

離岸堤・防波堤の建設が河口に及ぼす影響に関する事例検討

A case study on influence of construction of detached breakwater and harbor breakwater to river mouth bar

宇多高明*・酒匂敏次**・野村光寿***

Uda, Takaaki, Toshitsugu Sako and Mitsuhsa Nomura

The changes in river mouth bar topography triggered by the construction of detached breakwaters and harbor breakwaters in the adjacent area of the river mouth were analyzed through the case study. Three rivers, the Torikai, Toshi and Iwato rivers, on Awaji Island in Hyogo Prefecture were selected as the study area. It is concluded that retreat of river mouth bar may be caused by the disruption of continuous longshore sand transport due to structures and creation of wave calm zone in the area next to a river mouth by construction of breakwaters, which facilitates longshore sand movement.

Key words: river mouth bar, beach changes, detached breakwater, aerial photo

1. まえがき

一般に、河口周辺地域は低平な土地が広がることから、種々の開発が優先的に進められてきた。このため、従来は河川が自然な形で海へ流入していたが、開発に伴って河口に隣接して各種施設が造られ、これにより河口砂州を含む河口部の地形が大きく変化した場合も多い。河口計画においては、河道内水位の上昇を防ぐために、河口の両側より沖向きに 11° の角度の線を引き、各種施設はこの線の外側とするようにされているが、河口部での地形変化から見ると河口より離れた場所での種々の施設の建設が、河口砂州や河口部の地形に大きく影響することしばしばである。このような点に関する認識は、合理的な河口計画を立案する上で必須の事柄と考えられる。そこで、ここでは兵庫県淡路島西岸に流入する鳥飼川、都志川を実例としてこのような問題について考察する。同時に、淡路島東岸に流入し、河口閉塞の著しい岩戸川の河口処理についても若干の検討を加える。

2. 淡路島の鳥飼川、都志川および岩戸川の概要

本研究では、図-1に示すように淡路島にある3河川（鳥飼川、都志川および岩戸川）を選び、河口部の地形変化と河口処理について考察する。これらのうち、鳥飼川と都志川は淡路島西岸に流入し、播磨灘に面している。一方、岩戸川は淡路島の東岸に位置し、大阪湾に面している。

流域面積は、 20.8km^2 （鳥飼川）、 25.5km^2 （都志川）、 17.9km^2 （岩戸川）であり、いずれも中小河川である。図-1によると、淡路島の西岸では南から北に少なくとも4段のフック状の海岸線（図-1の①～④）が発達している。宇多・酒井（1987）に述べたように、このことは、この沿岸では全体として北東方向への沿岸漂砂が発達していることを示す。その原因は、冬季の西または西西北西の季節風に対して淡路島西岸の海岸線が北東～南西方向に伸びているためである。一方、岩戸川は、淡路島東岸の海岸線勾配の変化点に位置する。大阪湾は、北東方向のフェッチが長いことから、岩戸川河口付近では南向きの沿岸漂砂が卓越していると推定される。

3. 鳥飼川河口部の地形変化

3.1 空中写真で見る鳥飼川河口部の変遷

本研究では、淡路島西岸より2河川を取り上げるが、沿岸漂砂の上手（南）側海岸に流入する鳥飼川より検討を行う。鳥飼川は、雁子岬の北側に伸びる五色浜の北端部に流入する。鳥飼川の河口部では、1985年以来空中写真が繰り返し撮影されてきているので、これらの空中写真より河口部の地形変化について調べてみる。まず、写真-1は1985年の河口部写真である。この時点では河口砂州

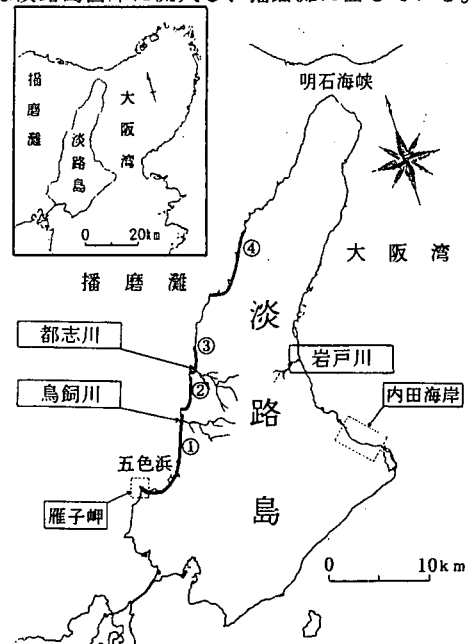


図-1 淡路島の都志川、鳥飼川、岩戸川の位置

*正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究官

**正会員 工博 東海大学海洋学部長

*** 三国屋サルベージ(株)

を含めて海岸線は直線的に伸びていた。鳥飼川は海岸線に対して斜めに流入し、左岸側に極く狭い水路が開口していた。その後、河口の北側で離岸堤の工事が進められた。写真-2には1991年6月の空中写真を示す。鳥飼川河口に隣接して延長153mの離岸堤（以下、1号堤と呼ぶ）が建設されるとともに、その南（右）側にはもう一基の離岸堤（2号堤）も建設されつつある。1号堤の背後にはきれいな形の舌状砂州が形成されている。離岸堤の建設によって、離岸堤部の南側で、ちょうど2つの道が交差する付近では写真-1と比較して砂浜幅が狭くなったことから、この部分が侵食されてその侵食土砂が1号堤の背後に運ばれ、堆積したことが分かる。この海岸の前浜構成材料は花崗岩砂であるが、写真-1, 2に示すように前浜と沖の底質の色調が全く異なることは、1号堤背後の堆積土砂が沿岸方向に運ばれたことをよく表している。写真-3は、1992年3月の河口部空中写真である。写真-2に示した1号堤の南側で建設中であった2号堤は、この時点で長さが81mとなって消波効果が発揮されたため、その背後には舌状砂州が形成されつつある。舌状砂州の規模は1号堤背後のものより小さいが、なだらかな舌状砂州が形成されつつある。2号堤周辺の海浜地形を写真-2, 3で比較すると、1号堤背後の舌状砂州はその右（南）側部分が削られて舌状砂州が小さくなった。また、写真-2では汀線幅が狭かった2号堤背後では前浜は広がった代わりに、第2号堤の右（南）側、河口の右岸側隣接区域での汀線幅が狭くなり、砂州幅も狭くなった。これは、新たな離岸堤の建設によって沿岸での砂の配分状況が変化したことを表している。同様に、写真-4には1993年3月の空中写真を示す。写真-3より1年後の状況である。この時点までに、2号堤は延長153mとなって完成した。1、2号堤の堤長は同一となったため、離岸堤背後の舌状砂州はほぼ同じ規模となった。しかし、2号堤の開口部がちょうど鳥飼川河口と重なったために、河口部で浜崖侵食が進んで砂州が非常に狭くなったことが分かる。このことは、2号堤背後の砂州の土砂の多くが河口砂州より運び込まれたものであることを示している。写真-5には1994年6月の空中写真を示す。写真の撮影範囲が大きくなったため、鳥飼川と離岸堤群だけでなく河口に隣接する鳥飼漁港の護岸も写されている。この護岸は汀線と直角方向に大きく伸ばされているため、沿岸漂砂の移動は完全に阻止されている。写真-1と比較すると、鳥飼川の河口砂州は当初海岸線と平行、直線的に伸びていたが、河道内へ大きく曲がりこんでいる。写真-5の状況では河口は離岸堤の開口部に位置するため、砂州の土砂が離岸堤の背後に呼び込まれると同時に、河口部の水深が増大する。さらに離岸堤の開口部での波高は離岸堤の回折効果により離岸堤の建設以前より増大する。これらにより河道内への侵入波の波高が増大した結果、河口砂州の上流への移動が起きたと考えられる。写真-6は1995年5月の空中写真である。離岸堤群の南端に沿岸漂砂の移動を止める突堤が建設された。この施設により河口砂州と離岸堤群背後の砂州とは切り離された。最後に、写真-7は1995年の河口部空中写真である。鳥飼港の南防波堤の南側には白く砂浜がのびているが、これはこの地域で卓越する北向きの沿岸漂砂が堆積したものである。鳥飼漁港により沿岸漂砂が止められていることが明らかである。離岸堤の工事が河口から離れた位置より経年的に進められ、それぞれの離岸堤の消波効果が発揮されてきたから、北側より順番に堆積が起こって河口部より北側への土砂移動が助長され、最後に土砂が十分河口部より移動したあとで突堤による締切が行われたことになる。結局、一連の工事は河口部よりその北側へ土砂を移動させ、河口部への土砂の逆流を防止することであったと言える。また、河口に隣接する鳥飼漁港は、河口への沿岸漂砂の流入を絶つ意味からは有効であったと言える。



写真-1 鳥飼川河口部の空中写真
(1985年4月)

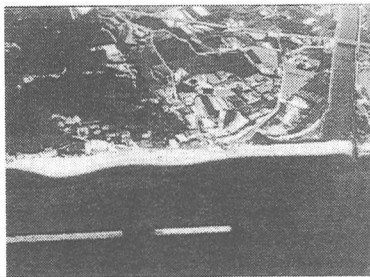


写真-2 鳥飼川河口部の空中写真
(1991年6月)

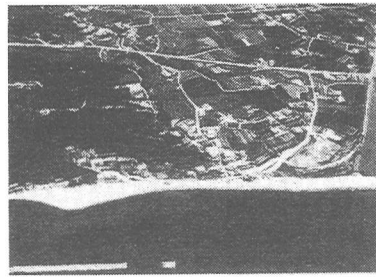


写真-3 鳥飼川河口部の空中写真
(1992年3月)



写真-4 鳥飼川河口部の空中写真
(1993年3月)

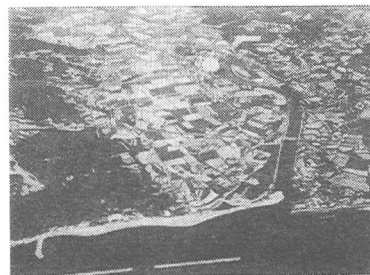


写真-5 鳥飼川河口部の空中写真
(1994年6月)

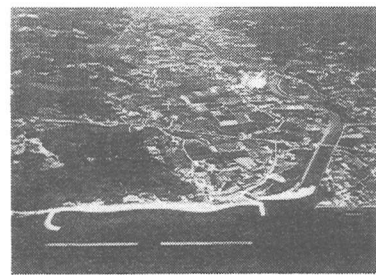


写真-6 鳥飼川河口部の空中写真
(1995年5月)

3.2 深浅図による鳥飼川河口部の地形変化の分析

鳥飼川の河口部では、1985年より深浅測量が行われてきている。ここでは離岸堤建設以前の1985年と、離岸堤完成後の1995年の深浅図の比較により河口部周辺海岸の地形変化について調べてみる。最初に、図-2は1985年の深浅図である。1985年では鳥飼川の河口部とその北側の海浜では3m~-0.5mの等深線が沿岸方向に平行に伸びており、この間の勾配は1/6と非常に急である。しかし、その沖の-0.5m~-1.5mの間では勾配が緩く、バー・トラフも形成されている。また、河口の北480mには岩礁があるが、ここでは1985年当時小規模な突堤が建設されていた。図-3に示す1995年の深浅図では、この時点までに堤長153m、開口幅38mの離岸堤2基が建設されている。離岸堤の設置水深は1号堤が約2m、2号堤が約3.5mであって、2号堤の方が設置水深が大きい。離岸堤の背後では共に舌状砂州が形成されているが、1号堤背後の舌状砂州の規模が大きい。この理由として次の3点が考えられる。①1号堤は設置水深が小さく消波効果が著しいこと。②1号堤は建設後の経過時間が長く、舌状砂州が発達するのに十分な時間があったこと。③1号堤は最初に造られ、隣りの砂浜から十分な砂の供給があったのに対して、2号堤の建設時にはすでに1号堤が造られており、1号堤背後に堆積した土砂は2号堤の背後へ再移動しにくかったこと、の3点である。また、離岸堤背後の舌状砂州の形状をしらべると、ほぼ-0.5m以浅の等深線は汀線とほぼ平行であって、それ以浅での勾配は急である。離岸堤の建設以前の深浅図においても-0.5m以浅の等深線は汀線と一体的な動きが見られたが、離岸堤の建設後も全く同じ特徴である。このことは、当海岸で汀線と一体的な移動が見られる範囲を区切る沖合の限界水深は、ほぼ-0.5mにあることになる。

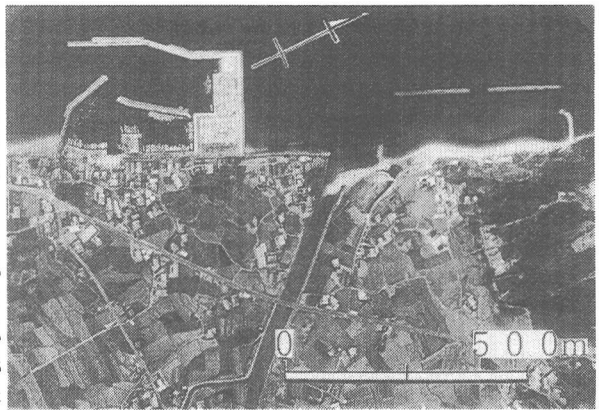


写真-7 鳥飼川河口部の空中写真（1995年）

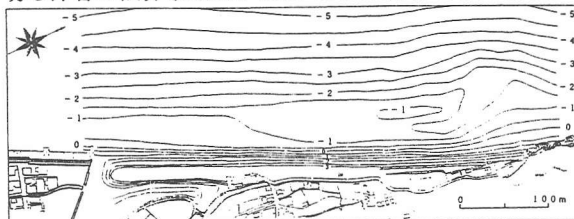


図-2 鳥飼川河口部の深浅図（1985年測量）

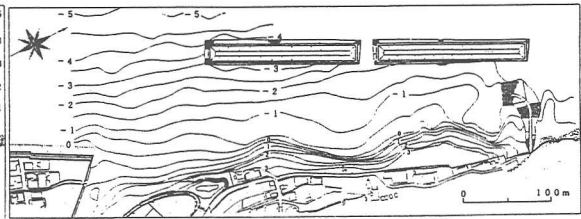


図-3 鳥飼川河口部の深浅図（1995年測量）

3.3 鳥飼川河口周辺での地形変化のパターン化

上述の結果をパターン図としてとりまとめる。一連の地形変化は図-4のようにまとめられる。図-4aは各種構造物の建設以前の状況である。河口には直線的な河口砂州が伸び、北向きの沿岸砂州は河口を通過して連続的に流れていた。次に、図-4bのように河口の南側で防波堤の工事が始まると北向きの沿岸砂州は阻止され、また、河口の北側での離岸堤の建設はその背後での舌状砂州の形成を促した。その形成土砂の大部分は1号堤の南側隣接海浜より運ばれた。また、2号堤が造られると（図-4c）、1号堤背後の舌状砂州の一部も削られたが、大部分の土砂は河口部より運ばれた。これにより河口砂州は規模が小さくなり、河口前面も深くなった。

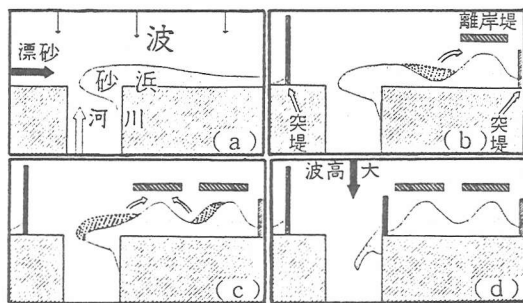


図-4 鳥飼川河口部での土砂移動パターン

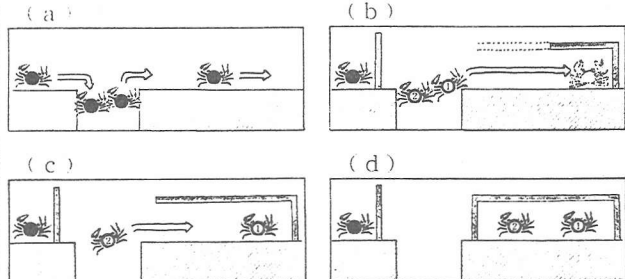


図-5 鳥飼川河口部での土砂移動の逸話的解釈

図-4dでは2号堤背後の舌状砂州の発達後、河口との間に突堤が造られ、2号堤背後の舌状砂州を形成する砂は再び河口には戻り得なくなった。このような状況はさらに次のように比喻される。まず、図-5aに示すように、海岸線に沿ってカニ（砂）が右（北）向きに這っている状況を想定する。この場合、カニは絶えず入れ替わるので河口部にいるカニを特定することはできない。次に、図-5bのように河口の南側で柵（護岸）が造られ、北向きのカニの移動は阻止される。また、河口の北側でカニ網が仕掛けられる。この段階で河口とその北側海浜には2

匹のカニがいるとすると、この区域はすでに閉じられているためそれぞれのカニは完全に特定される。いま北側のカニをカニ①とし、河口部のカニをカニ②とする。カニ網に仕掛けられた餌を取りにカニ①は北向きに移動し、網の中に入る（舌状砂州の形成）。カニがいなくなることは、海浜が侵食されたことを意味する。その後もう一つのカニ網が河口の隣に仕掛けられると、河口部のカニ②が新設のカニ網の中へ入り、カニ①のいた場所に止まる。さらに入口が閉ざされる（突堤の建設）。かくして河口ではカニ（砂）はいなくなる。鳥飼川河口部での海浜変形は以上のように比喩されよう。

4. 都志川河口部での地形変化

鳥飼川河口部と同様、都志川河口部でも都志港の防波堤と離岸堤の工事が行われ、河口部の環境条件に大きな変化が現れた。ここでは1995年撮影の空中写真（写真-8）をもとに河口部の地形変化について調べてみる。都志川は、南側で冲向きに突出した岬の北側のフック状の海岸線において播磨灘へ流入していた。フック状の海岸線の存在は、当地点においては北向きの沿岸漂砂が卓越する条件下にあったことを示す。現況の河口には右岸側に長さ約50mの小規模な導流堤が伸びているが、その北側には建設途中も含めて合計4基の離岸堤がある。一方、河口の南側には河口部をとりまくように都志港の防波堤と護岸が大きく伸びている。これらの施設の建設以前では、河口の南側の岬より、湾曲した海岸線がなだらかに伸びていたから、種々の工事に伴い河口周辺部の地形環境が大きく変化したと言える。現況で都志川の河口部では大きな砂州が斜めに伸びており、北側の離岸堤の背後での舌状砂州の発達はあまり良くない。この理由として、図-6に示すように離岸堤方向への沿岸漂砂移動をもたらす南側からの入射波が都志港の防波堤により遮蔽され、北向きのエネルギーフラックスを生じ得ないことが主な原因と考えられる。すなわち都志港の防波堤が大きく突出しているために、波の来襲方向が都志港の開口部と最南端の離岸堤との間からとなり、この波と河口部汀線とがほぼ直角となったこと、さらにこのような汀線の方向は河口より北側の離岸堤群方向への漂砂を生じさせるのとは逆向きであることがあげられる。一方、都志港の航路では白っぽく砂が堆積していることから、河口からの土砂の一部が沖の防波堤の陰にある防砂突堤の先端を迂回して港内に堆積することになった。また、都志港の南側では白っぽく沿岸砂州が伸びていることから、南側から沿岸漂砂により運ばれてきた砂が都志港の南側隣接部に堆積していることも分かる。河口部では南側からの漂砂が堆積することがなくなったことは河口の維持上はよい条件であるが、一方北側の離岸堤群で北向きの漂砂の流出が防止されたことは、河川の流下土砂が北側へ逃げられなくなる意味よりマイナスと考えられる。

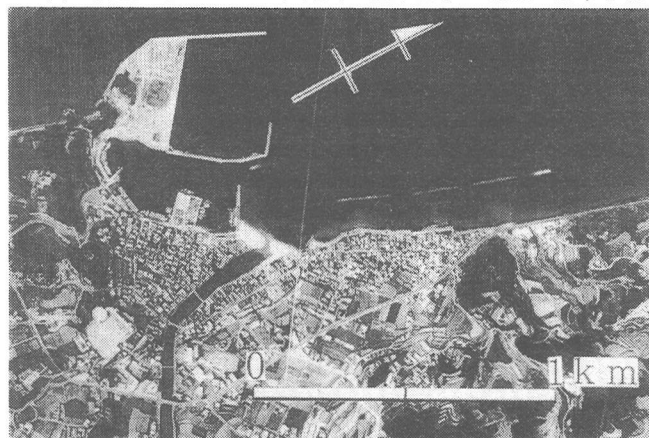


写真-8 都志川河口部の空中写真

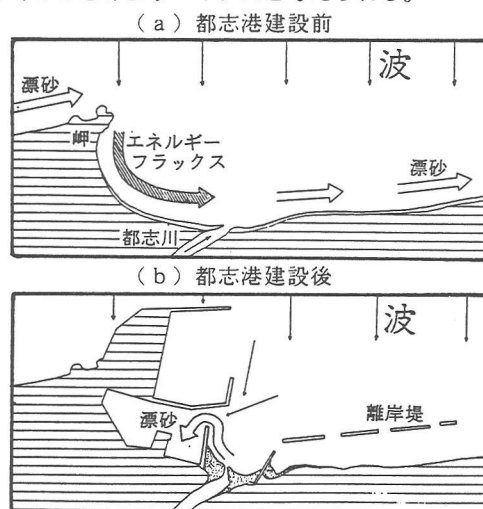


図-6 都志川河口部での土砂移動パターン

5. 岩戸川河口部での地形変化

大阪湾に面した岩戸川では河口閉塞が著しい。写真-9は岩戸川河口部の空中写真である。写真左端に見える岩戸川はこの時点で完全に閉塞し、内水処理が困難であった。一方、写真下部の岩礁周辺の海岸線形状を調べると、岩礁の右（南）側の汀線がフック状となっている。このことは、岩戸川河口付近の海岸では全体としてやや南向きの沿岸漂砂が卓越していることを示している。この卓越漂砂の方向は、岩戸川の河口の南約8kmに位置する内田海岸のそれとよく一致する（宇多ほか、1995）。しかしながら、岩戸川河口の北約3kmは岩礁となって土砂の流出はほとんどないと考えられること、また写真-9によれば岩戸川の河口を中心として海岸線が緩やかに突出していることから、岩戸川からの流出土砂が海岸の主な漂砂源となり、また南側の岩礁の漂砂阻止効果により海岸線形状はかなり安定状態に近いと考えられる。図-7には岩戸川河口部の深浅図を示す。河口砂州の標高は約4mに達し、内湾に位置している河川としては非常に高い砂州高である。河口には異形コンクリートブロック製の小規模な導流堤があるが、長さが短いため効果は発揮していない。一方、河口沖の等深線形状を調べると、測量範囲の-3mまでの等深線は河口中心に対して冲向きに突出している。

河口処理法としては、写真-9において岩礁の南側がフック状となっており、そこでは岩礁の消波効果により砂

州高が低く、河川流が流入し易いと考え、この特徴の利用があり得るであろう。図-8に模式図を示す。岩戸川は直線的な海岸線に流入しているから、河口を開口させるには形はともかく導流堤が必要である。そこでここでは導流提案について考える。図-8aは平行導流提案である。この案では河口内の波高は低下しないから砂州高は同じであり、また河川流下土砂が南に流出できないので河口閉塞は改善されない。図-8bは右岸導流堤を伸ばす案であるが、この方式ではやや南向きの漂砂のため河口への土砂堆積が助長されると同時に河口部の波高が導流堤の建設以前より増大するので、河口閉塞の防止に対して逆効果である。図-8cは、河口の左岸側に導流堤を伸ばし、北側からの漂砂を防止するとともに、河口に波の遮蔽域を作り、砂州高を下げる案である。これによっても砂州の形成を防ぐことはできないが、少なくとも砂州高を低下させることはできる。また河川流下土砂の南側への流出を防げない案である。このため3案の中では一番合理的である。この案の欠点は、砂州を下げようと河口部における波の遮蔽効果を高めると、河口の南側の土砂を遮蔽域内へと呼び込んでしまうことである。これに対しては、河口より南側に小規模な突堤を造って土砂の逆流を防止する必要がある。

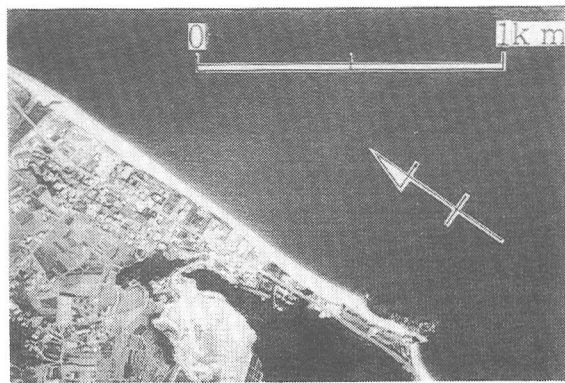


写真-9 岩戸川河口部の空中写真

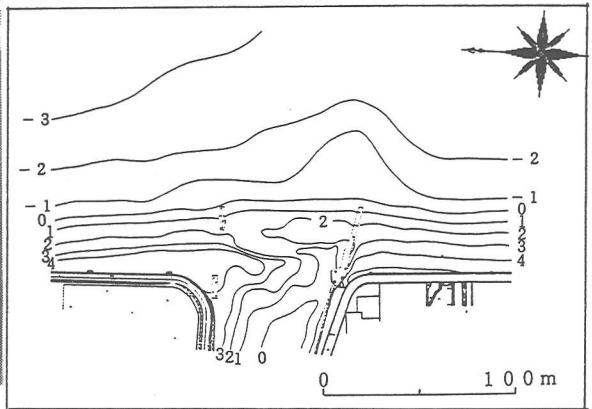


図-7 岩戸川河口部の深浅図

6. まとめ

淡路島の西岸に流入する鳥飼川と都志川、東岸に流入する岩戸川の河口処理について検討した。この結果、鳥飼川と都志川では河口の周辺部で造られた離岸堤や防波堤が河口地形に及ぼす影響をプラス・マイナス面より評価することができた。河口計画においては、単に洪水流の流下特性だけでなく、以上に述べた様々な影響について十分検討しておく必要がある。なぜなら、各種施設の建設は河口地形にかなり大きな影響をもたらし、それが河川における流水の挙動や、河口部の生態環境などにも影響をもたらすからである。また、岩戸川では新たに河口処理方式を提案した。具体的には漂砂の上手側に斜め導流堤を設置することにより、河口の波高を下げ、砂州高を下げる案である。この場合、海岸線と直角方向に不透過施設が伸びるので、漂砂の下手側に侵食が生ずる恐れがある。今後においては、このような侵食を極力小さくするような工夫について検討の必要がある。

参考文献

- 宇多高明・酒井佳治（1987）：慶野松原海岸人工リーフ周りの海浜変形、第42回年次学術講演会講演集、pp. 634-635.
- 宇多高明・藤岡憲弘・藤原謙治・熊谷健蔵（1995）：兵庫県淡路島の内田海岸の海岸侵食と越波の原因について、海岸工学論文集、第42巻、pp. 686-690.

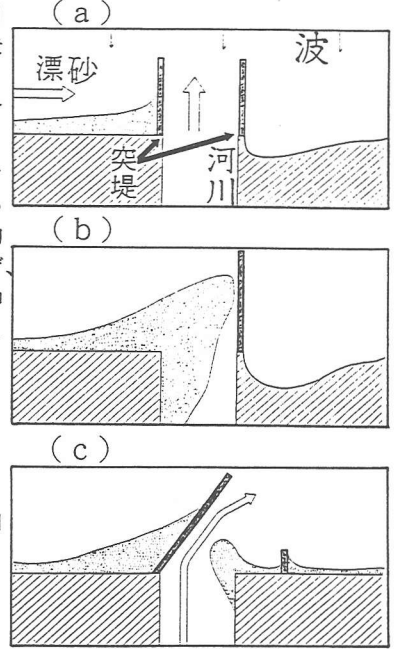


図-8 岩戸川の河口処理法の比較