

早稲田大学理工学部

正会員 〇鮎川 登

日本港湾コンサルタント

正会員 浦野光央

1. まえがき 河口付近では河川流、潮汐流、沿岸流、波などの作用を受けて砂が移動し、地形が変化する。河口閉塞はこのような地形変化の一局面として砂が河口部に堆積したときに生ずる。したがって、河口閉塞現象を解明するためには、これらの外力によって生ずる砂の移動機構を明らかにすることが必要である。しかし、これらの外力は互に影響をおよぼし合うので、河口付近の砂の移動現象は非常に複雑であり、現在のところ河口閉塞現象は殆んど解明されていない。そこで、河口閉塞の発生条件を明らかにするための基礎的研究として河口付近の地形を非常に単純化した模型を用いて河川流と波だけが作用する場合の河口付近の地形変化を観測し、河口部に砂が堆積する条件について実験的に検討することを試みた。ここでは、波による河口の閉塞過程におよぼす河川流速および河口水深の影響について考察した結果について述べる。

2. 実験装置および実験条件 図-1に示すような水
平な河道部と海底部およびそれらを結ぶ1/10の勾配の
斜面部からなる河口付近の模型(河道部と斜面部は移
動床、海底部は固定床)を2次元波水路内に設置し
、河川流と波を同時に作用させて実験を行ない、河口
付近の地形変化の状況を観測した。河川流は水路内の

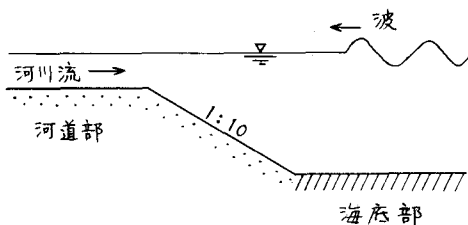


図-1

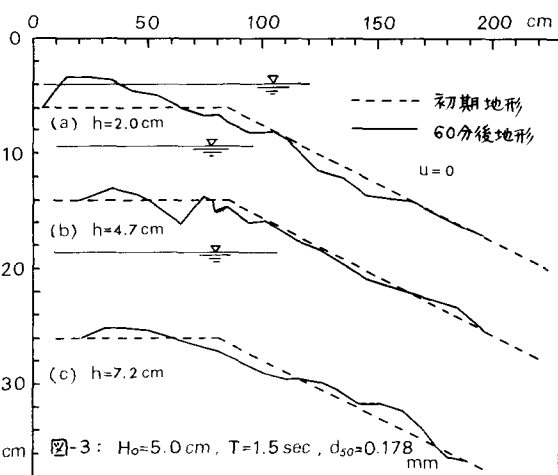
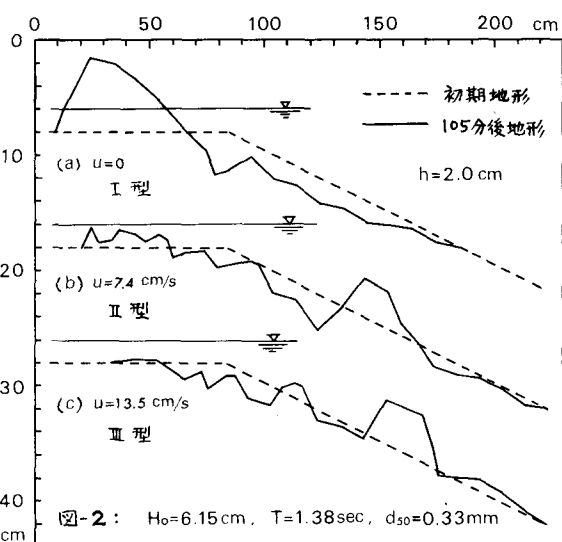
水をポンプで循環させることによって与えたが、本実験では波による河口閉塞の発生条件を明らかにすることを目的としているので、流れだけによって河道内の砂が移動しない程度の小流量とした。実験条件は、砂は $d_{50}=0.178\text{ mm}$ と 0.33 mm の2種類、河道部の水深は $2.0\sim 8.5\text{ cm}$ 、河川流速は $0\sim 25\text{ cm/sec}$ 、波の条件は沖波波高 $2.7\sim 9.4\text{ cm}$ 、周期 $0.6\sim 2.5\text{ sec}$ 、沖波波形勾配 $0.0050\sim 0.028$ とした。なお、 $d_{50}=0.33\text{ mm}$ の砂に関する実験データは東京大学工学部土木工学科港湾研究室で行なわれた実験によるものである。

3. 実験結果の概要 河川流と波が共存する場合に形成される河口付近の地形は実験結果によると、河道部に砂が堆積し、沿岸砂洲は形成されない型(I型: 図-2(a))、河道部に砂が堆積し、沿岸砂洲も形成される型(II型: 図-2(b))、および河道部は洗掘され、沿岸砂洲が形成される型(III型: 図-2(c))の3つに分類される。実際にどのような地形が形成されるかは波の条件、砂の粒径、河川流速、河口水深などの関係によって決定されるものと考えられる。このような地形の形成におよぼす波の条件および砂の粒径の影響は岩垣・野田¹⁾が河道部が存在しない普通の海浜の沿岸砂洲の発生に関して述べている傾向と一致し、 H_0/L あるいは H_0/d_{50} (ここで、 H_0 は沖波波高、 L は沖波波長、 d_{50} は砂の50%粒径である)が大きくなるにつれて形成される地形はI型からII型、III型へと移行していく。普通の海浜と河口付近の海浜の条件の相違は後者の場合は河川流と河口水深が存在することである。河川流および河口水深が河口付近の地形形成におよぼす影響を実験結果によって示すと、図-2および

図-3 のようになる。図-2 は河口付近の地形形成におよぼす河川流速の影響を調べるために、波の条件、砂の粒径および河口水深を一定に保ち、河川流速だけを変えて行なった実験の結果の一例を示したものである。この図によると、河川流速がなく、波だけが作用するときには河道部に砂が堆積し、沿岸砂洲は形成されない場合でも、河川流速が増すにつれて河道部における砂の堆積高が減少していき、沿岸砂洲が形成されるようになり、さらに流速が増すと、河道部が洗掘されるようになり、沿岸砂洲が発達するようになることがわかる。すなわち、他の条件を一定に保ち、河川流速だけを増していくと、河口付近の地形はⅠ→Ⅱ→Ⅲ型へと変化していく傾向がある。図-3 は河口付近の地形形成におよぼす河口水深の影響を調べるために、河川流速を0とし、沖波の条件および砂の粒径を一定に保ち、河口水深だけを変えて行なった実験の結果の一例を示したものである。この図によると、河口水深が小さいときには河道部に砂が堆積し、沿岸砂洲が発生しない場合でも、河口水深が大きくなると、河道部の砂の堆積高は減少していき、沿岸砂洲が形成されるようになることがわかる。河口水深が大きくなると、碎波後の波によって砂は移動しなくなり、河道部には砂は殆んど堆積しなくなる。

4. 実験結果の考察 河口閉塞は河口部に砂が堆積することによって生ずるので、河口部に砂が堆積するか否かの限界を与える条件を知ることができれば、河口閉塞の防止対策を考えるうえで有意義であろう。ここでは、上述したような非常に単純化された河口部の模型で形成された3つの型の地形の区分を試み、河口部の砂の堆積現象におよぼす波の条件、砂の粒径、河川流速および河口水深の影響について考察する。

本実験で対象としたような河口付近の地形の形成には、沖波波高 H_0 、沖波波長 L_0 、沖波波速 C_0 、河川流速 u 、河口水深 h 、海浜の初期勾配 i_0 、底質の粒径 d_{50} 、底質の密度 ρ_s 、水の密度 ρ_f 、水の動粘性係数 ν 、重力の加速度 g などが関係すると考えられる。本実験では、これらのうち H_0 、 L_0 、 C_0 、 u 、 h および d_{50} を種々に変えて実験を行なったので、これらの量が河口付近の地形形成におよぼす影響について考察する。河道部が存在しない普通の場合の場合は沿岸砂洲の発生・不発生により storm beach と normal beach に分類されるが、岩垣・野田は図-4 に示すように H_0/L_0 と H_0/d_{50} の関係によってこれ



うの2つの地形を区分する方法を提案している。河口付近の地形も沿岸砂洲が形成されない場合（Ⅰ型）と形成される場合（Ⅱ，Ⅲ型）に分けられるので，河口付近の地形形成におよぼす波の条件および砂の粒径の影響を考える場合に岩垣・野田の普通海浜の地形の区分法が参考になるであろう。しかし，河口付近の場合には河川流と河口水深が存在することが普通海浜の場合と異なる。実験結果によると，河川流および河口水深が存在する場合

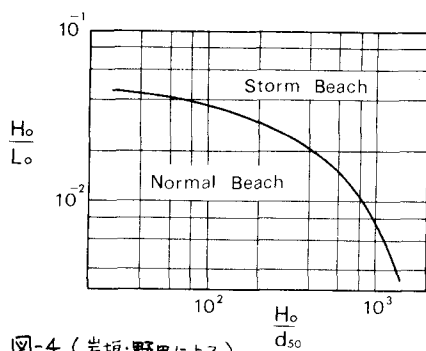


図-4（岩垣・野田による）

には，普通海浜の場合より沿岸砂洲が発生しやすくなることが知られた。そこで，ここでは普通海浜の場合の沿岸砂洲の発生条件を与える岩垣・野田の区分図を参考にし，さらに河川流速と河口水深の影響を考慮して河口付近の地形を

$$\frac{H_0}{L_0} \left[1 + a \left(\frac{h}{H_0} \right)^b + k \left(\frac{h}{H_0} \right)^m \left(\frac{u}{C_0} \right)^n \right] \quad \text{と} \quad \frac{H_0}{d_{50}} \left[1 + a \left(\frac{h}{H_0} \right)^b + k \left(\frac{h}{H_0} \right)^m \left(\frac{u}{C_0} \right)^n \right]$$

の関係によって区分することを試みた。ここで， a, b, k, m, n は定数である。 $h=0$ および $u=0$ のときは普通海浜の場合に相当すると考えられるので，これらの無次元量による区分図で沿岸砂洲が発生するか否か，すなわちⅠ型とⅡ・Ⅲ型の地形を区分する曲線は普通海浜の場合の岩垣・野田の沿岸砂洲の発生限界を与える曲線と一致すべきものと考えられる。そこで，定数 a, b, k, m, n の値は河川流速と河口水深が存在する場合の沿岸砂洲の発生限界が岩垣・野田の発生限界と一致するように決定した。すなわち，河川流速と河口水深が存在する場合の沿岸砂洲の発生限界に対する H_0, C_0, u および h を実験資料から求め，これらの条件に対応する普通海浜の沿岸砂洲の発生限界に対する沖波波高 H_0' を図-4から求め，これらの量の間に

$$\frac{H_0'}{H_0} = 1 + a \left(\frac{h}{H_0} \right)^b + k \left(\frac{h}{H_0} \right)^m \left(\frac{u}{C_0} \right)^n$$

の関係を想定し，つぎのようにして定数の値を決定した。まず， $u=0$ の実験データを用いて $H_0'/H_0 - 1$ と h/H_0 の関係を両対数紙にプロットすると，図-5のようになる。図-5に沿岸砂洲の発生限界に対応する線を引き， a および b の値を決定すると， $a=0.55$ ， $b=1.5$ となる。つぎに， n の値は h/H_0 の値がほぼ等しい実験資料を用いて $H_0'/H_0 - 1 - 0.55(h/H_0)^{1.5}$ と u/C_0 の関係を検討し， $n=1.5$ と決定した。さらに， $[H_0'/H_0 - 1 - 0.55(h/H_0)^{1.5}] / (u/C_0)^{1.5}$ と h/H_0 の関係を調べると，図-6のようになり，これから $k=1000$ ， $m=1.5$ となる。

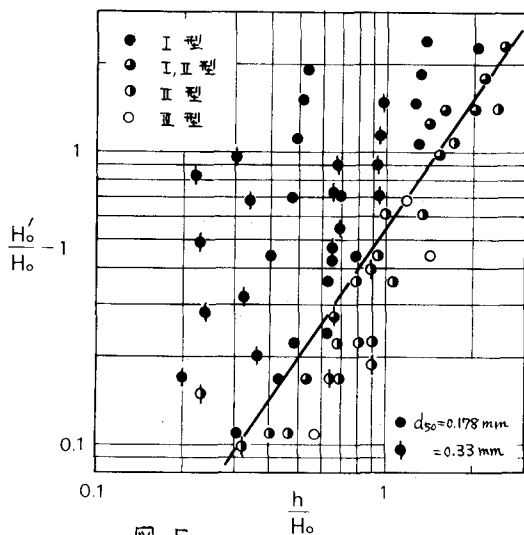


図-5

無次元量

$$\frac{H_0}{L_0} \left[1 + 0.55 \left(\frac{h}{H_0} \right)^{\frac{3}{2}} + 1000 \left(\frac{h}{H_0} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{u}{C_0} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{と} \quad \frac{H_0}{d_{50}} \left[1 + 0.55 \left(\frac{h}{H_0} \right)^{\frac{3}{2}} + 1000 \left(\frac{h}{H_0} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{u}{C_0} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

の関係によって実験資料を整理し、河口付近の地形を区分すると、図-7のようになる。図-7によるとⅠ型、Ⅱ型およびⅢ型の地形がかなりよく区分されている。この図により、河口付近の地形形成におよぼす波の条件、砂の粒径、河川流速および河口水深の影響を推定することができる。

ここでは、河口付近の地形形成の機構にはふれずに実験結果を整理することを考えてきたが、今後は河川流速および河口水深の存在が波による海浜地形の形成におよぼす影響について力学的な考察を加え、図-7の地形区分図の妥当性を検討することが必要であろう。

なお、本研究を行なうにあたり、堀川清司東京大学教授にはいろいろ便宜をはかっていただいた。早稲田大学理工学部土木工学科学生杉本雄士（現東京都勤務）および藤井邦昭（現フジタ工業勤務）の両氏には実験を手伝っていただいた。また、本研究の一部は文部省科学研究費（昭和46年度特定研究、研究代表者井口昌平東京大学教授）の補助を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Iwagagi, Y. and Noda, H.: Laboratory study of scale effects in two-dimensional beach processes, Proc. 8th. Conf. on Coastal Engineering, 1963, pp.190-210.

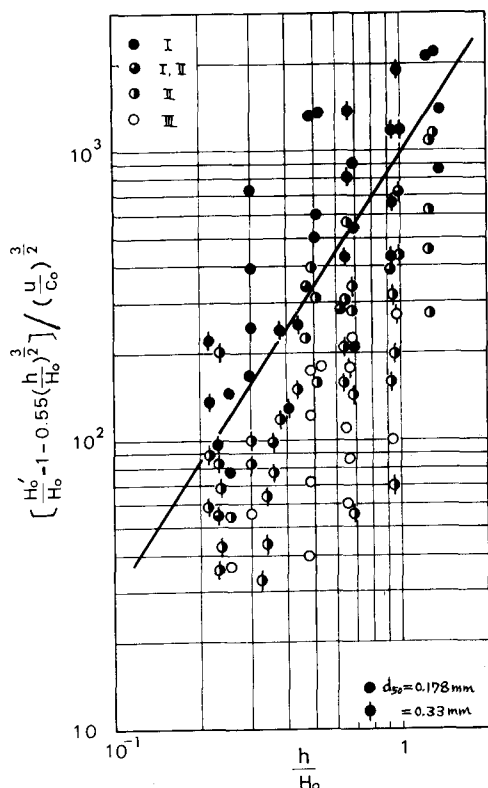


図-6

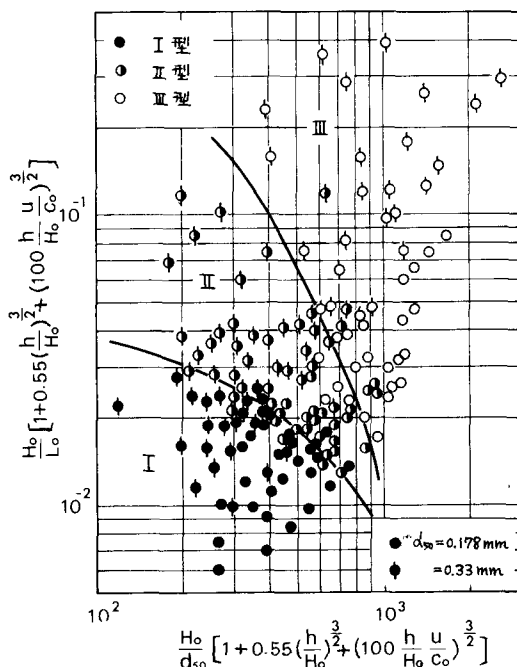


図-7