

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3281号

土 木 研 究 所 資 料

河口地形特性と河口処理の全国実態

平成6年6月

建設省土木研究所
河川部河川研究室

Copyright © (1994) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

河口地形特性と河口処理の全国実態

河川研究室 室長 宇多 高明
主任研究員 高橋 晃
部外研究員 松田 英明

要 旨

外洋や外海など、比較的波浪条件の厳しい海域に流入する河川として、全国より39河川を選び、河口部の空中写真と深淺図をもとに河口の地形特性を分析した。また河口部で生じている種々の問題点を指摘するとともに、それらの共通点を要約した。また、河口処理法とそれに付随する調査の方法について述べた。

キーワード：河口計画，河口処理，河口砂州，砂州フラッシュ，河口テラス，河口導流堤，空中写真，深淺図

はじめに

河口は河川と海との接点であり、そこは絶えず波と流れの作用を受けている。また、河口は河川を流下してきた土砂が海へ流れ込む場所でもある。このように河口では様々な現象が起きており、その外力も様々であることから、多方面からの研究が行われてきている。例えば河川工学では洪水時の流況や水位変化、さらには河道への塩水遡上などが、また海岸工学では河口部での流れのある条件下での波の屈折や河口流出土砂の移動などが主な研究テーマとされている。また最近では河口部が干潟となっていることから、生態学的な方面からの研究も行われている。しかしながら河口についての研究は現象が複雑なため十分でないのが現状である。一方、河川事業では流量改訂等に伴う流下能力の確保のために、河床掘削や低水路拡幅などの改修が行われてきているが、河口部水位は潮位の影響を受けるため、上流部河道のように河床を低下させたからといってただちに水位が下がる訳ではない。このことから、河口部に治水上の問題が残されている河川も多いのが現状である。また各河川の管理者は、自ら管理する河川の情報には詳しくても、他の同様な問題を有する河川についての理解が十分でなく、場合によると同種の問題を有することもしばしばである。こうしたことから、実河川を取り上げて河口の実態を明らかにしておくことは河口研究のみならず河川事業を効率的に進める上でも有効と考えられる。本研究では全国河川の河口をとり上げ、空中写真と深淺図とを収集してそれらの比較検討を行い、各河川の現況と問題点を整理するとともに、それらの分類を試みた。各河川の河口の詳細な分析は別の機会に譲り、できうるかぎり多くの河川の情報を集めることとした。結果として太平洋や日本海など外洋・外海に面した河川を中心として39河川が選ばれた。

本報告書は全体で5章から構成されている。第1章では既往の研究をもとに河口の現象と問題点を概説する。第2章では河口処理計画とそれに必要とされる調査について述べる。従来の河口調査では総花的に多数の調査項目が選ばれる例がしばしばであったが、本研究では各種項目うち重点的に調べるべき項目と、その場合の期待される成果との関係について特に重視して記述する。第3章では第2章で述べた調査項目のうち、特に空中写真撮影と深淺測量の手法に基づいて全国の39河川を調べた結果を具体的に記述する。そして第4章ではそれらの個々の資料を整理・分類することにより普遍的な結果が得られるようとりまとめる。最後に第5章では本研究の成果を簡潔に要約する。

目 次

はじめに

第1章 河口現象とその問題点	1
1. 1 まえがき	1
1. 2 河口現象	1
1.2.1 河口の分類	1
1.2.2 河口砂州の形成	4
1.2.3 洪水時の流況と砂州のフラッシュ	5
1.2.4 波浪侵入と河口砂州	6
1.2.5 塩水侵入	6
1.2.6 河口部の海浜変形	7
1. 3 河口部で生じる問題	8
第2章 河口処理計画と調査項目	11
2. 1 まえがき	11
2. 2 河口処理計画の検討の流れ	11
2. 3 河口処理計画に必要とされる調査の項目	12
2.3.1 調査項目	12
2.3.2 河口処理の検討項目	18
2. 4 河口処理対策	19
第3章 河口の特徴と水理特性	21
3. 1 まえがき	21
3. 2 東北地方の河川	28
3. 3 北陸地方の河川	39
3. 4 関東地方の河川	45
3. 5 中部地方の河川	51
3. 6 近畿地方の河川	54
3. 7 中国地方の河川	58
3. 8 四国地方の河川	62
3. 9 九州地方の河川	66
第4章 河口地形特性の分類と河口部の諸問題	97
4. 1 まえがき	97
4. 2 河口状況の分類	97

4. 3 河口形状のタイプ分類	108
4. 4 河口砂州のフラッシュ特性	110
4. 5 小河川における河口処理の問題点と河口処理方式	113
4. 6 河口の問題点と河口処理効果の実態	115

第5章 結論	118
--------------	-----

あとがき	120
------------	-----

参考文献	120
------------	-----

第1章 河口現象とその問題点

1. 1 まえがき

河口部は河川流のみならず波、潮流、漂砂、高潮、海水侵入など、海側から様々な作用を受けている。また河口で生じている現象は個々の河川ごとの特殊性が強く、河口に対する要望も様々であるために、河口問題の内容も時代の推移とともに変わってきている。このことは河口計画の立案や河口処理対策をより難しくしている。ここでは河口問題の理解のための序説として、主として既往の文献をもとにして河口現象について概説する。

1. 2 河口現象

河口部の河道計画の立案や河口処理対策に際しては、河口現象の実態を十分理解しなければならない。これには個々の河川における河口現象の解明が重要であるが、河口地形をマクロ的に見ると河口の形態などについて多くの共通点を見い出すことができる。このことから、以下ではまず河口位置、波浪・底質特性、河口形状、作用外力などの面から河口の分類を行い、次いで河口砂州の形状および洪水時の流況と砂州のフラッシュについて述べる。一方、河口砂州は波浪侵入や塩水遡上に対してバリアーとなることから、さらに波浪侵入と河口砂州の関係、および塩水侵入について述べ、最後に河口部での海浜変形について触れることとする。

表-1.1 河口部の諸現象の概略の時間スケール

現 象	概略の時間スケール
洪水	数時間
砂州のフラッシュ	数時間
高潮	数時間
砂州の再形成	2～3週間
塩水の遡上	数週間～数カ月
みお筋の変化	数年
河口部海浜変形	数カ月～数年
河床低下	10～20年

河口部では様々な現象が起きているが、それらは各々異なった時間スケールを有している。しかもそれぞれが単一の現象として生起する訳ではなく、互に関連しつつ生起するのが特徴である。主な現象として8項目を選び、それぞれの概略の時間スケールをまとめると表-1.1となる。表に示すように、洪水、高潮、および砂州のフラッシュなどは数時間で起こる。これに対し砂州の再形成などには波の継続的作用が必要となるため、2～3週間を必要とする。また、河道や河口周辺の海浜変形には数年以上の長い時間スケールを必要とするのが一般である。

1.2.1 河口の分類

まず、山本(1978a)と上森(1963)を参照しつつ、河口に関する既往の研究についてまとめてみる。以下では河口位置、波浪・底質特性、河口形状、作用外力などの面から河口の分類を行う。

(1) 河口位置による分類 (山本, 1978a)

①日本海側

日本海では潮差が10~30cmと小さく、したがって潮差が河口現象に及ぼす影響は小さい。冬季は大陸からの季節風に曝されるため高波浪が継続するが、河川流量は小さい。冬季風浪によって河口砂州が形成され、特に小河川の河口では閉塞問題を常に有している。春になると融雪出水によって砂州はフラッシュされる。一方、春季・夏季は海が穏やかであり、前線性の雨や台風による出水がある。なお、山陰地方は降雪量が少ないため、融雪出水の規模は小さい。

②太平洋側

太平洋側に流入する河川の河口では、一般に約1mの潮差があるため、河口地形にも潮位変動の影響が含まれていると考えられる。台風のうねりや低気圧通過時の高波浪によって河口砂州が形成されるが、洪水時には砂州がフラッシュされる。冬季に河川流量が小さいのは日本海側と同様であるが、北海道を除けば融雪出水の規模は小さい。洪水としては、前線性の雨や台風によってもたらされる降雨による。波浪は、台風性のうねりや低気圧の通過に伴う波浪が主である。なお、オホーツク海に流入する河川は、本州の河川と洪水特性が多少異なるが、潮位変動を重視すれば太平洋側の河川と同じ分類に含められる。

③内湾型

奥まった湾や入江に流入する河川の河口で、河口に達する波高が小さく、河口砂州の発達がほとんどない河川である。洪水時の流出土砂は浚渫などにより処理しなければならない。瀬戸内海、東京湾、三河湾、有明海等に流入する河川がこの分類に入る。

(2) 波浪・底質特性による分類 (山本, 1978a)

外洋に面する河川では、河口部の海浜形状を定める波浪の強さには場所的に大きな差はなく、2~3mの高波浪である。底質材料の動き易さには $(gH_0)^{1/2}/w_0$ (あるいは H_0/d_m) と沖波の波形勾配 H_0/L_0 が関与するが、 $(gH_0)^{1/2}/w_0$ により強く依存している。ここに g : 重力加速度, H_0 : 沖波波高, w_0 : 底質の沈降速度, d_m : 底質の平均粒径, L_0 : 沖波波長である。このことは底質材料が同一なら、ほぼ同一な海浜形状を持つことを示している。

①粒径0.2~0.3mmの細砂を前浜に持つ河口

波高1~3mで $(gH_0)^{1/2}/w_0$ が60~200に達する河口であり、波によって底質は容易に浮遊する。したがって潮位変化や波の変化に対する海浜地形の追従性が大きく、海浜地形の変化が著しい。前浜勾配は非常に緩く、砂州頂高も低く1m以下になることが多い。汀線変動は激しく、波が高いからといって汀線が後退しない場合もある。粒径が小さいため透水係数も小さく、かなり小さい流量でも完全閉塞は生じない。このような海浜は、現河川(沖積世における河川)の流出土砂が海浜を作ったのではなく、海蝕による第三紀、第四紀の固結度の小さい砂質、シルト質の岩が砕け、これが海浜を作っているのがほとんどである。

②粒径0.5~2mmの粗砂を前浜に持つ河口

前浜および沿岸砂州に粒径0.5~2mmの粗砂を持つ海岸でも、底質はふるい分け作用を受けて、それより沖の水深7~8m以上になると粒径が0.15~0.2mmと細くなる。暴風時には一般に汀線が後退し、波高が低くなると堆積するパターンを繰り返している。粒径が大きいため、小河川では完全閉

塞することも多くなる。前浜勾配は $1/5 \sim 1/15$ 程度であるが、沖浜勾配は $1/60 \sim 1/120$ となり、2列、3列の沿岸砂州を持つ所もある。沖浜勾配が緩いことによって、暴浪時に海岸に到達する波高を減衰させている。つまり、高い波は沖で碎波し、汀線に達する波は波高 $3 \sim 4$ mの波とそれほど変わらない。

③粒径5 mm以上の礫を前浜に持つ河口

粒径5 mm以上の礫を前浜に持つ海岸であっても、海岸前面に海底谷が発達している富士海岸のような場合を除けば、水深約10 mで粒径0.2 mm程度になっており、礫は前浜にのみ存在している。粒径5 mmの場合、波高3 mとしても $(gH_0)^{1/2}/w_0 \approx 25$ であり、前浜の礫は浮遊されることは少なく、主に掃流型式で動く。沿岸砂州は形成されず前浜勾配は急であり、 $1/2 \sim 1/5$ 程度にも達する。礫のため透水係数が大きく、容易に閉塞する。

(3) 河口形状による分類(上森, 1963)

上森(1963)は、河口を偏流型河口、直流型河口、遮蔽型河口に分類した。

偏流型河口は図-1.1のように偏流する河口である。偏流は固定的な偏流と一時的な偏流に分けられる。固定的な偏流の場合、小規模な洪水では砂州を越えるような水位になることはない。河川流は、岬や不透過の人工構造物に沿って流出していることが多い。このような形態を持つ河口の底質材料は、0.5~1 mm前後が多いようである。河口砂州は砂丘ほど規模が大きくなく、大出水時には一部越流することもある。この砂州は、現世の浜堤と考えて良い。砂丘の背後を偏流するような河川は、砂丘の成因に飛砂や海水面変動が加わっており、より長い時間スケールの現象が関係しているため形態は似ているが、別の分類型に入れるべきであろう。

一時的な偏流河川は、海浜の底質材料が砂である中小河川で多く見られる。形成された砂州は、波向や河川流の変化に応じた変動が激しく、洪水時には砂州を越流し、新しい河口を形成する。

直流型河口は、図-1.2に示すように汀線とほぼ直角に河川が流入する河口で、砂州が形成される場合と形成されない場合とに分けられる。砂州が形成されない河口は、波高が小さい内湾に流入する河川、外海に面していても河口を閉塞するだけの漂砂が存在しない河川に限られる。砂州が形成される場合の直流型河口は、洪水流の直進性が強い急流河川、すなわち砂利河川で多く見られる。砂利河川の直流型河口の場合は、沿岸漂砂が一方向に卓越していない海岸に流入する河口で、洪水時には河

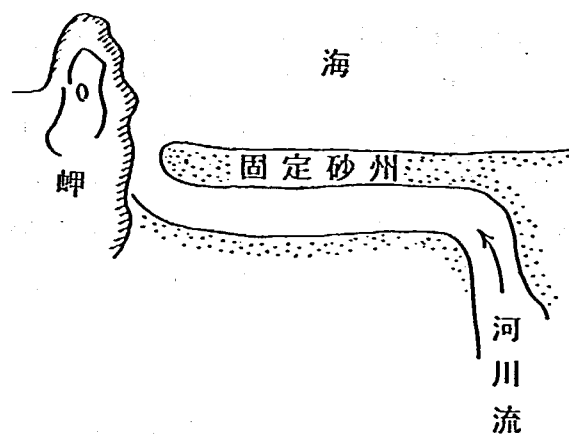


図-1.1 偏流型河口の模式図(上森, 1963)

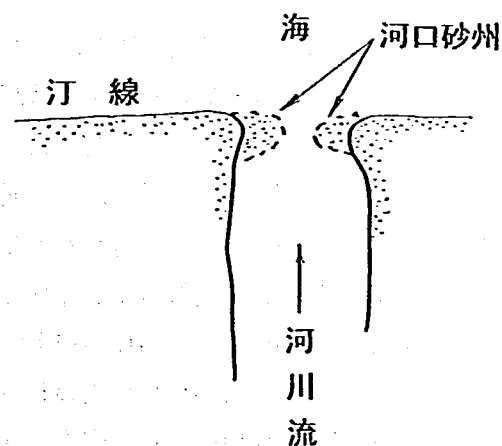
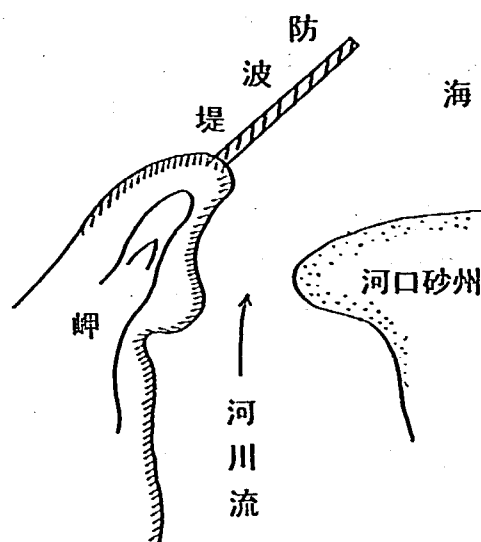


図-1.2 直流型河口の模式図(上森, 1963)

口が大きく開口し、その一部は平水時の流量によって常時開口している河川である。

遮蔽型河口とは、図-1.3に示すように、岬や防波堤によって波に対し遮蔽されている河口である。この形状は、前述した二つの型のように、波と河川流、底質の違いによって河口地形を分類するのとは違い、構造物等の影響が強調されたものである。河口地形の分類としては良いが、河口に作用する営力との関連から言えば、別の範ちゅうに入れるべきであろう。



(4) 作用外力による分類

河口に作用する主要な外力による河口の分類としては、河川流型、波動流型、潮流流型河口に分類することがある。

河川流型は、波よりも河川流の影響が卓越する河川であり、我が国では内湾型の河川に限られる。波動流型は、河口砂州が形成される河川であり、我が国においては外海に面している砂河川、砂利河川の全てが波動流型と考えられる。潮流流型は、河口の河積が潮流流によって決まるような河川であり、我が国では潟湖に流入するような河川に限られる。

図-1.3 遮蔽型河口の模式図(上森, 1963)

1.2.2 河口砂州の形成

河川から流出した土砂は、河口部における潮流と碎波に伴う海浜流とによって三次元的な砂州を形成する。沿岸漂砂の流入が導流堤等によって阻止されている河口では、岸沖漂砂が卓越し、二次元的な砂州が形成される。

河口砂州の高さは来襲波の波高、周期、海浜材料の粒径、海浜勾配に依存して変化し、波高が高く、周期が長く、かつ粒径が大きいほど砂州高は高くなる。

河口の開口部の位置は、河川流量や波浪条件の変化に応じて変動する。沿岸漂砂の卓越する海岸では、河口位置が漂砂の下手側に移動し、また元に戻るという変動を示す場合も多い。このような条件下では沿岸漂砂の自然のバイパスが行われることになる。導流堤等によって沿岸方向の砂移動が阻止される場合には河口位置の変動幅は小さくなる。河川からの流出土砂が多い場合には、河口部に土砂が堆積して河口が沖へ移動し、反対に河口上流での河床掘削などにより供給土砂量が減少し、沿岸漂砂によって運び去られる量との均衡が失われると、河口砂州は上流へ移動する。開口部の幅や断面積は、潮流および河川流の作用によって広くなり、波の作用によって狭くなるといった変動を繰り返す。

なお、外海に面している河口では、掘削によって河口砂州を取り除いても、沿岸漂砂移動を阻止する導流堤がないと侵食土砂が河道内に入り込み、砂州が再発達する。河口の水深が深い場合には河口近くの汀線が波によって侵食され、それが河道内に入り込み、河口より多少河道内に砂州が発生する。

砂州の発生の有無を定める導流堤内の限界水深 h_c と沖波波高 H_0 の比 h_c/H_0 は、沖波の波形勾配 H_0/L_0 、底質材料の動き易さ $(gH_0)^{1/2}/w_b$ (w_b は底質の沈降速度)、河口の初期形状、導流堤の配置形状の影響を受ける。その関係は今もって明確にはなっていないが、山本(1978a)は現地の導流

堤間の砂州の発生状況と導流堤内河床高の関係、河口の水理模型実験例から、導流堤内水深が4 m以上あればその水深は1年程度は維持でき、2～3 mでは高波浪時に浅くなることがあり、2 m以下では砂州の発生を見ている。これまでの模型実験の結果によると h_c/H_0 が1前後が砂州発生の限界のようであるとしている。ただし、 H_0/L_0 や $(g H_0)^{1/2}/w_0$ の初期形状の違いによって、 h_c/H_0 が0.5でもうちあがらないこともあるし、 h_c/H_0 が1より大きくてもうちあがることもある。現地の H_0 としては、仮に現地の砂州高が最大3～4 m、沿岸砂州頂水深が3～5 mであるとする、外海に面している所では3～4 mを考えておけば良いと思われるので、現地においてもほぼ $h_c/H_0 \approx 1$ が砂州発生の限界水深と考えられよう。

このことは河口の掘削河床高を海面下より3 m以浅とすると、その河床高を維持することは非常に難しいことを示している。もし、掘削河床を維持しようとするならば河口を港のように導流堤によって囲まなければならない。計画河床高を4 m以上の水深として導流堤を沖まで出し、計画河床高まで掘削した場合は、波による砂の堆積速度は遅く、1年ぐらいでは砂州が発生することはない。しかし、この河床高がその河川が持つ動的な平衡河床高より深い場合には、年一回洪水程度の流量では、河口部の水面形はせき上げ背水となり、河口部で土砂の堆積が進む。また、多くの港で維持浚渫が必要のように、波によっても導流堤内に漂砂が少しずつ堆積するので、河口部の水深は徐々に浅くなり、水深が2 m以下になれば砂州の発生を見ることになる。これを防ぐには維持浚渫が必要となるが、河川からの流出土砂が沿岸漂砂の供給源となっている所では、浚渫土砂を河口部汀線付近に補給しなければ、河口付近の海岸侵食の原因となる。

我が国では、河口部の水深を河川流のみの作用により4 m以上に維持し得る河川は砂質河川に限られ、一般にはその間隔を上流の川幅より絞った導流堤により水深を深くして砂州の発生を防ぐ方法がとられている。しかし、河口を絞りすぎると縮流の影響によって水位が上昇するので、水位に余裕のない河川ではこの方法の採用は困難である。したがって外海に面する河川では、間隔を低水路幅とし、ほぼ海岸線と直角方向に伸した導流堤は、砂質大河川を除き、河川流のみの作用で3～4 m以上の水深を確保することは不可能で、維持浚渫によって河口水深を確保するか、あるいは河口に砂州の発生を許す河口部河道計画を採用せざるを得ないのが実情である。砂州の発生を許す場合は、砂州上流の河道を掘削しても、洪水時の水位は砂州高で決まるために、河口部の水位を低下させることは難しい。

1.2.3 洪水時の流況と砂州のフラッシュ

河口での河川水の流出状況は、河口幅、流量、密度差によってその流出速度が小さければ放射状に広がる密度流特性の非常に強い形となり、洪水時のように流出速度が大きくなると表面密度噴流の形状になる。洪水流の流線は指数関数的になると言われており（福島ほか、1961）、 B_0 を河口幅、 x 地点の流線幅を B 、定数を k とすると、

$$B = B_0 \cdot e^{-kx} \quad (1.1)$$

の関係にある。利根川の洪水流解析結果では $k = 1.33 \times 10^{-3}$ が得られている（建設省河川局治水課・建設省土木研究所、1975）。

河口部の砂州は、水位条件によっては洪水時にフラッシュされる。洪水時の水位上昇が緩やかで、河口が開口している場合は、側岸侵食により砂州が徐々にフラッシュされる。完全閉塞している河口や部分的に開口している河口であっても、洪水時の水位上昇が速い場合には、洪水により水位が砂州

を越えるようになり、砂州全体が一挙にフラッシュされる。このときの水位は、流量の増加に伴う砂州部開口河積の拡大が追従できないため、急激に上昇し、流量ピーク以前に河口水位のピークが現われることがある。このような現象は、中小河川でその傾向が強く、流量ハイドログラフの立ち上がり部分の勾配や河口砂州高が大きく影響する。また、砂州フラッシュの進行では、側岸侵食より深さ方向への侵食の方が速く、構造物周辺では異常な洗掘深となるので注意を要する。

1.2.4 波浪侵入と河口砂州

河口砂州、河口前面テラスおよび沿岸砂州は、河道内への波浪侵入を防ぐ上で効果的な役割を果たしている。河口砂州を除去し、河口水深を深くすると、入射波は河口付近で砕波することなしに河道内へ侵入し、護岸、堤防などから越波したり、あるいは条件によってはこれらの施設に被害を与えることになる。また、河口前面の海底勾配が急な海岸に流入する河口では、汀線近傍で砕波が起こるため、異常波浪が河口砂州を越えて河道内へ侵入し、河川構造物に被害を与えることがあるので十分な防護処置が必要である。

河道内での波浪の変形は、海底形状、河道形状、河川流量、河川構造物、密度流などの影響により複雑に変化するので、それらを全て見積めることは不可能で、現状では一部の効果を見逃した把握しかできない。密度流の効果を考えない場合には、無歪の模型実験による検討や、放物型方程式による波浪伝播の数値計算が有効である。なお、侵入波高を把握する場合の水位は、高潮位時ほど危険となることから計画高潮位とし、計画波浪としては、一般に有義波の最大値を取れば良いであろう。しかし、これまでの模型実験の結果によると、河道内の波浪の侵入高評価のためには、河道内への侵入波として河口で砕波することなしに侵入する波のうちの最大波高の波が一番危険と考えられる。これより波高の高い波は沖で砕波するため、河道内侵入波高は砕波せずに侵入する波と変わらず、むしろ多少低くなる。また、導流堤の方向や河道が湾曲している場合には、波の反射や回折が生じ、局所的に波高の極大値が表われるので注意が必要である。

1.2.5 塩水侵入

河口は海水と河川水の混合の場でもある。河口砂州は河口の幅を狭め、塩水の侵入を防いでいる。河口砂州を取り除き、河道を掘削することは塩水の侵入距離を増大させるから、河口近くで取水しているような所では水質が悪化し、取水位置の変更等を行わなければならない場合も生じる。したがって、河口処理前に河道内への塩水の侵入状況を予測し、利水等に影響がある場合にはその対策をしておかなければならない。

塩水遡上の形態は、潮汐や河道の地形、河川流の特性等の影響により、淡塩水の混合状態が図-1.4に示すように弱混合型（塩水くさび）、緩混合型および強混合型の3種に分類されることがよく知られている。

弱混合型は、海水と淡水の混合を促すような働きが少なく、両者は鉛直方向に二層の状態になり、内部の境界面はそこに働くせん断力の作用によってある傾きを有し、一般に塩水くさびと称する形状となる。したがって混合現象の役割は小さく、異種の流体の相互運動という面が大きな役割を占める。

緩混合型は、乱れによって河川水と海水との混合がある程度生じる場合で、密度勾配が鉛直方向に連続しているような状態である。強混合型は、鉛直方向の密度差が比較的少なく縦断方向に密度の勾

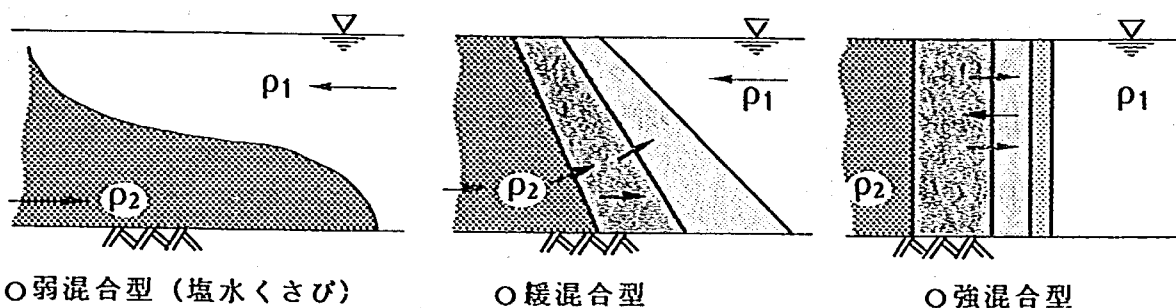


図-1.4 混合形態の分類

配が存在している場合の状態を示す。しかしながら、このような混合状態の分類については、明確な定義に基づいたものではなく、またこれらに明瞭な境界が存在する訳ではなく、単に模式的状況を示すものであることに注意が必要である。

一般に潮位変動量の小さい日本海側の河川では弱混合型が多く、潮位変動量が大きくなると強混合型へと移行する。また、感潮面積の大きい河川ほど強混合型の特性が顕著となる。塩水の遡上距離は、弱混合時が最も長く、強混合時には短くなることが多い。なお、河道内の塩分濃度やその分布状態には、多くの要素が複雑に作用し合うので、現地観測により支配的な要素およびそれらの相互関係を明らかにすることが重要視されている。

1.2.6 河口部の海浜変形

海浜の断面形状は一般に図-1.5に示すように沖浜、外浜、前浜、後浜に分けられる。波形勾配の大きい波が来襲すると、沿岸砂州が形成されて暴風海浜となり、うねりなど波形勾配の小さな波が来襲するとステップを持った正常海浜（沿岸砂州非発生）が形成される。海浜の底質は、波によって移動するが、その範囲は陸側については波の遡上高により、海面下では波による底質の移動限界水深までであるが、工学的に見た地形変化の限界水深は、太平洋側で約10m、日本海側では8～9 mにある（宇多，1994）。特に漂砂の移動が激しいのは、砕波帯より岸側である。

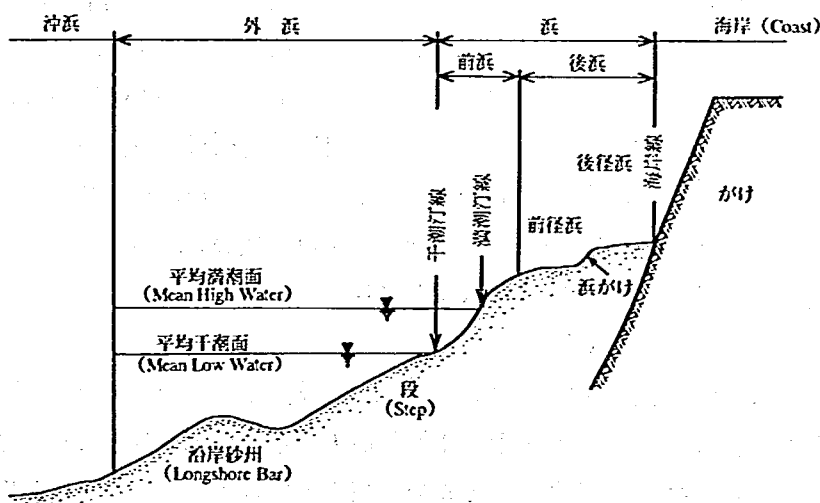


図-1.5 海浜の縦断面形

河口部の平面形状については、河川からの流出土砂によって三角州や河口テラスが形成される場合がある。また、河口より流出した砂礫は波によって沿岸方向に運ばれて周辺海浜を養うが、その場合河口テラスは周辺海岸への土砂供給のための貯砂源として役立つ（宇多ほか、1992b）。

1. 3 河口部で生じる問題

河口部で生じる問題としては、治水、利水、河口の利用および環境問題に分けられる。治水に関連する問題としては、堤内地への浸水、内水排除の困難、波浪、高潮および津波の侵入、河口周辺の海岸侵食などがある。利水に関しては、塩分濃度の上昇、地下水位の低下、平水位の低下などがある。河口の利用に関しては、舟運の困難や魚の遡上に及ぼす影響の問題がある。河口が港として利用されている場合には、港口や港内の土砂堆積の問題がある。環境問題に関しては、水質や自然環境の変化などがある。

一方、近年は流域の開発による流量規模の増大とそれに伴う河床掘削、さらに上流域からの流出土砂量の減少などによって、河口および海浜部に供給される土砂量が激減し、またその質（粒径）が変化している河川もある。このため河口砂州が以前に形成されていた位置より上流方向へ移動し、かつ砂州高とその規模が低減している所もある。この状況になると、洪水疎通等の治水上の問題は解消されるが、逆に河口周辺の海岸侵食、波浪および塩水の侵入が顕著となる。また、河口砂州が河道内へ後退することによって、河口部で合流している支川の閉塞や舟運に対する影響などの問題が生じ、その対策が必要となる。なお、河口拡幅や河床掘削による河口計画上の諸問題としては、これまでに述べた河口河積の維持、波浪および塩水の侵入の問題のほかに次のようなものがある（山本、1978b）。

（1）河川流送土砂による河床上昇

河口は潮位の影響を受ける所であり、河口上流部のように河床を低下させたからといって、それに応じて水位が下がるわけではない。したがって、現状において安定している河床を低下させれば必ず堆積することになる。河口部より上流で潮位の影響を受けない河道では、河床勾配の急変点を除けば河床勾配を現状河道とほぼ同一としたまま河床を低下させれば、その河床高は工学的な時間スケールでは十分維持し得ると考えられる。このため河川の改修方式として河道掘削を取り入れる十分な理由があるが、河口部の場合には土砂が堆積するので、その堆積速度を把握し、維持浚渫をしておく必要がある。一般に河床材料が0.5mm以下の緩流河川でヘドロの堆積のない河川では、浚渫河道はある程度長い期間維持し得るようであるが、扇状地河川や粗砂の河床材料を持つ河川では河床変動速度は速い。特に掘削河道がその河川が持つ動的な平衡河床高と大きくかけ離れている場合には堆積速度が速くなる。河口近くの河床高や勾配を決める支配流量をQで代表し、河口部で川幅の変化がないとすると、動的平衡状態では河口の水深が等流水深となり

$$h = \phi^{-2/3} g^{-1/3} B^{-2/3} I^{-1/3} Q^{2/3} \quad (1.2)$$

で表わされる。ここに ϕ ：流速係数（ $=V_m/U_*$ ）， I ：勾配， Q ：平衡状態を決める支配流量である。Qの値は河川の実況によって異なるが、平均年最大流量程度であると言われている。通常の河口は、砂州等によって河口幅が狭められているため砂州上流では水位のせき上げが生じている。よって砂州上流の川幅は、砂州の形成が見られない川幅一定の場合の動的平衡河床高より河床高が高くなっている。このため導流堤によって砂州の発生を防ぐことができれば、砂州上流の河床高は多少低くな

るが、河川自身では上述の水深以上とはなり得ず、河床をより低くする場合には河道掘削にたよるほかない。

河床掘削後の河床変動速度を知るには、河口近くでの河床変動計算を行う必要がある。河床変動計算に当っては、数十年間の流量時系列での河床変動量の把握、河道の動的平衡河床を決めると考えられる平均年最大流量に対する動的平衡河床の把握、および計画洪水に対する河口部の洪水時の河床変動を把握しておく必要がある。なお、河床変動計算を行う場合、流砂量式が必要であるが、その適用に当っては実測値との検証計算を行って妥当性を検討する必要がある。

(2) 低水路の拡幅

自然河川の低水路幅は、河川流に対して平衡な川幅にあり、一般に河川流量の0.5乗に比例するとされている。図-1.6には我が国の一級河川における河口近くの低水路幅と平均年最大流量の関係を示す。低水路幅は、平均的に見れば河川流量の0.5乗に比例しているが、ばらつきが大きくこれを低水路幅の計画に適用するのは難しい。

河口近くで川幅の拡幅を行うと、河口近くが河川における堆積域であるということもあって、河床高が変化することによって動的な平衡を取り戻すようである。それゆえある程度の低水路幅の拡幅は、堆積土砂の維持掘削が行われればそれほど問題はないが、水路幅の変化によって流れの蛇行ピッチが変わり、水衝部位置の変化や中州の発生が生じることがあるので、低水路法線計画と一体となった河道計画がなされなければならない。

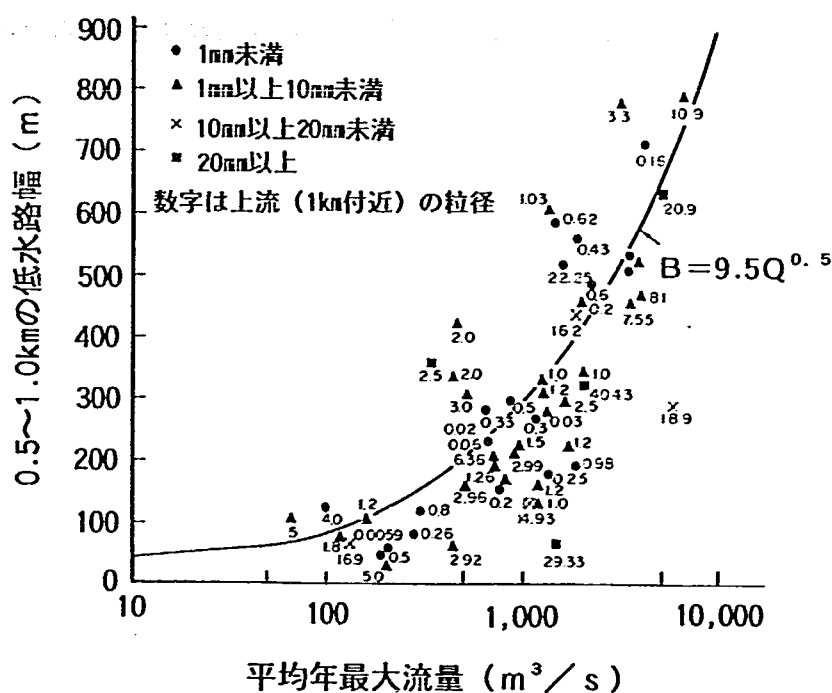
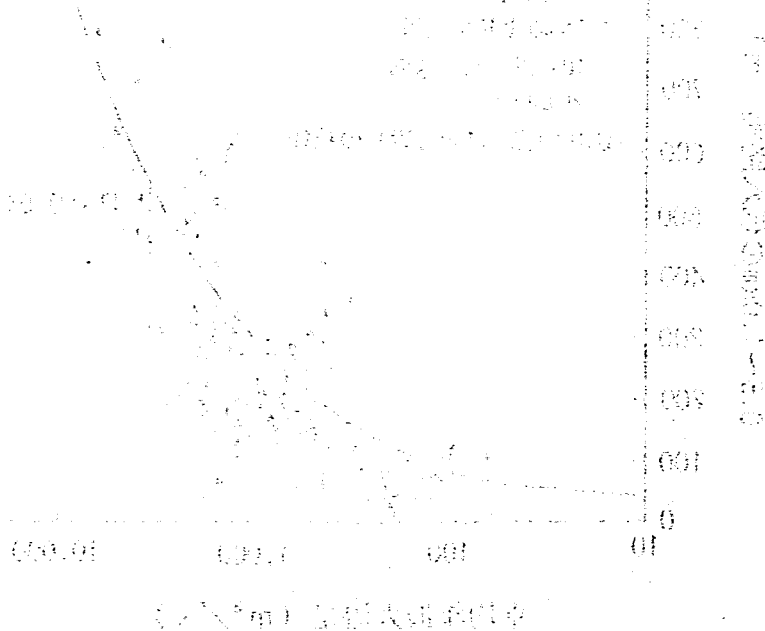


図-1.6 低水路幅と平均年最大流量の関係

(3) 河口部周辺の海浜変形

河口は河川の流送土砂の終着点であり、また海岸漂砂の供給源である。河口付近の河道掘削は河口からの流出土砂量を減少させ、河口付近の海浜の土砂収支を変えてしまう。内海に面していて、波による河口付近の土砂移動が少ない河川で急激な沈降性海岸でなければ、河口前面の堆積速度を多少遅くするだけで海岸侵食が起こる可能性はほとんどなく問題となることはないが、河口が外海に面しているような場合には河口付近の海岸侵食の原因となる。河口砂州を掘削してそれを骨材として利用しているような河川では、河口部の水深が次第に増加すると波力が増大して河口砂州の急激な後退を招いたり、あるいは周辺海岸から河口部への漂砂の逆流を招き、河口周辺海岸の侵食を助長する。このほかに河口近くの海浜変形の原因として、導流堤の設置に起因するものがある。通常、一方向の沿岸漂砂が卓越する海岸に導流堤を設置すると、漂砂の上手側で堆積、下手側で侵食が起きる。沿岸漂砂の卓越方向は、河口近くの海岸地形や古地図、深浅測量データなどから判断することができ(宇多, 1994)、これらの調査によって沿岸漂砂が一方向に卓越していると判断される場合には、導流堤を設置することはなるべく避けたいが、設置する場合には堆積および洗掘対策が必要となる。また、導流堤を汀線に対して直角方向から大きく傾けると、導流堤で反射した波および回折波によって局部的な汀線の前進・後退を招き、流砂量の多い河川では流出土砂を一方向だけに補給することになる。したがってこの場合には十分な対策を考えておかなければならない。一方向の沿岸漂砂は卓越していないが、波向が季節的に変動する海岸に導流堤を設置した場合には、導流堤自身がその両側に波の遮蔽域を形成させるため、導流堤近傍の汀線は前進、周辺部で後退するので注意が必要である。

一般に河口導流堤の設計においては洪水時の水位変化とフラッシュ特性に多くの注意が払われるが、実際には洪水の作用時間は数時間～1日程度であり、残りの大部分の時間は波の作用が卓越する。このことから河口部の諸問題を検討する場合には河川および海岸両者の諸現象について十分な配慮を払うべきである。



第2章 河口処理計画と調査項目

2. 1 まえがき

第1章では主として既往の研究をもとに河口現象とその問題点について述べた。そこで明らかになったように河口部で生じる現象や問題は実に様々である。実河川ではこれらの問題について各種の対策がなされる訳であるが、個々の具体例について述べる前に、河口処理の概況を知っておくことは重要である。すなわち問題意識を十分高めた上で個々の具体例について検討するために、ここでは河口処理計画とそれに必要とする調査の項目について簡潔に述べることにする。まず河口処理の問題の発生より河口処理工の施工に至るまでの全体的な流れについて述べ、次に河口処理計画に必要とされる調査の項目を一覧表として示すとともに、それぞれの調査の意義をできるだけ詳しく説明する。そして最後に現在までに使われてきている河口処理工法についてとりまとめ、第3章での具体例の検討に役立たせようとするものである。

2. 2 河口処理計画の検討の流れ

河口における問題の発生から処理工の実施までの手順は、一般に図-2.1に示すようなものであり、各項目の具体的な内容は次のようである（建設省河川局治水課・建設省土木研究所、1975）。

①まず問題の発生があり、これは河口周辺の住民、河口の利用者、河川管理者等によって、河口をある状態にしたいという欲求として認識される。

②問題点を明らかにして、河口処理の目的を明確にする。

③問題点を具体的に、また数量的に検討するための調査方針を立て、調査内容を決める。ここでは自然条件の調査のみではなく、社会経済条件の面からも検討し、いくつかの採用可能な処理工法を想定し、それに従って調査内容を決める。

④現象の観察、現地観測、現地調査および資料の収集を行う。

⑤調査収集資料の解析を行い、問題の原因を明らかにすると同時に、評価基準を確定し、入力条件の設定や、参考資料を解析する。

⑥各種処理工案について効果と影響を評価し、評価基準と比較する。それが達成できない場合には再度変更案について検討する。

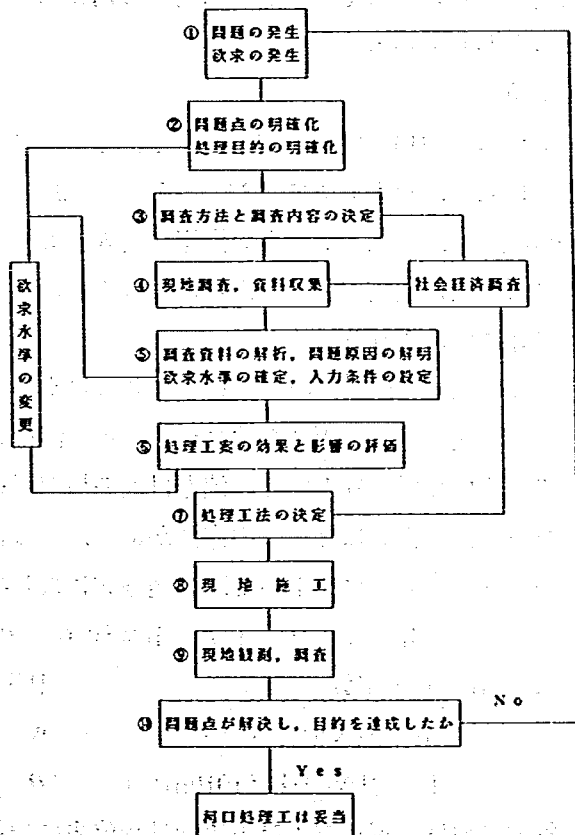


図-2.1 河口処理計画のフローチャート

⑦処理工法を決定する。

⑧処理工の施工を行う。

⑨施工後、現地状況の観測、調査を行う。

⑩問題が解決されたかどうかの検討を行う。解決されなければ上述の過程を繰り返す。

一般には⑧の処理工の施工が終ると、問題が解決済みのように思われることが多いが、実際に過去の幾多の事例を見ると河口処理を行っても問題が残されたり、あるいは新たに別の問題が発生することも多い。このことから施工後における効果調査も大切である。

2. 3 河口処理計画に必要とされる調査の項目

2.3.1 調査項目

河口処理を行う上では、対象とする河口の実態を知らなければならない。河口処理に必要となる水理調査の項目を処理工法別に示すと表-2.1のようになる。このほかにも空中写真撮影、隣接河口調査、河口付近の地形・地質調査、流出土砂量調査、塩水遡上調査、波浪遡上調査、河口部被害調査等が望まれる。なお、表-2.1の調査項目の全ての資料がなければ河口処理計画が立てられないということではない。河口処理の目的やその質によって、調査の精度や調査法が変わるのは当然のことである。また、場合によると総合的調査では役立たず、ある特性の問題に絞った調査が必要なこともある。これらの具体的な調査方法については、河口処理対策指針（案）（建設省河川局治水課・建設省土木研究所、1975）あるいは建設省河川砂防技術基準（案）調査編を参照されたい。調査項目の詳細は以下のとおりである。

①潮位

潮位は、河口計画の上で最も基本的なデータである。衆知のように太平洋側の潮差は1～2mであるのに対し、日本海側では0.3～0.5mと小さく、また瀬戸内海や有明海では2～3mと非常に大きい（第3章参照）。潮差が大きい海岸に流入する河川で、河川の水域面積が大きい場合、タイダルプリズムによる入退潮流が強く、河口部にはそれによる特徴ある海底形状が形成され、また多くの場合河口は良好に維持される。

一般に潮位の観測は改めて行う必要はなく、気象庁発行の潮位表を用いることができる。平均潮位、朔望平均満干潮位等天体潮位については、潮位表にその値が計算されてある。また、潮位表に記載されている検潮所以外の地点の値も付近の検潮所の値から推定することができる。

気象偏差の推算には二つの方法があり、一つはモデル台風を用いて動力学的な計算を行う方法、他の一つは過去の記録を用いて次の経験式により推算する方法である。

$$h = a(P_0 - P) + bw^2 \cos \theta + c \quad (2.1)$$

a, b, c : 定数

P : 最低気圧 (hPa)

h : 最大偏差 (cm)

w : 最大風速 (m/s)

P₀ : 基準気圧 (1010hPa)

θ : 主風向と最大風向とのなす角度

各地における定数および主風向は潮位表に記載されている。なお、定数決定に用いられた資料が少ない場合には、推算精度が低くなるので注意を要する。

表-2.1 河口処理工法と調査項目

調 査 項 目		処 理 工 法					砂州 変形 等の 対策
		導流堤 (治水 目的)	導流堤 (舟運、 漁業)	人工 開削	暗渠	水門	
①潮位	平均潮位、朔望平均満潮潮位・干潮位、 気象偏差、潮差	○ ○	○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
②水位	平水時の日平均水位 出水時の毎時水位	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
③流量	平水時の日平均流量 入退潮量 出水時の毎時流量	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
④波浪	有義波高・周期および卓越波向	○	○	○	○	△	○
⑤沿岸漂砂	卓越方向と漂砂量	○	○	○	○	△	○
⑥底質	中央粒径の水深方向分布、砂州の材料	○	○	○	△	○	○
⑦水質塩分	河道内水質・塩分	△	○	△	△	△	△
⑧風向風速	風向・風速	△	△	△	△	△	△
⑨深浅測量	深浅図 汀線の場所的・経年的変化 河道縦横断面図および変化図	○ ○ ○	○ ○ ○	 ○ ○	○ ○ ○	 ○ ○	○ ○ ○
⑩河口部 縦横断面測量	砂州の形状と砂州の等高線図 河口開口部横断面図（平水時・洪水直後） 平水時・洪水直後の河口部縦断面図	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○

○：調査必要項目、△：調査の望ましい項目

②水位

河口付近の水位を観測することにより、砂州による水位のせき上げや洪水による砂州のフラッシュに伴う水位の変化を調べることができる。一般に閉塞の著しい河口部の洪水時における河道内水位は、潮位の影響はあまり受けず砂州高が支配的となる。水位観測は海に近い河道内で行うことが望まれるが、砂州の変動によって水位計が土砂に埋没しないよう注意を払う必要がある。従来この種の観測はあまり行われていなかったが、河口現象をより正確に把握する上で、今後は観測を行うことが推奨される。

③流量

河川の固有流量と河口流量を調べることを目的とする。河口流量は河川の固有流量と入退潮量との和である。固有流量の観測は感潮区間より上流で、できるだけ河口に近く、経年的な河床変動の小さい地点より選定する。また、河口流量は感潮区間の水位計と仮設水位標により各地点の同時水位を観測し、河口部貯留量を計算することにより求めるものとする。

④波浪

波浪データは、河口処理計画を検討する上で必須のデータである。例えば導流堤の長さを決定する際に波により顕著な地形変化の生ずる限界の水深（地形変化の限界水深）と導流堤の先端水深との関係が、導流堤による沿岸漂砂の回り込み阻止を検討する上で重要な指標となるが、地形変化の限界水深は主として波浪条件によって定まるからである。また、導流堤などの施設を守るための消波ブロックの安定重量の算定には波高と周期が必要とされる。波浪観測は近年では全国各地で行われてきており（例えば、本間・堀川，1985参照）、また奥深い湾内や内海などを除く海域では波浪特性として近隣の波浪観測データが利用可能であるから、それらの観測データを利用するとよい。一方、波向については、実際には波浪観測を行う必要があるものの、河口の地形や地形変化に決定的役割を果たす卓越波向は空中写真等を用いて簡便に推定できるので、それを利用するとよい（宇多，1994）。

⑤漂砂

沿岸漂砂の卓越方向は、正確には波浪データから推定するべきであるが、実際には空中写真を利用し、検討の対象とする河口付近において沿岸漂砂を阻止する海岸構造物の上手側の安定した汀線形より推定する簡便法が利用できる（宇多，1994）。また、沿岸漂砂量についても、近隣の漂砂阻止構造物の上手側の堆積土砂量や、下手側の侵食土砂量の経年変化を求め、これより漂砂量を求める方法が実績値を精度よく推定する上で有効である。波浪外力より計算によって求める方法もあるが、この方法は係数値の選定に伴う誤差によって推定精度が低くなるという欠点がある。

⑥底質

河口部の底質は波と流れの作用を受けるために、一般に非常に複雑な粒径分布となる。しかし資料採取をうまく行えば、波による砂移動に関する多くの有効な情報を集めることができる。例えば、河口部において岸沖方向に測線を設定し、水深方向に約1 m間隔で底質採取を行い、ふるい分け分析を行って d_{50} の水深方向分布を描くことである。これによると、 d_{50} は汀線付近で極大値を示すが、水深方向に減少し、波による地形変化の限界水深付近ではほぼ0.15mmの細粒となることが知られている。したがって d_{50} の分布より逆に地形変化の限界水深を推定することも可能となる。一方、砂州の汀線付近での海浜材料の調査は、砂州の変化予測を行う場合の基礎資料となる。

⑦水質・塩分

河口砂州の背後などにおいて周辺の中小河川の水質のよくない河川が流入する場合など、河口域での水質問題が起こりうる際には河口部を中心として水質調査を行うことが必要となる。また河口からの塩水遡上が問題となる場合には塩分調査が必要である。

河道内への塩水遡上の混合形態について須賀（1979）は、河口付近における水面の塩素イオン濃度が底付近の $1/10$ 以下の場合を弱混合、 $1/10 \sim 1/2$ の間を緩混合、 $1/2$ 以上の場合を強混合と定義している。図-2.2はこのような定義に基づいた混合形態の分類を適用し、感潮区間長と大潮時の潮位変動量との関係を示したものである（山本ほか、1993）。同図資料の河川における平水時の単位幅当

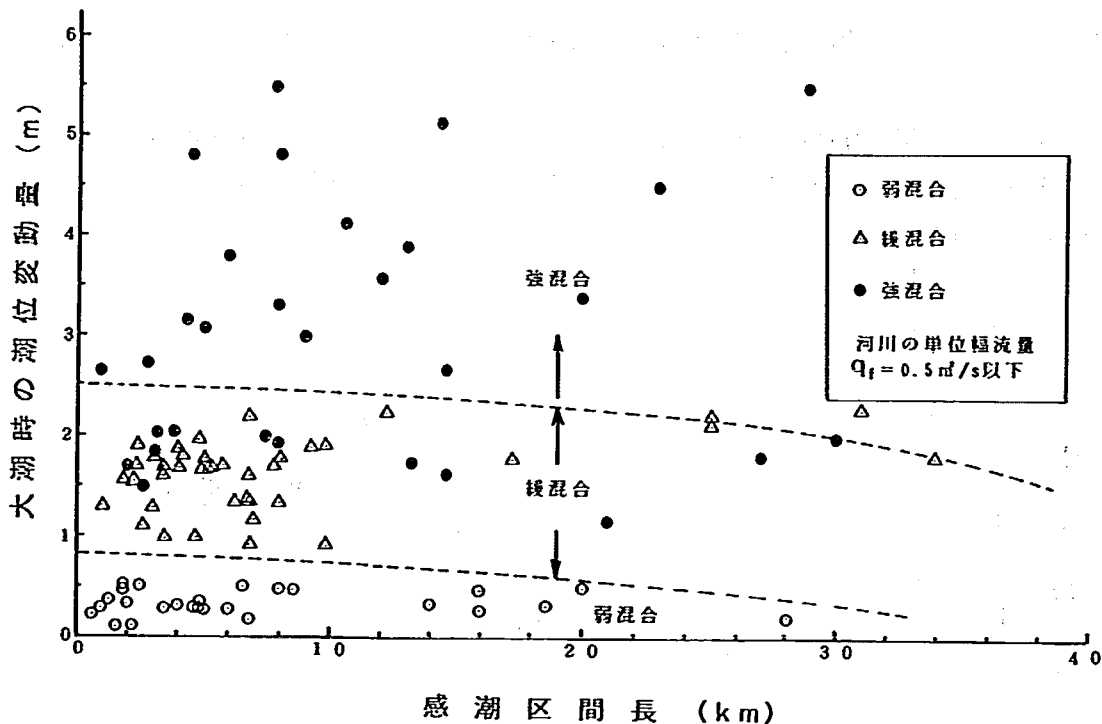


図-2.2 混合形態と潮位変動量，感潮区間長の関係

りの自流量 q_f は、およそ $0.2 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の場合である。これによると、大潮時の潮位変動量が約 0.7 m 以下の場合、感潮区間長が 10 km 以内であれば常時弱混合状態となるようである。感潮区間がさらに長くなると、潮位変動量が小さくても緩混合状態へ移行する。感潮区間長が 20 km 付近では大潮時の潮位変動量が約 0.5 m 以下、約 30 km 付近では約 0.3 m 以下の潮位変動量であれば弱混合状態となるようである。大潮時の潮位変動量がこれより大きくなると、感潮区間長が 10 km 以下では、その変動量が約 $0.7 \sim 2.5 \text{ m}$ でほぼ緩混合状態となる。感潮区間長が長くなると、弱混合と同じように潮位変動が小さくとも混合が促進される。感潮区間長が 30 km 付近では、大潮時の潮位変動量が約 $0.3 \sim 2.0 \text{ m}$ の範囲でほぼ緩混合状態である。さらにこの緩混合状態の潮位変動より大きい範囲は、いわゆる強混合状態となる。ただし、緩混合状態と強混合状態の区分は、図に示すようにあまり明確でない。これは両混合形態の濃度分布形等に明瞭な違いがなく、その形態の質的差異が明確でないことによる。

なお、潮位変動量と周期は月齢によって変化するので、混合形態はそれによっても変化する。すなわち、緩混合あるいは強混合に分類される河川においても上下弦を中心とした小潮時には、弱混合や

緩混合の状態が出現する。一方、河道内への塩水遡上は、河口地形すなわち河口砂州の影響を大きく受けている。ここでは河口砂州の存在する阿賀野川の事例を示す（福岡ほか，1986）。

阿賀野川下流部には、弱混合状態の塩水くさびが形成されており、その河口部には両岸より突出した砂州が存在し、時期によりその地形はかなり異なる。最狭部断面位置は、各観測年度によって若干変化しているが、ほぼ0km断面に現われている。濃度分布の観測資料より、0km断面の下層の塩水層断面積 A_2 と塩水くさびの遡上距離の関係を示したのが図-2.3である。これより塩水層断面積が大きい時遡上距離も大きいことが明らかである。また、このとき塩水遡上距離が0.6km以上では、全断面積に対して塩水層断面積の占める割合が、いずれも75～80%であって、かつ遡上距離が大きいときには河口断面積も大きい。特に10km以上の遡上距離となった1978年8月、1984年および1985年8月では河口河積が大きく、また濁水流量が長期間継続しており、このような時には河道内奥深く塩水が遡上している。

以上より、河口砂州の存在は塩水の遡上距離と密接に関連しており、河口砂州は塩水侵入を軽減し、平水時の水質維持に大きく貢献していることが分かる。その他、塩水遡上の実態等については山本ほか（1993）を参照されたい。

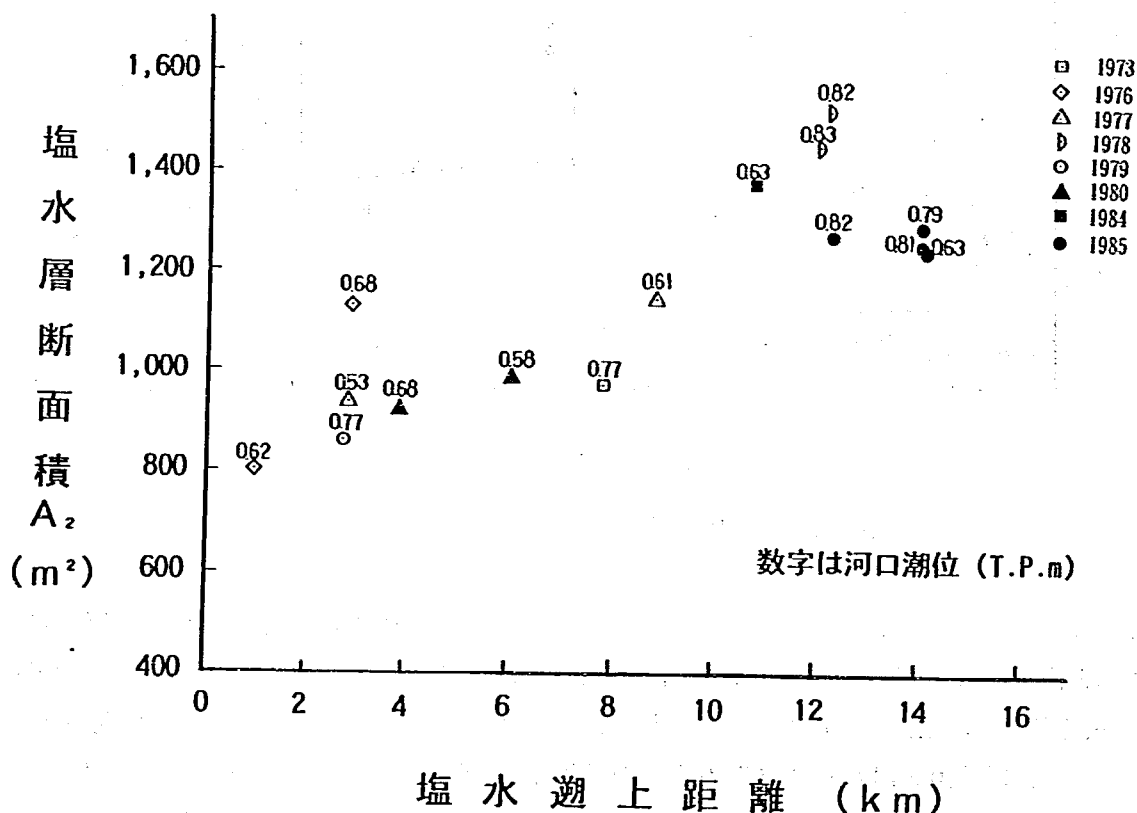


図-2.3 塩水遡上距離と塩水層断面積の関係

⑧風向・風速

河口処理の検討では従来より風向風速が調べられてきている。波浪観測が十分行われていなかった時代には、これらの資料は波高や波向を推定するのに使われたが、現在ではこの方法はあまり使われていない。むしろ風向風速を明らかにすることにより、飛砂の方向と量の推定が可能となり、導流堤からの飛砂の河道内への落ち込みを防止する策を検討する際に役立てることができる。

⑨深浅測量

河口前面海域の深浅図は河口問題を検討する上で最も重要な資料の一つである。一例として図-2.4には相模川河口部の深浅図を示す。図示するように、相模川河口には大きな河口前面テラスが張り出している。この河口テラスは、河川流下土砂が流出・堆積したものであって、この部分の底質は周辺海岸への貴重な漂砂源となっている。また洪水時に砂州がフラッシュされた場合にもこのテラス上およびその周辺域に土砂が堆積し、その後の波の作用により砂州の再形成を促す、いわば臨時の貯砂場となっている。このことから河口部の海底地形の状況を調べることは非常に重要である。また、流下土砂の減少や海岸侵食などにより河口部が侵食される際にも必ず河口周辺部に変形が現われるから、その状況を調べる上でも有効である。また、図-2.4に示す深浅図から明らかなように、沖合からの入射波は河口部の突出地形の周辺で大きく屈折変形し、波高分布や波向分布が大きく変化する。この結果、河口テラス上では直線海岸と異なった碎波分布となり、その碎波に起因する海浜流も河口テラスの付け根へ向いた特徴あるパターンを示すことになる。この点から見ても海底状況の調査が必要である。

河口導流堤の規模が大きくなると、沿岸漂砂の阻止効果も当然高まる。したがって経済的に許される範囲内で導流堤は長く伸ばされる。しかし、周辺海岸への影響の点より見ると、沿岸漂砂を完全に阻止する導流堤はまた周辺海岸に与える影響も大きい。こうした条件下で導流堤の計画を進めなければならない場合には、沿岸漂砂の卓越する系全体における海浜地形変化についてよく調べ、その中で河口の位置付けを行い、条件によっては河口周辺の海岸事業との調整を行う必要もでてくる。この意味からは、国土地理院撮影の空中写真や地形図を利用して河口を含む沿岸漂砂の系全体の汀線変化を調べるのが有効である。この場合、調査対象区域があまり狭くならないよう十分な配慮が必要で

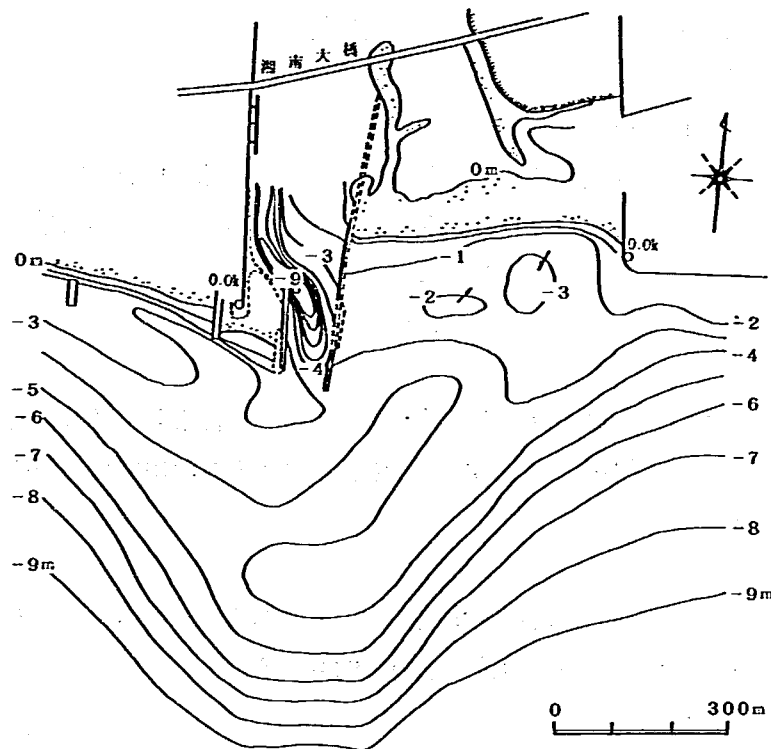


図-2.4 相模川河口部の深浅図

ある。詳しくは建設省河川局海岸課(1994)を参照されたい。

⑩河口部縦横断測量

河口処理が必要となる河川の河口砂州は時間的にかなり大きな変動を有している。したがって砂州の平面的な変化を十分把握しておくことが処理工法を検討する上で必要となる。これには砂州の汀線形状の変化を調べるのが有効である。また、砂州高は波のうちあげ高とほぼ対応していることから、砂州の平面形状を調べるだけでなく、砂州の等高線図(横断面図を含む)を求めることも必要とされる。

一方、砂州の開口部は流量にあわせて動的な意味で平衡断面となっていることから、平水時、および洪水直後の開口部の横断面図を作成することも砂州の変動特性を調べる上で有効である。

2.3.2 河口処理の検討項目

河口処理計画に際して必要とされる検討項目は、次のようである(山本, 1978a)。

①大スケール現象、長時間スケール現象の把握

対象とする河道および周辺地形の地形学的特性について把握しておく。例えば、河口部に干潟が残されていて土砂が沈積するような河道か、流出土砂量は多いのか少ないのか、漂砂は一方向に卓越するのかしないのか等を河道の変遷図や地形学、地理学観点から検討する。

②河口部河道特性の検討

現在の河口部河道の状況とその実態、河道の経年的な変化状況および洪水前後の河床変動等を把握する。これより河川の全体像を明確にしておくとともに、将来の河道の変化特性を予測する上での基礎資料とするものである。

③計画高潮位の検討

河口は洪水時に安全であるのみならず、高潮、津波に対しても安全でなければならないから、計画高潮位について検討する。

④出発水位の検討(計画河口水位)

出発水位は、洪水時の水位を決定するための不等流、不定流計算に用いる下流端水位である。出発水位は、洪水が高潮時と必ず同時に起こるということではないから、洪水時に出現する潮位を統計的に評価することが良い決定法であるが、現況では河川の特徴に合わせて、洪水時の既往最高潮位、朔望満潮位、朔望平均満潮位+潮位偏差などが使われている。

⑤洪水時水位の検討

洪水時の水位は、④で求めた出発水位および計画高水流量を条件として不等流計算により求めることが多い。ただし、砂州のある河川、河口部での河床変動の大きな河川では、河床変動を考慮して水位を決定することが必要である。

⑥計画高水位の検討

③、⑤の検討より、水位の高い方を計画高水位とすべきであるが、河口の河床変動の少ない河川では潮位と洪水との複合確率評価によって水位を求めた例もある。

⑦河口部河床高、開口部河積の検討

洪水時には河口の河積、河床高は変動する。一般に洪水時の疎通能力を検討する場合、河床高が変動しないとし、その河床高を計画河床高としている。また、平水時、渇水時の河床高、河積も航路維

持、内水排除等の点から検討しておかなければならない。洪水時の河床変動を考慮した検討がなされている河川は少ないが、今後河床変動を考慮した検討が必要と思われる。

⑧河道の安定性の検討

河道を掘削して河床を低下させるような場合、その河道は維持可能かどうか、河道内蛇行による局所洗掘、河道内砂州の発生位置等を検討しておかなければならない。

⑨波浪侵入の検討

河口砂州は波浪の侵入を防いでいるから、掘削により河口水深を増大させたり、導流堤を造って河口砂州の発生を防止すると波浪の侵入度が増す。河道内構造物、堤防保護のため河道内に侵入する波高を評価し、それに対する防護を検討する。

⑩塩水侵入の検討

河口の開口河積の増加、河道の河床低下は、塩水の侵入距離を増大させ、取水等に影響が生じる場合があるので塩水侵入量を評価しておかなければならない。

⑪隣接海岸に対する影響の検討

河口に導流堤等の処理工を施すと、沿岸漂砂の連続的な移動を阻止することにより河口隣接海岸の漂砂下手側で汀線の後退を、そして上手側では汀線の前進を招く。また、導流堤が波の場に変化を与えることにより、局所的な侵食・堆積を引き起こすこともある。したがって対策工の計画においてはそれらの量をあらかじめ十分検討して隣接海岸への影響を小さくするような措置をとる必要がある。

⑫処理工による自然環境変化に関する検討

処理工の設置によって、河口付近の沿岸流、塩分濃度等が変化し、河口付近に生息する生物に影響を与える。特に漁業、しじみ等や養殖に対する影響の検討が必要である。また漁業の対象となる生物だけではなく、貴重種を始めとするそこに生息する種々の動植物の保護にも十分な配慮を払う必要がある。

以上の検討項目の中で、処理工が変更しても変わらないのは、①～④で、他は処理工の変更による河口の反応を調べることになる。

2. 4 河口処理対策

河口処理の目的は、防災、水利用、空間利用、環境の保全に大別できる。これらのうち防災については、河口閉塞の防止、汀線の後退に伴う河岸侵食の防止や高潮対策がある。河口閉塞の防止対策としては、導流堤、人工開削、暗きょ、水門等がある。河岸侵食の防止対策としては、水制、護岸、消波工等がある。高潮対策については、内湾などで高潮が来襲する場合に問題となり、堤防や消波工による対策が必要とされる。河口部で生じる問題と河口処理工法は表-2.2のようにまとめられる。なお、表-2.2に示す以外の放水路、ポンプ排水、ゴム堰、突堤、離岸堤、人工リーフなども広義の意味で河口処理法と言えよう。

表-2.2 河口で生じる問題と河口処理工法

	解決すべき問題点	影 響	現 象	原 因	処 理 工 法
河口閉塞によって生じる問題	・堤内地への浸水、排水困難	・出水時の氾濫	・河道内水位の上昇	・河口閉塞 ・河口河積の不足	人工開削、水門、暗きよ、導流堤、堤防の嵩上げ
	・舟運のための航路維持	・貨物量の減少 ・航行不能	・航路維持の困難	・河口閉塞 ・水深、幅の不足 ・みお筋の変化	導流堤、浚渫
	・漁業問題	・漁獲量の減少	・魚の遡上数の減少 ・操業困難、危険性の増大 ・水質の悪化	・河口閉塞 ・河口河積の不足 ・開口位置の不安定	導流堤、浚渫、水門、人工開削
	・環境の悪化	・自然環境の悪化	・水質の悪化 ・ゴミの滞留 ・高水敷の利用困難	・河口閉塞 ・河口河積の不足	導流堤、人工開削
砂州規模の縮小・変動に伴う問題	・支川の閉塞	・内水排除の困難 ・水質悪化	・砂州の河道内への後退 ・支川水位の上昇	・流出土砂量の減少 ・河口部の河床掘削 ・河口河積の増大	導流堤、浚渫、消波工
	・治水、海岸の防災施設への影響	・河川、海岸構造物の維持	・河岸侵食 ・汀線後退 ・波高の増大	・流出土砂量の減少 ・河口部の河床掘削 ・河口河積の増大	構造物の補強、消波工、水制、護岸、人工リーフ
	・利水に対する影響	・取水困難 ・水質悪化	・塩分濃度の上昇 ・取水位の低下	・流出土砂量の減少 ・河口部の河床掘削 ・河口河積の増大	取水位置の移設
	・舟運に対する影響	・航行の困難	・波浪の侵入 ・波高の増大	・流出土砂量の減少 ・河口部の河床掘削 ・河口河積の増大	消波工
処理工の設置に伴う問題（二次的影響）	・利水に対する影響	・取水困難 ・水質悪化	・塩分濃度の上昇 ・取水位の低下 ・地下水の低下	・河口開口幅および水深の増大	取水位置の移設、表層取水堰の設置
	・河川、海岸構造物に対する影響	・構造物の維持、腐食	・河岸侵食 ・汀線後退 ・波高の増大 ・塩水の侵入	・河口開口幅および水深の増大	構造物の補強、護岸、消波工、水制、離岸堤
	・治水上、海岸防災上の問題	・出水時の氾濫 ・海岸侵食	・水位の上昇 ・汀線の変化 ・波浪の侵入 ・高潮の侵入	・河道の延長 ・河口河積の不足 ・漂砂量の変化 ・水深の増大	消波工、離岸堤、浚渫、高潮堤、突堤、人工リーフ
	・漁業に対する影響	・漁獲量の減少	・生態系の変化 ・魚介類の減少	・砂浜の減少 ・河口流速の変化 ・塩分濃度の変化	
	・舟運に対する影響	・航行の困難	・波浪の侵入 ・波高の増大	・河口河積の増加	消波工

第3章 河口の特徴と水理特性

3. 1 まえがき

河口の有する問題点を理解し、適切な河口処理対策を立案するには、河口部の地形特性とそこに働く外力の特性や、人為作用の影響などについて十分検討する必要がある。すなわち河口部の将来の変化を予測するには、河口部でこれまで生じた変化を十分把握しておかなければならない。ここでは全国の主要な河川の河口の特徴と河口処理工、地形変化状況等の実態を調べ、それらの問題点や河口処理効果等を把握する。このため全国の主要な河川の河口部の空中写真および河口・海域の深淺図を入手し、それらを系統的に分析した。調査の対象した河川的位置を図-3.1に示す。調査対象河川は全国の39の一級河川であり、それらのうち21河川が太平洋側に、18河川が日本海側に位置している。図示するように、本研究では高波浪の作用を受け易い外洋・外海に面した河口を取り上げており、内海や波浪の静穏な内湾に流入する河川は除いている。したがって波浪による砂州の形成や変形が著しい河川を取り上げたことになる。また、これらの河川の河道水理諸量を表-3.1に示す。これらの各項目のうち、平均年最大流量、朔望平均満潮位、潮差および低水路河床勾配を選んで特徴を調べると、まず、調査対象河川の平均年最大流量は図-3.2、3.3に示すように $524 \text{ m}^3/\text{s} \sim 6,202 \text{ m}^3/\text{s}$ の間の値を有しており、全国平均値は $2,130 \text{ m}^3/\text{s}$ である。朔望平均満潮位は図-3.4に示すように日本海側ではT.P.+0.3~0.6mで場所的変動が少ないが、太平洋側では0.6m~1.0mの間に分布し、変動が大きい。同様に潮差の分布を図-3.5に示す。日本海側の各河川の河口の潮差は0.3~0.5m程度であるのに対し、太平洋側では1.0~2.0mである。このように、太平洋側の潮差は日本海側のそれと比較して大きいので、入退潮流の作用は太平洋側で著しくなる。各河川の低水路河床勾配は図-3.6、3.7に示すように $1/200 \sim 1/12,109$ と非常に幅広く分布する。全国平均値は $1/1,034$ である。低水路河床勾配の大小は掃流力の大小を支配するので、河口砂州の地形特性に大きく影響する。

なお、調査対象39河川のうち、河口に導流堤等の処理対策工を有する河川は28河川である。これに対し無対策河川は11河川であって、これらは急流扇状地河川がほとんどで、河口閉塞が生じても治水は特に問題の生じない河川である。以下ではこれらの河川を各地域毎に分類した上で、河口形状、河口処理の状況や特徴等について述べることにする。

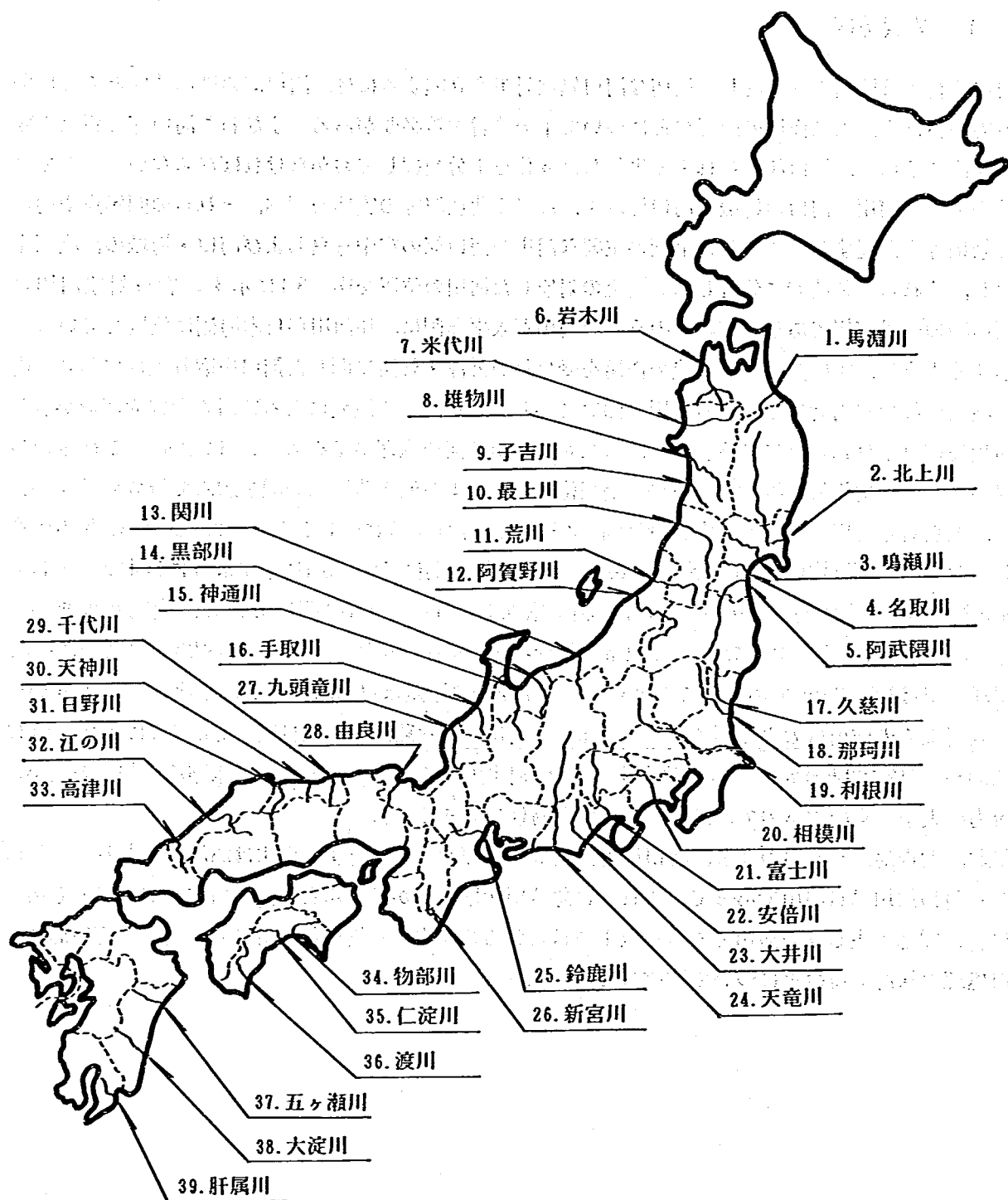


図-3.1 全国39河川の位置図

表-3.1 各河川の河口部特性の一覧表

河川名		流域面積	計画流量	平均年最大流量		頻望平均 満潮位	潮 差	低水路 河床勾配	河床材料 平均粒径	低水路 粗度係数	現 況 河 口 形 状		
				河口幅	平均河床高						位 置		
		km ²	m ³ /s	m ³ /s	年数	T.P.m	m		mm	現 況	m	T.P.m	mm
東	1 馬淵川	2.050	2.700	524	5	0.629	1.482	1/4.218	0.5	0.035	265	-1.7	0.0
	2 北上川	10.150	8.700	2.981	10	0.920	1.090	1/10.000	0.2	0.022	160	(K.P.)-6.0	-0.8
	3 堀瀬川	7.130	5.100	683	10	0.930	1.100	1/3.000	0.5	0.028	80	(S.P.)-3.6	0.0
	4 名取川	939	6.200	757	10	0.682	1.556	1/2.217	0.5	0.040	107	-4.6	-0.6
	5 阿武隈川	5.400	9.200	3.763	5	0.682	1.556	1/2.974	0.6	0.020	217	-5.0	0.2
	6 岩木川	2.540	3.900	555	5	0.452	0.468	1/12.109	15.0	0.035	165	-3.1	水戸口
	7 米代川	4.100	8.200	2.528	30	0.472	0.474	1/2.910	3.2	0.030	184	-2.7	-0.14
	8 埴物川	4.710	9.300	1.940	10	0.540		1/3.000	0.7	0.029	60	-2.0	狭窄部
北	9 子吉川	1.190	2.300	960	10	0.540		1/1.000	1.5	0.030	260		0.0
	10 最上川	7.040	8.000	3.460	7	0.610		1/3.395	0.5~1.0	0.025	490	-3.0	CS.1
北	11 荒川	1.150	6.500	763	5	0.510		1/600	3.2	0.020	40	-2.5	狭窄部
	12 阿賀野川	7.710	13.000	3.670	10	0.590	0.320	1/6.400	0.6	0.025	100	-5.0	0.0
	13 関川	1.140	4.500	806	20	0.440	0.410	1/2.000	1.0	0.025	139	-3.2	0.0
	14 黒部川	682	6.200	1.410	10	0.410		1/200	2.5~40	0.063	200	-2.0	狭窄部
陸	15 持通川	2.720	7.700	2.590	31	0.410	0.370	1/1.800	0.5	0.031	275	-1.4	0.0
	16 手取川	809	5.000	1.035	16	0.410	0.420	1/700	5.0~6.0	0.033	60	-2.0	0.0
関	17 久慈川	1.490	6.000	1.134	10	0.580	1.400	1/1.800	0.5~0.8	0.026	116	-2.2	2.5
	18 野川	3.270	6.700	1.918	10	0.580	1.400	1/3.300	0.2	0.020	204	-3.6	0.0
	19 利根川	16.840	8.000	3.088	10	0.632	1.517	1/10.000	0.3	0.012	350	(Y.P.)-3.7	0.0
	20 相模川	1.680	7.500	827	3	0.610		1/2.000	0.6	0.030	70	-6.7	0.0
東	21 富士川	3.990	16.600	2.714	5	0.707		1/400	50.0	0.032			
	22 安倍川	567	5.500	1.676	5	0.620		1/366	40.0	0.040	70	-1.0	狭窄部
	23 大井川	1.260	9.500	1.879	5	0.620		1/320	25.0	0.040			
	24 天竜川	5.090	14.000	6.202	5	0.669		1/871	14.0	0.035			
中	25 鈴鹿川	323	3.900	759	31	0.900	1.510	1/750	3.6	0.035	830		0.0
	26 新宮川	2.360	19.000	6.010	21	0.610		1/1.000	17.0	0.035	80	-2.0	狭窄部
	27 九頭竜川	2.930	9.200	1.620	27	0.450	0.510	1/2.200	0.8	0.025	240	-5.0	0.0
	28 由良川	1.880	5.800	1.668	37	0.404	0.490	1/4.000	2.0	0.035	70	-4.0	0.0
近	29 千代川	1.190	6.000	1.370	15	0.365	0.241	1/1.850	0.5	0.035	200	-3.0	0.1
	30 天待川	500	3.500	654	24	0.365	0.241	1/620	1.5	0.035	21		-0.14
	31 日野川	860	4.600	814	22	0.365	0.241	1/1.370	1.5	0.035	31	-2.0	-0.05
	32 江の川	3.870	10.600	4.041	3	0.411		1/625	0.8	0.035	496	-3.0	0.0
国	33 高津川	1.080	4.200	1.336	4	0.565		1/1.000	1.0	0.030	375		3.8
	34 物部川	508	4.740	1.513	28	0.600	1.897	1/360	22.0	0.035	7		-0.2
	35 仁淀川	1.560	14.000	5.048	27	0.600	1.897	1/1.230	7.0	0.033	60	-1.0~-2.0	-0.2
	36 渡川	2.270	16.400	4.240	10	0.755	1.935	1/1.800	9.5	0.030	130	-10.0	-0.5
九州	37 五ヶ瀬川	1.820	1.500	1.641	31	0.950		1/1.300	0.5	0.029	250	-5.9	0.0
	38 大淀川	2.230	7.000	3.509	10	1.000		1/5.800	1.0	0.028	650	-5.0	0.0
	39 肝属川	485	2.300	945	10	0.790	1.777	1/3.000	0.8	0.030	170	1.0	-0.1

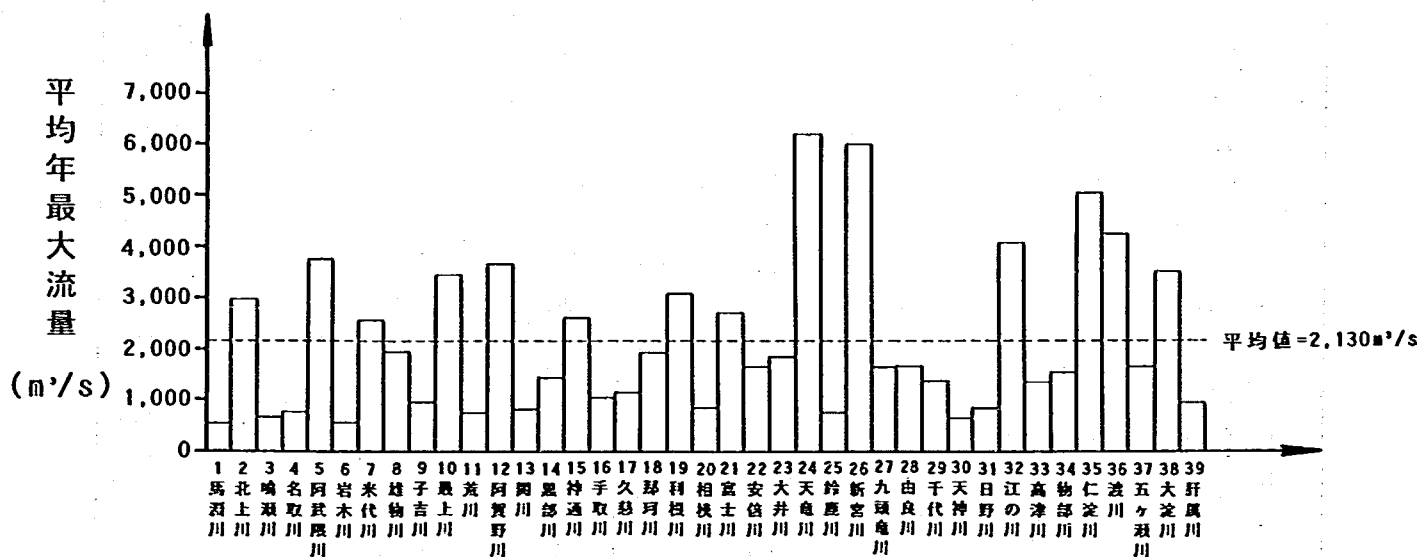


図-3.2 各河川の平均年最大流量の比較

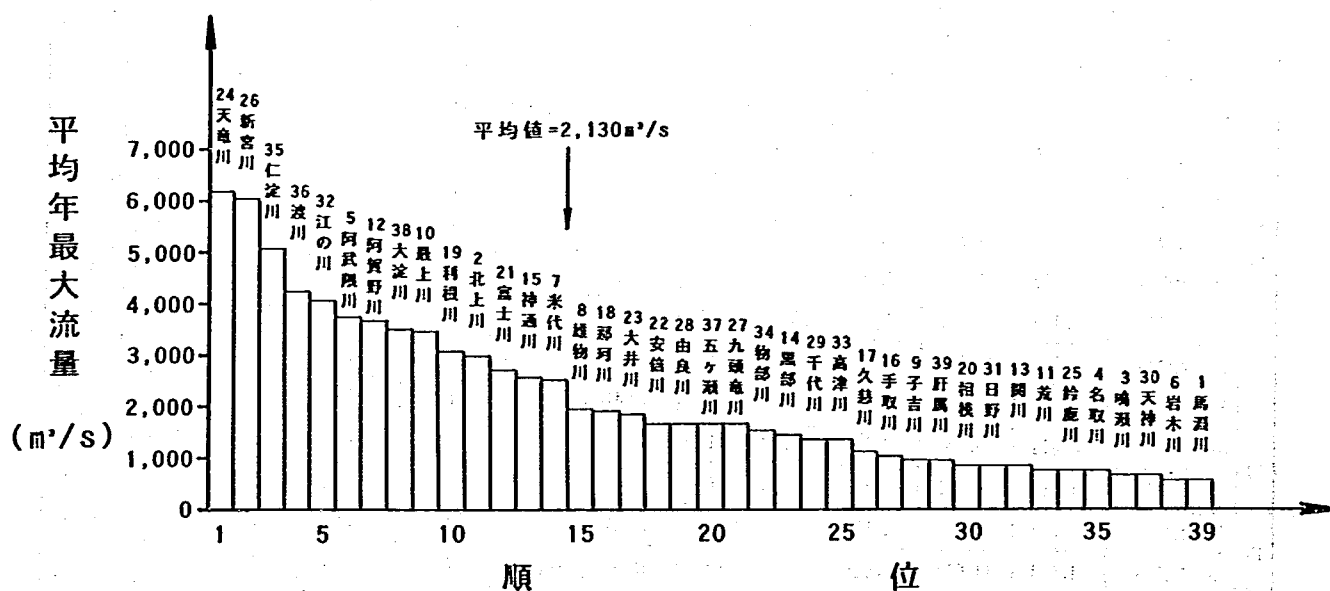
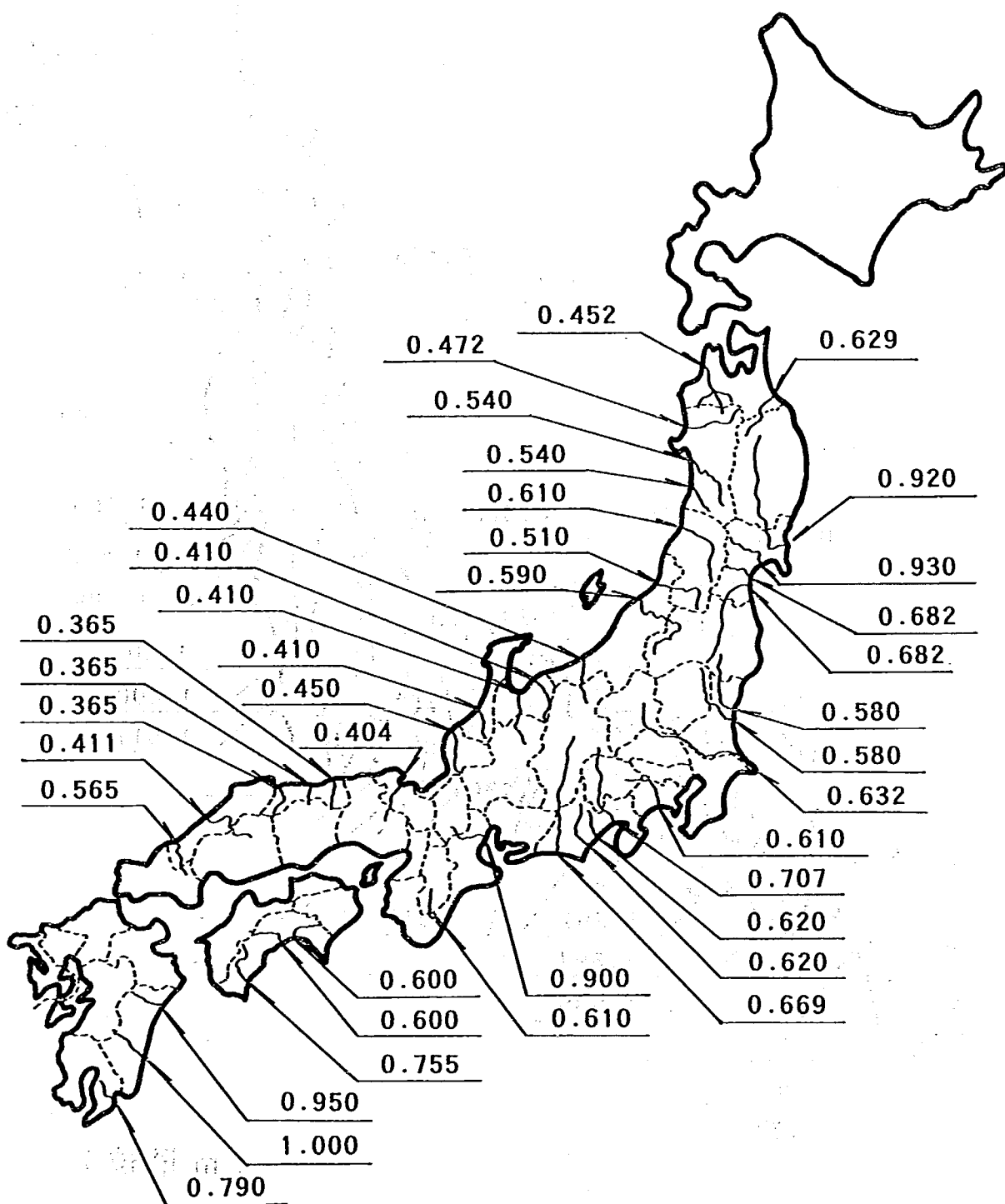


図-3.3 各河川の平均年最大流量の順位



(T.P.m単位)

図-3.4 眺望平均満潮位の全国分布

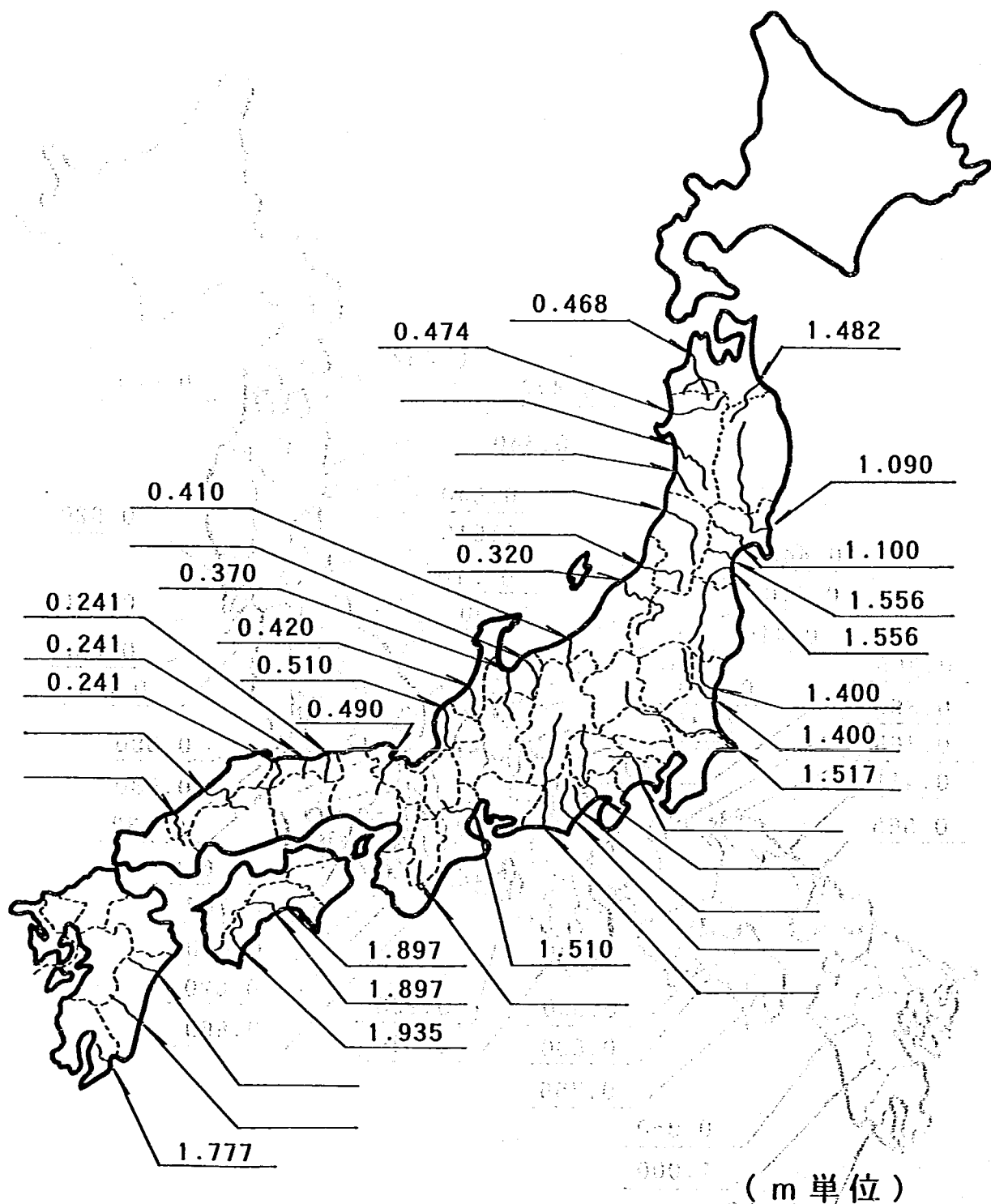


図-3.5 潮差の全国分布

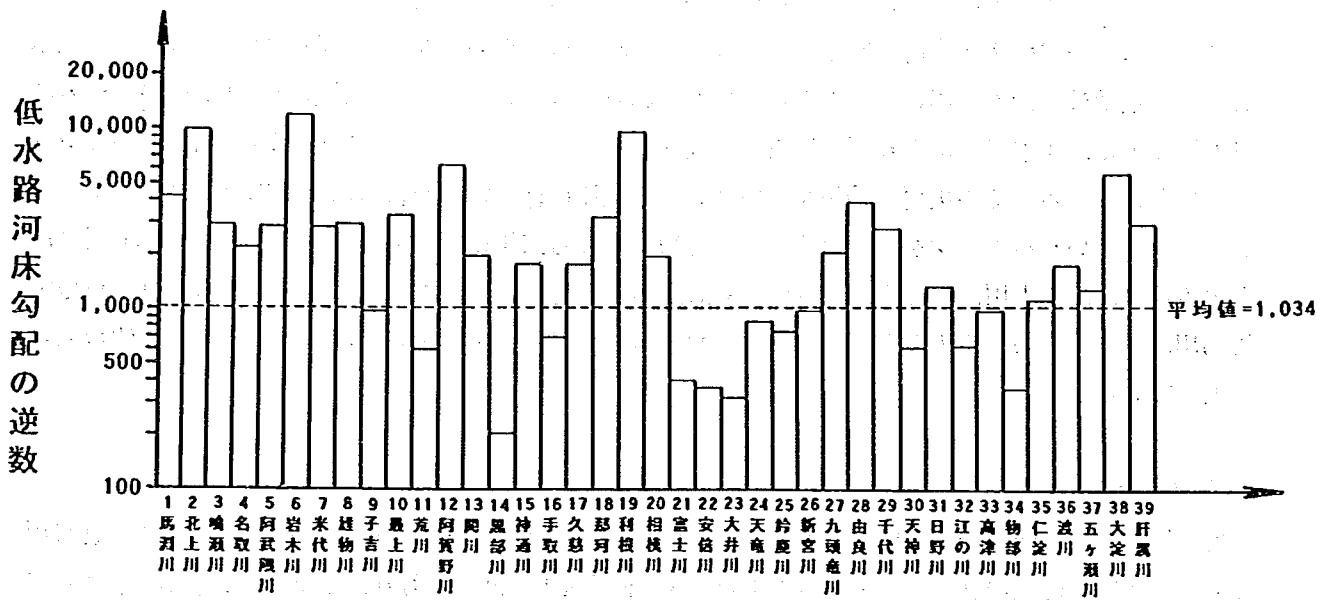


図-3.6 各河川の河口部低水路河床勾配の比較

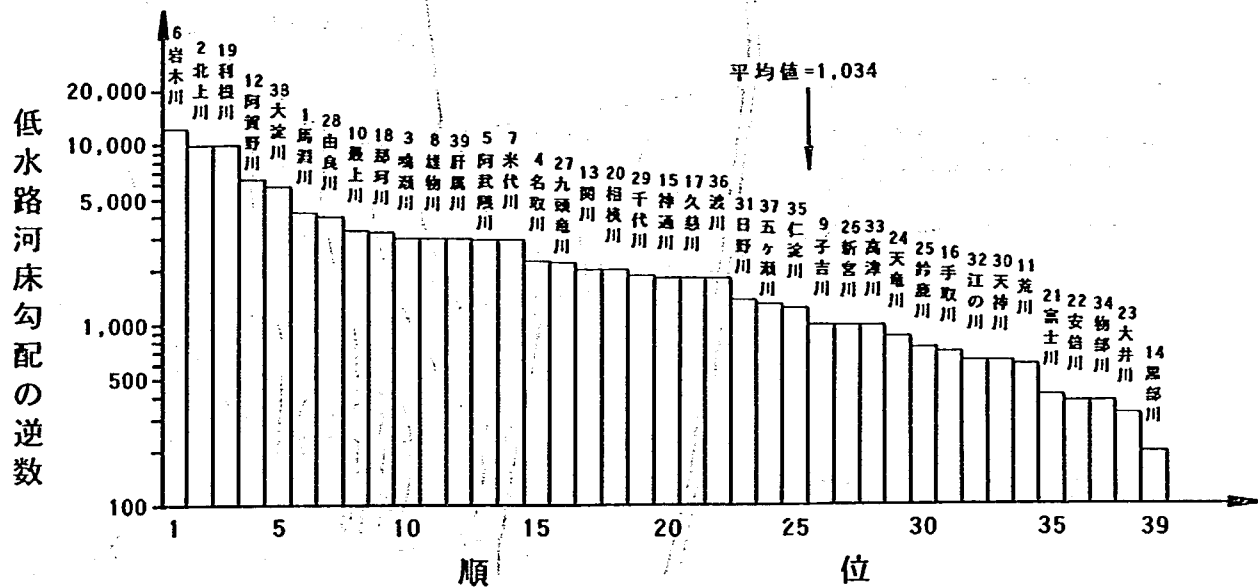


図-3.7 各河川の河口部低水路河床勾配の順位

3. 2 東北地方の河川

太平洋側に流入する河川では、潮差が比較的大きいため、入退潮流による作用が無視できない。また波浪により河口砂州が常時形成されており、洪水時には砂州のフラッシュがしばしば起こる。洪水としては前線性の雨や台風によるものが支配的であり、夏季および春季に洪水の頻度が高い。一方、日本海側では、冬季風浪により河口砂州が形成されるが、春になると融雪出水による砂州のフラッシュがしばしば起こる。その後再び砂州が形成され、低気圧に伴う降雨や台風による出水によってフラッシュされるというパターンを繰り返す。ここで取り上げる河川は図-3.1に示すように太平洋側に流入する馬淵川、北上川、鳴瀬川、名取川、阿武隈川の5河川と、日本海側に流入する岩木川、米代川、雄物川、子吉川、最上川の5河川である。また、特に鳴瀬川、名取川、阿武隈川の3河川は仙台湾に流入している。

(1) 馬淵川

馬淵川は、流域面積2,050km²、流路延長142kmを有し、青森県八戸市において太平洋に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は2,700m³/s（確率年1/40）であり、この計画高水流量は1967年の新河川法に基づく一級水系指定に伴って策定された。河口部付近の低水路の河床勾配は約1/4,200、河床材料の平均粒径は約0.5mmの中砂、河口幅が約130m（0km地点）で、平均年最大流量は約500m³/sである。河口部の空中写真を写真-3.1に、深浅図を図-3.8に示す。

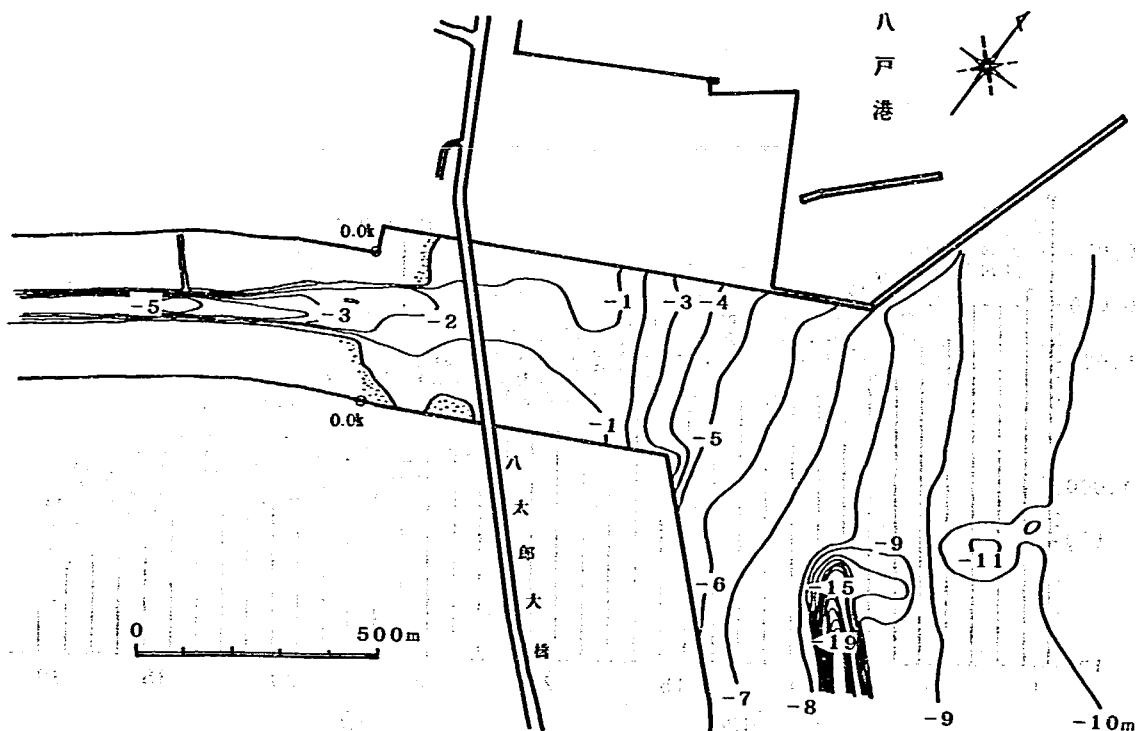


図-3.8 馬淵川河口部の深浅図（1992年11月20日）

馬淵川河口部では、従来夏季には河口砂州が右岸側より伸長し、洪水時にフラッシュされるパターンを繰り返していた。1972年には、八戸港の埠頭の造成を目的とした導流堤が左岸側に設置された。

その後隣接する工業港の発展に伴い、現在では防波堤、護岸等が設置され写真-3.1および図-3.8に示すように、波による河口閉塞の問題は解消されている。なお、他の河川も同様であるが、平水時には海水が河道内の底層に侵入し、河川水との混合が活発に行われる。しかし洪水時には海水が河道内から後退し、河口沖の遠方まで遠ざけられる。この時河口沖の海水と河川水とが接触する区間では、直接連行型の循環流が生じていると考えられている。したがって、ここでは河川から流出した土砂の堆積を見ることになり、浅瀬が形成される。河口水深が比較的大きく、かつ洪水流量の多い川の河口沖には、このような浅瀬が必ず生じるものであり、河口港の難点にもなっている。この浅瀬の位置は、河口から河口幅の4~5倍の所と言われている(柏村・吉田, 1968;1969)。図-3.8に示す馬淵川河口でも、河口部に架かる八太郎大橋の直上流の低水路の川幅の4倍程度下流にこのような浅瀬が形成されている。

一般に、河川流出土砂量が多い河川では河口部の等深線は冲向きに突出し、条件によっては河口テラスが形成される。しかし、当河口部の深浅図によれば、-2m~-5mの等深線は護岸と防波堤の間でほぼ直線状に伸びている。防波堤等に囲まれる状況となって約15年が経過したにもかかわらず、等深線形状が上述の状況を呈する点は、馬淵川の流出土砂量が大きくないことを意味する。

一方、馬淵川河口の北側に広がる市川・横道海岸および三沢海岸では、近年侵食が著しい(佐々木ほか, 1990a)。これには、馬淵川河口から供給された沿岸漂砂が漁港や港湾の防波堤により阻止されていることもさることながら、それ以前の問題として馬淵川自身の流出土砂量が減少していることも関与すると考えられる。

(2) 北上川

北上川は、流域面積10,150km²、流路延長249kmを有する東北地方最大の規模をもつ一級河川である。1911年~1934年に北上川下流部の放水路として新北上川が開削され、宮城県北上町で追波湾に注ぐ現在の河口が形成された。河口部付近の河床勾配は約1/10,000、河口幅は約160m(-0.8km地点)、河口砂州部の河床材料の平均粒径は約0.2mm、計画高水流量は8,700m³/s(確率年1/100)、平均年最大流量は約3,000m³/sである。

河口の空中写真を写真-3.2に、深浅図を図-3.9に示す。河口砂州は、一般に冬季に右岸側の砂州が伸長し、河道内へと押し込まれる。春季の融雪出水、夏季の洪水により砂州がフラッシュされるが、砂州形状、規模とも年間を通し、かつ経年的にもほぼ安定している。河口の左岸側が海食崖となっており、これが自然の導流堤の役目を果している。砂州は左岸側からも張り出す傾向にあり、河口沖合まで浅くなっている。図-3.9の深浅図によると、河口砂州の開口部の最深河床は-7mと非常に深い、そより下流側では逆勾配となり、沖合には深さ約2mの河口テラスが広がっている。左岸側に岩礁があって流れが阻止されているために河口テラスの中心軸は大きく南側に傾いている。河口前面テラスの先端より沖の前置斜面の勾配は約1/40である。河口テラスの突出は特に-5m以浅で顕著である。

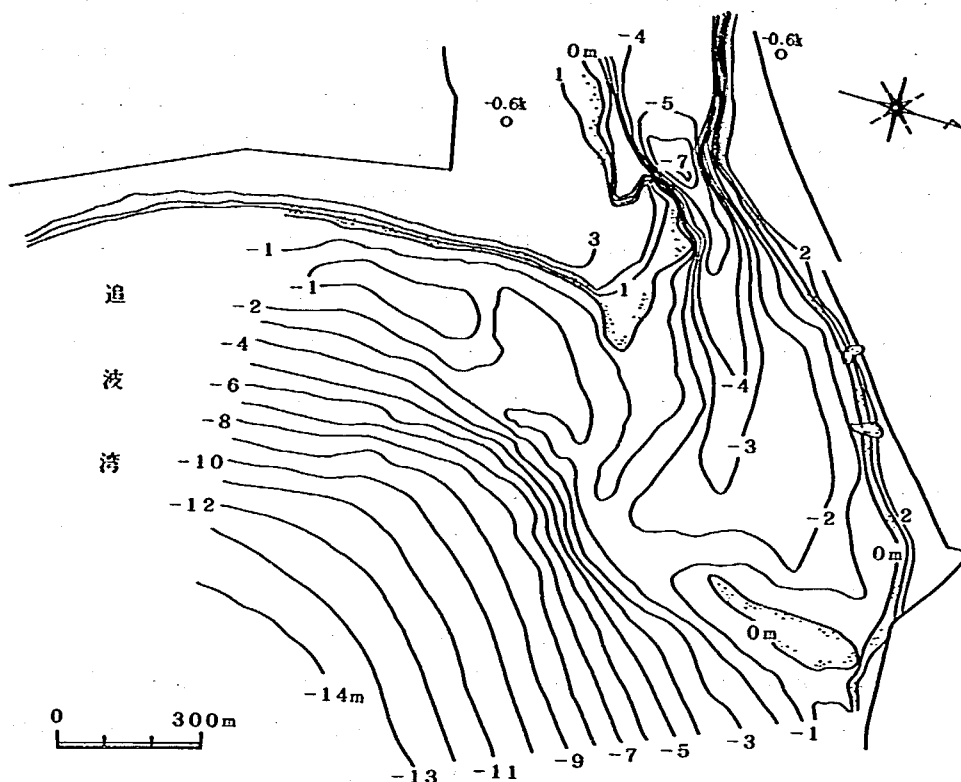


図-3.9 北上川河口部の深浅図 (1990年3月9日)

(3) 鳴瀬川

鳴瀬川は、流域面積1,130km²、流路延長89km、宮城県鳴瀬町において石巻湾に注ぐ一級河川で、河口部付近の計画高水流量は5,100m³/s (確率年1/100, 1988年3月策定)、河床勾配は約1/3,000、河床材料の平均粒径は約0.5mmで、平均年最大流量は約700m³/sである。

明治初期、政府は東北地方の開発のために阿武隈川、名取川、鳴瀬川、旧北上川の4大河を運河で結び、県内各地の河川流域の物資を各河口から運河を通り、鳴瀬川河口の野蒜に集める大開発計画を立案した。そして北上運河と東名運河は1882年(明治15年)、貞山運河は1889年(明治22年)にそれぞれ完成した。しかし、野蒜築港計画では導流堤が建設されたが、太平洋の荒波には勝てず築港工事は中止(1885年)された。また、1891年(明治24年)の東北本線の開通により水上交通は衰退し、貞山運河は現在小舟の停泊地等に利用されているのみである。

現在の河口は、写真-3.3および図-3.10の深浅図に示すように、築港計画時の右岸導流堤の増強および中導流堤によって河口を維持(幅約80m)するとともに、波浪侵入をうまく防止している。また、左岸側から張り出している河口砂州は、河道内への後退も見られずほぼ安定しており、左岸側の砂丘背後にある北上運河も維持されている。

鳴瀬川の流入する仙台湾北部では、全体として南西向きの沿岸漂砂が発達している(望月ほか, 1990)。写真-3.3において導流堤の左右岸の汀線はほぼ連続的に伸びているが、詳細に見ると中導流堤の右(東)側では白濁した碎波帯が導流堤先端付近まで伸びているのに対し、左(西)側ではそのような特徴は見られず、逆に右岸導流堤の左(西)側直近の汀線が局所的に凹状となっている。これらの点はこの時点で南西向きの沿岸漂砂が卓越していたことを示している。また、図-3.10に示す深浅図によれば、現況の導流堤は河口で縮流した上、沿岸漂砂の下手側へ向いて伸びていること、また

沖合にはいくつかの岩礁があってそこで波がやや静穏となっている場所で流出していることが注目される。また、図-3.10によると、左岸導流堤近傍の砂州フラッシュが生じやすい部分の砂州高は1 m ~ 2 mである。鳴瀬川の中導流堤と右岸導流堤は共に沿岸漂砂の卓越方向に対し下手側へと伸びているだけでなく、漂砂の上手側に位置する中導流堤の方が約140m長い。このため右岸導流堤の先端付近は卓越入射波に対してやや遮蔽された条件となっている。さらに、中導流堤が低水路河道に対し斜交するため、河川流は一度中導流堤の上流側端部に当たったあと、右岸導流堤に沿って海へと流入している。このため右岸導流堤に沿って最大10mの深掘れが生じていることがわかる。

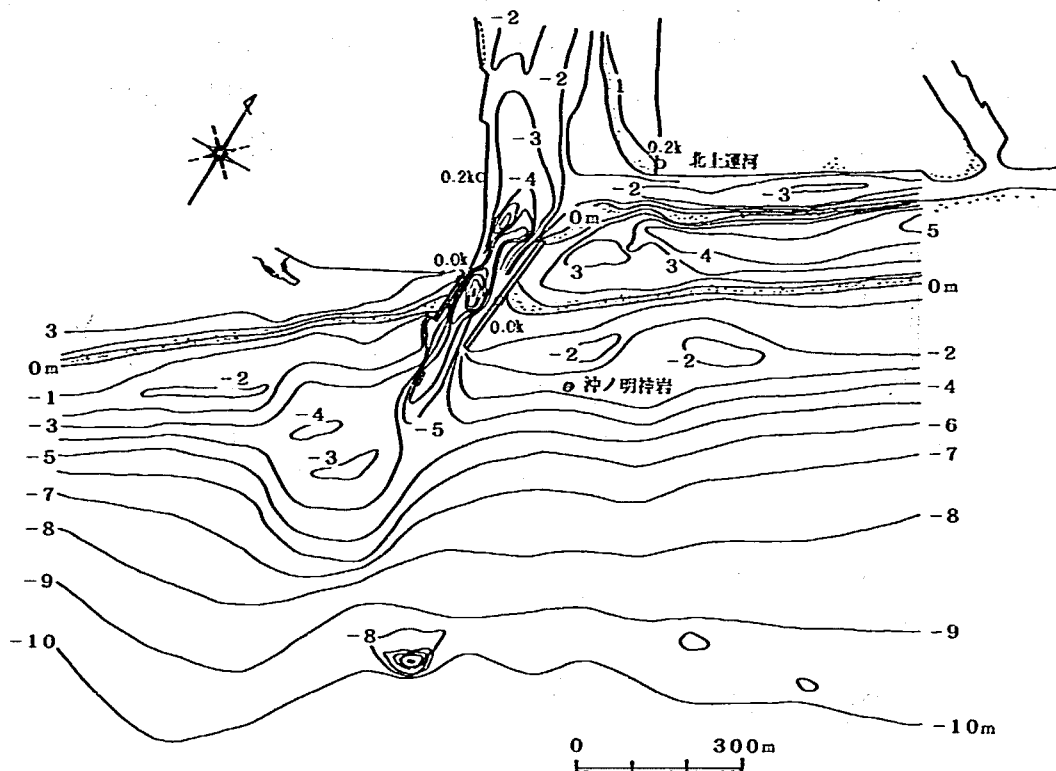


図-3.10 鳴瀬川河口部の深浅図 (1989年11月25日)

(4) 名取川

流域面積939km²、流路延長55kmの河川で、宮城県名取市において太平洋に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,200m³/s (確率年1/150, 1985年3月策定)、河床勾配は約1/2,200、河床材料の平均粒径は約0.5mmで、平均年最大流量は約800m³/sである。

空中写真と深浅図を写真-3.4と図-3.11に示す。河口の右岸側海浜(南側)では閉上漁港の新港が建設中である。現在では右岸導流堤と中導流堤(導流堤間幅約80m)があり、洪水時には中導流堤の左岸側の砂州はうまくフラッシュされる。中導流堤は河口位置の固定、河口水深の維持および砂州フラッシュの上で役立っている。閉上漁港の防波堤の建設に伴う北向きの沿岸漂砂の阻止(宇多ほか, 1990a)と河川からの流出土砂量の減少によって、左岸側の汀線は後退傾向にある。河口砂州の著しい後退は、貞山運河の閉塞を招くので十分な注意が必要である。また、漁港を河口と分離した場合、入退潮量の減少によって河口閉塞を助長し、かつ砂州の規模も増大する可能性が大きいことに注意が必要である。

写真-3.5には名取川の洪水時の空中写真を示す。洪水初期には洪水流は右岸導流堤と中導流堤間

を流出するが、流量が増大すると水位が上昇して、やがて中導流堤の左岸側の砂州を越流するようになり、砂州は一挙にフラッシュされる。ただし、図-3.11に示すように砂州高は中導流堤より左岸側で1 m～3 mと次第に高くなるため、小規模の洪水では砂州の全てがフラッシュされることはない。写真-3.5はこの状況に該当し、砂州高の低い中導流堤際だけがフラッシュされている。洪水時の流況を示す写真-3.5では、河口右岸側の現況閉上漁港との境界部や、左岸側の運河との境界部で流れが剥離し、それが大きく縮流して沖合へ流出していることが見てとれる。

図-3.11に示す深浅図によると、河口の左岸側では-4 mに非常に広い平坦面が広がっており、閉上漁港の南防波堤の南側での狭い等深線間隔とよい対照をなす。この海岸では北向きの沿岸漂砂が卓越しており、そこに防波堤や導流堤などの不透過構造物が伸びていることを考慮すると、導流堤の北側の-4 mの平坦面は侵食されてできた侵食平坦面と考えられる。また、右岸導流堤と中導流堤は海岸線と直角方向ではなく、約15°反時計回りの方向に傾いており、この方向はこの海岸で卓越する入射方向に対して反対側に傾いていることになる。

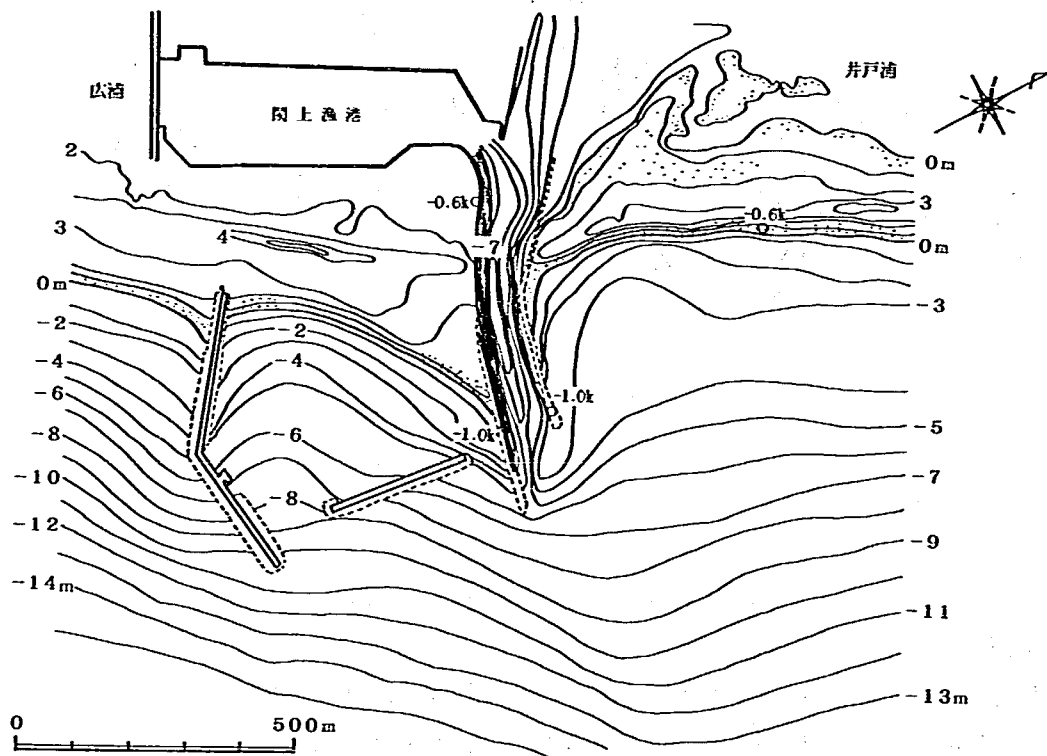


図-3.11 名取川河口部の深浅図 (1993年11月)

(5) 阿武隈川

流域面積5,400km²、流路延長239kmを有し、下流部河道の計画高水流量9,200m³/s (確率年1/150, 1988年3月策定) の大河川であり、宮城県亘理町において仙台湾に注いでいる。河口部付近の河床勾配は約1/3,000、河床材料の平均粒径は約0.6mm、平均年最大流量は約3,800m³/sである。

宇多ほか(1990a)が示したように、阿武隈川河口では河口南側に荒浜漁港の延長500mに及ぶ防波堤が建設され、北向きの沿岸漂砂が阻止されるとともに、阿武隈川自体の流出土砂量の減少に起因して河口部では汀線が後退傾向にある。海岸侵食は左岸側で顕著であり、河口より北約3kmの蒲崎海岸まではほぼ全面的に消波ブロックにより覆われている。河口部の空中写真を写真-3.6に示す。

阿武隈川河口では洪水時に主流部が河口左岸側に集中するため、局所洗掘が生じて堤防が破壊され

るという災害が生じた。この対策として河口左岸側に3基の水制が設置され、洗掘防止とともに河岸侵食の防止効果を発揮している。3基の水制間で砂が堆積して弓状の砂浜が形成されていることが明瞭に見てとれる。

写真-3.7は、洪水の流出状況を示す。河口砂州は河道中央部を若干残しほぼ全面でフラッシュされた。当河口砂州は写真-3.6からもわかるように河道中央部では植生の繁茂が著しく固結度がかなり増しているものと思われ、砂州がフラッシュされにくい状況となっている。洪水流は河口直上流よりほぼ直線状に沖へと流出する。このため、主流線は左岸側ごく近傍にあり、砂州崩壊後も右岸側より左岸側へ流れが集中する傾向にある。洪水流は流送土砂を伴いながら沖合に流出し、凸状の河口テラスを形成する。一般に河口テラスの浅海平坦面上では、強い沖向きの流れがあるために沖合からの入射波は大きく屈折する。このことから沖合には広い河口テラスが伸びていることが理解される。また、1992年4月上旬の深浅図(図-3.12)によると、深さ約3mの河口テラスを確認することができる。そして、その突出は-6m以浅で顕著である。阿武隈川河口では洪水による砂州の流出について過去にも多くの研究がなされてきている(例えば、谷口ほか, 1986; 野村ほか, 1986; 沢本ほか, 1987; 竹内ほか, 1989; 佐藤ほか, 1990; 岩渕・沢本, 1991; 真野ほか, 1993参照)。

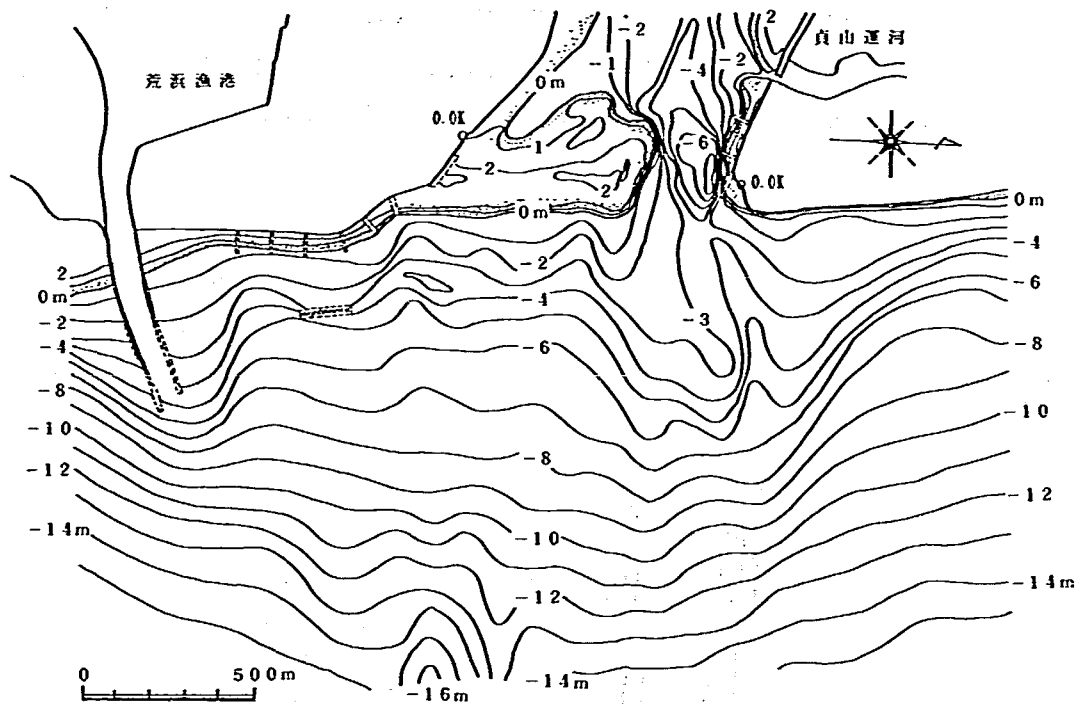


図-3.12 阿武隈川河口部の深浅図(1992年4月8日~10日)

(6) 岩木川

流域面積2,540km², 流路延長102kmを有し、青森県北津軽郡市浦村において日本海に注ぐ一級河川である。河口部が十三湖であり、河口の計画高水流量は3,900m³/s(確率年1/100, 1988年3月策定), 河床勾配は約1/12,000, 河床材料の平均粒径が約15mm(海浜部約1.0mm), 平均年最大流量は約600m³/sである。

かつては北西からの季節風により毎年閉塞に悩まされていたが、現在は写真-3.8の空中写真および図-3.13の深浅図に示すように、両岸に導流堤(導流堤の先端水深約4m, 河口幅約165m)が建設され、河口閉塞の問題は解消されている。しかし、河口部は依然として流下能力不足であり、水戸

口の拡幅検討が行われた。しかしながら現況の河口部は水理的に安定しており、導流堤長・間隔ともに妥当と判断される。左右岸の汀線は季節的に変動するものの、年間を通してほぼ安定している。河口部の地形変化については佐々木ほか（1990b）を参照されたい。

河口の十三大橋左岸側より河道中心へ向けて伸びる砂州は、導流堤間から侵入した波浪が左岸導流堤の付け根で回折し、この回折波の波峰線と砂州の汀線とがほぼ平行となるよう沿岸漂砂が発生して形成された。したがって左岸導流堤の上流側端部が削られ、その侵食土砂が堆積して砂嘴が形成されたものである。深浅図において、この付近の水深を調べると $-1\text{ m} \sim -2\text{ m}$ の間に平坦面があるが、これは侵入波浪が低い場合、高々この付近までが削り取られたことを意味している。このような砂嘴が伸びると河積を阻害するために、その対岸には著しい局所洗掘が生ずる。また、写真-3.8によると、砂嘴は左岸側よりその先端をやや下流方向へ向け伸びている。これは右岸導流堤およびその背後の砂州による波の遮蔽効果が大きいためと考えられる。砂嘴が先端をやや下流へ向けつつ伸びたことは砂嘴背後の水路の開口部を確保するとともに、漁港の航路への堆砂を阻止する上でも有効である。

河口部は、潮位変動が小さい日本海側に位置するものの、湖面積 20.6 km^2 を有する十三湖があり、入退潮時のフラッシュ効果は平水時においてもかなり大きいと考えられる。しかし、洪水時には上流からの洪水流に対して貯留効果が働き、流速が減衰するため、過大なフラッシュ効果は期待できない。

なお、空中写真に示す濁水の分布から、洪水流が河口部で大きく縮流され、その後緩やかに拡散していく状況が判読される。また、最狭断面で縮流が起きたあと、砂嘴の先端部で流れが剥離している状況も見えてとれる。

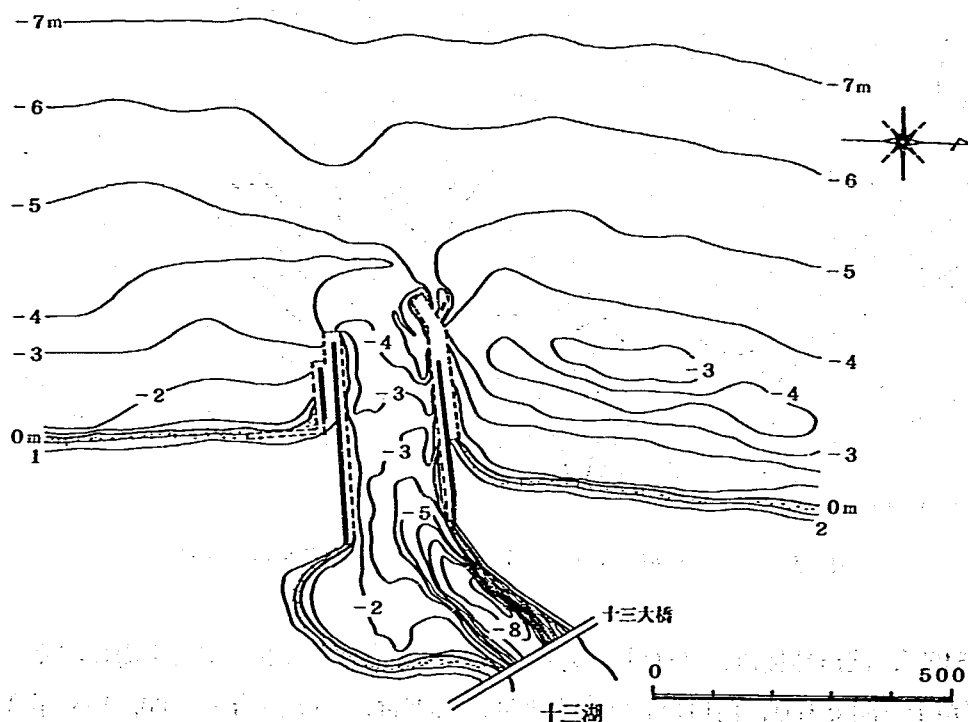


図-3.13 岩木川河口部の深浅図（1992年9月）

(7) 米代川

流域面積 $4,100\text{ km}^2$ 、流路延長 136 km を有し、秋田県能代市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は $8,200\text{ m}^3/\text{s}$ （確率年 $1/100$ 、1988年3月策定）、河床勾配は約 $1/2,900$ 、河床材料の平均粒径は約 3.2 mm 、平均年最大流量は約 $2,500\text{ m}^3/\text{s}$ である。

河口は、冬季風浪により両岸から砂州が伸長し、河口港として利用されていた能代港の航行に支障をきたしていた。現在では、写真-3.9に示すように、防波堤（導流堤）により河口と港は分離され、右岸砂州のみが南向きに伸長している。この河口砂州は、冬季風浪によって発達し、開口幅が約70m程度まで狭まるが、春季および夏季には融雪、台風等の出水によってフラッシュされ、120～180mまで拡大する。例えば洪水時の状況を写真-3.10に示す。開口部は流量の増加に伴い右岸側へと広げられる。また、流量の増加に伴う砂州の開口部の断面積の拡大が追いつかない場合は、砂州を越流して一挙にフラッシュされる。河口北（左）側の海浜は、海水浴場として利用されているが侵食が著しく、離岸堤により海浜の維持が図られている。

図-3.14に示す河口部の深浅図によると、河口沖-5m以浅の等深線は河口部で沖向きに突出しているが、-6m以深の等深線は海岸線とほぼ平行に延びている。したがって河口の存在により顕著な海底地形変化が見られるのは、ほぼ-5m以浅となる。

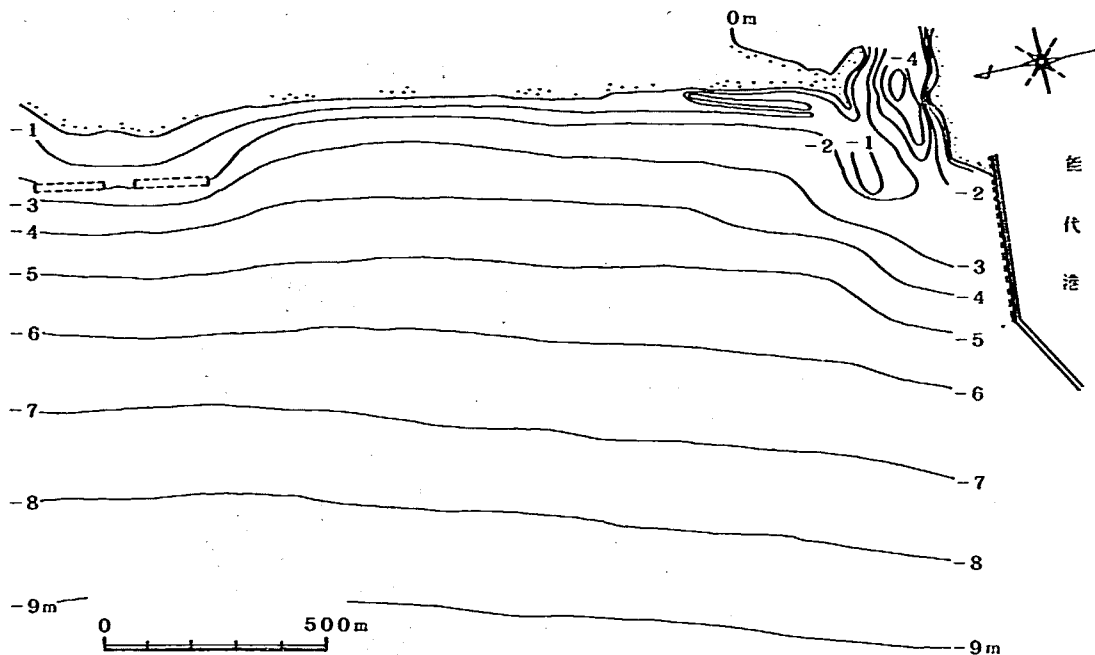


図-3.14 米代川河口部の深浅図（1992年8月3日）

（8）雄物川

流域面積4,710km²，流路延長133kmを有し，秋田県秋田市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は9,300m³/s（確率年1/150，1988年3月策定），河床勾配は約1/3,000，河床材料の平均粒径は約0.7mm，平均年最大流量は約1,900m³/sである。

雄物川では1919年（大正6年）～1938年（昭和13年）に，秋田市の南西側を流下していた河道を放水路によって日本海に直接流出させる新川開削工事が実施された。この放水路の完成により，秋田市中心部の洪水被害が減少し，秋田市の発展に大きく貢献している。

河口部の空中写真を写真-3.11に示す。河口砂州は両岸よりほぼ左右対称形に張り出している。河口では，冬季風浪の作用で両岸より砂州が張り出す（開口幅約180m）が，春季の融雪出水，夏季の洪水により開口幅約300mでフラッシュする状況を毎年繰り返す。写真-3.12は平水時における雄物川の河口状況である。写真-3.11は8月2日と夏季に撮影されたものであるのに対し，写真-3.12は

11月8日であって冬季風浪の作用を受け始めたと考えられる時期である。このため写真-3.11と比較して河口砂州が上流へ遡るとともに砂州が発達して開口幅が狭くなったことがわかる。この時、河口砂州の形状が河口中心に対しほぼ対称である点は、波が海岸線に対し直角方向から入射したことを表わしている。同様に写真-3.13は洪水時の砂州状況である。河口幅が広がり、また河口をとり巻くように半円形の碎波線が見られる。白濁域の水深は小さいことから、写真-3.13は河口沖に平坦なテラスが広がっていることを示している。

1980年6月18日の洪水 ($Q \approx 3,000 \text{ m}^3/\text{s}$) 後、約1カ月の1980年7月10日の深浅図が図-3.15である。洪水流は開口幅を広げながら河口中心線上で流出し、開口幅の4~5倍沖合で土砂の堆積している。また、その左右岸の洪水流の拡がり線上の範囲にも土砂の堆積が見られる。全体的に見ると上面の水深が3mの広い河口テラスが形成され、等深線の突出状況より判断するとほぼ-7mまで土砂が堆積している。しかも、等深線形状が河口の中心線に関してほぼ左右対称である点が特徴である。同様に1981年3月4日の深浅図を図-3.16に示す。冬季風浪により、開口部は左岸(南)側よりかなり狭められ、また前年の洪水直後に形成されていた広い河口テラスのうち、-6m以浅の部分はほぼ完全にその姿を止めなくなった。

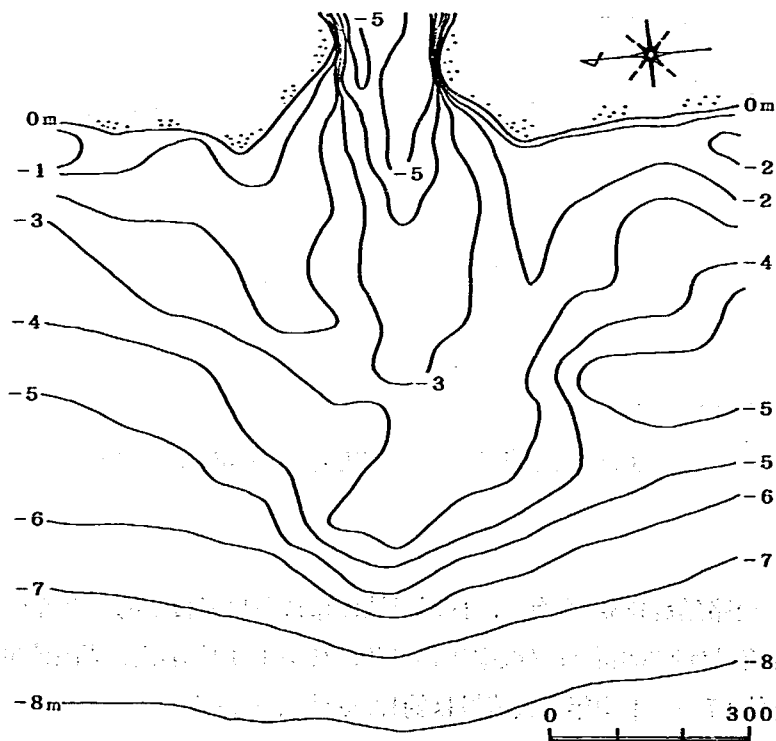


図-3.15 雄物川河口部の深浅図(洪水後:1980年7月10日)

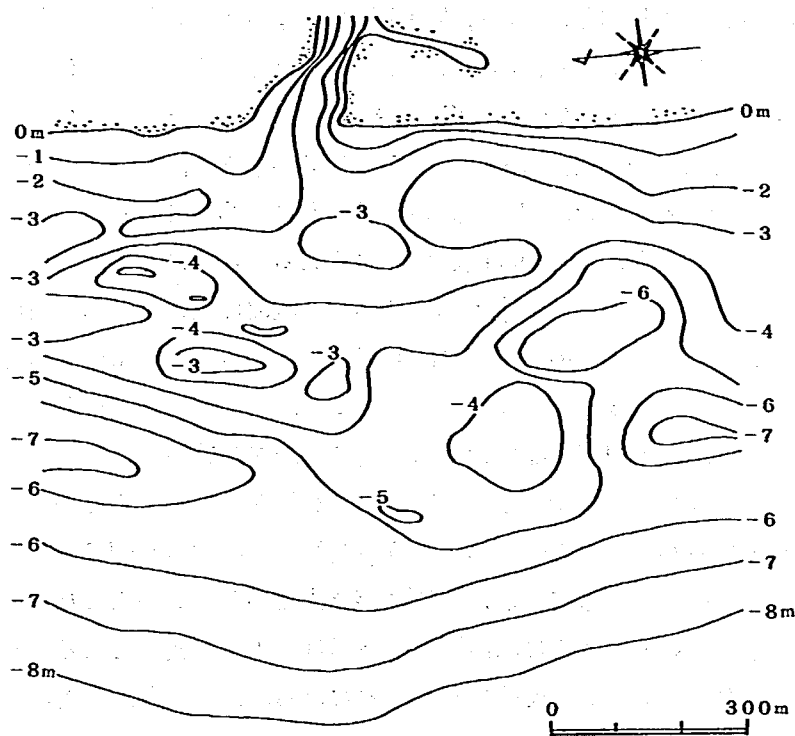


図-3.16 雄物川河口部の深浅図 (1981年3月4日)

(9) 子吉川

流域面積1,190km²、流路延長69kmを有し、秋田県本荘市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は3,000m³/s (確率年1/100, 1987年8月策定)、河床勾配は約1/1,000、河床材料の平均粒径は約1.5mm、平均年最大流量は約1,000m³/sである。

冬季風浪により砂州が伸長し、春～夏季にかけての融雪、台風等による出水により砂州をフラッシュするパターンを毎年繰り返していた。また、出水時には砂州の完全決壊には至らず、河道内水位の上昇に伴う浸水被害が懸念されていた。しかし、現在では写真-3.14に示すように、港湾整備として両岸に伸された導流堤により河口幅200mが維持されている。砂州は河口部より上流へ大きく遡った湾曲部に形成されており、写真に示すように河道幅の約1/2まで伸びている。

(10) 最上川

流域面積7,040km²、流路延長229kmを有し、山形県酒田市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は8,000m³/s (確率年1/150, 1988年3月策定)、河床勾配は約1/3,400、河口砂州部の河床材料の平均粒径は0.5～1.0mm、平均年最大流量は約3,500m³/sである。

河口北側に隣接する酒田港は、かつて最上川の河口港として利用されていたが、河口が我が国最大規模の庄内砂丘に位置するため砂州の伸長が著しかった。このため、大正末期から1933年 (昭和8年) にかけて河口位置の安定および航路維持を目的として右岸に防波堤 (導流堤) が施工され、港の分離工事が行われた。

河口部は、冬季風浪により閉塞、変動ともに著しかったが、右岸に酒田港の防波堤が建設されたあと、河口位置はかなり安定した。しかし、その後も左岸側からの砂州の伸長が著しかったため、左岸側にも導流堤が施工された。これにより左岸方向からの砂州の伸長は抑制されたものの、写真-3.15

に示すように砂州が河道内へ後退し、左岸導流堤末端の河岸侵食が顕著となった（西川ほか，1990）。現在では左岸に沿って護岸が設置され、河口の維持が図られている（写真-3.16参照）。

図-3.17に示す深浅図によると、左岸導流堤の先端より約800m上流に砂嘴が発達している。この砂嘴はもともとは左岸導流堤の上流側に隣接する河岸部分が削られ、その土砂が上流方向へ移動・堆積して形成されたものである。また、河口付近の河道は左に湾曲しており、右岸側に流れが集中するために、河岸に沿って-6mとかなりの局所洗掘が見られる。さらに左岸側の導流堤の施工によって河口維持が図られた反面、河道内への塩水の遡上の増大、波浪侵入による河口右岸側の河川護岸や河岸への影響が懸念される。河口沖合の等深線に関しては、-4m~-6mの等深線はほぼ沿岸方向に汀線と平行に伸びているが、-3m付近にはバー・トラフ地形が発達している。

宇多・山本（1994）は、最上川河口部付近では北向きの沿岸漂砂が卓越すると述べているが、図-3.17に示す等深線形状からも同様な特性を調べることができる。左岸導流堤の南側約500mには2基の離岸堤が設置されているが、それらの離岸堤のうち北側の離岸堤の北側では汀線が凹状となっているのに対し、左岸導流堤の南側直近では逆に凸状に突き出ている。このような汀線の形状は、北向きの沿岸漂砂の卓越を示している。さらに酒田港の防波堤は約1kmと長大であるからその付け根にある河口部は大きく遮蔽され、全体として反時計回り、すなわち河口へと向かう海浜流を引き起こすことになる。河口周辺でのこの流れの向きは、大局的に見た沿岸流の方向と同一である。以上の点より、宇多・山本（1994）でも指摘したように現況の最上川の河口では北上する沿岸漂砂と最上川自身の流出土砂が常時堆積する条件にある。それにもかかわらず河口部等深線の著しい突出が見られない点は、河川の流出量が減少していると同時に海岸では離岸堤が建設されているため河口部まで到達しうる沿岸漂砂が減少していることを示している。

なお、最上川河口部の河口処理については土木研究所で模型実験が行われている（須賀ほか，1974）。

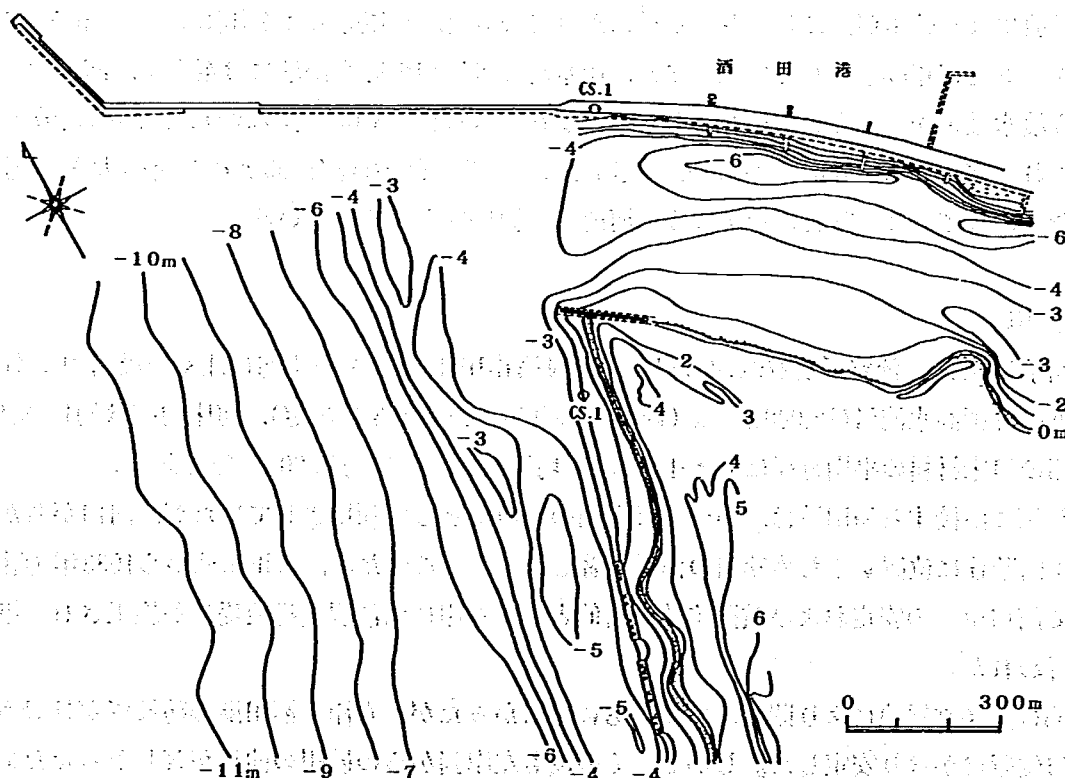


図-3.17 最上川河口部の深浅図（1992年11月14日～15日）

3. 3 北陸地方の河川

ここで取り上げる河川は、図-3.1に示したように北から順に荒川、阿賀野川、関川、黒部川、神通川、手取川および九頭竜川の7河川である。これらのうち、黒部川、神通川および手取川は急流の扇状地河川である。また、いずれの河川も冬季風浪の強い作用を受けることで特徴付けられる。

(11) 荒川

流域面積1,150km²、流路延長73kmを有し、新潟県荒川町において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,500m³/s（確率年1/100、1968年策定）、河床勾配は約1/600、河床材の平均粒径は約3.2mm、平均年最大流量は約800m³/sである。

河口は、冬季風浪により閉塞し、春～夏季にかけて融雪等の出水によりフラッシュするパターンを毎年繰り返す。砂州は兩岸より張り出し、開口部も左右に変動していたが、1979年（昭和54年）末に左岸堤防が施工され、さらに1983年（昭和58年）には乙大日川の兩岸に導流堤が施工された。それらのうち右岸導流堤は、本川にとっても導流堤の役目を果たし、開口部は左岸側に固定され、現在では写真-3.17に示す河口形状となっている。一方、乙大日川（旧左支川）は、流量規模が小さいことから、河道掘削を行ってもただちに完全閉塞される状況にあり、抜本的な改良策が求められている。1992年10月18日と1993年5月17日の海岸状況を写真-3.17、18と比較すると、まず写真-3.17では波浪により砂州が上流方向へ曲げられるとともに乙大日川の河口が閉塞状態にあることがわかる。これに対し写真-3.18は融雪出水後の状況であるために河口砂州の先端はフラッシュされて本川の開口幅が大きく広がっている。また、両者ともに、砂州の中央部には植生がみられ、洪水時に砂州がフラッシュされにくい状態にあることがわかる。

荒川本川の波や流れによる河口部の地形変化状況は、宇多ほか（1990b）に詳しく述べられている。図-3.18に示す深浅図では、-4m以深の等深線は沿岸方向にほぼ平行に単調に伸びているが、荒川河口部の前面には小規模なテラス地形が見られる。また砂州基部の右岸側には堀川が流入している。この小河川の下流部は漁船の船だまりとしても利用されている。このような例は他の多くの河川でも共通して見られるところである。小さな漁船やボートは砂州によって日本海の荒波に対して守られているのである。したがって海岸侵食などに起因して砂州の後退が起これば、堀川の河口が閉塞されて内水排除が問題となると同時に、舟運上も問題を生じることになる。この海岸では全体として南向きの沿岸漂砂が発達しており（宇多ほか、1990b）、また北側海岸からの漂砂供給は北側に岩船港の防波堤があって断たれているために、河口部の汀線は海岸側より見る限り後退傾向にある。冬季の開口幅は40～50mまで狭まる。平均砂州高はT.P.+2.0m程度である。

図-3.18の深浅図からは次の2点より沿岸漂砂の卓越方向が南西向きであることを明瞭に判読することができる。第1は、河口の右岸端にある突堤および離岸堤の背後には前浜があるのに対し、河口砂州の汀線は約80mも陸側へずれており、しかもその前面には局所的に-3mに達する深みが形成されている点である。第2点は、荒川河口前面でのテラスの発達に対し、乙大日川導流堤の南側直近では-2m～-1mの等深線が岸側へ入り込んでいる点である。以上の両者とも漂砂移動を阻止する構造物を境に左右で地形特性が変わり、北側で堆積、南側で侵食傾向であること、すなわち沿岸漂砂の卓越方向が南向きであることを示している。さらに宇多・野口（1991）によれば、この付近の海岸で

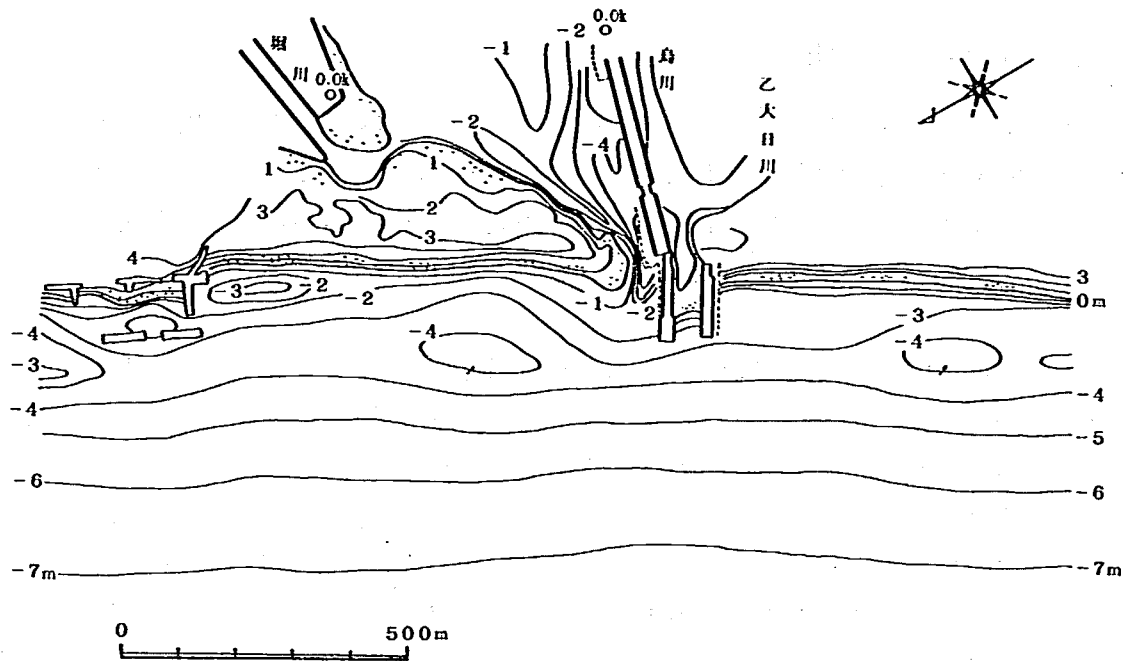


図-3.18 荒川河口部の深浅図 (1989年2月8日)

の漂砂の活発な範囲の沖側限界を定める水深 (地形変化の限界水深) は約7mにあるが、このことを考慮して乙大目川の導流堤の形状を見ると、導流堤の先端水深はほぼ2.5mと十分浅いから、この導流堤では沿岸漂砂の大部分がその先端を回り込んで南側へと流出していることがわかる。

(12) 阿賀野川

流域面積7,710km²、流路延長210kmを有し、新潟平野を貫流し、新潟県新潟市において日本海に注ぐ一級河川である。水源に我が国第三位の湖面積を有する猪苗代湖をはじめとして多くの湖沼群があり、河川水量が豊富で河口部付近の計画高水流量は13,000m³/sである (確率年1/150, 1985年策定)。なお、河口部付近の河床勾配は約1/6,400、河床材料の平均粒径は約0.6mm、平均年最大流量は約3,700m³/sである。

かつて左岸側にあった砂州の開口部は、1965年 (昭和40年) 頃を境に上流部のみお筋の変動に伴い河道中央へと移動し、写真-3.19に示すような現在の形状に至っている。河口砂州は、基本的には冬季風浪により伸長し (河口幅約100m)、春～夏季の融雪出水および洪水によりフラッシュするパターンを繰り返す (夏季の平水時の開口幅約150m) が、近年出水規模が小さいことや流出土砂量の減少と河道部の河床低下に伴って、砂州が河道内へと後退する傾向にある。

大洪水時には、沖合に多量の土砂が流出し、舌状の河口テラス地形が形成される。しかし、日本海特有の冬季の激浪により徐々に侵食され、やがて従来の海岸線と平行な地形に戻される。1978年6月には、戦後最大規模に相当する洪水 ($Q=7,870\text{m}^3/\text{s}$) が発生した。そのため、海底地形は著しく沖合に突出したが、約8年後には元の形状に戻った。図-3.19によれば、砂州の最狭断面の最大水深は約8mであるが、最狭断面より600m沖では2～3mまで浅くなっている。また図-3.19の深浅図によると、河口の開口部は兩岸より伸びた河口砂州のほぼ中央部に位置していること、また最狭窄部より海側の汀線は滑らかではなく、兩岸とも冲向きに凹状に伸びたあと、角状の突出部をもって両側の

汀線と連なっていることが特徴として指摘できる。しかも角状の突出部では汀線のみが突出しているのではなく、浅海域の-1, -2 mの等深線もまた凸状になっていることが興味深い。河川流の作用がない条件で波浪が作用すれば、こうした角状の突出部はただちに滑らかなものとなることを考えれば、この角状地形の形成には河川流と波の作用とが深く関与していると考えられる。

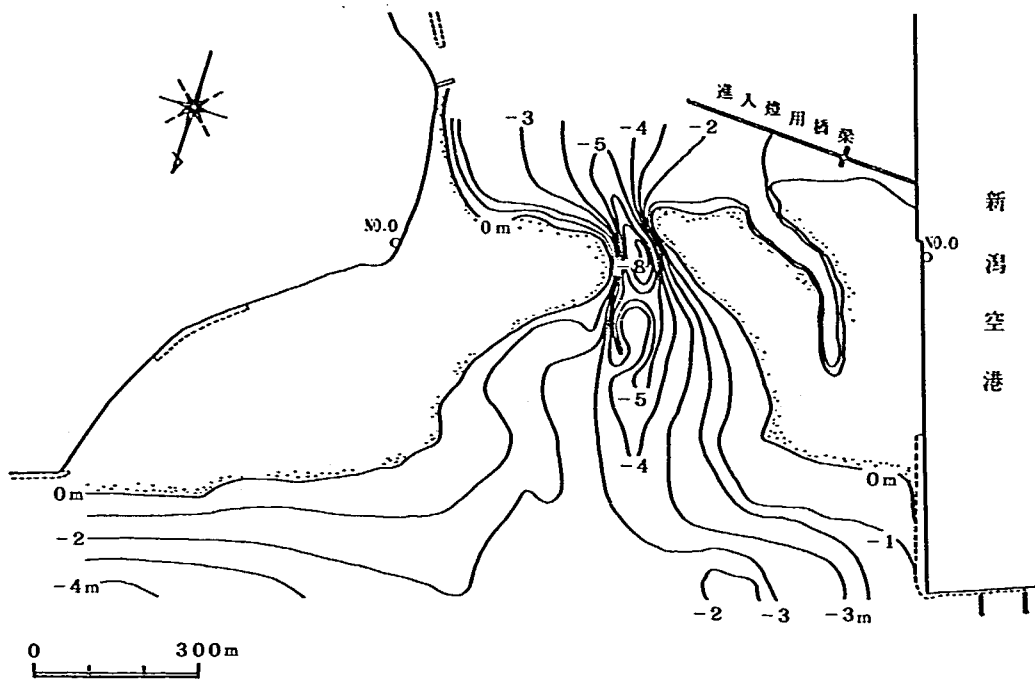


図-3.19 阿賀野川河口部の深浅図(1993年3月21日)

(13) 関川

流域面積1,140km²、流路延長64kmを有し、新潟県上越市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は4,600m³/s(確率年1/100, 1987年策定)、河床勾配は約1/2,000、河床材料の平均粒径は約1.0mm、平均年最大流量は約800m³/sである。

この河口では、冬季風浪により左岸から砂州が伸長し河口閉塞が著しかったが、左岸側には導流堤が、右岸側には直江津港の防波堤が建設された。これらの施設により河口は維持され、現在では写真-3.20および図-3.20に示す河口形状を呈している。当河川は、1982年9月洪水(台風18号)による被害が甚大であったため、激特事業が採択され、1982年より5カ年で河川改修事業が実施された。これにより河道の拡幅、掘削が行われたため、現在は河口部への流出土砂が激減していると思われる。河口幅は以前の約150m(平均河床高約T.P.-2.0m)から240m(計画河床高T.P.-4.5m)に拡幅された。河口部では旧河道の一部が波浪侵入の防止のため残されている。この部分も将来的には除去され、代りに開口部付きの導流堤が建設される予定となっている。写真-3.20, 3.21はともに1992年8月25日に撮影されたものであるが、右支川の保倉川からの濁水が本川へ流入し、あまり混合せずに海域へ拡散する状況が明瞭に見られる。

図-3.20の深浅図によると、河口前面では-9m付近まで等深線が大きく突出している。河口の両側は防波堤や離岸堤などの構造物により囲まれていることから、このような突出地形は関川の流下土砂が堆積して形成されたものと考えられる。図-3.21には関川下流部と保倉川の合流点付近の深浅図を示す。本川がやや左に湾曲しているために下流部の右岸側に沿って深みが形成されている。

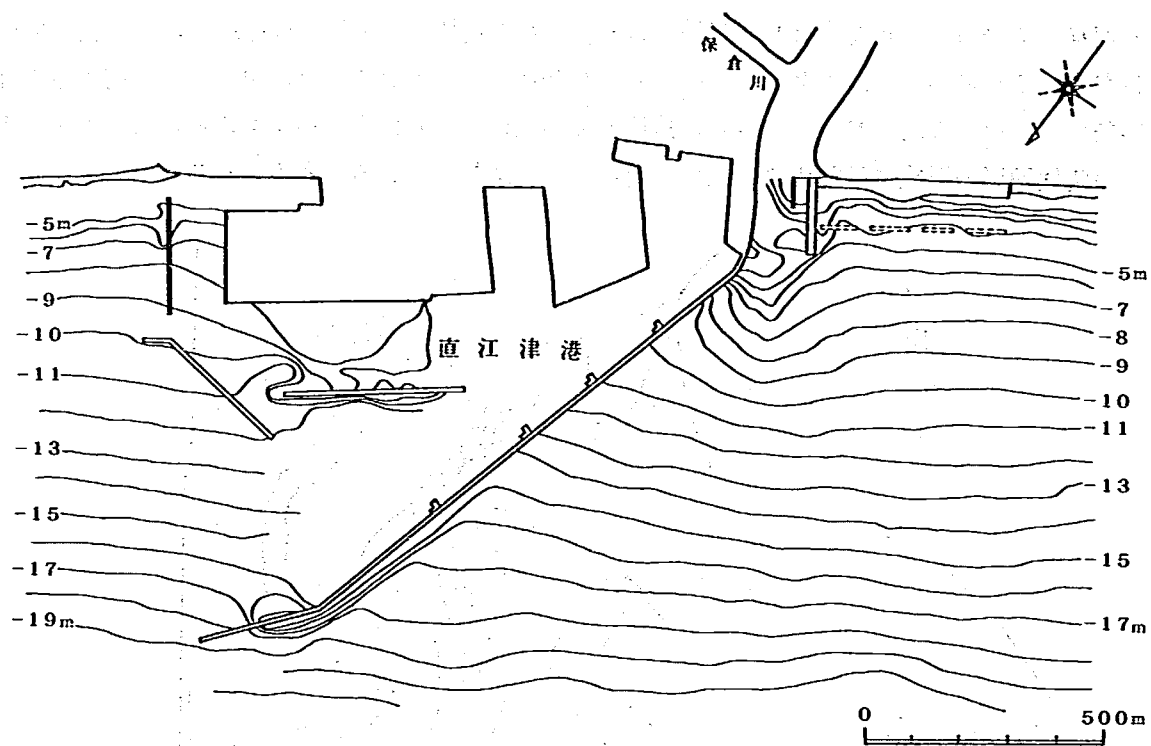


図-3.20 関川河口部の深浅図 (1992年)

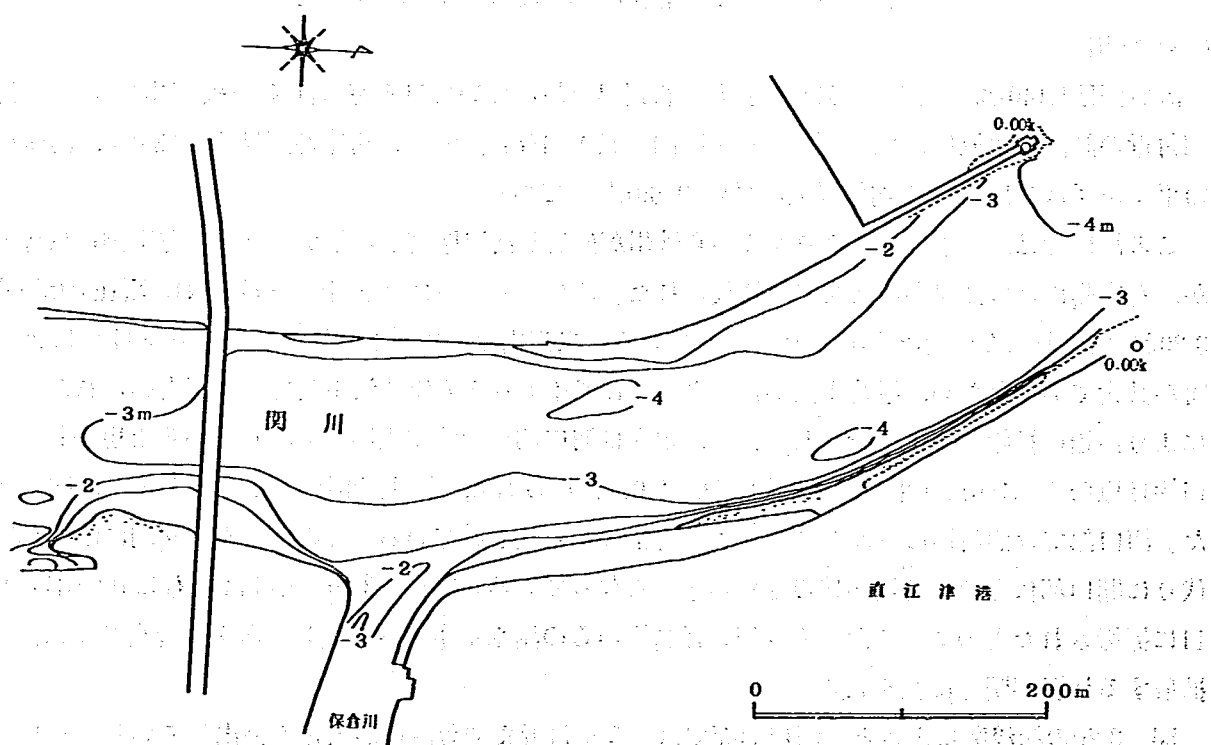


図-3.21 関川、保倉川合流点付近の深浅図 (1991年3月)

(14) 黒部川

流域面積682km²、流路延長85kmを有し、富山県黒部市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,200m³/s（確率年1/100, 1975年策定）、河床勾配は約1/200、河口砂州部の河床材料の平均粒径は2.5~40mm、平均年最大流量は約1,400m³/sである。

黒部川は愛本地先を扇頂とした代表的な扇状地河川であり、また我が国屈指の急流河川であって、河口砂州が治水上影響を及ぼすことはない。1992年現在の河口形状は、写真-3.22に示すとおりである。空中写真の右端は下新川海岸の生地鼻地先である。黒部川からの流出土砂や河口に隣接する入善漁港を越えて東側より運ばれる沿岸漂砂の大半は、生地鼻の先端部より深海へ流出する。写真-3.22によると、黒部川の河口汀線はその北東（左）側に位置する入善漁港に対しフック状に湾入している。また同様に河口左岸の荒俣地先の突出部の南西（右）側でも汀線がフック状に湾入している。これらの点は、この海岸では南西（右）向きの沿岸漂砂が卓越することを明らかに示している。図-3.22に示すように黒部川の流入する下新川海岸は海底勾配が非常に急であり、黒部川の流下土砂の一部は河口より直接深海へと流出する。この状況は洪水前後での深淺測量や底質粒径調査などにより明らかにされている（宇多・小俣, 1989；粕谷ほか, 1993）。また、河口部の海底勾配は非常に急なため、河口テラスの発達は見られない。当流域は多雨多雪であるために融雪出水は夏季まで続く。河道内では砂利採取等により河床低下が進行し、高水敷の形成により複断面化している箇所が所々見受けられる。

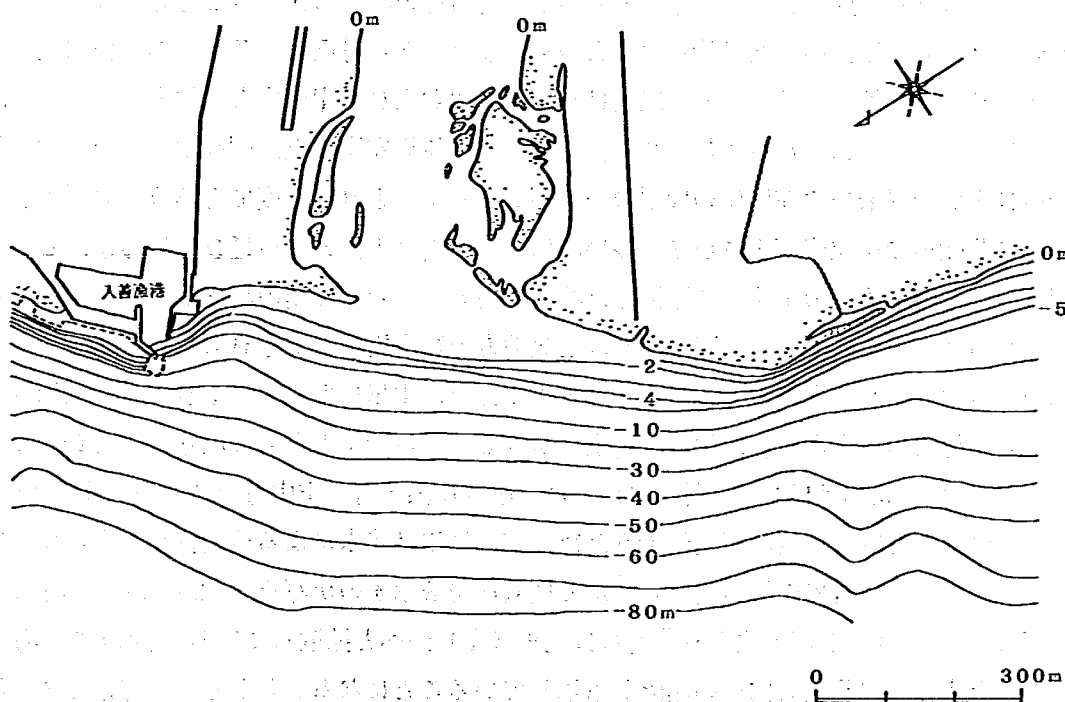


図-3.22 黒部川河口部の深淺図（1982年7月）

(15) 神通川

流域面積2,720km²、流路延長120kmを有し、富山県富山市において日本海（富山湾）に注ぐ一級河川である。下流部では常願寺川とともに複合扇状地を成し、富山平野を形成している。河口部付近の計画高水流量は7,700m³/s（確率年1/150, 1979年4月策定）、河床勾配は約1/1,800、河床材料の平均粒径は約0.5mm、平均年最大流量は約2,600m³/sである。

河口東（左）側に位置する富山港は、かつて河口港として利用されていたが、1937年（昭和12年）に建設された右岸導流堤（防波堤）により分離され、写真-3.23に示す形状となった。右岸導流堤によって右岸からの砂州の伸長はなくなり、左岸側に小規模な砂州が形成されるのみである。開口幅は約270mでほぼ固定されており、平均河床高はT.P.約-1.4mである。左岸側は沖合約300m付近まで浅瀬であるが、そこより沖合では深海域になっている。

(16) 手取川

流域面積809km²、流路延長72kmを有し、石川県美川町において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は5,000m³/s（確率年1/100、1967年策定）、河床勾配は約1/700、河口砂州部付近の河床材料の平均粒径は約5～6mm、平均年最大流量は約1,000m³/sである。

流域の上流部は、急峻な地形のため山地崩壊が著しく、かつては多量の土砂流出があった。しかし、近年においては砂利採取、砂防工事の進捗および本川上流の手取川ダムの完成（1980年）等により土砂流出量が減少し、河口砂州の河道内への後退が生じている。またこの海岸では全体として南西（右）向きの沿岸漂砂が卓越しているが、写真-3.24に示すように河口の右岸側に導流堤が伸びており、そこで沿岸漂砂が阻止されていることもまた河口砂州の上流への移動の原因の一つとなっている。河口の右岸側のつけ根にあるのは美川漁港であり、この航路維持のため図-3.23の深浅図に示すように河道の一部（右岸寄り）が掘削されて深くなっている。河口沖の海底形状の特徴としては、河口の沖合の一部を除けば-6m以深の勾配は約1/130と緩く、また-3m付近には冬季風浪の作用後であるためにバー・トラフの発達が顕著である。以前は右岸導流堤および左岸の中導流堤も短かったが、航路維持のために現在のようにかなり延長された。なお、中導流堤左岸の上流側高水敷は公園化されてしまい、今後は中導流堤沿いの左岸側の砂州の一部がフラッシュされる程度であろうと判断される。また、左岸側の北陸道の橋梁直下よりかなり長い河口砂州が斜め上流方向へ延びているが、これは導流堤間を遡り、左岸導流堤の上流端で回折した波の入射方向に対し砂州の汀線が直角となって安定するよう変形しつつあるものである。同じ状況は東北地方の岩木川河口でも見られた。

下流部河道は激しく乱流するほどではなく、大きく見れば中州を形成し、それに伴って川幅変化を繰り返す二列蛇行河川と言える。中州には植生が繁茂し、河口砂州とともに洪水流下を著しく阻害している。写真-3.25、3.26は1993年7月14日における中規模洪水時の空中写真である。砂州直上流にあるボートの係留施設位置で流れが剥離するため、河口砂州は流水による侵食作用を受けにくい状況にある。また、この時沖合での河川起源の濁水の拡散状況を示すのが写真-3.26である。河口の南西（右）側にきれいなフロントが形成され、濁水は北東（左）側へと拡散している。沖合での海水流動から見ると、全体として北東方向への潮流が卓越していることになる。しかし、汀線近くでの沿岸漂砂の卓越方向は、図-3.23の汀線形状において北東側の汀線が南東側より突出していることから、南西向きが卓越すると考えられる。このように手取川の流入する石川海岸では汀線近くと沖合とで沿岸流の向きが逆転する特性がある。

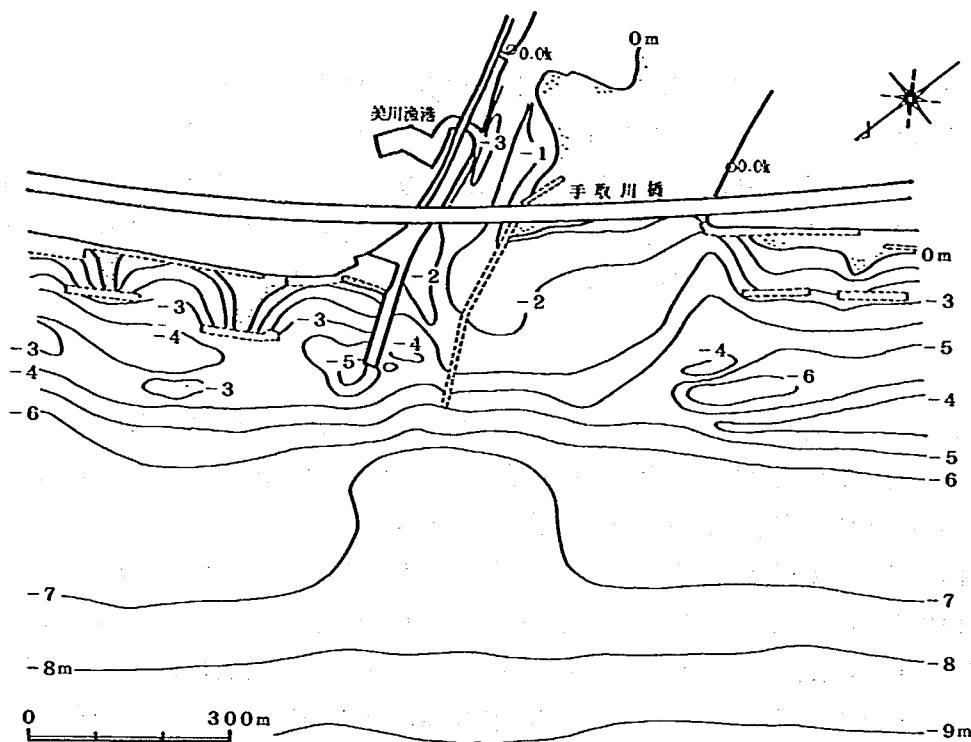


図-3.23 手取川河口部の深浅図 (1993年3月5日~10日)

3. 4 関東地方の河川

関東地方の河川としては久慈川、那珂川、利根川、相模川および富士川の5河川を取り上げる。これらのうち富士川は急流の扇状地河川であるが、他の4河川は河口部付近の勾配はかなり緩やかである。

(17) 久慈川

流域面積1,490km²、流路延長124kmを有し、茨城県日立市と那珂郡東海村の境界において太平洋に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,000m³/s (確率年1/100, 1974年策定)、河床勾配は約1/1,800、河床材料の平均粒径は0.5~0.8mm、平均年最大流量は約1,100m³/sである。

久慈川河口の右岸は大規模な砂丘海岸となっており、河口部には砂州が発達し、かつ海岸付近の砂丘に押えられ流路が北へ直角に偏流し、現在の河口位置より約2km北側で開口していた。このため洪水時には河道内水位が上昇し、沿岸低地ではしばしば浸水被害を受けてきた。この被害に対処するため土木研究所で河口処理に関する模型実験 (富永・鶴木, 1968; 富永ほか, 1971) が行われたあと、1969年 (昭和44年) から1975年 (昭和50年) にかけて旧河口より約1.5km上流から河口付替工事が実施され、写真-3.27に示す現在の河口形状となった。現河口北方の旧川は、締切られ日立港の埠頭が建設されている。河口付替に伴う導流堤と防波堤の建設によって、河口閉塞は防止されたが、侵入波浪が減衰する河道内の久慈大橋下流左岸側付近には砂州が形成されている (写真-3.28参照)。また河口右岸側の汀線は導流堤に近接するほど前浜幅が広がっている。このことは、導流堤自体による波の遮蔽効果ではなく、左岸側にある日立港の防波堤による波の遮蔽効果によって汀線が前進したこ

とを表わしている。

また、写真-3.29に示す垂直写真によると、くの字型の防波堤兼用の左岸導流堤の付け根付近に一部碎波に伴う白濁域が見られ、開口部付近に浅瀬が発達していることが分かる。河口形状は沖に向け絞られているために、洪水時には縮流状態となってかなり速い流速が生じるため、この浅瀬はフラッシュされると考えられる。1986年8月5日に撮影された洪水時の流況写真を示す写真-3.30によると、洪水流は導流堤間で縮流され、時計回りに回転しつつ流出していることから上述した点が確められる。

(18) 那珂川

流域面積3,270km²、流路延長150kmを有し、茨城県那珂湊市と大洗町の境界において太平洋に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,700m³/s（確率年1/100, 1993年策定）、河床勾配は約1/3,300、河床材料の平均粒径は約0.2mm、平均年最大流量は約1,900m³/sである。

河口部は河口港として利用が盛んであったが、漁船の大型化に伴う航路水深の維持が困難となり、1971年（昭和46年）に河口北側に外港が建設され、那珂川と那珂湊漁港は導流堤（防波堤）により分断され、写真-3.31および図-3.24に示す現在の河口形状となった。写真に見られるように航路維持のために設置されたカギ型の中導流堤は、航路維持自体の役目は終えているが、現在でも波浪侵入防止の上では役立っている。河道内の侵入波浪は、カギ型の中導流堤が存在するために左岸導流堤沿いに集中し、その後反射、回折により海門橋下流の右岸側に向かって減衰する。河口部には低地が広がっており、堤防高も高くないことから、洪水疎通の障害となるカギ型の中導流堤の撤去は、侵入波浪に対する堤防の安全度を下げてしまうことになる。また上述の波の侵入状況に合わせて右岸側で砂州の発達が著しい。これに対し、洪水時は導流堤先端で流路幅が約100mに急縮されているため、流量規模が大きい場合には河積が不足し、河道内水位は著しく上昇する。写真-3.32には1986年8月5日の

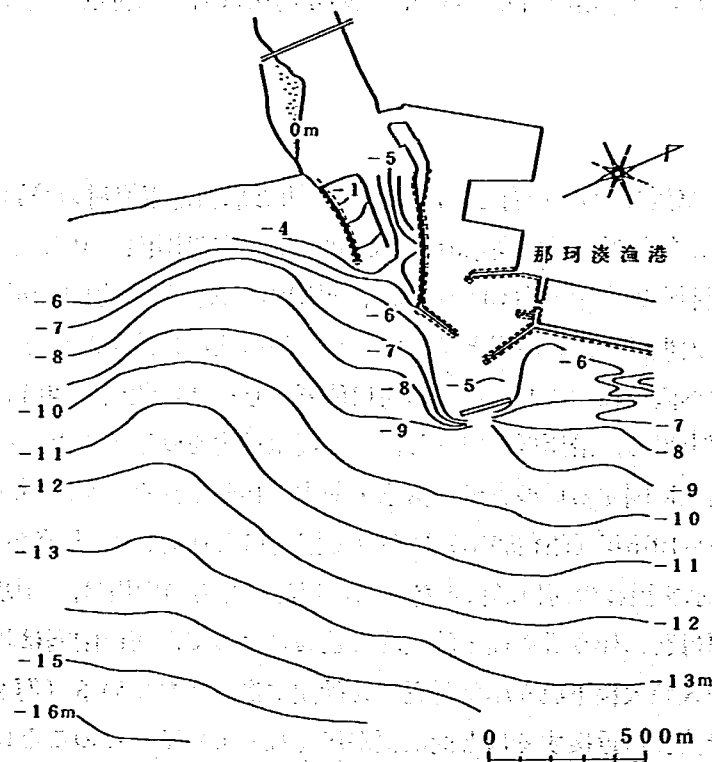


図-3.24 那珂川河口部の深浅図（1990年3月）

洪水時の状況を示す。洪水流の海域への広がり小さく、ほぼ直線状に噴流状態で流出している。狭窄部では掃流力が増大し、河床低下も著しいものと思われる。洪水流は、左岸導流堤末端部より那珂湊漁港へも流入している。ここには1991年に水門が設置され、現在は漁港内への土砂流入は防がれている。洪水時の河積確保のためには、カギ型の中導流堤の撤去が考えられるが、当地区での卓越波向が東南東であり、波浪侵入に伴う河川構造物や河岸への影響が懸念される。また、洪水疎通を図るための河積確保とその維持は、今後の懸案事項とされている（宇多ほか、1993）。

(19) 利根川

流域面積16,840km²、流路延長322kmを有し、茨城県波崎町と千葉県銚子市の境界において太平洋に注ぐ河川で、流域面積は我が国最大、幹川流路延長は日本第二位を誇る。河口部付近の計画高水流量は8,000m³/s（確率年1/200、1980年12月策定）、河床勾配は約1/10,000、河床材料の平均粒径は約4.2mm（砂州部0.3mm）、平均年最大流量は約3,100m³/sである。

河口部は、左岸側からの砂州の伸長が著しく、右岸が岩礁であることによりみお筋が右岸側に固定されていた。砂州の伸長は、洪水の疎通、航路維持等において障害となるため、左岸に導流堤が施工され、河口幅を絞った現在の形となった。しかしながら、河口部では流速が速く、また三角波が発生するため、船舶航行上の最大の難所となっており、このため右岸沖の防波堤とともに、銚子港と河道を分離した航路が建設された。さらにその後左岸側の波崎側に河口と分離した漁港が相ついで建設され、写真-3.33～3.35および図-3.25に示すような状況で現在に至っている。以上のように漁港施設として構築された導流堤、防波堤により、河口砂州の形成は抑制され、河口は幅・水深ともに維持されている。

河口部は河床勾配が緩く、かつ大河川であるがゆえ潮位変動の影響が著しく、感潮区間は河口より

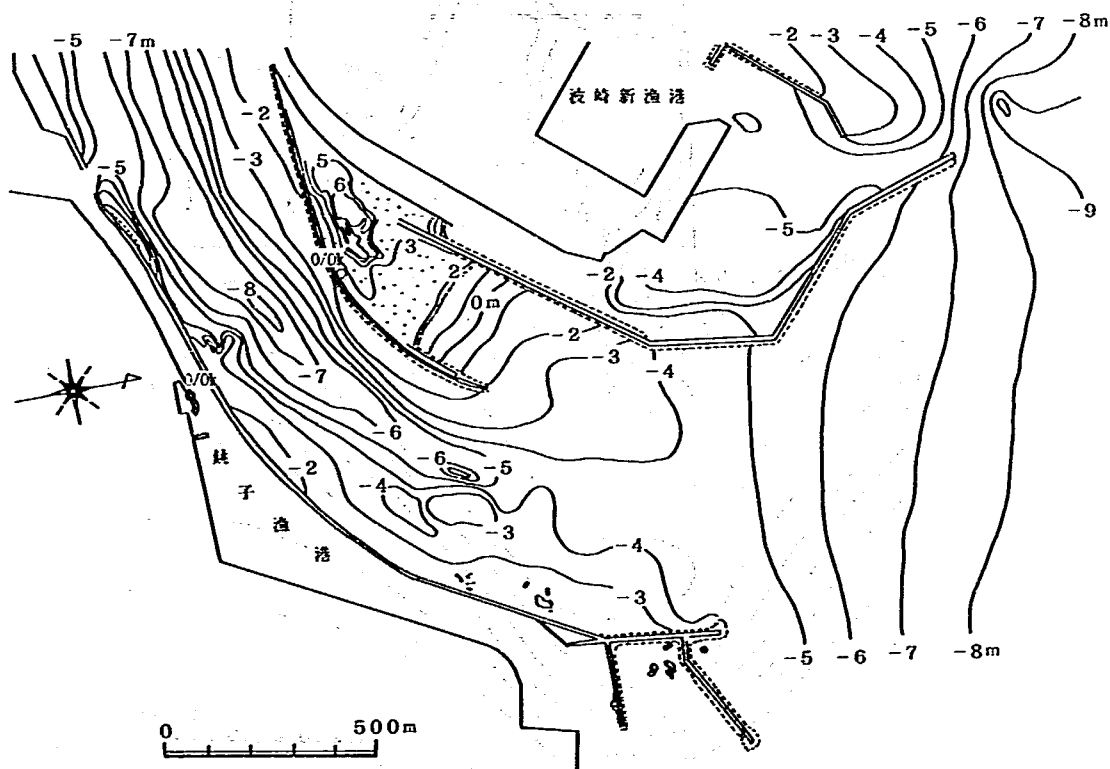


図-3.25 利根川河口部の深浅図（1993年3月）

70kmにまで及ぶ。そのため入退潮流量が大きく、河口堰建設以前の資料ではあるが、河川の固有流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ に対し河口部での入退潮流量が約 $1,500\text{m}^3/\text{s}$ にも及ぶと言われている（陣内ほか、1964）。また当地区は上流部（3.0～12.0km）の川幅約1kmに対し、下流部（0.0km）では約400mと著しい急縮形状を呈している。そのため河口部では縮流状態となり、入退潮流量によって平水時においてもかなりの流速が生じている。また、河口部直上流の河床材料は細砂およびシルトであるのに対し、この河口狭窄部付近では分級作用により10mm以上の砂利が存在する（須賀・浜谷、1971）。

写真-3.34、3.35によると、利根川河口に隣接する波崎新漁港の南側側面には利根川の流下土砂が堆積して浅くなっていることが、白濁した碎波帯の分布より見てとれる。図-3.25の深浅図によるとこの部分の水深は2～3mと非常に浅い。従来、利根川の流下土砂は北西へと流れ、鹿島灘へと流入していたが、新波崎漁港の建設後、沿岸漂砂の移動が防波堤により阻止されている。

(20) 相模川

流域面積 $1,680\text{km}^2$ 、流路延長 109km を有し、神奈川県平塚市において相模湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は $7,800\text{m}^3/\text{s}$ （確率年 $1/150$ 、1974年4月策定）、河床勾配は約 $1/2,000$ 、河床材料の平均粒径は約 0.6mm 、平均年最大流量は約 $800\text{m}^3/\text{s}$ である。

河口部では、写真-3.36および図-3.26に示すように、砂州が東（左岸）側から西側に向かって延び、河口が閉塞された状態となっている。河口の右岸側には平塚漁港があり、航路維持のための中導流堤によって約90mの流路幅が維持されている。しかし、この中導流堤の基部は透過性であって、その部分を漂砂が通過して河道内方向へ砂州が伸長して航路をふさぐため、浚渫も行われている。特に近年は、浚渫により掘削された部分に砂州材料が落ち込み、砂州の規模が縮小し、かつ河口部付近の

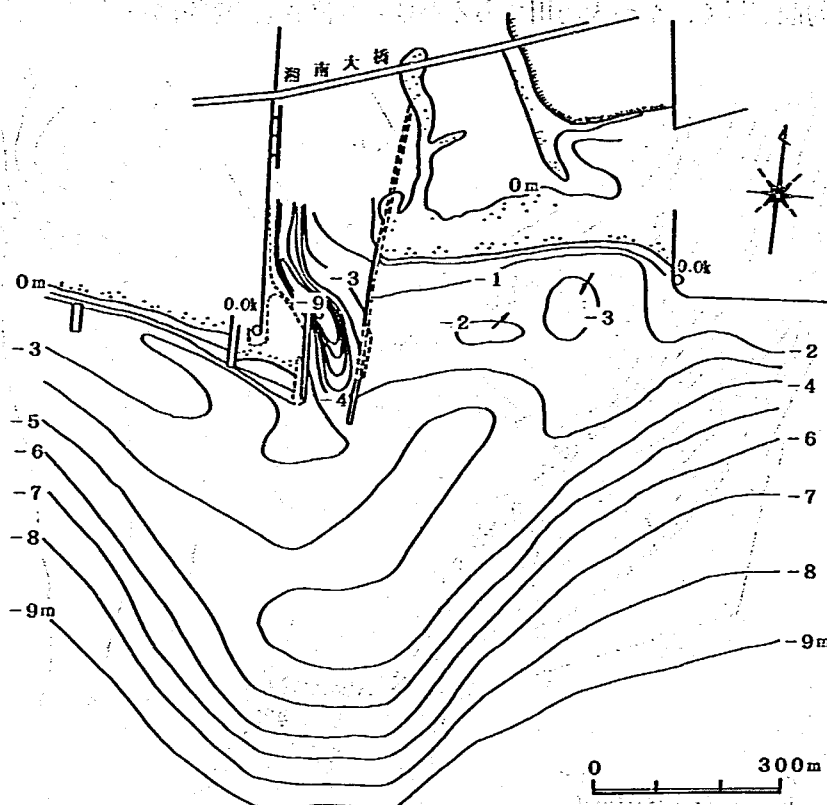


図-3.26 相模川河口部の深浅図（1991年8月9日）

汀線が後退するとともに河口砂州が河道内に入り込む傾向となっている。砂州高は、T.P.+2～3 m程度で左岸側から中導流堤に向かうにつれなだかな勾配で低くなっている。

砂州高が高くなると、洪水時の河道内水位を上昇させ、浸水被害をもたらすため、出水期前に砂州のフラッシュを容易にするための掘削が中導流堤に沿う区域で行われている。また、河口砂州の後退により、湘南大橋の下流左岸側に形成されている干潟と、そこに生息する生態系の保全の問題が懸念される。

一方、洪水時には、流量の増加に伴う砂州開口部の断面積の拡大が追いつかないため、河道内水位は急激に上昇する。このとき、砂州高の低い中導流堤沿いから越流が始まり、越流水深が20～50cm程度になると砂州はある幅で一挙にフラッシュされる。この状況は山本ほか(1992)による移動床模型実験によって確認されている。写真-3.37に洪水時の砂州のフラッシュ状況を示す。砂州上流部のピーク水位は、流量ピーク以前の砂州越流直後に生じ、流量ピーク時には砂州フラッシュが進行してしまうため、水位はむしろ低下する。フラッシュされた土砂は、図-3.27に示すように、河口沖に堆積して凸状のテラスを形成する。洪水後、河口前面に堆積した土砂は波浪の作用により侵食され、河口両岸側に運搬される。この土砂の一部は左岸側の砂州部に供給され、その後、中導流堤に向かう沿岸漂砂により再び河口は閉塞される(藤井ほか, 1988; 宇多, 1989)。

なお、河口右岸側の海岸には、第8次漁港整備計画の一貫として、平塚漁港の外洋分港建設と右岸導流堤の延長が計画され、順次工事が進められている。

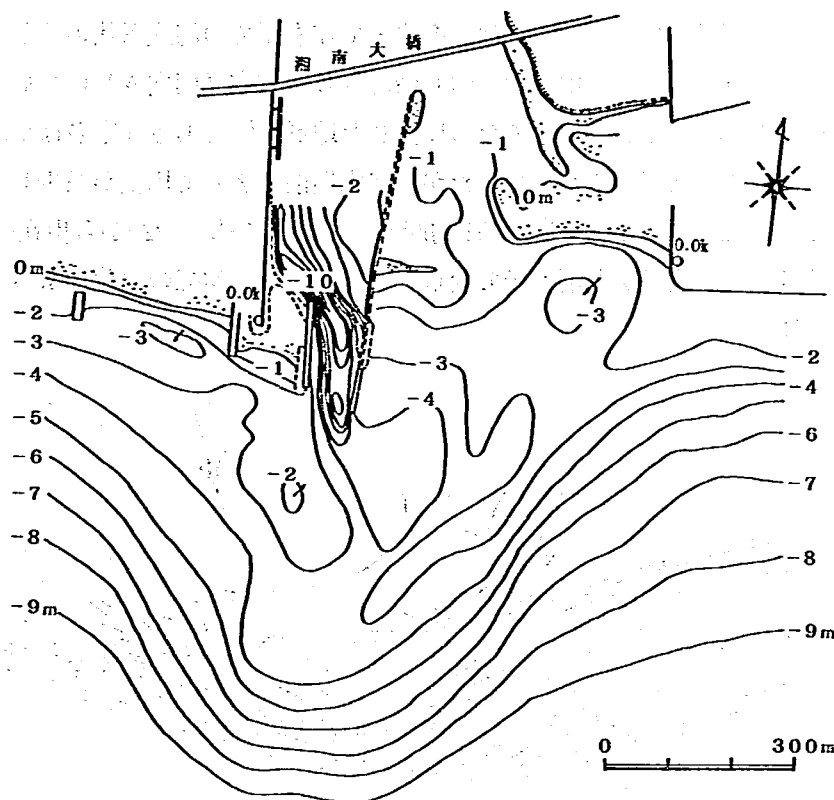


図-3.27 相模川河口部の深浅図(洪水後:1991年8月26日)

(21) 富士川

流域面積3,990km²、流路延長128kmを有し、静岡県富士市において駿河湾に注ぐ一級河川である。直

轄区間の平均河床勾配は約 $1/240$ と非常に急で、日本三大急流河川に数えられている。河口部付近の計画高水流量は $16,600\text{ m}^3/\text{s}$ (確率年 $1/150$, 1974年4月策定), 河床勾配は約 $1/350$, 河床材料の平均粒径は約 50 mm , 平均年最大流量は約 $2,700\text{ m}^3/\text{s}$ である。

河口部では、渇水期に流量が極端に減少するため、両岸より河口砂州が張り出し、洪水期には出水毎にフラッシュされて流路が維持される。毎年、同一傾向を繰り返す。急流河川であるがゆえ砂州フラッシュ効果が高く、また砂州による水位せき上げの影響も上流にまで及ばないことから、治水上の問題はない。近年砂防工事の進捗と砂利採取の影響により流出土砂量が減少し、河口部周辺は侵食傾向となっている (宇多ほか, 1991a)。また、河口西方の蒲原海岸では、放水路や消波堤等が建設され、これらの構造物により東向きの沿岸漂砂が阻止されて、さらに侵食傾向を助長している。特にこの傾向が著しいのは、河口砂州の右岸側で、高水敷を侵食するにまで至り、これに対処すべく消波堤が施工されている。現在の河口状況は、写真-3.38, 図-3.28に示すとおりである。写真によると、河口右岸側の砂州に沿って3基の消波堤が設置されているが、それらの法線を連ねる線はそれより西 (左) 側より後退している。このことは、この河口部では明らかに東向きの沿岸漂砂が卓越していることを示している。また、図-3.28より明らかなように、富士川河口前面の -10 m 以深は $1/3\sim 1/4$ と非常に急勾配で深海へと落ち込んでいる。図-3.28に示す深浅図により河口沖の等深線の形状を調べると、河口西側では $-10\text{ m}\sim -4\text{ m}$ の等深線の間隔がやや広く、汀線付近の勾配より緩く、全体として鉛直上方に凹な断面となっている。これに対し、河口東側沖では -4 m 以深の等深線が沖向きに大きく突出し、全体に凸形の断面形となっている。河口を挟んで左右岸での海底形状の著しい非対称性は、この河口への卓越波の入射方向が河口中心線に対し時計回りの方向 (南向き) に傾いており、したがって全体として東向きの沿岸漂砂が発達するために生じた地形特性である (宇多ほか, 1991a)。

以前は下流に向かって流路幅が広がっていたが、河床掘削によって川幅が減少し、現在の河口幅は約 800 m である。また、 $0\sim 1.5\text{ km}$ 間付近の河床勾配も、掘削前の約 $1/220$ から現在の約 $1/350$ に変化している。河床材料および流量が掘削前後で変わらないとすると、勾配の変化によって川幅が狭くても維持し得ることになる。

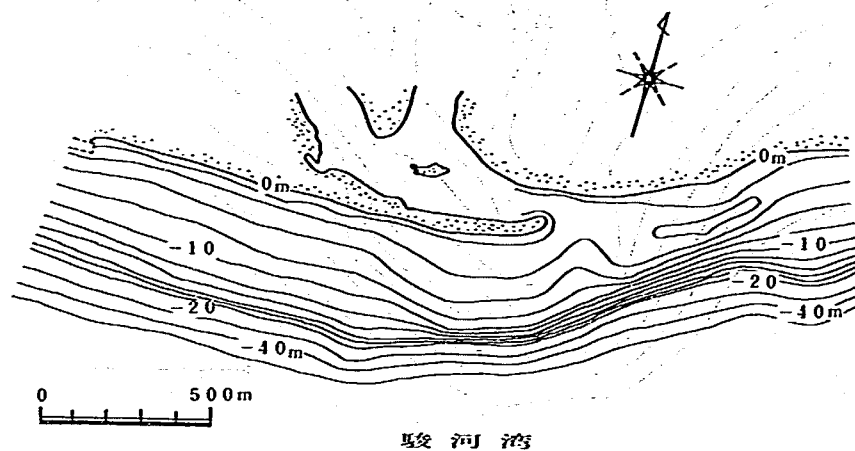


図-3.28 富士川河口部の深浅図 (1989年2月)

3. 5 中部地方の河川

中部地方の河川としては、安倍川、大井川、天竜川および鈴鹿川の4河川を選ぶ。北陸地方の河川と同様、扇状地河川がそのまま海へ流入する場合はほとんどを占める。また、安倍川や大井川は急峻な駿河湾に流入しているため、太平洋の高波浪の作用を受ける。これに比較して鈴鹿川は比較的遠浅な伊勢湾に流入するため作用波浪は高くない。

(22) 安倍川

流域面積567km²、流路延長51kmを有し、静岡県静岡市において駿河湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は5,500m³/sである（確率年1/80、1963年策定）、河床勾配は約1/400、河床材料の平均粒径は約40mm、平均年最大流量は約1,700m³/sである。

当河川は、険しく刻まれた山地（大谷崩等）から急勾配で流下するため、おびただしい量の土砂が流出し、静岡市街地を抱える下流域では河況が不安定となって、度々洪水被害を受けてきた。しかし、1968年（昭和43年）まで河口部を中心として広範囲で多量の砂利採取が行われ、これにより河川流出土砂量が減少した結果、河口の北東側に位置する静岡・清水海岸では著しい侵食に見まわれた。しかし、1983年～1993年の静岡海岸の海浜土砂量変化の計算によれば、近年は年間10万m³の砂礫が河口に隣接する海岸に供給されている（宇多ほか、1994a）。下流部の河床には、8～10列に及ぶ多列砂州が形成されており、数年に一度生じる洪水により移動する。当河川の河口砂州の開口部は、この砂州移動に伴うみお筋位置の変化が支配的である。現在の河口状況は、写真-3.39および図-3.29に示すとおりである。汀線付近の海底勾配が約1/10と急なため、河口テラスの発達はよくない。現況の安倍川河口部の深浅図（図-3.29）によると、開口部は左岸側の河道法線の延長上より東側に位置している。そして河口砂州は右岸側より細長くほぼ直線状に伸びている。河口の右岸側には離岸堤や海岸護

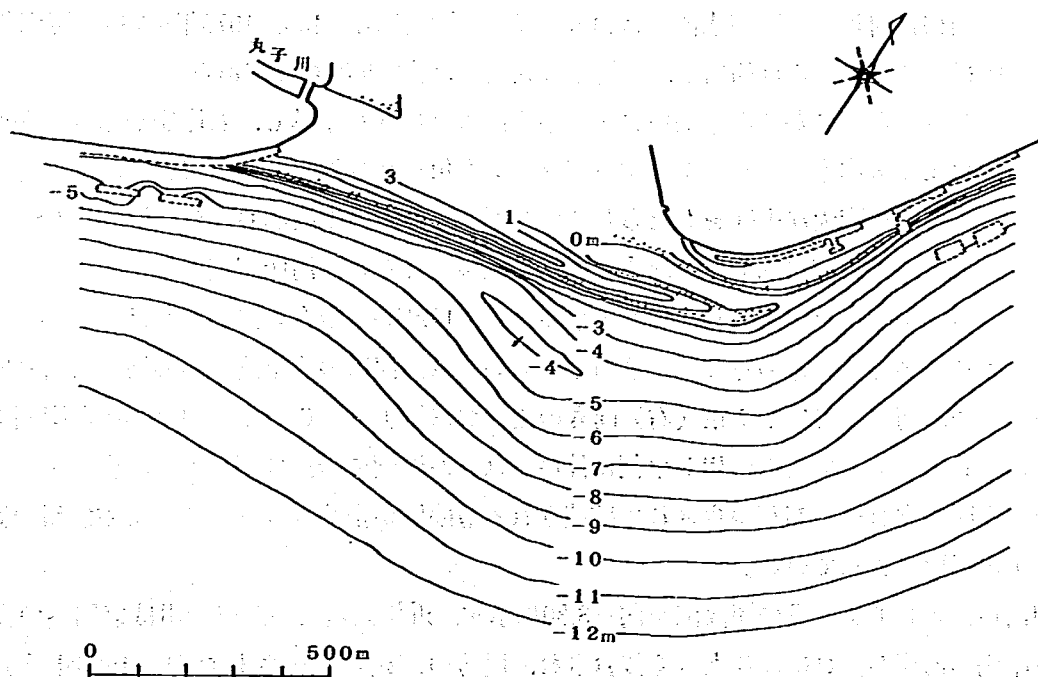


図-3.29 安倍川河口部の深浅図（1992年9月）

岸があってここを横切る土砂移動はほぼ0となっている。したがって河口中心より右岸側の直線状の汀線は卓越波に対して直角となつてほぼ静的安定状態にあると考えられる。このことより平均汀線への法線を引き、その方向角を求めると、卓越波の入射方向はS14°Eと推定される。また、河口中心の沖合に-4mの等深線で囲まれたやや平坦な場所があるが、これは1987年～1989年の洪水時に形成された河口テラスの一部が残されたものである。

(23) 大井川

流域面積1,280km²、流路延長168kmを有し、静岡県大井川町と吉田町の境界において駿河湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は9,500m³/s（確率年1/100、1974年策定）、河床勾配は約1/300、河床材料の平均粒径は約25mm、平均年最大流量は約1,900m³/sである。

大井川は、流路延長に対し流域面積の小さい典型的な羽毛状の河川であり、河床勾配も急であるため洪水時の流勢は強く、以前は流出土砂量が非常に多かった。しかし、昭和30年代には発電用のダムが建設され、また河道内では砂利採取も行われたことにより、河口部への流出土砂量は減少している。川幅は10km付近より下流に向かって徐々に広がり、河口では約800mとなっている。また、典型的な網状河川であり、砂州の列数は8～14列の多列砂州となっている。河口北東に位置する駿河海岸では、大井川の流出土砂量の減少と河口北東に隣接して昭和40年代に建設された大井川港の防波堤により北上する沿岸漂砂が阻止されたため侵食傾向にある（村田ほか、1991）。現在の河口状況は、写真-3.40に示すとおりである。この時点では細長い河口砂州が左岸側より伸び、開口部は右岸堤防のごく近傍に位置している。また河口砂州は左岸付け根で非常に幅が狭く、西側ほど広がっていることが特徴である。

(24) 天竜川

流域面積5,090km²、流路延長213kmを有し、静岡県浜松市と竜洋町の境界において遠州灘に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は14,000m³/s（確率年1/150、1973年策定）、河床勾配は約1/870、河床材料の平均粒径は約14mm、平均年最大流量は約6,200m³/sである。

河口部は、冬季の西寄りからの季節風による沿岸漂砂と飛砂が卓越し、右岸側から砂州が伸長し、夏季に台風等による大出水でフラッシュするパターンを毎年繰り返す。かつては上流部伊那谷の山地崩壊が著しく、下流へ膨大な土砂をもたらしていたが、その後の中流部および支川のダム建設により、流出土砂量が減少した。河口部では、流出土砂量の減少とともに、河床掘削とも相まって河口周辺の汀線後退が顕著である（宇多・坂野、1989；宇多ほか、1991b）。現在の河口状況は、写真-3.41～3.43に示すとおりである。一連の写真に示す時期においては、河口の直上流でみお筋が反時計回りに湾曲しているため、河口部ではやや東（右）向きの流れが卓越する。このため開口部は左岸側に位置し易いと考えられる。そして河口砂州が東側に伸びるほど左岸側の砂浜は削られ、場合によっては河川堤防と海岸堤防の巻き込み部が侵食されて破壊される危険性が指摘される。このため砂州の異常な伸長を防ぐ策が必要とされている。

天竜川河口部の1993年9月の深淺図を図-3.30に示す。近年天竜川の河口砂州は東側への発達が著しく、左岸側の河岸が流れにより大きく侵食され、堤防の基礎が洗掘されたが、1993年6月30日の $Q_{max}=2,868\text{m}^3/\text{s}$ の洪水により砂州はフラッシュされた（宇多ほか、1994b）。したがって図-3.30

はフラッシュ後の河口状況を表わしている。左岸堤防の直前に位置する開口部より、河川流が斜めに流出する条件となっており、開口部の東側沖に広い河口テラスの発達が見られる。河口テラスの水深はほぼ2 mであり、それを取り囲む-2 m~-5 mの等深線はバー・トラフの発達のために複雑な形状を有するが、-6 m以深は沿岸方向になだらかな形状を呈している。

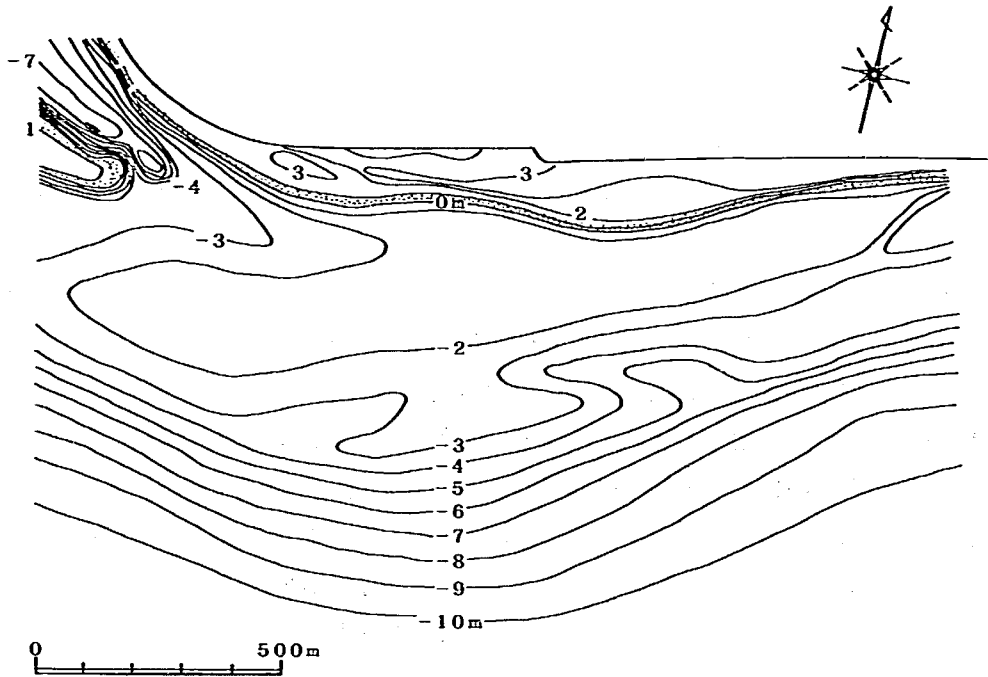


図-3.30 天竜川河口部の深浅図 (1993年9月)

(25) 鈴鹿川

流域面積323km²、流路延長38kmを有し、本川は三重県四日市市、派川は楠町において伊勢湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は3,900m³/s (確率年1/150, 1971年策定)、河床勾配は約1/750、河床材料の平均粒径は約3.6mm、平均年最大流量は約800m³/sである。鈴鹿川は本川の河口上流約4 kmにおいて2分され、北側が本川、南側が派川である。それぞれの計画高水流量は2,700m³/s, 1,200m³/sである。

当河川は、平常時の河川流量が少ないにもかかわらず、農業用水はもとより近隣の四日市臨海工業地帯の工業用水の需要も高く、流水への依存が非常に高い地域である。このため水不足は慢性化しており、新たな水資源確保が急務となっている。かつて本川河口部は、北上する沿岸漂砂により右岸側から砂州が伸長していた。しかし、その後、河口の南側において磯津漁港の防波堤が建設されるとともに、河口右岸側に写真-3.44~3.46に示すように導流堤が伸されたため、砂州の伸長は抑制された。また、左岸側は四日市港まで埋立工事が行われて護岸が施工されたために、現在の河口部はほぼ維持されている。河川流量が少なく、また河床勾配も大きいため、河道内に形成された複列砂州が洪水時には変動する。河口砂州は、河道内の両岸に形成されているが規模は小さい。

写真-3.44~3.46に明らかなように、右岸導流堤の南(左)側には三角形の前浜が広がっている。そしてその南側は突堤群と護岸によって固められており、漂砂の供給はほぼ絶たれている。このことは三角形の砂浜が現況で安定していることを示す。この場合、三角形の前浜の汀線に立てた法線

の方向はこの河口での卓越波の入射方向に等しい。このような卓越入射波を考えたとき、鈴鹿川本川は入射波に対し下手側に湾曲しつつ海へ流入していることになる。

写真-3.45によると、河道内にほぼ対称的な2つの砂州が形成されている。それらのうち左岸側の砂州上には縞模様が見られ、その状況は波によって砂が砂州の汀線に沿って上流へ運ばれ砂嘴が形成されたことを示している。一方、1990年9月の洪水時の流況を示す写真-3.46では、両岸の砂州とも先端部が削られ、下流側に堆積している。これらの状況は写真-3.45の特徴とちょうど逆であって、波と流れの作用を理解する上で興味深い。さらに写真-3.46によると河口沖には半円形状の河口テラスが形成されていることもわかる。

派川も本川と同様平常時の河川流量が少なく、左岸側から河口砂州が張り出し、時には完全閉塞に近い状態になる(写真-3.47, 3.48参照)。写真-3.47は1982年10月、写真-3.48は1986年11月の撮影であるが、1982年では右岸の堤防側からも砂州が伸びていたが、1986年ではこの砂州は消失している。写真左側に位置する楠漁港の防波堤の南(左)側には砂浜が広がっている。その形状から判断して河口部での入射波の卓越方向はこの砂浜の汀線に直角方向と考えられる。この方向からの波の入射では楠漁港の北防波堤(導流堤兼用)の北側隣接部では波が遮蔽され、その付け根ほど波が静穏となる。このことは左岸側からの河口砂州の発達を助長し、開口幅を狭める方向に作用することに注意が必要である。また、右岸側にある防波堤の法線が上流河道に対し斜めに突き出ており、洪水流下を阻害する傾向にあることも注意されるべきであろう。写真-3.49は1988年8月16日の洪水時の流況を示すが、河口砂州の一部がフラッシュされたものの、導流堤兼用の防波堤により大きく縮流されていることがわかる。また、左岸側の植生に覆われた河岸は流れに対しかなりの抵抗となるため、砂州は先端部のみがフラッシュされたこともわかる。洪水時には、河道の左岸側が高水敷化しているため、その延長線上付近までしか砂州はフラッシュされない。派川河口北側の海浜は、右岸側の楠漁港の防波堤により北上する沿岸漂砂が阻止されたことにより、侵食傾向が著しい。河口部の海浜変形の詳細については、宇多・山本(1989a, b)を参照されたい。

3. 6 近畿地方の河川

近畿地方の河川としては、太平洋側の熊野灘に流入する新宮川と、日本海側に流入する九頭竜川および由良川の3河川を取り上げる。

(26) 新宮川

流域面積2,360km²、流路延長183kmを有し、三重県鷺殿村と和歌山県新宮市の境界において熊野灘に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は19,000m³/s(確率年1/40, 1970年4月策定)と我が国一である。なお、河口部付近の河床勾配は約1/1,000、河床材料の平均粒径は約17mm、平均年最大流量は約6,000m³/sである。

当流域は97%が山林で高温多雨の気候なため、水量の豊富な河川である。しかし昭和30年代より利水ダムが次々と構築され、下流部への流出量は減少しつつある。この流量減少は、従来より有していた河口閉塞問題をさらに助長させる結果となり、河口部周辺の市街地では浸水被害が跡を絶たず、また水質悪化のため環境問題も生じている。その反面、下流部には取水施設が幾つかあり、砂州の伸長は潮止めの役目も果たしている。また、仮に河口砂州が消失した場合、平水時の河道内水位は低下し、

これらの取水施設は上流への移設を余儀なくされる。

現河口では、写真-3.50および図-3.31に示すように、長大な河口砂州が形成されている。砂州を形成する河床材料が比較的大きいため、濁水が砂州中を通過する際に目づまりを起こし、河床材料間でのかみ合わせが強固となり、砂州が容易にフラッシュできない状況にある（持田・鈴木，1992）。

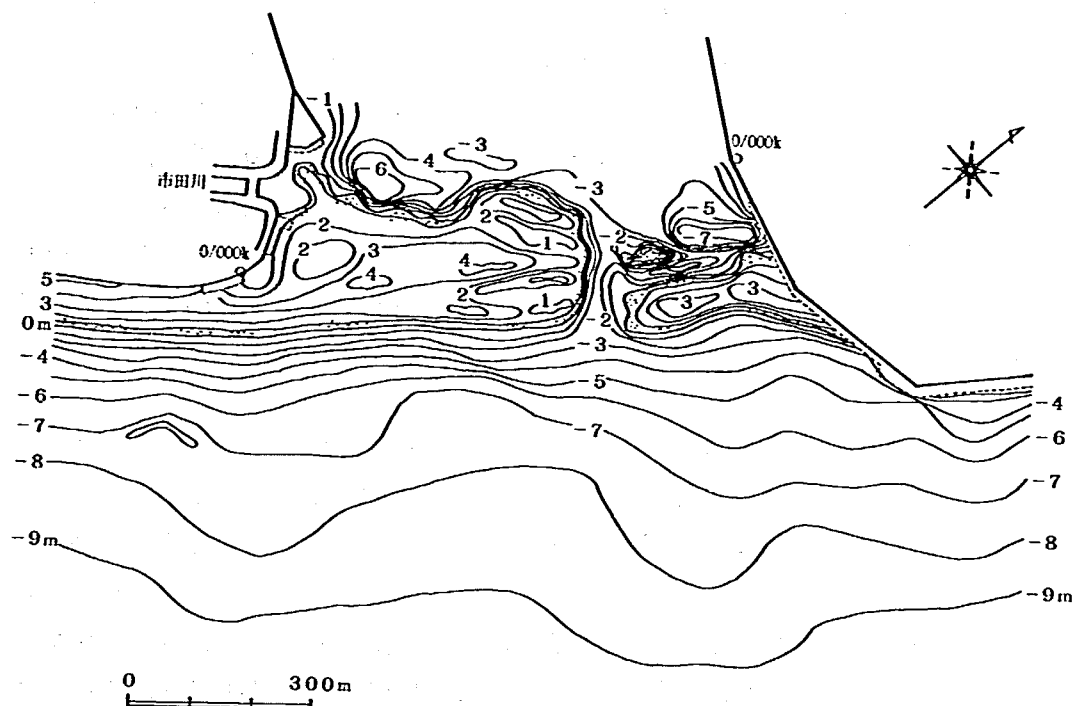


図-3.31 新宮川河口部の深浅図（1993年3月）

この河口砂州は、洪水疎通の障害となるため、洪水時の砂州フラッシュを容易にするための人工掘削も一部行われている。河口砂州は、両岸から張り出す形になっていたり、開口部が左岸あるいは右岸に位置していたり様々である。なお、鶴殿港による沿岸漂砂の阻止と河道の砂利掘削により、周辺海浜に土砂が供給されず、侵食が問題となっている（宇多ほか，1992a）。

洪水の前・中・後の空中写真（写真-3.51～3.53）より、河口砂州の変動について調べてみる。ここに写真-3.51は1990年5月29日に、写真-3.52は同年の9月20日に、そして写真-3.53は10月30日に撮影されたものである。平水時には（写真-3.51）、両岸から細長い砂州が伸びているために開口部は河口のほぼ中央に位置している。そして河口部の沖合では半円形状の碎波帯が見られることから、この当時開口部の沖側直近には浅い河口テラスが発達していたことがわかる。写真-3.52に示す洪水時の状況では、砂州の両岸でフラッシュが進行し、沖に向かって舌状のテラスが形成されている。河口砂州は河道中央部付近を残し、大部分がフラッシュされた。左右の流出状況を比較すると、左岸側の方が白濁領域の突出度が高いことから、洪水の主流部は左岸側にあることが推察できる。当河川では、1990年9月30日には再び洪水が発生した。したがって、10月30日に撮影された写真-3.53は洪水後、1ヶ月しか経過しておらず砂州は完全に復元されていない。右岸の砂州は砂州フラッシュ後の河道内への侵入波浪により、右支川を巻き込むように河道内へ発達形成された。その後、中央部の砂州の発達とともに右側開口部も浅くなり、やがて2つの砂州は結合され、右岸側の開口部は閉塞されるものと思われる。

図-3.31に示した1993年3月の深浅図にはいくつかの顕著な地形特性が見られる。まず、砂州の海側は約1/20勾配で-6 mまで急深となっており、その沖には約1/110の緩勾配の海底面が続くことである。このような海浜断面特性は、高知県の沿岸で見られるものと同一であり、外洋から入射する高波浪が沖合でほとんど減衰せずに砂州にうちあがる特徴を有する。このため新宮川の河口砂州の最高標高は4 mと他の地域の2~3 mと比較して高くなっている。なお、右岸砂州の付け根部分で標高が2 mと低い部分があるが、ここでは1990年の秋に砂州がフラッシュされていることから、これに起因して砂州高が低いと考えられる。また、河口砂州の河道裏側には、左岸側では-7 m、右岸側では-6 mに達する大きな穴が形成されている。これらはともに砂州の裏側にあり、波や河川流による局所的な侵食は考えられないことから、砂利採取や閉塞防止を目的とした掘削時に形成された穴と考えられる。右岸側からは市田川が流入しており、その前面には本川の砂州が伸びているので、市田川の河口維持のためにはその前面の土砂を掘削する方法が考えられるが、河床掘削は結局のところ河口砂州の全体的な後退を招き、市田川の河口閉塞を助長するので注意が必要である。このような事例は高知県の仁淀川河口(No.35)に流入する新堀川で見られる。

当河口部では、平水時には潮止め効果を有する砂州の伸長をある程度許容し、洪水時には砂州のフラッシュ効果を誘発できるような、利水・治水ともに考慮した高度な河口処理が望まれている。そこで、現在検討されているのが起伏堰(ゴム堰)による河口処理である(持田・鈴木, 1992)。砂州の横断方向(河川縦断方向)に起伏堰を数個設置して、平水時には堰上での砂州の形成を許容する。洪水初期において、これらの堰を倒伏させることにより落ち込み水路が形成され、砂州のフラッシュ効果を助長させるものである。一般に、洪水前に砂州の一部で人工開削が行われるが、それと同一種類のものである。しかし、当河川の計画高水流量は我が国一であることや、河口部付近の河床材料が比較的大粒径であることを考えると、堰の耐久性や実用性について十分な検討が必要である。

(27) 九頭竜川

流域面積2,930km²、流路延長116kmを有し、福井県三国町において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は9,200m³/s(確率年1/150, 1979年3月策定)、河床勾配は約1/2,200、河床材料の平均粒径は約0.8mm、平均年最大流量は約1,600m³/sである。

かつて河口部の三国港は、多量の流出土砂により船舶の出入りに支障をきたしていた。そのため1875年(明治8年)にオランダ人のエッセル氏により改修計画を兼ねた河口計画が樹立され、延長約500mに及ぶ捨石防波堤が施工され、欧州技術を我が国最初に取り入れた港湾工事として注目された。現在の河口は、写真-3.54, 3.55および図-3.32に示すように両岸に施工された導流堤により河口は維持されている。冬季北西からの季節風に対し、右岸導流堤の延長・方向ともに有効と思われる。

図-3.32に示す深浅図は、1967年測量と測量時期が古いものの、右岸沿いにある三国港への航路維持を図るため最深で-12mまでの掘削が行われ、最深部が右岸に沿って伸びていたことがわかる。

一方、写真-3.54, 3.55によると、河口の左岸導流堤は右岸導流堤と比較して短く、特に写真-3.54によると高波浪時には右岸導流堤による波の遮蔽域内に完全に含まれている。したがって左岸導流堤の付け根に広がる砂浜は右岸導流堤による波の回折によって隣接海岸より導流堤際へと運ばれ堆積したものだと言える。図-3.32によると左岸導流堤の先端水深は約2 mはあるから、回折後の波に対して漂砂を阻止する効果はかなりあると考えられる。

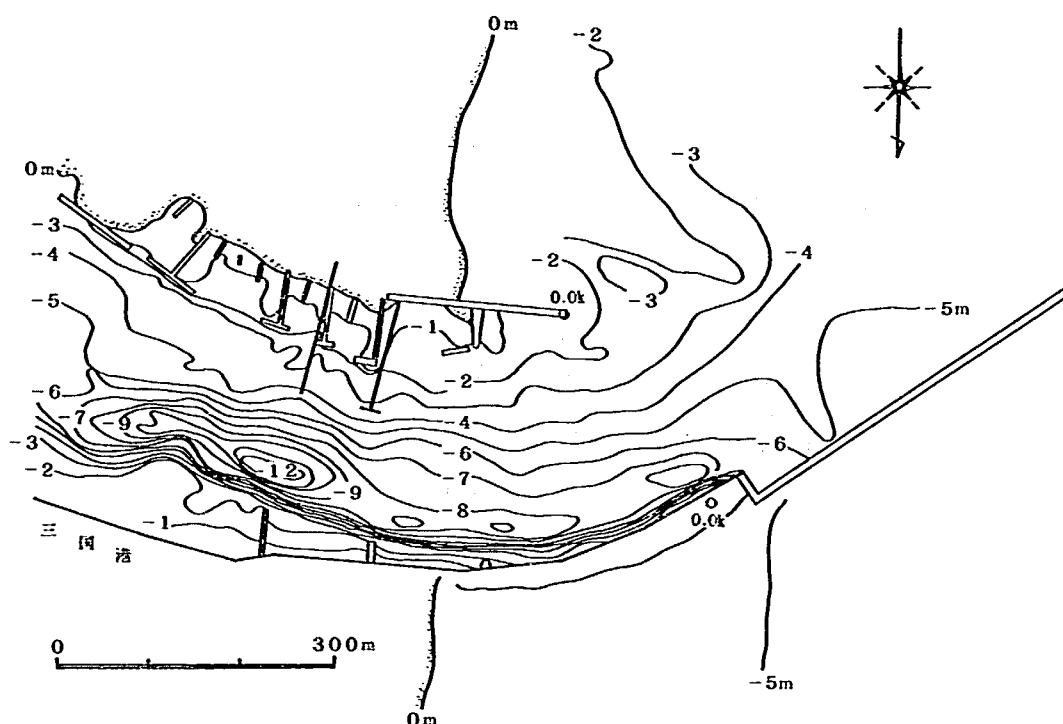


図-3.32 九頭竜川河口部の深浅図(1967年11月)

(28) 由良川

流域面積1,880km²、流路延長146kmを有し、京都府舞鶴市と宮津市の境界において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は5,800m³/s(確率年1/100, 1955年策定)、河床勾配は約1/4,000、河床材料の平均粒径は約2mm、平均年最大流量は約1,700m³/sである。

河口の西側に由良海岸、東側に神崎海岸を有し、北近畿地方有数の海水浴場として多く利用されている。両海岸は、冬季風浪から海浜を維持するため、離岸堤や護岸が施工されている。河口砂州は、写真-3.56および図-3.33に示すように両岸より伸長している。これは河口部への卓越波の入射方向が河道の法線と正反対の方向、すなわち現況海岸線と直角方向からであることを示している。

平水時には河口幅の約9割が閉塞する状態となり、砂州長、砂州幅ともに大規模であるが、砂州高はT.P.+1m～2mとあまり高くない。洪水時には河口砂州が流量の増加とともに側方侵食によって徐々にフラッシュされる。さらに流量が増大すると、側方侵食による河積拡大が追いつかなくなり、河道内水位が上昇して砂州を越流する状態になると一挙にフラッシュされる。このような砂州の越流は、河口河積が小さい場合、流量ピーク以前に発生し、これが河口水位のピークとなることが多い。特にこのような現象は中小河川でその傾向が強く、流量ハイドログラフの立ち上がり部分の勾配や砂州高が問題となる。洪水流は、写真-3.57に示すように砂州をフラッシュし、河口沖で舌状のテラスを形成する。砂州のフラッシュは河道中央で著しく、側岸では掃流力が小さいため砂州の完全崩壊には至らない。また写真-3.57によると、洪水流が噴流状に流出したために、沖合からの入射波は河口内へ侵入できず、また河口両側で波の侵入方向が大きく変っている状況が明瞭である。このように、大洪水の発生時には沖合からの入射波は強い逆流下で河道内へと遡れなくなる。当河口部では、砂州フラッシュ後も依然として河積不足であり、河道内水位の上昇により河口直上流右岸側の無堤地区に

ある田畑への浸水が著しい。

図-3.33に示した由良川河口部の深浅図によれば、河道の中心に対しほぼ左右対称形に河口砂州が発達しており、開口部中央には-4 mの深みが形成されている。河口の沖合-2~-4 mの間はバートラの発達のため複雑な海底形状であるが、-4 m以深では等深線が沿岸方向にほぼ平行に伸び、また河口前面でこれらの等深線は沖へ向けて突出し、河口前面テラスが形成されている。

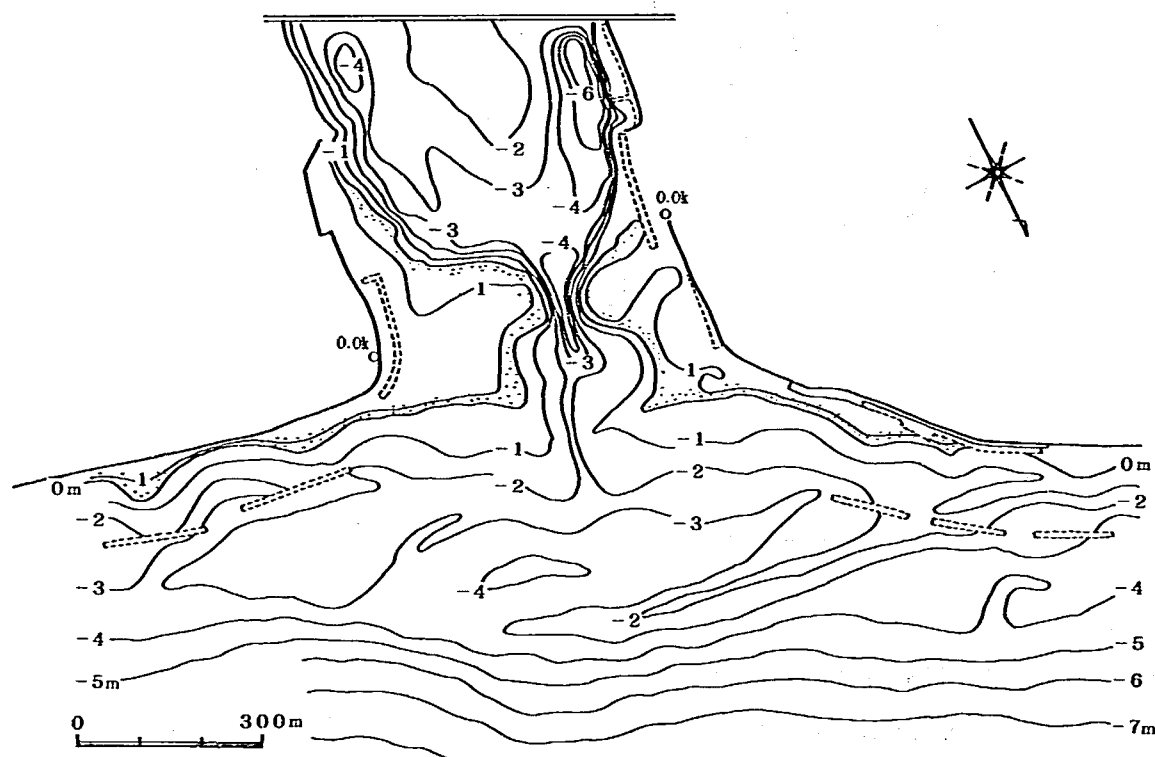


図-3.33 由良川河口部の深浅図 (1991年12月26日)

3. 7 中国地方の河川

中国地方の河川としては、日本海側に流入する千代川、天神川、日野川、江の川そして高津川の5河川を選定した。瀬戸内海へ流入する大河川も数多いが、本研究では既に述べたように波浪の作用がかなり強く、砂州の発達が著しい河川を対象としているので、ここではそれらの河川は除いている。

(29) 千代川

流域面積1,190km²、流路延長52kmを有し、鳥取県鳥取市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は6,000m³/s (確率年1/100, 1984年3月策定)、河床勾配は約1/1,850、河床材料の平均粒径は約0.5mm、平均年最大流量は約1,400m³/sである。

河口部西側に位置する鳥取港は、かつては河口港として利用されていたが、千代川が日本海沿岸に横たわる鳥取砂丘を貫流していることから、漂砂移動に伴う河口閉塞問題が絶えず、明治・大正期に突堤や導流堤により処理対策が講じられた。しかし、これらは抜本的な解決策とはならず、依然として航路維持、内水排除などの問題が残されていた。そこで土木研究所での水理模型実験による検討

(山本・野積, 1975) を経て, 1975年(昭和50年)～1983年(昭和58年)にかけて, 港および支川を導流堤(防波堤)により河口と分離する付替工事が着手され, 写真-3.58および図-3.34に示す現在の河口形状となった。兩岸の導流堤によって河口閉塞は防止されているが, 右岸導流堤先端付近の河道内河床は浅くなる傾向となっている。また, 図-3.34によると, 河口部には-2 mの等深線で囲まれた浅瀬があるが, この浅瀬は冬季風浪による河道内への土砂の打ち込みにより形成されたものと考えられる。千代川では河川流量が多く, 波高が低ければ河口の土砂がフラッシュされて沖合に堆積する。逆に流量が小さく波高が高ければ河道内に堆積する。すなわち, 当河口部では波浪と流量の季節変動に対応して河口周辺地形もダイナミックに変化している(宇多ほか, 1988)。

写真-3.58の空中写真に明らかなように, 鳥取港の防波堤は河口前面まで伸びている。このタイプの防波堤は冬季の高波浪の河口への作用を防ぐ意味では効果的である。しかし, 防波堤の背後に時計回りの循環流を形成させ, 写真の左側から河口方向への沿岸漂砂を促進させる効果を有している。右岸導流堤の先端水深はほぼ-3 mとそれほど深くないことから, 上述の沿岸漂砂は右岸導流堤の先端を回り込む条件にある。一方, 右岸導流堤の延長は漂砂の流入阻止の上では効果的であるが, 写真-3.58に示したように河口沖には防波堤があるため, 右岸導流堤の延長は洪水流下能力の低減を招く危険性があることが指摘される。

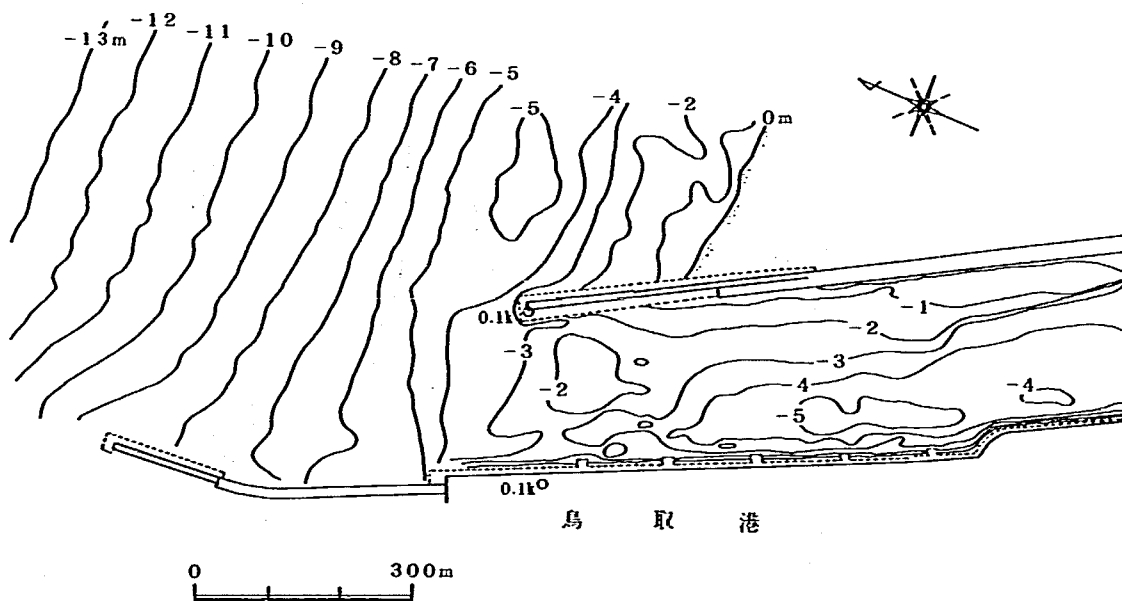


図-3.34 千代川河口部の深浅図(1992年8月)

(30) 天神川

流域面積500km², 流路延長32kmを有し, 鳥取県羽合町と北条町の境界において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は3,500m³/s(確率率1/60, 1934年策定), 河床勾配は約1/620, 河床材料の平均粒径は約1.5mm, 平均年最大流量は約650m³/sである。

かつて河口部は, 現在的位置より東西約1kmにわたり著しい変動を呈していたが, 1965年(昭和40年)～1970年(昭和45年)にかけて兩岸に導流堤が施工されて以来, 河口位置は固定された。しかし, 導流堤先端が汀線付近に止まっていることより, 砂州は右岸側から導流堤を乗り越えて伸長している。現在の河口形状は, 写真-3.59に示すとおりである。河口砂州が大きく伸び, 河道はほぼ完全閉塞に

近い。河口砂州は、冬季風浪によって発達し、春季から秋季の出水によってフラッシュされ、冬季に再び発達するというパターンを繰り返している。洪水期には、砂州の一部を機械掘削し、フラッシュを容易にしている。

(31) 日野川

流域面積860km²、流路延長77kmを有し、鳥取県米子市と日吉津村の境界において美保湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は4,600m³/s（確率年1/100、1989年3月策定）、河床勾配は約1/1,370、河床材料の平均粒径は約1.5mm、平均年最大流量は約800m³/sである。

写真-3.60には1993年3月22日現在の河口状況を示すが、開口部の相対的な位置は逆であるものの日野川の河口は天神川の河口と非常によく似ている。導流堤は両岸に施工されているが、冬季風浪によって河口閉塞が著しい。また、近年流出土砂量の減少に伴い、河口砂州が河道内へと後退する傾向にある。河口砂州の後退は、本川に与える影響はもとより、河口部左支川の水貫川において、排水不良に伴う内水被害や水質悪化を引き起こす恐れがある。また、河口部西側に位置する皆生海岸では、日野川の流出土砂量の減少に伴い侵食が著しい。

以前は、沿岸漂砂の方向の季節変動に応じて砂州開口部も左右に変動していた。しかし、近年では写真-3.60および図-3.35に示すように開口部は右岸側に固定される傾向にある。

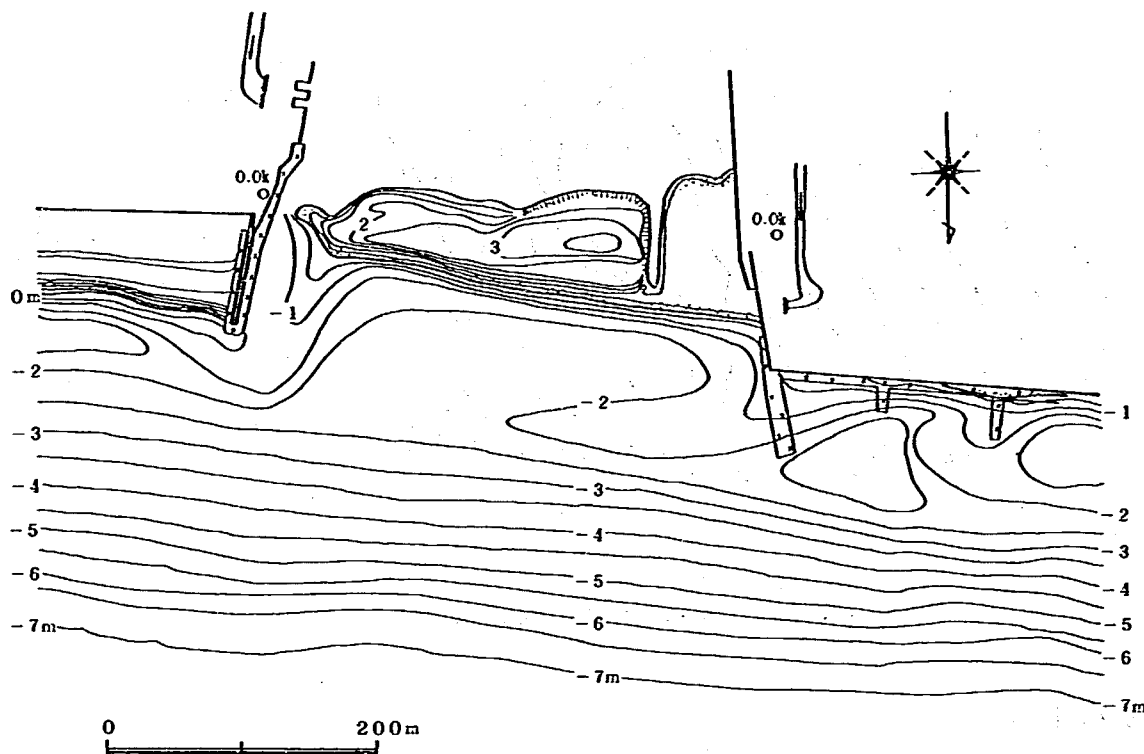


図-3.35 日野川河口部の深浅図（1990年6月）

(32) 江の川

流域面積3,870km²、流路延長194kmを有し、島根県江津市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は10,700m³/s（確率年1/100、1973年3月策定）、河床勾配は約1/630、河床材料の平均粒径は約0.8mm、平均年最大流量は約4,000m³/sである。

かつて河口砂州は、左右岸交互に発達していたが、1955年（昭和30年）～1968年（昭和43年）に左岸側に導流堤が施工され、砂州の形成は右岸側に固定された。さらにその後、右岸にも導流堤が施工され、河口閉塞はほぼ防止された。しかし侵入波浪が減衰する河道内上流の右岸側に小規模な砂州が形成されている。河口の南西側に位置する海浜では、砂利採取のための河道掘削や航路維持のための浚渫、また江の川自身の流出土砂量の減少および導流堤の延長などにより漂砂供給量が減少したため侵食傾向となり、現在は離岸堤により守られている。現在の河口形状は、写真-3.61および図-3.36に示すとおりである。

江の川でも古くは図-3.36で-2 mの等深線が張り出している部分で河口砂州が発達していたが、河道内での砂利採取と左岸側にある江津港への航路維持のための浚渫により河床が低下し、その結果河口砂州は上流側へ大きく移動した。

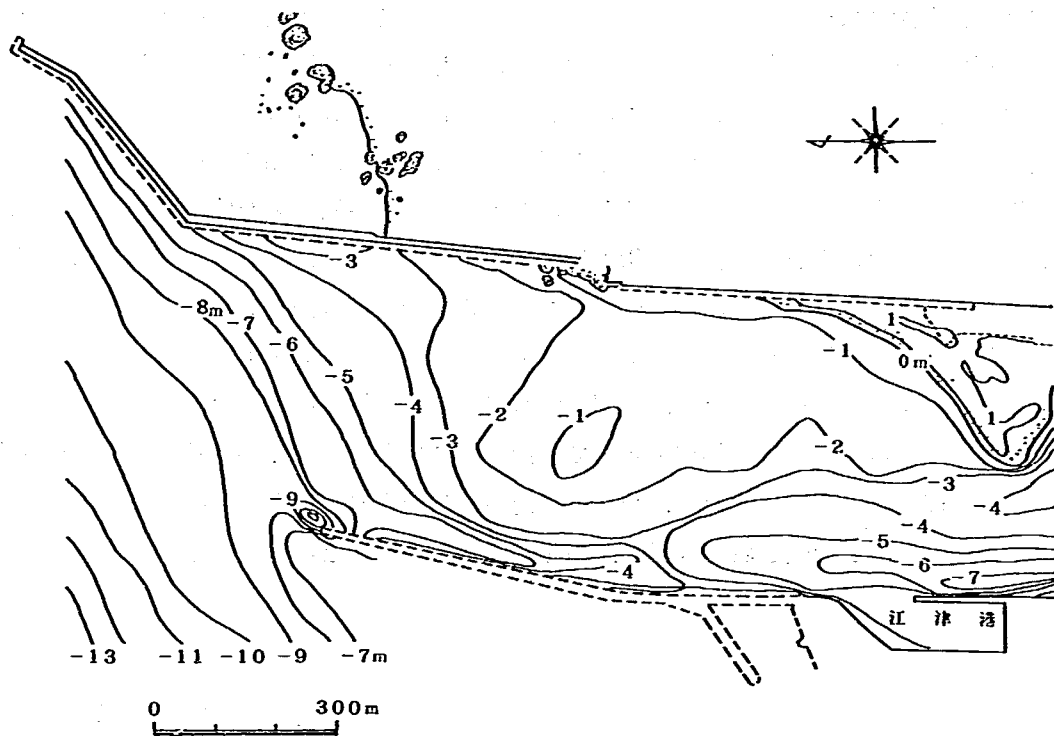


図-3.36 江の川河口部の深浅図（1993年6月16～17日）

(33) 高津川

流域面積1,080km²、流路延長81kmを有し、島根県益田市において日本海に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は4,200m³/s（確率年1/20、1943年策定）、河床勾配は約1/1,000、河床材料の平均粒径は約1mm、平均年最大流量は約1,300m³/sである。

河口砂州は両岸より発達していたが、写真-3.62に示すように右岸側導流堤と中導流堤の施工によって河口が固定された。中導流堤は、航路維持（河口水深の維持）、波浪侵入防止に役立っている。なお、出水期には事前に中導流堤左側の砂州の一部を開削し、砂州のフラッシュが容易に進行するようにさせている。河口部周辺の海浜は、比較的良好に維持されており、導流堤付近の汀線形状より判断すると、漂砂の一方方向への卓越性はないものと思われる。河口で流路が大きく北西に（左向きに）偏流しているため、右岸が水衝部となる。そのため右岸側には水制が施工され、高水敷を造成させるこ

とにより河岸を保護する手法が取られている。

3. 8 四国地方の河川

四国地方の河川としては、いずれも土佐湾に面した物部川、仁淀川そして渡川をとり上げる。土佐湾は太平洋側に向かって大きく開いているために、いずれも作用波浪が高いことで特徴付けられる。

(34) 物部川

流域面積508km²、流路延長71kmを有し、高知県吉川村において土佐湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は4,740m³/s（確率年1/100、1967年6月策定）、河床勾配は約1/360、河床材料の平均粒径は約22mm、平均年最大流量は約1,500m³/sである。

河口部は、完全閉塞に近い状態となる場合もあるが、洪水時には下流部の河床勾配が1/360と急なため、ある程度フラッシュされる。現在の河口状況は、写真-3.63および図-3.37に示すとおりである。下流部河道内の交互砂州上には、植生の繁茂が見られる。これは近年著しく発達したものであり、植生の成長は掃流力を低下させ、流砂の堆積を促進することから、砂州の規模は今後拡大すると思われる。砂州規模の拡大は、洪水疎通能力の低下はもとより、みお筋の幅を狭め、著しい河岸侵食をも引き起こす。空中写真によれば、交互砂州上に人工的に開削した跡が見られるが、これは左岸側が交互砂州の前縁線の淵となっていて洗掘が著しいため、この局所洗掘防止を目的として試みられたものである。ただし、写真に見られるように交互砂州上を直線的に開削しても、水流は河床に形成される砂礫堆に対応してすぐに蛇行するため、数回の洪水で元の砂礫堆に復元されてしまい効果が少ない。写真右下隅に見える吉川漁港は、河口港として利用されていたが、砂州の消長に伴う流路や水深の変化が激しく、舟運に支障をきたすため、現在では河口と分離されている。水門により本川とつながっているが、左岸に砂州が形成されて埋没し、現在では利用不可能となっている。

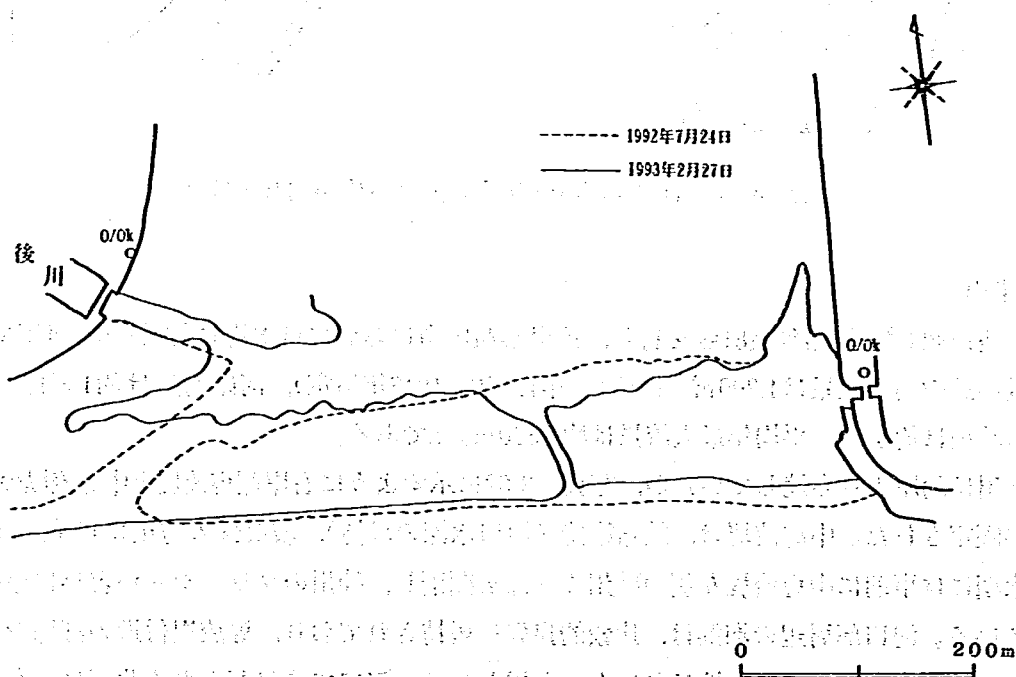


図-3.37 物部川河口砂州形状の比較（1992年7月24日vs.1993年2月27日）

(35) 仁淀川

流域面積2,270km²、流路延長124kmを有し、高知県春野町において土佐湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は14,000m³/s（確率年1/100、1989年3月策定）、河床勾配は約1/1,230、河床材料の平均粒径は約7mm、平均年最大流量は約5,000m³/sである。

河口砂州を構成する材料が砂利であるため透水係数が大きく、平水時には河口部がほぼ完全閉塞状態になる場合もあった。以前の河口砂州は、右岸側より伸長し、河道は大きく東に偏流し、開口していた。その後、1959年（昭和34年）に左岸側に導流堤が施工され、河口位置の固定が図られた。施工後しばらくの間、開口部は左岸側で維持されていたが、導流堤の長さおよび高さが不足していたため、砂州は左岸側からも張り出す状態が生じていた。しかし、基本的には左岸側が開口部であった。ところが砂州前面において海底掘削が行われたため、徐々に砂州開口部が左岸側から右岸側に変わり、写真-3.64および図-3.38に示すような形状となり、河口砂州は河道内に約150mも後退した。一般に河口砂州部の汀線形状は、海岸線に対して平行もしくは沖に突出する。しかし、当河口部は砂州前面での海底掘削の影響により、汀線が凹状となっているのが特徴的である。現在は右岸側が開口部となっているが、長期的に見て河川からの流出土砂によって沖合の深みが埋まれば、開口部位置は河道中央から左岸寄りに戻ると思われる。また、図-3.38において左岸導流堤の東側で、海底掘削の影響をあまり受けていない部分の海底状況を調べると、ほぼ-6mまで約1/9と非常に急勾配で落ち込んでいるのが特徴である。このため高知海岸ではしばしば高波浪があまり減衰することなしに前浜へうちあがることになる。このため砂州高も約5mと非常に高い。

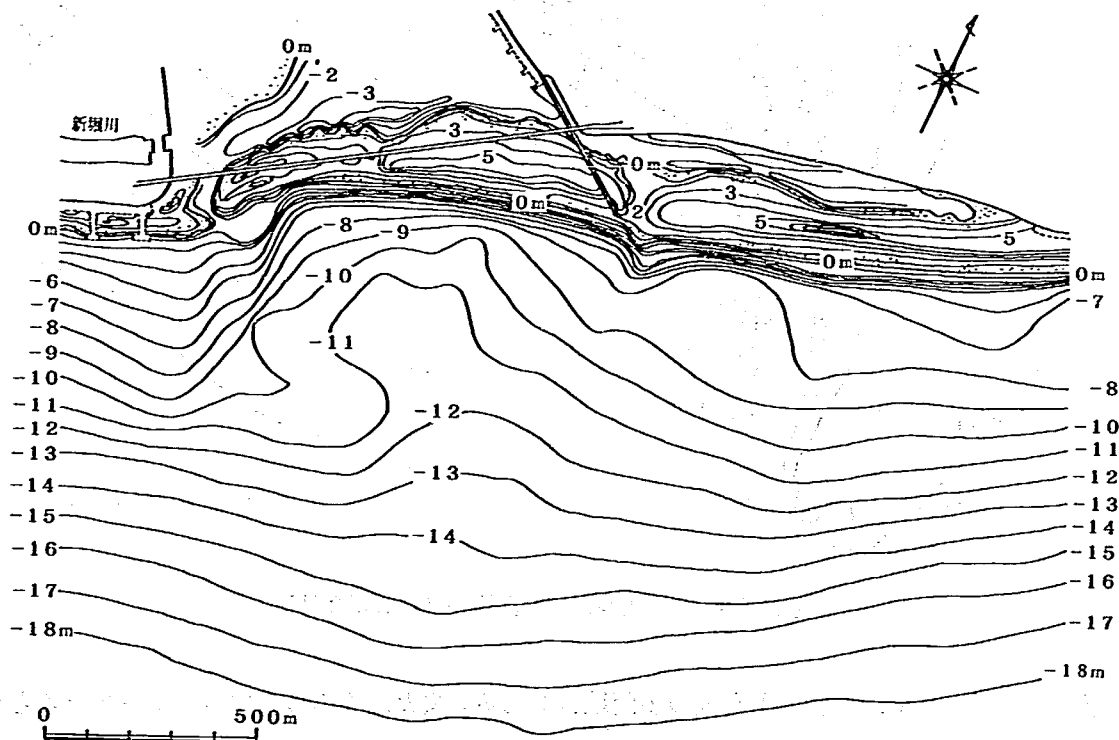


図-3.38 仁淀川河口部の深浅図（1993年3月）

洪水時の河口砂州は、写真-3.65に示すように、流量の増加とともにフラッシュされ、特に開口部の河床洗掘と砂州の側方侵食によって河口河積が拡大する。砂州末端部分では、砂州高がT.P.+5mと

高く、通常の出水ではほとんどフラッシュされることはない。なお、河口から2.0km上流で合流する右支川の波介川では、洪水時に本川の背水の影響を受け浸水被害が絶えないため、合流点を本川河口部に付替える導流計画が立てられている。また、この計画を取り入れた河口砂州維持のための処理対策についても現在検討されている。また、右岸側からは新堀川が流入しているが、河口砂州の後退はこの河川の河口を塞ぐことになるので、その意味からも砂州の後退については十分な注意が必要である。

(36) 渡川

流域面積2,270km²、流路延長196kmを有し、高知県中村市において土佐湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は16,400m³/s（確率年1/100、1983年3月策定）、河床勾配は約1/1,800、河床材料の平均粒径は約9.5mm、平均年最大流量は約4,200m³/sである。現在の河口状況は、写真-3.66～3.68および図-3.39に示すとおりである。

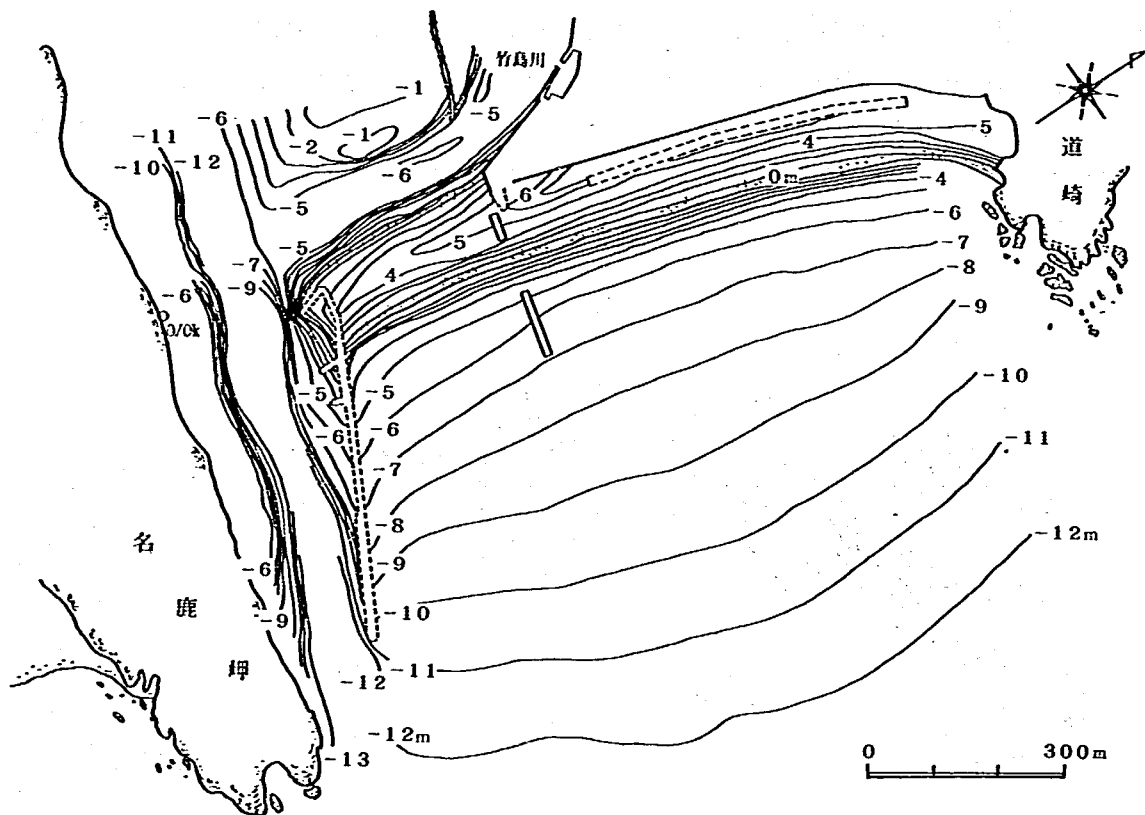


図-3.39 渡川河口部の深浅図（1987年2月）

流域の9割が森林で、全国でも有数の多雨地帯である。また、その豊富な水資源はほとんど活用されることなく流下し、自然を色濃く残していることから鮎をはじめとする内水面漁業が盛んである。

かつて河口部は、閉塞が著しく、航路維持や浸水被害など様々な問題を抱えていた。1964年（昭和39年）に左岸に中導流堤が施工されて以来、右岸の自然導流堤の役目を果たす名鹿岬とともにその効果を発揮し、航路維持の面では良好な結果が得られている。しかし、出水期前には中導流堤の左岸側に形成されている砂州の一部を掘削してフラッシュを容易に進行させ、河道内の水位上昇を防いでい

る。したがって、治水上からは河積不足となっており、現在左岸側に河口港と分離するための導流堤兼用の防波堤の建設が始まっている。図-3.39の深浅図によると、中導流堤は名鹿崎に向かって先端が絞られている。そして河道は-10m以深と非常に深くなっている。このため高波浪が作用する土佐湾に流入する河川でありながら河口維持の上でこの中導流堤は非常に効果的である。また、図-3.39によると、河口砂州の最高部の5mより、-5m付近まで約1/8と非常に急勾配で落ち込んでおり、その沖合の約1/130の緩勾配斜面と大きな違いを示す。こうした海浜形状は図-3.31に示した新宮川や図-3.38に示した仁淀川河口部と非常によく似ている。前出の図-3.1によればこれらの河川は我が国西部の太平洋側で南東方向に開いた海岸へ流入しているため台風時のうねりの作用を直接的に受ける特徴を有している。

当河川では、1982年の8月から9月の一ヶ月間に洪水が2回も生じた。建設省中村工事事務所では、この間の河口部の経時変化を写真撮影している（写真-3.69～3.76参照）。ここではこの貴重な資料から河口部における砂州フラッシュ特性およびその復元過程について述べる。

1982年8月27日台風13号により戦後第2位の流出規模の洪水が発生し、河口のピーク流量は約11,000 m^3/s と推定された。写真-3.69は洪水後1日が経過した段階の写真であるが、砂州は全河道幅でフラッシュされている。当河口部の砂州は、洪水時に河道内水位が上昇し、砂州を越流するようになってから一挙にフラッシュされる。このときの流量は約10,000 m^3/s とされている。当洪水では砂州はフラッシュされたものの、砂州高が高いためフラッシュ開始が遅れ、左岸側の堤内地盤の低い下田港周辺では浸水被害が発生した。写真-3.70～3.72は洪水後の、9月2日、9月6日、および9月13日の河口状況である。砂州は復元過程において左岸側からと中導流堤基部より伸長し、写真-3.71では中導流堤の左岸側の開口部に砂がうちあがり、完全閉塞状態となった。うちあがった当初は、左岸側の砂州幅より狭いが、さらに1週間の経過した9月13日では写真-3.72に示すようにフラッシュ前の砂州形状にほぼ復元された。

8月27日洪水の約1カ月後の9月25日には、台風19号による洪水が再び発生した。ピーク流量は約8,300 m^3/s であり、砂州は写真-3.73に示すように再びフラッシュされた。前述したように当河口部でのフラッシュ開始流量は約10,000 m^3/s とされており、本洪水はこれに満たない条件でありながら砂州はフラッシュされた。これは、1カ月前にフラッシュされた砂州が写真-3.72においては一見復元されたかのように見えたが、完全には復元されておらず、砂州高も低かったため越流開始流量が小さくなったことが原因と考えられる。当河口部での砂州の復元に要する期間は、フラッシュの規模により異なるが1カ月から3カ月とされている。写真-3.73は、フラッシュ開始直後のものである。砂州フラッシュは、砂州高の低い中導流堤沿いより開始し、その後開口部は流量増加に伴い左岸側へと広げられた。しかし、流量規模とともにその継続時間も前回の洪水と比較して短かったためか、中導流堤左岸側河道幅の約半分の開口幅である。

写真-3.74～3.76はその後の河口砂州の復元過程を示すものであり、それぞれ1982年9月27日、10月7日、10月11日に撮影された。写真-3.74では小さな砂嘴の発達が始まっている。また開口部前面の白濁状況よりここには河口前面テラスがまだ存在していたことがわかる。10月7日（写真-3.75）には左岸側からの砂嘴の発達がより著しくなり、開口部はほぼ塞がった。さらに写真-3.76に示す10月11日では河口砂州はほぼ復元された。この間、砂州の復元に要する時間は2週間であった。

3. 9 九州地方の河川

九州地方の河川としては、日向灘に面した五ヶ瀬川、大淀川そして肝属川の3河川を取り上げる。

(37) 五ヶ瀬川

流域面積1,820km²、流路延長106kmを有し、宮崎県延岡市において日向灘に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は4,500m³/sであり、右支川であった大瀬川は5,000m³/sである（確率年1/100, 1974年策定）。なお、河口部付近の河床勾配は約1/1,300、河床材料の平均粒径は約0.5mm、平均年最大流量は約1,600m³/sである。

現在の河口状況を写真-3.77, 3.78および図-3.40に示す。上流域は自然および地形条件に恵まれ水量が豊富なため、発電事業が盛んである。下流部の延岡平野は、支川の合流・分派が数多く、非常に複雑な河川形状を呈している。河口部右岸側には、延長約1kmに及ぶ導流堤が施工されており、かつての著しい汀線変化および砂州の伸長は抑制された。しかし、依然として流路は堆積傾向にあり、浚渫により航路維持が図られている。また、右支川大瀬川も漂砂の影響を顕著に受け、河口処理工が施されていないことにより、ほぼ完全閉塞状態となる場合もある。洪水時には側方侵食により一部開口するが、2～3カ月後には再び閉塞してしまう。河口閉塞は、洪水疎通能力の低下はもとより、鮎等の魚類の遡上に支障をきたしている。写真-3.78の手前が五ヶ瀬川で、奥が大瀬川である。五ヶ瀬川の河口は、右岸側に導流堤が、そして左岸側には岩礁が延びている。この状況は四国の渡川（No. 30）の場合と反対称ではあるが、非常によく似ている。なお、深浅図は五ヶ瀬川では測量が実施されていないため、大瀬川について掲載した。

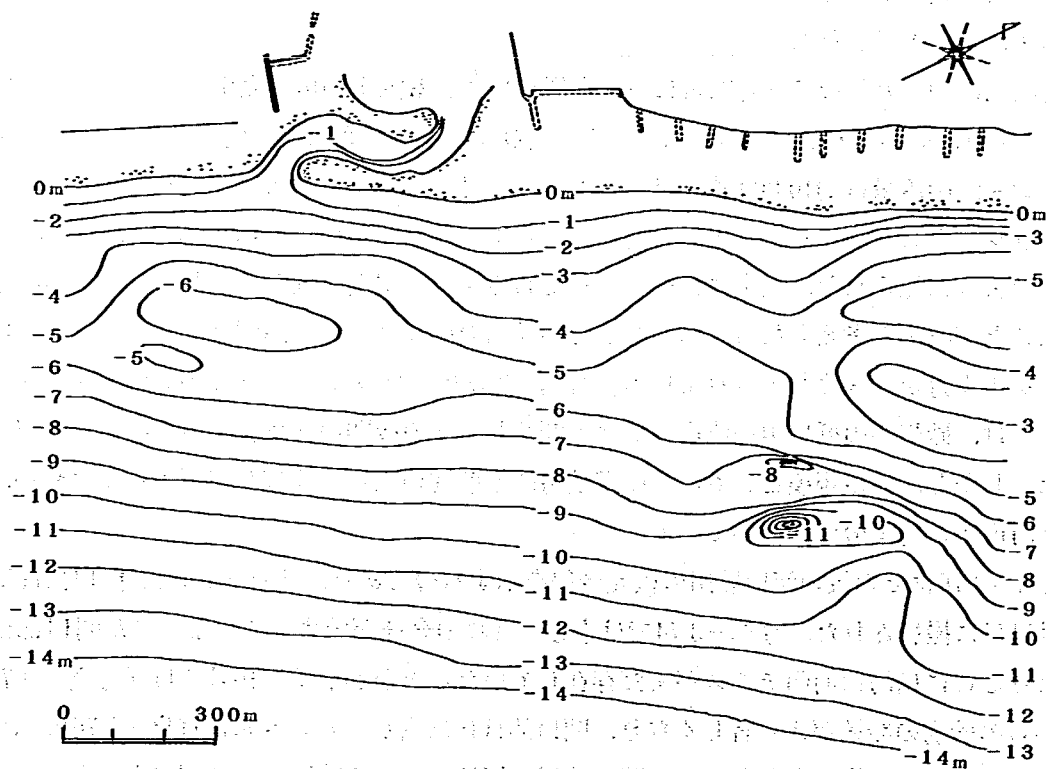


図-3.40 五ヶ瀬川（大瀬川）河口部の深浅図（1979年3月）

(38) 大淀川

流域面積2,230km²、流路延長107kmを有し、宮崎県宮崎市において日向灘に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は7,000m³/s（確率年1/70、1964年策定）、河床勾配は約1/5,800、河床材料の平均粒径は約1.0mm、平均年最大流量は約3,500m³/sである。

河口部の北側に位置する宮崎港は、河口港として利用されていたが、大型船舶に対する航路維持が困難となり、現在は河口と分離されている。

かつての河口部は、写真-3.79に示すように右岸側から砂州が伸長し、左岸導流堤と中導流堤によって約130mの流路幅が維持されていた。河口砂州の汀線は海岸線に対し平行もしくは若干突出しており、比較的安定していたようである。

河口部南側では1983年(昭和58年)～1986年(昭和61年)にかけて、宮崎空港の拡張工事が実施された。工事に先立ち沖合にT字型の防波堤が施工され、この影響により隣接海岸の土砂約30万m³が防波堤背後へとひき寄せられた。また、沖に突出した滑走路の影響により、北向きの沿岸漂砂が阻止され、さらに河道内での航路掘削もあって、河口部周辺は写真-3.80、3.81および図-3.41、3.42に示すように激しく侵食され、右岸砂州も消滅しつつある。特に右岸側海浜の侵食が著しくかつての前浜は消失し、かつ小規模の河口砂州が河道内へ後退し、右支川の閉塞、波浪侵入が問題となっている。右支川八重川の本川との合流点付近に位置する津屋原沼は、レジャーボートの停泊地として利用されている。またここは、左岸側の宮崎港を停泊地とする宮崎漁協や内水面漁協等の台風時の避難場所として利用されている。よって、砂州の消失は波浪侵入を引き起こし、台風時における宮崎港（左岸側）から右岸の避難場所への移動を困難にさせる。また、平水時においても津屋原沼への出入りの際には横波を直接受けるため、操船上支障をきたすことになり、深刻な問題となっている。

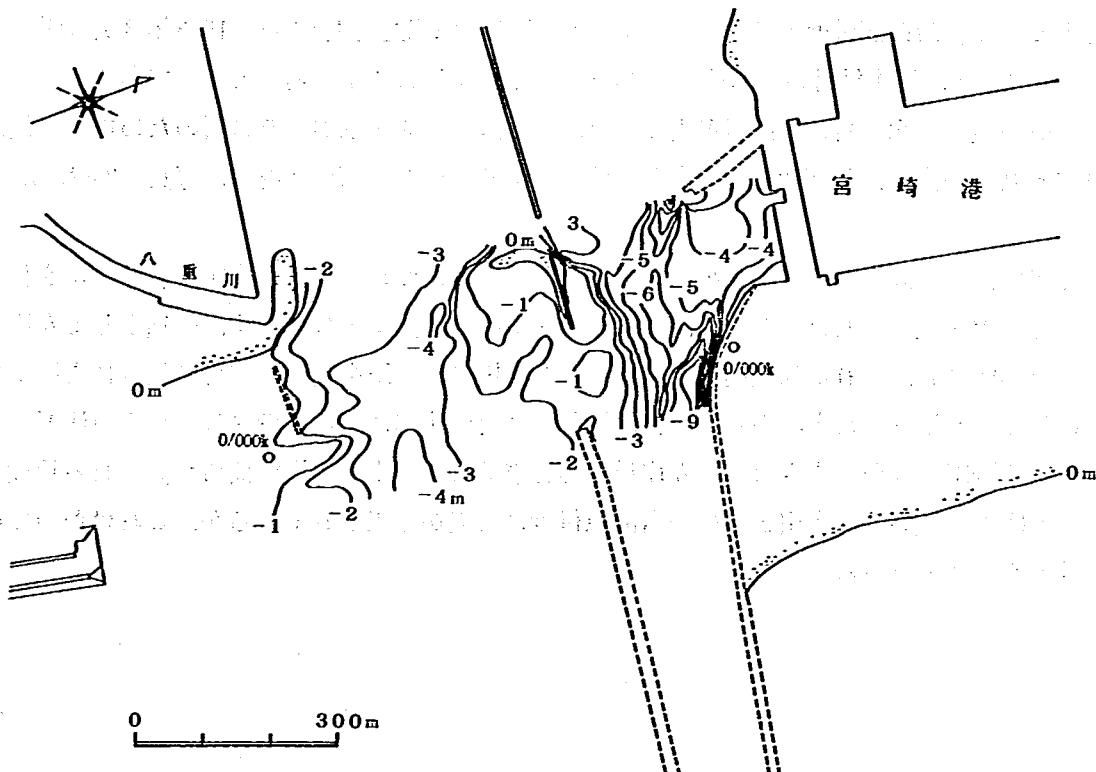


図-3.41 大淀川河口部の深浅図(1990年11月)

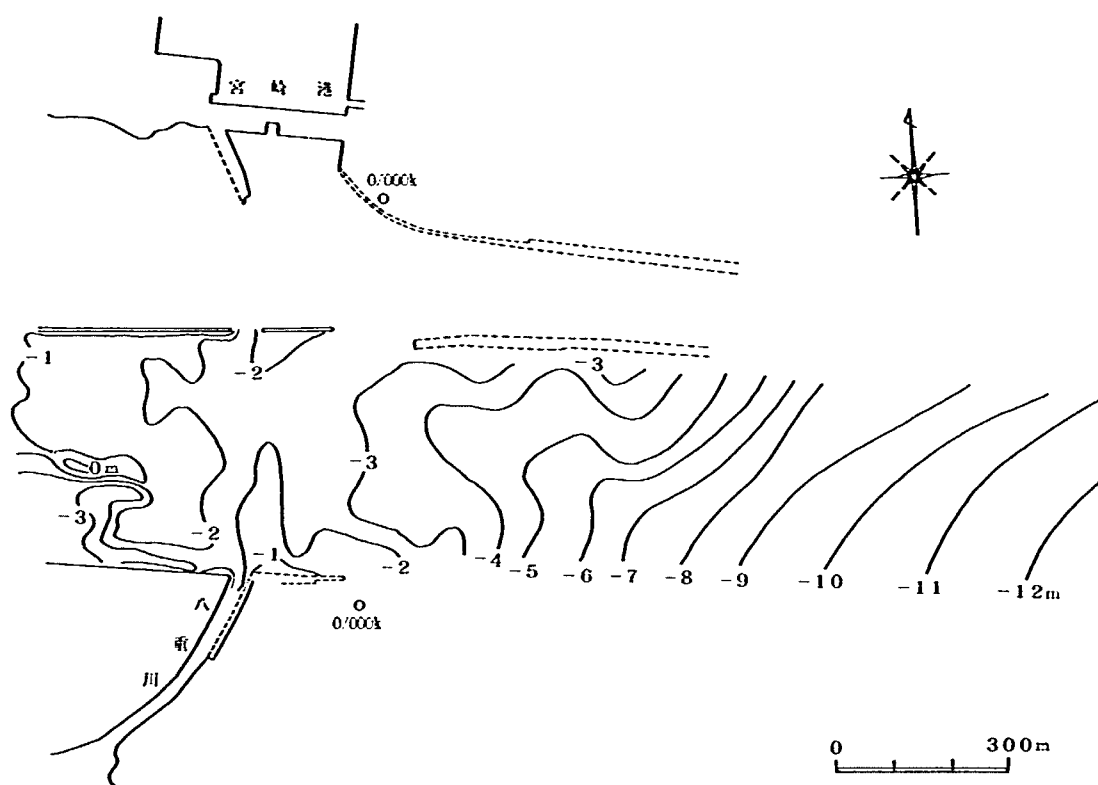


図-3.42 大淀川河口部の深浅図(1992年2月)

(39) 肝属川

流域面積485km²、流路延長34kmを有し、鹿児島県東串良町と高山町の境界において志布志湾に注ぐ一級河川である。河口部付近の計画高水流量は2,300m³/s(確率年1/100, 1983年3月策定)、河床勾配は約1/3,000、河床材料の平均粒径は約0.8mm、平均年最大流量は約900m³/sである。

当該流域の気象・水文特性は高温多雨であり、また流域の約7割がシラス層のため地下に浸透した雨水の貯流効果が高く、年間通じて安定した流況である。現在の河口状況は、写真-3.82に示すとおりである。

かつて河口部は、両岸からの砂州の消長変動が著しかったため、河口の安定、航路維持を目的として両岸に導流堤が施工された。しかし、これらは抜本的な解決策とはならず、依然として左岸側には河口砂州が形成され、これが河道内へと後退し、左支川の汐入川を閉塞して舟の航行に支障が生じていた。しかし、近年は志布志湾の石油備蓄基地および河口北側に港が建設され、周辺の状況も変わり、かつ南下する沿岸漂砂が阻止されて、左岸導流堤先端部に若干土砂の堆積箇所が見られる程度で、河口はほぼ維持されている。本川と支川の合流点付近に突堤が施工されているが、これはかつての砂州後退に対する処理工である。

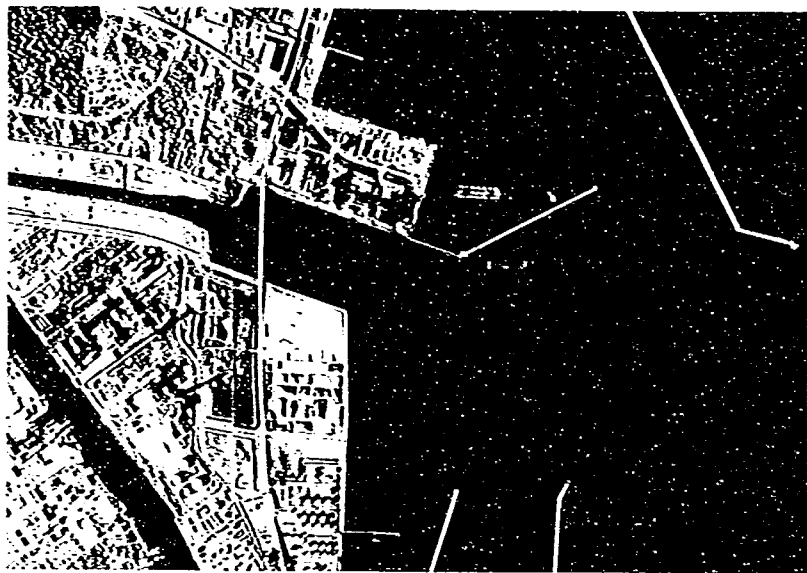


写真-3. 1 馬淵川河口部の空中写真（1987年11月）



写真-3. 2 北上川河口部の空中写真（1990年9月20日）



写真-3. 3 鳴瀬川河口部の空中写真（1991年10月）



写真-3. 4 名取川河口部の空中写真（平水時：1989年1月11日）



写真-3. 5 名取川河口部の空中写真（洪水時：1993年8月28日）



写真-3. 6 阿武隈川河口部の空中写真（平水時：1992年8月8日）

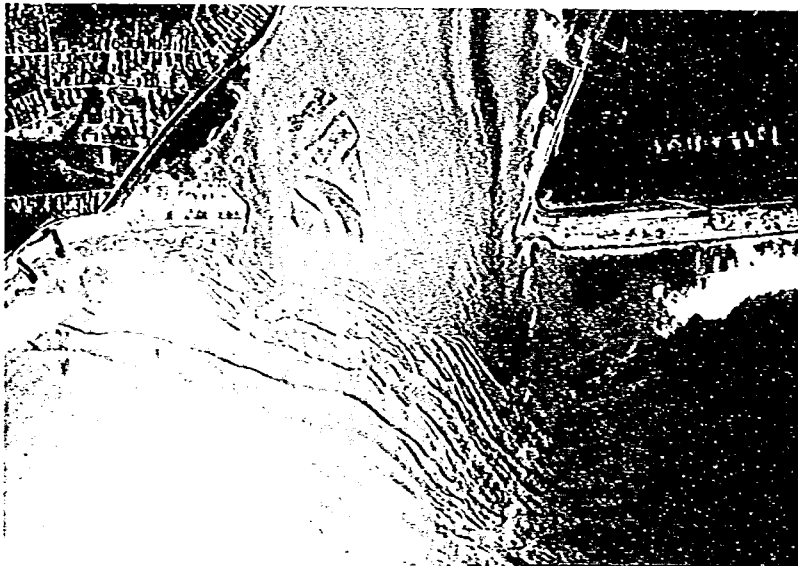


写真-3. 7 阿武隈川河口部の空中写真（洪水時：1993年8月28日）

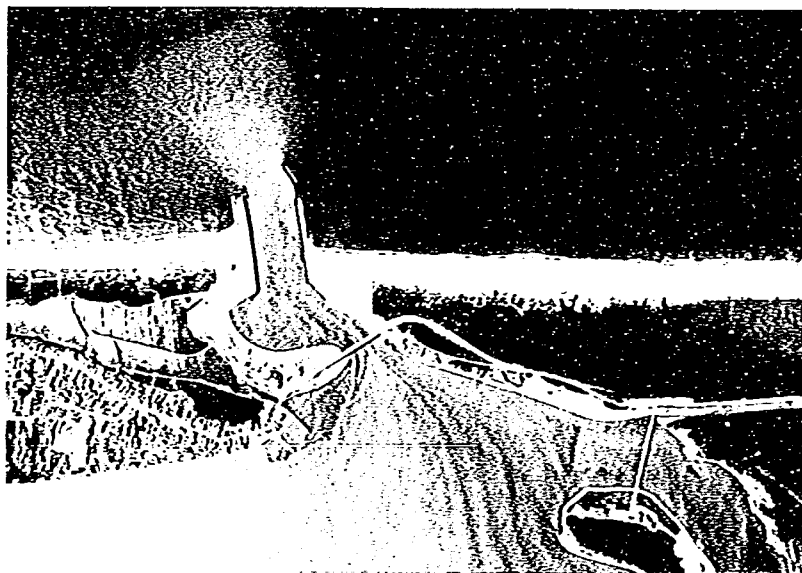


写真-3. 8 岩木川河口部の空中写真（洪水時：1992年9月）

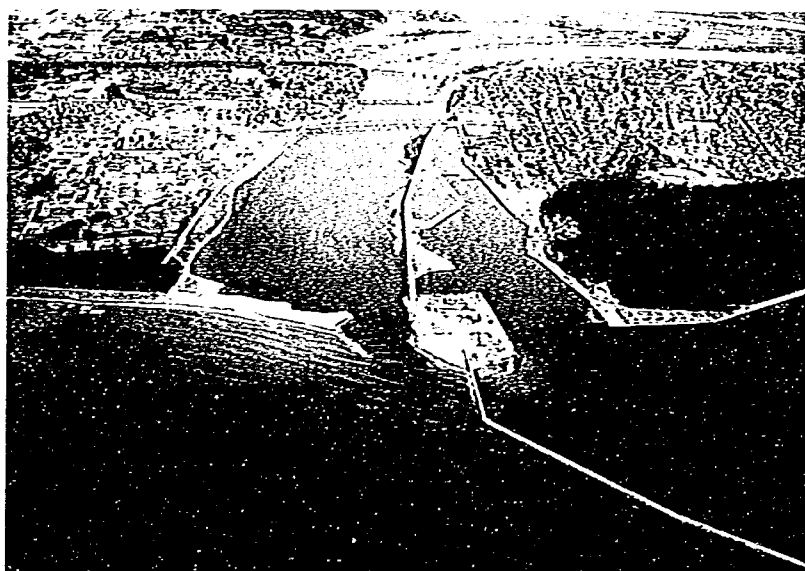


写真-3. 9 米代川河口部の空中写真（平水時：1993年11月8日）

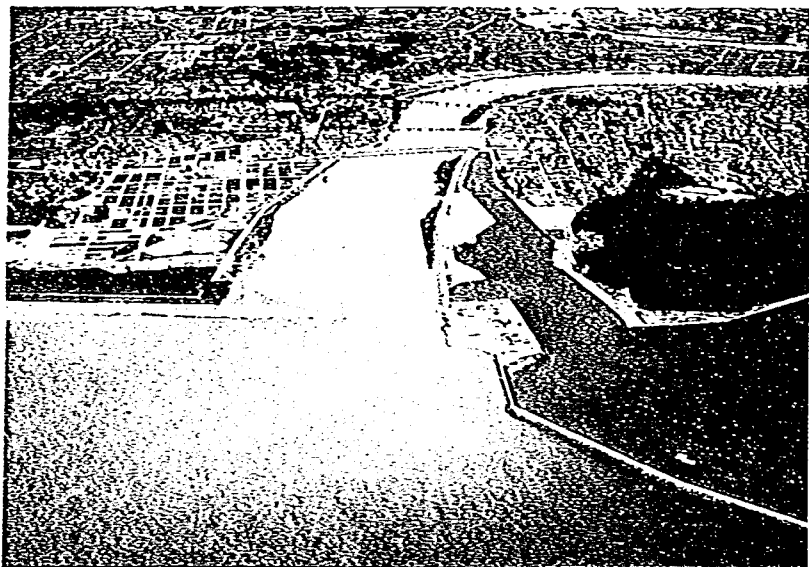


写真-3. 10 米代川河口部の空中写真（洪水時：1993年8月2日）

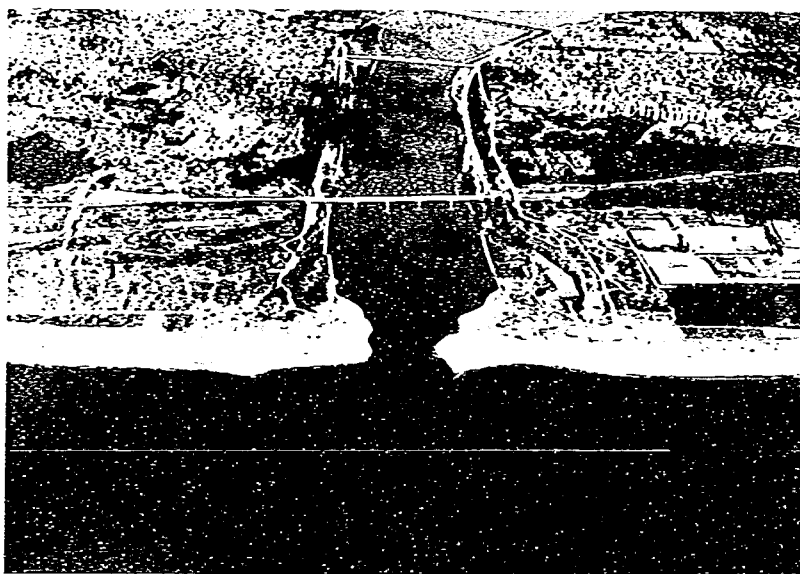


写真-3. 11 雄物川河口部の空中写真（平水時：1993年8月2日）



写真-3. 12 雄物川河口部の空中写真（平水時：1993年11月8日）

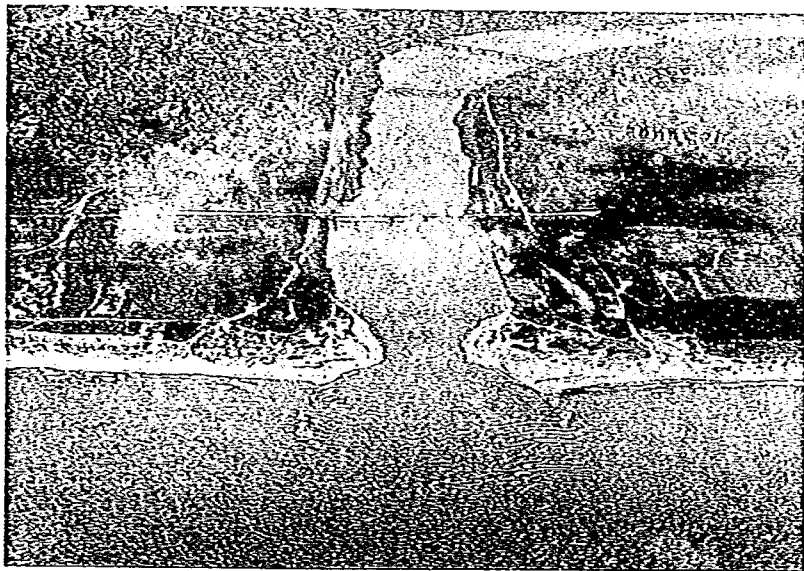


写真-3. 13 雄物川河口部の空中写真（洪水時：1991年8月2日）



写真-3. 14 子吉川河口部の空中写真（1992年11月22日）



写真-3. 15 最上川河口部の空中写真（1989年3月2日）

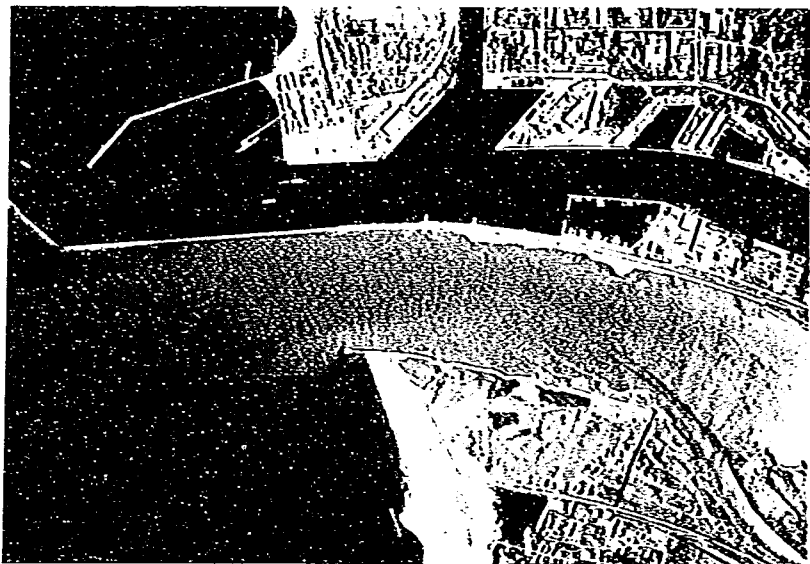


写真-3. 16 最上川河口部の空中写真（1991年3月19日）



写真-3. 17 荒川河口部の空中写真（1992年10月18日）

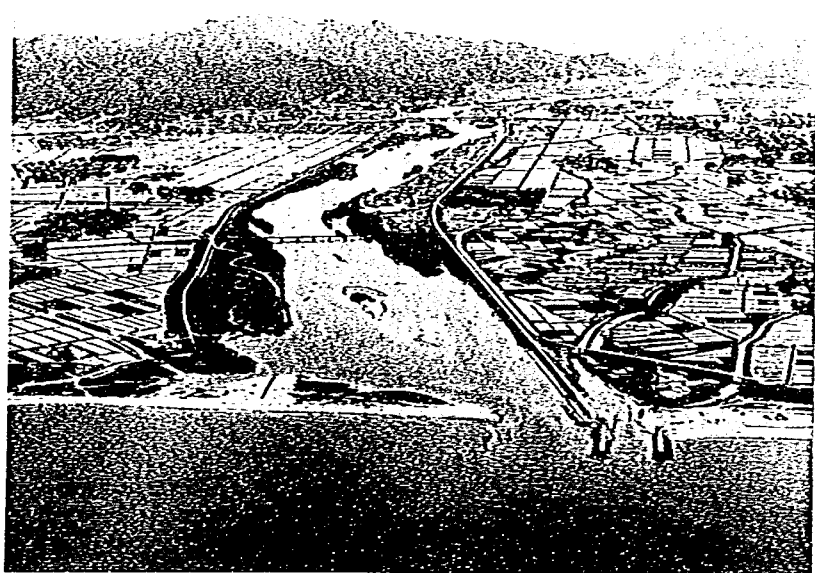


写真-3. 18 荒川河口部の空中写真（1993年5月17日）

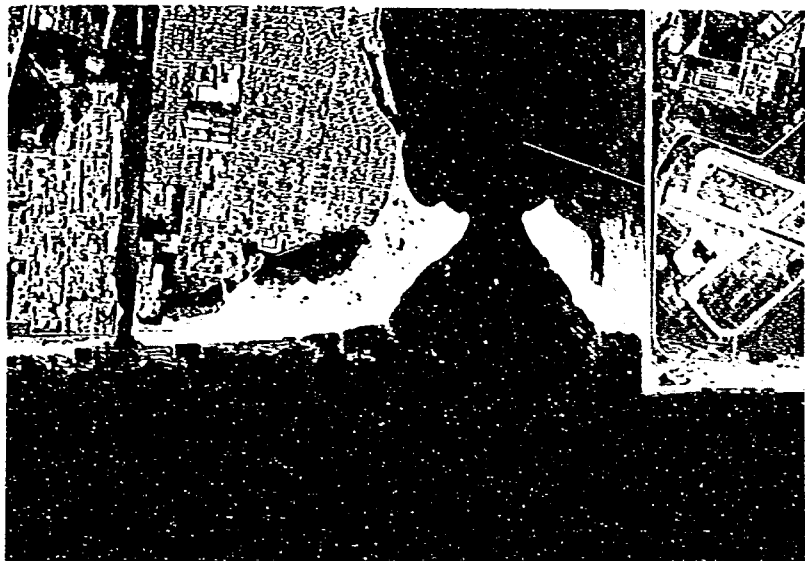


写真-3. 19 阿賀野川河口部の空中写真（1993年7月22日）



写真-3. 20 関川河口部の空中写真（1992年8月25日）

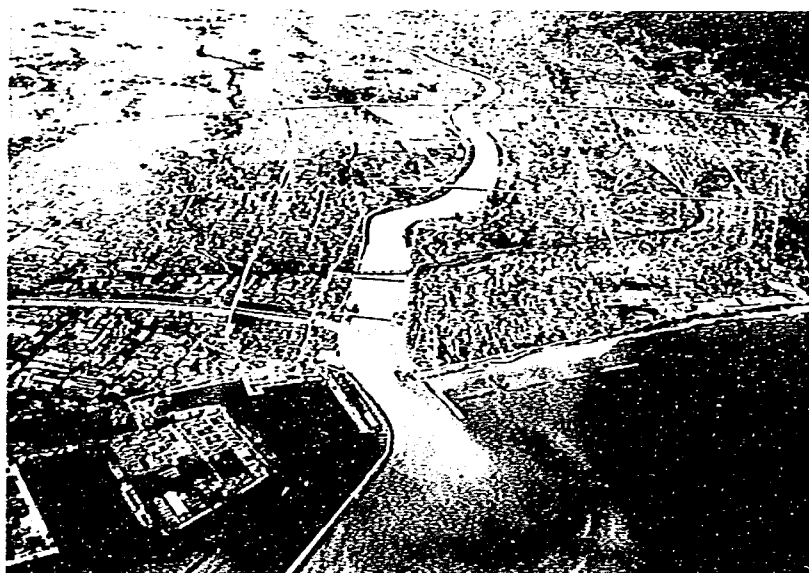


写真-3. 21 関川河口部の空中写真（1992年8月25日）



写真-3. 22 黒部川河口部の空中写真（1992年8月16日）



写真-3. 23 神通川河口部の空中写真（1991年11月22日）

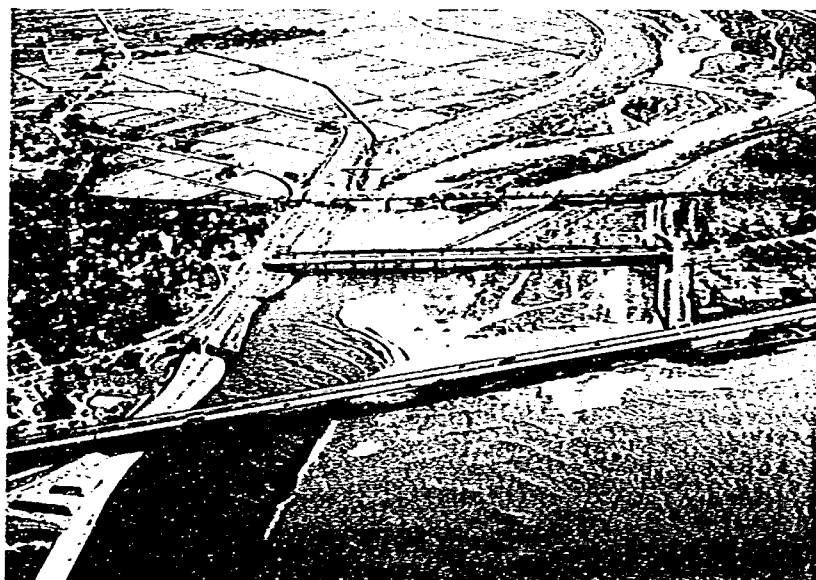


写真-3. 24 手取川河口部の空中写真（平水時：1992年11月2日）

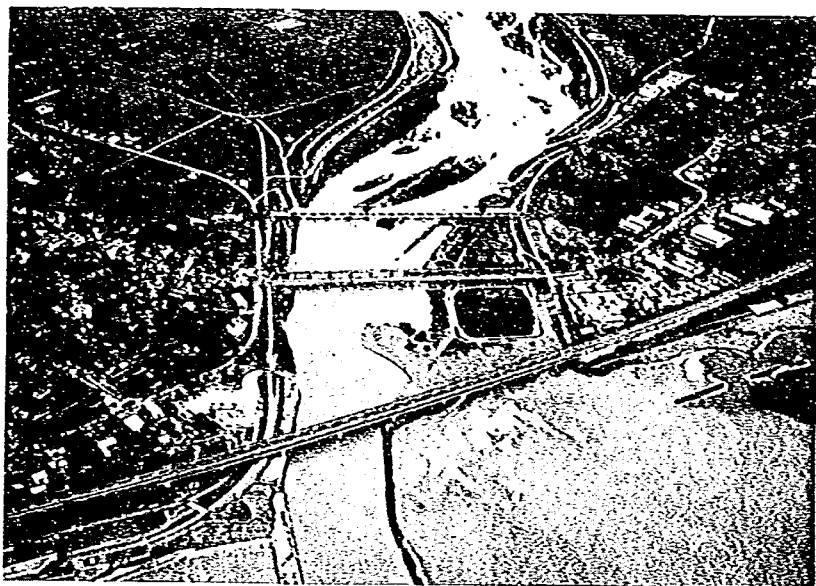


写真-3. 25 手取川河口部の空中写真（洪水時：1993年7月14日）



写真-3. 26 手取川河口部の空中写真（洪水時：1993年7月14日）

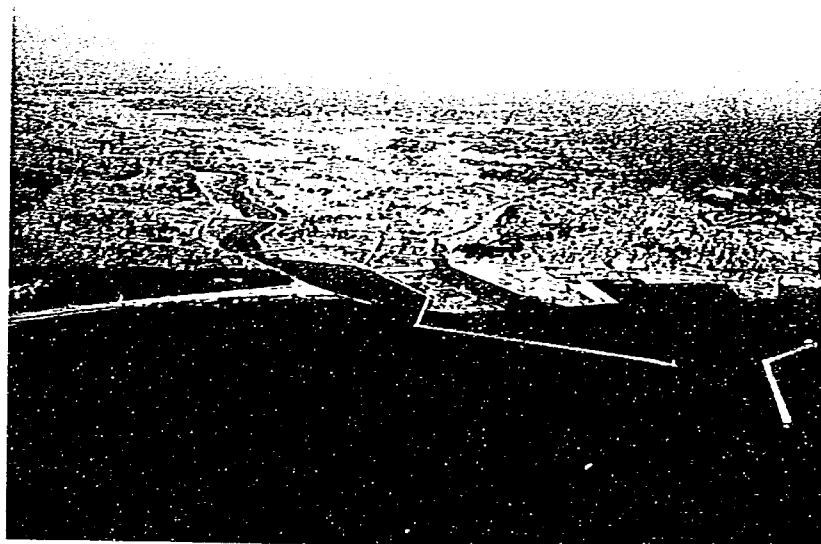


写真-3. 27 久慈川河口部の空中写真（平水時：1992年3月5日）

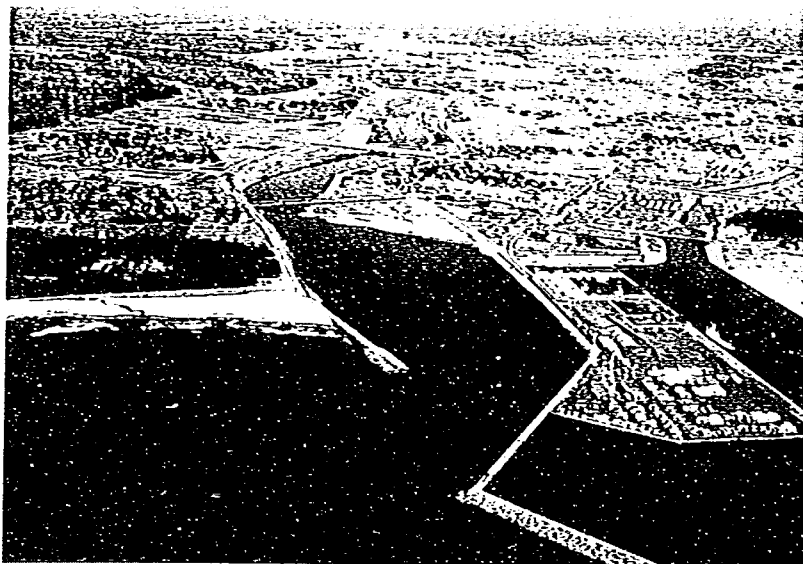


写真-3. 28 久慈川河口部の空中写真（平水時：1992年3月5日）

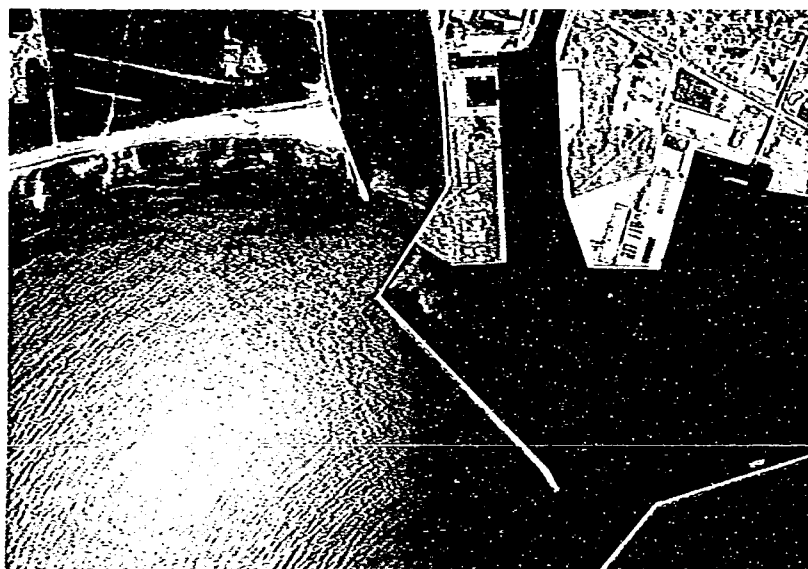


写真-3. 29 久慈川河口部の空中写真（平水時：1992年3月14日）



写真-3. 30 久慈川河口部の空中写真（洪水時：1986年8月5日）

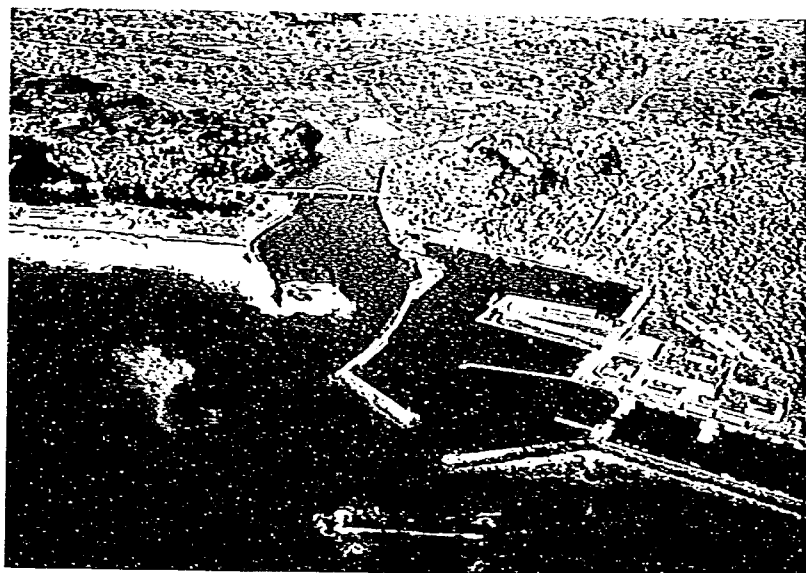


写真-3. 31 那珂川河口部の空中写真（平水時：1992年4月）



写真-3. 32 那珂川河口部の空中写真（洪水時：1986年8月5日）

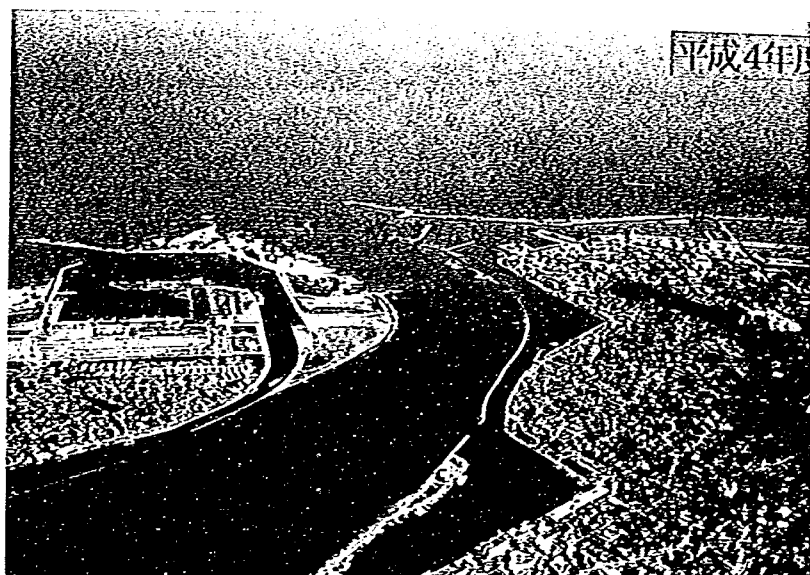


写真-3. 33 利根川河口部の空中写真（1992年3月31日）



写真-3. 34 利根川河口部の空中写真（1992年3月31日）



写真-3. 35 利根川河口部の空中写真（1992年3月31日）



写真-3. 36 相模川河口部の空中写真（平水時：1993年5月）

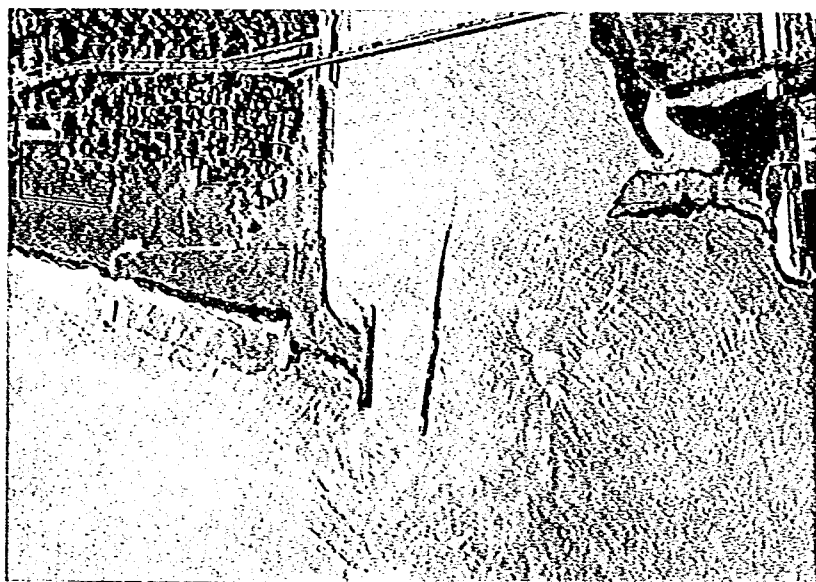


写真-3. 37 相模川河口部の空中写真（洪水時：1991年8月21日）

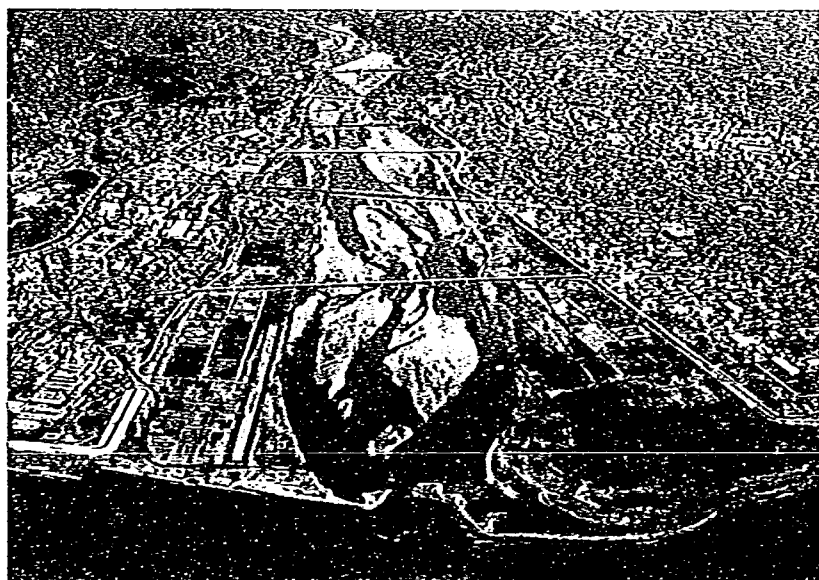


写真-3. 38 富士川河口部の空中写真（1992年3月）



写真-3. 39 安倍川河口部の空中写真（1992年3月）

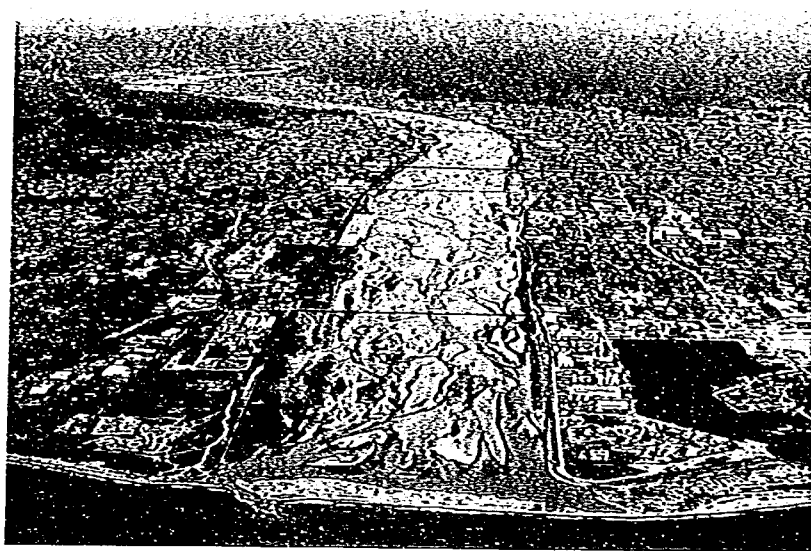


写真-3. 40 大井川河口部の空中写真 (1992年3月)

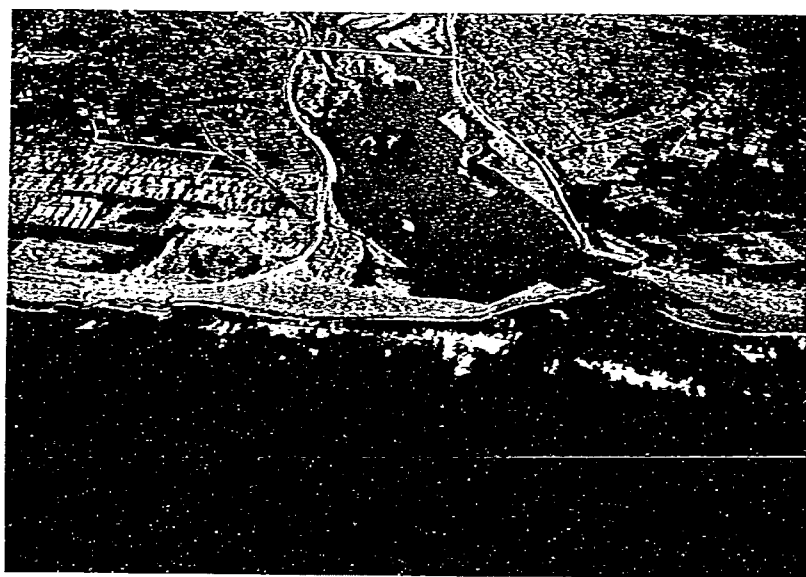


写真-3. 41 天竜川河口部の空中写真 (1985年2月11日)



写真-3. 42 天竜川河口部の空中写真 (1991年8月17日)

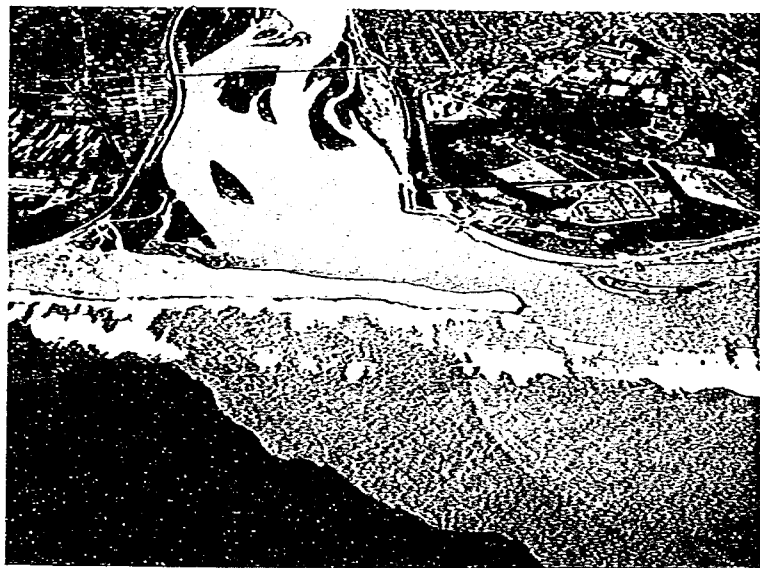


写真-3. 43 天竜川河口部の空中写真 (1993年7月29日)

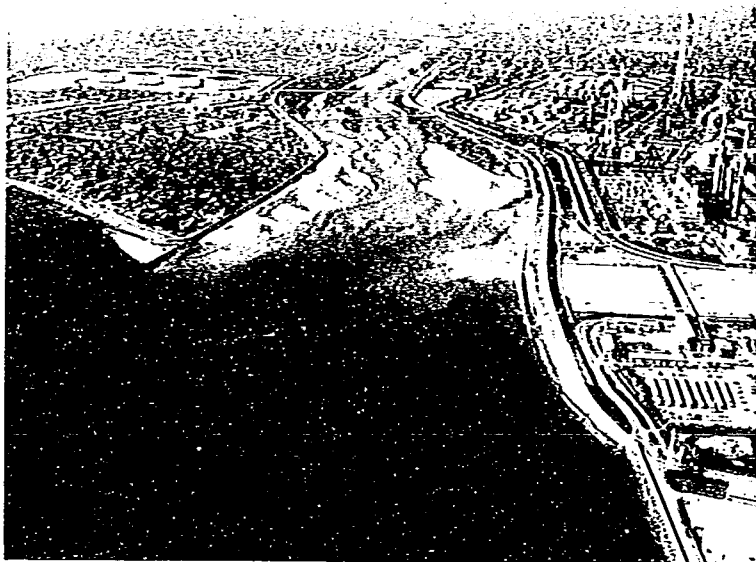


写真-3. 44 鈴鹿川 (本川) 河口部の空中写真 (平水時 : 1982年10月)

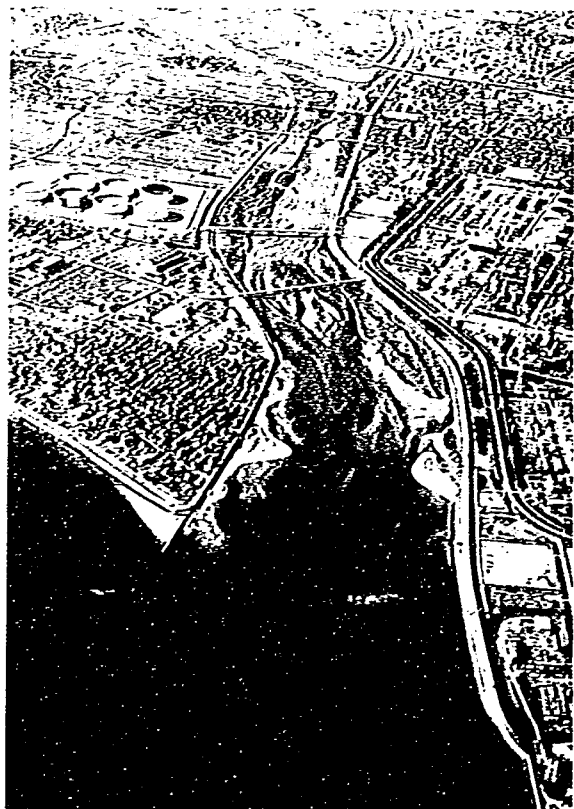


写真-3. 45 鈴鹿川 (本川) 河口部の空中写真
(平水時 : 1986年11月)

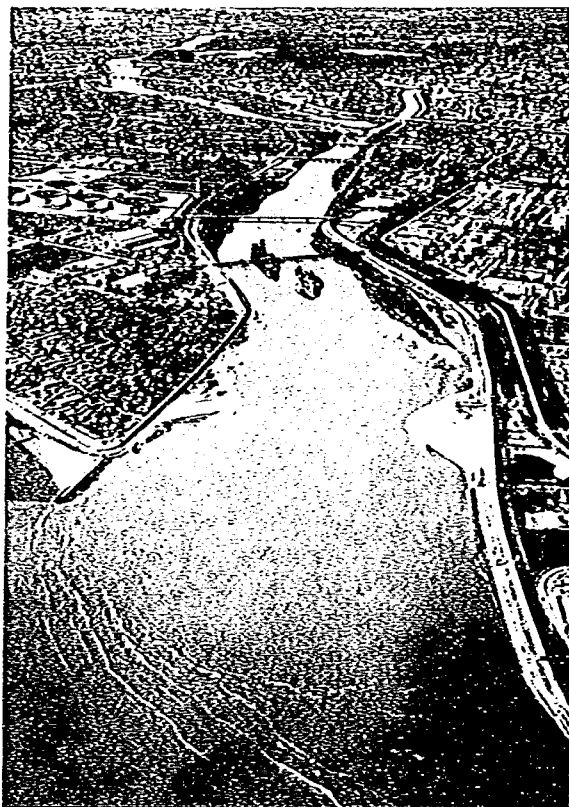


写真-3. 46 鈴鹿川（本川）河口部の空中写真
（洪水時：1990年9月）

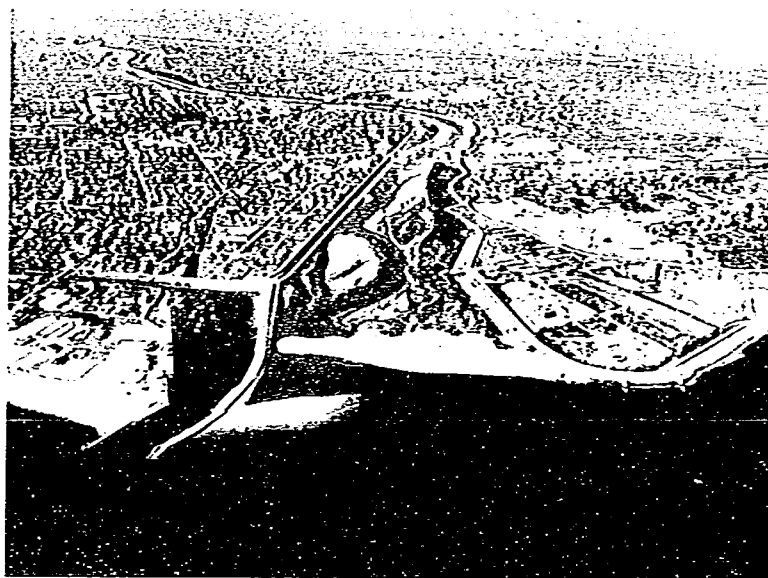


写真-3. 47 鈴鹿川（派川）河口部の空中写真
（平水時：1982年10月）



写真-3. 48 鈴鹿川（派川）河口部の空中写真
（平水時：1986年11月）



写真-3. 49 鈴鹿川（派川）河口部の空中写真（洪水時：1988年8月16日）

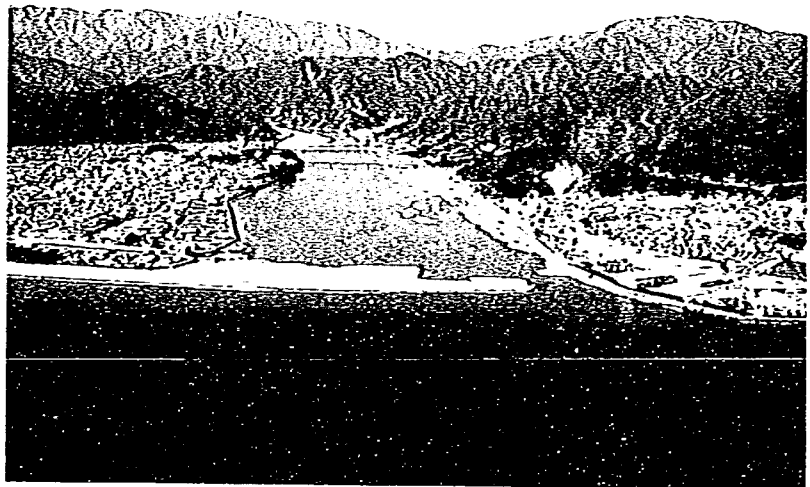


写真-3. 50 新宮川河口部の空中写真（平水時：1993年11月25日）

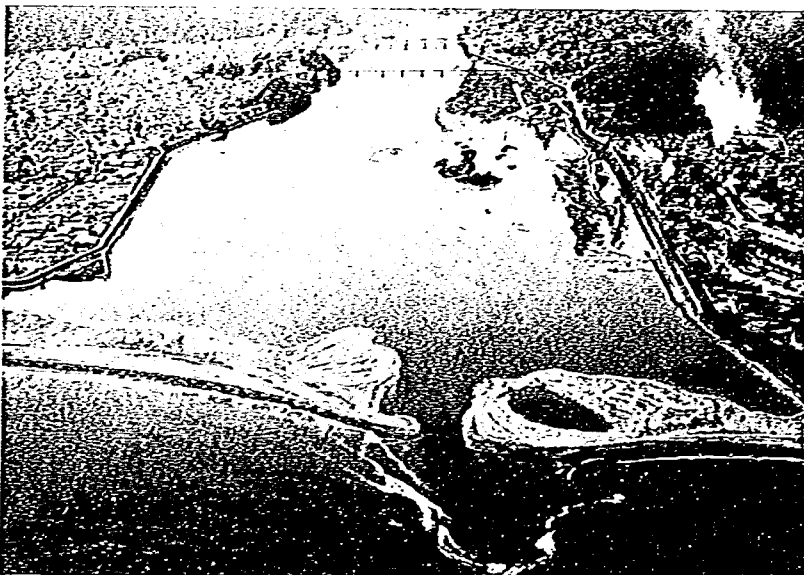


写真-3. 51 新宮川河口部の空中写真（平水時：1990年5月29日）

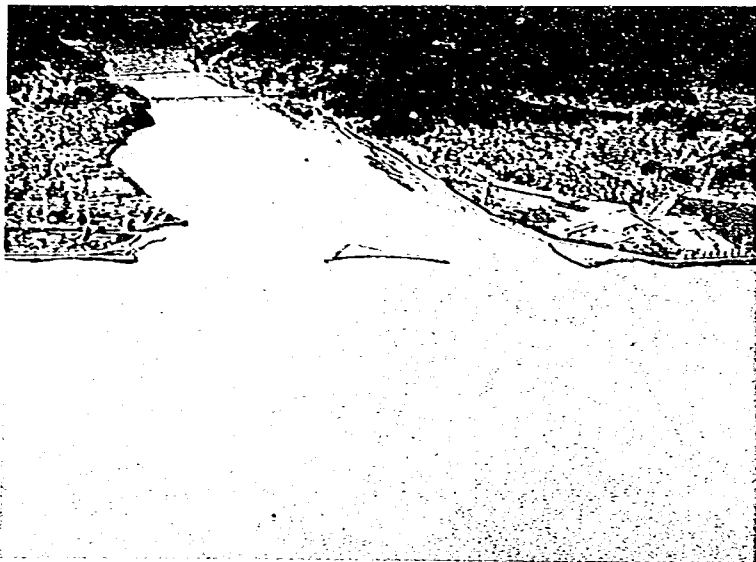


写真-3. 52 新宮川河口部の空中写真（洪水時：1990年9月20日）



写真-3. 53 新宮川河口部の空中写真
（平水時：1990年10月30日）



写真-3. 54 九頭竜川河口部の空中写真（1978年）

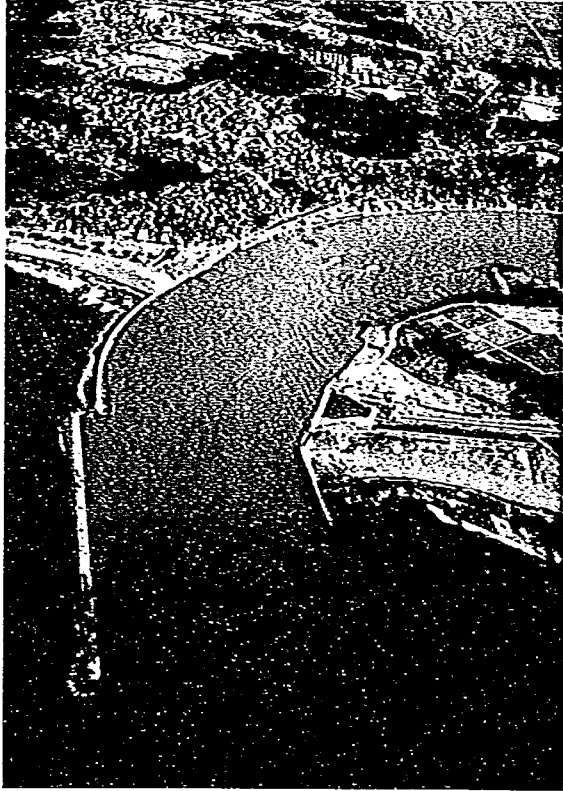


写真-3. 55 九頭竜川河口部の空中写真
(1989年10月)



写真-3. 56 由良川河口部の空中写真(平水時:1992年4月)

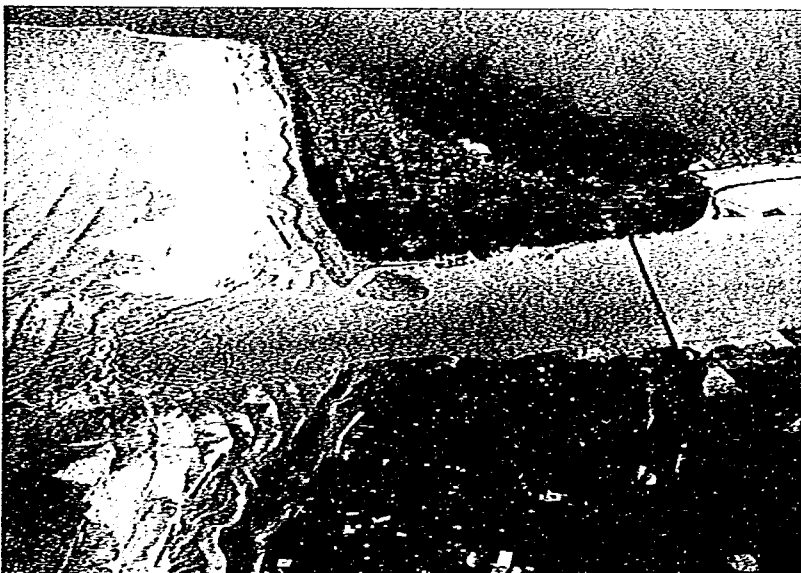


写真-3. 57 由良川河口部の空中写真(洪水時:1990年9月)

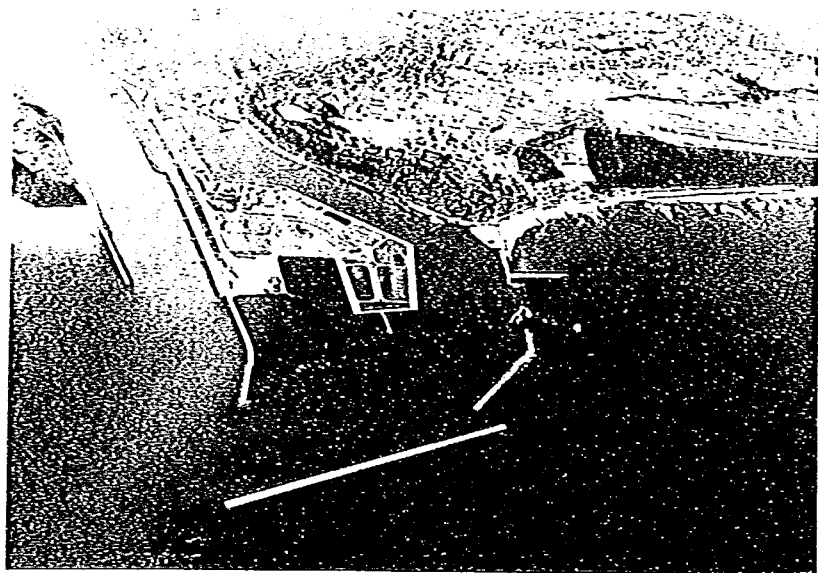


写真-3. 58 千代川河口部の空中写真 (1990年)

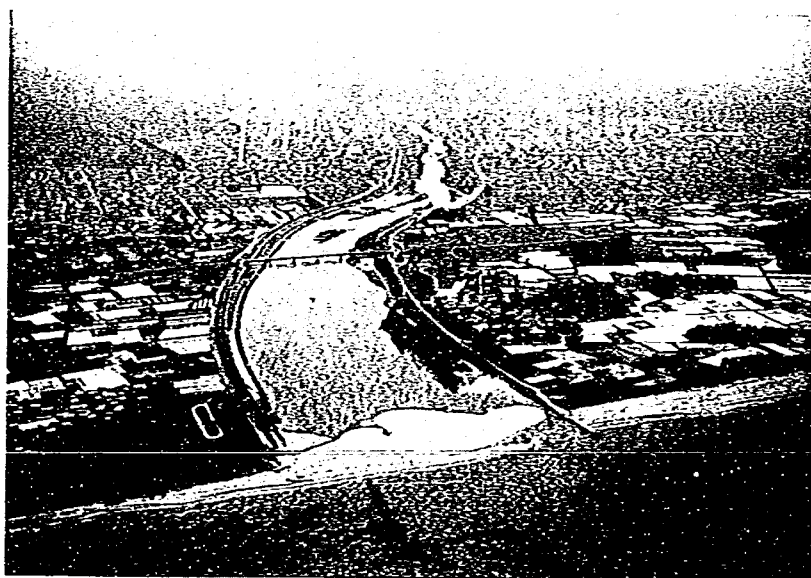


写真-3. 59 天神川河口部の空中写真 (1993年3月22日)

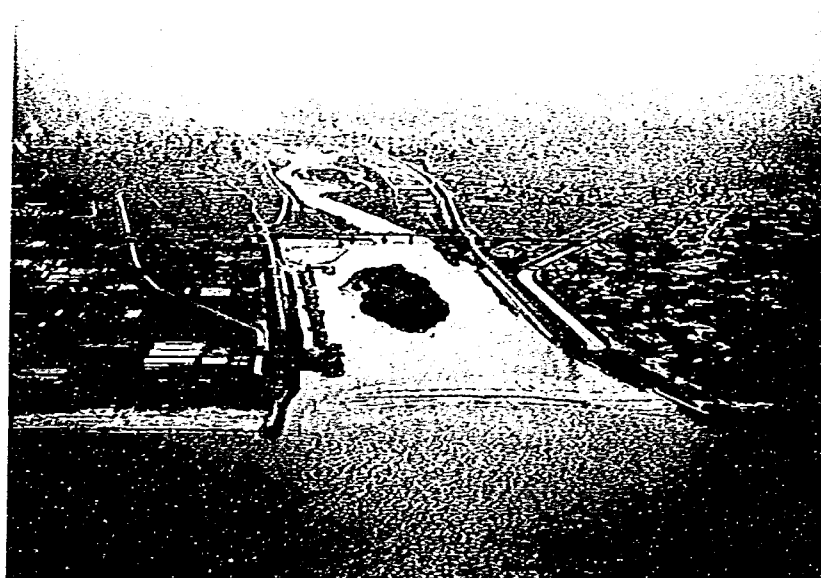


写真-3. 60 日野川河口部の空中写真 (1993年3月22日)



写真-3. 61 江の川河口部の空中写真（1993年3月）

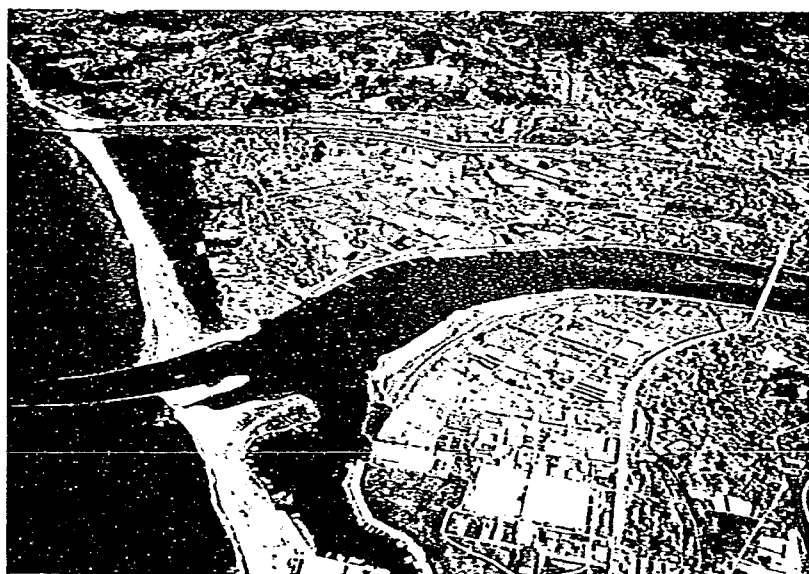


写真-3. 62 高津川河口部の空中写真（1993年3月）



写真-3. 63 物部川河口部の空中写真（1991年6月28日）



写真-3. 64 仁淀川河口部の空中写真（平水時：1991年2月23日）



写真-3. 65 仁淀川河口部の空中写真（洪水時：1993年8月12日）



写真-3. 66 渡川河口部の空中写真（1987年）

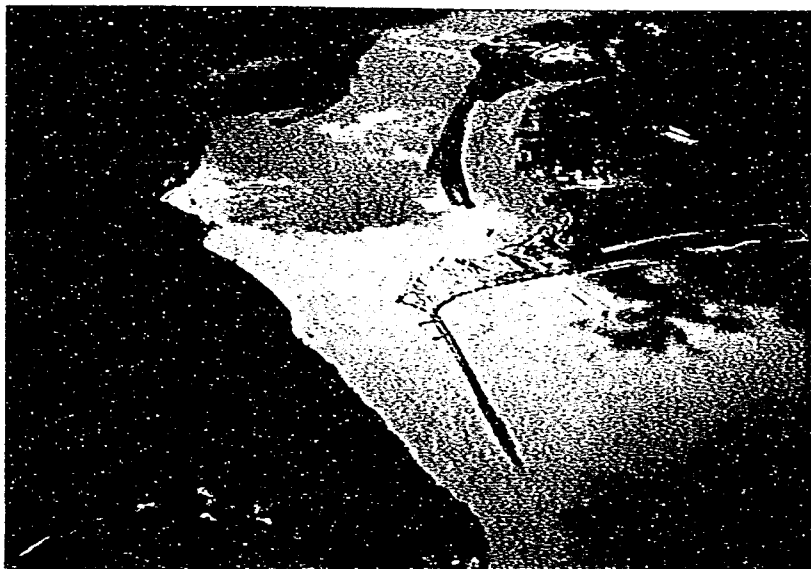


写真-3. 67 渡川河口部の空中写真（1987年10月17日）

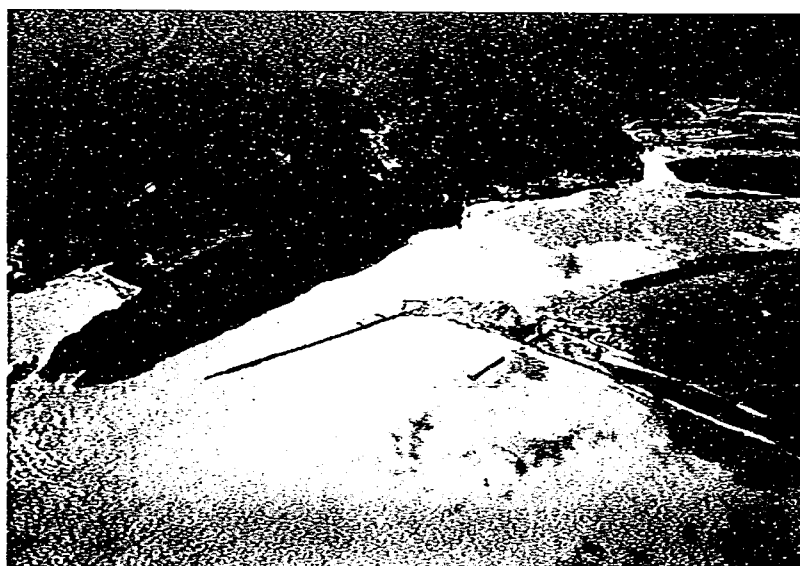


写真-3. 68 渡川河口部の空中写真（1987年10月17日）



写真-3. 69 渡川河口部の斜め写真（1982年 8月28日）

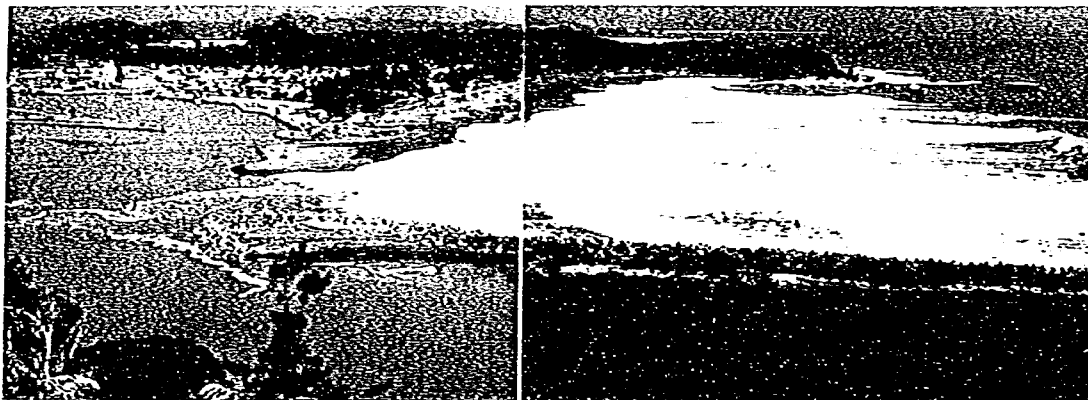


写真-3. 70 渡川河口部の斜め写真 (1982年9月2日)



写真-3. 71 渡川河口部の斜め写真 (1982年9月6日)



写真-3. 72 渡川河口部の斜め写真 (1982年9月13日)



写真-3. 73 渡川河口部の斜め写真 (1982年9月25日)



写真-3. 74 渡川河口部の斜め写真 (1982年9月27日)



写真-3. 75 渡川河口部の斜め写真 (1982年10月7日)



写真-3. 76 渡川河口部の斜め写真 (1982年10月11日)



写真-3. 77 五ヶ瀬川河口部の空中写真 (1978年6月)



写真-3. 78 五ヶ瀬川河口部の空中写真 (1978年6月)

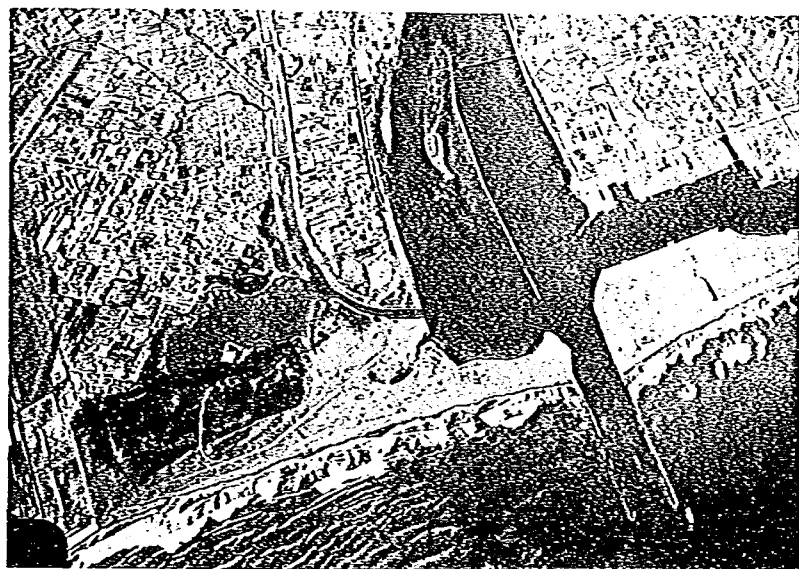


写真-3. 79 大淀川河口部の空中写真

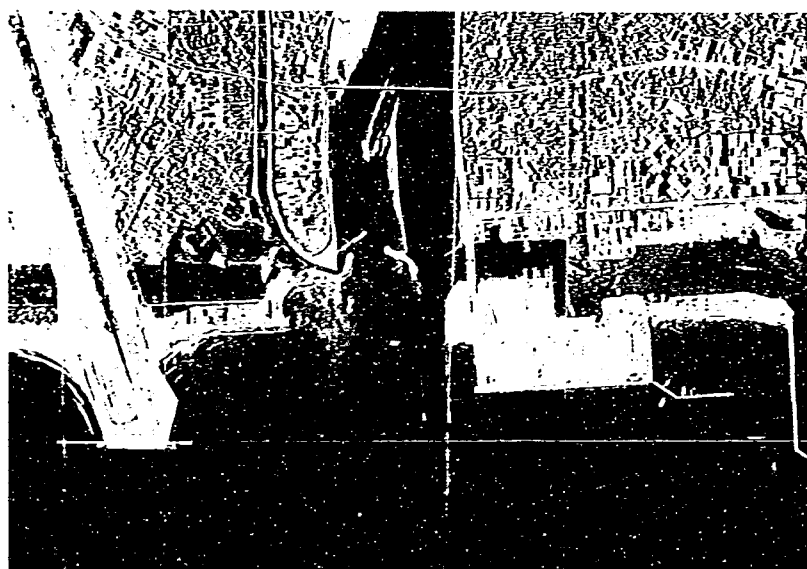


写真-3. 80 大淀川河口部の空中写真（1991年1月18日）

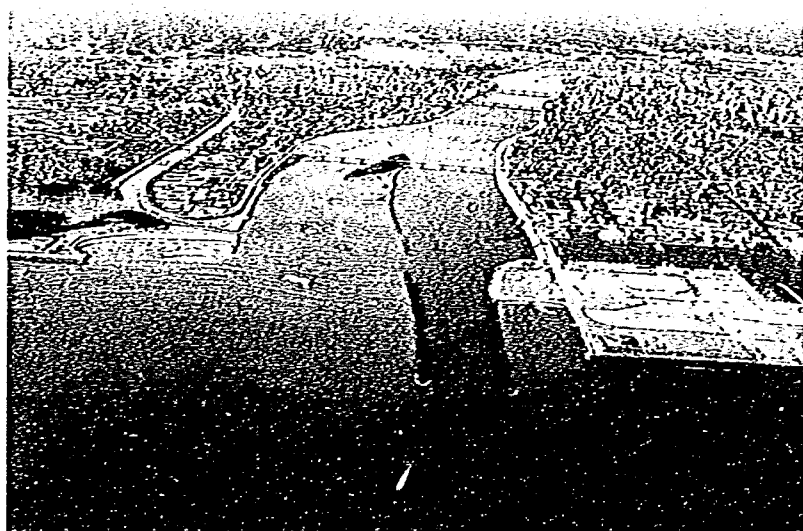


写真-3. 81 大淀川河口部の空中写真（1991年3月11日）

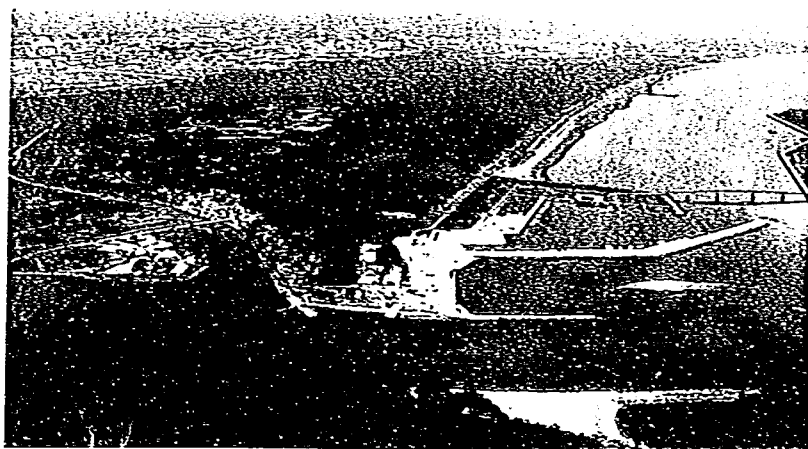


写真-3. 82 肝属川河口部の空中写真（1993年9月17日）

第4章 河口地形特性の分類と河口部の諸問題

4. 1 まえがき

第3章では、空中写真と深淺測量データをもとに、全国より代表的に選ばれた39河川の河口部の地形・水理特性を個々に検討した。ここでは得られた結果をできる限り普遍化・一般化するべく整理することとする。最初に河口状況を河口形状、砂州の伸長方向、支川合流、導流堤の方式、河口部の利用状況および河床材料の点より分類する。次いで人工構造物の影響があまり強く現われていない河川の河口形状が、河床勾配約 $1/2,000$ を境界として大きく2つにタイプ分類されることを明らかにする。第1のタイプは、緩流河川の場合に見られるタイプである。両岸より河口中心に向けて河口砂州が延び、両者の中央で最深部が形成されており、そこより下流方向へ水深が次第に小さくなるとともに、砂州の両側には角状の突起が形成されるタイプである。第2のタイプは河床勾配がほぼ $1/2,000$ より急な場合に見られ、砂州の汀線は周辺海岸とほぼ平行に延び、砂州の形が直線状で単純なものである。次に河口砂州のフラッシュ形態に着目し、それが側方侵食型、越流崩壊型、河床洗掘型に分類されることを示す。最後に、特に問題の発生が多く、本研究では具体的研究は行わなかった小河川を対象として河口処理の問題点と具体的な河口処理方式について述べる。

4. 2 河口状況の分類

河口部は河川流と波が作用する場であり、またそれらの外力は常に変動し、性質も一方向流と波動運動と異なっている。それゆえ河口部で生ずる水理現象は極めて複雑であり、各河川では異なった河口形状を呈し、特殊性が強い。しかし、河口部を巨視的に捉えれば幾つかの項目に分類することが可能であり、また分類することにより河川間での共通性を見出すことができ、複雑な河口現象の解明の糸口にもなりえる。よって本章では、収集整理した各河川の空中写真、深淺図および河口諸元より各地域毎に以下に示す項目および内容に準じて分類し、分類結果を表-4.1~4.8に要約する。

(1) 河口形状

直流型と偏流型に大別する。開口部が左右へ著しく変動する傾向は、砂質海岸に流入する河川で、かつ波浪および潮汐の影響を顕著に受ける所で多く見られる。河口部での河道の偏流は、洪水疎通能力を低下させるだけでなく、舟運の盛んな所では航路が固定されず、航路維持の障害となる。しかし近年導流堤や護岸および河口付替工事等により人工的に直流型化されている河口が非常に多い。これにより洪水疎通能力は増加し、また下流部では河道の短絡化により洪水時の水位は低下し、改修計画上も有効となる。今回調査した河川の中にも、かつては著しく偏流していたものがあり、例として荒川（北陸）、久慈川、千代川、日野川、天神川などが挙げられる。現在これらは、各種河口処理により直流型化されている。

(2) 砂州の伸長方向

河口砂州の伸長方向は、周辺地域における沿岸漂砂の卓越方向を概ね表わすものと考えられ、今後、

河口処理を実施する河川にとっては重要な指標となる。しかし、地域によっては経年的および季節的に漂砂の卓越方向が変動する場合があります、必ずしも砂州の伸長方向は一方向へ固定されている訳ではない。また近隣海岸に流入する河川でも日野川と天神川の例のように砂州の伸長方向が異なる場合もある。本調査における砂州の伸長方向は、空中写真撮影時のものであり、それ以外の時期にも常に同一方向を保つものではないことに注意するべきである。砂州の伸長方向が経年的および季節的に異なる河川の例として黒部川、新宮川、安倍川、物部川、日野川などが挙げられる。

(3) 支川合流

本川の河口部で合流している支川では、平水時の流量が少ないため支川単独で流水を直接海に流出させて河口を維持することは難しい。このため洪水時における本川水位の影響を軽減させると同時に内水排除をも容易にするため、本川の河口砂州直上流付近で支川合流を図る例が多い。近年、河口部では、河川からの土砂流出量の減少や河道掘削等に起因して河口砂州が河道内に後退し、かつ砂州の規模が縮小する現象が顕著になってきている。このような河口砂州の後退は本川と支川との合流部を閉塞させ、また波浪侵入を容易にし、河川構造物や河岸に被害をもたらす。このように支川合流の処理は、支川の流量規模が小さいがゆえに多くの問題が生じることになる。現状においてこれらの問題が生じている河川としては名取川、荒川、手取川、相模川、新宮川、日野川、物部川、仁淀川、大淀川が挙げられる。

(4) 導流堤の方式

河口閉塞の防止対策として、人工掘削や導流堤、暗渠、水門等が挙げられる。人工掘削は出水期のたびに実施しなければならず、手間がかかるので単独での適用事例は少なく、導流堤や中導流堤と併用されるケースが多い。また、暗渠や水門は、大河川ではその建設に多大な費用を要することから、計画流量の小さな準用河川に適用されており、一級河川では例を見ない。よって、河口閉塞を防止する代表的な処理工法としては、導流堤の設置が挙げられる。導流堤の設置箇所は、片岸、両岸、中導流堤に大別され、また施工方法も沖に向けて絞るもの、曲げてあるもの、防波堤のように河口前面を囲むものなど多種多様であり、その地域でより効果の得られるように工夫した形で施工されている。また、導流堤や防波堤により河口港を分離するケースも数多く見受けられる。

(5) 河口部の利用状況

河口砂州は塩水や波浪の侵入を防止する役目を果たすため、平水時にはある程度砂州が存在していた方が良い場合もある。しかし、河口港を有する河川では、平水時においても航路のため水深確保が必要となる。このような場合には、中導流堤を設置して河口の一部に航路を確保する例が多い。また、このような河口処理によっても水深が確保できない河口や、港湾規模の拡大に伴う大型船舶の航行のために、防波堤や導流堤によって河口と港を分離するケースが多く見られる。このようにして切り離された河口は、航路水深の必要性がなくなることから平水時の閉塞は許容されることになり、洪水時の河積確保のみが重要視される。

(6) 河床材料

河口部は波と流れが作用する場であるが、平水時には波の作用が卓越する。したがって河口部の地形は平水時に形成されるものであり、波と底質材料の特性により、ほぼ定められる。一般に底質材料の小さい河川は透水係数も小さいため、渇水時においても完全閉塞には至らない。これに対し砂利で構成される河口砂州は、透水係数が大きいいため比較的容易に閉塞される。

通常、河床材料は上流から下流へと流下するにつれて、物理的および化学的風化を受けるため粒径は漸減する。しかし、河口部の汀線付近では粗粒化された大粒径の河床材料が点在する河川（利根川など）がある。また、沖合では地形変化の限界水深（太平洋側では約10m、日本海側では8m～9m）付近で中央粒径が0.2mm～0.15mmとなる（宇多，1994）。これは洪水時に上流より運搬されてきた流出土砂が波によってふるい分けられるためである。表-3.1に示した平均粒径は詳細な観測位置が不明なため、用途には注意を払う必要があるが、平均粒径をもとに0.125mm～0.25mmを細砂，0.25mm～0.5mmを中砂，0.5mm～2.0mmを粗砂，2mm～4mmを細礫，4mm～64mmを中礫（砂利）と判別し、分類を行った。

表-4.1 河口状況の分類(東北地方)

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	馬淵川, 北上川, 鳴瀬川, 阿武隈川, 名取川, 米代川 雄物川, 子吉川, 最上川
	偏流型	岩木川
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	鳴瀬川, 名取川
	右岸側から	阿武隈川, 米代川
	両岸から	北上川, 雄物川
	無 し	岩木川, 馬淵川, 子吉川, 最上川
3. 支川合流	左岸側	鳴瀬川, 阿武隈川, 名取川, 最上川
	右岸側	
	無 し	岩木川, 馬淵川, 北上川, 米代川, 雄物川, 子吉川
4. 導流堤の 方式	片 岸	馬淵川, 阿武隈川, 米代川
	両 岸	岩木川, 子吉川, 最上川
	片岸+中導流堤	鳴瀬川, 名取川
	防波堤との兼用	馬淵川, 米代川, 最上川
	無 し	北上川, 雄物川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	岩木川, 名取川, 子吉川
	河口と港湾・漁港 との分離	馬淵川, 米代川, 最上川
	無 し	北上川, 鳴瀬川, 雄物川, 阿武隈川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	北上川
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	馬淵川, 鳴瀬川, 名取川
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	阿武隈川, 雄物川, 子吉川, 最上川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	米代川
	中礫(4 ~ 64mm)	岩木川

表-4.2 河口状況の分類（北陸地方）

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	荒川, 阿賀野川, 関川, 黒部川, 神通川, 手取川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	黒部川, 神通川, 手取川
	右岸側から	荒川
	両岸から	阿賀野川
	無 し	関川
3. 支川合流	左岸側	
	右岸側	荒川, 関川
	無 し	阿賀野川, 黒部川, 神通川, 手取川
4. 導流堤の 方式	片 岸	荒川, 神通川
	両 岸	関川
	片岸+中導流堤	手取川
	防波堤との兼用	関川, 神通川
	無 し	阿賀野川, 黒部川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	荒川, 手取川
	河口と漁港・港湾 との分離	関川, 神通川
	無 し	黒部川, 阿賀野川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	神通川
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	阿賀野川, 関川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	荒川
	中礫(4 ~ 64mm)	黒部川, 手取川

表-4.3 河口状況の分類（関東地方）

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	久慈川, 那珂川, 利根川, 相模川, 富士川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	相模川
	右岸側から	
	両岸から	富士川
	無 し	久慈川, 那珂川, 利根川
3. 支川合流	左岸側	相模川
	右岸側	富士川
	無 し	久慈川, 那珂川, 利根川
4. 導流堤の 方式	片 岸	
	両 岸	久慈川, 那珂川, 利根川
	片岸+中導流堤	相模川
	防波堤との兼用	久慈川, 那珂川, 利根川
	無 し	富士川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	相模川
	河口と漁港・港湾 との分離	久慈川, 那珂川, 利根川
	無 し	富士川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	那珂川
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	利根川
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	久慈川, 相模川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	
	中礫(4 ~ 64mm)	富士川

表-4.4 河口状況の分類 (中部地方)

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	安倍川, 大井川, 天竜川, 鈴鹿川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	大井川, 鈴鹿川 (派川)
	右岸側から	安倍川, 天竜川
	両岸から	鈴鹿川 (本川)
	無 し	
3. 支川合流	左岸側	天竜川
	右岸側	安倍川, 天竜川
	無 し	大井川, 鈴鹿川
4. 導流堤の 方式	片 岸	鈴鹿川 (本川), 鈴鹿川 (派川)
	両 岸	
	片岸+中導流堤	
	防波堤との兼用	鈴鹿川 (派川)
	無 し	安倍川, 大井川, 天竜川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	
	河口と漁港・港湾 との分離	鈴鹿川 (派川)
	無 し	安倍川, 大井川, 天竜川, 鈴鹿川 (本川)
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	鈴鹿川
	中礫(4 ~ 64mm)	安倍川, 大井川, 天竜川

表-4.5 河口状況の分類（近畿地方）

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	新宮川, 九頭竜川, 由良川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	
	右岸側から	新宮川
	両岸から	由良川
	無 し	九頭竜川
3. 支川合流	左岸側	
	右岸側	新宮川
	無 し	九頭竜川, 由良川
4. 導流堤の 方式	片 岸	
	両 岸	九頭竜川
	片岸+中導流堤	
	防波堤との兼用	
	無 し	新宮川, 由良川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	九頭竜川
	河口と漁港・港湾 との分離	
	無 し	新宮川, 由良川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	九頭竜川, 由良川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	
	中礫(4 ~ 64mm)	新宮川

表-4.6 河口状況の分類 (中国地方)

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	千代川, 天神川, 日野川, 江の川, 高津川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	日野川, 高津川
	右岸側から	天神川
	両岸から	
	無 し	千代川, 江の川
3. 支川合流	左岸側	日野川
	右岸側	天神川, 日野川
	無 し	千代川, 江の川, 高津川
4. 導流堤の 方式	片 岸	
	両 岸	千代川, 天神川, 日野川, 江の川
	片岸+中導流堤	高津川
	防波堤との兼用	千代川
	無 し	
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	江の川, 高津川
	河口と漁港・港湾 との分離	千代川
	無 し	天神川, 日野川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	千代川
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	天神川, 日野川, 江の川, 高津川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	
	中礫(4 ~ 64mm)	

表-4.7 河口状況の分類(四国地方)

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	物部川, 仁淀川, 渡川
	偏流型	
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	物部川, 仁淀川, 渡川
	右岸側から	
	両岸から	
	無 し	
3. 支川合流	左岸側	渡川
	右岸側	物部川, 仁淀川
	無 し	
4. 導流堤の 方式	片 岸	仁淀川
	両 岸	
	片岸+中導流堤	渡川(片岸は天然導流堤名鹿岬)
	防波堤との兼用	
	無 し	物部川
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	渡川
	河口と漁港・港湾 との分離	
	無 し	物部川, 仁淀川
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	
	中礫(4 ~ 64mm)	物部川, 仁淀川, 渡川

表-4.8 河口状況の分類（九州地方）

分 類		該 当 河 川 名
1. 河口形状	直流型	大淀川, 肝属川
	偏流型	五ヶ瀬川
2. 砂州の 伸長方向	左岸側から	
	右岸側から	大淀川
	両岸から	
	無 し	五ヶ瀬川, 肝属川
3. 支川合流	左岸側	五ヶ瀬川, 肝属川
	右岸側	大淀川
	無 し	
4. 導流堤の 方式	片 岸	五ヶ瀬川
	両 岸	肝属川
	片岸+中導流堤	大淀川
	防波堤との兼用	
	無 し	
5. 河口部の 利用状況	河口港・航路として	五ヶ瀬川, 大淀川, 肝属川
	河口と漁港・港湾 との分離	大淀川
	無 し	
6. 河床材料	細砂(0.125~0.25mm)	
	中砂(0.25 ~ 0.5mm)	五ヶ瀬川
	粗砂(0.5 ~ 2.0mm)	肝属川, 大淀川
	細礫(2.0 ~ 4.0mm)	
	中礫(4 ~ 64mm)	

4. 3 河口形状のタイプ分類

第3章で述べた各河川の特徴の相互比較によると、長大な防波堤や導流堤により囲まれておらず、人工構造物の影響があまり強く現われていない河川の河口形状は大きく2つのタイプに分類できる(表-4.9参照)。そしてタイプI, IIはさらに2つに細分化される。

タイプI-1は、両岸より河口中心へ向けて河口砂州が伸び、両者の中央で最深部が形成されており、そこより下流方向へ水深が次第に小さくなるとともに、砂州の両側には角状の突起が形成され、そこより上流側の汀線が凹状となるパターンである。また、タイプI-2は砂州の伸長が片岸からであり、砂州形状はタイプI-1を河口中央で2分した形態である。これに対しタイプII-1, II-2は砂州の汀線は周辺海岸とほぼ平行に延び、砂州の形が直線状で単純なものである。そして砂州の伸長方向の対岸にはしばしば小規模な導流堤が、あるいは砂州の先端には中導流堤が存在するタイプである。

タイプI-1の具体例は、写真-3.11, 3.12に示した雄物川河口と、図-3.19と写真-3.19に示した阿賀野川河口、そして図-3.33と写真-3.56に示した由良川河口に見い出すことができる。特に阿賀野川河口(図-3.19)と由良川河口(図-3.33)での砂州形状の一致度は非常に良好である。一方、図-3.15に示す雄物川の河口の深浅図ではタイプIの多くの特徴が残されているが、直前に発生した $Q \approx 3,000 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水による砂州のフラッシュが起きたため、わずかに特徴が異なる。以上に取り上げた雄物川、阿賀野川および由良川は、いずれも日本海側に流入する河川で、河口部付近の河床勾配がそれぞれ $1/3,000$, $1/6,400$, $1/4,000$ であって緩流河川に入るとともに、潮差が少なく、冬季風浪と融雪出水の作用を毎年必ず受けることで特徴付けられる。

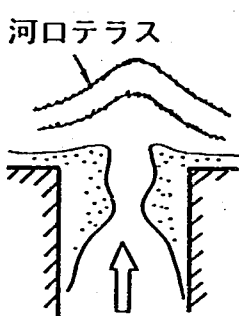
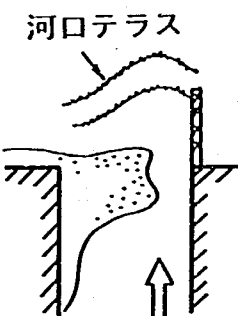
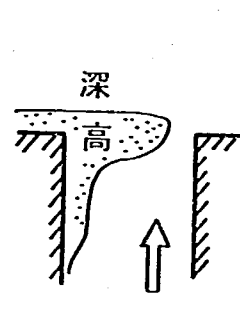
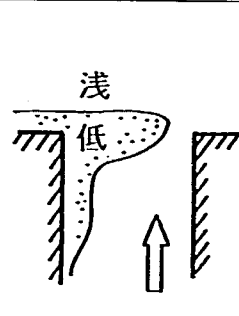
タイプIIには荒川河口(図-3.18, 写真-3.17, 3.18), 新宮川河口(図-3.31), 天神川河口(写真-3.59), 日野川河口(図-3.35, 写真-3.60), 仁淀川河口(図-3.38), 渡川河口(図-3.39)などに見られる。また表-3.1より各河川の河床勾配を調べると、荒川($1/600$), 新宮川($1/1,000$), 天神川($1/620$), 日野川($1/1,370$), 仁淀川($1/1,230$), 渡川($1/1,800$)といずれも比較的急勾配である。これら6河川のうち、太平洋側に位置する河川が新宮川, 仁淀川, 渡川であって、荒川, 天神川および日野川は日本海側に面している。これらの地域の違いに応じて海底地形はかなり異なる。荒川河口(図-3.18)と日野川河口(図-3.35)の深浅図によると、汀線付近の比較的急勾配な範囲はそれぞれ-3 m以浅(荒川), -2 m以浅(日野川)であって、それより沖合には平坦面があったあと、沿岸方向に平行に等深線が伸びている。これに対し新宮川(図-3.31), 仁淀川(図-3.38)および渡川(図-3.39)では-6 m付近まで急激に落ち込んでいる。このことは河床勾配が急であるのと同時に、作用波浪の違いに帰すると考えられる。

タイプII-1に属する河川の河口では、河口砂州の前面水深が-4~-6 mと深く、同時に砂州高も4~5 mと高い。一方、タイプII-2に属する日野川河口や荒川河口では-2~-3 mの前面水深に対し、砂州高も2~3 mと低い。このように砂州の前面水深と砂州高とはかなりよい対応を示している。このことはこれらの河川の河口部での海浜変形が、堀川ほかのタイプ分類のⅢ型、つまり汀線のすぐ沖合が掘られ、その砂礫が前浜上にうちあげられる変形が生じていることを示している(例えば、本間・堀川, 1985参照)。そしてタイプⅢ型の海浜変形は沖波波形勾配が小さいほど、また波形勾配が一定の場合には粒径が大きいほど生じ易いので、前述のタイプII-1, 2の生じる海岸の波浪

条件を比較すると、太平洋側で南東方向に向いている海岸では、日本海側と比較して台風時のうねりなど、波形勾配のより小さな波を受け易く、この結果として前面水深が大きく、高さの高い河口砂州が発達したと考えられる。

結局、河床勾配が $1/600 \sim 1/1800$ と比較的急勾配の河川が海へ流入する場合にはタイプⅡ型の河口形状となるが、作用波浪の波形勾配に応じてタイプⅡが2つに区分されると考えられる。

表-4.9 河口砂州形状のタイプ分類

河 口 部 河床勾配	緩流河川 ($i_b < 1/2,000$)		急流河川 ($i_b > 1/2,000$)	
タ イ プ	I - 1	I - 2	II - 1	II - 2
平 面 形 状				
特 徴	両岸より砂州が伸長し、その先端部には角状の突起が形成され、そこから上流側の汀線は凹状となる。河口テラスの発達が著しい。	片岸から砂州が伸長し、砂州形状はタイプⅠ-1を河口中央部で2分した状態となる。対岸には不透過構造物がある。河口テラスの発達が著しい。	砂州がほぼ直線状に伸長する。砂州前面水深が大きく、砂州高も高い。太平洋側に注ぐ河川。河口テラスの発達はよくない。	砂州形状はタイプⅡ-1と同一であるが、砂州前面の水深が小さく、砂州高も低い。日本海側に注ぐ河川。河口テラスの発達はよくない。
該 当 河 川	雄物川 阿賀野川 由良川	北上川 阿武隈川 米代川	安倍川 新宮川 大井川 物部川 天竜川* 仁淀川	荒川 天神川 日野川

*天竜川はかなり規模の大きな河口テラスを持つのでやや中間的性質を有する。

4. 4 河口砂州のフラッシュ特性

平水時に河口を著しく閉塞させている砂州は、多くの場合洪水時には河川水によりフラッシュされる。これは、河川が自らの力で洪水流下に必要な河口河積を確保しようとする極めて自然な現象である。

砂州のフラッシュ特性は、各河川の水利特性の中で述べたように各河口部毎に様々であるが、マクロ的に見ればある程度特徴付けることが可能である。ここでは、砂州のフラッシュ形態を側方侵食型、越流崩壊型、河床洗掘型に大別し、さらには河口部の平水時における砂州形状やそこに施工されている処理工などから4つのタイプに細分類し、それぞれの特徴について述べる（表-4.10参照）。

タイプAは側方侵食型で河口処理工はなく、平水時には閉塞の著しい河口部である。開口部は沿岸漂砂の卓越方向や河道内のみお筋の位置により定められ、左岸側、右岸側、中央部と各河川様々である。また、開口部位置が季節的および経年的に変動する河口部もある。砂州形状は、河川からの流出土砂量が多く、波浪作用の小さい河口部では砂州が沖に凸状となり、その逆の場合は凹状となる。洪水時には流量増加に対し、河床洗掘を伴いながら側方に侵食が進行し、開口部は徐々に広げられる。しかし、流量ハイドログラフの立ち上がり部分が急勾配の場合は側方侵食による河積拡大が追いつかず、河道内水位が上昇して砂州を越流するようになると一挙にフラッシュされる。タイプBはタイプAと同様側方侵食型であるが、片岸が導流堤や防波堤等の処理工により固定されており、河口砂州はその対岸から伸長する。よって、開口部位置は季節的および経年的にほぼ固定されている。砂州のフラッシュ特性は、タイプAとほぼ同一であるが、片岸が導流堤等の処理工により固定されていることが相違点として挙げられる。タイプCは越流崩壊型で片岸から砂州が伸長し、河口部は閉塞状態となるが中導流堤により一部の開口幅は維持されている。砂州の伸長を人工的に抑制するために砂州高が高くなることが多い。このような河口は、航路維持の必要性が高いところで多く見られ、幅とともに水深も確保する必要があるため、その大半は導流堤間隔を沖に向け絞る特徴を持つ。中導流堤による河口処理は、洪水時には縮流状態となり河道内水位が著しく上昇し洪水疎通の妨げとなることから治水上の目的から計画されることは少なく、むしろ平水時の航路維持に主眼を置いて計画される。よって堤内地盤高の低いところでは不向きとなり、中導流堤による河口処理を適用する際には、水位上昇に伴う二次的影響等について十分検討する必要がある。砂州のフラッシュ特性は、洪水初期に洪水流が片岸導流堤と中導流堤の間を河床洗掘を伴いながら流下し、その後は流量増加に伴い河道内水位は縮流の影響を受けて著しく上昇し、砂州高の低い中導流堤際から越流が始まり、越流水深が20～30cm程度になると砂州は部分的にフラッシュされる。さらにその後の流量増加に対し、鉛直方向の洗掘を伴いながら側方に広げられる。タイプDは河床洗掘型で両岸が導流堤、防波堤、護岸等により固定されているために砂州の形成が見られず、河口がほぼ維持されている場合である。河口幅をその河川が持つ安定状態よりも著しくかけ離れた幅で維持しようとする、河道内に浅瀬や中州が生じて高水敷化することもある。洪水時には流量増加に対する河積の確保を河床洗掘によりまかなう。横断方向への広がりには導流堤等の構造物により抑制される。横断方向の掃流力分布が均一でない場合が多く、局部的に深掘れが生じることがある。

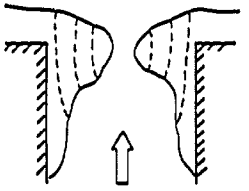
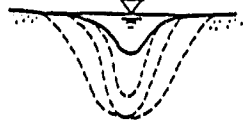
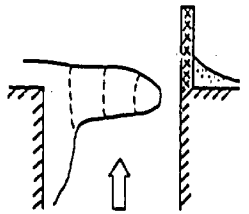
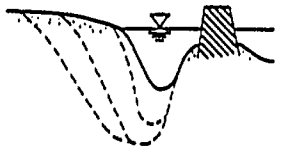
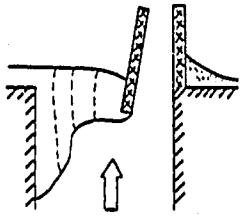
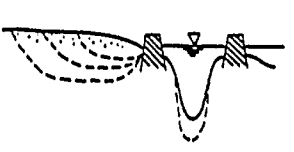
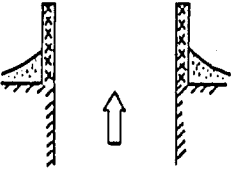
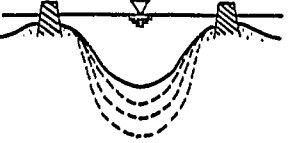
以上、4つのタイプのフラッシュ特性について述べたが、実際の河口部で生じるフラッシュ現象は極めて複雑であり、上述したパターンの複合型も存在し、また同一河口においても洪水時の流量波形

の立ち上がりの形状、すなわち流量の増加割合やそれ以前の洪水により形成された砂州の形状によって、その形態が変化する場合がある。例えば側方侵食型に分類される河口部で、洪水の流量波形の上昇速度が遅い場合はその形態を維持しえるが、上昇速度が速い場合は流量増加に伴う河口河積の拡大が追いつかず、越流崩壊型に近い状態となる。また、現在は側方侵食型でも、将来は砂州部が植生の繁茂などにより固結度を増し、流量増加に伴う河口河積の拡大を頑固に拒否する河口部も現われてくるであろう。さらに越流崩壊型の河口部でも、中導流堤の基部が長期にわたる河川流と波の作用を受けて沈下しているようなところや透過性が大きい場合、中導流堤を乗り越えて砂州が伸長し、かつその周辺の砂州高が低いため、側方侵食型に近い状態となる。また、洪水初期の河口部における河積拡大は、まず鉛直方向に進行し、その後側方侵食を経てさらに砂州越流へと進む。ただし河床洗掘は、大粒径の河床砂が底層を覆い、ある深さ以上の洗掘を防止する役目を果たしている場合もある。

河口部での砂州フラッシュ機構は上述したように非常に複雑であり、それを正確にシミュレートする計算は単純な条件の場合に限られる。砂州のフラッシュ過程が典型的な側方侵食型や河床洗掘型である場合には、ある程度の再現性が得られるが、越流崩壊型の場合には砂州上で射流となることが多く、このような時には再現性は得られにくい。よってフラッシュ計算を実施する際には、洪水実績からその河口部で砂州がどのような過程で崩壊していくかを把握し、その河口部に合った適切なモデル化を行い、またその適用性については十分検討する必要がある。

なお、河口砂州のフラッシュ特性において、主流部に位置する箇所や流れの集中するような構造物回りでは、洗掘深が10m以上になることが稀ではないので構造物の設計、施工等に際しては十分留意する必要がある。

表-4. 10 河口砂州のフラッシュ形態のタイプ分類

タイプ	形態	平面形状	横断形状	平水時の河口部の特徴	フラッシュ特性	該当河川
A	側方侵食型			河口処理はなく、閉塞が著しい。開口部は沿岸漂砂の卓越方向や河道内のみお筋位置により定められ、各河川様々である。	洪水時の流量増加に対し河床洗掘を伴いながら側方に侵食が進行し、開口部は徐々に広げられる。	北上川、雄物川、黒部川、阿賀野川、富士川、安倍川、大井川、天竜川、新宮川、由良川、物部川
B				片岸が導流堤等の構造物により固定されており、砂州は対岸から伸長する。よって、開口部位置は季節的および経年的にほぼ固定されている。	洪水時の流量増加に対し河床洗掘を伴いながら側方に侵食が進行し、開口部は徐々に広げられる。片岸は導流堤等の構造物により固定されている。	阿武隈川、米代川、荒川、神通川、日野川、天神川、仁淀川
C	越流崩壊型			片岸から砂州が伸長し、河口部は閉塞状態となるが、中導流堤により一部の開口幅が維持されている。砂州高が中導流堤に向かうにつれ低くなっている。	河道内水位が上昇し、砂州高の低い中導流堤際が部分的にフラッシュされる。開口部はその後の流量増加に対し、鉛直方向の洗掘を伴いながら側方に広げられる。	鳴瀬川、名取川、手取川、相模川、高津川、渡川、大淀川
D	河床洗掘型			両岸が導流堤、防波堤、護岸等の構造物により固定されているため、河口部は維持されている。	流量増加に対する河口河積の確保を河床洗掘によりまかなう。横断方向への広がり、導流堤等の構造物により抑制される。	岩木川、馬淵川、子吉川、最上川、関川、久慈川、那珂川、利根川、鈴鹿川、九頭竜川、千代川、江の川、五ヶ瀬川、肝属川

注) 図中の --- は、砂州の崩壊過程を表す。

4. 5 小河川における河口処理の問題点と河口処理方式

前節までに大河川における河口部の諸特性や問題点等について述べてきた。大河川では、河口閉塞問題の解決のために種々の河口処理対策が行われている。これに対し、小河川では河口が容易に閉塞し、その問題がより深刻である。ここでは、このような小河川における河口処理の問題点について述べることにする。

河口で生じる現象は、大河川、小河川のいずれを問わず、自然の営力に対する河口の応答についての法則性は同一である。しかしながらその法則性を把握すれば河口問題が全て解決するというにはならない。すなわち、河口処理という技術的立場においては、大河川と小河川の河口処理はかなり異なってくる。その違いは次のようである。

小河川では、一般に海岸浜堤の後背湿地が水田に利用されるなど、土地利用の高度化が進んでいる。このような低平地の排水を行うための排水路や小河川は、波によって容易に閉塞して低平地を湛水させ、農業生産に被害を与える。この被害を防ぐために、人工的に河口砂州を切り開いたり、導流堤、暗きょ等によって閉塞回数を減らす努力がなされてきた。しかし、この努力も十分な効果を発揮したとは言えず、導流堤の場合、多少閉塞回数を減らすことができたものの、多くの効果は得られなかった例が多い。また、暗きょ工も適切な計画、施工がないと失敗している。

このように小河川の河口処理が難しいのは、小河川でも海側からの営力が変わらないにもかかわらず、流域面積が小さく、流量が小さいため、河川水による砂州のフラッシュ能力が小さいためである。また、小河川のために河口処理対策に多額の治水投資ができなという経済上の制約も加わる。その上農業被害を減らし、土地の生産量を高めるという目的と治水との矛盾も大きい。小河川で計画高水流量を大きくし、それを河道のみで受け持たそうとすると、河口河積を大きくしなければならなくなり、河口閉塞をより防ぎにくくする。また技術的手法によって洪水時の河口水位を下げることができず、結局堤防の嵩上げや、川幅の拡幅を行うという計画を立てざるを得なくなる。このため、地域の被害額から見て、治水投資が巨額となり過ぎたり、守るべき農地を減少させてしまうような計画となってしまう、本来の目的からはずれた計画になりがちである。小河川では、流域の土地利用の仕方や、河口近くの氾濫特性に応じた柔軟な河口処理を考えるべきであり、治水投資に当っては、単に浸水を生じさせないということではなく、治水投資額、災害被害額、土地の生産力を考慮して、河口処理、治水計画が立てられるべきである。画一的な河口処理は避けるべきである。

具体的な河口処理方式としては、導流堤、人工開削、暗きょ、水門、ポンプ排水、堤防の嵩上げがあるが、小河川でのこれらの工法の問題点や利点について以下に述べる。

(1) 堤防の嵩上げ

最も容易な河口処理は、河口閉塞によって湛水しても良い土地利用をすることである。しかしながら土地利用の高度化の要求は、これを許さなくなっている。この要求に答える一つの手段は、堤防の嵩上げである。この場合、河道側の計画、すなわち水位計画の出発点は砂州背後（河川側）からとする。この出発水位は、考えられる砂州へのうちあげ高より30～50cm程度高い水位としておけば良い。しかしながら、海浜の材料が砂利の場合には、その海浜が外洋に面していれば、砂州高は平均満潮位+3～4mにも達するし、粒径0.4～1mm程度の場合には2～3m、粒径0.2～0.3mm程度で1～2mに

達する。このような砂州を受入れた水位計画に対応した堤防を作ると、小河川の場合、河川規模に比較して堤防が巨大なものになりすぎ、流域の土地利用、浸水被害額から見てこのような計画を受け入れられないことが多い。したがって、河口に何等かの技術的手段を用いて河口処理を行うべきである。

(2) 導流堤

小河川の河口処理として導流堤が施工されている河川は多い。河口が港として利用される場合を除けば、導流堤の先端は汀線近くに止まっている例がほとんどである。この場合、確かに河口位置は維持し得るが、河口閉塞を防ぐという意味では効果が得られないのがほとんどである。河口閉塞を防ぐには、港のように長大な防波堤を作らなければならないが、これでは治水投資額が大きくなり過ぎるという問題点がある。

(3) 砂州の開削

小河川では、河口閉塞に伴って河口水位が上昇して田畑が湛水して農作物特に水稻に対する被害は大きい。これを防ぐために、河口部の砂州の一部を人工的に開削し、河川水の排除を行うという河口処理が多くの河川で行われてきた。内水排除のための砂州の開削は、閉塞状況と河道内水位を見ながら、ブルドーザー、グラブシャベル、人力等で行うものである。この方法は閉塞回数が少なければ費用もかからず経済的である。しかし、掘削土砂を河口より運び去ることは河口部周辺の海岸侵食の原因となるので注意が必要である。

(4) 河口水門

水門は、河口部のやや上流部に設けられるものと、河口部に設け、波や構造物前面の洗掘作用によって河口維持を行うものがある。この場合水門は塩水、波浪および高潮の侵入防止、水位維持の目的を兼ねる場合が多い。河口部のやや上流部に水門を設けた例として志原川（熊野灘）がある。この水門の目的は河口閉塞を防ぐというより、高潮時の波浪侵入を防ぎ、塩水が水田に入らないようにするのが目的と考えられる。水門の操作によって河川水を一気に排出することによって砂州の発生を防ぐという計画は、砂州高より水門上流の水位を高くしなければならず、また貯留面積が確保されないような河川では行えず、水門操作による砂州発生防止という方法は無理である。水門を汀線近くに設置し、砂州の発生を防ぐという方法は、もし波力に耐えるだけの構造物を作るだけの投資が可能なら、河口閉塞の防止工法として有効と考えられる。なお水門前面に砂州を発生させないようにするためには、水門を汀線近くに設置しなければならず、汀線変化の激しい海浜の場合、設置位置について十分検討する必要がある。さらに水門の維持管理は、海浜汀線付近の構造物ということもあって、非常に難しいと思われる。

(5) ポンプ排水

ポンプ排水は、図-4.1のごとく河口のやや上流部に設けた水門と一体として考えるべき河口構造物である。この水門は、出水時の排水を行うと同時に塩水、波浪および高潮の侵入防止を兼ねている。ポンプの排水容量は、水門上流部の治水計画によって異なる。河口閉塞による湛水を防ぎ、出水による一時的湛水を許すならば、河口閉塞が生じやすい季節の河川流量を把握し、ポンプ容量を決めれば良いであろう。ポンプ排水は、他の工法に比較して投資効果の判定が容易であり（つまり将来の河口状況を予測しやすい）、確実な河口処理技術と考えられる。

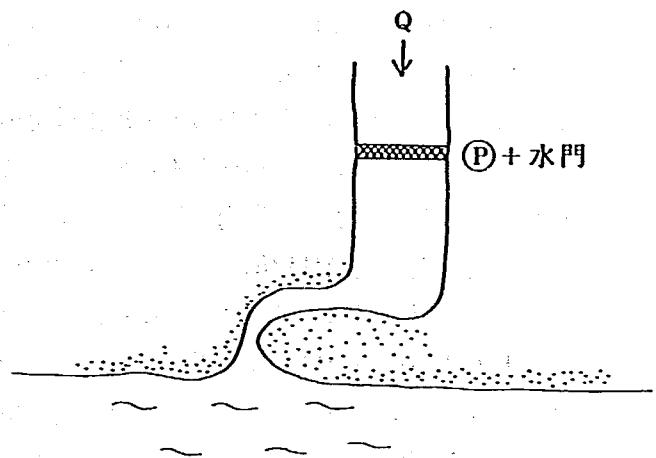


図-4.1 水門設置によるポンプ排水の模式図

(6) 暗きょ

この工法は、河口砂州を暗きょで抜いてしまうもので、河口砂州の変動とはほぼ無関係に河川水を海に放流することができる。一般には水路の敷高が高いものほど成功の可能性が大であり、また計画流量が小さい河川での適用事例が多い。なお、暗きょ工単独ではなく、河口周辺に到達する波浪を軽減させる離岸堤との併用による河口処理も実施されている。暗きょ工および暗きょ工と離岸堤との併用による河口処理に関する実験、検討結果については、山本・高橋（1988）を参照されたい。

(7) 人工リーフ

人工リーフによる小河川の河口処理の可能性としては、河口水深を維持するため河口砂州の発生を防ぐものではなく、むしろ河口位置や砂州の変動を防ぎ、砂州高の低減を図って洪水時の水位せき上げ量を低減させることにある。したがって、人工リーフのみによって解決を図るのではなく、導流堤あるいは暗きょ工等の他構造物との併用によって、より効果を発揮する工法と言えよう。人工リーフは海岸工事で多用されてきているので、その設計法については建設省河川局海岸課（1992）を参照のこと。

4. 6 河口の問題点と河口処理効果の実態

全国の主要な河川の河口部の問題点や河口処理の効果について、総括的に述べることにする。

外洋・外海に面した河川の河口部では、河口砂州の発生により洪水時に水位が上昇して浸水被害が生じたり、航路や港として利用されている河口では航路維持の問題が生じている。これらの対策工法として古くから多くの河川で導流堤が施工されてきた。特に大河川が流れ込む砂質海岸では、天然の良港に恵まれなかったこともあって、河口を河口港として利用しようとする河口処理が明治初期から多くの河川で行われた。この場合、水深の維持という目的のためか導流堤の間隔を上流の川幅より絞るという特徴を有する例が多い。

治水など、防災を目的とした河口処理については、現在も導流堤を設置したり、あるいは既設導流

堤の延長や砂州のフラッシュを容易にするための人工開削等が行われている。航路維持を目的とした浚渫や河口処理も行われてはいるが、これについては船舶の大型化とともに航路水深の維持が困難となるため、河口と港を分離しているものが多い。さらに近年は、流域の開発による流出規模の増大、それに伴う河床掘削、上流からの流出土砂量の減少などによって、河口および海浜部に供給される土砂量が減少している河川がほとんどである。このため周辺海岸の侵食とともに、河口砂州が以前に形成されていた位置より河道内へ後退し、かつ砂州高とその規模も縮小している。このことは、洪水疎通等の治水上の問題は解消されるが、反面河道内への波浪侵入とそれに伴う護岸等の被災、塩水侵入の増大、支川の閉塞や舟運に対する影響等をひき起こすことになる。

以上の問題点や河口処理効果等について、39河川の収集資料より河川名を挙げて分類すると表-4.11のようになる。これによると流下能力が不足し、洪水疎通を図るために抜本的な河口処理対策が必要とされる河川は、那珂川、利根川、相模川、新宮川、渡川である。また、河口砂州の河道内への後退により、支川合流部や河川構造物への影響が懸念される河川は、名取川、阿武隈川、相模川、仁淀川、大淀川である。これに対し、河口処理により河口閉塞問題が解消されている河川は、子吉川、最上川、関川、久慈川、九頭竜川、千代川、江の川、肝属川などがある。さらに中導流堤によって流路幅と水深がうまく維持されている河川としては、鳴瀬川、名取川、手取川、相模川、高津川、渡川がある。

表-4.11 河口状況および河口の問題点一覧表

河口状況, 河口の問題点	該 当 河 川 名
河口港として利用されている河川	名取川, 岩木川, 子吉川, 手取川, 相模川, 九頭竜川, 高津川, 江の川, 渡川, 五ヶ瀬川
河口と港とが分離された河川	馬淵川, 米代川, 最上川, 関川, 神通川, 久慈川, 那珂川, 利根川, 鈴鹿川(派川), 千代川,
兩岸に導流堤(防波堤)のある河川	岩木川, 子吉川, 最上川, 関川, 久慈川, 那珂川, 利根川, 九頭竜川, 千代川, 天神川, 日野川, 江の川, 五ヶ瀬川(左岸天然の岬), 肝属川
導流堤と中導流堤によって流路が確保されている河川	鳴瀬川, 名取川, 手取川, 相模川, 高津川, 渡川(右岸天然の岬)
導流堤間隔を先端で絞っている河川	久慈川, 那珂川, 利根川, 相模川, 高津川, 渡川
片岸に導流堤(防波堤)のある河川	馬淵川, 米代川, 荒川(北陸), 神通川, 仁淀川 鈴鹿川(本川, 派川)
河口部に支川が合流している河川	鳴瀬川, 名取川, 阿武隈川, 最上川, 荒川(北陸), 関川, 相模川, 安倍川, 天竜川, 新宮川, 日野川, 物部川, 仁淀川, 渡川, 五ヶ瀬川, 大淀川, 肝属川
河口処理工のない河川	北上川, 雄物川, 阿賀野川, 黒部川, 富士川, 安倍川, 大井川, 天竜川, 新宮川, 由良川, 物部川
扇状地河道のまま海へ流出している河川	黒部川, 富士川, 安倍川, 大井川
河口閉塞の問題が解消している河川	岩木川, 馬淵川, 子吉川, 最上川, 関川, 神通川, 久慈川, 九頭竜川, 千代川, 江の川, 五ヶ瀬川, 肝属川
河口砂州が形成されているが治水上は問題のない河川	北上川, 阿武隈川, 米代川, 雄物川, 黒部川, 阿賀野川, 手取川, 富士川, 安倍川, 大井川, 天竜川, 鈴鹿川, 天神川, 日野川, 物部川, 大淀川, 肝属川
人工開削が行われている河川	相模川, 新宮川, 高津川, 渡川
河口周辺の汀線および砂州が河道内へ後退している河川	名取川, 阿武隈川, 最上川, 阿賀野川, 相模川, 天竜川, 江の川, 仁淀川, 渡川, 大淀川
河口部の流下能力が不足している河川	名取川, 荒川(北陸), 那珂川, 利根川, 相模川, 新宮川, 高津川, 渡川

第5章 結論

全国の主要な河川の河口部における地形的特徴とそこで生じている種々の現象、河口処理の実態、河口処理の効果、河口の問題点などの検討結果についてこれまでに述べてきた。本章では、これらの主要な結果を全体のまとめとして述べ結論に代えることとする。

- (1) 昭和40年代の高度経済成長期における骨材資源の需要増大とともに、河川における治水安全度の向上のための河床掘削が広範囲に行われ、さらには砂防事業等の進展によって河川からの土砂流出量が全国的に減少した。このため河口およびその周辺海浜部に供給される土砂量も減少し、海岸侵食や河口砂州の縮小、変動に伴う河道内への波浪侵入、塩水遡上の増大、支川の閉塞などの問題が新たに発生したり、顕在化している河川が多いことが明らかとなった。
- (2) 従来の河口処理は、河口閉塞に伴う治水、内水排除、航路維持対策等を目的としたものが主体であった。しかし、近年は(1)で述べたように河口問題も多様化し、特に自然環境の保全、利水、水面利用などの面から、河口砂州の形成を全て防止するのではなく、ある程度の砂州を維持、あるいは保存する必要が生じている。また、そのような要求は今後増えるものと考えられる。
- (3) 資料を収集した39河川のうち、流下能力が不足し、抜本的な河口処理対策を必要としている河川は、那珂川、利根川、相模川、新宮川、渡川の5河川である。これらのうち導流堤によって河口閉塞は防止されているものの、河口河積が不足しているのが那珂川、利根川である。他の河川は、河口砂州の形成に伴う流下能力不足が原因となっている。
- (4) 防波堤や導流堤などにより大きく地形改変のなされていない河川では、河口砂州のタイプは河床勾配に応じて大きく2つに分類された。タイプⅠは $i < 1/2,000$ の緩流河川で見られるものであり、両岸より河口砂州が発達し、その中央部に最深部があり、さらに下流側に角状の突起があるタイプである。このタイプは日本海側で融雪出水の見られる河川でしばしば見られる。具体例は雄物川、阿賀野川そして由良川で見られる。タイプⅡは周辺海岸の汀線とほぼ平行で直線状の河口砂州が伸びるタイプである。このタイプは急流河川であれば日本海側と太平洋側ともに見られるが、太平洋側では砂州前面の水深が大きく、砂州高も高いことで特徴付けられる。具体例としては日本海側が荒川、天神川、日野川であり、太平洋側では新宮川、仁淀川、渡川がこれに該当する。
- (5) 河道内への河口砂州の後退、縮小により、支川合流部や河川護岸等の構造物への影響が懸念される河川として、名取川、阿武隈川、相模川、仁淀川、大淀川が挙げられる。特に仁淀川および大淀川は、近年河口砂州形状とともに河口地形が急激に変化しており、波浪侵入対策や支川合流部の処理対策が急務となっている。
- (6) 河口砂州を適度に保全することにより、波浪侵入や塩水遡上を防止するとともに、必要な流路幅と水深を適切に確保する方法として中導流堤がある。これによってうまく河口が維持されている河川は、鳴瀬川、名取川、手取川、高津川、渡川がある。
- (7) 河口砂州のフラッシュ形態は、側方侵食型、越流崩壊型および河床洗掘型に分類され、またそれらの複合型も存在する。すなわち、砂州のフラッシュ形態によって水理特性も異なるので、砂州フラッシュの解析に際しては、洪水実績からその河口部で砂州がどのような過程で崩壊していくかを把握し、その河口部に合った適切なモデル化を行い、適用の妥当性について十分検討する必要がある。

ある。

(8) 本研究で対象とする39河川について、河口状況、河口の問題点から分類整理を行った。結果は表-4.11に要約された。

あ と が き

本研究では、全国39河川を選んで河口の現況とその問題点について空中写真と深浅図をもとに分析するとともに、それらの分類整理を行った。また河口処理の具体策や河口調査の方法などについて述べた。本文でも述べたように、調査の対象とする河川は、波の作用が著しく、河口砂州が形成されるという意味より、外洋・外海に面した一級河川の河口が選ばれた。しかし河口問題から見ると、波浪作用の弱い内海・内湾に流入する河川もまた別の種類の問題を有することも明らかである。したがって今後においてはこうした河川を対象とした検討を行いたいと考えている。また、本研究では流量規模の小さい中小河川を具体的な研究対象としなかったが、実際には多くの問題に直面するのはこれらの中小河川である。このことから今後は中小河川を対象とした検討も必要とされる。

なお、本研究を進めるに際しては建設省の全地方建設局の各事務所より空中写真や深浅図の提供を受けており、これらの資料が入手し得たがゆえにこの報告書のとりまとめが可能となった。最後にこれら関係者に深甚な謝意を表します。

参 考 文 献

- 上森千秋 (1963) : 河川吐口の閉塞とその処理に関する研究, 高知大学農学部紀要 第9号, p.120.
- 岩渕 巧・沢本正樹 (1991) : 中間的時間スケールでみた阿武隈川河口部の地形変形, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.366-370.
- 宇多高明・福井次郎・竺原章之 (1988) : 千代川河口における波と流れによるダイナミックな地形変化の観測, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.447-451.
- 宇多高明・小俣 篤 (1989) : 海岸から深海への土砂損失機構調査報告, 土木研究所資料, 第2730号, 80p.
- 宇多高明 (1989) : 洪水流と波による相模川河口デルタの変形実態の調査, 第33回水理講演会論文集, pp.307-312.
- 宇多高明・山本幸次 (1989a) : 鈴鹿川河口周辺海岸の経年的地形変化, 地形, Vol. 10, No. 1, pp. 53-62.
- 宇多高明・山本幸次 (1989b) : 鈴鹿川河口周辺海岸における沿岸漂砂量と漂砂の移動高, 地形, Vol. 10, No. 2, pp.113-119.
- 宇多高明・坂野 章 (1989) : 遠州海岸のマクロ的に見た海浜変形, 土木技術資料, Vol.31, No. 9, pp.34-40.
- 宇多高明・小俣 篤・峯松麻成 (1990a) : 仙台湾沿岸における砂浜消失の危機, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.479-483.
- 宇多高明・斎藤健一・清水清文 (1990b) : 新潟県, 荒川河口周辺の地形変化実態, 土木技術資料, Vol.32, No. 5, pp.61-66.
- 宇多高明・野口賢二 (1991) : 新潟県北部, 岩船港周辺における海浜地形変化, 土木技術資料, Vol. 33, No.11, pp.28-33.

- 宇多高明・望月誠一・渡辺勝彦・野口賢二 (1991a) : 富士川河口における海浜変形, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.351-355.
- 宇多高明・坂野 章・山本幸次 (1991b) : 遠州海岸の1960年代以降における海浜変形, 土木研究所報告, 第183号, pp.23-70.
- 宇多高明・後藤康長・山本幸次 (1992a) : 三重県七里御浜海岸の海浜変形機構に関する一考察, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.351-355.
- 宇多高明・山本幸次・永瀬恭一 (1992b) : 貯砂源としての観点から見た河口部海浜の地形特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.391-395.
- 宇多高明・高橋 晃・藤井政人・深谷 渉 (1993) : 那珂川河口処理に関する実験的検討, 土木研究所資料, 第3211号, 170p.
- 宇多高明・山本幸次 (1994) : 山形県沿岸における大規模海浜地形変化, 土木技術資料, Vol.36, No. 5, pp.54-59.
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本吉道・板橋直樹 (1994a) : 静岡海岸の沿岸漂砂量およびその分布形の評価, 海岸工学論文集, 第41巻, (印刷中)
- 宇多高明・鈴木忠彦・大石守伸・山本雅彦・大谷靖郎 (1994b) : 天竜川河口砂州の伸長に伴う河岸侵食と海浜変形, 海岸工学論文集, 第41巻, (印刷中)
- 宇多高明 (1994) : 現場のための海岸Q & A選集, (社) 全国海岸協会.
- 柏村正和・吉田静男 (1968) : 河口の流れの構造 (1), 第15回海岸工学講演会講演集, pp.191-194.
- 柏村正和・吉田静男 (1969) : 河口の流れの構造 (2), 第16回海岸工学講演会講演集, pp.209-212.
- 柏谷晋一・宇多高明・布施勝義・二俣 秀・山本幸次 (1993) : 下新川海岸の生地鼻周辺の海浜変形特性, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.431-435.
- 佐々木幹夫・宇多高明・小野菊蔵・高橋陽一・難波嘉幸 (1990a) : 三沢海岸の被災実態と今後の対策の方向性, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.878-882.
- 佐々木幹夫・村岡憲司・渥美雅裕・小松洋亮 (1990b) : 水戸口閉塞の歴史と河道安定条件, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.344-348.
- 沢本正樹・首藤伸夫・谷口哲也 (1987) : 阿武隈川河口砂州の変形過程, 土木学会論文集, 第387号 / II-8, pp.179-187.
- 佐藤道生・岩渕 巧・長尾昌朋・沢本正樹 (1990) : 1989年8月出水による阿武隈川河口砂州変形調査, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.339-343.
- 陣内孝雄・寺園勝二・小林満男・前田武志 (1964) : 利根川下流部における塩水の遡上について, 第18回建設省技術研究会報告, pp.581-608.
- 真野 明・沢本正樹・長尾昌朋・富樫健一 (1993) : 阿武隈川河口砂州の変形特性, 海岸工学論文集, 第40巻, pp.486-490.
- 須賀堯三・浜谷武治 (1971) : 利根川河口特性に関する二, 三の考察, 第26回年次学術講演会講演集, 第2部, pp.119-122.
- 須賀堯三・山本晃一・高橋 晃・野積 尚・林 敏夫 (1974) : 最上川河口模型実験報告書, 土木研究所資料, 第887号, 182p.
- 須賀堯三 (1979) : 感潮河川における塩水くさびの水理に関する基礎的研究, 土木研究所資料, 第1537

号, 255p.

竹内俊夫・宇多高明・小野田章男・佐藤隆志 (1989): 洪水流によって形成された阿武隈川河口前面テラスの変形実態, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.364-368.

谷口哲也・沢本正樹・首藤伸夫 (1986): 出水による阿武隈川河口砂州変形過程の観測, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.262-266.

富永正照・鶴木和夫 (1968): 久慈川河口水理模型実験報告書Ⅰ, 土木研究所資料, 第440号, 69p.

富永正照・山口高志・須賀堯三・鶴木和夫・高橋 隆 (1971): 久慈川河口水理模型実験報告書Ⅱ, 土木研究所資料, 第631号, 215p.

西川廣和・佐々木 充・前川勝郎・宇多高明・国松広司 (1990): 最上川河口砂州の変形機構について, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.374-378.

野村和正・宇多高明・因幡昭義・宮内利夫 (1986): 阿武隈川河口砂州の変形について, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.267-271.

福岡捷二・市村 清・加藤信夫・高橋 晃・藤田光一・加賀谷 均 (1986): 阿賀野川における塩水遡上の実態, 第33回海岸工学論文集, pp.596-600.

福島久雄・柏村正和・八鍬 功・高橋 将 (1961): 石狩川の河口構造, 第8回海岸工学講演会講演集, pp.211-218.

藤井友竝・宇多高明・綿貫布征・鴨下由男・木村慎二 (1988): 相模川河口部の地形変化実態, 第35回海岸工学論文集, pp.447-451.

本間 仁・堀川清司 (1985): 海岸環境工学, 東京大学出版会, 582p.

村田 守・宇多高明・片岡賢一・大石英雄・山本幸次 (1991): 駿河海岸の海浜変形と土砂収支, 海岸工学論文集, 第38巻, pp.281-285.

持田 亮・鈴木 明 (1992): 新宮川河口処理対策 (中間報告) について, 第46回建設省技術研究会報告, pp.957-961.

望月倫也・宇多高明・大類光男・大谷靖郎 (1990): 仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.364-368.

建設省河川局治水課・建設省土木研究所 (1975): 河口処理対策指針 (案), p.168.

山本晃一・野積 尚 (1975): 千代川河口付替に関する水理的検討, 土木研究所資料, 第974号, 169p.

山本晃一 (1978a): 河口処理論 [Ⅰ]-主に河口砂州を持つ河川の場合-, 土木研究所資料, 第1394号, 223p.

山本晃一 (1978b): 河川の流量改定に伴う河口処理の問題, 土木技術資料, Vol.20, No.2, pp.20-25.

山本晃一・高橋 晃 (1988): 河口処理論 [Ⅱ]-暗きょ工に関する実験資料集-, 土木研究所資料, 第2677号, 155p.

山本晃一・高橋 晃・林 正男 (1992): 相模川河口処理に関する検討, 土木研究所資料, 第3140号, 160p.

山本晃一・高橋 晃・深谷 渉 (1993): 感潮河川の塩水遡上実態と混合特性, 土木研究所資料, 第3171号, 82p.

建設省河川局海岸課監修 (1992): 人工リーフの設計の手引き, (社) 全国海岸協会, 94p.

建設省河川局海岸課監修（1994）：海岸保全計画の手引き，（社）全国海岸協会，170p.

河口地形特性と河口処理の
全国実態

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第3281号

平成6年6月(1994)

建設省土木研究所

河川研究室 室長 宇多 高明

主任研究員 高橋 晃

部外研究員 松田 英明

要 旨 外洋や外海など、比較的波浪条件の厳しい海域に流入する河川として、全国より39河川を選び、河口部の空中写真と深浅図をもとに河口の地形特性を分析した。また河口部で生じている種々の問題点を指摘するとともに、それらの共通点を要約した。また、河口処理法とそれに付随する調査の方法について述べた。

キーワード：河口計画、河口処理、河口砂州、砂州フラッシュ、河口テラス、河口導流堤、空中写真、深浅図

郵便はがき

は50
円切
手
を
い
つ
て
下
さ

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

河川部河川研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第3281号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印