

人工リーフを用いた河口処理工の検討

宇多高明*・高橋 晃**・水魔嘉幸***・高木利光****

1. まえがき

河口処理工としては、導流堤工法や暗渠工法など、古くから各種の対策工が検討され、実施されてきている。これらの河口処理工は、河口部において波の作用により河口砂州が形成され、それが洪水の流下を阻害し、河口より上流部の水位が上昇することを防止するために用いられている。しかし、対策が十分な効果を挙げられず、人工開削を併用しなければならない場合も多い。一方、河口砂州は河道内への波浪や塩水の侵入を防止する効果がある。そこで洪水時にすみやかに砂州がフラッシュされるような砂州の規模、特に砂州の高さを低く抑えられれば、砂州の存在自体は問題とならないはずである。

本研究では河口への入射波高を構造物により消波し、砂州上への波のうちあがり高を低下させ、砂州高を低減させる手法について検討するものである。ここでは波浪の消波方法として、海岸侵食対策等で用いられている人工リーフを提案し、河口処理工としての適用性を検討する。なお、ここで人工リーフを提案する理由として、それが没水構造であることから洪水流の阻害になりにくいこと、さらには景観上も好ましいことによるものである。

以下に、山口県萩市を流れ日本海に注ぐ橋本川の河口処理計画を実例として、数値計算、水理模型実験により人工リーフの河口処理工としての適用性について検討を試みる。

2. 橋本川河口の概要

橋本川は、本川である阿武川が下流部で2つに分岐するうちの一方である。阿武川は流路延長65 km、流域面積635 km²をもつ2級河川であり、その上流には阿武川ダム(1975年完成)がある。河口部上流約4 kmには分流堰があり、分流点直上流での計画高水流量2,000 m³/sのうち橋本川(延長4.6 km)に1,400 m³/s、松本川(延長3.6 km)に600 m³/sが配分されるよう計画されている。

橋本川の川幅は河口付近で約400 mであるが、河口部

には右岸側より砂州が発達しており、その長さは約300 mにも及ぶ(図-1)。現在は「く」の字形に曲がった中導流堤により左岸側約70 mの河口幅が確保されている。河道内左岸には玉江浦漁港の泊地があり、河口部左岸護岸は物揚場として、また河道は漁港航路として利用されている。

図-2に砂州高(砂州断面内の最高点標高)と、前浜部

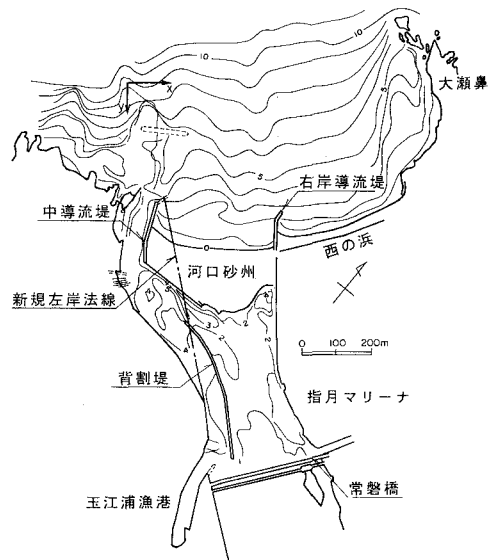


図-1 橋本川河口部の現況地形

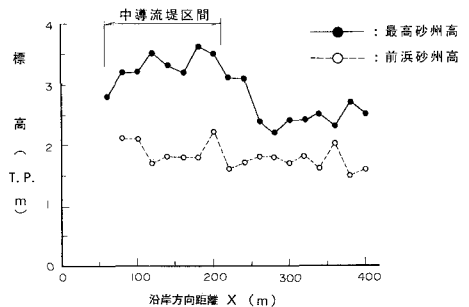


図-2 河口砂州高の沿岸分布

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長
 ** 正会員 建設省土木研究所河川研究室主任研究員
 *** 正会員 山口県土木建築部河川課
 **** 正会員 工修 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

の高さの沿岸分布を示す。中導流堤（天端高 T.P.+3.0 m）の前面の砂州高はほぼ T.P.+3.0~3.5 m であり、右岸側がほぼ T.P.+2.5 m であるのに対し高い。中導流堤の天端高と砂州高がほぼ等しいことから、波浪の他に風等の作用が加わって発達したと考えられる。それに対し右岸側砂州部は、阿武川ダムの完成前にはしばしばフラッシュしていたものの、ダム完成後ではほとんどフラッシュしていない。よって、構造物等の影響を受けずに自然な形で発達する砂州高は T.P.+2.5 m 程度と見込まれる。砂州は中央粒径 0.4~0.7 mm の砂で構成されている。

阿武川下流部の流況（分流前）は、豊・平・低・濁水流量にして各々、 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $8 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4 \text{ m}^3/\text{s}$ である。1972 年に大規模な洪水があったものの、それ以降はダムの建設もあって大きな洪水は発生していない。

当地点に近い川尻漁港（西方約 35 km）等の波浪観測データによると月最大有義波高は冬季において 5 m 程度である。波高・周期の複合出現頻度を波浪エネルギーで見た場合、 $H_{1/3}=2.0\sim 3.0 \text{ m}$ 、 $T_{1/3}=7\sim 9 \text{ s}$ の持つエネルギーが卓越している。潮位については朔望平均干・満潮位差が約 0.5 m と、干満差が小さいという日本海沿岸の特徴が現れている。

3. 橋本川河口の問題点

当河口の問題点は、①河口砂州の形成に伴う河口閉塞により、洪水時に河道内の水位が上昇し、河口周辺、特に堤防高および地盤高の低い左岸漁港周辺で浸水被害がしばしば発生すること、②砂州を人工的に開削したり、洪水時に砂州がフラッシュされた後に、高波浪が来襲した場合、河道内への波浪の侵入により堤防および堤防沿いの人家、漁港施設に越波被害が生じること、③河道部の一部が漁港航路として利用されており、導流堤によりある程度の航路水深は維持されているが、いまだに浚渫が必要とされることである。①、②のような被害は、阿武川ダム建設前においてしばしば生じていたが、ダム建設後は大規模洪水も発生していないこともあり、また人工的に砂州を開削していることもあって、大きな被害は生じていない。しかしその一方、砂州フラッシュの頻度が減少したことで砂州の陸地化が進行していることから、洪水時の危険度は高まってきているとも言える。

4. 河口閉塞の要因と河口処理の基本条件

当河口において砂州が発達する大きな要因は 4 つある。その一つは、砂州を発達させる外力である波浪が大きいことである。砂州高は砂州部において波がうちあがる高さとはほぼ同程度となる。改良仮想勾配法によると、沖波波高 5 m、周期 10 s 程度の波で現況の砂州高 T.P.+

2.5 m まで波がうちあがる計算となる。次の要因としては漂砂供給源があることである。当河口部はポケットビーチの西端に位置し、その前面は海底勾配約 1/50 の砂質海岸であり、豊富な漂砂供給源となっている。さらに、河口部を開口させる外力である河川流量（平水時）および入退潮量が小さいことがより砂州を発達させる要因となっている。以上の要因を踏まえ、当河口の河口処理計画の基本条件を次のように設定する。

（1）許容砂州高

予備的に実施した 1 次元の砂州フラッシュ計算によれば、河口部の最高水位は砂州高+0.2 m 程度と推定された。そこで、河口部計画高水位が T.P.+1.6 m であることから計画高水位を越えないようにするための許容砂州高をそれよりも 0.2 m 低い T.P.+1.4 m とする。

（2）河口部開口幅および水深

河川流量や入退潮量で維持できる河口部河積が非常に小さいことから、河口処理を施さない場合は完全閉塞に近い状況となり、中小洪水時の排水不良や平水時において河川水が滞留し河道内水質が悪化するなどの悪影響が考えられる。したがって、現況と同程度である開口幅 70 m、水深 3 m 程度を維持するよう計画する。

（3）河口部左岸法線

現況の河口部河道は、砂州が右岸側から発達していることから、大きく左岸側に蛇行している。現況河道において右岸側の河積として有効な開口幅は 210 m 程度である。これに中導流堤から左岸側の開口幅 70 m を加えた 280 m を新たな河口幅となるよう、図-1 に一点鎖線で示すような左岸法線を設定する。不等流計算によると、この河口幅であれば計画高水流量 $1,400 \text{ m}^3/\text{s}$ は十分流下可能である。したがって、当河口処理計画はこの新規左岸法線の条件下で計画することとする。

5. 河口処理案

砂州高は波の遡上高でほぼ決まることから、砂州高を低減させる方法として、人工リーフを河口前面に設置し、その消波機能を利用する方法を提案する（図-3）。人工リーフの規模は、建設省河川局（1991）をもとに、期待する波浪低減率 0.25 を達成するよう、天端高 T.P.-1.5 m、天端幅 50 m とする。また、堤長は河口幅の半分程度の 150 m とする。

一方、平時の河川流量が少ないことを考慮すると、人工リーフのみでは基本条件である開口幅 70 m の維持は困難と考えられる。そこで現況と同様、中導流堤を加えて計画する（図-3）。

6. 河口処理構造物による洪水流阻害の検討

ここで提案した河口処理工は河道内や河口前面に構造

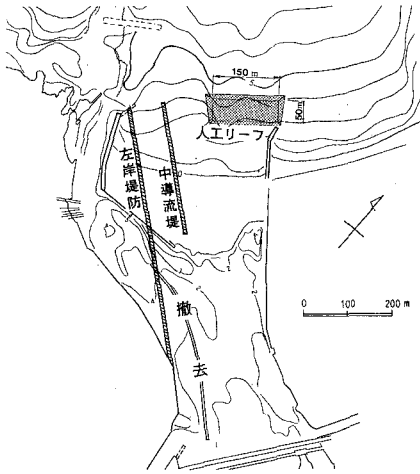


図-3 人工リーフによる河口処理案

物を設置する案であることから、洪水時の流下を阻害し、その結果、河道内の水位上昇をきたす恐れがある。そこで、平面2次元流況計算(有限要素法)により流況および水位変化について検討する。

現況地形において砂州がない場合とある場合、さらには人工リーフと中導流堤を設置した場合の計算結果として流速ベクトル図および水位縦断面図を図-4, 5に各々示す。海域部の潮位は朔望平均満潮位 T.P.+0.23 m, 流量は計画高水流量 1,400 m³/s とする。現況で砂州なしの場合には(ただし河口部河床高は計画値 T.P.-3.0 m に設定), 洪水流の大部分は砂州の掘削部を直線的に流下し, 一部が中導流堤の左岸側を流下する。また「く」の字の中導流堤の下流背後では流れが剥離し, そこに逆流渦が形成されていることから, この中導流堤がかなり流れの阻害要因となっていることがわかる。しかし, 河積が十分であることから水位は計画高水位をはるかに下回る。なお計画高水位はある程度の規模の砂州があるものとして設定されているものである。次に現況で砂州ありの場合, 砂州により洪水流は阻害され, 中導流堤の左岸側開口部に流れが集中し海域に流出している。水位は計算範囲で計画高水位を上回り, 河口部でその差は約1.2 m に達する。ただし, この計算では砂州高が十分高いものとし, 砂州を越流しない条件としている。一方, 人工リーフの場合では, 人工リーフ天端上で水深が浅くなることからやや流速が速くなっているものの, ほとんど河道内で流れが阻害される状況は見られない。現況砂州なしの場合と比較し, 最大で26 cmの水位上昇量におさまっている。

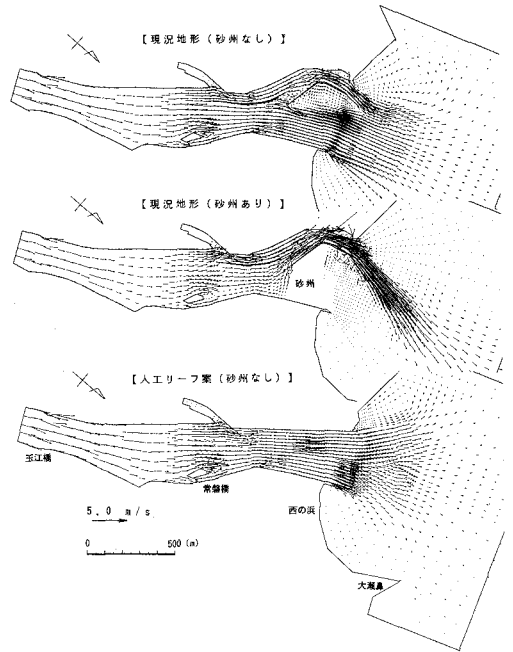


図-4 現況および河口処理後の平面流況

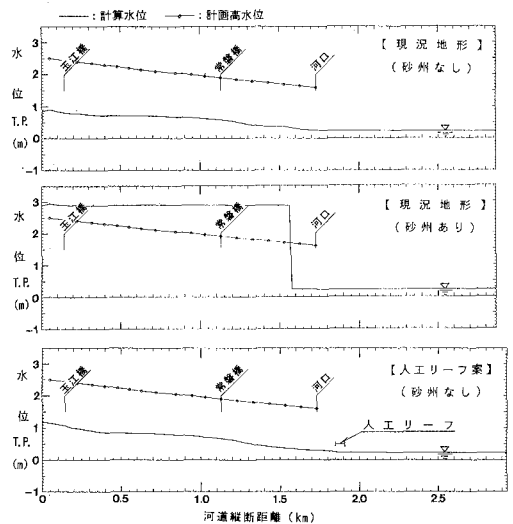


図-5 現況および河口処理後の水位縦断面分布

7. 移動床実験による砂州形成の検討

提案した河口処理工の砂州高低減効果について、模型縮尺1/60, 中央粒径0.15 mmの細砂を用いた移動床平面実験により検討する。図-6に模型の平面, 断面図を示す。人工リーフの堤長は, この実験の段階では120 mとし, その後, 右端部開口部を閉じた150 mに変更してい

表-1 砂州高一覧

ケース No.	平均値 (T. P. m)	最高値 (T. P. m)	最低値 (T. P. m)
1	2.39	2.71	1.74
2	1.91	2.58	1.39
3	1.77	2.85	0.90
4	1.87	2.44	1.18

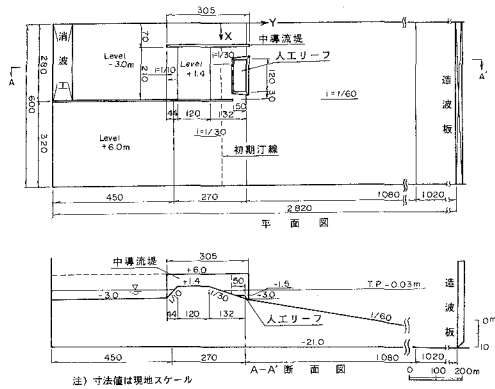


図-6 移動床実験模型平面および断面

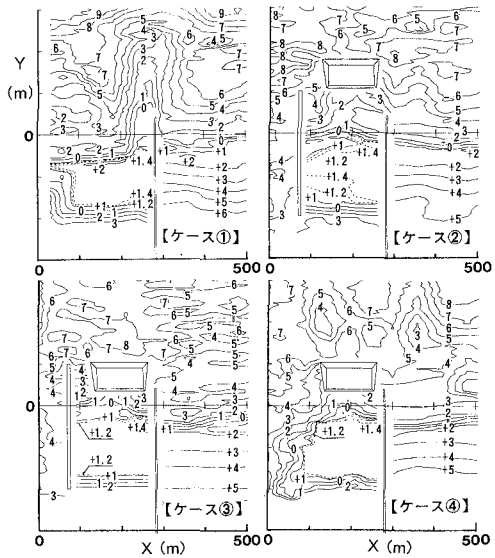


図-7 30時間後の砂州地形

る。実験において、砂州がない状況から現況に近い砂州形状を発達させることが困難であったことから、ここでは初期地形として許容砂州高である T.P.+1.4m の高さに砂州を形成させ、波作用後の砂州の変形を追跡した。

実験ケースは、①：河口処理工なし、②、③：人工リーフ、④：③から中導流堤を撤去の4ケースである。②、③の違いは人工リーフの設置位置を変更した場合であり、堤脚水深が各々4.2m、3.1mの場合である。

入射波高3m、周期10sの波を30時間(模型時間)作用させた時の最終地形を図-7に示す。なお、河川流量はないものとする。まずケース①では左岸側開口部は砂州の発達により急速に塞がれ、完全閉塞状態となっている。砂州より開口部に向かう強い沿岸流が砂州の汀線近傍で生じ、砂州自体の砂が開口部へと運ばれたことによるも

のと推定される。したがって、開口部を維持するにはこの沿岸漂砂を阻止する中導流堤のような構造物が必要であることがわかる。ケース②、③の人工リーフの場合はその背後で舌状に等深線が張り出しており、堆砂が生じている。離岸距離の大きい②のケースの方が、人工リーフの両側開口部から回り込んでくる波浪の影響が大きいため、地形変化も大きい。ケース④では砂州が開口部に伸び、さらに上流へと発達する様子が伺え、ほぼ完全閉塞に近い状況となっている。このことから、中導流堤の必要性が再度確認された。なお、このような浅海域での砂州の発達、筆者らの一人が検討したサンゴ洲島の変形現象とよく似ている(宇多ほか, 1992)。

波の遡上によって形成されたと見られる砂州の前浜部の高さを砂州高として表-1に示す。なお、現況とほぼ同様な条件で行った予備実験で現況砂州高 T.P.+2.5m が再現できなかったため、割増係数1.16を乗じた値により各ケースを比較している。これによると、人工リーフによる砂州高の低減効果が明瞭に現れており、平均でほぼ許容砂州高に近い値となっている。中でも③のケースが効果的なことがわかる。

8. 砂州フラッシュ実験による河道内水位の検討

人工リーフと中導流堤を設置した後に発生が予想される砂州地形を石炭粉で形成させ、洪水時における砂州のフラッシュ状況を水理模型実験で再現し、河道内水位の堰上げ状況を検討する。図-8に各ケースの初期地形を示す。ケース①は現況であり、ケース②は人工リーフの場合である。ケース①は現況の砂州地形を基に、ケース②は先に実施した砂州形成実験結果を参考に各々砂州地形を設定してある。模型縮尺は1/60、砂州を構成する石炭粉は中央粒径0.2mm、比重1.50である。

図-9に各ケースの砂州フラッシュに伴う砂州の変形状況を示す。ケース①では過去においてしばしば生じた砂州フラッシュと同様右岸側で砂州が決壊している。ケース②では砂州高の低い人工リーフ背後と中導流堤の間で砂州がフラッシュしている。2ケースとも概ね流量1,200m³/sでフラッシュが始まっているが、ケース②は砂州高が低い分だけやや砂州フラッシュ開始時刻が早

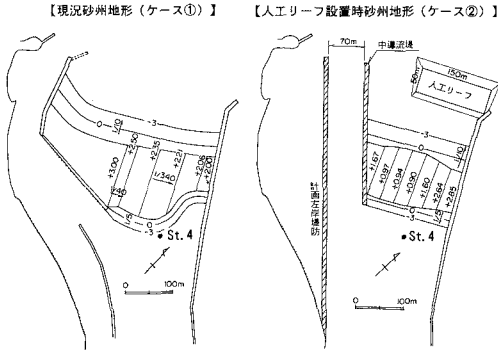


図-8 砂州フラッシュ実験時の初期地形

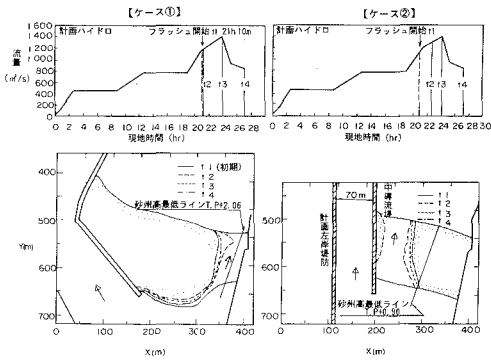


図-9 フラッシュ時の砂州地形の変形状況

い。

図-10 に砂州直上流部に位置する St. 4 (図-8 参照) における水位変化を示す。最高水位は、現況(ケース①)では T.P.+3.28 m と、計画高水位および計画堤防高を上回る。これに対し人工リーフを設置した場合(ケース②)、計画高水位は越えるものの、水位は最高で T.P.+2.10 m と計画堤防高よりも低くなっている。また計画高水位を越えている時間も約 1.5 hr. と、①のケースが約 23 hr. であるのに対し短くなっている。

9. 考 察

人工リーフと中導流堤を組み合わせた場合、砂州全域にわたって砂州高を許容砂州高 T.P.+1.4 m に抑制するまでに至らなかったものの、平均的にはその値に近く、また部分的にはその値より低く砂州高の発達を抑える効果が認められた。砂州の一部でも許容高より低い箇所を作り出せたことで、砂州フラッシュの開始が早まり、河道内の水位上昇を抑えることが可能となった。また、人工リーフ単独では常時開口部を維持することはできず、

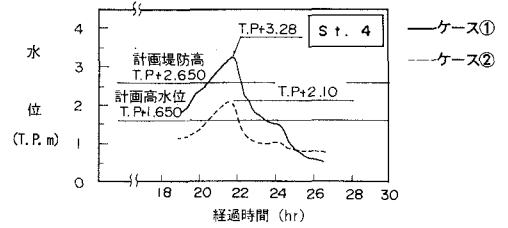


図-10 砂州背後河道内の水位変化

中導流堤との組み合わせが必要であることがわかった。

砂州高が低い箇所は人工リーフ背後中央ではなく、中導流堤寄りである。これは、人工リーフ上の波の屈折作用と中導流堤の持つ波の遮蔽効果により、その背後の波高分布形が対称とならないことに起因するものと考えられる。

人工リーフの背後には離岸堤と異なり著しい堆砂は生じないものの、若干の堆砂が生じる。しかしこの堆砂は砂州高を含め砂州の発達を助長するものではなく、砂州フラッシュに大きな影響は与えないと考えられる。また、人工リーフ背後の水位上昇については、中導流堤との間に開口部があり、人工リーフ天端上を岸に向かう流れはこの開口部を通じて沖合へ戻ることから、波の遡上高を高めるような大きな水位上昇は生じないと考えられる。

10. あとがき

従来の河道計画では、河口砂州の存在は否定されるものであり、導流堤を延ばしても砂州の発生をなくすことは現実的に困難な場合が多い。その一方、河口砂州は河道内への波浪や塩水の侵入を阻止するバリアーとなることから、本研究ではその存在を前提として、洪水時にすみやかに砂州がフラッシュされるよう極力砂州高を低下させる手法について検討した。ここで提案した人工リーフは一種の沿岸砂州とも考えてよく、洪水流の流下は阻害せずに波浪の侵入を防止し、さらには砂州の高さを抑制する効果が期待できるものと考えられる。人工リーフは没水構造であることから景観を損なうことがなく、観光地等の景観を保全する意味でも、この構造物は適していると考えられる。今後、この種の施設の有効性を現地河川で検討していきたいと考えている。

参 考 文 献

建設省河川局海岸課監修 (1991): 人工リーフ設計の手引き, 全国海岸協会, 94 p.
 宇多高明・伊藤弘之 (1992): サンゴ洲島の形成・消失機能に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 376-380.