

建設省土木研究所 正員 須賀 堯三

建設省土木研究所 正員 高橋 隆

1. はじめに

河口砂州はたえず変動する。その主要因は、波浪(波高・周期・波向)、海底勾配、粒径、漂砂量、潮位変動、平水時流量、洪水時の掃流力、保砂および人工要素(構造物・しゅんせつ・砂利採取)などであろう。これらの要素は、時間的には独立して河口に作用し、砂州の消長現象を複雑にする。しかも、これらの作用によって引き起される現象は、非線型であり、各種の段階に分けて考察する必要もあろう。

河口三次元砂州については、個々の河口における調査結果に基づく考察、および現象を単純化した実験あるいは理論的解析に基づく研究などがある。このような取扱いの積み重ねによって、砂州の一般的特性も徐々に解明されつつある。ここでは、全国500あまりの河口資料⁽¹⁾を用いて、平均的な河口砂州の状況と論ずる。その変動特性について考察する。ついで波浪条件(波高・周期)がほぼ同様と考えられる隣接地域の河口として、太平洋に面する千葉県外房～福島県の中小河川において現地調査を行ない、河口砂州の変動特性におよびる主要因についての考察を試みる。

2. 現地河口砂州の平常時の状況

日本の多くの河口は改修上の重要なポイントになっている。無作為抽出による調査ではないが、全国の大小500あまりの河口資料によると、約半の河口にはなんらかの構造物が設けられている。処理工なしの河口と地域的にみると、北海道と九州は約8割に達し、瀬戸内海などはさらに多いが、本州および四国の太平洋側では5割以下であって、よく処理工が設けられている。それにも拘らず、非常に多くの河口において、程度の差はあれ、砂州の発達による弊害が認められている。表-1は水理量および形状によって河口を分類し、地域の分布と表わしたものである。河川流型は自流量あるいは勾配が大きく、河口における掃流力が大きくなっていて、主として流量によって河口開口部特性が定められ、一般に砂州の発達はいずれも小さい。これは入退潮によって河口が主として維持される潮汐流型と合わせ、ほぼ直線とよってすぐに閉口する直流型と対比される。流量や潮差が小さく波の影響が支配的な波浪型は河口閉塞が顕著であり、河口付近で河川が大きく曲げられている偏流型との対応が考えられる。直流型と遮蔽型とは砂州が川中の1/2以上伸延しているかを否かで判定したが、遮蔽型には構造物や天然岩しゅうの影響も含まれている。これは水理量による分類と区別のつかないものに属するものが多い。

全体的にみて、表-1から日本の河口における砂州の発達の程度およびその多様性などの一端がうかがえる。

3. 河口砂州の変動規模と流れの影響

砂州の変動規模とその季節特性、および構造物の影響と知ることが河口改修計画において必要である。砂州およびその変動要

表-1 河口の分類 (全国518河口資料)

分類要素	地 域	本 州						計
		日本海	太平洋	瀬戸内海(四国)	北海道	四国(徳島等)	九州	
水理量によるもの	河川流型	23	5	14	9	1	9	61
	波浪型	16	6	14	10	2	13	61
	潮汐流型	0	6	8	1	0	28	43
	区別つかないもの	30	7	21	8	3	31	100
	小計	69	24	57	28	6	81	265
形状によるもの	偏流型	27	35	24	33	2	19	140
	直流型	41	36	27	31	21	44	200
	遮り型	31	64	10	39	8	21	173
	区別つかないもの	0	5	0	0	0	0	5
	小計	99	140	61	103	31	84	518

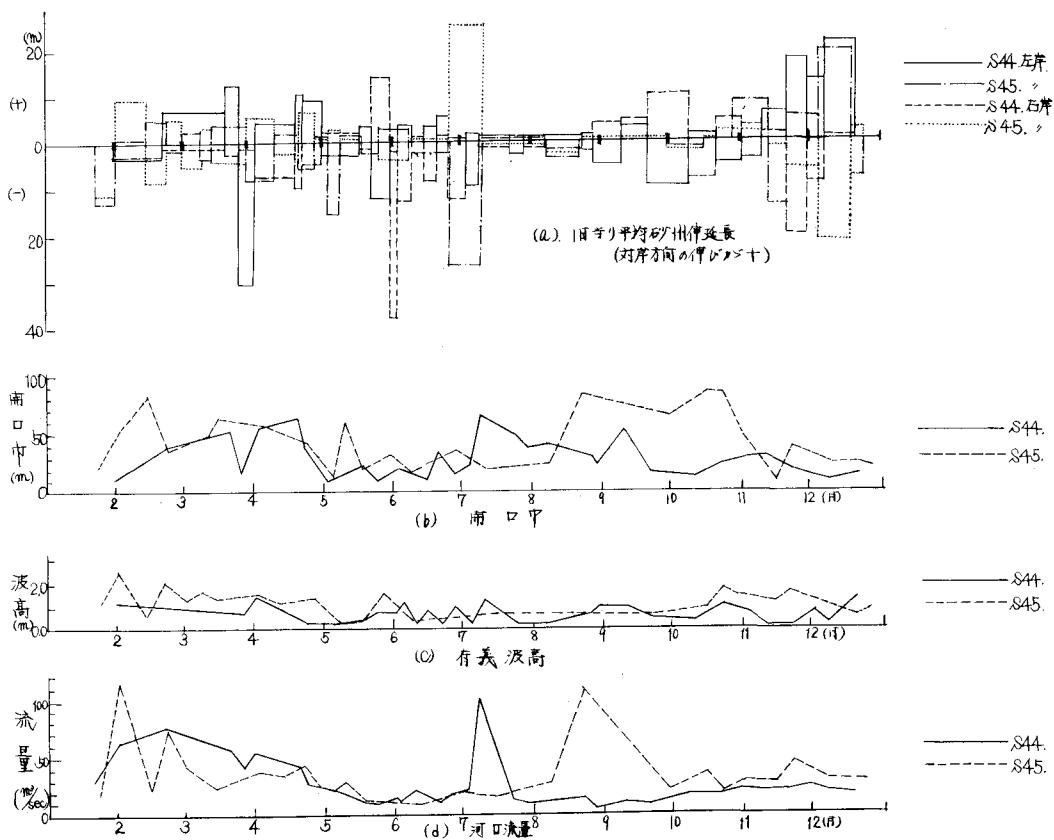


図-1 天神川河口砂州の変動 (S44, 45)

素として、南口中(南口部横断形状)、砂州縦横断形状(勾配、砂州高、砂州巾)、汀線変化、底質粒度分布およびその変動規模と変動速度などが重要である。河口現地においては、出水時あるいは波の荒いときの現象には非常に激しいものがある。たとえば、大湊川河口では通常高と45m、巾170m程度の大規模な砂州が発達しているが、S46、台風19号の余波により、短時間に砂州の前面が大きく後退し、河川側の砂州背後に大量の砂が押し込まれたことが観察された。また、千葉県外房～福島県海岸では通常の場合でも、粒全の細かい海岸では50m以上の汀線変動が観測されている。茨城県関根川河口左岸の破壊された旧海岸堤はS45.8には砂上2m以上露出していたが、その後汀線の前進とともに砂中に没せかくし、長い間完全に砂中に没していたものが、S47.2に全部倒れくはいったが、再び砂上に出現した。その他、玉石などもフラッシュする洪水時の掃流力や、平均海面より2m以上の高所に玉石をとのせる波の力など、自然の力の入るまに眼とみはるばかりである。

山陰の天神川河口では砂州の平面形が短い期間毎に測定されている。図-1は1日当り平均の伸延長と示す。最高は3日平均で37mと記録し、20m以上の移動と示す日数はかなりある。南口中の小さいときに伸延量は大きくなるようである。南口中および伸延量と流量および波高との相関は確かに存在するが、顕著ではないように思える。天神川では南口位置は左右へ激しく変動している。しかし、水路中央において変動をくり返すのではなく、左右岸のいずれかに近いところから逆方向に移動する場合が多く、特に南口部の流れがわん曲して砂州の伸延方向の側岸と削るようは流れになると伸延速度

が急激に増大するように見える。このようなときには葉砂の方向もはブー致しくいるのであろう。いずれにせよ、波のエネルギー成分と流量と解析がすすめられる場合が多いが、これに流れの三次元性を考慮に加える必要があることを示唆するものであろう。波や漂砂にあまり影響と手えないような簡單な導流堤ごみお筋の固定と開口中の維持がなされくいる例は、このような流れの特性ともうよく利用しくいるのであろう。

河口砂州は出水時にはフラッシュされる。八瀬川河口では $\Delta 46.8.5$ (台風19号)の出水(最大3340%)で開口中は60mから44mに狭げられ、さらに $\Delta 46.8.30$ (台風23号)の出水(最大4630%)で210mに拡大した。最深河床高はほぼTP-5mで顕著な変化はない。一方、最上川河口では、 $\Delta 44.8.4$ の出水(最大6067%)で開口中は260mから280mに狭げられ、最深河床高はTP-5.75から-6.18mになった。一般に側方侵食がすすむときは極端な築堤ではなく台形状にはブ同じ木築ご横に広がるようである。最上川の模型実験によれば、側方侵食には木跡のわん曲と流線の蛇行の影響がかなりあるように思われる。砂州のフラッシュには砂州付近の掃流力と上流からの補給砂量が問題となり、多くの場合、初期の侵食量より、ある程度フラッシュが進行した状態の方が侵食量が多くなることが理解される。また、阿武隈川河口の開口位置の変化は上流の交互砂礫堆の流下に伴う流線の蛇行の全時的な変化によっても説明がつくといわれる(休下良作博士談)。

砂州の変動規模について二三の事例を語介し、これまごはあまり重視されくはないと思われぬ内容と主体に簡單な解説を加えた。一般に變動規模の推定には原因追求により促され検討の要があらう。

4. 千葉県外房～福島県海岸の中小河川河口砂州の變動特性

外洋に面し、波浪条件(波高周期)が類似と考えられる近接河口の砂州の状況と調べ、地域および時間的は變動特性から要因分析を試みるオ一段階として、外房～福島海岸の中小河川河口部においく、昭和45年の夏から1年半の間、約17日間隔で現地観測と行なった。(1)開口位置、 $\Delta 45$ 年8月の外房21河川のうち、左岸に開口するもの10、中央1、右岸6、全南3 および完全閉塞1ごあった。全南は構造物により維持されたものごある。九十九里浜のような海岸のすぐ隣り合わせの河口ご互いに逆の方向に砂州が発達しくいる。簡單な構造物のある河口が多いが、ない場合は開口位置が海岸線沿いに移動する。小さい波は汀線に直角に入射するのご、多少の漂砂の方向に關係なく、砂州先端部の縦断勾配とわん曲流により初期の伸延方向に発達するのごあろう。茨城県～宮城県海岸の35河口($\Delta 45$ 年8月・10月)では、左岸22、中央5、右岸6、および全南2ごあった。左岸側に開口するもののうち、左岸に岩壁またはそれに準ずる構造物の存在する河口が10含まれくいる。これら56河川のうち、代表的な7河川の河口開口位置の季節變動は表-1のようごある。個々の事情はあるにしくも、地域的あるいは季節的傾向は顕著ごない。ただし、

表-1 開口位置の変化

波向からは春夏秋冬に河口右岸側から、秋冬に左岸側から砂州が発達すると思われる。結局、フラッシュ、構造物、蛇行、および汀線変化の影響などが大きいこととを語するものごあろう。(2)砂州規模、開口中に対して

河川名	所在地	開口位置						備考
		45.8	46.2	46.5~6	46.9	46.11	47.2	
孟石川	千葉県和田町	石	石	石	—	中央	中央	砂決 $d_m=0.2mm$
波入川	江見町	全閉	全閉	石	—	左	石	砂決 $d_m=1mm$
関根川	茨城県高萩市	石	石	石	石	左	左	河口で導流堤内岸、 $d_m=0.3$
入又川	福島県久米町	左	石	石	石	左	左	沖合に防波堤の断壊、 $d_m=0.4-2$
木戸川	福島県	左	石	左	左	左	石	左岸側に岩壁、0.3m(玉石あり)
熊川	熊ノ河	石	石	石	石	左	左	右岸に岩 0.4~2 (防波堤あり)
新田川	鹿野町	左	左	左	全閉	左	左	左岸側に岩壁 0.2~1.5(砂礫あり)

は流量と流れ方の効果が大きい。いずれの河口においても流量が小さければ、閉塞に要する時間はどれほどかわからないと思われる。砂州の形状は、河口の奥へ入り込んだ大きくて扁平な砂州と、前面に高く盛り上ったものと分けられる。これは同一季には地域的傾向はほぼ一致しているのど、波と粒茎の効果が大いと思われ。すなわち、侵食波では前者型、堆積波では後者の型の砂州が発達するのどあろう。そして粒茎が大きい河口ほど砂州前面の勾配は急になり、砂州高も大きいように思われた。年間を通じての季節的傾向は判然としたものではない。(3)底質、7河川のうち、温田、波入、および関根川には礫はなく、他は礫まじりであるが、木戸川では砂と礫との分離がはっきりしている。底質は砂州前面、砂州頂、および河川側の砂州背後地にかなり粒茎が異なるのが普通である。そして波や砂州形状と共にその粒茎も異なり、侵食波の場合に細かく、堆積波の場合には粗くなるようである。ただし、前浜勾配と中央粒茎との関係は必ずしもつづけることはできなかった。(4)汀線変化、前進と後退の傾向はほとんど全地域を通じて一致していた。変動中は細かい底質の海岸で50m、砂州高にして2m程度であり、粒茎の粗い波入河口($d_m=1mm$)では10m程度であった。汀線変化は砂州形状や開口位置の変化に重大な影響を与えている。なお、地域の波浪特性はたとえば文献(2)(3)に述べられている。

5. 河口砂州の変動におよぼす主要因⁽⁴⁾

表-2 河口砂州変動の原因

河口砂州の変動現象は、以上のように、これほどあまり問題にされてはいないと思われる流速分布や蛇行の影響と、実際はかなり受けていることが推定される。これらを含めて一般的に、砂州変動要素とその主要因をまとめ

河口砂州現象		主影響要因	備考
開口中	平時	河口流量、流速分布、底質、波浪、砂州の履歴	構造物、人工要素、橋
	最大	洪水ハイドログラフ、潮位、砂州規模、底質、流速分布	構造物
河口水深および海部における堆砂		流速分布、流出土砂量、粒茎、70%エロージョン、流量、波と海底勾配、塩水の侵入の程度	開口中
開口位置	汀線方向	流速分布、蛇行、漂砂の方向、汀線変化	構造物、砂州の履歴
	河川幅	汀線変化、波(侵食波と堆積波)、流出土砂量、漂砂量	構造物
河口部の偏移とその速度		流速分布(わん曲流、蛇行)、漂砂の方向、汀線変化	構造物、砂州の履歴
砂州高、砂州勾配		潮位と上げ下ろし、係数、侵食波と堆積波、粒茎	
汀線変化		漂砂量、底質、侵食波と堆積波	地盤沈下
波による砂州の発達		波浪(侵食波と堆積波)、潮位変化、粒茎	
フラッシュ速度		洪水ハイドログラフ、潮位、粒茎、流速分布、非平衡の流砂数、側方侵食、一部越流	構造物、波によるフラッシュ

ると表-2のようになるであろう。その他に、河口前面のマヤ沖合に堆砂がみられ、浅瀬が発達する例がよく報告されているが、丁度離岸堤とその背後に発達するトンボ口現象のような関係も存在するようである。たとえば、手取川河口では浅瀬による波の変形とそれに伴う漂砂量変化が砂州現象に影響を与えているように思われる。

6 おわりに

全国的な河口砂州の状況を通覧し、これらの河口において発生している各種の砂州変動現象について、現地資料に基づいて二、三の考察を試みた。砂州現象の一般的特性については各方面からの検討が必要であり、個々の河口においても全体的な考察が欠かせない。現地調査と行なうとの着眼点、あるいは改修計画施工上の留意点として役立つべきである。最近では、出水時の航空写真などの新しい河口資料もとられつつあり、このような資料の充実に伴って河口現象の解明が一層発展するものと期待される。

参考文献

- (1) 須賀、松村、高橋：全国河川閉塞状況の実態と二、三の考察、土木学会 年講 46.10
- (2) 畠本、山口、須賀、鶴木、高橋：久慈川河口水理模型実験報告書Ⅱ、工研資料 631号 46.3
- (3) 須賀、佐間、松村、浜谷、高橋：全国河川河口閉塞資料の検討、その2、その4、工研資料 627号、S45.11、728号、S47.3
- (4) 須賀三：河口問題と現地調査、土木学会 水エニリース 47.7