

# 河口閉塞に関する研究 (第五報)

## 河口断面について (その1)

上 森 千 秋

(高知大学農学部農業工学教室)

## STUDIES ON THE BLOKING OF THE RIVER MOUTH (Rep. 5)

On the cross-section of the river mouth (1)

by Chiaki AGEMORI

(Laboratry of Agricultural Engineering, Agriculture Department, Kochi University)

### は し が き

合理的な河口処理を実施するためには、その河川の流況に応じ、過大でなくかつ十分な断面を与える必要がある。これがためには河口断面は如何なる因子によって支配され、どのように変化し、あるいは平衡を保っているかと言うことについて十分解明しておく必要がある。

しかし河口における均合条件は、河川流、波動流、潮汐流および他の沿岸流が関係し極めて複雑となり、簡単な理論解を求めることはできない。

そこで筆者は、日本沿岸の河口の現況から、河口形状を支配する主要因子によって河口を分類することの可能性をみだし、いくつかの典型化された河口形態について、上述の問題を解明しようと試みている。

こゝではまず、その分類の方法と、河川流型河口の平衡条件について検討を行った。

### I. 河 口 型 の 分 類

河口形状が漂砂移動によって決定されるとすれば、漂砂を移動させることのできる流れが河口形状の支配因子となる。河口付近に発生する主な流れには河川流、波動流、潮流があるが、そのいずれが強力に作用しているかによって、次の三つに分類することができよう。

#### 1. 河川流型河口

流量およびコウ配の大きい河川では、掃流力および流砂量が大で、河口断面は主として河川流量によって支配されている。

波浪および潮差の小さい海域では、河川流の影響はさらに顕著になり、極端な場合には湖面に注入する河口と同様の case となり、自己の吐出する土砂によって河口滞砂をおこし、流量変動のみによって河口の開度が変化する。

#### 2. 波動流型河口

付近海域の潮差小さく、河川自体の流量およびその変化も少なく、かつ波浪の卓越するようなところでは、ほとんど波動流によって河口断面が決定される。

この場合河口に対する漂砂量は、波の特性すなわち波形コウ配による二次元的な漂砂方向の相違により、あるいは波の汀線に対する三次元的な方向角によって異なるため、その見積が非常に困難で、単に掃流力的な関数で表示することはできない。

従ってこのような河口では、河口断面に対する解析が極めて困難であるばかりでなく、河口処理

自体が最もむつかしい。

### 3. 潮汐流型河口

河川および波動の掃流力弱く、かつその変動も小さい海域で、潮汐作用が大きい場合には、河口閉塞は主として潮汐流に支配される。一般に潮差の極めて大きい海域では、いわゆる河口閉塞と言う現象は生じないが、潮差がさほど大でなくとも河口に大きなポケットを有する場合には、相当量の tidal prism によって河口断面が保持されている。

河口のみならず、すべての inlet に対する潮汐流の影響力は、河川および外海に連絡している池、湖沼、潟、港湾等の排水および干拓、埋立等の計画をたてる場合に、必ず考慮されるべき重要な因子である。

## II. 河川流型河口断面の平衡条件

沖積河川においては流砂をとまなうことによって、河川の平衡条件がきまり、河床コウ配と断面積あるいは川幅が決定される。

摩擦速度を  $u_* = \sqrt{gRI}$  とすれば、全断面の平均流速および流量は次式で表わされる。

$$v = Cu_* / \sqrt{g} \quad Q = ACu_* / \sqrt{g} \quad \dots \dots \dots (1)$$

河床砂の粒径  $D$  に対する限界摩擦速度  $u_{*c}$  は

$$u_{*c} = \sqrt{\tau_{*c} / \rho} = f(D^{\frac{1}{2}}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

となるので、流砂均衡を保つ平衡河川では、 $u_* \equiv u_{*c} = u_{*eq}$  なる条件でもって、平均流速  $v$  は  $D^{\frac{1}{2}}$  の関数となる。従って流量  $Q$  は

$$Q = A\phi(D^{\frac{1}{2}}) \quad \dots \dots \dots (3)$$

となり、平衡断面積  $A$  は、流量  $Q$ 、粒径  $D$  の簡単な関数形で表わされる。

さらに河床コウ配が一様で、河床砂の淘汰が顕著でないような河川では、粒径一定と見做されるので、 $A$  は  $Q$  のみの関数として表わすことができる。

$$A \propto Q^\alpha \quad \dots \dots \dots (4)$$

このような平衡状態にある河川の河口は、海面による堰上によってダム上流のような滞砂を形成しつつあるが、高潮、高浪時には一層堰上の程度が大となり滞砂の促進、河口の狭窄が行われ、洪水による内水位の上昇および干潮時には低下背水となり滞砂の掃流、断面の拡大が行われている。

このように河口は潮汐および波動の作用によって水面コウ配(掃流力)に変化を生ずるばかりでなく、潮汐流および波動流によって河口を通る流量自体も変化するので、その断面積  $A_r$  は、沖積部における平衡条件をもとにして、次のような複雑な parameter をもって平衡を保つことになろう。

$$A_r = f(Q_{al} u_{*eq} \beta W_a Q_r) \quad \dots \dots \dots (5)$$

こゝに  $Q_{al}$  : 沖積部分の河川流量

$u_{*eq}$  : 平衡条件となる摩擦速度

$\beta$  : 速度分布に関係する河口の形状係数

$W_a$  : 浜(海底)コウ配、波の周期、波高、波と汀線とのなす角等多くの因子を包括した波作用

$Q_r$  : 河口を出入する潮汐流量

また沖積部分の河川断面積  $A_{al}$  と河口部断面積  $A_r$  との差  $\Delta A$  は、沖積部と河口との流砂量

の相違によるものである。断面積に変化を与えるような流砂は掃流砂である。全断面の掃流砂量を  $Q_B$  とすれば、 $\Delta A$  は

$$\Delta A = A_{ol} - A_T = \Delta Q_B / v_B \quad \dots \dots \dots (6)$$

で表わされよう。ただし  $v_B$  は平均掃流砂速度とする。単位幅当りの掃流砂量  $q_B$  は次のような関数形となり

$$q_B / u_* D = f(u_*^2 / sgD) \quad \dots \dots \dots (7)$$

摩擦速度  $u_*$  および河床砂の粒径  $D$ 、水中比重  $s$  によって解くことができる。

河川流は勿論、潮汐流も波動流も  $u_*$  を求めることができ、原理的には(6)式と(7)式を組合せると平衡した河口断面積を計算することができる。しかし前述のように波動流については移動量をだしえても、その方向が定義づけられぬため、ベクトル的な漂砂量をだすのには(5)式の  $W_a$  の中に含まれる parameter を導入し、さらに opposite current (こゝでは河川流) による波動変化も考慮に入れる必要があり、極めて複雑な計算過程を経なくてはならぬ。

### III. 仁 淀 川 の 河 口 断 面 積

#### 1. 概 況

仁淀川は源を石鎚山に発し、四国山脈を縫い多く屈折しながら土佐湾の中央部に流入している、流域面積  $1,500 \text{ km}^2$  余、計画洪水量  $12,000 \text{ m}^3/\text{s}$  の高知県第二の河川である。

この河川は流路延長大で(約  $120 \text{ km}$ )、河床コウ配も緩であるため、河床砂の節分け作用はあまり顕著でなく、かなり上流(河口より約  $50 \text{ km}$ )より、dune を含めた平均河床コウ配は約  $\frac{1}{700}$  となり、粒径もほとんど変化せず移行部を経て沖積部に入っている。沖積部といえども上流部と顕著な変化なく、約  $12 \text{ km}$  の間を  $\frac{1}{800} \sim \frac{1}{1000}$  のコウ配、 $0.7 \sim 2.0 \text{ cm}$  の平均粒径(平均して  $D_{50} = 1.2 \text{ cm}$ )の河床砂でもって河口に至っている。

この沖積部に対する安定形状(河床コウ配)については、先に著者らによって報告されたが<sup>(1)</sup>、局部的な変動をのぞけば一応平衡を保っていると見做された。またこの河床砂よりすれば流量  $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上の出水があれば著しい流砂を発生し、これが河口付近に滞積し、波作用と相俟って図-1のような長大な河口砂洲を形成している。

河口砂洲は主として河川流の流向に支配され右岸側からのび、最も発達したときには右岸護岸堤より東方へ約  $800 \text{ m}$ 、中央部標高  $4 \sim 5 \text{ m}$ 、幅  $100 \text{ m}$  内外となり、河川流量および外洋の諸因子と平衡した河口断面を形成している。昭和26年以降の年一回の深淺測量および数回の汀線測量の結果によると、夏一秋期の出水による河口断面積の拡大と、冬期の潟水による河口断面積の狭窄とがかなり判然としている。この場合夏期には東よりの風が多い(特に台風時の steep な波は東よりである)ため、河口は右岸側へ拡大移動する傾向があり、冬期は西よりの風浪が卓越するため、河口の狭窄は右岸砂州の東進によって行われる。また出水時には流れが直流しようとするため流水自身によっても右岸砂州の洗掘が助長される。

このように河口は主として右岸砂州の消長によって(大きい出水時には右岸砂州の途中が洗掘され、常時の河口と別に数個の新河口ができることもある)拡大、狭窄を繰返しているが、土佐湾における年間の風向頻度は、西より：東よりが  $7 : 3$  位の割合になっているため、大体の傾向としては西から東へ移動する漂砂が多く、右岸砂州が卓越し、河口は左岸に偏して開口している場合が多い。

このような現況にあるため県では河口を拡大固定し、下流部の氾濫を防止するため左岸へ延長

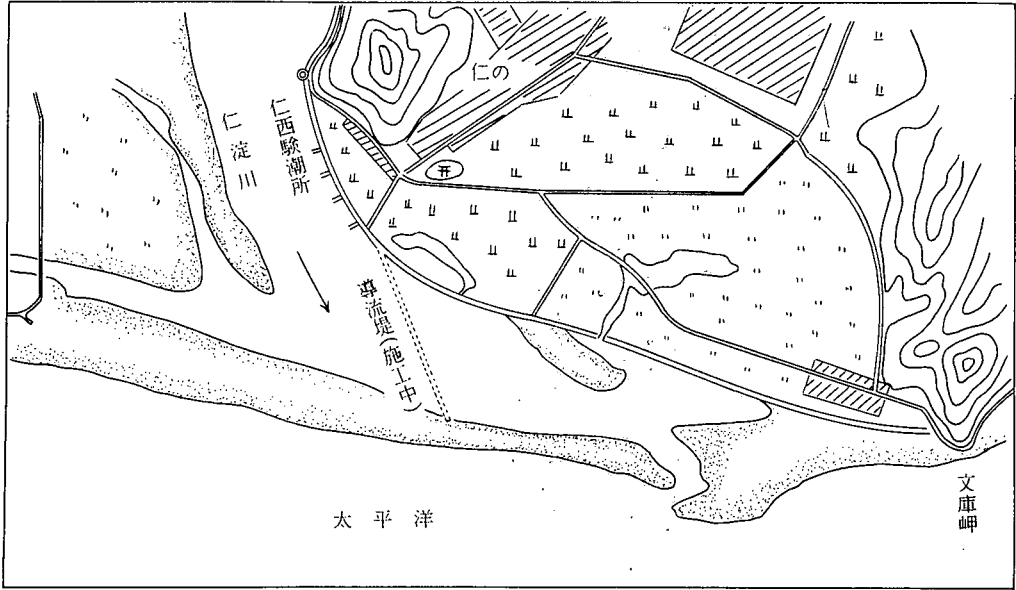


図-1 仁淀川河口付近平面図

530 m の、コンクリート方塊とテトラポットの混成導流堤を計画施工している。この場合、導流堤施工による河口付近の掃流力の増大はある程度期待できるが、実際の河口断面拡大に働く導流堤効果を正確に見積るためには、現況における河口が如何なる平衡条件にあるかということを明らかにしておく必要がある。

2. 沖積部の平衡断面

建設省伊野測水所の水位一流量図および、平衡していると見做される各断面の横断面図による水深一断面積曲線より、現況における断面積と流量との関係とを求めると図-2 (昭和32年10月~11月) のようになる。

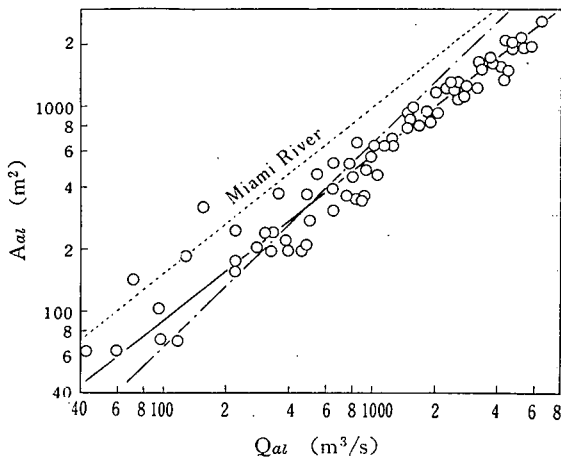


図-2 仁淀川沖積部の平衡断面積

この計算は、各水位時の水面コウ配を  $I = \frac{1}{800} = \text{constant}$  として行ったためとくに低水時の各断面の水深の精度がおち、これが断面積や流量の精度に影響している。従って図-2の小流量時には多少の点の散開がみられるが、流量を増すに従って散開が少なくなり、 $Aa$  と  $Qa$  との間にはかなり明瞭な関係が存在することが判る。

Gerald Lacey<sup>(2)</sup> は  $v_c$  を粒径  $D$  に対する限界流速とし、 $f$  を silt factor としたとき

$$Qf^2 = 3.8 v_c^6$$

が成立するとし、 $v_c = Q/A$  として、沖積河川の平衡断面積は

$$A = \sqrt[6]{\frac{3.8}{f^2} Q^5}$$

で表わされることを提示している。また C. R. Pettis は Miami 川の資料から

$$A = 1.25 Q^{0.8} \quad (\text{ft-sec})$$

なる安定条件式を導いている (図-2 の点線)。図中の実線は仁淀川における断面積と流量との関係を示すもので、

$$A_{at} = 2.27 Q_{at}^{0.8} \quad (\text{m-sec}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

となり、同じ流量に対し Miami 川よりやや小さい断面積を示すが、傾向は全く近似している。この両河川の相違は恐らく限界掃流力すなわち粒径の相違によるものと考えられる。

次に、この沖積部分の河床砂の粒径から、流砂を考慮した平衡条件を考えてみる。岩垣博士<sup>(3)</sup>によれば、水中比重  $s = 1.65$ 、平均粒径  $D \geq 0.303 \text{ cm}$  するときには、限界摩擦速度  $u_{*c}^2 = 80.9 D$  で表わされる。この  $D$  に仁淀川の  $D_{50} = 1.2 \text{ cm}$  を入れると

$$u_{*c}^2 = 80.9 \times 1.2 = 97.1 \quad (\text{cm/sec})^2$$

$$u_{*c} = 9.86 \quad (\text{cm/sec})$$

となる。  $u_{*c} = u_*$  するときの限界平均流速  $v_c$  は、各水深に対する粗度係数を一定と仮定して、  $C = 33.3$  を与えると

$$v_c = 0.0986 \times 33.3 / \sqrt{9.8} = 1.05 \quad (\text{m/s})$$

となる。さらに砂の移動が顕著になるのは、  $u_*^2 / sgD \geq 0.1$  であるから、河床形状に変化を与えるためには  $v = 1.05 \times \sqrt{2} = 1.485 \text{ m/sec}$ <sup>(註1)</sup> 以上の平均流速を必要とする。従って流砂均衡を保つ条件は

$$Q/A = 1.485 \doteq 1.5$$

となり

$$A \doteq 0.66 Q \quad \dots\dots\dots (9)$$

が平衡断面の条件式となる。

(9)式を図-2に入れると鎖線のようになり、両者ともかなり仮定が入っているにも拘わらず、現況と比較的よく近似している。この二つの線の交点の流量は  $Q = 450 \text{ m}^3/\text{s}$  となり、流砂がかなり顕著になる限界流量を示しているようである。実際 2~3 の掃流砂測定結果  $Q = 300 \text{ m}^3/\text{sec}$  以上になると、dune の形をもって砂の移動が始まり、場所によって異なるが、かなり均斉度の高い 4~40 mm の掃流砂が採取された。

$Q = 200 \sim 1,000 \text{ m}^3/\text{sec}$  では平衡条件と現況との間には大差がないが、これ以下の流量部分では現断面が大きく、これ以上の部分では現断面が小さく現われている。これは現況断面計算時における水面コウ配一定の影響も入っていると考えられるが、さらに流砂平衡の断面を形成するためには、小流量の場合には滞砂による断面の狭窄、大流量の場合には洗掘による断面の拡大が望まれることを示すものであろう。

なお、この平衡断面と現況断面との相違には、平均流速  $v$  乃至  $v_c$  と摩擦速度  $u_*$  との不一致が

(註-1) 先に著者らによって報告された仁淀川の流砂平衡流速は、水中比重  $s = 1.7$  を用いかつ限界平均流速  $v_c$  を対数分布式より求めたので  $v \doteq 2.0 \text{ m/sec}$  となっており、こゝで求めた数値と異っているが、こゝではこの平衡条件を、水面コウ配の不定な河口へ適用するため、あえて簡易式(1)より平均流速を求めた。

かなり大きく影響しているようである。これは単に仮想的な(1)式を用いただけによるものでなく、流速分布式

$$\frac{u}{u_*} = a + b \log_e \frac{R}{k_s} \quad \dots\dots\dots (10)$$

(R : 径深,  $k_s$  : 相対粗度)

において、流砂が発生すれば相対粗度が増大し  $\frac{u}{u_*}$  が小さくなる(摩擦速度に比べて平均流速が小さくなる)ことにもよる。さらに自然河川では低水から高水にかけて、断面形が一様でなく(事実仁淀川においても、低水路、高水路(氾濫川原)、さらに築堤部分へと、水深と河幅との関係が著しく異なる)、周辺粗度では表わしえない形の影響によって流速分布が異なるものと考えられる。特殊な断面では流速分布式は、形状係数  $\beta$ 、水面と水路壁との角度の影響  $\bar{\epsilon}$  とを考慮した(11)式を使用すべきだと R. W. Powell<sup>(4)</sup> も指摘している。

$$\frac{u}{u_*} = a + b \left( \log_e \frac{R}{k_s} + \beta \right) - \bar{\epsilon} \frac{u}{u_*} \quad \dots\dots\dots (11)$$

従って図-2の(9)式の線は、流砂が大となるにつれて下降し、(8)式の現況に漸近する可能性がある。

3. 河口部の平衡断面

a. 河川流量との関係

河口砂州の粒径は場所および波の変動によって異り、 $D_{50} = 1 \sim 3$  cmの範囲で変化しているが、一応上流と同様の平均直径と見做して、(9)式を断面積と流量との平衡条件とする。

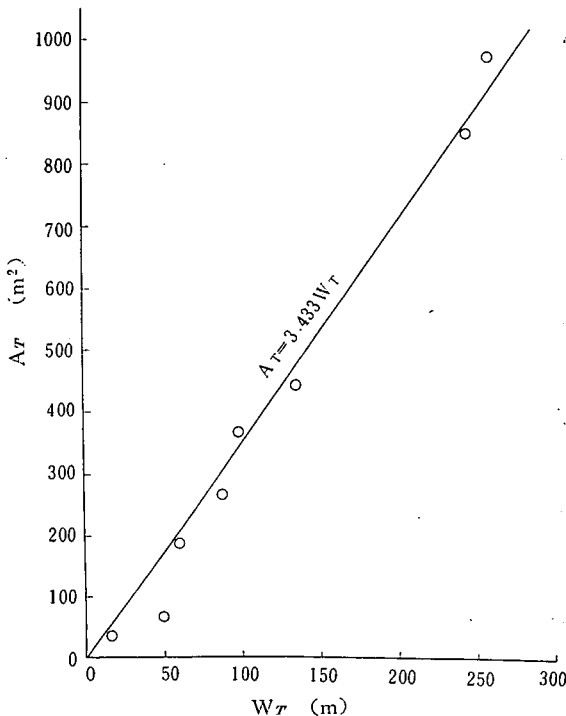


図-3 河口幅と断面積との関係

深淺測量の結果より、中等潮位面の河口幅  $W_T$  と河口断面積  $A_T$  との関係を求めると、図-3のようにほぼ直線の関係となる。この図より得られた  $A_T = 3.43W_T$  なる関係式より、汀線測量時の  $W_T$  より  $A_T$  を求め、(9)式よりこの断面を保持するに必要な平衡流量  $Q_{eq}$  を求めた(表-1参照)。

このようにしてえられた測定断面積  $A_T$  は、測定日以前に発生した  $Q_{eq}$  以上の支配(最大)流量によって拡大され、その後流量の減退、あるいは波および潮汐流によって滞砂、狭窄されて平衡を保っているものと考えられる。

i 最大流量との関係

伊野測水所の水位流量曲線および各所の水位記録(伊野水位記録の補充、検討のため、これより下流の波川および中島測水記録を照応した)を用い、河口断面を支配したと見做される測定前に起った  $Q_{max}$  と  $A_T$  との関係を求めると、図-4のようになる。図-4は非常に散開が

多く判然としないが、出水によって断面が拡大され、その影響は著しい波浪変化のない限り、かな

No.	Wr(m)	Ar(m)	平衡流量 Q <sub>eq</sub> (m <sup>3</sup> /s)	支配流量 Q <sub>max</sub>	有効持続 流量 Q <sub>max</sub> /day	$\frac{Ar-A_0}{A_0}$	$\frac{Q_{max}-\Sigma(Q_0)}{-Q_0}/Q_0$	海風/ 陸風	東風/ 西風	5m/s 以上の 海風回 数	測定時の 流速 (m/s)
1	100	343	516	2078	69.2	4.84	3.9	0.465	0.51	7	0.069
2	69	206	309	727	34.6	2.51	5.5	1.597	2.53	9	1.810
3	15	52	77	725	13.2	-0.21	-18.5	0.433	0.50	9	0.521
4	28	94	142	725	9.5	0.61	-33.3	0.346	0.47	11	0.799
5	162	557	836	1120	160.0	8.49	20.1	2.840	4.55	16	0.060
6	250	859	1287	3785	631.0	13.64	58.5	1.337	0.52	12	0.171
7	240	825	1237	3785	140.2	13.05	99.0	1.156	1.08	26	0.135
8	15	52	77	1340	27.3	-0.12	23.8	0.447	1.00	7	0.443
9	65	223	335	392	35.6	2.81	6.1	4.380	2.62	14	0.443
10	88	302	453	629	349.5	4.16	19.5	0.859	1.62	18	0.470
11	138	478	717	1092	49.6	7.14	31.5	0.430	1.43	10	0.507
12	50	172	258	1138	9.8	1.92	45.7	0.330	0.49	24	0.040
13	20	69	103	154	2.3	0.17	-41.3	0.398	1.57	24	0.238
14	43	146	219	413	18.0	1.49	17.4	1.006	1.99	11	1.173
15	39	134	201	245	17.5	1.28	8.7	1.533	2.35	9	0.513
16	70	241	361	646	323.0	3.09	9.5	3.034	1.98	0	1.532
17	64	220	329	646	34.0	2.74	27.6	1.889	2.39	3	0.311
18	63	215	322	646	12.9	2.65	31.9	2.337	3.15	11	0.431
19	160	549	76	3236	647.0	8.35	88.4	12.520	6.71	31	1.583
20	193	663	995	2431	810.2	10.28	40.8	5.587	4.75	10	0.774
21	137	471	706	2431	101.2	7.02	10.1	0.909	1.37	15	0.607
22	74	253	378	2431	45.0	3.29	10.2	0.595	1.15	16	0.141
23	15	52	77	2431	28.9	-0.12	83.3	0.548	1.09	17	0.540
24	50	172	258	2431	21.7	1.92	64.0	0.413	0.92	22	0.256

り長期間(最大約3ヶ月あまり)持続することが判った。

この点の散開は、純粋には出水後の経過日数、流量減少の状態、出水から測定までの外洋条件に関するものであるが、汀線測量によるものゝ誤差および流量精度の低さがさらに散開を大にしている。

図中の実線は、このようにあらゆる条件、因子を含んだ状態における、 $Q_{max}$ によって拡大保持される最大平衡断面積を示すもので、大体  $A=0.87Q^{0.93}$  で表わされる。恐らく如何なる条件下においても、これ以上の断面積をもち得ないと考えられるので、この断面積を最大可能断面積と仮称する。

図中の鎖線は上流沖積部の平衡条件(9)式を示すもので、この最大断面積と非常によく一致し、最大断面積に対しては潮汐および波はさほど大きく影響しないようである。

ii 有効流量との関係

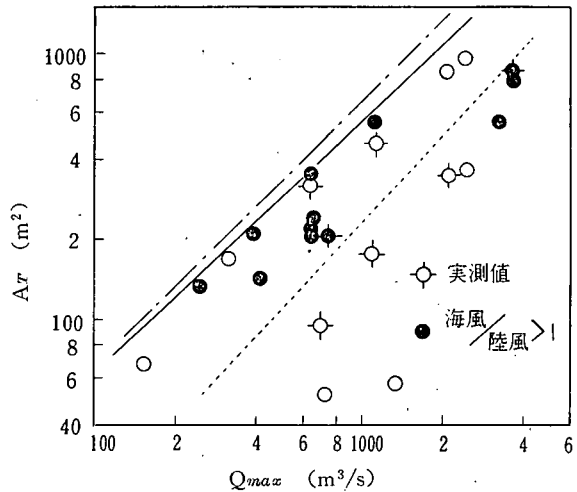


図-4 河口断面積と最大流量との関係

測定時の河口断面積は、外洋条件を一定としても、前述のように最大流量発生後の経過日数および流量変化の影響を受けている。

上述の  $Q_{max}$  を発生から測定日までの日数で割り、これを有効持続流量と考え、断面積  $A_T$  との関係を示すと図-5 のようになり、図-4 に比べいくらか散開が少なくなる。深淺測量のデータに重点をおき、最も頻度の多い点を結ぶと

$$A_T \propto Q_{eff}^{\frac{2}{3}}$$

となる。

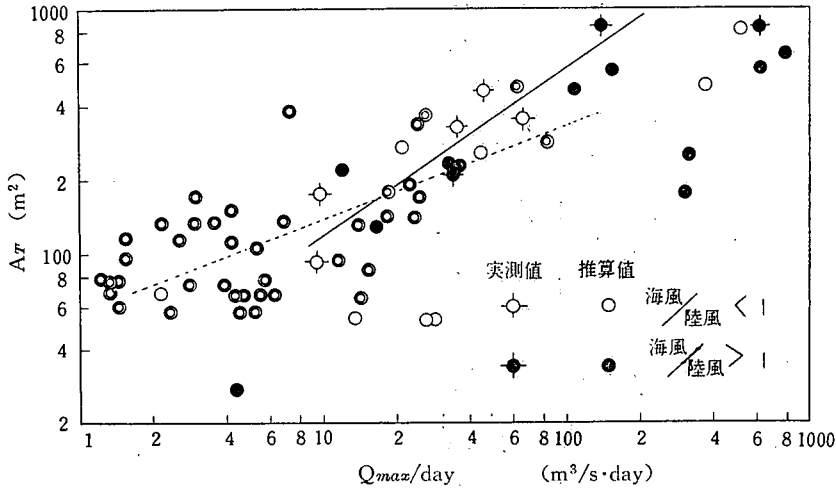


図-5 河口断面積と有効流量との関係

図中の ⊙ は島根県神戸川の河口幅<sup>(5)</sup>より、断面積を推算し両者の関係を示したものである。神戸川河口漂砂は小さく ( $D_{50} \approx 0.5 \text{ mm}$ )、その平衡条件は

$$A_T = 2.38 Q$$

となるため、流量に比べて大きな断面積をもつことができるが、潮汐作用が小さいので、特に流量が小さくなれば、波動の影響が強く現われ、大体

$$A_T \propto Q_{eff}^{\frac{2}{5}}$$

くらいの条件で平衡しているようである。

また測定面積  $A_T$  の、平均流量に対応する平均断面積  $A_0$  に対する変化量は、最大流量発生後の平均流量以上の有効総流量に対応する筈である。昭和26年から33年までの仁淀川の平均流量をだすと  $Q_0 = 88 \text{ m}^3/\text{sec}$  となった。この流量  $Q_0$  および断面積  $A_0$  を基準として、両者の関係を示すと図-6 のようになり、点の散開は多いが

$$\frac{A_T - A_0}{A_0} = 0.15 \sim 1.3 \left[ \frac{Q_{max} - \sum(Q_0 - Q_i)}{Q_0} \right]^{0.37}$$

で表わされる。ここで測定日までの有効総流量が負の場合（最大流量発生から測定日までの総流量が積算平均流量以下となる場合）には、河口断面積は著しく狭窄せられ、そのほとんどが平均断面積  $A_0$  以下となる。



b. 外洋因子について

河口の平衡断面と外洋条件との関係は、今後の研究テーマで、逐次解明してゆく予定であるが、こゝでは今まで述べてきた河川流型河口における断面積と流量との関数形に対する単なる parameter として、潮汐および波の影響について検討する。

i. 潮汐

測定日の断面積と流量から、そのときの河口の平均流速  $v$  を推算してみると (表-1), 1~2 のものを除けばほとんど平衡流速  $Q/A=1.5 \text{ m/sec}$  以下となっている。

また仁淀川の濁水量は  $16 \text{ m}^3/\text{sec}$  であり、これに対応する平衡断面積は  $A_T=10.6 \text{ m}^2$ , 河口幅は  $W_T=3 \text{ m}$  内外となり、ほとんど完全閉塞に近い状態とならねばならぬが、現在までの濁水時にこのような現象は発生していない。また昭和32年4月16日には  $Q=16.4 \text{ m}^3/\text{sec}$  を示し、これに平衡する断面積は  $A_T=11 \text{ m}^2$ , 河口幅は  $W_T=3.2 \text{ m}$  となるが、測定結果は  $A_T=69 \text{ m}^2$  内外となっていた。

仁淀川は河口に至るまでかなりのコウ配があり、潮限も僅か河口より 3.5 km 内外となっているが、上述の河口現況からみれば、朔望平均約 1.92 m の潮差は河口付近の流速および流量変動にかなり有効に働いているように思われる。

潮汐作用を検討するために河口より約 0.6 km 上流にある建設省仁西験潮所のデータを調べたが、欠測が多く、昭和32年度以降の資料しか期待できなかった。該地点における平均水位時の潮差は、最大 1.5 m 最小 0.2 m を示していた。

次に桂浜験潮所潮位を外潮位として、仁西潮位と比較すると、潮時の一致する場合もあるが、大体河口内潮時がやゝ遅れ、河川流量少なく河口が狭窄されている場合および外海潮差の大きいときに time lag が大きくなり、干潮時には 2~3 時間におよぶことがある。正確な数値は別として、両者の潮時差が大になるほど、河口流速は増大するから、外海の干潮時のやゝ前にかかなり大きい河口流速が発生すると考えられる。

河口における潮流速は、河川流自体が接近流となり、単なる  $\sqrt{2g(h_o-h_t)}$  の形では計算が困難である。従ってこゝでは仁西験潮地点と河口との平均水理量を用い、Chézy 公式によって河口流速をだした。

こゝでは、河川流量の比較的少なかった、昭和32年1月20日 ( $Q_{at}=19.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $A_T=171.7 \text{ m}^2$ ) と上述の4月16日の場合を例にとって考察する。

両日の潮位曲線および河口流速、流量は図-7 のようである。1月20日は外潮差少なく、かつ河口開度も大きかったため時差および内外水位差も少なかったが、満潮より干潮に移る中間で流速最大となり、 $v=0.968 \text{ m/sec}$ ,  $Q_T=238.2 \text{ m}^3/\text{sec}$  を示した。この数値は当時の断面に対する平衡流量  $Q_{eq}=257.5 \text{ m}^3/\text{sec}$  に比べるとやゝ小さいが、誤差範囲においてこの流量は、そのときの断面と一応均合していると見做すことができる。

4月16日は比較的外潮差大きく (14日望月)、かつ内水量も河口開度も小さかったので、干潮時には3時間余りの潮時差が現われ、図にみられるように12時に  $v=1.36 \text{ m/s}$  の退潮流速を出し、

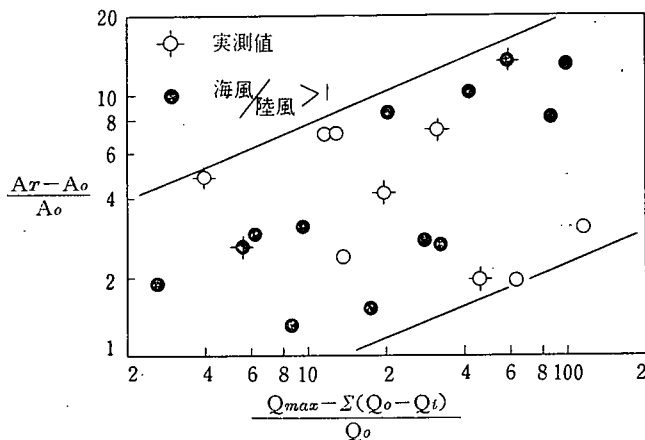


図-6 河口断面積と有効流量との関係

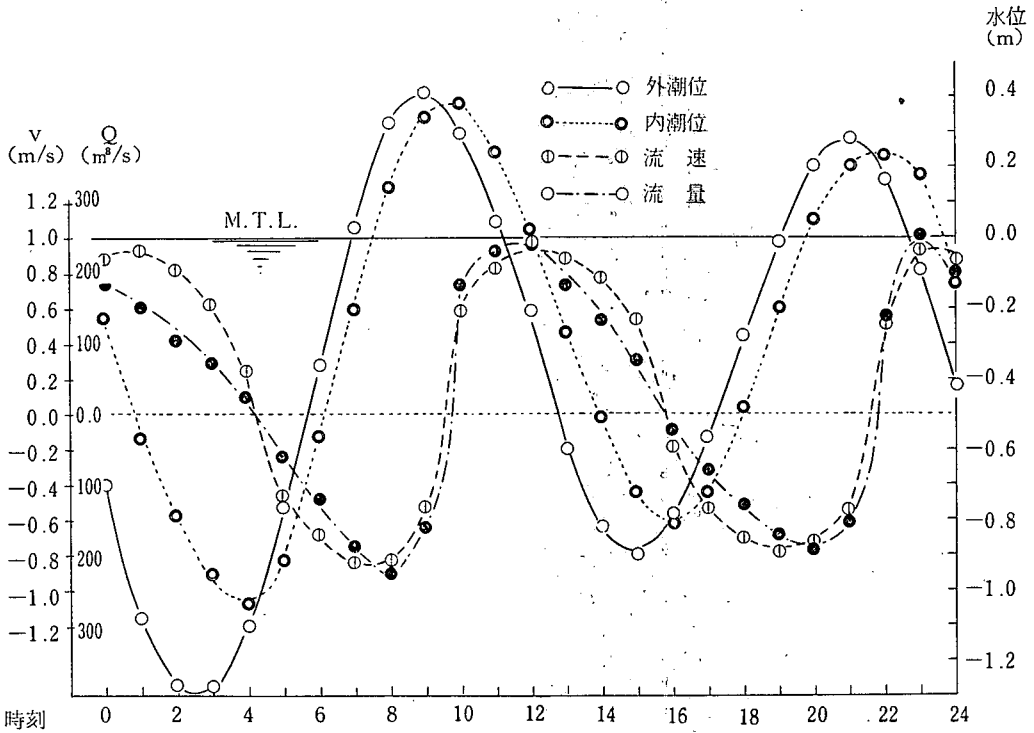


図-7-1 昭和32年1月20日の潮位と河口流量

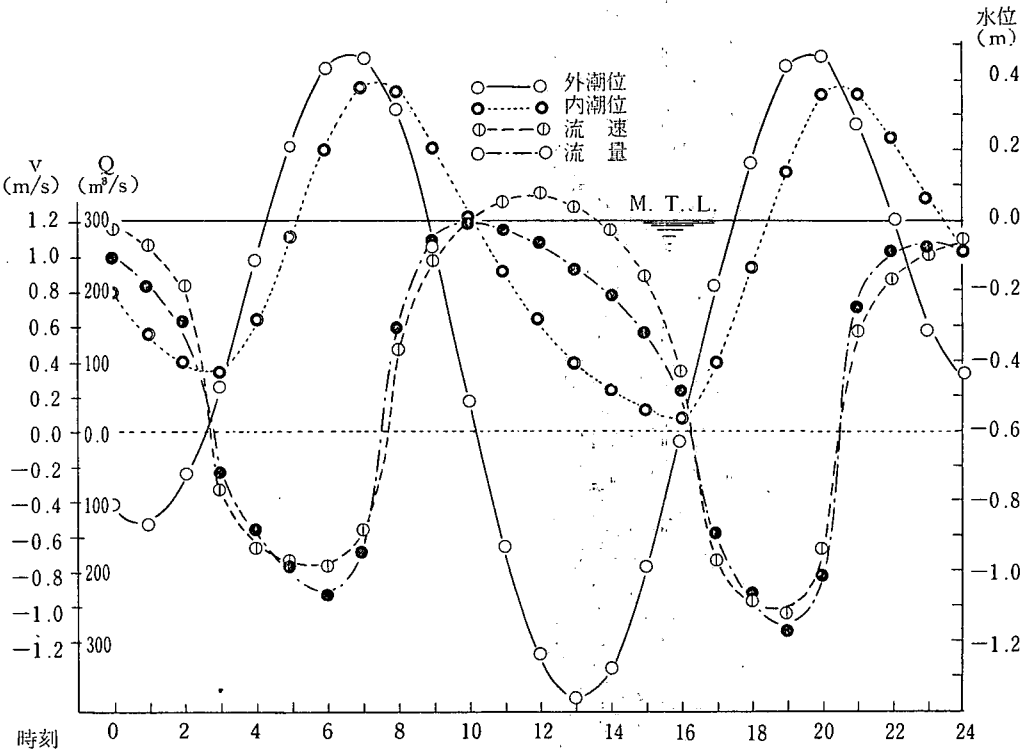


図-7-2 昭和32年4月16日の潮位と河口流量

断面は狭小であったにも拘わらず、10時に  $Q_r=292.3 \text{ m}^3/\text{sec}$  を発生している。この流量は  $A_r=68.7 \text{ m}^2$  に対する平衡流量  $Q_{eq}=103.2 \text{ m}^3/\text{sec}$  に比べるとやゝ過大であるが、少なくとも当日の本川純流量では与えられない断面積は、この期間の大潮時の潮汐流の出入によって支配されていたとみることができる。

以上二例の数値的な精度は期しえないが、これによって河口開度に対してかなりの潮汐作用が関与し、特に内水量の少ない場合および外潮差の大なる場合に大きな支配因子となることが判る。

#### ii 波

波浪観測記録がないため、風資料によって波作用を推定した。今までの報告<sup>(6)</sup> にもあるように、地形の影響の多い陸上風と海上風とは、風速、風向ともかなり相違し、かつ沿岸風によって計算される波は、沿岸海域のごく一部の状態であり、陸上風と波との関連および沿岸に作用する波の評価は極めて困難であるが、河口漂砂に影響するのは一応海風であると考え、最大流量発生時より測定日までの風を検討した。すなわち高知気象台の観測データ(1日8回)より、方向別積算風速を出し、海風と陸風との比、海風の汀線に対する東より西よりの比、および  $5 \text{ m/sec}$  以上の海風が波に影響するとしてその発生回数等を、図-3, 4, 5の parameter として挿入した。

この結果、満足な説明は与えられなかったが、流量が大きいときにはあまり風の影響はみられず、流量の小さい場合に、海風割合の多いとき河口が拡大され、陸風割合の多いとき河口が狭窄される傾向があった。このことは沿岸で観測されるような海風は、とくに継続時間が短く、比較的 steep な波を発生し、砕波点付近の漂砂の浮游、汀線浸食をおこす。次に台風時にはほとんど陸風となるから、陸風中には台風が含まれ、このとき伝達してくるうねりは、汀線方向へ著しい漂砂を移動する性質をもち、このため河口は著しく狭窄される。また同じ特性をもつ波であっても、漂砂粒径に対する energy (掃流力的関係)によって、滞砂浸食の様相が異なり、一般に陸風で波の穏やかなときに向岸漂砂多く、汀線が前進する傾向にある。このような事実は、すでに二次元的な実験および土佐湾沿岸の汀線変化の実測等によって確かめられており、河口が海風時に広くなり、陸風時に狭められることは理論的に肯定できる。

次に海風の方向による河口開度におよぼす影響をみると、大体東よりの風力が大きいときが開度が大きくなる傾向がみえ、とくに小流量時にその傾向が明瞭に現われている。図-4における点線は大体  $E/W=1$  の限界線で、点線より上は大体東よりの風力の大なる場合で、土佐湾で東よりの風は夏期および台風時に発生し比較的 steep な巨大な波と関連する事実と対応している。

$5 \text{ m/sec}$  以上の海風の発生回数と河口開度との間には明瞭な関係はみられず、風の発生回数よりむしろその継続時間が大きく影響するだろうことを示している。

以上のように、仁淀川の河口断面は、特に内水量の少ない場合にはかなりの潮汐および波作用をうけるが、大体沖積部の河川流量に支配されると見做してよい。

従って、このような河川流型河口においては、河川流による掃流力的な均合からその最大可能断面積を推定することができ、河川流によって河口設計が可能となる。

## あ と が き

本文は合理的な河口処理を行うための基礎研究として、河口の断面積について予報的な見解を述べたもので、河口形態を河川流型、波動流型、潮汐流型に分類し、河口断面積の平衡条件を検討すべきことを提示した。

本報では特に河川流型河口の安定条件について解析し、一例として高知県仁淀川の河口断面積の検討を行った。河口汀線測量の精度低く、かつ波や潮汐資料も不揃いで、満足な結果は得られなかったが、一応掃流力的な見地から平衡条件下にある河口断面積と流量との関係を説明することがで

きた。

すなわちある流量（最大及び有効）に対し、それぞれ最大および最小河口断面が与えられた。この間には波、潮汐等の parameter が含まれ、かなり散開があるが、その上限は沖積部の平衡条件とよく近似し、最大可能断面は沖積部の条件、あるいは単に漂砂粒径の掃流力的な均合条件より、ある程度の推定が可能である。

従って、さらに正確なデータによって、この二つの線の間に含まれる、波および潮汐作用に対する検討を行えば、それぞれの河川に対する計画流量、波浪、潮汐を用うることにより、必要にしてかつ十分な河口断面積を与えることができ、河口導流堤の開度についての設計資料を得ることも可能となろう。

なお、この形態の河口断面積および縦断的な形状に対する十分な検討、あるいは他の形態の河口の平衡断面積について、今後さらに研究を進めてゆきたいと思っている。

最後に本文作成にあたり、貴重な資料を見せていただいた建設省高知工事事務所、および仁淀川河口研究の機会を与えられ、御援助いただいた高知県河川課、耕地課の関係諸官に対し、深く謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- (1) 椿東一郎, 上森千秋, 河川の安定形状について, 農業土木研究 Vol. 26, No. 7. 昭 34.
- (2) Per. Bruun M., and F. Gerritsen, Stability of Coastal inlet. Proc. of A. S. C. E May 1958.
- (3) 岩垣雄一, 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集 No. 41 1956.
- (4) 本間 仁, 石原藤次郎編, 応用水理学, 中 I. 丸善 昭 32.
- (5) 島根県, 神戸川電源開発に伴う農業用水並びに河口閉塞に関する調査報告 昭 30.
- (6) 例えば 上森千秋, 河口閉塞に関する研究 (第4報) 高知大学学術研究報告 Vol. 7 No. 11 昭 33.

(昭和35年4月1日受理)