

ポケットビーチに流入する中小河川の河口位置の 決定メカニズムと河口処理

A mechanism determining river mouth location of medium and small scale
rivers flowing into a pocket beach and river mouth improvement

宇多高明*・酒匂敏次**・野村光寿***

By Takaaki Uda, Toshitsugu Sako and Koju Nomura

Pocket beach width, length of headlands on both sides of pocket beach, relative location of river mouth, basin area of 24 rivers pouring into the pocket beach were investigated through the case study in Tottori and Hyogo Prefectures facing the Sea of Japan. It is found that rivers flow into the sea in the adjacent area of headlands independent of the scale of rivers because of wave dissipation effect due to the headlands. Relative berm height formed by wave run-up at the center and end of the pocket beach is given by $Z_{S1} / Z_{S2} = (H_{b1} / H_{b2})^{5/8}$. This shows that parallel jetty method is not enough and is required to dissipate wave energy at the river mouth using some device such as artificial reef in the river mouth improvement of small rivers.

Keywords: River mouth improvement, Small and medium size rivers, Pocket beach.

1. まえがき

一般に、河口導流堤は有効な河口処理法として古くから用いられている。この方式は、洪水の流下阻害を引き起こさない意味から合理的であるが、かなり強い波浪の作用を受ける海岸に流入する中小河川でこの手法を用いると、河道内への侵入波の波高はあまり減衰しないので、高い砂州が形成され、特に平水時の流量規模の小さい河川では河口閉塞が生じることもある。これは、二つの特性の全く異なった外力、すなわち短期間に集中しかつ頻度の少ない洪水流と、繰り返し作用する波浪に対して、それぞれ違った目的を達成しなければならないことから生じるものである。このような問題に取り組むためには、まず現地海岸に流入する中小河川の河口について、それらの特性を十分検討することが必要である。なぜなら、自然状態の河口の特性を調べることにより、河口での波と流れによる河口地形のバランス状態と変動について理解を進めて初めて、人工構造物の効果をより高められると考えられるからである。そこで、本研究では、まず現地データについて検討するとともに、実験データも加えて合理的な河口について考察する。現地データとしては、日本海に面した鳥取・兵庫県沿岸のポケットビーチとそこへの流入河川を選ぶ。

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究官

(〒305 茨城県つくば市旭1)

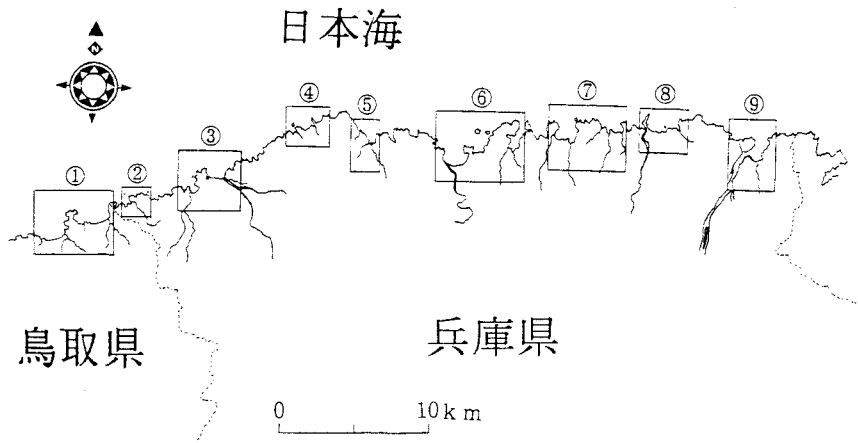
** 正会員 工博 東海大学海洋学部長

(〒424 静岡県清水市折戸3-20-1)

***東海大学海洋学部海洋土木工学科

2. 流入河川とポケットビーチの規模および形状

鳥取県東部から兵庫県の沿岸では数多くのポケットビーチが存在し、そこに多くの中小河川が流入している。そこで、図－1に示すように最も西側の地域①より東部の地域⑨までの9地域を選んで、各地域ごとにポケットビーチの形状と流入河川の形状について調べた。



図－1 鳥取・兵庫沿岸における中小河川の流入するポケットビーチの位置

表－1には、各地域と流入河川の名称、流域面積、ポケットビーチの幅、およびポケットビーチの両側の岬の長さをまとめて示す。また、ポケットビーチ内での相対的な河口位置（右側：R、左側：L）の区別も付けた。9地区に流入する河川は全体で24河川である。最も大きい流域面積は地域⑨に流入する円山川の1,300km²であり、最も小さいのは地域①に流入する奥内川の0.4km²である。流域面積は約3,000倍の幅を有している。

3. 各地域の特徴

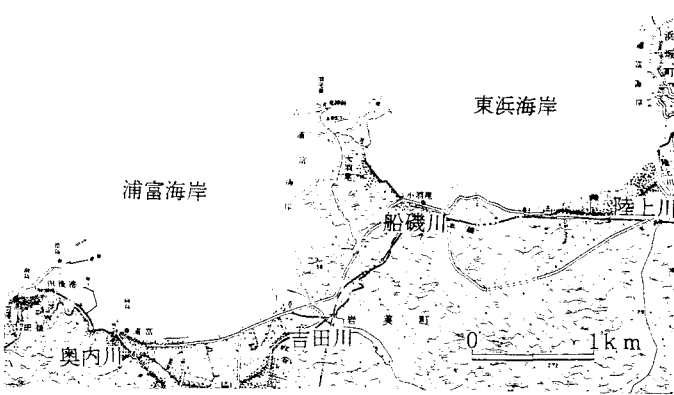
図－1に示した9地区より、典型的な特徴が見られる6地区を選び、それぞれの地区におけるポケットビーチに対する流入河川の特徴について考察する。まず、図－2には地域①の地形を示す。2つのポケットビーチがあり、西側が浦富海岸、東側が東浜海岸と呼ばれる。浦富海岸には西側の岬の基部に奥内川が流入し、東側の岬の西端には吉田川が流入している。東浜海岸でも船磯川が奥内川と、陸上川が吉田川と岬との同様な相対位置関係で流入する。とくに、奥内川と船磯川は西側に規模の大きい岬がある点とともに、東側に隣接して小規模な岩礁がある点もよく一致している。

地域③の地形が図－3である。地域①と同様

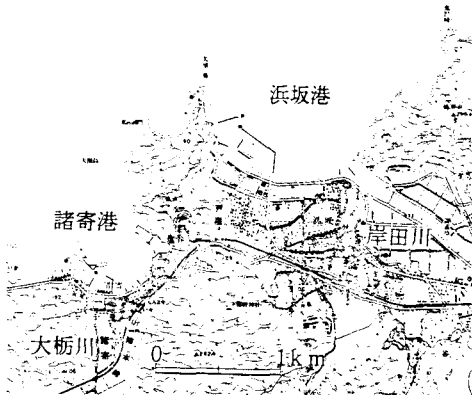
表－1 地域①～⑨の名称、河川名、流域面積
ポケットビーチの幅及び岬の長さ

地域	地名	河川名	全流域面積 A (km ²)	ポケット ビーチ幅 (m)	X Y 1 (m)	Y 2 (m)	河口位置
①	浦富海岸	奥内川	0.4	250	130	250	R
		吉田川	5.0	1,400	250	1,670	R
	東浜海岸	船磯川	0.6	750	450	370	R
		陸上川	14.2	1,430	500	1,130	R
②	居組港	結川	4.6	470	250	300	R
③	猪野港	大柄川	16.7	630	500	630	L
	浜坂港	岸田川	201.8	1,170	670	870	R
④	但馬御火浦	(三尾川)	—	30	50	150	R
		(間導川)	—	70	170	670	R
⑤	余部海岸	(サンジ川)	—	30	500	130	M
		西川	6.2	270	170	130	L
		長谷川	10.4	270	170	130	R
⑥	香住海岸	矢田川	275.5	1,650	1,170	1,370	L
	榮山港	上野川	2.9	250	630	130	M
		(焼山川)	—	250	130	630	R
⑦	佐津海岸	佐津川	42.2	750	630	750	L
	安木海岸	安木川	5.2	500	300	300	L
	相谷海岸	(相谷川)	—	150	130	300	L
	須井海岸	須井川	6.8	250	100	270	L
	切浜海岸	(切浜川)	—	430	370	370	L
⑧	竹野浜海岸	竹野川	86.5	900	500	1,500	R
		(宇日川)	—	130	150	470	R
⑨	気比の浜	円山川	1,300	1,530	1,250	2,200	L
		気比川	17.9	—	—	—	R

に2つのポケットビーチがあり、西側のポケットビーチでは岬の基部より大栃川が流入し、一方、東側のポケットビーチでは岸田川が東端より流入している。これらの関係は地域①の場合と同様である。

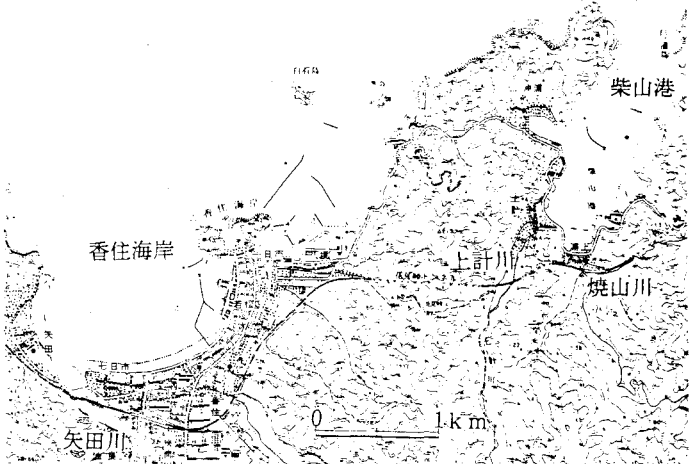


図－2 鳥取県岩美海岸の浦富・東浜海岸の詳細図

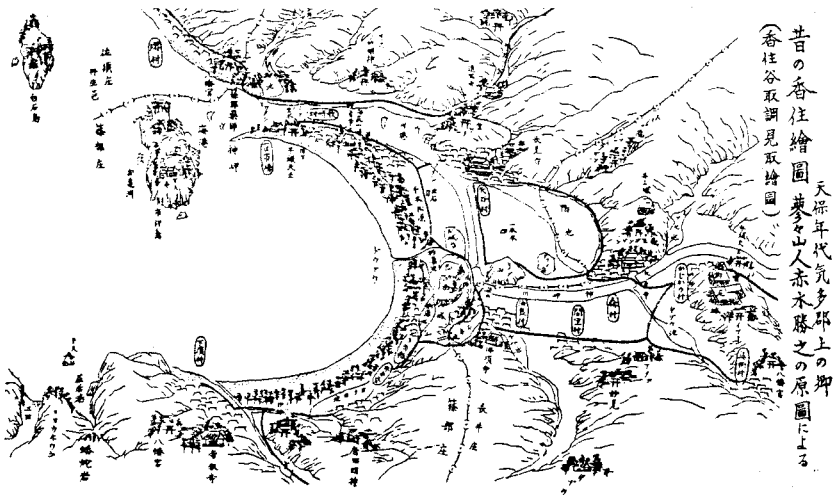


図－3 兵庫県の諸寄港と浜坂港の詳細図

図－4に示す香住海岸に流入する矢田川は、大きく西に湾曲して、ポケットビーチの西端で海に流入する。この川はもともとは東に湾曲し、現在の香住漁港付近より海へ流入していた。江戸時代の古地図、図－5によればそれが明らかである。現在は陸続きであるが、当時は市杵島が孤立した島であり、その背後より矢田川が流入していた。その後、河口の付け替え工事が行われ、図－4に示す位置となったが、いずれの河口位置も岬の基部であることが注目される。



図－4 兵庫県の香住海岸と柴山港の詳細図



図－5 江戸時代の天保年代における香住海岸

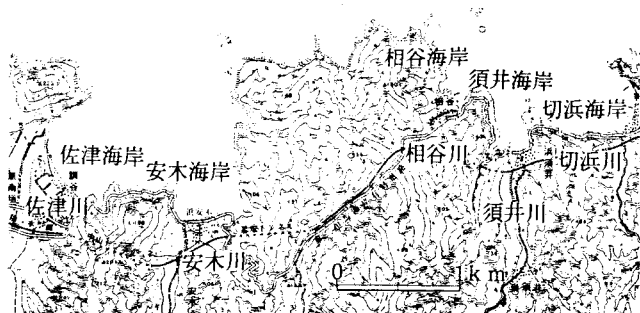


図-6 兵庫県の佐津、安木、相谷、須井、切浜海岸詳細図

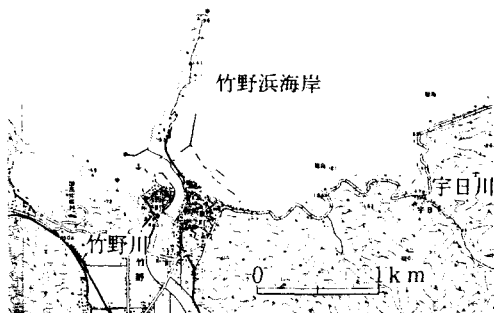


図-7 兵庫県竹野浜海岸の詳細図

図-6には地域⑦の地形を示す。図示するようにこの地区には西側より佐津川、安木川、須井川、相谷川、須井川、切浜川が流入しているが、いずれの河口とも西側の岬または岩礁の基部より流入している。同様に地域⑧の詳細地形を図-7に示す。

中央には猫崎が約1.3kmにわたりほぼ北向きに伸びており、陸繋島として陸側には砂州が発達している。そしてその基部より竹野川が流入している。最後に図-8には地域⑨の詳細地形図を示す。円山川が西側より、また気比川が東側より流入している。以上のように、いずれの河川も岬または岩礁の端部より海へ流入しているのが特徴といえる。

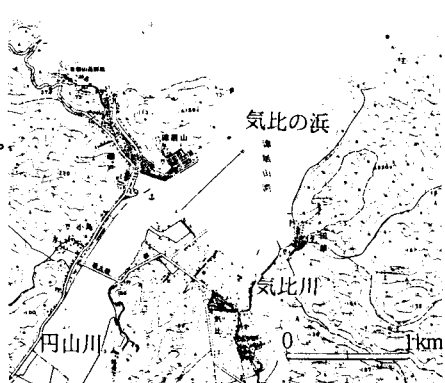


図-8 兵庫県気比の浜の詳細図

4. ポケットビーチの規模および流域面積との関係

ポケットビーチの規模は様々であるが、河川からの流入土砂量が多いほどポケットビーチの規模は大きくなると考えられる。流入土砂量は第一義的には河川の流域面積に比例すると考えられる。そこで、調査対象の24河川について流域面積とポケットビーチの幅の関係について調べた。ここに、ポケットビーチの幅Bとしては、以下に述べるポケットビーチを区切る2つの岬間の距離Xを近似的に用いて砂浜の規模を表現している。結果を図-9に示す。ただし気比川は円山川に非常に近接し、しかも円山川の流域面積(1,300km²)に対して気比川の流域面積は17.9km²と無視できる大きさであるため、気比川のデータは除外した。図-9によると、流域面積Aとポケットビーチの幅Bの間には次の関係が成立する。

$$B = 0.26A^{0.20} \quad (1)$$

ここに、A,Bの単位はそれぞれkm², kmである。なお図中の黒丸印で示す4河川のデータはタコ壺のように両側を岩礁で取り囲まれた深い入江の奥に河川が流入するケースであり、そのほかの事例と波浪の作用状況が異なるので式(1)の算出時は除外した。これらの4河川では図示するようにポケットビーチの幅は流域面積に無関係である。図-9によると、流域面積が10⁴のオ

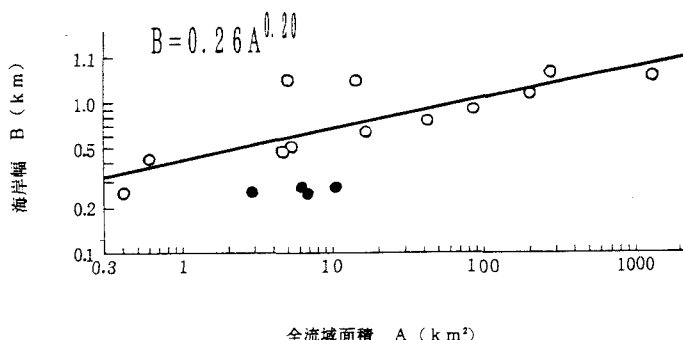


図-9 流域面積とポケットビーチ幅の関係

ーダーで変化してもポケットビーチの幅は式（1）でかなり良く表される。

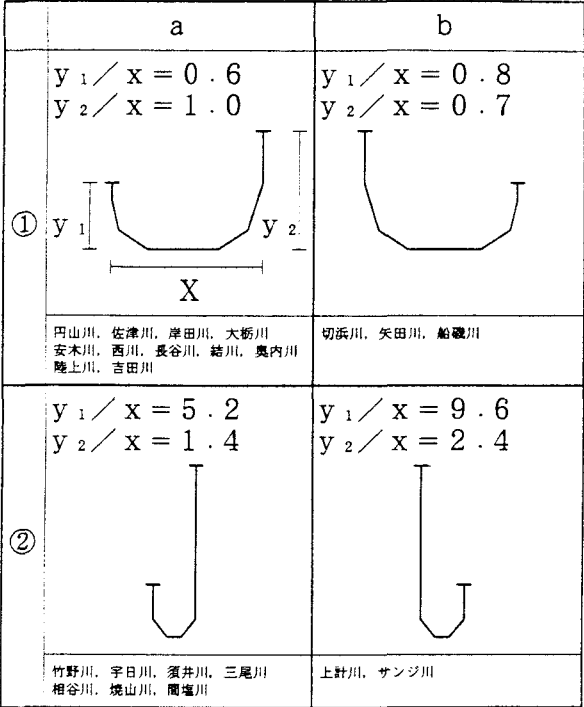
ポケットビーチに流入する河川はポケットビーチの形状と密接な関係を有している。しかしポケットビーチの規模は上述のように様々であるから、ポケットビーチの形状や規模ごとに流入河川との関係について考察する必要がある。そこでまずポケットビーチの形状を図－10のように分類した。タイプa、bはそれぞれポケットビーチの東側、西側の岬が他端の岬より長いものである。またタイプ①、②の違いはポケットビーチの湾入度の違いにあり、タイプ②はポケットビーチの湾入度が非常に大きく、いわばタコ壺型と呼ばれるべきものである。

図－10のように分類したとき、タイプaには全体の78%が、またタイプbには22%が属する。さらに、タイプ①は全体の61%、またタイプ②は39%である。さらに図－10に示すようにポケットビーチの幅をx、岬の長さをy₁,y₂とすると、平均値として図示する値が得られる。最もケース数の多いタイプaで、ポケットビーチの幅に対する西側の岬の長さの比が0.6、東側の岬の比が1.0倍となる。

以上に述べたポケットビーチの特性に対して、岬に対する河口の相対的位置（R：右端、L：左端）を調べた。表－2に示すように、全数では右端が54%と過半を有し、またとくにタイプaで河口が右端の場合が多い。この理由は次のように考察される。タイプaのように東側の岬が長く、西側が短い場合、日本海側で特徴的な冬季の北西からの風浪に対して、タイプbのポケットビーチに比較して波浪の遮蔽効果は高くない。このためポケットビーチの中心線に対して反時計回り（北西）からの入射条件で全体としてやや東向きフラックスが卓越するから、河口では左岸側から砂州が伸び易く、河口は東向きに移動し、岬の付け根でその位置が固定されることになる。同時に飛砂もやや東向きに移動し、これも河道を左側から埋積するから、これによっても河道の東側への移動を助長すると考えられる。一方、タイプbのポケットビーチでは西側の岬の遮蔽効果が大きいのでタイプaほどには顕著な特徴が見られなかったと考えられる。

5. 岬周辺での波高低下に関する実験的検討

宇多・Hsu（1993）は、ポケットビーチにおける波高分布について実験的に検討した。その実験では、ポケットビーチの両端に長さを種々変えて防波堤を伸ばし、そのときの防波堤背後の波高分布と安定海岸形状の関係について考察している。防波堤は岬と同様な波の遮蔽効果を持つから、上述の実験結果を利用できる。実験は、幅10mの平面水槽を用いて行われた。モデル実験のため模型縮尺は一義的には定まらないが、図－9に示したようにポケットビーチの幅のスケールは数100m～数kmが多いことから、ポケットビーチのスケールを1kmとおくと、縮尺は1/100となる。実験では、図－11に示すようにポケットビーチの両端



図－10 ポケットビーチの形状分類

表－2 ポケットビーチ内での河口の分類

形状分類	割合（％）		
	R	L	M
全体	54	38	8
a	61	39	0
b	20	40	40

に防波堤を伸ばし、その背後の波高分布が測定された。実験自体は移動床で行われ、実験中に防波堤の長さが伸縮されている。海浜は図に示すように 1/5 の一様勾配であり、水深 30cm で一定水深となる。

例えば、図-12 は防波堤の内側の y=4m 測線に沿う波高分布である。ここに、模型防波堤②の長さは実験開始後 6 時間までは 3.5 m であるが、6 時間目以降には 1.5 m 短縮している。これによれば、x=6~10m の区域では防波堤の長さの変化に合わせて大きく波高が変化している。初期と 6 時間では波高は防波堤の背後で大きく低下しているのに対して、防波堤長が短くなった 12 時間後では波高の高い範囲が大きく広がった。このような防波堤背後の波高変化は岬や岩礁背後の波高分布と置き換えられる。図-12 では防波堤背後の付け根付近での波高は開口部中心付近の波高の約 1/3 に低下している。

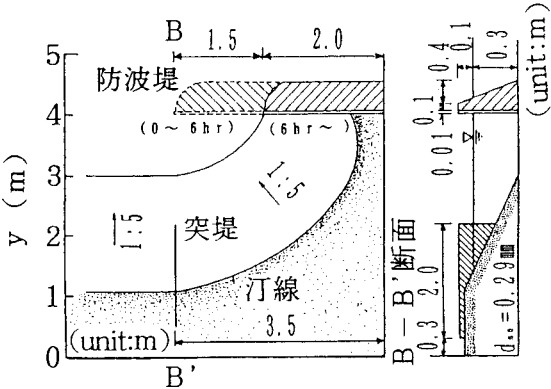


図-11 防波堤の形状とポケットビーチの詳細図

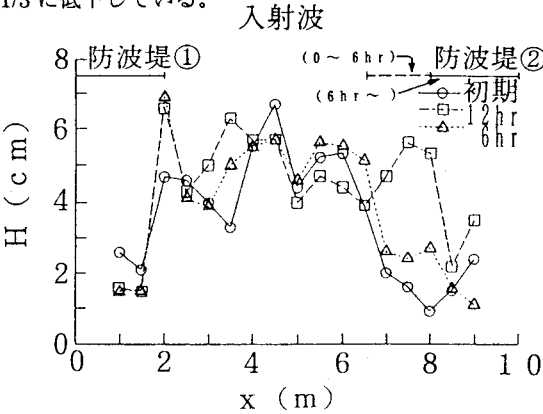


図-12 防波堤の内側側面に沿う波高分布

このような波高低下があれば、河口砂州の高さも当然低下しなければならない。河口砂州の高さについては、武田・砂村（1982）のバームの予測式により推算できる。バーム高 Z_s は式（2）、（3）により算定される。

$$Z_s = 1.25 H_b^{5/8} (gT^2)^{3/8} \tag{2}$$

$$H_b = H_0 (\tan \beta)^{0.2} (H_0/L_0)^{-0.25} \tag{3}$$

ここに、 Z_s :バーム高、 H_b :砕波波高、 T :周期、 $\tan \beta$:前浜勾配、 g :重力加速度、 H_0 :沖波波高、 L_0 :沖波波長である。いま、ポケットビーチの中央部と端部におけるバーム高に添字 1, 2 を付けて区別し、式（2）の比を取ると、

$$Z_{s1}/Z_{s2} = (H_{b1}/H_{b2})^{5/8} \tag{4}$$

となる。図-12 に示した実験の場合、ポケットビーチの中央部と端部での砕波波高の比はほぼ 1/3 であるから、式（4）によりバーム高の比を求めると、ポケットビーチ端部でのバーム高は中央部の 1/2 となって、ポケットビーチの端部では砂州高の低下が著しいことが明らかである。一般に河口部付近の河床勾配は緩いことが多いことを考慮すると、河川は砂州高の低い場所を選んで流入することになり、その結果ポケットビーチの端部付近の波高が低く、かつ砂州高が低いところから流入することになる。

6. 河口処理工に関する考察

ポケットビーチに流入する中小河川の河口処理について一般論として考察する。従来、この種の河川では図-13 に示す手法により河口の維持が図られてきた。ポケットビーチに流入する中小河川では、ほとんどの場合図-13 a のように河口で河口砂州が発達し、固有流量が小さい場合完全閉塞に近い状態となって河川流の流下を妨げる。規模の大きい洪水はフラッシュするとしても、流量規模が小さいと排水不良が起こり、堤内地での浸水が問題となる。そこで障害となっている河口砂州の一部の浚渫が行われる（図-13 b）。この場合、図-13 c のように漂砂のバランスがくずれ、両側の海浜よりただちに砂がなだれ込んでくるこ

とになり、もとの河口砂州が復元される。それでも河口の浚渫を継続すると、図-13dに示すように河口部と一体的な動きをしているポケットビーチ全体の砂の量が減少し、最終的に河口の両岸の海岸が侵食され、消波ブロックで覆われる状態へと向かっていく。すなわち、一回の浚渫量は少なくても、繰り返し行うことにより、ポケットビーチ全体へと影響が及ぶことになる。したがって全体としての調和を考えれば、ただ単に河口維持のことのみ考えて工事を行うことはできない。

図-13の場合、河口には堆砂防止のための施設がないから堆砂が著しい。そこで河口処理工として図-14aに示すようにしばしば導流堤が伸ばされる。導流堤は洪水流の流下に対しては河積の阻害とならないから洪水流に対しては合理性を有する。しかし一般の中小河川で造られている導流堤は、その先端水深が波による地形変化の限界水深よりはるかに小さく、浅い領域に先端部が位置する。したがって図-13の場合ほど急速ではないが、高波浪のたびに河口内に土砂が堆積することになり、それを浚渫すれば図-13の場合と同じ結果となる。この場合の利点は堆積速度を緩められることである。

一方、導流堤の長さが短い限り堆砂が続くので、堆砂量を減少させたいときには、導流堤を延長して図-14bのようにその先端水深が限界水深より深いところまで伸ばす必要がでてくる。工学的にみた移動限界は外海に面したポケットビーチでは約10mはあるから、導流堤の規模は非常に大きくなる。その場合、波の入射方向の変化に応じて長大な導流堤の両側には堆積が起こり、その砂は周辺部よりもたらされるため周辺海岸に侵食の影響が及ぶことになる。また、長大な導流堤内に堆積した河川自体の流送土砂は周辺部に流れ出ないから、浚渫が必要であるとともにその土砂が周辺海岸へ供給されなくなる。

以上のように考えると、導流堤方式の河口処理には多くの問題点があるといえる。本研究の現地海岸での河口調査によると、中小河川はいずれの場合も何らかの波の遮蔽物の背後より海へ流入していることが明らかである。これに属さない河川もあるが、それは波のエネルギーが河口にほとんど到達できないほど入り組んだタコ壺型海岸線の奥まった位置に流入する河川と、河川の河床面が高い河川のみである。したがって自然状態では図-14bのように波の力に対して真正面から対抗するような形で河口が存在することはない。自然河川の河口の原理に学ぶとすれば、波のエネルギーを下げ、砂州の高さを低くすることが合理的である。これにはいくつかの案が考えられる。第1は、図-14cのように河口沖の島（例えば図-5参

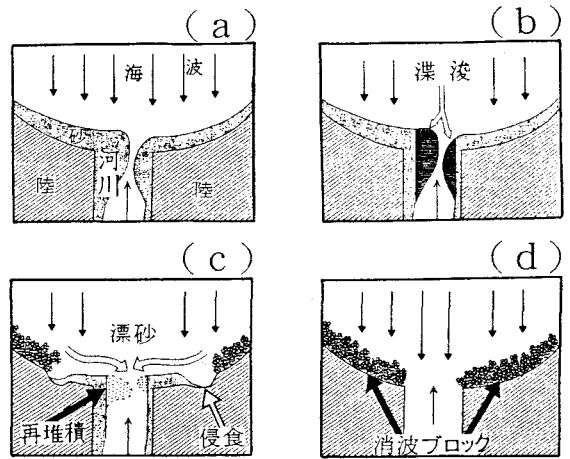


図-13 河口の浚渫と再堆積の模式図

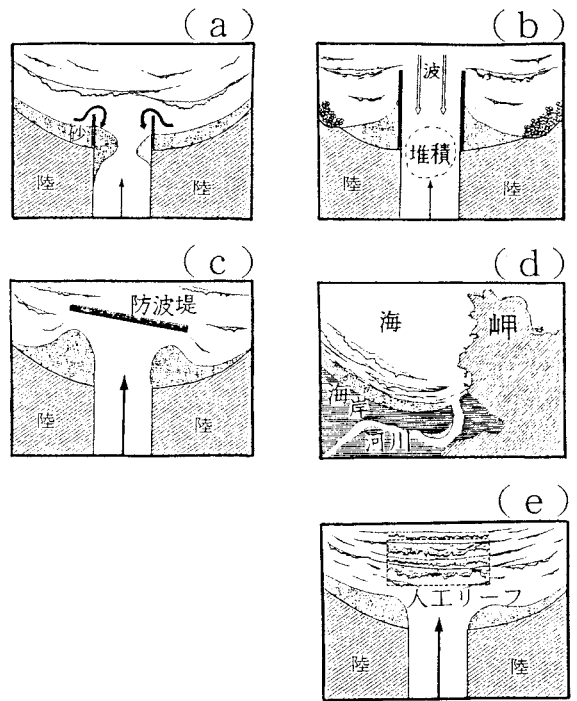


図-14 各種河口処理案の比較

照)の代わりに防波堤を伸ばすことである。この方法は波浪の制御のためには合理的であるが、洪水時を考えたとただちに河道内の水位を上昇させるから、河口処理としては採用できない。第2は、図-14dのように、河口を岬の隣に造る、あるいは導流堤を伸ばすことである。この案は実は図-14bの案に近いが、洪水流をスムーズに流下させることが目的ではなく、河口部の波高を下げる消波効果を期待するのである。第3は、河口の前面に暗礁があるとそこで波のエネルギーが失われるから、これを利用して河口砂州の高さを下げることである。これは人工リーフ工法にほかならず、その効果は宇多ほか(1994)に示したとおりである。ただし、リーフのみでは両側から河道内へと波高が低い時に流れ込む漂砂を阻止できないので、その場合は小規模な導流堤を併設する必要がある。

7. まとめ

鳥取・兵庫県沿岸のポケットビーチと流入河川を対象として、ポケットビーチと河口形状の関係について考察した。この結果、この地域ではポケットビーチの規模によらずポケットビーチの両側の岬に隣接して河川が海へ流入していること、そしてその理由が岬による消波効果であることが明らかとなった。このことは、中小河川の河口処理においては、単に平行導流堤方式とするのでは不十分であり、何らかの方法によって波高を下げる工夫が必要であり、洪水への影響を下げつつ河口処理を行うには人工リーフを導流堤に併設する方法が有効なことを示した。

参考文献

- 1) 武田一郎・砂村継夫(1982): バームの形成条件と高さ, 地形, Vol.3, No.2, pp.145-157.
- 2) 宇多高明・J.R.C. Hsu(1993): ポケットビーチにおける遮蔽域形成に伴う海浜変形, 土木技術資料, Vol.35, No.7, pp.20-24.
- 3) 宇多高明・高橋 晃・水魔嘉幸・高木利光(1994): 人工リーフを用いた河口処理工の検討, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.506-510.