

河口水位変化におよぼす導流堤の効果について

——河口閉塞機構に関する基礎的研究・第4報——

榎 木 亨*・小 船 浩 二**

1. 緒 言

著者の一人は昨年度の本講演会¹⁾において、河口砂洲の発達にともなう、河川流のせき上げによる水位上昇量、波の侵入にともなう静水面上昇量、および侵入波高の増減について述べ、河口が閉塞した場合には波による静水面上昇量も、河川流の砂洲によるせき上げ量と同様に大きな値となることを指摘した。

したがって、これら河口閉塞にともなう水位上昇を防ぐために、従来河口の処理工法として導流堤が多用されてきている。しかしながら、導流堤の効果を考えてみた場合、河口砂洲をフラッシュする目的であれば、導流堤先端を狭くして、河川流を射流状態にするほうが望ましいが、一方河川流および河道侵入の波による水位上昇を考えると狭くするとせき上げ作用が大きくなって、導流堤自体による水位上昇を考えなければならない。また、導流堤の長さに関しても、防砂の目的で導流堤を長くした場合には、河口断面積が維持されて河川流の流出は容易になると同時に、沖の方の波を河道内部にまで引き込むようになり、その効果も無視できなくなる。

以上のように導流堤の設計にあたっては、流れと波とが利害相反する作用を示し、その設計基準の明確化が現在のところ十分行なわれていない。

本研究はこの導流堤の効果を河道内水位変化という面から明らかにしようとしたものであって、とくに導流堤の長さおよび開口幅に関して、河川流の掃流能力とせきあげ量、波の侵入度の両面から検討したものである。

2. 実験方法と解析法

本研究の基礎的な考え方は昨年度の報告と同様、河口付近の水位変化は、① 流れのせき上げによる水位上昇量、② 波の質量輸送による静水面の水位上昇量、③ 侵入波高の三者の重ね合せとして求められるものとした。したがって、昨年と同様上記三つの効果をそれぞれ分離して明らかにしたうえで、流れと波が共存する場合の導流堤の効果を明確にしていこう。

なお実験装置については、図-1 に示すような河口模型に対し、沖波入射角が 20° の状態で波を作用せしめた

場合についてのみ行なった。なお用いた底質は比重の比較的軽い人工軽量骨材(メサライト)であって、その乾燥比重は 2.17、中央粒径 $d_{50}=1.0\text{ mm}$ である。また海岸勾配は河川軸上では河口より沖へ 270 cm の地点までは 1/90、それより沖側は 1/15、河口両岸の海岸勾配は 1/15 とした。

図-1 において $\bar{l}$ は河口原点から導流堤がない場合に砂洲が発生する地点までの距離であり、本実験の場合 B_0 、 h_0 は一定、また沖波の特性(波高 H_0 および周期)も $H_0=5.3\text{ cm}$ 、 $T=1.3$ 秒という一定の条件で行なわれた。したがって、本実験の場合 $\bar{l}$ も一定値である。

なお河川流量は 0~6 l/sec までの 4 種類に変化せしめた。

3. 導流堤設置にともなう河口地形の変化

導流堤が河口地形の安定および一定の流出断面積の保持の目的を十分はたすならば本項は必要がないわけであるが、導流堤の長さおよび幅によって、その流出断面積はあきらかに異なってくる。とくに長さの影響は大きく、長さの変化にともなう河口地形を定性的にみても図-2 のように大別することができる。図-2 (a) は導流堤が短い場合で、導流堤が砂洲発生地点より短い場

図-1 河口模型

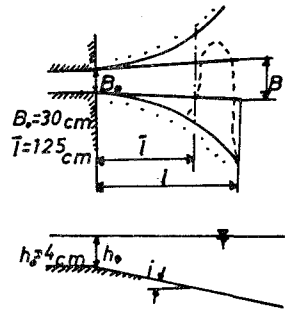
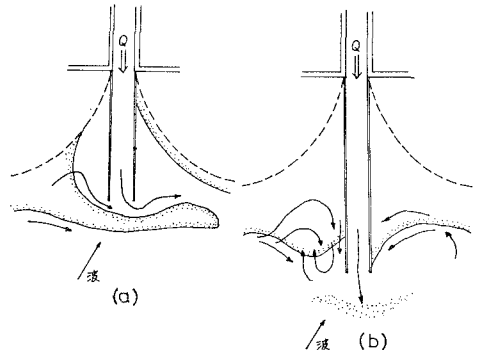


図-2 導流堤の長さで河口地形の変化



* 正会員 工博 大阪大学助教授 工学部

** 学生員 大阪大学大学院生

合には ($l/\bar{l} < 1.0$) 河川流量が大きくても前面に発生する砂洲をフラッシュすることなく、砂洲のためにほぼ直角に蛇行して海へ流出する状況を示す。しかもこの場合、波によって河口付近に運ばれた沿岸漂砂は河川流によって乱されて急速に大きな砂洲の発達成長を示すようになる。したがって、このような場合は河川流と波とは直接干渉しない状態を示す(参考文献1)参照)。

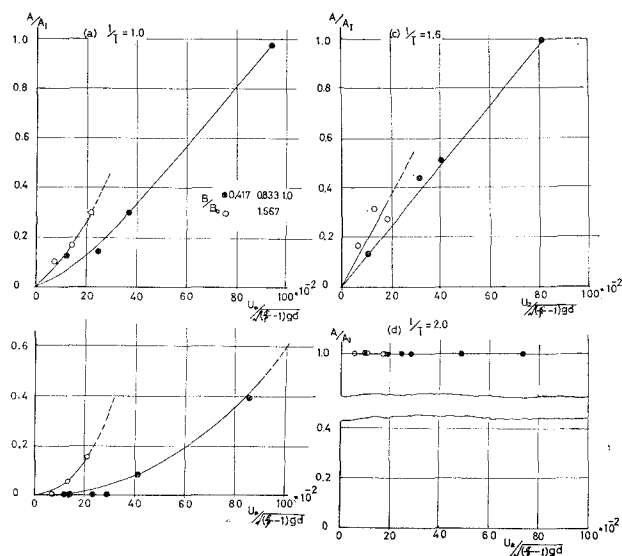
導流堤の長さが長くなるにしたがって(たとえば $l/\bar{l} = 1.3, 1.6$) 導流堤先端部の砂洲は小さくなり、 $l/\bar{l} = 1.6$ 程度になると、導流堤内部に一部その砂洲の先端らしいものがある程度となる。さらに導流堤が長くなると ($l/\bar{l} = 2.0$) 図-2(b) のように河口砂洲は発生せず、導流堤先端部付近に第2報²⁾ で述べたような低い沿岸砂洲が発生する。この場合には河川流は直進し波と干渉しあうような状態を示す。

以上のような定性的な観測結果から、導流堤の効果は砂洲の Flush 効果については、もちろん河川流の掃流能力の差異によってその効果の程度が左右されることはいうまでもないが、海に波が存在する場合それほど期待できず、かえって、導流堤の閉塞に対する効果としては防砂堤としての効果が大きいことがわかるであろう。

つぎに導流堤が砂洲開口部断面積におよぼす影響を河川流の掃流力との関係を求めたのが図-3である。図-3においては、先に述べたように長さが河口地形にきわめて大きな影響をもつので長さ別に上記の関係をとりまとめているが、 A_I は実験開始直後の砂洲が発生しない前の状態での導流堤先端部における開口部断面積であり、 U^* は河川流の平均的な掃流力で次式で求められる値である。

$$U^* = n \frac{Q}{Bh} \sqrt{\frac{g}{R^{1/3}}}$$

図-3 河川流の掃流力と砂洲開口部断面積の関係



ただし、 n は Manning の粗度係数、 Q は河川流量、 B は導流堤開口幅、 h はその地点の水深、 R は径深である。

なお、この U^* は底質の移動限界流速に関係する $\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)gd}$ で除した無次元量で表わしている。ここに σ, ρ は底質および水の密度、 d は平均粒径である。

図-3 においては各長さごとに導流堤開口幅をパラメーターとしてプロットしたが、開口幅の明確な影響が見出されなかったため、図-3 に示すように開口幅が広がった場合 ($B/B_0 = 1.667$) と狭い場合 ($B/B_0 = 0.477 \sim 1.0$) の2本で表わしてある。なお図-3中の A_I は導流堤の開口部断面積を示す。この図の結果から $l/\bar{l} < 1.6$ の場合は河川流出の断面積は導流堤の開口断面積に直接支配されるのではなく、その導流堤前面の砂洲開口部に支配されること、 $l/\bar{l} = 2.0$ のように長い導流堤の場合は河川流出断面積は導流堤開口部断面積と一致することが明らかである。

4. 流れのみによる水位上昇 Δh_s におよぼす導流堤の効果

3. において明らかにしたように、導流堤の短い場合は、その前面に砂洲が発達するので、流れの流出断面積は導流堤の開口幅によって規定される。したがって、この場合の流れのみによる水位上昇量 Δh_s は、昨年度の砂洲による流れの水位上昇量を参照して求めればよいわけであり、導流堤の効果は間接的なものとなる。

一方、導流堤の長い場合は開口部断面積と流出断面積とが一致するので、このような場合には直接導流堤の効果が現われてくる。

河川流のみの導流堤によるせき上げは、従来より開水路

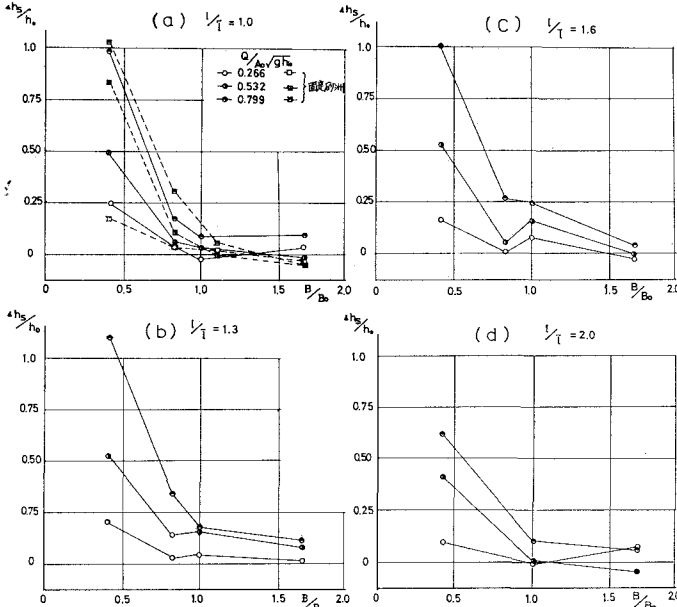
路収縮部における水面形として論じられている。

この水面形を論じる場合、一般に収縮比と導流堤開口部の Froude 数が重要な要素としてとりあげられているが導流堤先端部の Froude 数は長さおよび幅の変化に応じて変化するので、ここでは河口原点の Froude 数を用いて取扱うこととした。

図-4 は Δh_s と導流堤開口幅との関係を導流堤の長さごとに求めたもので、パラメーターとして河口原点の Froude 数でもって表わしている。

この場合は波の作用がないので、先に述べたような砂洲の発生はないが、導流堤の短い場合は、砂洲の開口部に支配されることから、参考として固定砂洲による水位上昇量も併記してある。

これらの図において、 Δh_s はほとんど $l/\bar{l}$ に関係なく、 B/B_0 が 0.833 以下の場合には水位は急激に上昇することがわかる。すなわち、 Δh_s に関しては導流堤は平行もしくは海岸に開いているほうが望ましいわけである。

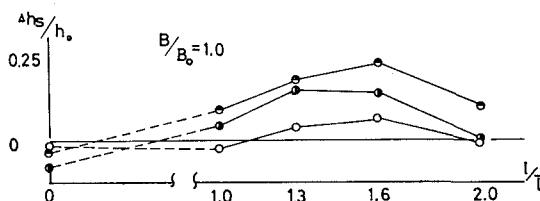
図-4 流れのせき上げ量 Δh_s と開口幅の関係

なお導流堤の短い場合の値と固定砂洲による水位上昇量は、流出口の形状が大きくことになっているにもかかわらずほとんど水位上昇量は変わらないことが認められるが、このことから流れのせき上げによる水位上昇量はおもに開口部断面積に支配されることがわかる。

一方、導流堤の長さの効果をみてみると、図-5 にその一例を示すように、開口幅の影響にくらべて微弱ではあるけれども、導流堤のある長さにおいて最も水位上昇量の大きい導流堤長が存在する。この危険な導流堤の長さは、導流堤の開口幅および河川流量に応じて $l/l_0 = 1.3 \sim 1.6$ とわずかに異なった値をとるけれども河口砂洲の沖側訂線近傍までの長さを示す導流堤長さが最も危険側といえる。なお図-5 において $l/l_0 = 0$ の場合は河口砂洲が発生していない状態である。

5. 波の質量輸送にともなう静水面上昇高さ (Δh_w および $\Delta h_w'$)

3. で述べたように導流堤の長さの長短に応じて、河口地形が異なり、流れが存在しても河口砂洲の発達のため河川流と波とがほぼ直角にあたり、両者が干渉しない

図-5 Δh_s におよぼす導流堤の長さの効果

場合(図-2 (a) の場合)と河口砂洲が存在しなくなって河川流と波とが直接干渉しあう場合が生じる。昨年度の固定砂洲に関する研究結果においても、波と流れが干渉する場合と干渉しない場合によって、波の質量輸送にともなう静水面の上昇量は異なること、干渉しない場合は波のみが存在し、河川流がない場合の水位上昇量と同じ値をとることを明らかにした。したがって、本実験においても流れが存在せず、波のみによって水量する静水面の変動量 Δh_w におよぼす導流堤の効果をまず求めた。その結果が図-6 である。この結果波の侵入にともなう水位上昇が最も生じやすい開口幅が存在することがわかる。なお同図中に比較のため昨年度の固定砂洲による水位上昇量の値を示しておいたが、その値はこの図において、導流堤の長さが固定砂洲の外側訂線付近まで延ばした $l/l_0 = 1.3$

の値とほぼ同じ Δh_w の値を示している。

つぎに図-2 (b) のような河口地形を示す導流堤が長い場合は流れと波とが直接干渉する状態となる。この場合の波による水位上昇量 ($\Delta h_w'$) は先述の Δh_w と異なった値を示し、図-7 に示すように河川流量によって大きく影響をうける。とくに導流堤開口幅が狭く流量の大きい場合には波の質量輸送による水位上昇は認められない。しかし流量が小さい場合には、導流堤の幅の影響はなく、ある一定以上の水位上昇量を示すようである。

図-6 波と流れが干渉しない場合の波による静水面の上昇量と導流堤開口幅の関係

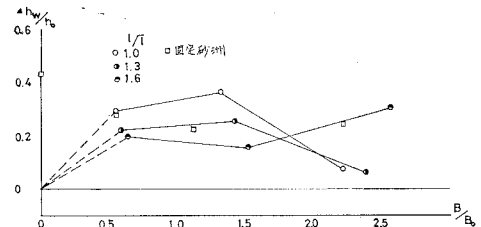
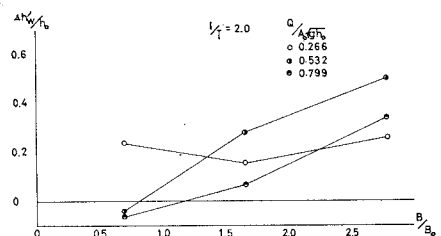


図-7 波と流れが直接干渉する場合の波による静水面の上昇量と導流堤開口幅の関係



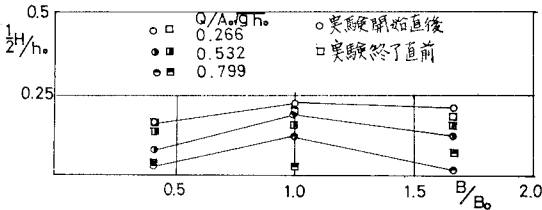
6. 導流堤の侵入波高におよぼす影響

導流堤が短い場合は砂洲がその前面に発生するので、砂洲発達時の昨年度の結果と同様に砂洲による波高減衰が著しい。したがって、導流堤の前面に砂洲が発生する場合には導流堤の侵入波高におよぼす影響は明らかにすることはできない。しかしながら、導流堤が長くなり、前面に砂洲が存在しなくなると、導流堤は侵入波高に対しては、導流堤によって波を河道内に導き入れるような作用をもつ。しかも導き入れられた波は導流堤によって境界が固定されているため発散消滅することなく、河川部上流にまで伝わりやすい性質をもつようになる。

図-8 は導流堤の長い場合における、河川流量ごとの導流堤開口幅変化にともなう侵入波高の変化を求めたもので、図中実験開始直後と終了直前の値を示したのは導流堤前面の地形条件の影響を知るためである。

図-8 によると、導流堤が長い場合は、侵入波高に対して河口地形の影響はほとんど現われず、また導流堤開口幅の影響もそれほど大きなものでなく、河川流量の効果が最も大きいことがわかる。

図-8 河道内侵入波高(導流堤の長い場合)



7. 流れと波が共存する場合の全水位上昇量の算定と各水位上昇量の割合

以上個々の要素による水位上昇量におよぼす導流堤の効果について述べてきたが、ここではこれらの個々の要素による水位上昇量の結果から算定した全水位上昇量 Δh におよぼす導流堤の影響を明らかにするとともに、全水位上昇量におよぼす個々の要素による水位上昇量の割合に関する導流堤の効果を明確にしておきたい。

(1) 導流堤が短い場合

5. および 6. において述べたように導流堤が短い場合は砂洲がその水位を左右するので Δh は、

$$\Delta h = \Delta h_S + \Delta h_W$$

で求めなければならない。この場合、導流堤の効果は砂洲の開口部断面積の変化において現われるものと考え、その変化する開口部断面積に対応した昨年度の固定砂洲の実験に基づいて Δh_S および Δh_W を算定しなければならない。すなわち、図-3 によって、まず砂洲発生後の開口部断面積を求め、この断面積に応じた Δh_S および Δh_W を図-4 および 図-6 の固定砂洲の実験結果

図-9 Δh の算定結果と実測値の比較(導流堤の短い場合)

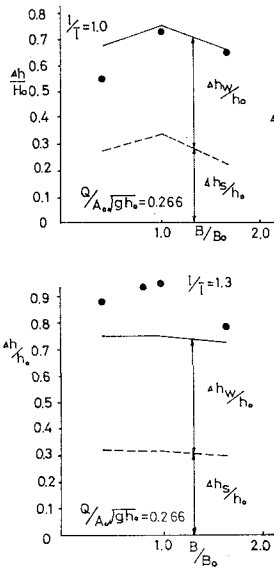
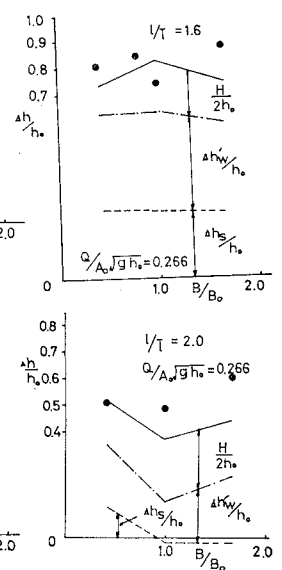


図-10 Δh の算定結果と実測値の比較(導流堤の長い場合)



から求めるわけである。

このようにして求めた一例が図-9であり、同図に実測値もプロットしてある。この結果から、 Δh_S および Δh_W を個々に求めて算定した結果と実測結果とは比較的良好に一致しているようである。なお同図中に Δh_S と Δh_W の値を示したが、導流堤の短い場合は河川流量、導流堤開口幅に関係なく Δh_S と Δh_W はほぼ同程度の割合を示すことが認められる。また河道内の全水位上昇量におよぼす導流堤開口幅の影響は、それほど明確ではないが、図-9 の算定結果からもわかるように、 $B/B_0 = 1$ の場合が最も上昇量大きいことが他の流量においても見られた。

(2) 導流堤が長い場合

この場合は波と流れが直接干渉するようになるので、 Δh は、

$$\Delta h = \Delta h_S + \Delta h_W' + \frac{1}{2} H$$

で求められる。上式の Δh_S 、 $\Delta h_W'$ 、 $\frac{1}{2} H$ は導流堤開口幅を与えることにより、図-5、図-7、図-8 から算定する。

このような各水位変動の一次の重ね合せによって算定した結果と実測結果とを比較したのが図-10であって、図-9 と同様に、 Δh_S 、 $\Delta h_W'$ 、 $\frac{1}{2} H$ の割合も同時に示してある。この場合も、波と流れが直接干渉しない場合と同様に、実測値は一次の重ね合せの仮定に基づく算定値と比較的良好に一致するが、その傾向が反対になる場合もあるので、なお波と流れの相互作用について検討を必要としよう。

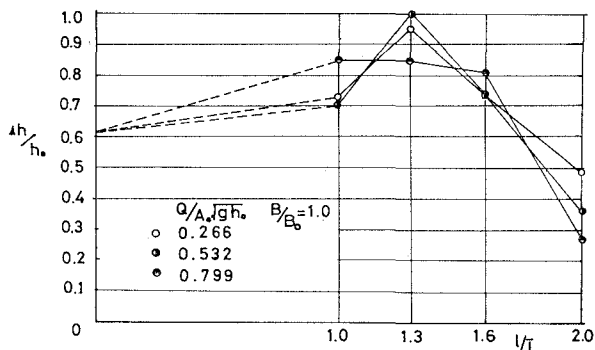
なお 図-10 においては Δh におよぼす各要素別の水位上昇量の割合が、きわめて導流堤の開口幅によって支配されることが明らかにされている。すなわち、開口幅が狭い場合には流れに水位上昇量が比較的大きな値を示すのに対し、侵入波による水位上昇 ($\Delta h_{w'}$ および $\frac{1}{2}H$) は他の開口幅の場合に比較して小さい。しかし流れによる水位上昇量がきわめて開口幅の影響をうけて変化するのに対し、侵入波による水位上昇量はそれほど変化を示さず、その結果、 Δh は 図-9 においてみられる変化とは逆の結果、すなわち開口幅 $B/B_0=1.0$ 付近で最も低い水位上昇量を示すようになる。この導流堤の短い場合と長い場合の開口幅変化にともなう水位変化の傾向の差異は、波と流れの干渉の有無によって生じるものと考えられるが、導流堤の方向を決定する場合にきわめて重要な事実を示唆しているものと考えられる。

しかしながら、図-9 および 図-10 において、波と流れの共存の場合において結果として現われる Δh におよぼす導流堤開口幅の影響は Δh_s , Δh_w (または $\Delta h_{w'}$) および $1/2 H$ の効果が相殺しあって、結果としてはそれほど大きな影響を示していない。

(3) Δh におよぼす長さの効果

つぎに (1) および (2) において分離して検討してきた Δh におよぼす長さの効果について検討したのが 図-11 である。図-11 において $l/l=0$ は導流堤を建設せず河口砂洲が発達していった生じた河道内水位上昇量である。この結果、導流堤幅を漸次狭くする場合、 $B/B_0=0.417$ 、導流堤を平行に出した場合 $B/B_0=1.0$ 、導流堤幅を海側に向かって広げた場合、 $B/B_0=1.667$ いずれの場合も、河川流量によって水位上昇量が最大となる長さはわずかにずれるけれども、水位上昇量が最大となる導流堤の長さが存在する。と同時に導流堤のない場合と比較して、導流堤を建設することによりかえって河道内水位が上昇することに注意しなければならない。図-11 においても導流堤によって水位上昇量の低下を期待するためには、十分な導流堤の長さを必要とすることが明らかであるが、従来の単に導流堤を建設すれば短くても水位低下の効果が期待されるといった誤った考え方は早急に捨て去らねばならない。

図-11 導流堤の長さの変化にともなう Δh の変化 ($B/B_0=1.0$)



8. 結 語

以上、河道内の水位変化の面から導流堤の効果を論じてきたが、本実験が波高、波向、波形勾配を一定として検討をすすめてきたために、他の波の特性に対して先に述べたような結論が適用できるかどうか疑わしい。たとえば、波高が異なれば碎波点が変わるから、その効果も異なった結果を示すのではないかという疑問が生じる。著者らは、この碎波点の移動に関しては碎波点が移動すれば河口砂洲の発生地点もそれに対応して変化するという観点から砂洲発生地点の距離を基準としたわけであるが、波高、波形勾配、波向が変わると河口地形を形成する砂洲の規模が変化するので、なお、今後詳細な検討を続けていくつもりである。同時に Δh が個々の要素に分離した水位上昇量の和によってほぼ算定できることが明らかにされたので、今後これらの個々の要素による水位上昇量について、解析的な研究を進めて、従来その設計計画の方針をただ単に模型実験の結果にのみ頼ってきた導流堤計画に対して、理論的な解明を与えていきたいと考えている。最後に本研究に対して協力していただいた兵庫県河川課の方々に謝意を表するとともに実験にご協力いただいた後藤昭君 (奥村組 K K) に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 榎木亨：河口閉塞にともなう河道内水位の変化について、一河口閉塞機構に関する基礎的研究：第3報一、第15回海岸工学講演会講演集、昭 43.12. pp. 195-202
- 2) 榎木亨・竹内宏：河口における沿岸砂洲の発生発達について、一河口閉塞機構に関する基礎的研究：第2報一、第13回海岸工学講演会講演集、昭 41. pp. 151-155.