

志布志海岸における長期海浜変形と河川からの流出土砂量の推定

浅野 敏之*・川添 康秀**・長谷川 準三***・藤岡 正則****

海浜の土砂資源を長期的に安定に確保するためには、河川からの流出土砂を考慮した総合的土砂管理を考える必要がある。本研究は、かかる観点から志布志海岸の長期的な土砂量変化を約 20 年にわたる水深測量結果に基づいて検討したものである。さらに、志布志海岸への土砂供給源となる河川からの流出土砂量を、河道の平衡縦断面を想定したモデルから推算するとともに、降雨記録からその経年変化をも考慮した推算を行い、水深測量結果から得られた志布志海岸全体の総土砂量の変動との関係を考察した。

1. はじめに

近年、山地—河川—海岸を統合した総合的土砂管理の必要性が高まっており、さらに海岸域では環境面・利用面の配慮から離岸堤などのハードな構造物を使用しないで、砂浜を確保することが要求されつつある。海浜の土砂資源を長期的に確保するためには、河口部から供給される土砂をできるだけ有効な形で海浜に移行させることが望ましい。そのためには、河口部での堆砂効率を向上させるような対策や、洪水時の河川流出土砂を有効に漂砂源として活用させることが必要となる。

著者らは、志布志海岸における台風時波浪による汀線変化や長期的な海浜変形の特性について、衛星画像や水深測量データをもとに検討してきた（浅野ら、2000；2002）。長期的な海浜保全計画を立案するためには、海岸域の土砂移動だけを対象とするだけでは不十分であり、河川からの供給土砂量を推算する必要がある。しかし、河川流量自体きわめて大きな時間変動を持っているし、供給土砂量を特定の流量で規定できるかの問題もある。変転きわまらない河口砂州の動態を含め、実現象はきわめて複雑ではあるが、ひとまず概算でどの程度実相に迫れるかを検討しておくことは意味があると思われる。

本研究は、鹿児島県志布志海岸の長期間の深淺測量データを用いて、この海岸の長期的海浜変形の特性を検討するとともに、そこに流出する河川からの流送土砂を定量的に評価しようとしたものである。

2. 志布志海岸における長期海浜変形の特性

志布志海岸では田原川を境界として南北 2 つの区域に分けられて汀線・深淺測量が実施されてきた（図-1）。押切海岸を含む北側の部分は国が 1981 年から実施しているのに対し、柏原海岸を含む南側は鹿児島県が備蓄基地建設直前の 1984 年から実施している。本節では 2 区域の測定時期が近い測量結果を志布志海岸として 1 つに取

りまとめて解析した。すなわち、1984 年 11 月から 2001 年 7 月までの約 16 年半の測量データを用い、この海岸の長期海浜変形の特性を考察した。柏原海岸では、1993 年に侵食対策として突堤が建設され、備蓄基地背後の浚渫および突堤北側へ養浜が実施されている。したがって、より正確には 1993 年以前と以後の地形変化に分けて議論する必要があり、その解析を行ったが、ここでは紙幅の関係から 16 年半の測量期間全体についての解析結果を示す（図-2）。

押切海岸では侵食域が広範囲に広がっており、堆積域はわずかに見られるのみである。しかし、測量範囲のさらに北側では志布志港防波堤の遮蔽効果によって大量の土砂が堆積していることが確認されている。菱田川から田原川の間では、汀線付近に帯状の堆積域が認められるのに対し、堆積域の沖側には侵食域が存在する。柏原海岸では突堤の北側に顕著な侵食域が広がっているのに対し、侵食域の北側汀線付近、突堤の先端付近および備蓄基地背後の汀線付近に堆積域が認められる。備蓄基地背後の侵食域は前述した 1993 年の浚渫の影響である。

領域別の土量計算を実施し、それぞれの土砂の侵食・堆積特性を検討した。測量データの有無により領域毎に解析対象期間は少しずつ異なるが、過去約 20 年間の全土量の変化を調べたところ、図-1 に示す安楽川河口域の領域①で +3 万 m^3 /年 (84 年 11 月～97 年 11 月)、押切海岸領域②で -8 万 m^3 /年 (84 年 11 月～01 年 7 月)、田原川周辺の領域③では変動は小さく 2 千 m^3 /年（解析対象期間は②と同じ）が得られた。一方、柏原海岸領域④と

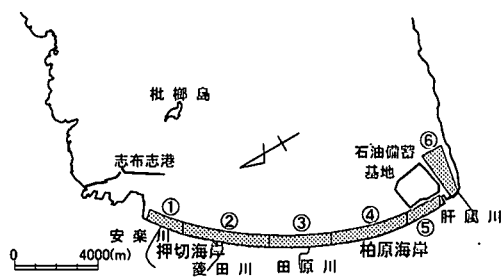


図-1 志布志海岸と領域区分

* 正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科
** 工修 (前)鹿児島大学大学院理工学研究科
*** 正会員 (株)エコー沿岸デザイン本部計画設計部
**** 国土交通省九州整備局志布志港湾工事事務所長

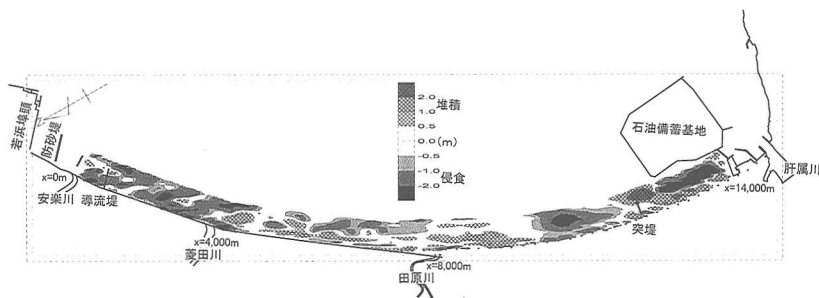


図-2 1984年11月～2001年7月の期間における志布志海岸の地形変化

備蓄基地背後の領域⑤では、前述したように1993年に領域⑤に堆積した115万 m^3 の土砂を領域④に養浜しており、これを考慮すると領域④で-10万 m^3 /年の侵食、領域⑤で5万 m^3 /年の堆積という結果となる（解析対象期間は②と同じ）。肝属川河口部の領域⑥で+5万 m^3 /年（86年6月～2000年12月）であるが、この領域では88年と92年に計150万 m^3 の浚渫履歴があり、これを考慮すると+15万 m^3 /年の堆積となる。この肝属川河口における大量の土砂の堆積は、志布志海岸全体に供給されるべき土砂が留まっていることを意味する。安楽川河口にも大きな土砂堆積が見られるが、これには防波堤背後の遮蔽域に向かう沿岸漂砂の寄与が大きいと考えられる。ここでの検討のベースとした測量結果は、領域①～⑤では沖方向に500mまでの水深測量であって、必ずしもすべての測線で土砂の移動限界水深まで達しては実施されておらず、これによる誤差がいくらか含まれることを付記しておく。

3. 河川流出土砂量の推定

3.1 志布志湾海域に流出する河川の概要

図-1に示すように当該海域に流出する主な河川は、1級河川の肝属川と、2級河川の田原川、菱田川、安楽川である。このうち、田原川は河口のすぐ近くで持留川と分岐しており、両者はほぼ同程度の流域面積と河川長を有するため、ここでは持留川を独立した河川として扱う。また、安楽川のさらに北側には前川があるが、この河川は志布志港内に直接流出しており、柏原海岸―押切海岸の土砂収支には直接影響しないと考えられるため検討から除外した。肝属川の基本高水流量は2,500 m^3 /s、基本時間日雨量は490mm/(2 days)である。

3.2 黒木・板倉の理論による河川流出土砂量の推算

前節で述べた本研究の対象とする河川は、肝属川を除き水位・流量資料さえない2級河川である。そこでは、降雨資料と河川の地形図が唯一の資料である。最近、黒木・板倉らのグループによって、こうした流量資料の得られない河川で平年的土砂生産量を推算するモデルが提

案されており（黒木・板倉, 1995; 山本ら, 1998）、これに基づいて対象各河川から志布志湾海域に供給される土砂量を以下のように推算した。

河道縦断形状の平衡状態を想定すると、河床勾配 dz/dx （ z は標高、 x は流下方向に取った距離）は次式のような流量 Q_B と支配流量 Q の比で表される。

$$\frac{dz}{dx} = -C \left(\frac{Q_B(x)}{Q(x)} \right)^{\frac{6}{7}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 C は限界掃流力 τ_{*c} と平衡河床掃流力 τ_* で決まる係数であるが、安定横断形状の解析から $\tau_* = 1.23\tau_{*c}$ の関係を導入しているため、結局 C は河床材料特性が与えられれば値が定まるものである。また、支配流量 Q として次式の縦断分布が仮定されている。

$$Q(x) = Q_0 \exp(qx) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 Q_0 : $x=0$ における流量、 q : 流量増加を規定する定数であるが、同時に河床高縦断形状も規定する。 Q_B を一定として式(2)を式(1)に代入して積分すると、次式のように河床の縦断形状が求まる。

$$z = C \left(\frac{Q_B}{Q_0} \right)^{\frac{6}{7}} \frac{7}{6q} \exp\left(-\frac{6}{7}qL\right) \left\{ \exp\left(\frac{6}{7}qx^*\right) - 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、ここで x^* は河口を原点として河道に沿って上流方向を正として表示したものである（すなわち、 $x^* = L - x$ （ L : 水路長））。

以上より、河川の縦断形状が与えられれば流量 Q_B は上式から以下のように q の関数として与えられる。

$$\frac{Q_B}{Q_0} = \left(\frac{(6q/7) \times \Delta z}{C(1 - \exp(-6qL/7))} \right)^{\frac{7}{6}} = f(q) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 Δz : 河道長 L の区間の河床標高差である。

肝属川の河川縦断形状は国土交通省大隅工事事務所のデータを解析した。志布志湾に流出する2級河川については、縮尺1/5000の河川現況台帳平面図から河川各地点の標高を読みとり、河床縦断地形を求めた。これに最も適合するように定数 q の値を定めた。すなわち、式(3)で縦断形状が表される場合には、河床高 z の対数と x^*

とが直線で結ばれ、この勾配から q の値が得られる。

図-3 は、河川縦断形状を河床高の対数で表示したものである。肝属川の縦断地形は1本の直線で表せるが、菱田川・安楽川では途中に堰の設置の影響などがあって必ずしも1本の直線では表せない。この場合には直線で表すことのできる区間でその勾配を代表させることにした。

支配流量 Q_0 として年最大流量の経年平均値を採ることとしたが、支配流量の年当たりの生起時間 T を考える必要がある。そのために支配流量に対応する降雨量を与え合理式を用いた簡単な流出解析を行った。肝属川上流にある高隈ダムの年間堆砂量データを解析し、これを説明するように流出係数 f_0 と生起時間 T の値を同定した。

以上の方法で日流砂量を計算した結果を表-1 に示す。この結果より、流量 Q_0 については流域面積が大きいため肝属川が最大で菱田川が2番目となるが、流砂量 Q_0 について見ると、縦断形状が急な安楽川・菱田川できわめて大きくなり、肝属川の2倍以上にもなることがわかる。ただし、安楽川・菱田川では河道全体ではなく、上流部区間の縦断形状に対して推算したため、過大評価となっている。また全河川の1日の流出土量を総計すると、この支配流量を持つ洪水によって $12.7 \text{ 万 m}^3/\text{day}$ の土砂が志布志湾に流出するという結果を得た。

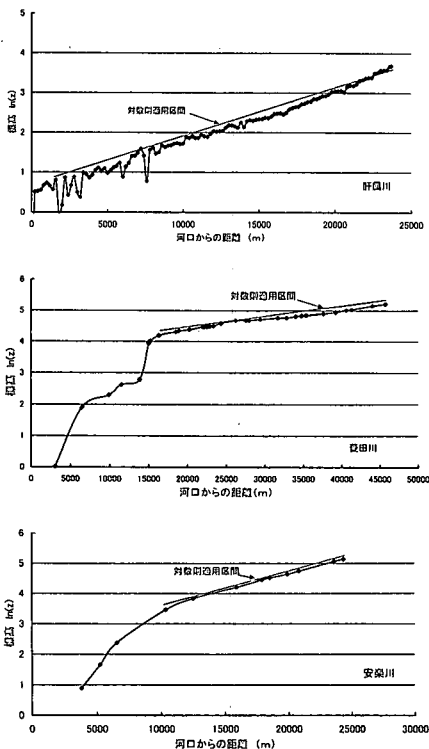


図-3 志布志海岸に流入する河川の縦断形状

3.3 年・季節変化を考慮した河川流出土砂量の推定

大きな土砂量を流出する洪水は年ごと・月ごとに变化しており、海浜の長期的な土砂管理を行う上では、こうした年・月の時間スケールの土砂供給量変化が重要であると考えられる。

図-4 は、この流域に近い鹿屋観測点での降雨記録から、各年の総降雨量・最大日降雨量・最大時間降雨量を示したものである。この結果から、年単位の変動は相当大きいことが理解できる。特に大きな土砂流出は数日スケールの洪水によって生起すると考えられる。鹿屋測定点で観測された日雨量を調べたところ、最大は1993年8月1日の365 mmであり、第2位の255 mmを大きく上回っている。また、1993年は、1978年～2000年間の降雨の多かった上位100日に12日も入っており、一方1981年のように1日しか無い場合もある。以上より、海浜土砂収支の面から河川流出土砂量を評価するためには、前節のような平年の推定だけでは不十分で、年・季節変化をも考慮して推定する必要があることがわかる。

以下では、水位や流量観測の行われていない2級河川に対して、降雨量と河川の地形的条件のみを入力とした流出土砂量の概算評価法を示す。まず、降雨量から流出流量への換算は、簡便に合理式で評価した。雨水が流域から河道に至る流入時間と河道内の洪水伝播時間の和で洪水到達時間を計算し、日雨量と洪水到達時間内の平均雨量強度との換算を行った。計算は河道形状が比較的単

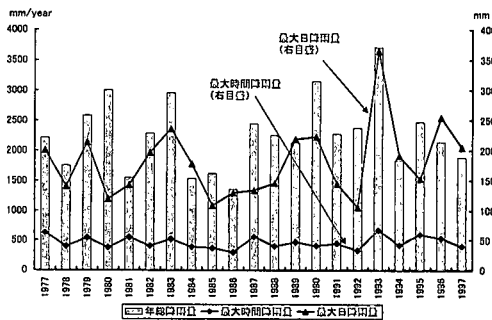


図-4 降雨量、日・時間最大降雨量の経年変化

表-1 支配流量に対する各河川の流出土砂量の推算結果

	流域面積 A	流量 Q_0	縦断形状 パラメータ q	Q_0/Q_0	流砂量 Q_0	日流砂量 Q_0
	(km^2)	(m^3/s)	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	(m^3/s)	(m^3/day)
肝属川	485.0	1697.5	1.241	1.696	0.2878	24870
菱田川	403.2	1411.2	0.353	3.370	0.4756	41091
安楽川	141.3	494.6	1.194	12.441	0.6153	53161
田原川	37.8	132.4	5.831	5.212	0.0690	5963
持留川	24.9	8.72	2.561	3.068	0.0267	2310
総計	1092.2	3822.9			1.4744	127395

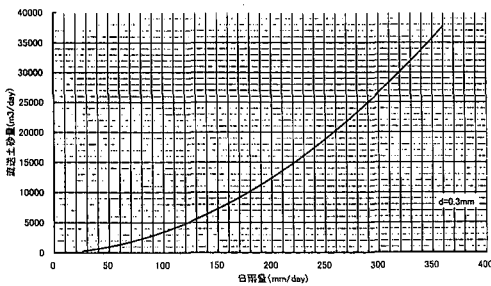


図-5 日雨量と流出土砂量の計算結果

純な安楽川を対象として行った。安楽川の河床勾配、河床材料、水路幅がほぼ様な区間（河口から 500 m ～ 3,000 m 区間）に着目すると、河幅 $B=80$ m, 河床縦断勾配 $I=1/750$, マニングの粗度 $n=0.035$ の一様勾配水路で近似できる。さらに、このセグメント区間に流入する土砂量と流出する土砂量が均衡した状態を想定する。局所等流状態を仮定すると、流量と水深の関係はマニング公式より与えられる。よって、降雨量から計算された流量 Q を用いて、水深 h が逆算できる。流速係数 ψ として平均的な値 10 を採用すると、断面平均流速 v から摩擦速度 u_* が求まる。河床代表粒径 d を 0.3 mm とし、無次元限界掃流力 τ_{*c} は 0.05 とした。全流砂量は bed material load に対して提案された Laursen 式により計算した（山下ら, 2000）。

以上より本解析結果は、横軸に日雨量、縦軸に河川流出土砂量を示した図-5 に集約することができる。両者の関係は十分な精度で 2 次多項式によって近似できる。日本各地の過去約 20 年にわたるアメダス降雨量記録のデータベースは CD-ROM に収録され市販されている。このデータベースから、流出土砂量が有意な大きさを持つ日雨量 30 mm 以上の記録をすべて検索し、図-5 から流出土砂量をもとめ 1 年ごとの流出土砂量を積算すれば、安楽川の年間総流出土砂量を求めることができる。また、安楽川以外の河川については、3.2 で求めた年平均的流出土砂量から、安楽川を基準として単純に比をとることにより各河川の流砂量を概算評価した。

4. 河川流出土砂量と海岸地形変化の関係

本節では、2. で考察した地形測量データに基づく志布志湾海域の土砂量の変化と、降雨量、河川流量、河川流出土砂量との関係を考察する。土砂変動量の考察は、図-1 に示す全領域が対象となるが、国土交通省と県の測量実施年月の相違によって、年単位で土砂変動を表示するとこの相違が表面的に大きく出てくる。また、県管轄区間では、1993 年の突堤の建設や、それに先立って備蓄基地背後の 115 万 m^3 の土砂を突堤設置点の北側に運び養浜

を行ったことなど、人為的な改変が大きい。そのため、ここでは国土交通省の管理区間のみについて土砂変動量解析の結果を示す。

図-6 は、沿岸距離 $x=0 \sim 8,000$ m, 岸沖方向 $y=500$ m までの区間の 1988 年 12 月を基準とする海浜の総土砂量の変化と、鹿屋における年間降雨量との関係を調べたものである。図より 1987 年以降の長期間にわたって両者に良い相関があることがわかる。特に 1993 年は、鹿児島県内で大きな洪水災害があった年であるが、雨量、土砂変動量ともに最大値を示し、傾向は良く一致している。

図-7 は、海浜の土砂変動量と肝属川の年間流出流量との比較を行ったものである。本来、国土交通省の管理区間の海岸土砂量に対して、そこに直接流入する菱田川・安楽川の流量と比較すべきであろうが、ここでは流量記録が整備されている肝属川の俣瀬観測点の流量と比較した。図-7 においても、土砂変動と河川流量の増減に良好な相関が見られる。

図-8 は 3.3 で推算した河川流出土砂量と地形変動量を比較したものである。ここで前者の推算値は菱田川と安楽川の河川流出土砂量の和である。この図からも両者の定性的な一致を認めることができる。すなわち、1993 年には、河川流出土砂量と海岸土砂変動量がともに最大値をとっており、1990 年の第 2 のピークも良く対応している。これによって、河川からの流砂量が海岸地形に大

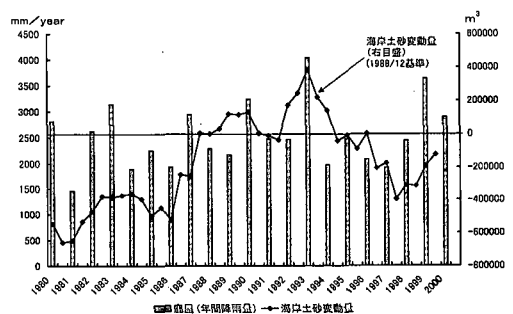


図-6 土砂変動量と年間降雨量との関係

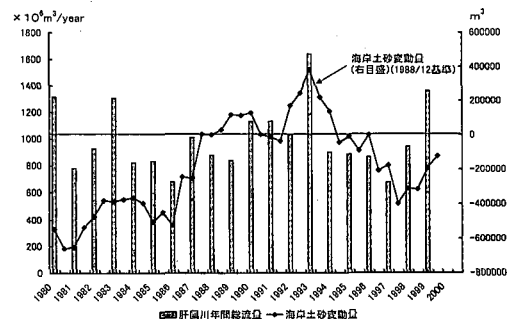
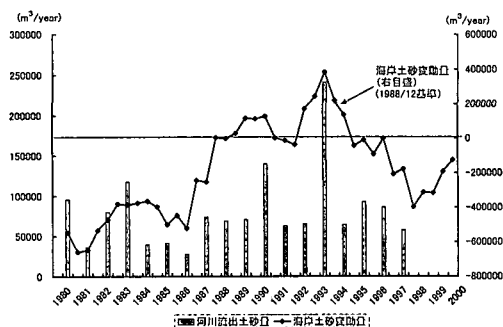


図-7 土砂変動量と肝属川の年間流量との関係



図一8 土砂変動量と年間河川流出土砂量との関係

きな影響を与えていることがわかった。一方、82年と85～87年の期間を除き、全期間を通じて少なくとも5万～10万m³の土砂が河川から流出していると推算されたが、こうした基盤的といえる土砂流出では、その範囲内での増減があっても海岸土砂量の増減と対応していない。

1993年に着目すると河川流送土砂量は24万m³と推算され、一方、海岸の総土砂量は1992年より21万m³増加している。河川流送土砂量の推算値は、河床の代表粒径や河床勾配によって大きく変化するので、これらの諸元の妥当性を十分に検討していない現段階では、上記の表面的な一致をもって定量的な議論ができるものではない。一方、1993年以降について見ると、1998年まで海岸総土砂量は約80万m³減少している。本稿では図を示さなかったが、93年以降は押切海岸(図一1の領域②)で土砂量の減少が93年以前よりも強まっており、他方、柏原海岸では依然として侵食傾向にあるものの、93年以前と比べ土砂量の減少は緩和されている。したがって、こうした点では、図一8の海岸土砂変動に沿岸方向の土砂移動が含まれる影響が大きいと考えられる。

5. ま と め

本研究は、河川-海岸を統合した総合的土砂管理の策定

に資するべく、海浜の総土砂量の長期的な変動と河川流出土砂量の変動との関係を検討したものである。研究の開始段階で、定量的な議論には多くの問題が残されているが、現段階で得られた結果を以下にまとめておく。

- 1) 志布志海岸全域の水深測量データに基づき、長期海浜変形の特性を検討した結果、空間的に侵食・堆積が生起している領域を明らかにした。また、領域ごとの総土砂量の長期変動を定量的に把握することができた。
- 2) 志布志海岸に流出する平年河川流出土砂量を、平衡縦断面形状を想定したモデルから推定した。流量については流域面積の大きい肝属川が最大となるものの、流砂量では河床縦断面勾配の大きい安楽川や菱田川が肝属川の流砂量を上回る推算結果となった。
- 3) 水位や流量データの無い2級河川に対して、河川地形と降雨データだけから流出土砂量の経年変化を概算評価することを試みた。大きな降雨があった年の河川流出土砂量の増加と、海岸の総土砂量の増加は、良好な対応を示すことがわかった。

謝辞：国土交通省大隅工事事務所、鹿児島県鹿屋土木事務所、農林水産省九州農政局笠野原土地改良区からデータを提供して頂いたことに謝意を表します。

参 考 文 献

- 浅野敏之・幸野淳一・佐藤孝夫・嶺 泰宏 (2000): 衛星画像データを用いた台風時波浪による汀線変化の解析, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 671-675.
- 浅野敏之・松元涼子・胸口友章・嶺 泰宏・箕作幸治 (2002): 衛星画像による志布志港周辺海域の長期海浜変形の特性, 海洋開発論文集, Vol. 16, pp. 467-472.
- 黒木幹男・板倉忠興 (1995): 安定河道断面形状に関する研究, 水工学論文集, 第39巻, pp. 641-646.
- 山下隆男・伊藤政博・塚原陽一 (2000): 熊野川からの河川流量の季節・年変化と河口砂州形状の変形特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 641-645.
- 山本 徹・吉沢 良・黒木幹男・板倉忠興 (1998): 胆振日高海岸における海浜変形と流域の土砂生産に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 621-625.