

II-38 河口閉塞にともなう河道内の水位変動の解析的研究

大阪大学 工学部 正員 榎本 亨
運輸省港湾技術研究所 正員 小川 浩治

1. 緒言： 著者らは、ここ数年にわたって、河口閉塞にともなう河道内の水位変動を実験的に検討し、漂砂が卓越する海岸では、波による沿岸漂砂のため河口地形は蛇行し、波の入射方向と河川流の流出方向とはほぼ直角となり、波と流れは互いに干渉しなくなるとともに、侵入波は河口砂洲によって妨げられて、ほとんど河道内への侵入がないことを明らかにした。そしてこのような場合の河道内の水位上昇量は、河川流のみ存在する場合の砂洲によるせき上げ量と、波のみが存在する場合の波の質量輸送にともなう水位上昇量及び侵入波高の $\frac{1}{2}$ のそれぞれを和として算定出来ることを実験的に確かめた。したがってこのように波と流れがほぼ直角になるような河口においては、これら、それぞれの水位上昇を解析的に研究を行なうことにより、全体の水位変動の理論的解析を行なうことができるわけだ。本研究は上述の各要素の水位上昇別にその結果についで論述していくこととする。

2. 流れの砂洲によるせき上げ量(Δh_g)の解析結果と実験値の比較

解析を行なうに当たっての河口地形は、実験の場合と同様に図-1に示すような状態と考える。図-1に示すような場合のせき上げ量は閉水路の縮流として取り扱うことができる。したがって、(図-1)の断面0、及びIの水位差 Δh_g と流量 Q との間には次の関係が成り立つ。

$$Q = C \cdot A \sqrt{2g(\Delta h_g - R_f + \lambda_0 \frac{V_0^2}{2g})} \quad (1)$$

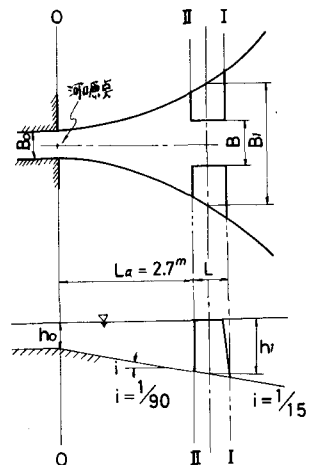
ここに、 A ：断面Iの通水断面積、($A = B \cdot h_I$)、 λ_0 ：断面0のエネルギ補正係数、 V_0 ：断面0の平均流速、 C ：閉口部の流量係数、 R_f ：断面0、I間の摩擦損失水頭で、マンニングの平均流速公式を用いると次式で表わすことができる。

$$R_f = \frac{n_1^2 L_a}{A_0 A (R_0 R)^{4/3}} + \frac{n_2^2 L}{A^2 R^{4/3}} \quad (2)$$

ここに n_1 、 n_2 、 i ：断面0-I、II-I間のマンニングの粗度係数、 R_0 、 R ：断面0、Iの径深である。したがって、(Δh_g)は次式で表えられる。図-1 河口砂洲モデル

$$\Delta h_g = \frac{Q^2}{2g} \left\{ \frac{1}{C^2 A^2} + \frac{n_1^2 L_a}{A_0 A (R_0 R)^{4/3}} + \frac{n_2^2 L}{A^2 R^{4/3}} - \frac{\lambda_0}{A_0^2} \right\} \quad (3)$$

(3)式を用いて図-1の場合のせき上げ量を算定するに当たっての問題点は、① 流量係数をいかに決定するか？ ② A 及び A_0 をいかに決定するか？ がある。この場合砂洲閉口部からの流出は無限水域への流出であるから断面Iの水深を潮位にひとしいとして $A = B \cdot h_I$ として求めた。また流量係数 C についてGeological Surveyの実験値があるが、著者らの実験値から逆算した値とこのGeological Surveyの実験値とを比較したものが表-1であり、極めてよく一致していることがわかる。



また Geological Survey による C の値を用いて、(3)式を用いて流れによるせき上げ量を比較したものが図-2 である。

この図によると A/A_1 が $1/4$ より大きい開口巾を有する場合、計算値と実験値とがよく一致しており、河口部の流れのせき上げ量 Δh_g は(3)式で算定できるものといえる。一方 A/A_1 が $1/8$ 程度に開口巾が狭くなると実験値は計算値とはずれてきて、完全閉塞の状態に近くなっていく。この完全閉塞の場合のせき上げ量は、広域せきの越流として取扱うと流量 Q と越流水頭 Δh_g の間には次式が成立する。

$$Q = \sqrt{2g} \cdot m \cdot b \cdot \Delta h_g^{3/2} \quad (4)$$

ここに b : 越流巾, m : 越流係数 である。

図-3 は完全閉塞の場合の流れのせき上げ量の実験値と(4)式による計算値の比較したもので、この図から完全閉塞の場合の水位上昇量は(4)式で充分算定できることがわかる。

3. 波の値量輸送ともなり水位上昇量 (Δh_w) の

解析結果と実験値の比較

波の値量輸送ともなり水位上昇 Δh_w は、波の値量輸送によるいそ波帯の全体的な上昇量 δ_1 と、砂州が乗り越えて侵入した水が砂州によりせき上げられて生じる上昇量 δ_2 の和として算定できるものと仮定する。もちろん、砂州がない場合には $\delta_2 = 0$ となり、また完全閉塞の場合には $\delta_1 = 0$ となるであろう。

(a) δ_1 の算定: 一様な勾配の平行等深線をもつ海浜に、単位率中あたりに M なる平均容積をもつ波がよなる角で入射するものと考え、さらに波をいそ波帯の波と対象とするにめ孤立波と仮定すると、その値量輸送速度は、

$$U = \frac{M}{h \cdot T_e} \cos \alpha \quad (5)$$

ここに T_e : 相当周期, α : 波の入射角,

$$M = 4k^2 / \sqrt{H} \cdot \partial R, \quad T_e = 2\pi / m \sqrt{gh}$$

$$m = \sqrt{3H/R^3}$$

で求められる。

一方、波の値量輸送により生じたいそ波帯の水面の上昇は沖向きの流れを生じる。図-4 に示すように I 線を断面工とし、いそ波帯の任意の断面 II と考えて、水面の

A/A_1	$Q(l/s)$	C (G.S.の値)	C (著者の実験)
$1/8$	2	0.77	0.78
	4	0.87	0.91
$1/4$	2	0.73	0.78
	4	0.75	0.75
	6	0.78	0.79

表-1. 流量係数 C の比較

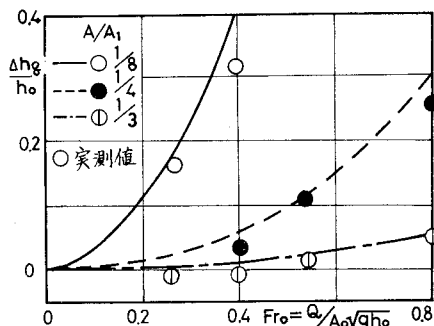


図-2. 流れのせき上げ量の計算値と実験値の比較 (部分閉塞の場合)

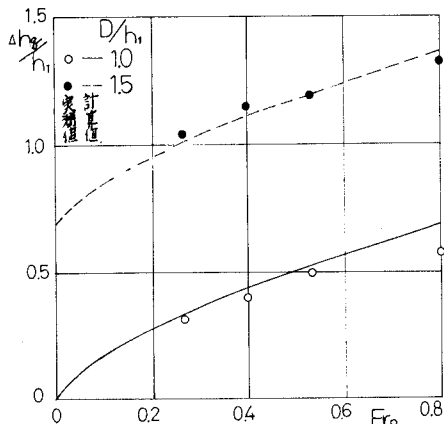


図-3. 流れのせき上げ量の計算値と実験値の比較 (完全閉塞の場合)

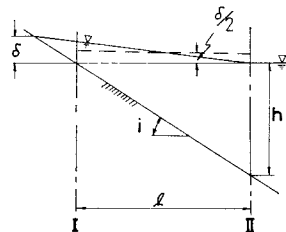


図-4. δ_1 算定の説明図 (一般海岸の場合)

上昇を正断面において平均 $\delta/2$ と仮定すると、 δ による沖向きの流水の流速 U' は、次式で表えられる。

$$U' = g\delta/2 \quad (6)$$

平衡状態においては、いそ波帯の任意の断面においてこの U と U' とがひとしいと考え、図-4 に示す水位上昇量 δ は次式で求められる。

$$\delta = \frac{gH^2}{\pi^2 R} \cdot \cos^2 \alpha \quad (7)$$

上述の任意断面 II を砕波突におき、砕波突における静水面を沖の静水面と仮定すると、孤立波の砕波限界、

$R_b = 1.28 H_b$ を (7) 式に代入することによって、河口における水位上昇量 δ_b は次式のように求められる。

$$\delta_b = 0.633 \cdot H_b \cdot \cos^2 \alpha \quad (8)$$

(8) 式で表えられる δ_b (B 線) における上昇量であり、河口のような、ある水深をもつ場合の水位上昇は、図-5 のように、 $\delta_b - \delta' = \delta$ なる水位上昇しか示さないと考えられる。この δ' は、(7) 式を導くに当、く任意断面 II をこの A 地点と考えれば、その静水面を基準とした水位上昇が表えられるわけであるから、A 点における波高を知れば

(7) 式に基づいて δ' を求めることができる。図-6 は堤防による海浜勾配の影響を考慮した砕波後の波高変化曲線を用いて、(7) 式によ、て算定した δ の計算曲線であり、図中、 $i=1/15$ の著者の実験結果を示した。この図から $i=1/20 \sim 1/15$ のように海浜勾配の峻しい場合は、 δ と H_b はほぼ一次の関係を示すものといえる。

図-5 δ の算定の説明図 (河口における場合)

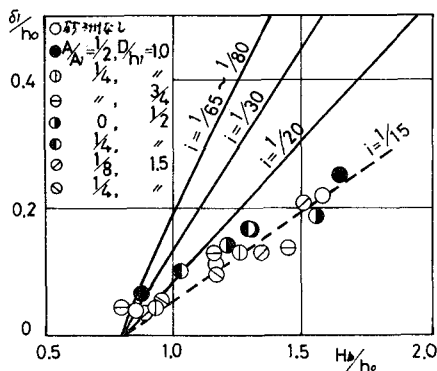


図-6 δ の算定値と実験値の比較

b) δ_2 の算定: 砂洲をこえる越波量の算定式は未だ充分確立されたものはない。ここでは砂洲前面に到達する波が砕波であるため、波と孤立波の波形を近似し、越波量が、波形の砂洲の天端高より上部の水容量に比例するとして求めた次式を越波量公式として採用することとした。

$$V / \left(\frac{4}{\sqrt{3}} H^{1/2} R_c^{3/2} \right) = \alpha \left\{ \left(1 - \frac{R_c}{H} \right)^{1/2} - \frac{R_c}{H} \operatorname{sech}^{-1} \left(\frac{R_c}{H} \right)^{1/2} \right\} \quad (9)$$

ここに、 V : 単位巾、一周期当りの越波量、 R_c : 静水面よりの砂洲の天端高さ、 α : 常数、Beach Erosion Board の実験値と比較して 0.5 という値を入っている。

(9) 式より砂洲がほぼ静水面と同じ高さの場合は、

$$V = 0.5 \times \frac{4}{\sqrt{3}} H^{1/2} R_c^{3/2} \quad (10)$$

で表えられる。

したがって砂洲の中を b とし、越波が砂洲の全中に亘、て生じるものとすると、単位時間当りの越波量 Q は

$$Q = BV/T \quad (11)$$

で与えられる。この(10)式で与えられる越波量を河川流と同様に扱い、式(3)あるいは式(4)によって Δh_g を求め、この $\Delta h_g = \delta_2$ と考えることができる。この δ_2 を(11)式及び(3)式によって求め、開口部断面面積の変化による変動を求めた結果が図-7 である。図-7 からわかるように、この δ_2 による水位上昇は開口部断面面積が十分に閉塞された状態ではないとあらわれないことがわかる。しかしながら河口閉塞のいちぢるしい場合には図-6と比較してもわかるように、 δ_1 と同程度の水位上昇量をもたらすことが明らかである。

なお実験においては、この δ_2 のみをとりだして観測することはできないため、河口に砂州がない場合に観測された水位上昇量を δ_2 と考え、この δ_2 に図-7 のように算定された δ_2 を加えた値を Δh_w の算定値として、 Δh_w の実験値との比較をしたものが図-8 である。この図によれば Δh_w が δ_2 のみより、(主として完全閉塞 ($A/A_1 = 0$)) の場合には、越波量の算定誤差により実験値の方が大きくなる、くいるが、その他の場合にはよ、一致しており、流れの影響をうけない場合の波の値量輸送による水位上昇 Δh_w は δ_1 と δ_2 の和として充分算定できるものと考えられる。

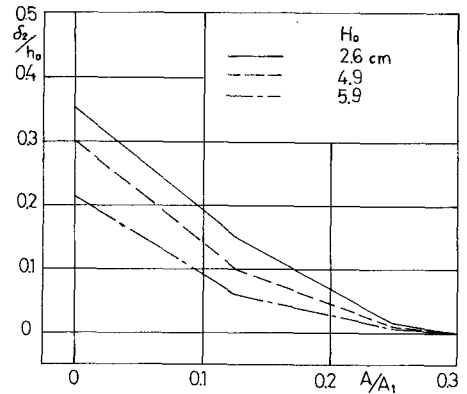


図-7 河口断面面積の変化による δ_2 の変動

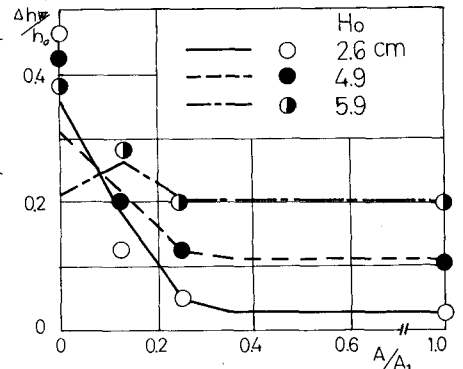


図-8 Δh_w の算定値と実験値の比較

4. 侵入波高の算定

河口原突の侵入波高は、波が閉塞砂州によ、て一部反射し、河道内に伝達された波高は河道侵入とともに河道内へ拡散し、波高を減しながら上流へ伝達する。侵入波の開口部からの波の伝達エネルギーがその開口部によって比例するものとし、拡散によるエネルギー損失を無視して、単にエネルギー束の拡がりによる波高の変化としてのみ考えると比較的容易に算定できるが、上述のようにこの解析過程には多くの仮定があり、十分なものとはいえない。この仮定の検証を行な、て後日報告することとしたい。

5. 結語

著者らは上述のように波と流れが干渉しない場合の水位変動についてのみ考察とすすめながら、波と流れの干渉する場合も少なくなく、とくに閉塞砂州がはいの場合にはこの干渉する場合とみなすことができる。この場合先年の実験的研究結果をもつくと、流れによるせき上げ量 Δh_g は本報告の場合と同様であるが、 Δh_w が流れの干渉をうける場ことな、に値を示し Δh_w に δ_1 と δ_2 の和を示すことと指通した。この Δh_w は現在充分解析することはできないが、と同様に δ_1 と δ_2 の和として考えられるものとする、 $\Delta h_w/h_0 = f(H_0/h_0, L_0/h_0, A_0/A_1, F_{r0}, A_0/A_1)$ とあらわすことができるので、波高に及ぼす流れの影響を十分解析することにより、(求めるものと考えられよう)。