

特集：水系一貫した土砂輸送に向けて

河口域における海浜変形評価手法

山田浩次*

1. はじめに

海岸侵食の根本的対策として、減少した供給土砂量を回復させることを含めた総合土砂管理の取り組みが有効であるが、計画に当たっては河川から海に流出した土砂のうち、どれくらいの量がどのくらいの速度で海岸に供給されていくのかを知ることが必要であり、それには川と海の結節点である河口域での土砂の動きを把握せねばならない。

河口域を含む海岸領域での地形変化予測においては、外力として波浪と河川流の双方が関与してくるが、これらは時間スケールの異なる現象であるため、計算が非常に複雑であり、定量的な予測が行えるレベルには達していない。

本稿では、洪水による砂州フラッシュ時に形成される河口テラスの形成を、安倍川を例として分析し、土砂の動きを把握する。また河口砂州・河口テラス・海岸を含む河口域全体を一体的に予測するモデルの開発について紹介する。

2. 河口域の地形変化

2.1 河口域の地形変化の特徴と予測技術の現状

ある規模以上の出水時には、河口砂州はフラッシュされ、流出した土砂はすみやかに河口周辺に堆積し、扇型の浅瀬（いわゆる河口テラス）を形成する。その後比較的長い時間をかけて波浪により変形・縮小し、徐々に分級しながら河口砂州を再形成したり、周辺の海岸に供給される。ただし、出水時に移動限界水深以深に堆積した一部の土砂は砂州や海岸にもどることはない。出水は年数回程度と間欠的に起こるので、そのたび河口テラスの形成と縮小が繰り返される。洪水の回数や規模が大きければ、河口テラスや隣接する海岸を含めた河口域の地形が突出するのに対し、出水回数が少なかったり規模が小さかったり、出水があっても上流からの土砂供給が少なかったりすると、河口テラスが縮小し河口砂州が後退するなど、河口

域の地形が次第に侵食していくことになり、中・長期的には漂砂下手側の海岸の侵食につながっていく。河口テラスが一度縮小すると、河川からの供給土砂量が回復してきても海岸にはしばらく供給されない（河口テラスが十分拡大して初めて海岸への土砂供給が増加する）ことになる。図-1

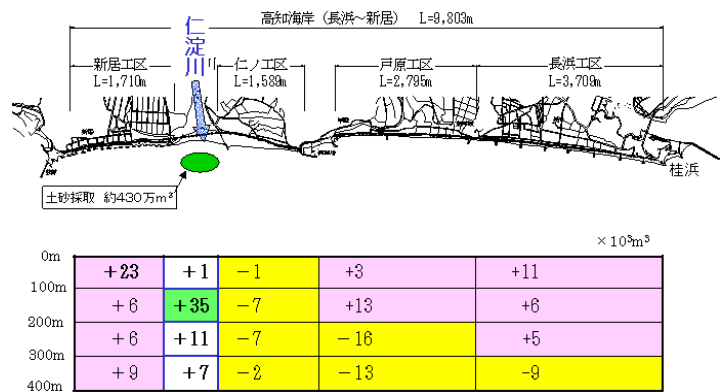


図-1 河口テラス縮小による土砂収支悪化の例

は高知県の高知海岸における土砂収支図（平成7年～平成16年平均）であるが、河口テラスにおいて大量の砂利採取が行われた結果、東側海岸への土砂供給が減少しているのがわかる。

現在、河川から海岸への土砂供給量の計算においては、河川側で計算された海へ流出する土砂量のうち海岸を構成する粒径集団の量を海浜変形モデルの境界条件として単純に与える計算方法がとられているが、前述のような実河川の現象とは必ずしも整合しないため、特に河口テラスが縮小している河川における土砂供給量増加と海岸侵食の抑制・回復の関係を定量的に示すことが難しい。

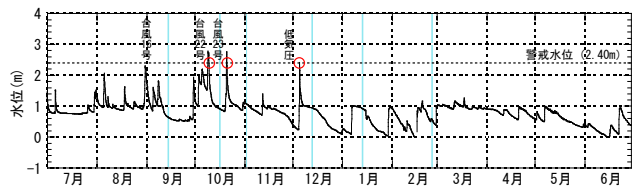


図-2 手越観測所水位変化（2004年7月～2005年6月）

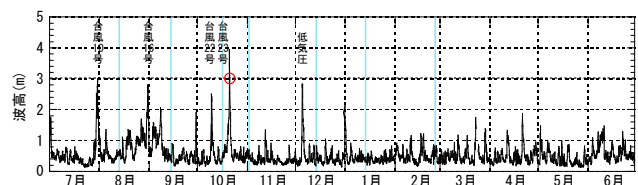


図-3 有義波高経時変化(清水)（2004年7月～2005年6月）

この課題の解決には河口砂州・河口テラス・海岸の地形変化を一体的に予測する技術が必要になるが、砂州のフラッシュと河口テラスの形成を物理現象に即して予測するには、外力として波浪と河川流という時間スケールの異なる現象を考慮する必要があり、現在の3次元モデルでは計算が非常に複雑・多量になり精度の良い予測が難しい。また河口テラスの変形や河口砂州の復元過程を再現するには粒径を考慮することが必要である。そのため現時点では河口砂州・河口テラス・海岸を一体的に扱い定量的な地形変化予測を実用的に行うことは難しいのが実情である。

2.2 分析・再現対象とする河川水位及び波高

本稿では、安部川河口で河口テラスの形成と変形がみられた2004年10月の台風22、23号における出水とその後の地形変化の特徴を分析する。

図-2は安倍川手越観測所の2004年7月～2005年6月の水位の経時変化である。10月の台風22、23号の襲来時には警戒水位を超え、12月上旬の低気圧によって再度警戒水位を超えたが、それ以降は出水はない。図-3は同じく2004年7月～2005年6月のナウファス清水観測所における有義波高の経時変化である。台風22、23号来襲時以後は、12月上旬に一度波高2.5m以上を超える高波浪が観測されているが、それ以降は特筆すべき波浪の来襲はない。

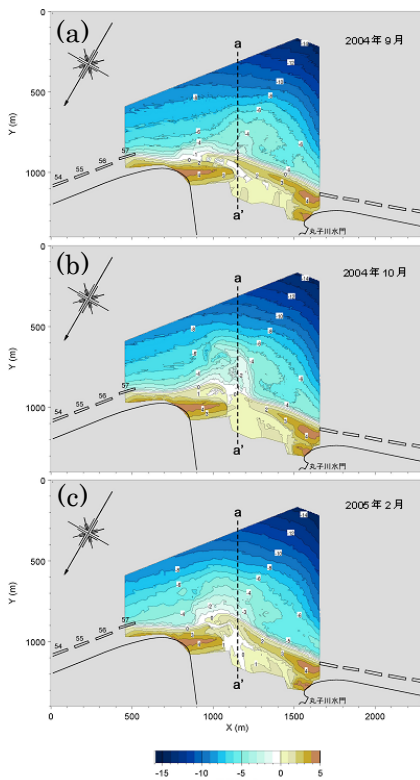


図-4 出水前後の河口部地形

2.3 コンター図から見た地形変化

図-4は2004年9月～2005年2月における安倍川の河口部コンター図である。台風22号来襲前後を比較すると、来襲前(図-4(a))に比べ来襲後の2004年10月(図-4(b))には、河口中心部の水深2～4mには洪水流による河口砂州のフラッシュによって舌状の河口テラスが発達している。2005年2月(図-4(c))には、大きく突出していた河口テラスは侵食されてつぶれ、河口テラスを囲む等深線がなだらかなものになったと同時に、右岸砂州が河道を塞ぐように回復した。また、左岸側の等深線が前進しておりテラスから海岸へ土砂が供給されていることがわかる。

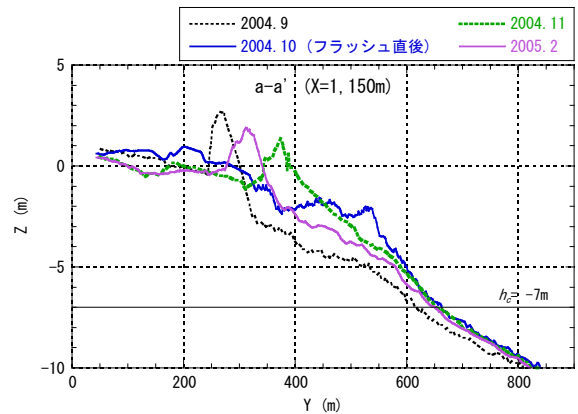


図-5 出水前後の縦断形変化

2.4 縦断形変化

図-5は図-4における河口中心の測線a-a'の縦断系変化を示す。当初あった河口砂州は洪水により消失し、砂州を横切って運ばれた砂礫が堆積して河口テラスが形成された。河口テラスの水深はほぼ2mであり、水深2m以深では1/30勾配で落ち込んでいる。しかし形成された河口テラスもその後の波の作用により徐々に縮小し、2005年2月には再び河口砂州が成長している。これは、高波浪時の海浜変形におけるバームの消失と回復に近い現象と見ることが出来る。河口砂州のフラッシュ形態には側方侵食型、越流崩壊型、河床洗掘型があるとされ、安倍川のような河口処理構造物のない河川は側方侵食型に分類される¹⁾。2004年に安倍川河口で観測された砂州フラッシュはこれを裏付けるもので、砂州の下方への侵食はそれほど進まず、ほぼ2mの一定水深を保って河口テラスが形成された。その後、時間経過とともにテラスの沖側から形が崩れ、砂が岸向きに運ばれバーム(河口砂州)が成長している。

2.2から2.4のような分析を継続的に行うことにより、海岸への土砂供給や河口砂州の変化をある程度把握することが出来る。

3. モデルの開発

3.1 洪水による河口テラスの形成予測モデル

2.1で述べたように、河口砂州のフラッシュと河口テラスの形成の予測には波浪と河川流が関与してくるが、その計算は非常に複雑であり未だ実用的ではない。

そこで、河口部地形の実測データを参考に、洪水流の作用により水面からある深さ、ここでは水深2mまでに集中した冲向きの流砂量が与えられ、土砂の分級が進まずそのまま沈降・堆積すると仮定する。また、実測データから算出した出水前後の砂州断面積変化と、

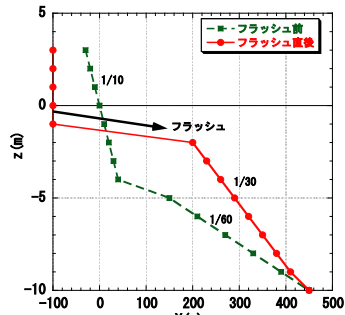


図-6 河口テラス形成計算結果

砂州単位幅あたりの河川流出土砂量の和をフラッシュ土砂量とする。この後、芹沢ら²⁾の方法に従い、河口テラスの沖側斜面に安息勾配の代わりに波浪と粒径から定まる限界勾配を与え、重力作用による下向き漂砂式と連続式を連立して安定地形が得られるまで繰り返し計算を行う。この結果が図-6である。土砂は重力作用で下方へと落ち込み、沖側縁辺に平衡勾配を有する河口テラスが形成される。

3.2 河口テラスの変形予測モデル

本稿では熊田ら³⁾の粒径を考慮した等深線変化モデルを基礎として予測モデルを開発する。地形が安定している右岸側砂州と直交する方向(S5°E)を卓越波向と考え、洪水直前の実測データ(図-4(a))をもとに、図-9(b)に示すように初期地形を設定し、この初期地形に洪水流によって土砂が堆積して河口テラスが形成される場合を検討対象とした。

3.3 計算結果

図-9に計算結果の平面図を示す。テラスの形

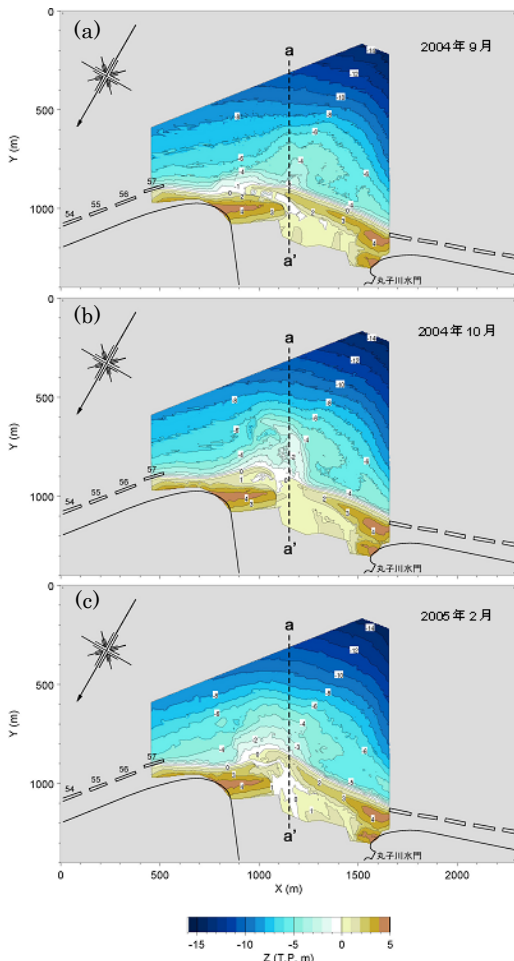


図-7 出水前後の河口部地形
(a):洪水直前 (b)洪水直後 (c):4ヶ月後

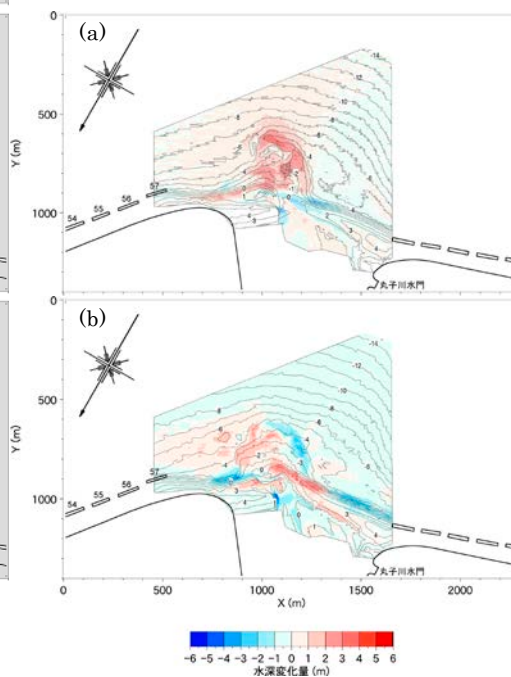


図-8(a) 出水直前-直後の地形変化
図-8(b) 出水直後-4ヶ月後の地形変化

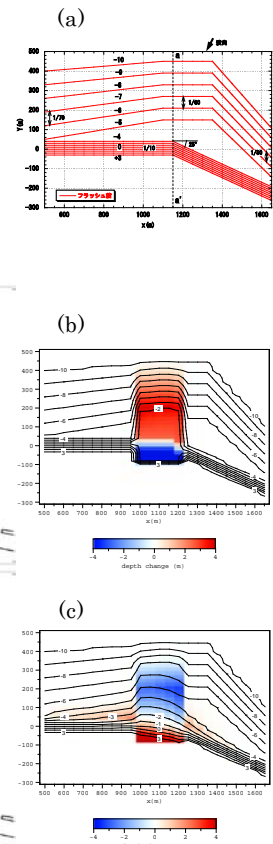


図-9 計算結果
(a):洪水直前 (b)洪水直後 (c):4ヶ月後

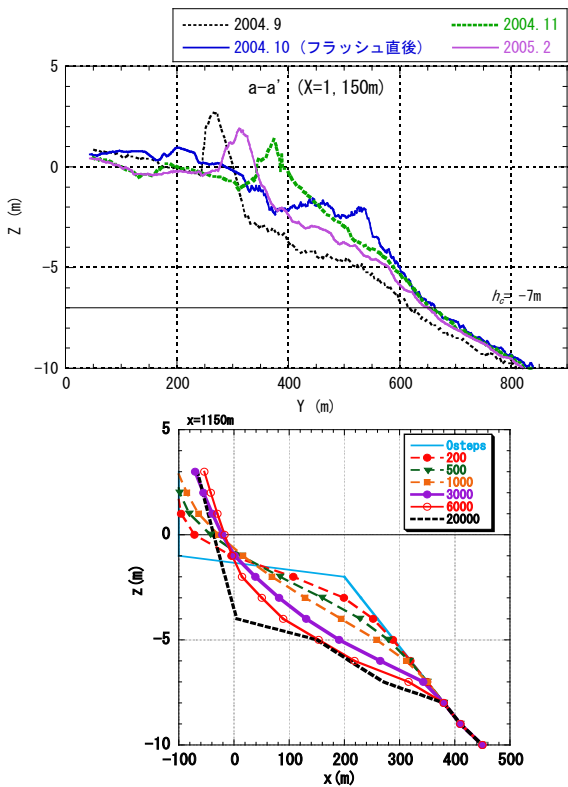


図-10 縦断面変化 実測 (上) 計算 (下)

成及びその後の右前方からの卓越波浪を受けてのテラスの変形、左岸側海岸への土砂供給が概ね再現されている。

図-10にはX=1,150m断面の海浜縦断形の変化を示す。洪水によって上面が平坦な河口テラスが形成された後、テラスの沖側の肩の部分から侵食され始め、土砂が岸向きに急速に運ばれ勾配が次第に急になり河口砂州が発達していく様子が概ね再現されている⁴⁾。

4. 課題

本稿で対象としたケースでは、出水直前直後など多くの測量データが存在したため様々な分析が可能となっており、またそのデータを参考に条件を設定して地形変化を再現しているが、多様な条件下での計算、また他河川・海岸での適用にあたっては、以下のような課題があると考えられる。

- ・出水規模等に応じた上流からの流出土砂量の設定及び河口砂州から河口テラスへの寄与量の設定には、出水直前・直後を含む継続的な地形データに加え、河床変動計算と砂州フラッシュ計算の組み合わせ等の工夫が必要である。
- ・出水規模等に応じた河口砂州フラッシュ幅の適切な設定や河口テラス沖側斜面勾配の設定には、

地形データの蓄積や計算による設定が必要である。
 ・計算における粒径の設定には、静穏期の(分級が進んだ)現地地形及び粒径データを参考に、海岸特性を表現できるように設定する必要がある。

5. まとめ

河口域における地形変化の評価は河川はもちろん周辺海岸の保全にとっても重要であり、継続的に河口周辺の地形を測量し、河口テラスの形状や土砂の移動状況を把握することが必要である。また、海浜変形評価の一手法として、安倍川における2004年10月の洪水による砂州フラッシュから2005年2月までの河口部地形変化の特徴を再現した。このような知見を踏まえ、総合土砂管理の一層の進展に努めていきたい。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、資料及びデータ提供を頂いた国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所、安倍川骨材事業協同組合の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 宇多高明・高橋晃・松田英明：河口地形特性と河口処理の全国実態、土木研究所資料第3281号、p.112、1994
- 2) 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
- 3) 熊田貴之・宇多高明・芹沢真澄：卓越粒径集団に応じた平衡勾配を考慮した等深線・粒径変化モデル、土木学会論文集B、Vol. 63、No.2、pp.154-167、2007
- 4) 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、2008 (投稿中)

山田浩次*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室主任研究官
 Koji YAMADA