

筑後川流域における土砂収支の推算と 有明海への砂の流出量に関する研究

ESTIMATION OF THE AMOUNT OF SAND SUPPLY FROM THE CHIKUGO RIVER BASIN TO THE ARIAKE SEA

島元尚徳¹・久保世紀²・鈴木健太³・福岡捷二⁴

Hisanori SHIMAMOTO, Seiki KUBO, Kenta SUZUKI and Shoji FUKUOKA

^{1・2}国土交通省九州地方整備局 筑後川河川事務所 (〒830-8567 福岡県久留米市高野1-2-1)

³正会員 清水建設株式会社 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3)

⁴フェロー会員 Ph.D 工博 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

A series of environmental issues reporting a lack of sand supply from the Chikugo river to the Ariake sea have been made on the basis of few investigation data of flood flows and sediment transport rate in the Chikugo river. To make clear the amount of sand supply from the Chikugo river estuaries, the authors estimated sediment transport rate through the location of the Chikugo barrage from the sediment balance in the Chikugo river basin. We also developed a new method of river bed variation analysis based on sediment and water content in alternate layers of the river bed. The analysis demonstrated that gravel and sand was transported about a hundred thousand cubic meter per year from the Chikugo river to the Ariake sea. Both computational results showed nearly equal sand transport rate to the Ariake Sea.

Key Words : sand, bed variation analysis, temporal changes in water surface profiles, sediment balance, chikugo basin

1. はじめに

近年問題視されている有明海での海苔の変色やアサリの不作の原因の一つとして、河川を通じた陸域からの土砂供給の減少による有明海の底質泥化と関係しているとの報告がなされている¹⁾。有明海への最大の流入量を持つ筑後川において、山地流域では植林や治山工事が進展し土砂生産量が減少したこと、また河道では主に砂利採取によって河床が低下して砂の現存量が減ったこと、そのため自然流域で生産される砂は低下した河床を復元するため河道内に堆積し、筑後川河口から放出される砂の量は激減していると指摘がある。

しかし、これまで筑後川感潮域の粘着性シルトを中心とするガタ土に着目し検討した調査報告²⁾³⁾は多いが、土砂に着目した流出量に関する調査報告は極めて少ない。また流域の土砂収支を河道流出量、河道堆積量、河道通過量に大別して計算した報告³⁾はあるが、土砂生産域から有明海への連続性のとれた土砂流出量に関する報告は少なく、流域全体の土砂収支の把握が求められてきた。

そこで本研究では、筑後川流域から有明海への年間土砂流出量を明らかにすることを目的として2つの方法で検討を行った。第1の検討は、流域を生産域における土砂生産量、土砂捕捉量、土砂流出量と河道域における土砂移動量に分け、筑後川における生産域から河道域までの時空間的に連続性のとれた土砂収支を把握し有明海への土砂流出量を推定するものである。第2の検討は、筑

後川感潮域での洪水時と平水時の大きな潮位変動に伴う土砂移動に着目し、土砂流出量を水理学的手法で検討することである。著者らは、筑後川感潮域における河床の柱状コアサンプリングや超音波河床材料調査から河床における縦横断および鉛直方向の河床材料特性について知見を得た。それより洪水流や日々の大きな潮位変動の中で、河道内に堆積するガタ土・粘性土と砂が複雑な互層構造をなし、それらは鉛直方向に含水比が大きく異なること、またそれらの層の含水比や粒度分布等の物質特性には一定の関係があること等を示した⁴⁾。そこで鉛直方向の含水比変化、粒度分布の変化に着目し、互層構造の実態に則した掃流、洗掘の形態を考慮し構築した河床変動モデルを用い、筑後川から有明海への土砂流出量を見積もっている。

2. 筑後川流域の土砂収支の把握に基づく有明海への土砂流出量の推定

筑後川流域における生産域から河道域までの時空間的に連続性の取れた土砂収支を把握するため、生産域では治水・利水ダムや砂防・治山ダムでの堆砂量から地質・地形・降雨特性を考慮した土砂生産量を、河道域では定期横断測量や砂利採取及び河道改修による河道内からの土砂持出量から土砂移動量を算出し、連続した土砂の移動量から筑後川流域の土砂収支を推算し、有明海への砂の流出量を推定する。

(1)生産域からの土砂生産量の算定

流域からの土砂生産量は、地質・地形・降雨特性に左右されと考え、筑後川流域を土砂生産ポテンシャルが類似するブロック毎に6分割した。図-1に示すように流域の地質は、火山灰由来の溶結凝灰岩が分布する松原ダム流域と本川上流域、安山岩や流紋岩が多く占める玖珠川流域と下笠ダム流域、変成岩が分布する本川中流域、花崗岩が分布する本川下流域に分けられる。また、図-2に示すように流域の地形は、「熊本県砂防技術(案)」を参考に傾斜角が7°以上の範囲を土砂生産域と考え、比較的傾斜角が大きい下笠ダム流域、本川上流域及び本川中流域、比較的傾斜角が小さい玖珠川流域、松原ダム流域及び本川下流域に分けられる。さらに、図-3に示すように流域の降雨特性で、降水量の多い松原ダム、下笠ダム流域及び本川上流域、本川下流域と降水量の相対的に少ない玖珠川流域、本川中流域に分けられる。

次に筑後川流域の治水・利水及び砂防・治山ダムの位置図を図-4に示す。治水・利水ダムが10基、砂防・治山ダムが約1,600基設置されている。治水・利水ダムの堆砂量を図-5に示す。現在までに約10,000千 m^3 の土砂が堆積している。貯水池内の堆積物については、底質・ボーリング調査を実施している松原・下笠・江川・寺内の4ダムは実測を用い、残りのボーリング調査をしていない6ダムについては4ダムの中の近傍データより推定し算出した。これより、シルト・粘性土分が43%、砂・礫成分が57%の粒度構成となっている。

一方、砂防・治山ダムでの堆砂量は、福岡・佐賀・熊本・大分県の砂防施設台帳・土石流危険渓流カルテを基に、砂防・治山ダムの位置・設置年・規模・堆砂状況等から算出した。結果を図-6に示す。調査時点(H11年～H13年)で約1,850千 m^3 の土砂が堆積しており、調査時点の実績堆砂量を基に現在(H20年)では約2,500千 m^3 の土砂が堆積していると推定される。また、図-7に示すように土砂生産域の粒度構成は砂防・治山ダムの堆積土砂から判断してシルト・粘性土分は少なく、そのほとんどが砂・礫成分であり、本川上流域、本川下流域は砂分が少ないものの流域毎の顕著な違いも見られなかった。このことは、砂防・治山ダムではシルト・粘性土分は堆積せず、下流に流下しているものと考えられる。

これらのデータを基に「砂」の流出に着目し、シルト・粘性土(0.075mm未満)を除く砂・礫(0.075mm以上)の土砂生産量を算定することとした。

分割した流域内に存在する治水・利水ダムの砂・礫の実績堆砂量と砂防・治山ダムの推定堆砂量をあわせた堆砂量と、各施設の土砂生産域面積より算出した比堆砂量から、比土砂生産速度を求めた。結果を図-8に示す。さらに比土砂生産速度に各流域の土砂生産域面積を乗じて土砂生産量を求めた。結果を図-9に示す。

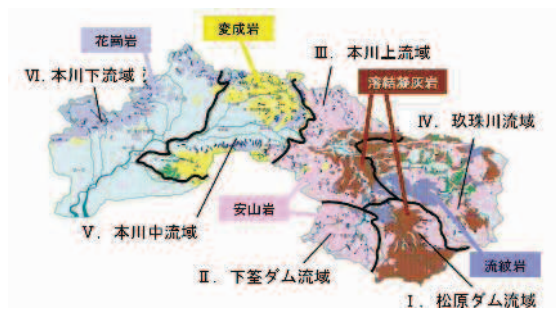


図-1 筑後川流域の地質特性

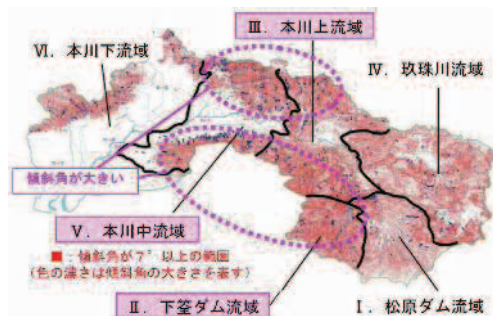


図-2 筑後川流域の地形特性

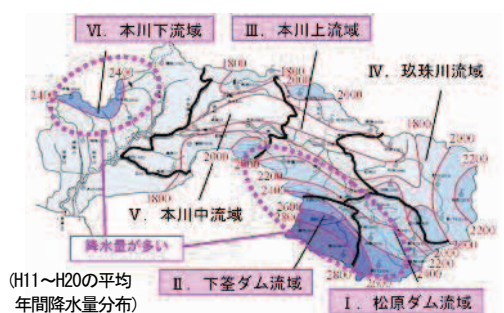


図-3 筑後川流域の降雨特性



図-4 治水・利水ダム及び砂防・治山ダム位置図

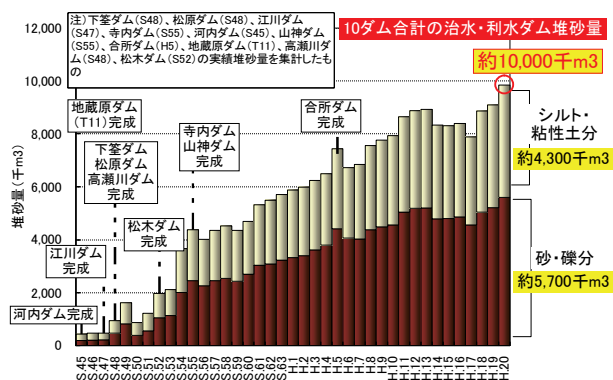


図-5 治水・利水ダム堆砂量

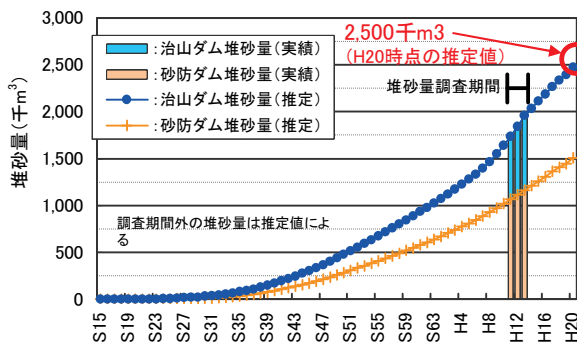


図-6 砂防・治山ダム堆砂量

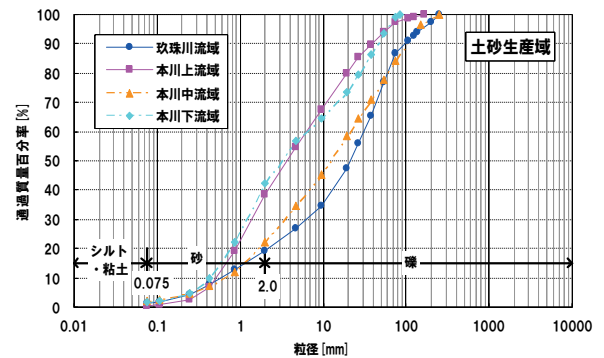


図-7 粒径加積曲線（生産域）

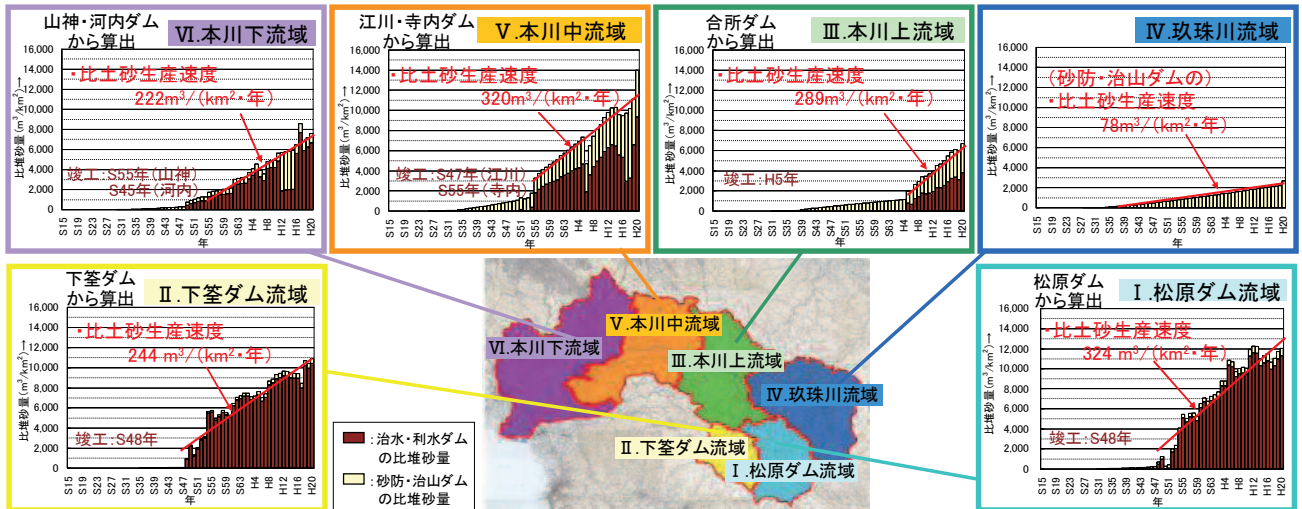


図-8 流域別比土砂生産速度

傾斜角が大きく降雨量も多い本川上流域は土砂生産量が多く、傾斜角が小さく降雨量が少ない玖珠川流域は土砂生産量が少ない傾向にある。ただし玖珠川は治水・利水ダムの堆積データのばらつきが多く砂防・治山ダムの推定堆積量で年間土砂生産量の算定を行っているため今後の追加調査で精度向上を図る必要がある。

筑後大堰地点上流域の土砂生産量は、図-9より362千m³/年と推定され、そのうち松原・下笠ダム流域で約32%が生産されている。

(2) 河道域での土砂移動量の算定

河道域における土砂移動量は治水・利水ダムの建設年次（S48：松原・下笠ダム竣工）や河道横断測量年次を考慮し、筑後大堰上流地点までの河道域を対象にS28年～S47年、S47年～S57年、S57年～H12年、H12年～H20年に期間分割を行い算定した。なお河道内の堆積土砂の粒度構成は、図-10に示すように上流（60k～77k）、中流（37k～60k）は土砂生産域とほぼ同等の礫が主成分であるが、中流（24k～37k）は砂成分が主成分（80%以上）となっている。また24kより上流の河道域では0.075mm以下のシルト・粘性土成分はほとんど存在していない。よって河道域の土砂移動量は「砂」の流出による変化と考えた。

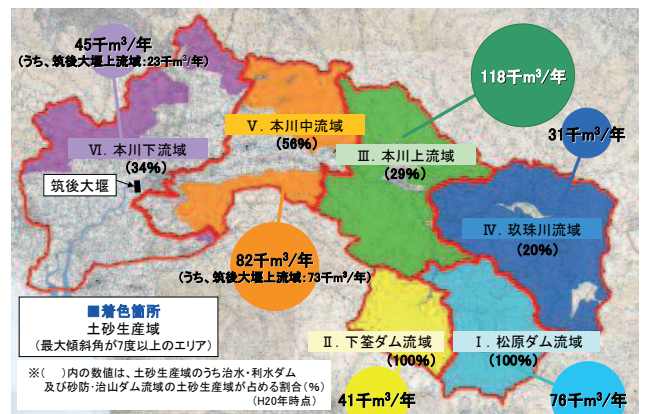


図-9 流域別年間土砂生産量

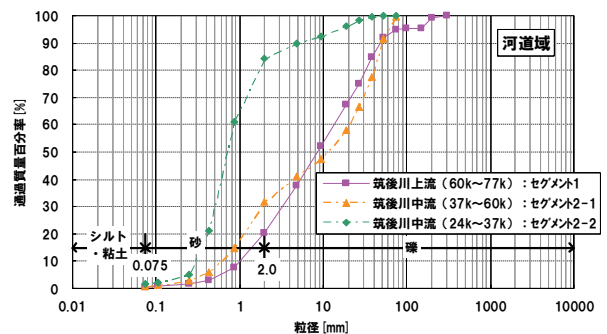


図-10 粒径加積曲線（河道域）

河道内土砂の変化量を図-11に示す。①は河道横断測量結果より算出した河道変化量を、②は砂利採取等による河道外への土砂持出量を、③は①で求めた河道変化量から②で求めた土砂持出量を差し引いた河道内の自然変化量を示す。S28年～S47年の間には砂利採取や河道改修により河床が大きく低下しており、その後砂利採取は徐々に規制されつつも河床は低下し続け、その傾向は徐々に小さくなり、近年ではほぼ平衡状態になっている。これは砂利採取が引き金となり、その後の治水・利水ダム及び砂防・治山ダム建設とも相まって土砂収支のバランスが崩れ、河床は低下傾向となり、近年はほぼ安定していることを示している。なおS40年以前の砂利採取の実績記録がなく、「許可量の2～3倍の採取がされていたと推定される」との記録⁵⁾を基に採取量は許可量の1～3倍として算出した。

(3) 筑後川流域の土砂収支の推算

筑後川流域では1900年頃から森林が増加し山地斜面からの土砂生産量が減ったと言われている。しかし、ここでは図-9で求めた年間の土砂生産量を治水・利水ダム建設前のS28年から現在まで不変と仮定し、流域区分及び河道区間別に、期間毎の治水・利水ダムの実績堆砂量、砂防・治山ダムの推定堆砂量と、さらに図-11から求めた河道内土砂の変化量から、筑後大堰地点(筑後川感潮区間の上流端)の土砂通過量を算出した。結果を図-12に示す。

治水・利水ダム建設前のS47年以前は、大規模な砂利採取が行われており、幅を持たせた推定値であることを前提して算出した結果ではあるが、筑後大堰の土砂通過量は131～643千 m^3 /年となり土砂生産量362千 m^3 /年の約36～180%の範囲であったと推定される。その後、S47年～S57年の期間は、土砂生産量の約43% (168千 m^3 /年) が治水・利水ダム及び砂防・治山ダムで捕捉され河道への土砂供給量が減少し、砂利採取は減少したものの、河道内の土砂バランスが崩れ河床低下が発生し、筑後大堰土砂通過量は338千 m^3 /年と土砂生産量とほぼ同等量であったと推定される。さらに河床低下が進行し河積が拡大したことや砂利採取が規制されてきたことで、河道内の掃流力と土砂供給量のバランスが徐々に回復、河床の不安定性が減少し、S57～H12の期間の土砂通過量は196千 m^3 /年となったものと推定される。近年は河床は安定化し、図-13に示すように土砂生産量の約58% (210千 m^3 /年) が治水・利水ダム及び砂防・治山ダムで捕捉され、約5% (28千 m^3 /年) が河道内に堆積・持出し、筑後大堰地点では土砂生産量の約36%にあたる125千 m^3 /年の「砂」が流出しているものと推定される。

なおH12年以前の筑後大堰地点の土砂通過量は、前述したように一定量と仮定した土砂生産量に基づいたものであり、またS47以前の砂利採取量は実績が不明なため推定により算出したものである。今後流域内の砂防・治山

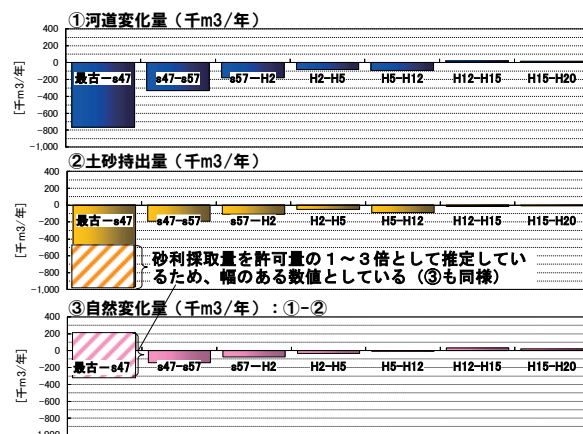


図-11 河道内土砂の変化量

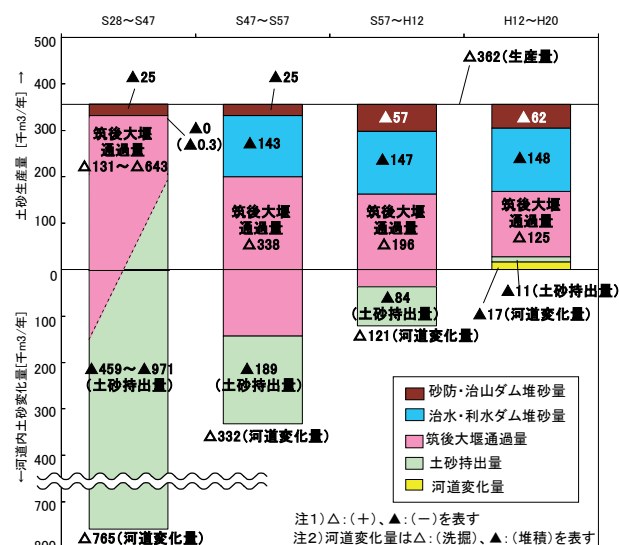


図-12 筑後川流域における土砂収支

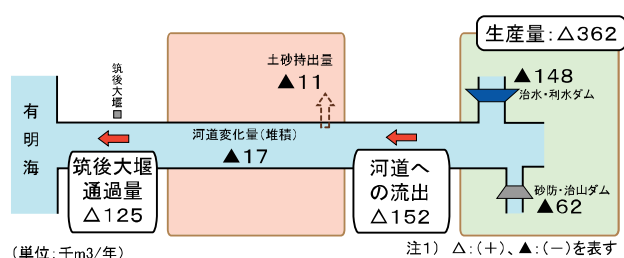


図-13 土砂収支模式図 (H12～H20)

ダムの堆積状況の補足調査や過去の砂利採取実績の詳細な分析を行い、筑後大堰土砂通過量の精度向上を図る必要がある。

3. 筑後川感潮域河床変動モデルに基づく有明海への土砂流出量の推定

前章の流域全体の土砂収支を踏まえた分析に加えて、筑後川感潮域から有明海への土砂移動をより詳細に把握するために感潮域において河床変動モデルに基づく有明

海への土砂流出量の推定を行った。解析対象区間は筑後大堰(23k000)から有明海までの区間とし、H21年に瀬ノ下地点(25k600)で約3,850m³/s(6月)と約3,650m³/s(7月)の洪水を含む一年間の土砂流出量を推定した。河床材料特性を把握するため図-14に示すように2km間隔で行われた詳細な河床材料調査から図-15に示す複雑な互層構造をなす河床材料柱状図を得た。また鉛直方向10cm毎のd₆₀粒径と含水比を計測した結果、図-16に示すように含水率70%を境にそれを超えると細粒分(ガタ土)が卓越した材料、それ以下では砂の特性が卓越する材料であることが明らかになった。これらの複雑な構造を有する河床材料について、洪水流・河床変動解析の初期条件として、各観測位置で採取されたコアサンプル結果をもとに鉛直方向10cmごとの粒度分布、水含有率の情報を取り込んでいる。次に観測された水面形の時間変化を説明するように非定常の準三次元洪水流解析と二次元河床変動解析を一体的に行い、解析の各時間ステップにおいて、どのような種類の土の層が河床表面に露出しているかを、初期に取り込んだ粒度分布、水含有率を参考に判断し、土の種類に応じた移動、洗掘機構を考慮することで河床高を求めた。洪水解析の境界条件は下流端で有明海の潮位変動、上流端で観測された水位ハイドログラフを与え、河床変動モデルでは砂層には芦田・道上の掃流砂量式、ガタ土層には関根の粘性土の浸食式を用いる。観測された水面形の時間変化や河床変動を解析によって最も良好に再現できる係数が選ばれ、芦田・道上式では、係数を17→85、関根式では0.21×10⁵の係数を採用している。図-17に解析水面形と観測水面形の時間変化の比較を示す。観測水位と解析水位は、有明海が満潮時で水面勾配がほぼ水平になる時間帯で若干の差異があるが、洪水水位ピークを含むその他の各段階において解析水面形は観測水面形を再現できている。洪水前後の河床変動量コンターの実績と解析の比較を14km～22km区間について図-18に示す。坂口床固(17k3)上流18k付近の堆積や床固下流10k～17k付近のガタ土区間における洗掘等実測値を、解析値は概ね説明している。大きな潮位変動場である14km下流については、6k下流の砂河床の堆積等、特徴的な河床変動は説明出来ていない⁶⁾。しかし、比較に用いている実測河床高データは、解析対象洪水(H21年)の7年前(H14年)に測られたデータである。河床は、平水時にも大きな潮汐差のため変動するため、今後は、洪水終了直後に河床高を測量し、これを用いて解析し洪水後の実測結果と比較することが必要である。

洪水時に加えて平水時の大きな潮位変動により発生する流れによって生じる順流・逆流時の土砂の有明海への流出量を求め、洪水時の土砂流出量と合算することで年間の有明海への土砂流出量を算定した。図-19は解析より求めた流量時系列、河口から有明海への単位時間あたりに断面を通過する土砂量、累積通過土砂量を示す。(a)は2つの洪水時、(b)は小潮～大潮を含む平水時の15日間

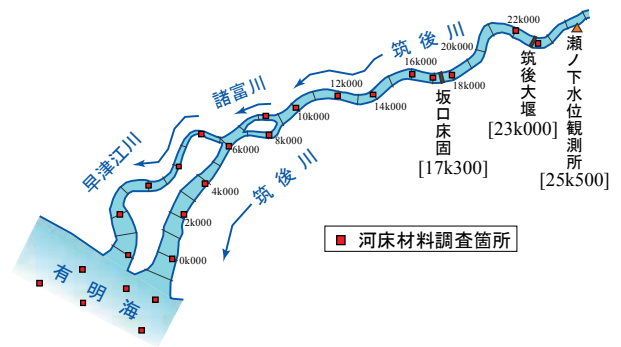


図-14 H21年洪水前後河床材料調査位置

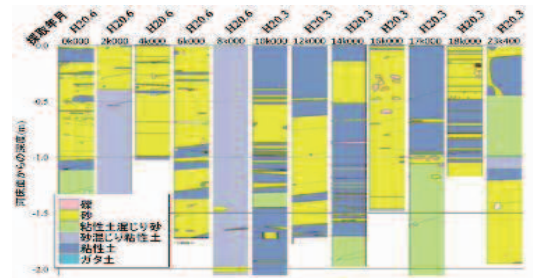


図-15 H21年6月洪水前鉛直柱状図

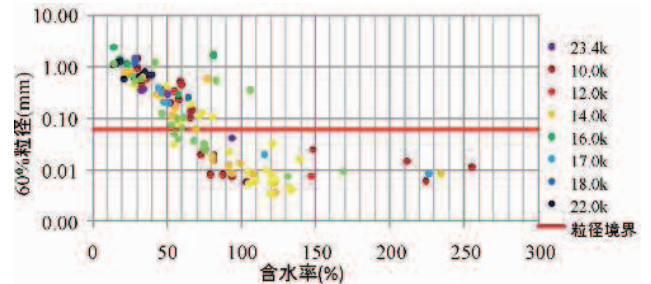


図-16 60%粒径と含水率の関係

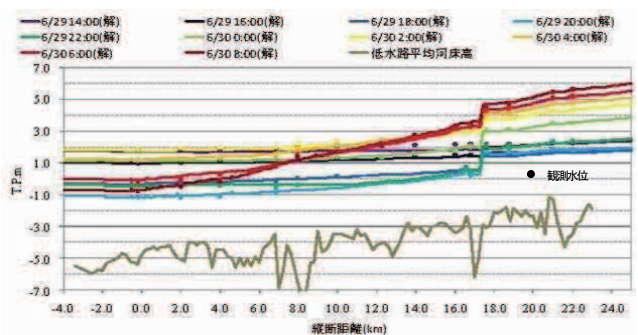


図-17 洪水水面形の時間変化

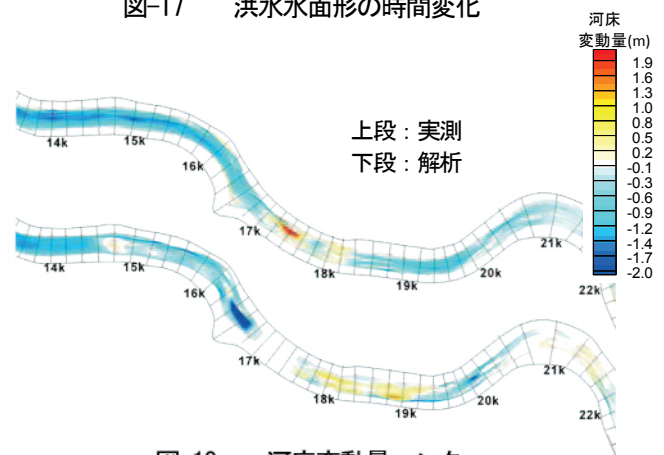


図-18 河床変動量コンター

分の解析結果を示す。(a)図によれば、洪水時に筑後川河口から有明海に流出する土砂流出量は、有明海の潮位変動と共に時間的に変化し、有明海の干潮時刻に洪水ピークが重なった時に最も多くの土砂が流出し洪水期間中約45千 m^3 流出していることが分かる。一方、平水時は、潮位変動と共に土砂が順流・逆流を繰り返し流量が増える大潮時に多くの土砂が排出されている。大潮～小塩までの1サイクル（約15日）の排出土砂量は、図19(b)より約2.9千 m^3 /15日であり、1ヶ月では、平水時の排砂量は、約5.8千 m^3 である。このことから、洪水期間を除いた平水時年間(11.5ヶ月)の砂排出量は約67千 m^3 と見積もられる。以上の解析結果から、H21年の2つの洪水によって、約45千 m^3 、平水時には年間約67千 m^3 の砂が排出しており、合算すると年間約110千 m^3 を超える砂が筑後川から有明海へ流出していると推定される。この量は、土砂収支から推定されたものに近い値を示している。砂は主に有明海内のみず道に堆積すると考えられ、約110千 m^3 /年の砂が河川流路の延長である有明海のみず道部分に平均的に1cm堆積すると仮定すると、砂の堆積域は図-20に示す範囲にある。実際にはこれらの流出土砂が潮流等の作用によって有明海中央部に拡がっていくものと考えられる。

4. 結論

有明海への砂の流出量について、筑後川流域全体の土砂収支による方法と洪水時、平水時の土砂移動量の総和の二つの方法で検討した。H12～H20年の間の流域全体の土砂収支計算より、年間に125千 m^3 の土砂が筑後大堰地点を通過していることが明らかになった。

次に大きな潮汐が作用している感潮区間での洪水流・河床変動の一体解析より、観測水面形の時間変化と河床変動量を説明し、これらに基づき洪水時の有明海への砂の流出量を検討した。さらに平水時の潮位変動による砂流出量を見積もり、双方を合算することでH21年の1年間に110千 m^3 を超える土砂が有明海へ流出していることを明らかにした。これら2つの評価法はほぼ同程度の推定値を与えることを示し、従来言われていたよりも多くの砂が有明海へ流出していることを示した。

参考文献

- 1) 環境省有明海・八代海総合調査評価委員会、委員会報告、67、平成18年12月21日
- 2) 横山勝英、山本浩一、金子祐：筑後川感潮域における洪水時の底質浸食過程と有明海への土砂輸送現象、土木学会論文集B, Vol. 64 No. 1pp71-82, 2008. 3
- 3) 横山勝英、鈴木伴征、味元伸親：筑後川の河床変動要因と土砂動態の変遷、水工学論文集、第51巻、pp997-1002, 2007.

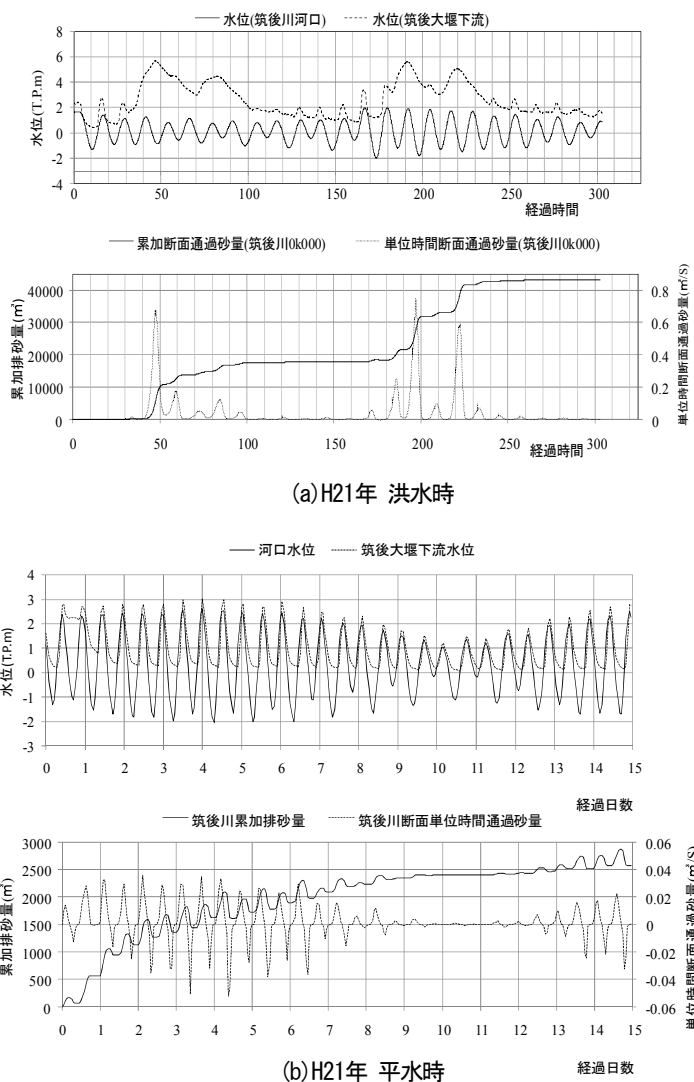


図-19 流量時系列と土砂の流出量の関係



図-20 筑後川から有明海に排出される砂の広がり

- 4) 鈴木健太、島元尚徳、久保世紀、福岡捷二：筑後川感潮域の洪水時の河床変動解析、水工学論文集、第55巻、pp. 877-882. 2011.
- 5) 筑後川工事事務所：筑後川50年史、1976
- 6) 鈴木健太、福岡捷二、島元尚徳、複雑な互層構造をなす筑後川感潮域における河床変動と有明海への土砂流出量、土木学会年次学術講演会、第II部門、2011.

(2012. 4. 5 受付)