

安倍川河口部の海浜変形とサンドバイパス 土砂採取の可能性検討

BEACH CHANGES AT ABE RIVER MOUTH AND POSSIBILITY OF SAND
DREDGING FOR SAND BYPASSING

宇多高明¹・三波俊郎²・石川仁憲³・市川一郎⁴・小山 茂⁵・伏見太蔵⁵
Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI, Toshinori ISHIKAWA, Ichiro ICHIKAWA, Shigeru
KOYAMA and Taizo FUSHIMI

¹正会員 工博 (財)土木研究センター常務理事なぎさ総合研究室長兼日本大学客員教授理工学部海洋
建築工学科(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

²海岸研究室(有)(〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

³正会員(財)土木研究センターなぎさ総合研究室(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

⁴安倍川骨材事業協同組合理事長(〒420-0867 静岡県静岡市葵区馬場町124 長島ビル3F)

⁵安倍川骨材事業協同組合(〒420-0867 静岡県静岡市葵区馬場町124 長島ビル3F)

Bathymetric surveys have been carried out around the Abe River mouth between April 2004 and September 2007 to investigate beach changes around the river mouth owing to both flood currents and wave action. The river mouth bar is effective as a storage site of sand supplied during floods. Sand is transported away from the river mouth by northward longshore sand transport with a magnitude of $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$. Numerical simulation was carried out using the contour line change model to predict the effect of the sand dredging on the right bank of the river mouth. It was found that the dredging on the river mouth bar on the right bank causes shoreline recession, suggesting that the dredging on the right bank is not possible because it may cause the closure of a stream behind the bar except the case of a large flood, in which a large amount of sand is supplied to the river mouth.

Key Words : River mouth, Abe River, bathymetric changes, field observation, numerical simulation

1. まえがき

急流河川である安倍川では、河道での砂利採取により河床が著しく低下したが、1967年に砂利採取が禁止された結果、下流部では砂礫が堆積して河床が再び上昇し、一部区間では高水敷と河床面との差が小さくなって高水敷に洪水が乗り上げる被害も出ている。一方、安倍川は河口北側に延びる静岡海岸への砂礫の供給源であり、河道での砂利採取以前には約 $13 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂礫を海岸へ供給していたが、それが途絶えた結果静岡・清水海岸で著しい侵食が起きた。その後海岸への砂礫供給量が増加し、侵食対策として設置された離岸堤を砂礫が埋めつつ北側への移動が続いている¹⁾。しかし離岸堤群が設置されているため、離岸堤群のない時代と比較して沿岸漂砂による砂礫の移動速度が遅く、結果として土砂バランスが崩れているため、過剰な砂礫の堆積が起きている安倍

川河道から砂礫を採取し、その一部を静岡・清水海岸へ輸送するサンドバイパスが行われてきている。しかしトラックによる砂礫の輸送は多額のコストを要し、またCO₂の発生源ともなることから、安倍川起源の土砂の有効活用の一環として、洪水によって運ばれてきた砂礫を河口で採取し、河口から離れた海岸での養浜材として活用できるか否かについて検討する必要性が生じた。この場合、周辺海岸の防護レベルを下げずに砂利採取を行うことが可能かどうか課題となる。

安倍川に関する既往研究として、目黒ら²⁾は、安倍川河口での2003年12月～2004年12月の深浅測量データより河口テラスの地形変化を明らかにするとともに、海域をブロック別に分けて土砂移動量を算出した。この研究ではブロックの設定法に任意性があるため、波による河口部の地形変化機構は十分明らかではない。福濱ら³⁾は、目黒ら²⁾と同様、2004年10月に襲来した台風22,23号による土砂フラッシュとその後の土砂回帰過程について、

2004年9月、10月および2005年2月の深浅図を比較した。これにより洪水により形成された河口テラスが波の作用で侵食されてつぶれ、河口テラスを囲む等深線がなだらかになったこと、また同時に河口右岸砂州が河道を塞ぐように東向きに大きく伸び、洪水前の形状がほぼ復元されたことを明らかにした。さらに洪水による砂州の消失と波による砂州の復元過程を熊田ら⁴⁾の粒径を考慮した等深線変化モデルを用いて予測した。安倍川河口ではその後もモニタリング測量が行われていることから、本稿では2004年4月から2007年9月までの測量データをもとに上記課題について検討する。

2. 安倍川河口部の地形変化の分析

安倍川下流部の右岸側には旧廃棄物処理地区を守る護岸がある。この護岸については現在撤去が計画されているが、現況においてこの護岸は下流部の洪水流の偏流と、それに付随して河口からの土砂供給の著しい非対称性をもたしている。図-1は、2007年2月撮影の安倍川河口部の空中写真である。河口近傍には右岸から丸子川が流入している。丸子川の流路は安倍川との合流点にある水門を通過後100mは直線的に伸びているが、その先では安倍川本川の砂州により大きく出口が塞がれている。図のA付近にある旧廃棄物処理地区を守る護岸が流路に対して大きく突き出ているため、中小洪水時の流れはこの護岸に沿うようにして流れ、結果的に東向きに向きを大

きく変える。しかし大規模洪水時には洪水流が上流から直進して流れることにより、通常時の流路の下流側に砂礫が堆積し、規模の大きな砂州が形成されている。

図-1には河川区域、一般公共海岸区域および海岸保全区域（静岡県所管）を示す。河口前面は一般公共海岸区域に区分される。これらの区域のうち、河川区域では原則として砂礫採取が禁止されていることから、ここでは河川区域外での砂礫の採取の可能性について検討する。

図-2(a)は2004年4月の河口部深浅図である。2003年8月9日には既往最高水位（T.P.3.33m、2002年7月10日）に匹敵する、T.P.3.0mの高水位を持った大洪水が発生した。またその後2004年4月までに大きな洪水はなかったことから、図-2(a)の河口テラスは上記洪水により形成



図-1 安倍川河口部の空中写真

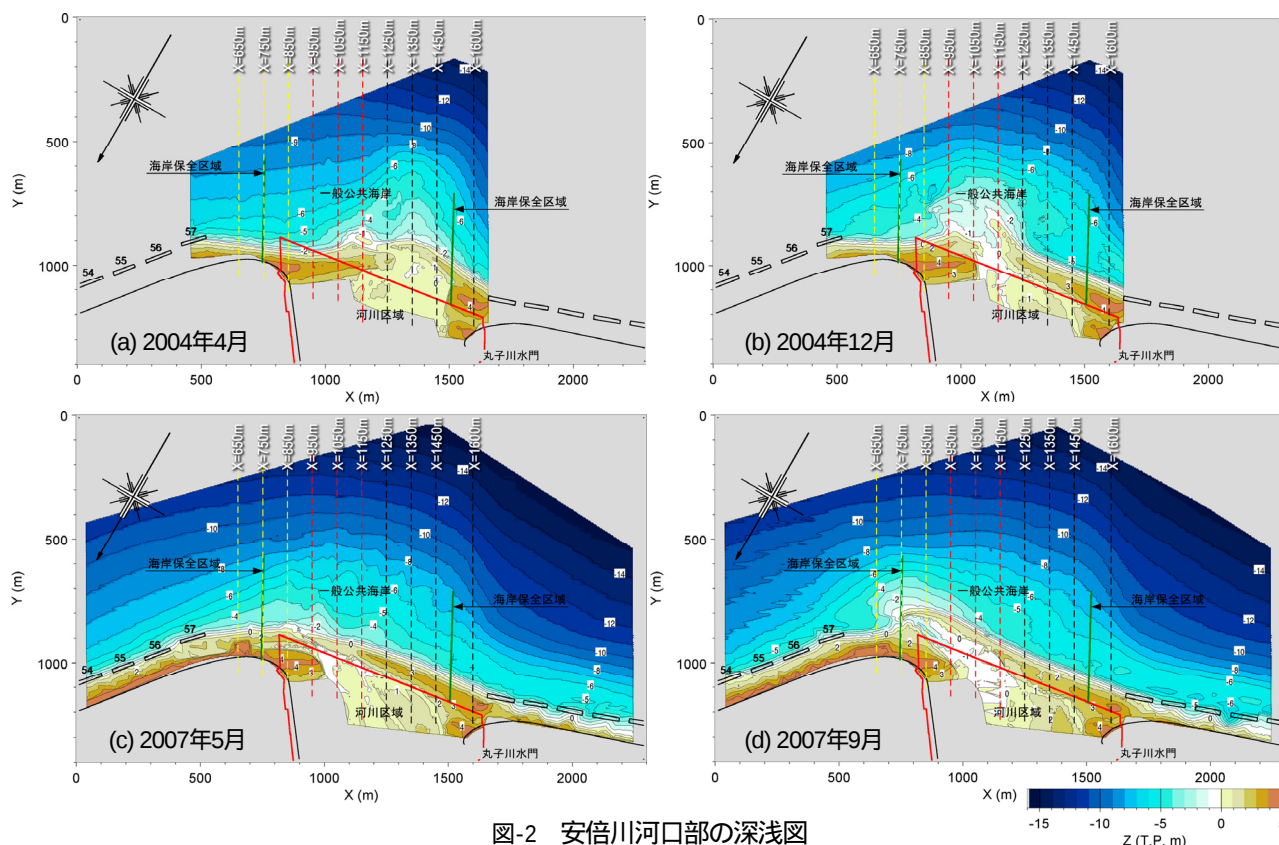


図-2 安倍川河口部の深浅図

されたと判断できる。洪水により河口砂州の中央やや西側部分が切れ、-8m付近まで土砂が流出し、規模の大きな舌状砂州が形成された。

図-2(b)は2004年12月の深浅図である。2004年10月に襲来した台風22, 23号による土砂フラッシュ直後に深浅測量が行われたために、河口へ運ばれた土砂が堆積し、-4mまでの等深線が沖向きに大きく突出しテラス状地形が形成された。その一方、2004年4月には大きく突出していた中央部の舌状砂州は消失し(図-2(a)参照)、-6m~-5mには侵食平坦面が形成された。さらに突出地形の詳細形状を調べると、河口右岸砂州が斜めに大きく張り出ししているのに対し、左岸砂州の張り出しは小さく、河口形状が東西で非対称である。同様に、沖合の-3mの等深線も著しい非対称性を有し、西側では滑らかなのに対し東側では屈曲度が大きい。この要因には上記理由により洪水流がほぼ南東方向へと流れたこと、また卓越波が平均海岸線に対して右斜めのS5°E方向から入射することによると考えられる。

図-2(c)は2007年5月の深浅図である。2004年当時左岸近傍にあった突出地形が2007年では完全に消失し、2004年には汀線が凹状となっていたX=650, 750m断面で砂が堆積して汀線が前進している。これより河口に洪水流によって運ばれた砂礫が岸へ打ち上げられ、東向きに移動したことが明らかである。このような開口部での著しい地形変化と対照的に、X=1250m以西での右岸河口砂州での地形変化はごく小さい。2007年5月では河口開口部はほとんど塞がり、左岸河口砂州が直線状に大きく伸びた。

2007年9月には再び安倍川で洪水が起こり、図-2(d)に示すように-4mまでの等深線が東向きに大きく突出した。この場合もまた右岸砂州は開口部を覆うように細長く伸びているのに対し、左岸砂州の発達が悪い。右岸河口砂州が東向きに大きく伸びたものの、X=1250mより西側での地形変化は小さい。

3. 河口砂州の汀線変化と土砂量変化

2004年4月から2007年9月までに行われた18回の深浅測量データに加え、2008年4月、12月、2009年3月の深浅測量データをもとに、図-2に示す10測線の汀線変化について調べた。図-3は左右岸の代表測線における汀線変化を示す。また図には観測期間中に襲来した台風時の有義波高(ナウファス：清水)の観測値も示す。河口左岸のX=650, 750, 850mの汀線変化では、2004年4月以降汀線は前進傾向にある。この付近は2005年以降、洪水時のフラッシュ開口部に相当し、2005年7~8月、2007年9月のフラッシュによって汀線が大幅に前進した場所である。これと対照的に右岸側では2005年以降、安定ないし後退傾向にあり、フラッシュによる一時的汀線前進もほとんど見られない。

図-4に示すように、2004年4月と2007年9月の深浅図を用い、河口砂州の陸側端から-7m付近まで、沿岸方向には右岸・左岸の離岸堤の手前までの区域において、ほぼ中央のX=1100mで区域を二分し、河口砂州の右岸側を区域a、左岸側を区域bとして各区域の土砂量の変化を調べた。区域a, bの境界線は、2004年4月における右岸側河口テラスと、2007年9月における左岸側河口テラスを分ける位置にある。図-5には一例として2004年4月~2007年9月の水深変化を示す。区域aでは2002年の洪水直後形成された舌状砂州の消失に伴って汀線付近を中心に著しい侵食が起きた。これと逆の特徴が区域bで見られる。図-6は2004年4月基準での河口部土砂量変化であるが、区域aでは2004年4月以降ほぼ単調に減少し、2009年3月までの土砂減少量は約 $56 \times 10^4 \text{ m}^3$ であった。また区域bでは、2004年4月~11月に $41 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、2007年5月~9月には $18 \times 10^4 \text{ m}^3$ 増加したが、これ以外の期間ではほぼ横ばいである。また総量で見ると、2004年4月~11月に約 $26 \times 10^4 \text{ m}^3$ 土砂量が増加したが、その後は緩やかな減少傾向となり、2009年3月では2004年4月より約 $6 \times 10^4 \text{ m}^3$ の減少となった。河口部全体では、大洪水により $(10 \sim 30) \times 10^4 \text{ m}^3$ 土砂量が増加するが、大洪水がなかった2004年11月~2005年7月、2005年9月~2007年5月における土砂減少量はそれぞれ $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $13 \times 10^4 \text{ m}^3$ である。河口部全体では洪水による土砂量の増加と非洪水期での減少を繰り返しつつ、全体としては土砂量が維持されている。土砂量の減少は、北向きの沿岸漂砂の流出による。

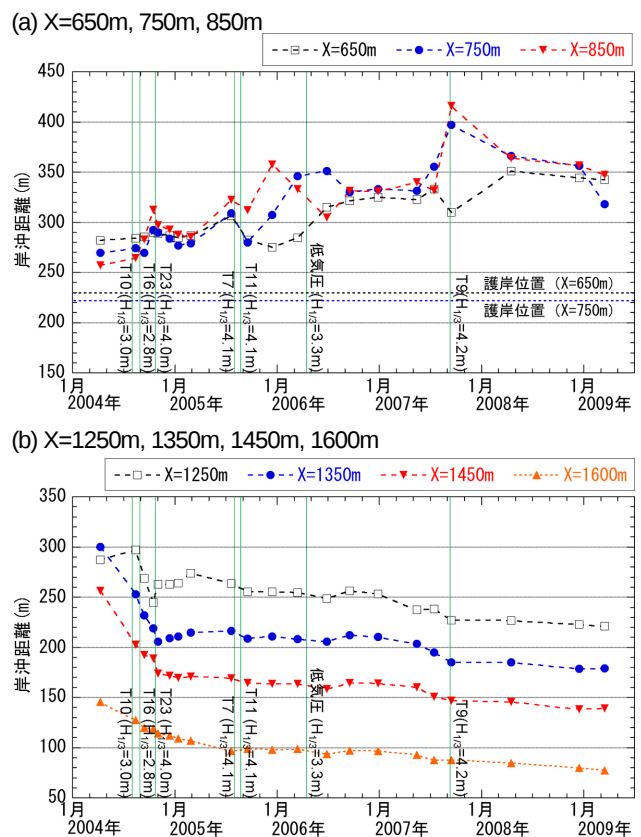


図-3 汀線変化

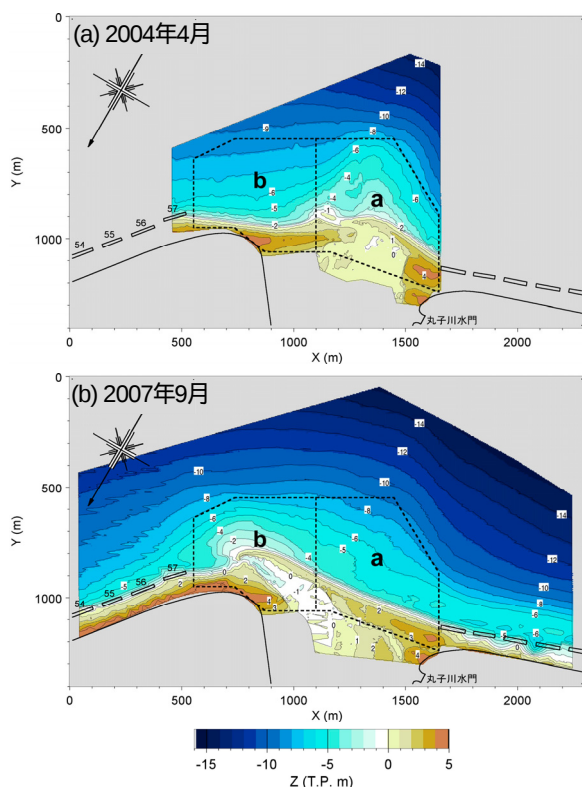


図-4 土砂量計算のための区域設定

4. 等深線変化モデルによる砂州掘削の影響評価

(1) 計算条件

安倍川河口では従来より水みち確保のため右岸砂州で掘削が行われてきた。そこで本研究でもこれを考慮し、まず右岸砂州の掘削の影響を等深線変化モデル（芹沢ら⁵⁾）により検討した。安倍川河口では、中小洪水時の安倍川下流部流路が、右岸護岸（図-1のA）の水はね効果によって左岸近傍に常時固定されている。また河口部での卓越波の入射方向はS5°Eであり右斜め方向から入射する。このため、現況では安倍川からの供給砂礫は河口左岸近傍にいったん堆積した後、岸向きに打ち上げられて砂州を形成し、さらに北向きの沿岸漂砂によって運ばれる条件にある。このため現河口から南側の右岸河口砂州には大規模洪水がない限り砂礫の供給がほとんどなく、このため現況汀線は卓越波の入射方向にほぼ直角な静的安定状態にある。また河口砂州を形成しているのは粒径の大きな砂礫を主とし、しかもこれらは水深5m付近より浅い場所で前浜勾配1/10程度を保って集中的に堆積している。よって河口砂州の汀線と一体的な変動を示すのはバーム高からこの水深までの水深範囲と考えてよい。さらに図-6のように右岸砂州を含む区域aでは、左岸側の区域bの土砂量が増加しているにもかかわらず、これと独立に土砂量が単調に減少している。このことは区域bからaへの土砂流入はなく、むしろ区域aから東側への土砂流出が続く条件にあることを意味する。

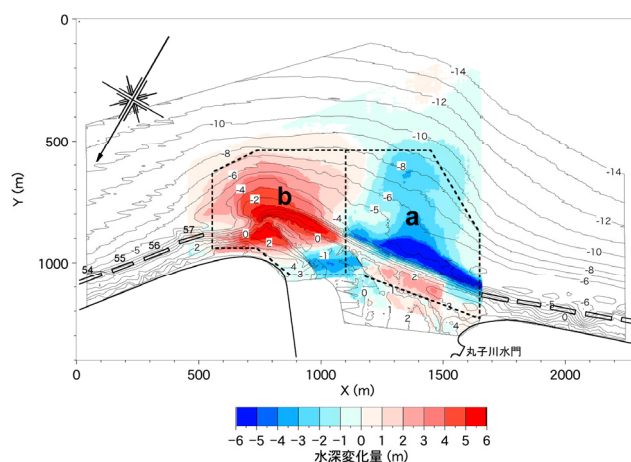


図-5 水深変化量（2004年4月～2007年9月）

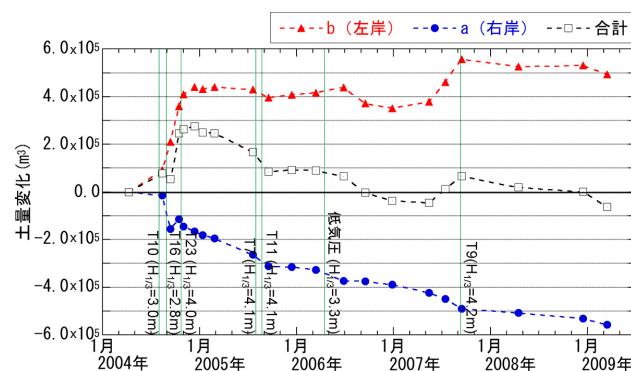


図-6 区域a,bの土砂量変化（2004年4月基準）

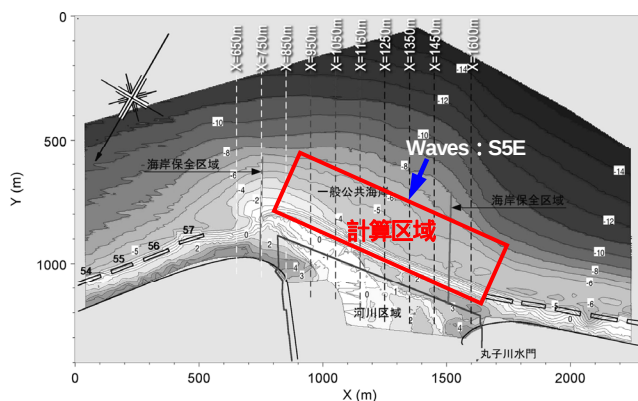


図-7 計算区域

以上より、河口右岸砂州における土砂採取の影響を調べるには、図-7に示す区域を対象に直線状の等深線を有する海岸を考え、その一箇所で土砂採取が行われる条件を考えればよい。そこで図-8に示す初期海浜形状を設定し、沿岸方向にx軸を、これと直角方向にy軸を定める。座標軸の原点は河口の開口部位置に、また他端（南端）は河口右岸近傍にある離岸堤背後に置く。また両端を通過する沿岸漂砂量は0である。さらに、河口砂州の標高（バーム高 h_R ）は南端ではほぼT.P.4m、開口部付近では2mであるが、ここではそれらの平均値としてT.P.3.5mの様な高さとし、また砂州幅は100mとする。前浜勾配は1/10とし、河口砂州の汀線と一体的な砂移動が生じる水深がほぼ-5mにあることから、-5m以浅の等深線が移

表-1 計算条件

数値計算手法	等深線変化モデル (芹沢ら, 2002)
計算対象範囲	安倍川河口部
計算ケース	掘削を10回繰り返すと放置
初期地形	掘削1回目: 展開座標でモデル化した直線平行等深線 (水深-5m ~ 3mの海底勾配1/10) 掘削N回目: 掘削N-1回目の計算結果に掘削を施したもの 放置: 掘削10回目の計算結果
入射波条件	砕波波高 $H_b=1\text{m}$, 波向 $\theta_w=0^\circ$
潮位条件	M.S.L. T.P.+0.0m
限界水深・バーム高	波による地形変化の限界水深 $h_c = 5.5\text{m}$, バーム高 $h_R = 3.5\text{m}$
漂砂量係数	沿岸漂砂量係数 $K_s = 0.2$ 岸沖漂砂量係数 $K_x = 0.2K_s$
沿岸・岸沖漂砂量の水深分布	一様分布
平衡勾配	$\tan\beta_c = 1/10$
土砂落ち込みの限界勾配	陸上: 1/2, 水中: 1/2
計算等深線範囲	$Z = +3.5\text{m} \sim -5.5\text{m}$
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta X = 20\text{m}$, 鉛直方向 $\Delta Z = 1\text{m}$
計算時間間隔 Δt	$\Delta t = 1\text{hr}$
計算ステップ数	掘削1 ~ 10回: 各1000ステップ 放置: 20000ステップ
境界条件	左端および右端: $q_y = 0$ (沿岸漂砂の流出入なし) 岸沖端: $q_x = 0$ (漂砂の流出入なし)
数値計算法	陽解法による差分法

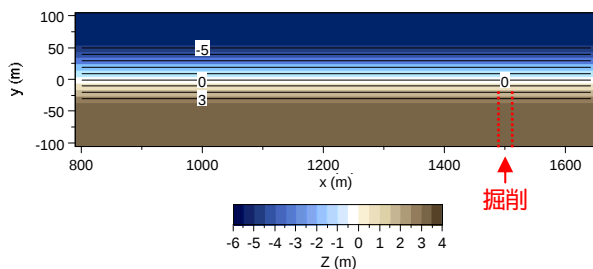


図-8 初期海浜形状

動するものとして水深は水深5.5mの一定水深を仮定した。この水深帯を-5mから3mまで1m間隔の等深線で区分した。

計算では、砕波波高は安倍川の南約20kmに位置する大井川港沖の波浪観測データより求めたエネルギー平均波高1m、波向は汀線に対する法線方向、また波による地形変化の限界水深 h_c を5.5mとする。掘削条件として、 $x=1500\text{m}$ 地点において砂州を横断して幅20mの矩形状の水路を作り、一回あたり 3000m^3 の土砂を採取する条件とする。砂州高は3.5mであるが、潮位変化や遡上波の作用を考えれば、砂州の掘削は平均海面上1m程度が限界となる。そこで土砂の掘削範囲は標高で1.5m以上とし、掘削断面は垂直の壁を保つとして数幅20mの矩形状水路を人工的に造った。

(2) 計算結果

計算時間間隔を $\Delta t = 1\text{hr}$ とし、土砂採取後波の作用が1000時間続くとする。この操作を10回繰り返す。毎回の掘削後波の作用により埋め戻された地形と初期形状との差を図-9に示す。偶数回ごとの地形変化量の平面分布を

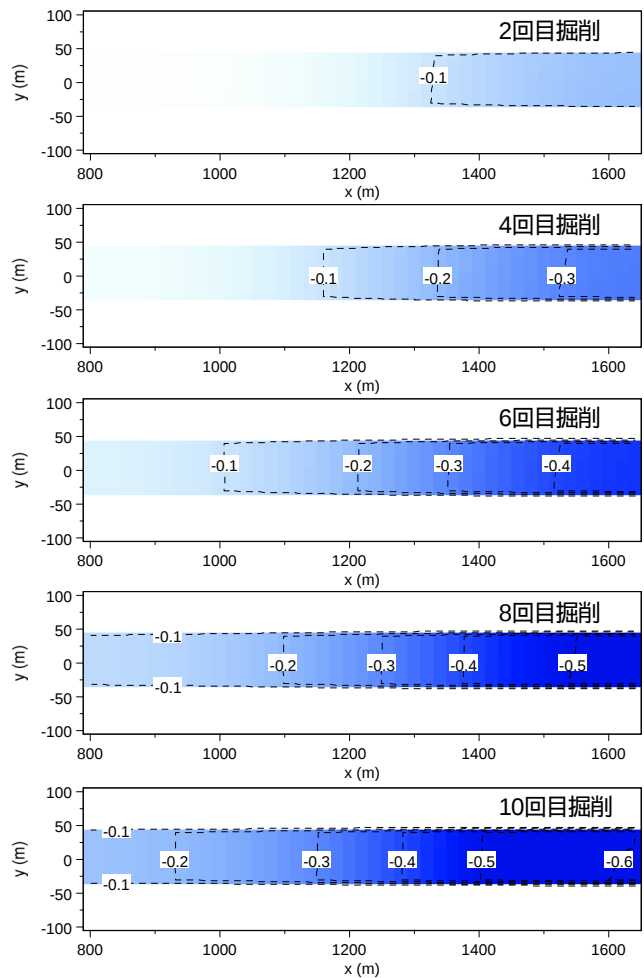


図-9 水深変化量の平面分布

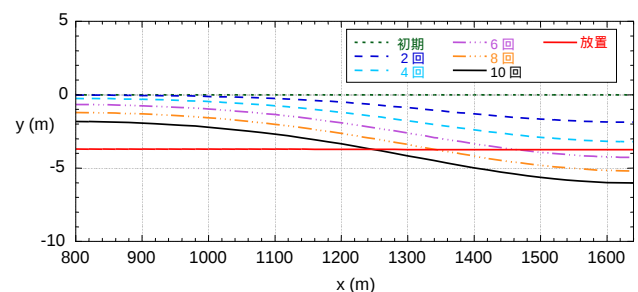


図-10 汀線変化

示す。掘削回数の増加に伴い侵食量が増大し、かつ侵食域が南端部から北側へと広がりを示す。10回の掘削後には南端部で砂州高は0.6m低下し、北側へと次第に低下する分布となる。図-10には初期と2,4,6,8,10回目の掘削終了後1000時間波が作用した段階、および10回目の掘削以降放置した場合での、初期からの汀線変化を示す。最初南部から汀線後退が始まり、影響域が次第に北側へと及ぶ。10回目の掘削が行われた段階では、南部の最大汀線後退量は6mとなる。10回の掘削によって掘削を終了すると、その汀線は不安定なため変形が続く。放置の計算では初期汀線と平行になるまで変形が及び、最終的に砂州高3.5m (3m等深線) を保って約4m後退している。このように、安定に見える安倍川右岸河口砂州においても、その一部を掘削するとその影響は河口砂州全体に及びこ

とが分かる．ここでは計算区域の東端では漂砂量が0の条件で計算を行ったが、図-6に示したようにこの区域の土砂量は経年的に減少しているので、掘削の影響はそれに重なることになる．

5．砂利採取の影響評価

安定に見える安倍川河口右岸砂州上のある場所で掘削を行うと、その影響は全体に及び河口砂州の後退が起こる．一方、安倍川では洪水により運ばれた土砂は堆積して河口テラスが形成され、それが北側へと波の作用で徐々に運ばれることが分かっている³⁾．洪水起源の土砂は、中小洪水では洪水流が河口左岸方向を向いて流れるために、その堆積域は河口部とその北側に限られる．よって河口右岸砂州には砂礫の供給がなされないため、本検討のように土砂収支が一定の条件で河口部掘削が行われることになり、その結果掘削の影響が河口砂州全体に及び、砂州の海側の汀線が後退した．

一般に、砂州幅(B)は、入射波高(H)との間にほぼ $B=20H$ なる関係が成立する⁶⁾．すなわち砂州幅は作用波高と一定の関係を保つので、砂州の海側の汀線が後退すると、それに応じて河口砂州の後退が起こる．一方河口右岸から流入する丸子川の流路は右岸砂州に沿って形成されているが、この流路にはまた安倍川の洪水時に運ばれた土砂が堆積し、流路が下流側へと押しやられている．海側から打ち込まれる砂礫の堆積による水路を狭めようとする作用と、洪水起源の砂礫の堆積による水路を狭めようとする両者の作用が働いている．これら両者の作用を考えれば、河口右岸砂州の後退は丸子川の流路の閉塞を助長することにつながると考えられる．したがって現況のように右岸護岸による水はね効果によって河口開口部が左岸近傍に固定されている条件では、右岸砂州の掘削は丸子川の閉塞を助長する危険から避けることが望ましいと考えられる．

以上より、現況では大規模な洪水により大量の砂礫が堆積した場合を除き、河口右岸での砂礫の採取は適当ではないと考えられる．一方、中小洪水により左岸近傍に突出したテラスが形成された場合、その北側で掘削を行うことは可能であろう．掘削を行う場合その位置は $X=950\text{m}$ よりも左岸側とする必要があるが、 $X=650\text{m}$ 断面では背後に護岸が迫り、掘削が防護性能を低下させる恐れがあることから避け、 $X=750\text{m}$ から 850m 断面付近で掘削する手法が考えられる．この場合過剰な採取を防止するために、深浅測量や空中写真から洪水前の状況を把握し、それより大きく突出して土砂が堆積した場合のみ採取が可能であろう．

6．結論

安倍川河口部では、大洪水時に $(10\sim 30)\times 10^4\text{m}^3$ 程度の土砂量の増加が起こるが、この堆積土砂は北向きの沿岸漂砂により毎年 $10\times 10^4\text{m}^3$ 程度の割合で運び去られる．このように河口部は貯砂効果を有しており、そこからほぼ一定割合で沿岸漂砂が流れる条件を有している．

河口砂州に堆積している砂礫は一体的に移動する性質を有し、そこに水路を掘削すると波の打ち上げ作用で水路は急速に埋め戻され、その影響は砂州全体に及ぶ．とくに右岸砂州で掘削を行い、発生砂礫を河口部から運び去ると右岸側砂州の縮小を招き、背後を流れる丸子川の流路が狭まるなどの影響が出ると考えられる．したがって直進性の強い大洪水によって大量の砂礫が現況の右岸砂州沖に供給された場合を除けば、現況の河口右岸砂州で砂利採取を行うことは望ましくない．

一方、中小洪水により河口テラスが形成された場合、その堆積砂礫は汀線へと戻り、河口左岸近傍で突出した砂州を形成するので、洪水直後に状況を観察しつつ一般公共海岸に位置する左岸近傍砂州($X=750\sim 850\text{m}$)から砂礫を採取することが可能と考えられる．

参考文献

- 1) 宇多高明・西谷 誠・芹沢真澄・三波俊郎・石川仁憲：等深線変化モデルによるsand body移動の数値解析，地形，Vol. 28, pp. 399-414, 2007.
- 2) 目黒嗣樹・沖 岳大・山本浩一・山本幸次・末次忠司：出水による安倍川河口部の土砂動態，海洋開発論文集，第22巻，pp.427-432, 2006.
- 3) 福濱方哉・山田浩次・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・石川仁憲：粒径分級も考慮した河口テラスの形成・消失・砂州復元の予測モデル，海岸工学論文集，第55巻，pp.496-500, 2008.
- 4) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁：粒度組成の3次元変化を考慮した等深線変化モデル，海岸工学論文集，第51巻，pp.441-445, 2004.
- 5) 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之：海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル，海岸工学論文集，第49巻，pp.496-500, 2002.
- 6) 宇多高明・山本幸次・永瀬恭一・五十嵐竜行：バリアーの形成過程に関する実験的検討，海岸工学論文集，第41巻，pp.551-555, 1994.

(2009.9.30 受付)