

熊野川からの河川流量の季節・年変化と河口砂洲状の変形特性

山下隆男*・伊藤政博**・塚原陽一***

1. 緒 言

わが国の侵食海岸の大半は、河川からの流送土砂を直接的な漂砂源とする河口デルタ海岸であり、急峻な河川地形に起因する短期間集中型の流砂特性と、波浪、吹送流を発生外力とする漂砂特性とによって決まる海岸地形の変化特性を有している。すなわち、河川流送土砂量の変化が海岸地形の変化に短時間に応答する特性があり、これは、米国の東海岸と欧州の北海沿岸の海岸とは全く異なる漂砂源一地形変化の応答関係である。わが国と欧米とのこの相違は、海岸侵食対策、海岸保全、漂砂管理を検討する場合には、非常に重要である。Inman・Nordstorm (1971) の地殻構造による海岸の分類によれば、この地形的な相違がよく説明される。そこでは、海岸を、collision coast と trailing-edge coast に分類している。わが国の海岸は collision coast に属し、欧州の北海沿岸、米国の東海岸は trailing-edge coast に属する。急峻な河川・海岸地形の collision coast では、河川からの流送土砂と海岸地形変化は短時間で直接的な因果関係を有しているが、緩やかな河川・海岸地形の trailing-edge coast では、河川から流出した土砂は一旦広く平坦な陸棚域に蓄積され、潮汐や波浪の作用で海岸に再分配される。前者の場合には尖状河口デルタを中心とした河口デルタ海岸が形成され、後者の海岸にはバリアアイランドが形成され、河川からの漂砂源の変化と砂浜変形との直接的な応答はみられない。

わが国の海岸では、海岸侵食の主要因は、次の 2 つである。(1) 河川流域の開発、砂防ダムや多目的ダム建設、砂利採取に伴う漂砂源の減少。(2) 港湾などの大規模海岸構造物の建設による沿岸漂砂の阻止および波浪、海浜流場、吹送流場の変化。さらに、二次的な要因としては、次の 2 点が挙げられる。(3) 海岸護岸からの反射波による波浪場、海浜流場の変化が沿岸砂州（バー）の形成を阻害し、自然の貯砂機能を破壊することによる沖方向漂砂の発生。(4) 海面上昇、地盤沈下等の海水準の増加。

主要因による海岸侵食は、総合的な土砂管理を実践する以外には根本的な解決策が無いことは明らかであり、近年これに対する研究、技術開発、行政的対応がなされる方向になってきた。また、二次的な要因による海岸侵食に対しても、海浜の安定化（自然海浜の消波、貯砂機能の回復）の重要性が認識されるようになり、「ヘッドランド工法」と称されて安定海浜工法が現地の海岸侵食対策や保全に適用されるようになってきた。さらに、養浜による砂浜の造成、拡幅は海水準変化に対して柔軟な対応が取れるため、砂浜の海岸保全施設としての有用性が認識されるようになってきている。

一方、漂砂源の観点から海岸侵食の要因を考えると、河口部において流砂から漂砂への分配機構の崩壊が第一の要因として挙げられる。河川から流送される土砂は、洪水流（沖方向流）と波浪流（岸方向流）、吹送流および潮流（沿岸向流）との力関係で、堆砂する量と沖へ流失する量とが決まる。洪水時に流出した河川からの土砂は、河口部において、「河口砂州」および「河口テラス」の形で堆積（貯砂）される。河口部に堆積した砂礫は、波浪流、吹送流および潮流のような沿岸方向や岸方向への流れによって海岸域に再分配され、これが海岸の漂砂源となる。わが国の多くの河口海岸の漂砂供給はこのような形態をとっていると考えられるので、河口部での砂利採取等の河口砂州および河口テラスの形成を阻害するような人工的行為は、河口海岸の深刻な侵食を発生させる。高知海岸の仁淀川河口はこの典型的な例である。さらに、多くの河口海岸での例に見られるように、河口部での港湾の建設は河川からの周辺海岸への漂砂の供給を阻止し、漂砂下手側海岸の侵食を引き起こす。このような海岸侵食は、河口デルタ（殆どが尖状河口デルタ）の変形過程（縮小過程）であり、河口部では大きな地形変化が生じ、深刻な侵食海岸となる。

河口部における流砂から漂砂へのスムーズな形態移行を促進することは、海岸侵食制御を考える上で極めて重要である。しかしながら、わが国には、富士川、黒部川、姫川、酒匂川等、河口前面に海谷が入り込んでいる河口海岸も多く、このような海岸では河川流送土砂の大半は海谷へ流失し、河口デルタは発達できず、河口テラスに

* 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所

** 正会員 工博 名城大学教授 理工学部環境創造学科

*** 正会員 日本建設コンサルタント株式会社 東京支社

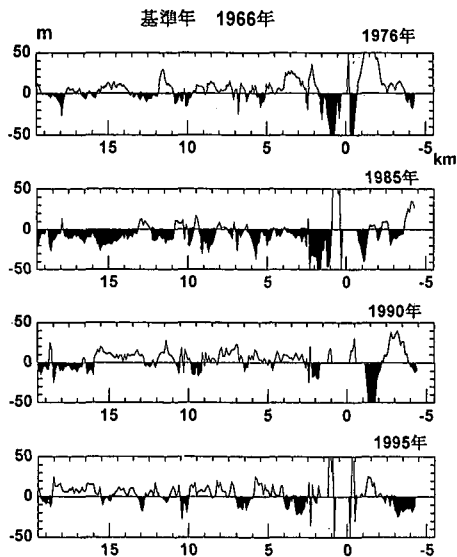


図-3 七里御浜海岸の訂線変化

では海岸地形変化に及ぼすダムによる土砂の捕捉の影響は小さいものと類推される。

3. 海岸への河川流送土砂供給と河口砂洲の変形

熊野川からの流送土砂量の変化は七里御浜海岸の変形を支配しているが、砂利採取やダム堆砂のような十年から数十年の期間での変化のほかに、河口砂洲地形や河川流量（降雨量）の変化のような1年から数年の影響のほか、ここでは、熊野川から七里御浜海岸への流送土砂量の供給機構を検討する。

3.1 河道内水位記録および推算潮位

熊野川では建設省により、河口（あけぼの）、2.5 km 上流（成川）および 8 km 上流（相賀）の図-1 に示す 3 地点で、1989 年より毎正時の河道内水位が計測されている。これらのデータは河川管理に使用されているが、海岸漂砂、河口海岸変形予測や侵食制御対策には活用されていないようである。河川水位勾配は相賀—成川間で、河川—海水面水位差は「あけぼの」の水位記録と河口部での天文潮位の差で求めた。河口部での天文潮位の計算は国立天文台の短周期海洋潮汐モデル NAO99（主要 16 分潮、0.5°メッシュ）を用いた。波高データは新宮港のものを、河口砂洲形状は建設省により測量された毎年 2 月または 3 月のデータを用いた。

3.2 流量および流送土砂量の推定

1989 年～1997 年の 3 地点（相賀：基準点 T.P.+5.34 m、成川、あけぼの：基準点 T.P.+0 m）の水位の時系列データを借用し、流量、河川水位勾配、河川—海水面水位差の経年変化特性、洪水時の出水特性（ピーク流量/最

小流量）の経年変化を求めた。断面流量の時系列データは、相賀の水位記録から水位・流量を用いて求めた。さらに、このようにして推定された相賀の流量から、Meyer・Peter・Muller の式によって掃流砂量を求めた。中央粒径は 0.01 m、Manning 係数 0.03、川幅 200 m を仮定した。また、Laursen の実験式を用いて、沈降速度 0.03 m/s、限界掃流力 0.047 として、wash load を除いた全流砂量を求めた（水理公式集参照）。図-4 に月別の断面流量、図-5 に掃流砂量、図-6 に全流砂量の経年変化を示す。

これらの図より、熊野川においては、最大/最小の年平均流量で 3 倍以上の差異が認められ、5～6 年の変動があることがわかる。また、月平均流量の季節変化には 7 月～9 月の台風による出水が卓越していることが明確に示されている。洪水時のピーク流量/最小流量は流送土砂特性および河口砂洲の崩壊に大きく作用するファクターであるが、これは月平均流量の季節変化とほぼ同様の時

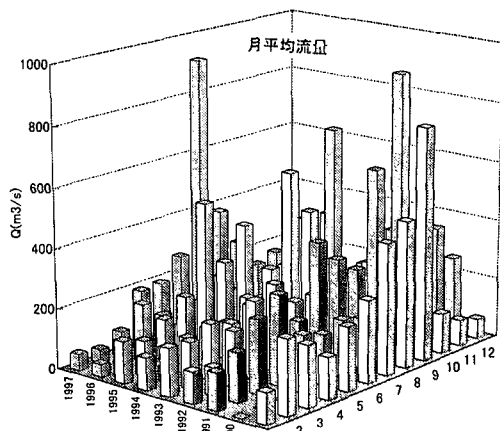


図-4 月別の断面流量

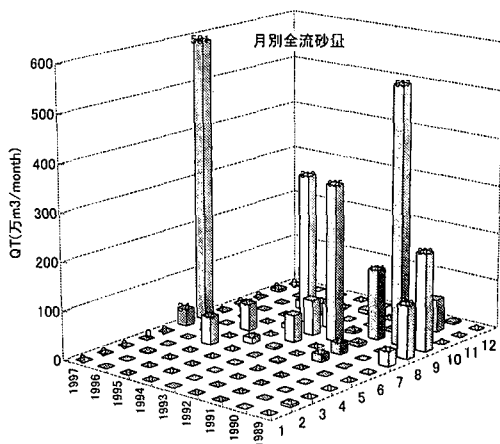


図-5 掃流砂量

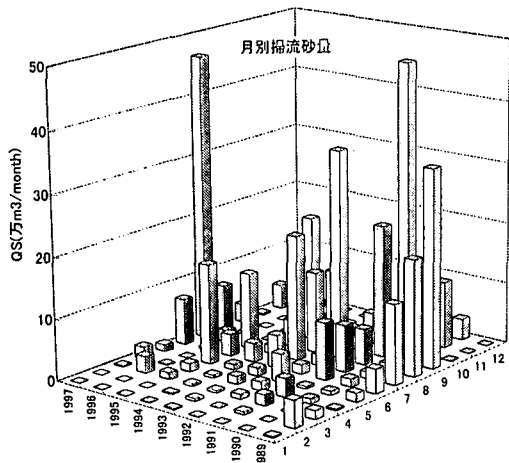


図-6 全流砂量の経年変化

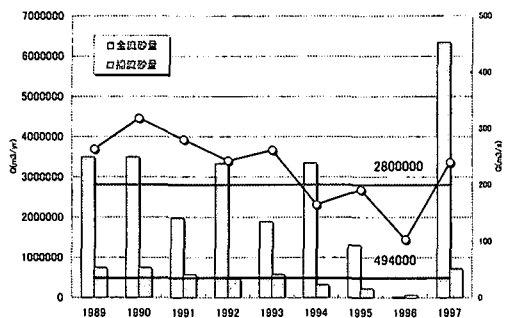


図-7 棉流砂量, 全流砂量の推定値の経年変化

系列特性があり、ピーク流量が $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上で、特にこの値が大きかった洪水は9年間で2回観測された。これを流送土砂量に換算すると、流量が $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を超えるような洪水時に棉流砂量、全流砂量ともに急激に増加し、棉流砂量では年間3～4回の顕著な土砂流出があり、年平均では約49万 m^3 、全流砂量は年平均280万 m^3 であろうと推定される(図-7)。

また、 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上に限定して、年最大流量と河口砂州の土量(T.P.+0 m上)との経年変化を求め、図-8に示した。

3.3 河口砂州の変形

熊野川の河口砂州は洪水によってフラッシュされたあと、主として波によって発達し始め、河口断面は、砂州の発達とともに、若干の変動を伴いながら徐々に減少していく。河口での底質の粒径は $d_{50}=80 \text{ mm}$ 程度と大きく、また、海底勾配が急で、砂州高は約6 mまで達する。大洪水の際には、砂州のほとんどは水面下に沈む。9年間の最大ではT.P.+15 mに達している(1997年7月)。砂州のフラッシュの形状は、流量が $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後

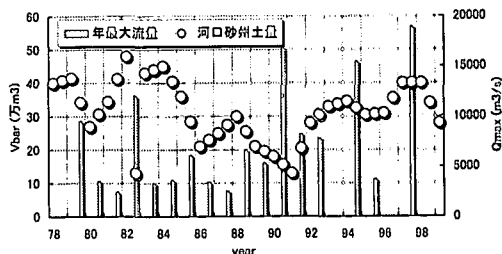


図-8 年最大流量と河口砂州の土量(T.P.+0 m上)との経年変化

の場合、決壊は砂州の両側で起き、流量が $10,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を越えると、砂州のほとんどがフラッシュされ、約2ヶ月後には元の土砂量にまで戻る。

図-8に示すように、1982年夏には砂州土量が大きく減少していることが観測されているが、これは、この年の計測が8月になされたために、洪水で砂州がフラッシュされた直後の砂州土量が捉えられたためである。この年の8月2日に台風10号の影響で相賀観測所最大流量 $12,100 \text{ m}^3/\text{s}$ が記録されており、これにより、完全にフラッシュされた場合には、砂州からの流出土砂量は約35万 m^3 となっていることがわかる。

このような、フラッシュ直後の砂州土量が計測されるケースは珍しく、砂州のフラッシュの記録が得られなかったため、3地点水位の時間変化と「あけぼの」での潮汐の影響度の大きさから砂州のフラッシュの有無を推定し、河口砂州の崩壊(FI)、洪水発生頻度(F)、河口部での通水能(○良一悪●)を表-1に示した。これより、年平均流量の多い年(1991-1993年)には冬季から春季にかけて河口での通水能が悪くなっている(河口砂州が発達)こと、1996年は特異な渇水の年であること、年平均3～4回の洪水があり、1～2回砂州のフラッシュがあることが読み取れる。

3.4 河川流送土砂の海岸への供給機構

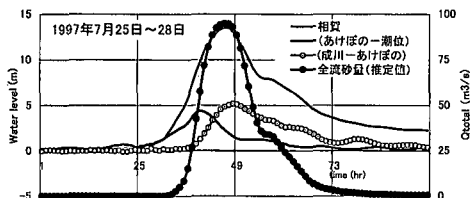
以上のようなデータ解析から、熊野川のような河口砂州の発達する河川の河口部に位置する海岸への流送土砂の供給機構として、以下のような点が指摘される。

年毎の流送土砂量には大きな相違が見られる。例えば、図-8に示した1996年のような場合には、河口砂州がフラッシュしておらず、流送土砂量もほぼゼロに近い値が推定されている。この年には熊野川からの海岸への土砂供給量はゼロで、その翌年の7月には図-9に示すような観測期間最大の流出があり、推定全流砂量は1日で580万 m^3 、送流氷砂量で70万 m^3 に達する土砂供給がある。このようなケースでは、河川からの流送土砂は一気に沖合いへ流出し海岸への歩留まりが悪い事が想像される。短期間の急激な土砂供給特性、年変動と海岸漂砂へ

表一 河口砂洲の崩壊 (F1), 洪水発生頻度 (F), 河口部での通水能の評価

年月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1989	○	○	▲	●	●	▲	▲	○	○	○	○	○
							[F1]	FF	FFF			
1990	○	○	▲	▲	▲	▲		●	○	○	○	○
								[F1]	F		FF	
1991	▲	▲	▲	●	●	●	○	○	○	○	▲	●
					[F1]		F		FF			
1992	●	●	●	●	●	○	▲	▲	▲	▲	●	●
					[F1]			[F1]				
1993	●	●	●	●	▲	▲	○	○	○	○	○	○
					[F1]		F	F	F		F	
1994	▲	▲	▲	▲	●		○	▲	○	○	○	○
					[F1]			[F1]				
1995	○	○	●	▲	○	○	○	○	○	○	○	○
					F		F			F		
1996	○	▲	▲	○	▲	▲	○	▲	●	●	●	▲
										[F1]		
1997	▲	▲	▲	○	○	▲	○	○	○	○	○	▲
						F	F					

[F1]: Flush F: Flood transmission condition (○: good, ▲: medium, ●: bad)



図一9 砂州崩壊時の水位記録, 河川-海水面水位差および全流砂量

の供給量との関係は今後検討すべき課題である。また、熊野川では、降雨・洪水は台風来襲時に限定され、必ず高波浪が同時生起する。すなわち、洪水時に出た多量の土砂、河川流量と高波浪とが砂洲を含む河口地形を形成する外力となる。

このような波浪・洪水特性とその経年変化特性を海岸漂砂管理に導入することが重要であると言える。

4. 結 語

以上、熊野川における河道内水位記録と、ダム堆砂、砂利採取データおよび七里御浜海岸の汀線変化から、この河口海岸での河川流送土砂量の収支、および河川からの供給土砂量の時間変動と河口砂洲との関係を検討し、今後、熊野川周辺での河口処理、海岸侵食対策を検討す

る上で留意しなければならない以下のような点を指摘した。(1)1960年代から顕著化した七里御浜海岸の侵食の主要因のひとつは、ダムによる土砂の捕捉と砂利採取であるが、砂利採取が規制された後(1985年以降)には海岸が回復傾向にある。(2)熊野川では、主として台風により年3~4回の洪水が発生し、年間1~2砂洲のフラッシュによる大規模な土砂流出がある。完全にフラッシュされる場合の砂洲の土量は約35万m³、年間の掃流砂量は約49万m³、全流砂量は280万m³であると推定される。(3)大きな出水時の短期間の急激な土砂供給特性、年変動と海岸漂砂への供給量との関係を明確にしておく必要がある。(4)波浪・洪水特性とその経年変化特性を海岸漂砂管理に導入することが重要である。

なお、本研究は京都大学防災研究所特定共同研究(代表者:今本博健教授)の一部として実施された。

参 考 文 献

- 建設省紀南工事事務所(1999): 熊野川河床調査委員会資料。
- 三重県熊野土木事務所(1998): 井田海岸, 国補海岸高潮対策工事。
- 三重県熊野土木事務所(1995): 海岸侵食基礎調査 要約編。
- Inman and Nordstorm (1971): On the tectonics and morphologic classification of coasts, The Journal of Geology, pp. 1-21.