間は安定し、それ以降は、漸次波高を増大する傾向がある。これは、波長の長い波は、斜面での反射率が他に比して大きいためと考えられる。波 II、III については、それ程著しい変化は見られなかつたが、大体 40 秒位を周期とする大きなうねりがあつた。しかしその偏差は、表示の如くに微小である。そこで、測定は、波が到達してから 30 秒後に開始すること、我々の測定精度から考えて、波高、流速共に大体 10 秒間位測定すれば、誤差を大体 $\pm 5\%$ におさえることができよう。周期の方は $\pm 0.5\%$ 程度であつて、殆んど問題にはならなかつた。以上のことから、波の性質は 10 秒間の平均をとり、流速はペン書きの簡易な記録器を用いることにしたので 30 秒間となることとした。

3. 沿岸流速の分布

一樣な勾配でかつ平坦な浜に波が斜めにあたつて砕けた場合の沿岸流については、多くの人々により研究されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。今迄は実験的にもフロートによるか、あるいは、過マンガン酸カリの追跡によつて求められたものであり、汀線から砕波線に至る間の流速の分布については余り測定されていないようである。そこで、果してどのような分布を示すのか調べてみた。使用した小型流速計は、径 25mm の 4 枚羽根で、軸を下端から 15mm の位置において測定した。浅い所では羽根が水面に出るので、これは検定によつて補正係数を見出して修正した。従つて精度はかなり低下すると考える。夫々の波ごとに、測定位置（砕波線と汀線迄の距離の % で示す）とその流速測定値を図示すれば図一 1 の如くなる。なお、こゝにはフロートによる平均値も参考のために記入してある。この図からわかるように、我々の実験した条件下では大体 30% の所で最大となり、速度の大きさは場所により非常に差異のあることが認められる。速度そのものも大きく、これをそのまま現地に適用することには問題があると考え

表一 1

	H_{30}	T	λ_0	H_0	δ_0	α_0	α_b
波 I	cm 1.50	sec 1.18	cm 216	cm 1.64	0.0076	39°	11°
II	2.40	0.81	102	2.56	0.025	32°	14°
III	3.60	0.73	82.9	3.72	0.045	31°	17°

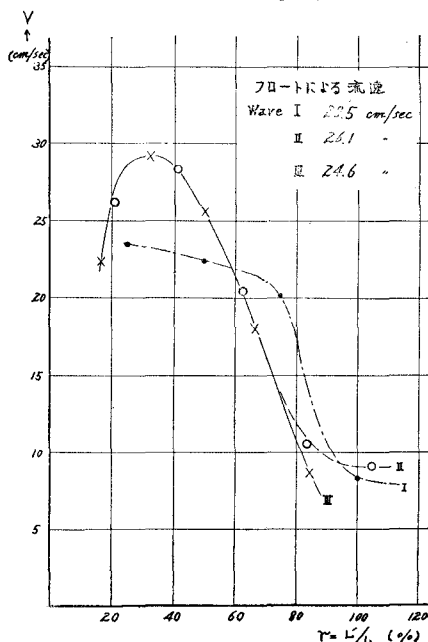
表一 2 流速の最大偏差 (%)

測定時間長 sec	波 の 種 類		
	I	II	III
120	—	—	—
60	—	± 0.5	± 2.6
30	± 1.8	± 0.5	—
25	—	—	± 3.6
15	± 2.5	± 2.7	—
10	—	—	± 4.5
7.5	± 10.3	± 5.1	—

表一 3 波高の最大偏差 (%)

測定時間長 sec	波 の 種 類		
	I	II	III
15	± 11.3	—	—
10	± 10.2	± 3.1	± 1.4
5	—	± 5.4	—

図一 1 沿岸流速分布



る。実際にはこの様な理想化した海岸は殆んどなく、また波により沿岸州ができたりして海底地形そのものが非常に複雑であり、また海底勾配も大いに影響するし、更には砕波波高も場所により異つて来る。以上のようなことが関連し合つて異つた沿岸流速の分布なり大いさを示すことが推測される。また、我々の場合流速の大いさからかなりの部分において掃流状態で十分に砂を動かすことを示し、動かす量も相異して来ると考えられる。その他、波の作用により特に砕波帯内での攪乱が著しいため、底質の浮遊が起り、このようなものは沿岸流により容易に移動し易くなる。しかし一般に模型実験で使用する波は小さいので、攪乱は底質を浮遊させるに至らず、殆んど浮遊による移動は無いに等しい。実際には浮遊移動も重要な割合を示しているであろう。もちろん、これは沖波の波形勾配、波の持つエネルギー、底質の粒径によつてその割合を大いに異にすると考ええる。これに加えるに、二次元的な岸向き及び沖向きの移動にしても、いわゆる浸食性、堆積性の波の限界も海岸勾配だけでなく底質の粒径によつて異つて来るわけであり、相互の関連性を無視するわけにはいかない。従つて今後我々が問題とする海岸水制の効果にしても、このようなことが重大な影響を及ぼしてくる。こゝに漂砂に関する模型的研究の困難さがかくされていると思うし、このようなことを根本的に調べて行かねば、実験の重要性を認識しつつも、その確かさを現在以上に上げぬ。このように考えてくると、現地においての砕波帯内の流れの状況をかなりの長期間、沖に向つて数点とつて実測することが要望されるのである。

以上の如き観点から、我々のような条件下で実験すると以下に述べる結果がえられる。このことを念頭において先に進むこととしよう。

4. 各種水制による先端流速、流向について

a) 海岸水制 1 本の場合

先ず、海岸水制を 1 本出した場合の状況を知る代表的なものとして、先端より若干はなれた点 (5cm) での流向、流速を測定した。流向を知るために分度器に羽根をつけた簡単な流向計を作製した。流向は波の峯と谷の来る時で著しく波動する。すなわち、峯の来る時は質量の輸送が卓越するために流向を汀線に平行に近づけ、谷が来る時は沖に出る流れが強くあらわれる。そこで、この変動を測定し、便宜的にその平均的な方向をもつて流向 β 、その方向での 30 秒間の平均流速をもつて先端流速 q とした。測定結果の一例として、波 II、堤を波が越える場合について図示したのが図-3、図-4 である。図-3 は、流向角 β と海岸水制先端位置 $r=L'/L$ (%) の関係を示すが、流向の変動が著しく、精度に若干疑問はあるが、その割には明確な傾向が見られる。すなわち、(1) r が大きくなる程、流向は沖に向う、(2) $\theta > 90^\circ$ 、 $\theta < 90^\circ$ で夫々の群に分かれるようである。すなわち海岸水制の方向が波の来る方向に一致する場合を境として β の変化に相異ができ、 $\theta < 90^\circ$ では、 r の増加に伴う β の増加は

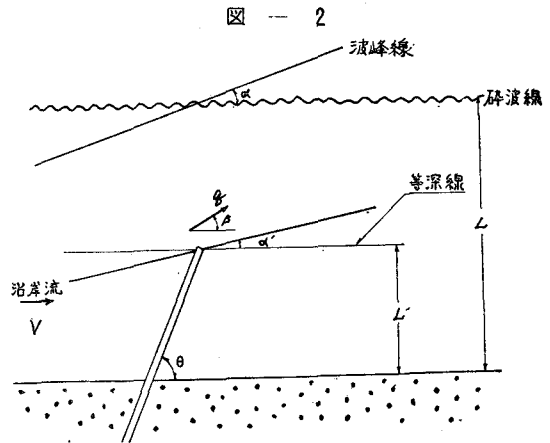


図-3 流向

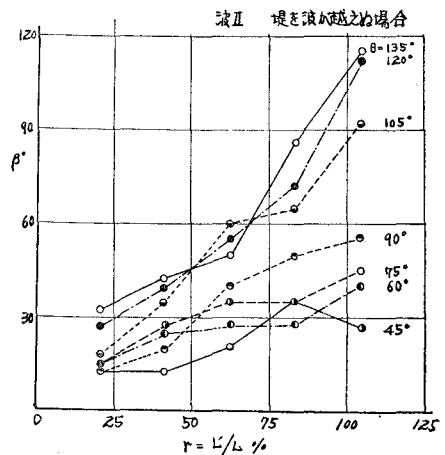


図-4 流速図

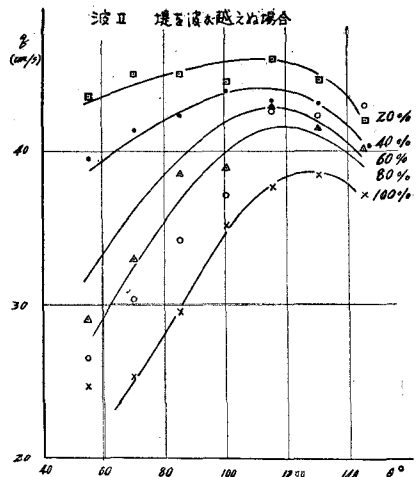


図-5 流速の沖向き成分

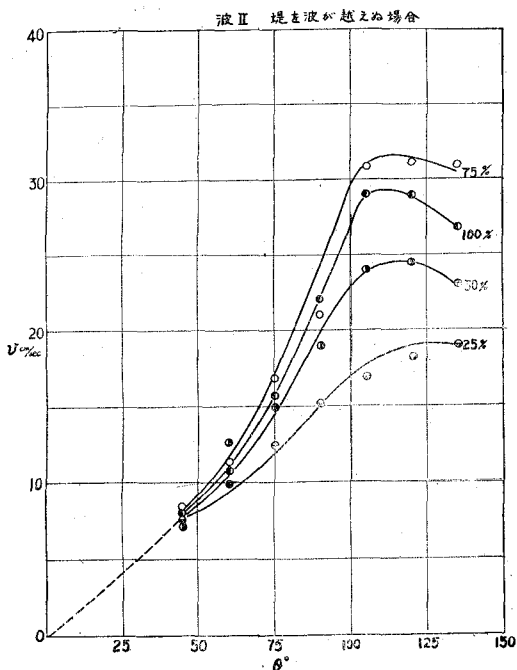
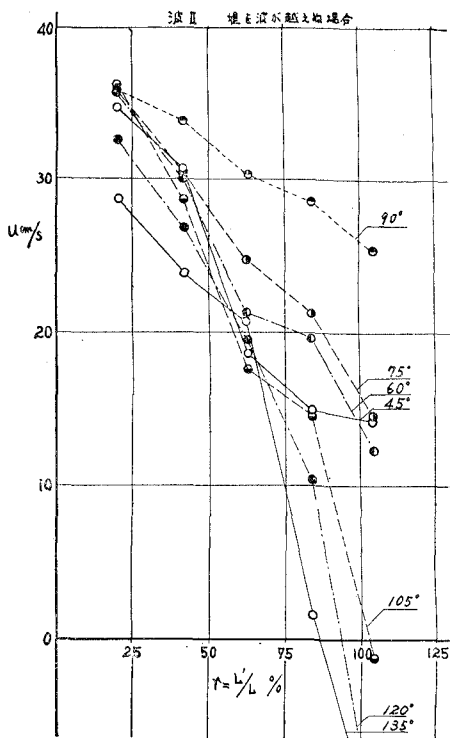


図-6 流速の汀線成分



それ程顕著ではないが、 $\theta > 90^\circ$ になると顕著になり、遂には沿岸流と逆向きの流れが出てくる。次に、図-4は r を媒介変数とした流速 q と水制角度 θ との関係であり、水制長が長くなる程流速は低下し、 $\theta = 100^\circ \sim 130^\circ$ で夫々最大になる。沖向き成分、汀線成分に分離して示すと、図-5、図-6の如くである。沖向き成分 v は $r = 75\%$ 附近で、また $\theta = 100^\circ \sim 130^\circ$ 附近で最大になる。 θ が大きくなる程 r の相異による変化は著しくなる。汀線成分 u は r の増大により急速に低下する。 $\theta < 90^\circ$ では θ が大きい程 q は大きく、 $\theta > 90^\circ$ では θ が大きい程小さくなる。

波の種類、堤高、構造を変化させても、上述のような一般的な性質には、何らの変化が認められなかった。そこで、各 θ に対応して3種の波夫々について、堤高を 3cm, 4cm, ∞ とした場合の流向を図示すると、点は殆んど集中し大略一本の線で表わされるが、 β は堤高 ∞ , 4cm, 3cm の順に大きくなるようである。これは波の越える度合により両側の水位に差が出来るため、すなわち堤裏側に沿う沖に向う流れが加速されるためではないかと推察される。次に水制の構造による比較として不透過性のもの、堤側に捨石をしたもの、透過性のもので、堤高は皆 4cm としたが、これらも非常に接近し、殆んど差はないが、強いてあげれば、透過性、捨石のもの、不透過性の順に β は大きくなる。そこで、 $\theta = 90^\circ$ の場合を一例としてこれらの関係を図示したのが、図-7 (a), (b) であつて、図中の太い実線で大体平均的な傾向を表わされているようである。同様のことを、各 θ について行い、その勾配 n を θ に対して関係づけると、図-8に示すような直線で表わされることが

図-7

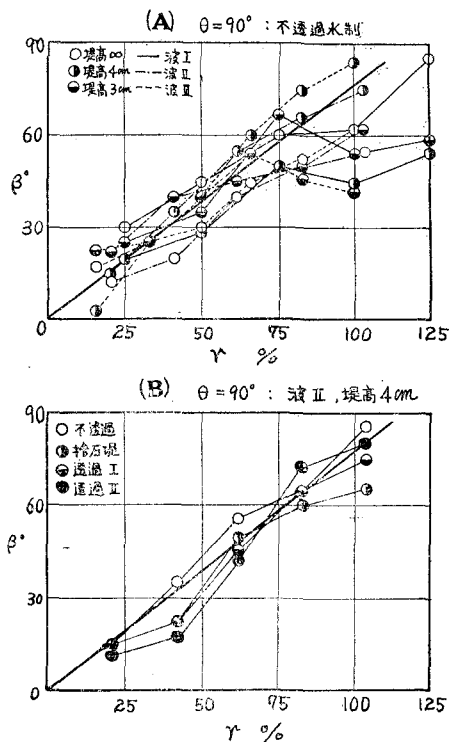


図 - 8

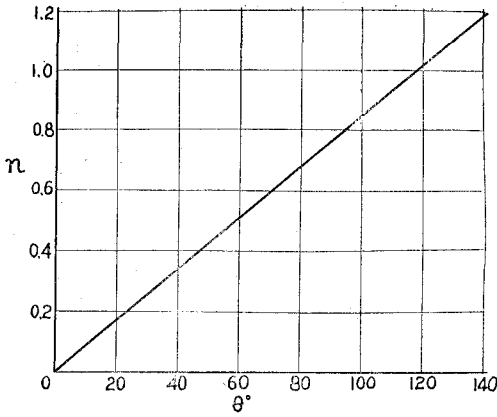
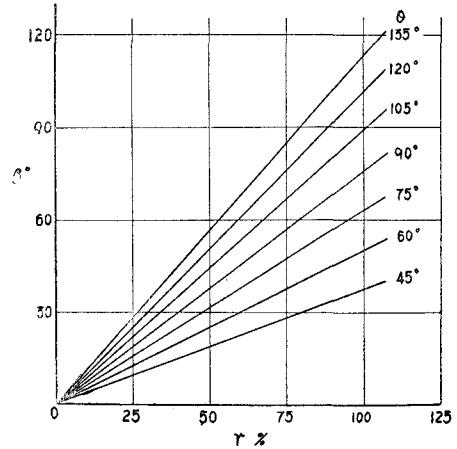


図 - 9



わかった。よつて図-9を得る。これから、波の性質は r で表示されることになり、後は、 β が r と θ によつて変化する。

次に、流速の大きさであるが、図-10は、波Ⅱ、 $\theta=90^\circ$ の場合の各種水制による状態を示されるものである。これによると、不透過性のものと、捨石、透過性のものとに分けられるようであるが、高さの影響は、さ程にきいてこない。そこで、 A として不透過性のものの平均曲線を、 B としてその他のものの平均曲線を示してある。これから明らかな如く、不透過性のものよりも、透過性や捨石のものの方が若干流速が低下し、また r が小さい程著しい。しかし、 r と θ による平面的な形状の効果の方が大きいようである。高さについて云えば、堤高の高い方が小さくなる傾向があるが、反射波や越波の影響が入つて複雑な現象を呈するため簡単に推測は下し得ない。何れにしても、その差は、他の条件に比して、二次的な効果を有するものと考ええる。そこで、波による差異をもう少し明らかにするために、流速を無次元表示しようとした。基準となる流速としては、当然沿岸流速が考えられる。しかし、前述のように、沿岸流速のとり方に色々問題があるようなので、ここでは、単純にフロートによつて測定した平均流速 V をとり、 q/V と r との関係を各 θ について算出した。一例として、不透過水制、堤高 ∞ の場合を図-11に示すが、点の集中はかなり良好で、大体直線的な表示を与えても差支えないようである。 θ が $45^\circ \sim 135^\circ$ に応じて、この直線の勾配は、次第に緩やかになり、 $r=20\%$ 位では、大体一致する。透過水制になると、若干異なるが、性質は全く同様である。

b) 海岸水制2本の場合

図 - 10

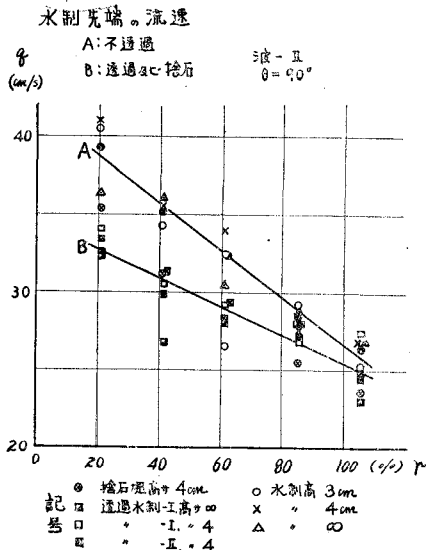
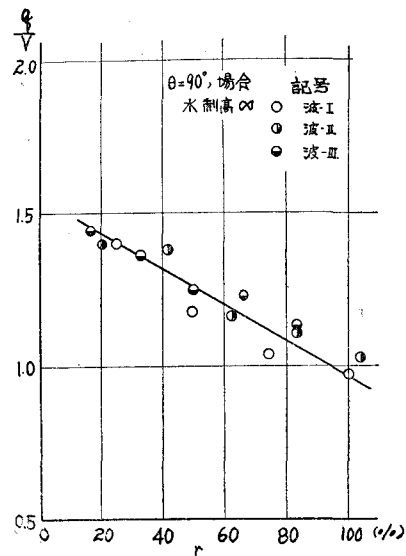


図 - 11



以上では水制を1本だけ出した場合について述べたが、前述の如く、1本ではその効果は望むべくもない。従つて、2本以上を如何に配置するかは重要な問題である。水槽の大きさが十分でないので、間隔は1倍～3倍とした。そこで、先づ、第1の水制先端での値を q_1, β_1 とし、

下流側第2の水制での値を q_2, β_2 と表わすことにする。間隔を1倍、2倍、3倍とした時の β_1 と β_2 の相関を図-12に示す。点の散乱が著しいが、平均的に見て明らかことは、1) $\beta_1 > \beta_2$ である。2) 間隔が大きくなるに応じて $\beta_1 = \beta_2$ になる。従つて、海岸水制を出すに応じて、流向は益々沖に向けてられるので、余り間隔を狭めすぎではいけないと今迄論じられて来たり、またこれは、河川の水制とも結びつけられて、自然な考え方とされて来たりが、我々の実験結果によると誤りのように思われる。 β_2 が β_1 に次第に近くなるのは、間隔が広くなつて、相互の干渉が次第に小さくなつて来るからである。次に、流速について、 q_2/q_1 と r の関係を図-13に示す。これでわかるように、第2の水制での先端流速はかなり低下する。特に r が大きい程著しい。従つて、流速そのものから見れば、余り間隔を広くしない限り、容易に独立してある場合の状態には戻らない。なお、補足するが、 β_1, q_1 は1本だけの時の値と殆んど同じであることが認められている。

5. 海岸水制附近の流況並びに砂の移動について

以上に於ては、流速、流向について、一般的性質を固定床を通して調べて来たわけであるが、本節に於ては、半ば移動床として砂及び石炭粉の移動を観察し、波を起してから30分位経過した時の状態をスケッチすると共に、写真に撮つて比較し、かつ、今まで得られた結果を適用し判断してみた。

漂砂現象と海岸水制の効果の関連性について考える場合、先づ、沿岸流及び水制設置に伴う流れに関しては、底質の掃流と浮遊による移動を考慮せねばならぬ。主に波であるが、これは、前記の流れの原因をなすと共に、砕波による攪乱が、底質を浮遊しやすい状態におくこと、また、岸向き、冲向きの底質の移動に伴う海底地形の変化などに関連しており、これらの複合的なものとして考慮して行かねばならぬ。従つて、これらは、明らかに底質と密接な関連を持つており、漂砂についての模型実験の困難さがこゝにあることは前述の如くである。故に、われわれの結果が、必ずしも決定的なものであるかは疑問であるが、上記の事柄を念頭におきつゝ、出来るだけ一般的な傾向を述べることにする。

我々は、代表的な波、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを選定したが、これは我々の使用した砂粒徑に対して、大体、堆積性の波、限界の波、浸食性の波に対応している⁸⁾。如何なる波に対しても、明らかに認められた事柄は次のようである。

(1) r が小さい間は、沿岸流に対して及ぼす水制の影響は比較的小さく、局部的な変化は別として、水制の前後に、大体に於いて連続した水路が形成される。しかし、水制のために流れが沖へ向くので、沿岸州は、水制先端附近でわん曲する。

(2) r が40%程度より大きくなると、連続した水路は失われ、第1の水制先端附近の流れは拡散されて、流速は低下し、これに従つて砂は広範囲にばらまかれる。この範囲は、水制の間隔が狭い時には、第2の水

図 - 12

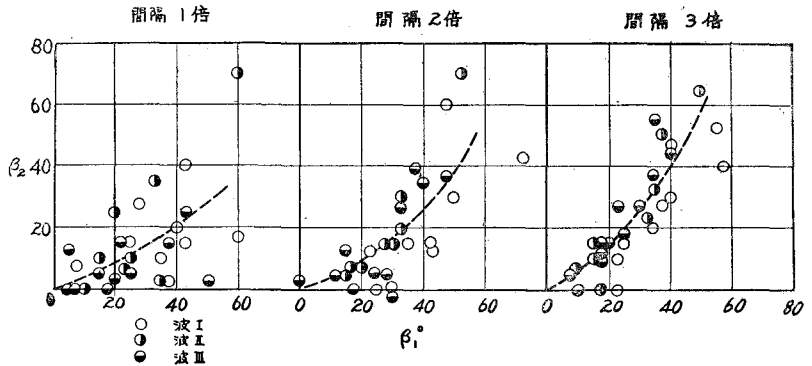
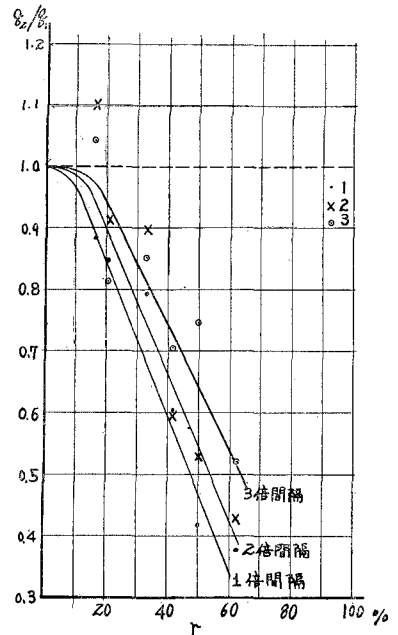


図 - 13

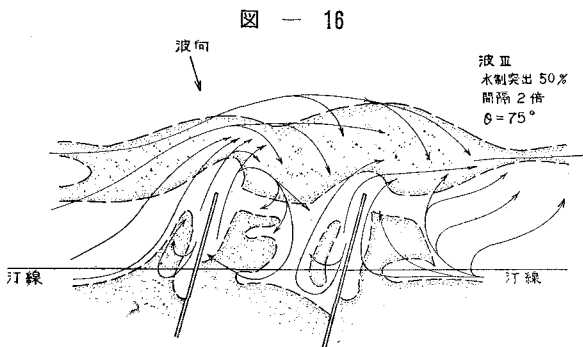
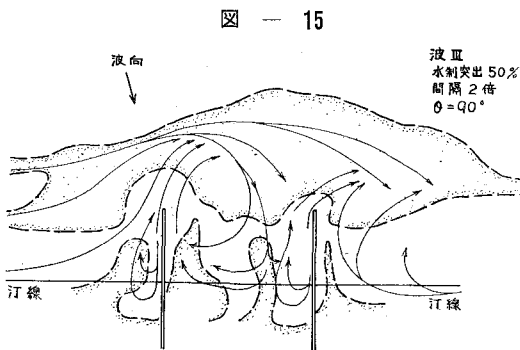
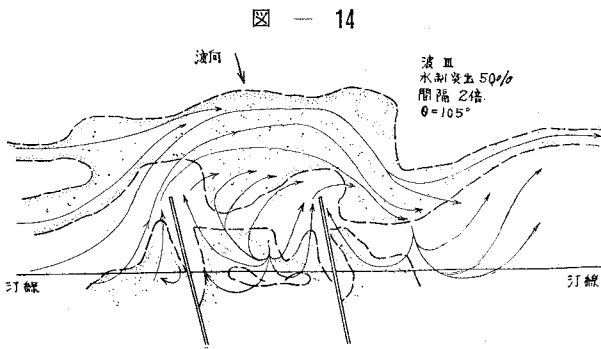


制の外側に見られるが、例えば、 $r=50\%$ 位で水制間隔2倍の時には、両水制の間に見られる。

(3) 間隔があまり広くなり過ぎると、水制間の流れは複雑になり、逆向きの渦流が第2の水制の近くに生じると共に、岸向きの流れと水制の間からの流出が干渉し合ための彎曲したジグザグな流れが、水制先端の若干内側に認められようになり、砂を水制間に運び込む作用を妨げると考えられる。

(4) 水制先端の洗掘はかなり著しい。しかし、第2の水制になると、かなり緩和される。これは、先端流速の低下に起因する。(図-13)更に角度 θ によつて異なるが、波あたりの激しい側面の洗掘、あるいは波の集中による根本の洗掘も問題になる。

以上のようなのであるが、この実験を通して感じられたことは、流れによつて砂を水制の間に運搬することは、余り期待出来ないのではないかということである。それよりも、平坦な波により、砂を押し上げて浜を形成する作用に期待し、更に、上流で堆積した砂を堤を越えて供給することが、実際的那样である。従つて浸食性の波により汀線が後退するのはやむを得ないが、その度合を弱める上に効果があり、砂が沖に持ち去られても、平坦な波によつて再び浜に運搬し得る所に留めておきたいわけである。このように考えて来ると、 r が余り小さいことは不適当であるし、また r が大き過ぎても、砂を沖に運び去る可能性が大きく(図-5)碎波によつて水制先端部が破壊されやすいことになるので、我々の判断では、 r の範囲は、40~60%となる。次に、間隔であるが、前述のようにして、広すぎると浜に対する波のあたりが大きくなり、水制1本だけの場合と大差なく、かつ、望ましくない流れの組合せや、これに伴う砂の動きが認められて来る。一方、余り狭くは、水制によつて拡散された砂が、水制の間に入り得ず、これまた1本の場合と大差なく、経費も



かかる。従つて、最も妥当な間隔が存在すると推測される。この間隔も、もちろん水制長に関係してくるのであり、一般に、水制長の長い程、水制間隔の倍数は小さくてもよい⁹⁾ことは、今回の実験に於ても認められた。大体、水制長の1倍より3倍の間が適当であるが、3倍では、むしろ広すぎる感がある。では、水制の方向をどうするかであるが、 $\theta=75^\circ, 90^\circ, 105^\circ$ の3種につき比較してみた。図-14, 15, 16は、波Ⅲ、 $r=50\%$ 、間隔2倍の場合に砂及び石炭粉を流して流況を調べたものであつて、汀線附近の変化そのものを示したものではない。 $\theta=105^\circ$ になると、波が直に入つてくるために、荒天時には浸食される可能性が強いし、先端附近の流速も大きくなる。また、静穏時の砂のつき具合も、他に比して少いようである。次に、 $\theta=90^\circ$ と 75° を比較すると、(1) 先端附近、並びに堤側の洗掘は、 $\theta=75^\circ$ の方が著しい。これは、波のあたりと、堤側に沿う流れの加速が原因と考えられる。(2) 水制の表側根本附近は、 $\theta=75^\circ$ の時の方が波の集中によつて洗われるために、荒天時の浸食が問題である。(3) 静穏時の砂のつき具合から判断すると、 $\theta=90^\circ$ の時の方が良好であるが、荒天時には、汀線附近の浸食は、 $\theta=75^\circ$ の方が少いようである。よつて、海岸水制は流れだけでなく、波の作用をも強力に受けるのであるから、その方向を波の来襲する方向と一致させるのは適当でないが、しかれば、 θ を何程にとるかは極めて複雑で、簡単には決しかねるようである。

最後に、十分な比較を行うには至らなかったが、各種の構造による差異にふれてみたい。いわゆる透過水制の主要な目的は、汀線の alignment を整えるにあると考えられるが、我々の実験に於ても、顕著な効果のあることが認められた。さらに、直立の不透過水制に比べて、捨石のもの、或いは透過構造としたものは、前にも述べたように、わづかではあるが、流れを小さくするのが認められたし、更には、波が堤側を走るのを緩和する作用も期待出来るようである。このようなことが、ひいては、海岸水制としての機能を向上させるのではないかと推測されるのであるが、例えば、捨石をしても、堤先端附近の捨石は、かなり急速に散乱してしまう。このような構造的な問題をも当然処理されなければならない。

6. 結 び

以上で、今回の実験により得た事項を概略説明した。本文中にも、何度も繰返して述べた如くに、特に漂砂に関する問題を今後究明し、発展させるためには、現地での調査が欠くことの出来ぬ要素であり、調査と模型の研究が並行して進められねばならない。海岸水制は、河川の水制とは非常に異り、流れと共に波の作用を強力に受ける。従って波だけを考えたのではいけないし、また流れだけを考えるのも不充分である。

我々は、出来るだけ基本的な事項をとり上げ、一般的な性質を得たいものと努力したが、模型のように単純な場合でも、かくの如く複雑な様相を呈するのであるから、現地ではどのように複雑であるか想像に難くない。従って現地での特異性に支配されることが非常に多いのではないかと考えられる。このために、果して海岸水制を築造するのが最も有効で、かつ、経済的であるかどうかは、かなり慎重な考慮を要することになる。我々の研究はまだ核心をつかむに至っておらず、残された問題は山積し、研究が進むに従って更に解決を要する問題が手手に立ちふさがり、行きつく所を知らない。各方面の御批判、御援助によつて、今後とも、出来る限りこの研究をおし進めて行きたいと考えている。

最後に、本研究を行うにあたり、種々便宜を与えられ、かつ討議して下さった運輸技術研究所浜田徳一博士に感謝の意を表すると共に、実験に共に従事し整理に熱心に協力された東京大学大学院学生鮮于君、並びに実験の労を分つた本学職員尾崎真五、手賀肇、本学学生酒匂敏次、首藤伸夫、高村靖之助諸君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Shore Protection, Planning and Design; Beach Erosion Board, Technical Report No.4, 1954.
- 2) 永井莊七郎：海岸防砂堤に関する研究 第2回海岸工学講演会講演集, 1955
- 3) Seiichi Sato: On the Length and Interval of Seashore Groynes. Journal of Research, Public Works Research Institute, Vol.1, Paper 4.
- 4) J.A. Putnam, W.H. Munk, and M.A. Traylor: The Prediction of Longshore Current. Trans. Am. Geophy. Union, Vol.30, No.3, June 1949.
- 5) F.P. Shepard and D.L. Inman: Nearshore Circulation. Coastal Engineering I, Chap. 5
- 6) D.L. Inman and W.H. Quinn: Currents in the Surf Zone. Coastal Engineering III, Chap. 3
- 7) 速水頌一郎：砕波の機構 (Ⅱ) 第2回海岸工学会講演集, 1955
- 8) R.L. Rector: Laboratory Study of Equilibrium Profiles of Beaches Beach. Beach Erosion Board Technical Memorandum No. 41, Aug. 1954
- 9) 堀川清司：海岸水制の効果 第7回日本工学会大会土木部講演会, 1956

写真-1 波 I. $r=50\%$ $\theta=75^\circ$

写真-2 波 I. $r=50\%$ $\theta=90^\circ$

写真-3 波 I. $r=50\%$ $\theta=105^\circ$

