

人工リーフを用いた河口処理工の検討 -乙大日川の河口を例として-

River mouth improvement using artificial reef - an example of Kinoto-Dainichi river -

宇多高明*・皆本重雄**・五十嵐新治***・柿市勝重****・大森慎二郎****

Takaaki Uda, Shigeo Minamoto, Shinji Igarashi, Katsushige Kaki-ichi and Shinjiro Omori

An artificial reef is applied to the river mouth improvement. Numerical simulation of wave, nearshore currents and flood currents were conducted under the condition, in which an artificial reef is installed in front of the mouth in order to reduce wave height in the river and to induce outward currents to enhance scouring in the reef gap so as to be safely used for navigation channel of small fishing boats. As a result of the numerical simulation optimum design of artificial reef as a river mouth improvement was determined.

Key words: river mouth improvement, artificial reef, numerical simulation

1. まえがき

中小河川の河口では波浪の作用により河口がしばしば閉塞し、河口上流の水位が上昇する。一般に中小河川では大河川と比較して堤防高が低いから、このような水位上昇はかなり大きな影響をもたらす。このため河口閉塞の防止のために、例えば導流堤による河口処理工などが行われている。しかし、導流堤を造っても導流堤内への堆砂が再び生じてその処置が問題となることも多い。一方、最近では海洋性リクリエーション利用の一環として、河口部にマリーナが併設されることもあり、その場合河口閉塞だけでなくボートなどの舟運確保がこれに加わり、問題が更に複雑となる。ここでは新潟県北部において日本海に流入する荒川の河口に隣接する乙大日川の河口を取り上げてこの種の問題について検討する。ところで、宇多ほか(1994)は、河口処理工の一つとして人工リーフを河口に設置して波により形成される砂州の高さを低下させる方法について検討し、砂州高の低下手法として人工リーフによる波浪減衰が有効なことを水理模型実験と数値計算により示した。このことより、本研究でも河口導流堤の沖に人工リーフを設置し、河道内への侵入波高を下げるるとともに、人工リーフを導流堤の先端より離し、その開口部で洗掘を起こさせることによりそこをボートの航路として有効利用することを考え、数値計算によりその可能性について検討した。

2. 乙大日川の地形特性

乙大日川は、新潟県北蒲原郡中条町において日本海へ注ぐ流域面積23.8km²の河川であり、河口部において烏川(流域面積28km²)と合流し計画流量270m³/sとなる。乙大日川はもともと河口で荒川に合流していたが、1980年に本川の堤防が完成したため水門を残して本川と分離された。河口の現況を図-1に示す。図に示すように乙大日川の右岸導流堤は荒川の左岸導流堤と兼用となっている。導流堤は現況で左右岸とも延長約130mとなっているが、この導流堤は経年的に延長されてきた。導流堤の建設後、河口には冬季風浪により土砂が堆積して砂州が形成されるため、浚渫と土砂堆積がくり返されてきた。河口付近の堤内地盤高はT.P.約3m、河口部の計画河床はT.P.-2.5mである。また写真-1には1994年11月30日撮影の乙大日川河口部の空中写真を示す。現況の導流堤は荒川本川の堤防に対して約16°傾いて伸びており、河道内には河口砂州が伸び完全閉塞している。また本川の河口は左岸に寄っているが、みお筋はそこから大きく右岸方向へ伸び、導流堤の先端部に浅瀬が形成されている。

-
- * 建設省土木研究所河川管理総括研究官、工博
 - ** 建設省北陸地方建設局羽越工事事務所調査課長
 - *** 建設省北陸地方建設局羽越工事事務所調査課
 - ****三井共同建設コンサルタント(株)

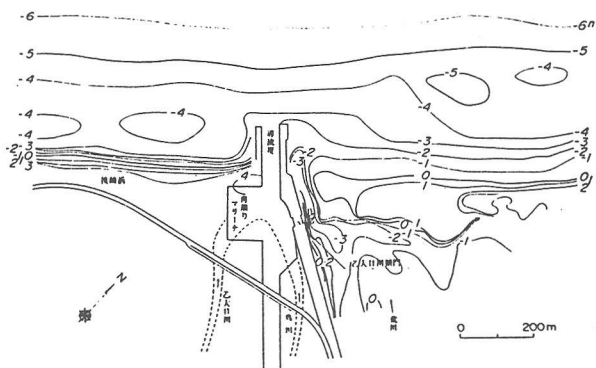


図-1 乙大日川と荒川河口の位置

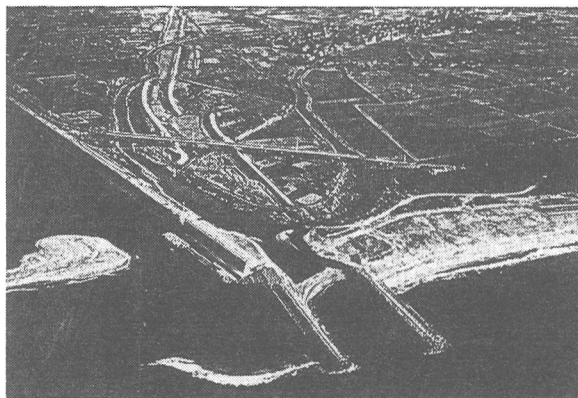


写真-1 乙大日川河口部の空中写真

(1994年11月30日撮影)

3. 人工リーフを用いた河口処理工の基本的考え方

導流堤や人工リーフを用いた河口処理工を一般論として考えてみる。まず、河口部前面での波浪を減衰させ、河川流を流れ易くするために、河口冲到離岸堤を設置した場合を考える(図-2a)。この場合、離岸堤の背後には一対の海浜循環流が生じ、離岸堤の背後では土砂が堆積することになる。離岸堤の背後では静穏となり開口部と比較して砂州高は低くなるので、河川流は離岸堤背後の舌状砂州を通して流れる。このような状況は離岸堤背後に小河川が流れ込む場合にしばしば観察される。しかし、乙大日川のように河口がマリーナとして利用される場合には河口水深が取れないのでこの案は採用不可能である。そこで図-2bのように離岸堤の背後に平行導流堤を設ける案が考えられる。この案では離岸堤が十分長く、それによる波の遮蔽域が広い場合にはやはり河口部での堆砂が問題となる。一方、離岸堤長が短ければ波浪減衰効果は期待できない。図-2cのように人工リーフを河口冲到に設置すると、人工リーフの背後ではリーフの天端高をよほど高くして波浪減衰効果を高めない限り、リーフ上およびリーフ背後の循環流の方向は図-2cに示すように離岸堤の場合と逆になるから、離岸堤ほどには堆砂はしなくなる。しかし、波が斜め入射する条件下での沿岸漂砂移動を考えれば、河口部(人工リーフの背後)では堆砂傾向になるはずである。このことから、沿岸漂砂があった場合河口水深が確保されるような工夫が必要である。これには、図-2dのようにリーフの岸側に平行導流堤を設置すれば良い。これが本研究の提案である。この場合、リーフの天端高を高くし過ぎると洪水時の河積障害となるので、この点には十分な工夫の必要がある。図-2dの形状としたとき、高波浪時には図のような一対の循環流が生じる。この流れは宇多ほか(1989)が示したように、リーフと導流堤の開口部の洗掘を助長すると考えられるので、航路確保のためにも有効と考えられる。

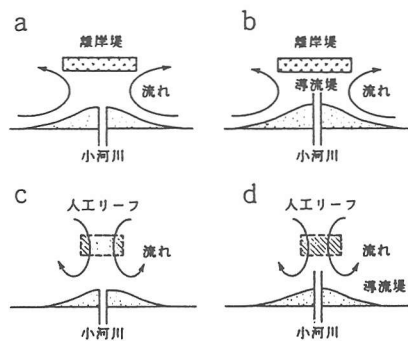


図-2 各タイプの河口処理工の概念的比較

4. 人工リーフの概形検討

乙大日川の河口には現況で左右岸とも約130mの導流堤が伸びているが、この導流堤の延伸および人工リーフ設置に伴う荒川河口部およびマリーナの航路への影響を検討する。検討範囲は乙大日川と荒川の河口部である。人工リーフの配置形状については、予め消波効果のある人工リーフを検討した上で、導流堤の先端位置と人工リーフとの間隔、人工リーフの天端水深、天端幅および堤長について不等流計算と海浜流の数値計算により検討する。図-3に示すように、導流堤自身の幅を含む導流堤間隔は100mであり、人工リーフによる波の遮蔽域を過度に広げないため、人工リーフの長さは導流堤の外側法線を結ぶ距離と同じ100mとする。また、人工リーフの幅は60mとする。リーフの位置は表-1に示すように、導流堤の先端に接続する場合と、30mの開口部を設ける場合の2ケースとする。ここに30mの根拠として、プレジャーボート(30フィート級)が開口部を安全に通過可能な幅として艇長の3倍とした。図-3に示すリーフの沖端のA-A'を連ねる位置の水深はケース②、④ではT.P.-4.5m、ケース③、⑤では-4.7mである。実際にはリーフの沖のり勾配は1:3なので、のり先水深はそれぞれ-4.7m、-4.8mとなる。宇多ほか(1990)によると、この付近における波による地形変化の限界水深は約-7mにあるから、沿岸漂砂は下手側に回り込み得る条件下にあるが、導流堤を30m延長することにより導流堤の先端水深は-3mとなって、通常時にはかなり沿岸漂砂を阻止する条件である。

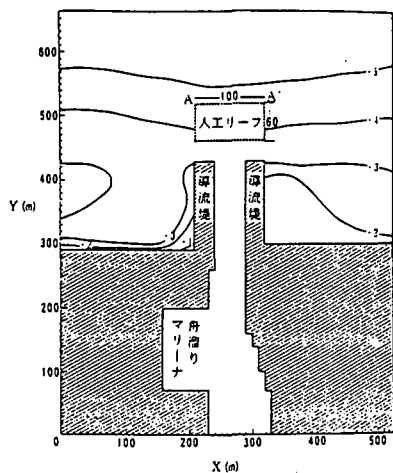


図-3 乙大日川河口部の地形、
河口処理工案および計算領域

表-1 各ケースの形状比較

ケース	天端水深: h (T.P.-m)	開口幅: l (m)
①	—	—
②	1.5	0
③	1.5	3.0
④	2.5	0
⑤	2.5	3.0

概 念 図	人工リーフ				
	導 流 堤	①	②	③	④
					

5. 不等流計算による検討

導流堤と人工リーフを設置したとき、計画流量 $270\text{m}^3/\text{s}$ の流下能力は一次元不等流計算によって確認されている。そこでここでは導流堤と人工リーフの形状を与えて平面2次元不等流計算を実施し、人工リーフ周辺での洪水流の広がり状況を調べた。境界条件として、沖側の境界水位はT.P. 0.75mとし、上流端より流量 $270\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。また粗度係数としては0.035とした。

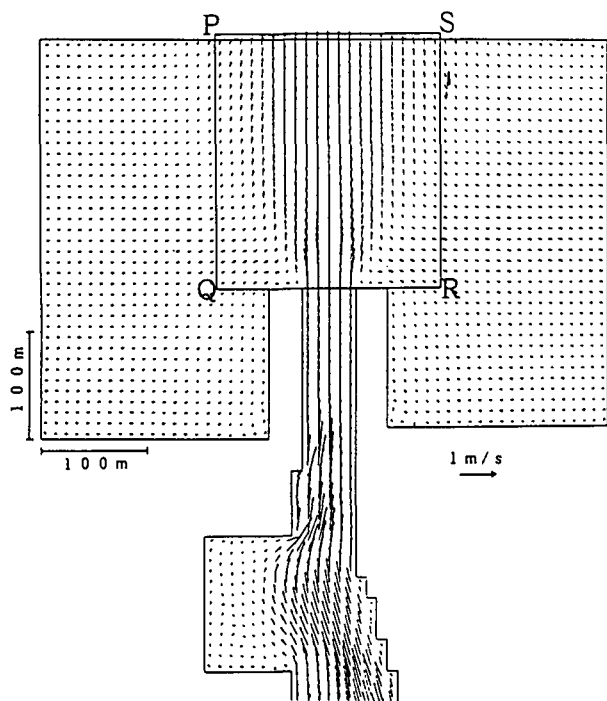


図-4 洪水時の流況 (ケース①: 人工リーフなし)

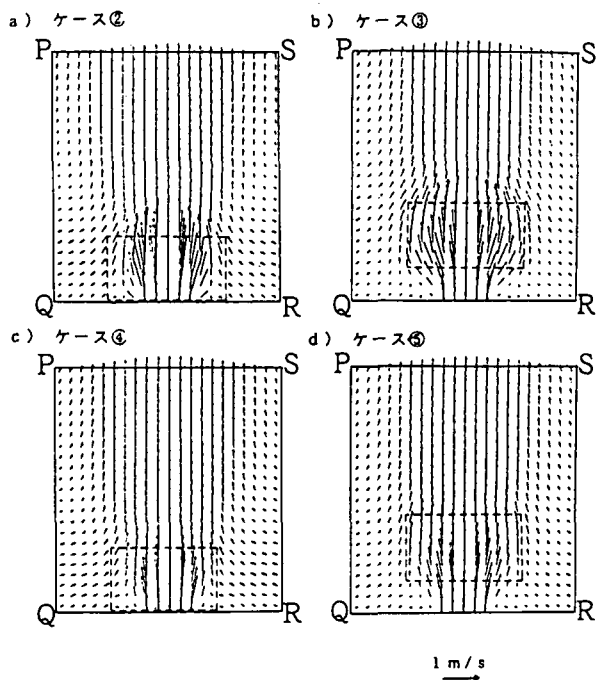


図-5 洪水時の流況の比較

(a: ケース②, b: ケース③, c: ケース④, d: ケース⑤)

図-4, 5が計算結果である。図-4に示すケース① (人工リーフ無し) では、流れはマリナーで一度急拡したあと、その下流端での急縮によりやや右に蛇行し、さらに導流堤の先端より左右の海水を連行しつつ沖向きに流出している。ケース②～⑤の同様な計算では、人工リーフの有無により上流部から導流堤の先端までの範囲での水位は変化するものの、流況はケース②～⑤で大きな変化はない。一方、導流堤の先端から沖の流況は人工リーフの有無、位置および天端高により大きな違いを示す。そこで図-5にはケース②～⑤の計算結果をまとめて示す。まず、ケース② ($h=1.5\text{m}$, $l=0\text{m}$) では、河口導流堤のすぐ沖に人工リーフがあって流れの拡散が抑えられ、リーフ上ではほぼそのまま直進したあと、リーフを越えたのち大きな広がりを出す。リーフ上では流れが集中し強い流れとな

っている。全体的に見ると、リーフの沖へと流れの拡散範囲が移動したかの状況を呈する。ケース③ ($h=2.5\text{m}$ 、 $l=30\text{m}$) の場合も流況はケース②の場合とよく似ているが、導流堤と人工リーフとの間隔が30mに広まったため、洪水流がリーフ上で大きく広がり、よりスムーズに流れている。ケース④ ($h=2.5\text{m}$ 、 $l=0\text{m}$) ではリーフの天端高を下げ、洪水流の阻害度が低下したため、洪水流の沖への拡散がよりスムーズになった。流況はケース①とよく似ている。ケース⑤ ($h=2.5\text{m}$ 、 $l=30\text{m}$) では人工リーフと導流堤の開口部の距離が長くなったため、やや外向きに広がりつつ洪水流が流出している。

図-6には河口部の水位縦断変化を示す。人工リーフのないケース①を基準として考えたとき、 $h=1.5\text{m}$ のリーフを直接導流堤の先端に接続したケース②では水位が17cmも上昇し、人工リーフ無しに比較して明らかに流れを阻害している。天端高はケース②と同じにしたまま人工リーフを導流堤の先端から30m離れたケース③の河道内水位はケース①に比べて約12cm低下し、洪水流に対する影響は大きく低下した。天端高を更に低下させ、 $h=2.5\text{m}$ としたがリーフを導流堤に接続したままのケース④では河道内の水位は最大約4cm上昇している。更にケース⑤では現況のケース①と水位はほとんど同様である。以上より、河道内水位を上げないためには、リーフと導流堤先端との間に開口部を設けることがまず有効であり、それに続いてリーフの天端高を下げる必要があるとされる。最終的に、開口部を設けた上で人工リーフの天端高を2.5mまで下げれば洪水流に対しては現況とほぼ同等と言える。

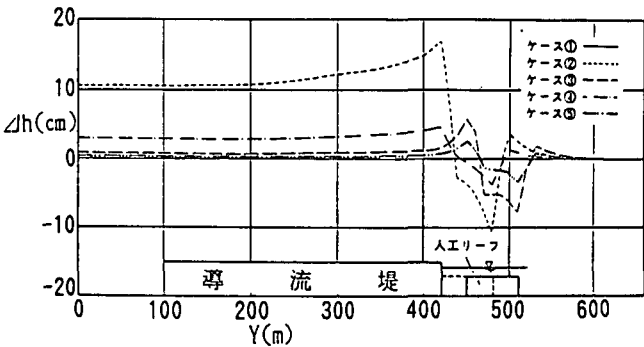


図-6 2次元不等流計算による河道内水位の比較

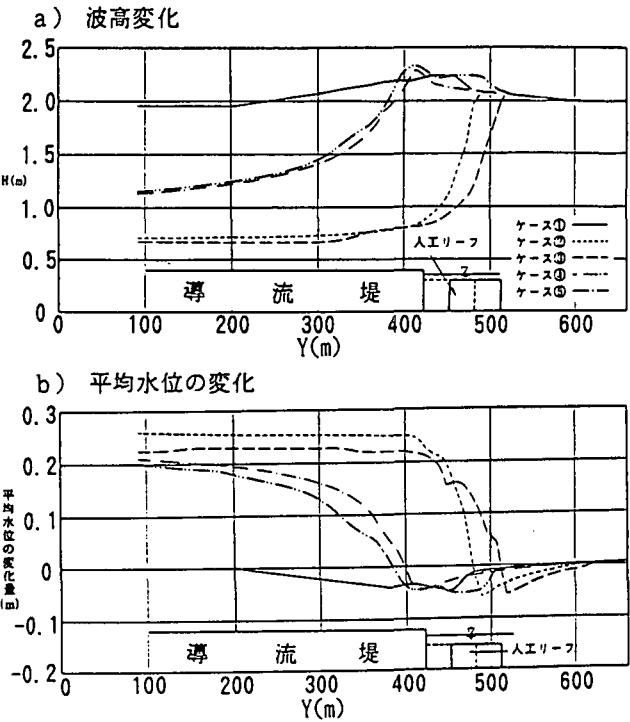


図-7 河口内の波高分布と水位上昇量の比較

6. 海浜流の数値計算による検討

海浜流の計算条件として、潮位は平均潮位のT.P. 0.51mに、人工リーフの天端幅は60m、堤長は100mとした。また導流堤は現況に対して両岸とも30m延長し、全長160mとしている。導流堤間とマリーナの水深はT.P. -2.5mとした。波浪条件としては、冬季風浪時しばしば出現する高波浪として $H_{1/3}=2.0\text{m}$ ($T=7.2\text{s}$)の波を想定するとともに、通年の超過出現率10%の高波浪として $H_{1/3}=3.1\text{m}$ ($T=8.4\text{s}$)も設定し、これらの波を直角入射させた。計算範囲は沿岸方向に約600m、岸沖方向に約650mとし、10mメッシュで領域を分割した。

まず、河道内の波高と平均水位の変化を図-7に示す。人工リーフ無しでは河道内波高は約2mであるが、人工リーフを設置することにより波高は大きく低下している。特にケース②、③での波浪減衰効果は著しい。この計算では導流堤の両岸の消波工による波浪減衰は考慮していないが、リーフにより河道内はかなり静穏にできることが分かる。一方、河道内の平均水位はケース②、③の場合急激に増加する。

海浜流の流況に関して図-8にはケース①の計算結果を示す。

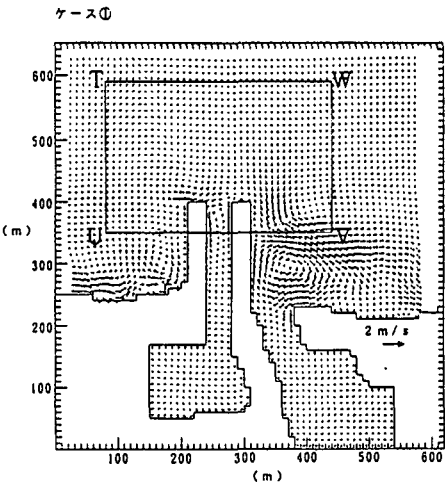


図-8 導流堤周辺における海浜流の流況

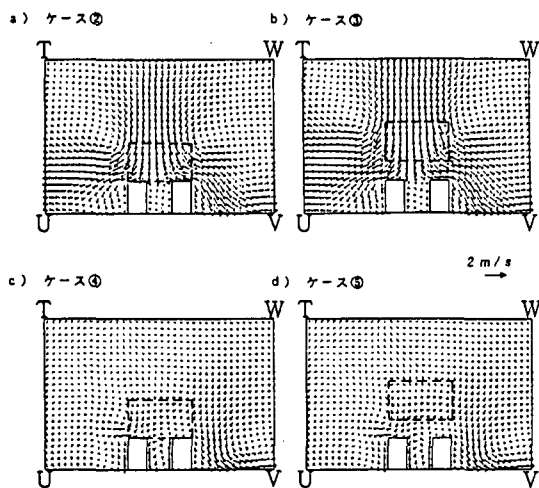


図-9 導流堤周辺における海浜流の流況

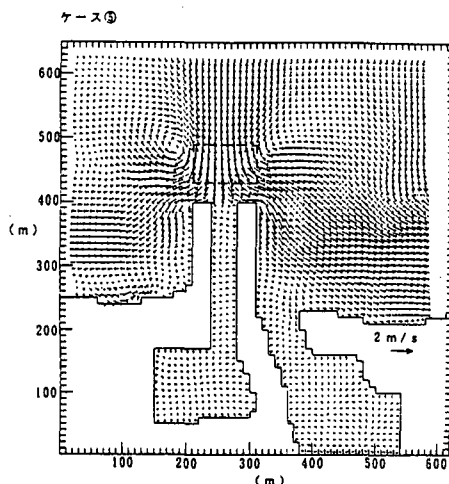


図-10 高波浪時における海浜流の流況

荒川の河口部には浅瀬があるため、そこでは時計回りの循環流が生じているが、導流堤の先端付近では顕著な流れは見られない。図-9aのケース②では、人工リーフ上で強い岸向き流れ（最大流速約1.5m/s）が発生し、導流堤の先端より左右方向に流れている。これはリーフ上での砕波により岸向きの流れが誘起され、それが導流堤の先端で左右に分かれることを示している。リーフを導流堤の先端より離れたケース③では図-9bのようにケース②とよく似た流況であるが、リーフと導流堤の先端に開口部があるため、この開口部を通過する外向き流れが強くなった。天端高を2.5mと下げたケース④では図-9cに示すようにリーフ上の水深が増加したためリーフ上でも顕著な流れは見られない。最後に図-9dに示すケース⑤の場合も、流れは弱い。

以上の結果は $H_{1/3}=2.0\text{m}$ の場合であるが、更に高波浪の条件でケース⑤の構造物条件で計算したのが図-10である。この場合の流況は図-9bに示したケース③と同様一對の強い循環流が発生し、導流堤とリーフの開口部では外向きの強い流れが生じる。このことは、ケース⑤のような人工リーフを設置すれば、高波浪時導流堤間から離れる方向の流れが生じることを意味する。開口部におけるこのような流れは水理模型実験でも示されているように（宇多ほか、1989）、洗掘を引き起こすと考えられるから、開口部を航路として用いる上で好都合である。

7. まとめと今後の留意点

河口処理工として導流堤と人工リーフの組み合わせについて数値計算により検討した。この結果、現況と比較して洪水流下能力を下げるることなしに河口部を静穏化するとともに、航路を維持する手法として開口幅を30m、天端高を-2.5mとする案がほぼ妥当なことが分かった。図-1に示したように、乙大日川は荒川に隣接して流入している。この付近の海岸状況としては、宇多・野口（1991）に述べられているように、荒川河口の北約5kmには岩船港が位置し、そこには長さ約1kmの防波堤が伸びており、そこより北側からの沿岸漂砂は阻止されている。したがって荒川河口より南側の桃崎浜を始めとする海岸への唯一の漂砂源は荒川からの流出土砂である。このことは、乙大日川の導流堤の形状はどうであれ、荒川からの流出土砂の南側への流出を妨げるものとなる。しかも導流堤を延長してその効果を上げれば上げるほど下手側への影響は大きくなる。このことから、下手側への影響を極小化するには将来河口内へ堆積した土砂はしゅんせつ後必ず下手側海岸へ投入して桃崎浜の侵食を助長しないようにする必要がある。

参考文献

- 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。
- 宇多高明・斉藤健一・清水清文（1990）：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・坂野 章・竹渕 勉（1989）：人工リーフの消波効果と構造物周りの海浜変形に関する実験的検討、土木技術資料、Vol.31, No.5, pp.38-43。
- 宇多高明・坂野 章・竹渕 勉（1989）：高知海岸人工リーフ水理模型実験報告書、第2782号、42p。