

漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査

河川局砂防部保全課海岸室
国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室
東北地方整備局河川部河川計画課
北陸地方整備局河川部河川計画課
中部地方整備局河川部河川計画課
中国地方整備局河川部河川計画課
四国地方整備局河川部河川計画課
九州地方整備局河川部河川計画課

1 はじめに

日本は、環太平洋造山帯に位置しているため地質的に脆弱であること、およびアジアモンスーン地域に位置し降雨量が多いことから、山地での土砂生産が活発である。一方、高度成長期における建設骨材の需要に答えるため河川砂利の採取がおこなわれ、水資源の確保と治水対策のために多数のダムが建設された。また、沿岸域では大規模な防波堤を有する港湾や漁港開発などがおこなわれた。この結果、沿岸漂砂の均衡が崩れ、著しい侵食により年間 160ha の国土が失われている。

このように侵食が進んだ海岸では浜崖が形成され、海岸線沿いに家屋などが近接する場合には、それが流出される危険性が生じた。また、海食崖の後退もすすみ国土の消失となった。このため、局所的な取り組みとして、護岸や堤防の整備、消波堤や離岸堤の設置などがおこなわれてきたが、結果的に海岸環境の悪化を招くことになった。

以上のような背景から、1998年7月に河川審議会総合土砂管理小委員会から「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の報告が出され、水系スケールの総合的な土砂管理に向けた取り組みが本格的に始められることになった。また、1999年5月28日に公布された改正「海岸法」では、防護・環境・利用の調和した海岸保全を推進することが理念とされた(図-1)。

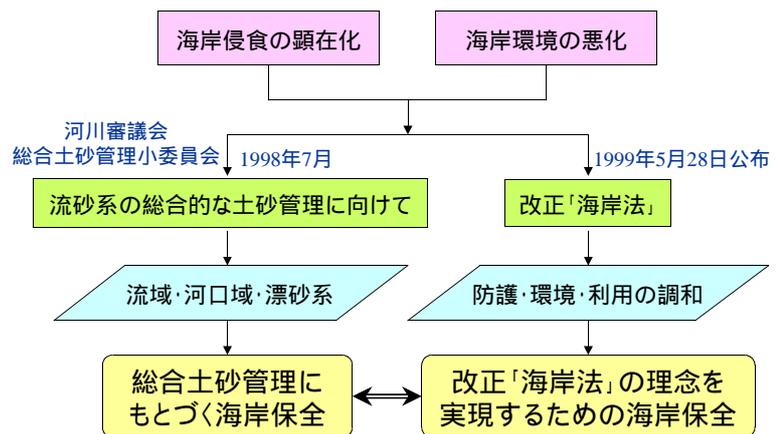


図-1 本調査の背景

ところで、磯部(1998)は、流砂系における総合的土砂管理計画においてはまず、下流側、すなわち海岸での必要計画流砂量(沿岸漂砂量)を決めるべきであると指摘している。また、磯部(1999)は、改正海岸法の理念の実現に向けての提言のなかで、河口への供給

土砂の全量が沿岸漂砂になっている保証はなく、河口部から深海部に直接流出している可能性が考えられるため、河川を通じた河口部への供給土砂量と、沿岸漂砂量を定量的に比較してみる必要があるとしている。

そこで、本調査では、海岸（漂砂系）における必要計画流砂量である沿岸漂砂量に関する推定手法（深浅測量結果の解析、沿岸漂砂量公式および漂砂量係数の評価）と、河口域における土砂動態の解明を目的とする。そして、「流砂系の総合的な土砂管理」にもとづいた、改正「海岸法」の理念の実現に向けた海岸保全を推進するために必要とされる、「漂砂系における流砂量モニタリング手法」の確立を目指す。

2 調査課題

流砂系は、陸域における土砂の運動領域である流域と、沿岸域における土砂の運動領域である漂砂系、およびそれらの運動領域の接合域である河口域からなると言える。この流砂系のイメージを図-2に示すとともに、磯部（1998）による流砂系における総合的な土砂管理の考え方について述べる。

まず、「流砂系における土砂管理は、山地から海岸までの全領域を含む、総合的で、計画的なもの

でなければならない。その場合にまず必要となるのが、水流の場合の計画流量に相当する計画流砂量であろう。当然、計画流砂量は土砂収支をバランスさせるものでなくてはならない。」と指摘している。つまり、流域と漂砂系、およびそれらのインターフェイスである河口域における、土砂動態と土砂収支の把握の必要性を説いている。

次に、「計画流量は、降水量から始まって、上流から下流に向かって決めていくことになる。しかし、計画流砂量では、土砂生産も制御対象であり、また土砂が途中で堆積・滞留し得ることを考えると、必ずしも上流側から決めていくことが得策とは言えない。土砂管理計画においてはまず、下流側、すなわち海岸での必要計画流砂量（沿岸漂砂量）を決めるべきである。」と述べている。このことは、流砂系における土砂管理計画は、海岸における沿岸漂砂量の把握から始まること（図-2の印）を示唆しており、海岸行政および海岸における現象の調査・研究に携わる技術者の責務が大きいと言える。

そして、「すなわち、目標とする海岸地形が決まれば、海岸では波浪などの外力との関係で沿岸漂砂量が決まる。これが海岸地形を維持するための、必要計画流砂量である。これが決まれば、その供給源として、河口や海崖からの供給量が決められる。河口での流砂量が決まれば、それを維持するための河道計画がたてられる。その際に上流からの土砂供給が過大である場合には、土砂を資源として他に転用することができる。また上流からの

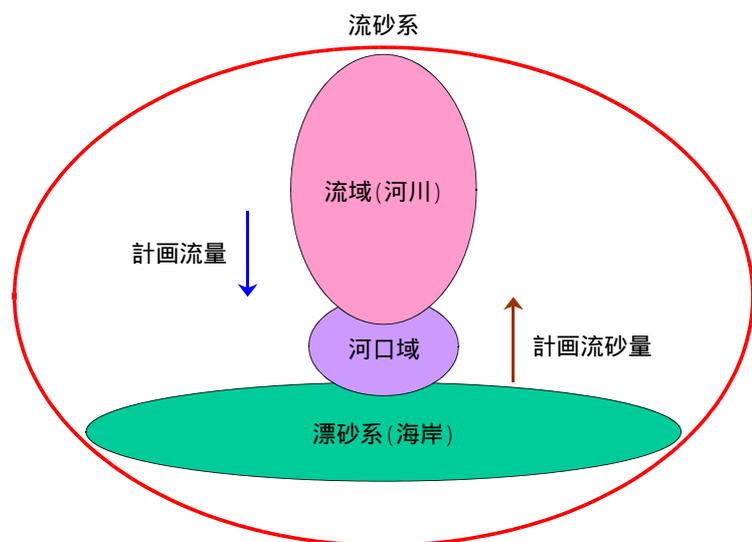


図-2 流砂系のイメージ

土砂供給が不足する場合には、ダムに土砂の通過機能を持たせることなどにより、中・下流側への土砂供給を増すのが解決策の一つとなる。」としている。これは、海岸管理者が過去から現在に至る海岸地形の変遷を十分に把握し、今後の海浜変形の傾向を予測した上で、保全すべき海岸地形の将来像を描いていることが、流砂系における総合的土砂管理では重要であることを示している。

一方、磯部（1999）は、改正海岸法の理念の実現に向けての提言のなかで、河口への供給土砂の全量が沿岸漂砂になっている保証はなく、河口部から深海部に直接流出している可能性が考えられるとも指摘している。すなわち、河口域における土砂動態は、河川の特性と流入する漂砂系の地形学的特性によって各々異なるため、海岸における沿岸漂砂量をそのまま河川からの必要最小限の供給土砂量とすることはできないと言える。

しかし、河口域における土砂動態と波浪による沿岸漂砂量との相互関係を明らかにした調査・研究は、ほとんどなされていないのが現状である。そこで、海岸（漂砂系）における必要計画流砂量である沿岸漂砂量の推定手法に関する検討、気象擾乱時（降雨出水時、高波浪作用時）および常時における河口域での土砂動態の解明、を本調査の課題とした。平成 15 年度は、各海岸における沿岸漂砂量に関する既存の資料の収集と、河口河川の河口域の変遷を示す空中写真の収集を行った。また、河口域において堆積物調査が行われた事例のとりまとめを行った。

3 各海岸における沿岸漂砂量に関する資料の収集

3.1 阿武隈川が流入する漂砂系

仙台湾南部海岸は、福島県常磐海岸および阿武隈川などの流入河川からの供給土砂により形成されてきた。一方、港湾・漁港等による沿岸漂砂の遮断やダム建設などによる漂砂源の減少によって、近年では海岸侵食が著しく、その侵食域は背後保安林まで達するものとなってきており、沿岸漂砂および流入土砂のバランスが崩れてきている状況にある。

ところで、仙台湾南部海岸の漂砂機構と侵食対策の検討結果によれば、仙台湾沿岸の地形、外力特性の把握、河川からの供給土砂量推定や漁港の浚渫などのデータを基に、沿岸域の土砂収支を検討した結果、福島県側からの漂砂の遮断と阿武隈川からの土砂供給量の激減が海岸侵食の主な要因であるとしている。

そして、阿武隈川の土砂供給は自然時に 6 万 $\text{m}^3/\text{年}$ 、人工改変後は 2 万 $\text{m}^3/\text{年}$ と推定されており、漂砂系全域における土砂収支図も示されている。しかし、沿岸域の底質・地質の存在量・分布場所の把握精度、河川からの供給土砂量および海浜への寄与率についての精度、洪水などの不定期な供給土砂についての考慮、が課題としてあげられている。

3.2 姫川が流入する漂砂系

姫川は流域の大半を山地（流域の 99%）が占め、長野県白馬村南部に源を発し多くの支川を合流しつつ北上し、新潟県を経て日本海に注ぐ幹川延長 60km（長野県 35km、新潟県 25km）、流域面積 722 km^2 、平均河床勾配 1/80 の急流河川である。また、流域の中央には、糸魚川 - 静岡構造線（フォッサマグナの西縁）が貫通しているため、脆弱な地質で土砂災害が絶えない地域でもある。

過去の大規模出水では、局所洗掘による護岸基礎の破損、護岸破壊、根固め流出等の被害が発生するとともに、土砂堆積により河床上昇等が生じている。また、姫川河口付近の青海海岸等においては海岸侵食対策が実施されている。なお、姫川河口周辺の海岸の海浜変形は冬季風浪によるものが大きいと推定されている。しかし、沿岸漂砂の卓越方向は西向きであるという調査結果と、東向きの沿岸漂砂が卓越するという研究成果があり、沿岸漂砂の卓越方向と量を確定するには至っていない。また、姫川の流入する漂砂系全域における堆積物の調査も今後の課題としてあげられる。

3.3 大井川が流入する漂砂系

大井川が流入する漂砂系の南端には岩石海岸である御前崎が、そこから約 10km 北側の坂井地先付近でも岬状の地形が存在し、さらに北側では大井川扇状地を縁どる砂礫海岸をへて大崩海岸に至る。大井川からの供給土砂で形成されたのは、坂井地先付近の岩石海岸から大崩海岸までの領域であると考えられる。

坂井地先付近の岩石海岸から大崩海岸までの領域への波浪の入射方向は SE 方向であり、沿岸漂砂の卓越方向は大井川河口北側では北向き、南側では南向きとされている。このうちの大井川河口北側に位置する駿河海岸では、昭和 39 年直轄化以後、大井川からの流出土砂の減少や大井川港南防波堤築造等により海岸侵食が進んだ。このため、消波堤、離岸堤、突堤等の海岸保全施設を整備するとともに大規模なサンドバイパスを実施し汀線維持を図ってきた。

また、大井川河口域における左右岸への沿岸漂砂量の起因力となる、沿岸部における外力場の分布をエネルギー平衡方程式により算定し、各年代における沿岸漂砂量フラックスの経年変化状況を検討した。その結果によると、大井川河口域においては、左右岸方向の沿岸漂砂量フラックスの大きさから判断すると、右岸側に多く土砂が供給される傾向にあることが分かった。しかし、岸漂砂量を算定する場合の沿岸漂砂量係数と大井川河口域における堆積物の代表粒径との関係の把握は課題として残されている。

3.4 日野川が流入する漂砂系

日野川は、東側を大山のすそ野で、西側を岩石海岸である島根半島で区切られた弓ヶ浜に流入する。弓ヶ浜では美保湾の北東側が開けており、島根半島の影響で NNE 方向からの波浪が入射し、沿岸漂砂の卓越方向は西向きとされている。そして、弓ヶ浜には 3 つの浜堤があり、中海側から順に内浜、中浜、外浜と呼ばれ、とくに外浜の形成には日野川流域で行われた奈良時代以降の鉄穴流しによる廃土が寄与しているとされている。

しかし、鉄穴流しの衰退にともない、日野川河口域付近から海岸線の後退が始まり、現在の護岸が設置されるまでに約 300m の汀線の後退があったものと推定されている。この侵食を防ぐために昭和 13 年から対策事業に着手したがその効果は少なく侵食を止めることができず、昭和 35 年 4 月米子市皆生から西伯郡淀江町までの 6,580m を直轄工事区域とし、その後管理区域の追加および移管をへて、現在 10,620m において、離岸堤をはじめとした各種侵食対策工事を実施している。

皆生海岸では、漂砂の追跡調査や海象調査が始められ、近年においては、流域全体の土砂収支を把握するための調査検討が行われた。そして、平成 5 年からサンドリサイクルに

関する調査・実験も開始されている。しかし、皆生海岸においても沿岸漂砂量を算定する場合における、沿岸漂砂量係数と堆積物の代表粒径との関係は課題として残されている。

3.5 仁淀川が流入する漂砂系

仁淀川は桂浜と萩岬を境界とする漂砂系（高知海岸）に流入するが、この漂砂系では台風の進路によって海浜地形の変化パターンが異なるので、沿岸漂砂の卓越方向を一義的に決めることは難しい。

また、仁淀川が流入する高知海岸は、延長約 30km の豊かな砂浜の広がる白砂青松の海岸であったが、著しい海岸侵食によって美しい砂浜も消滅の脅威にさらされるようになったことから、平成 6 年度に長浜～新居工区を直轄工事区域に指定され海岸保全計画が検討された。それによると、沿岸漂砂の卓越方向は東向きであるが、その量は沿岸方向に一様ではないことが示された。なお、海岸における堆積物の粒径特性についても調査・分析が行われているが、沿岸漂砂係数との関係は明確にされていないのが現状である。

3.6 大淀川が流入する漂砂系

大淀川は日向灘沿岸のうち小丸川から青島までの砂質海岸に流入する。大淀川河口の北側に位置する宮崎港の波浪観測によれば ESE 方向の波浪の入射頻度が高く、北向きの沿岸漂砂がやや卓越するとされている。

この漂砂系のうち、大淀川河口周辺の海岸を宮崎海岸と称しており、北の住吉海岸から南の青島海岸までの延長約 20km の区間が含まれる。宮崎海岸では、過去から河口導流堤の延長や宮崎港整備に伴って数多くの調査がなされてきた。特に、宮崎港の建設後には北側海岸の汀線後退が生じたため、平成 7 年より蛍光砂を用いた漂砂移動調査などの海岸保全対策の検討が盛んに行われている。

その結果によると、海岸では北向きと南向きの沿岸漂砂が存在するが、輸送エネルギーから見ると北向き漂砂が卓越する。宮崎港北側の前浜の底質分布からは、宮崎港から石崎川までの約 8km 区間では常時波浪により南向きの漂砂が、石崎川以北では北向きの漂砂が卓越しているものと推定される。また、後浜の粒径分布からは高波浪時には北向き漂砂が卓越していると推定される。しかし、この海岸においても沿岸漂砂量を算定する場合における、沿岸漂砂量係数と堆積物の代表粒径との関係は課題として残されている。

3.7 まとめ

ここで報告した漂砂系においては、波浪観測や海浜変形特性および堆積物特性などの調査がかなり行われている。また、沿岸漂砂量の算定や土砂収支の検討もされている。しかし、河川から供給された土砂のうち、どの粒径ものが主に海岸の安定（形成）に寄与しているかについては明らかにされていない。さらに、流砂系における総合的土砂管理計画の必要計画流砂量を決める沿岸漂砂量と堆積物の代表粒径との関係（沿岸漂砂量公式と沿岸漂砂量係数の評価）が検討されていないのが課題として残されている。

4 各河川における河口域の変遷

ここでは、各河川の河口域の変遷を空中写真の比較で示す。写真-1 は姫川河口域の変遷を示したものであり、昭和 20 年代には全区間で砂浜が発達していることが読みとれる。

その後，昭和 30 ～ 40 年代にかけて侵食が進み，姫川河口砂州が後退していることから，姫川からの供給土砂が減少していると考えられる．姫川西側の海岸では，昭和 50 年代以降に離岸堤が設置され，離岸堤の東側から西側に向かって汀線の回復が進んでいるが，離岸堤群より西側(漂砂の下手側)の侵食が顕著になっている．姫川東側の海岸では，昭和 40 年代以降にはほとんど砂浜の存在しない状態が続いている．

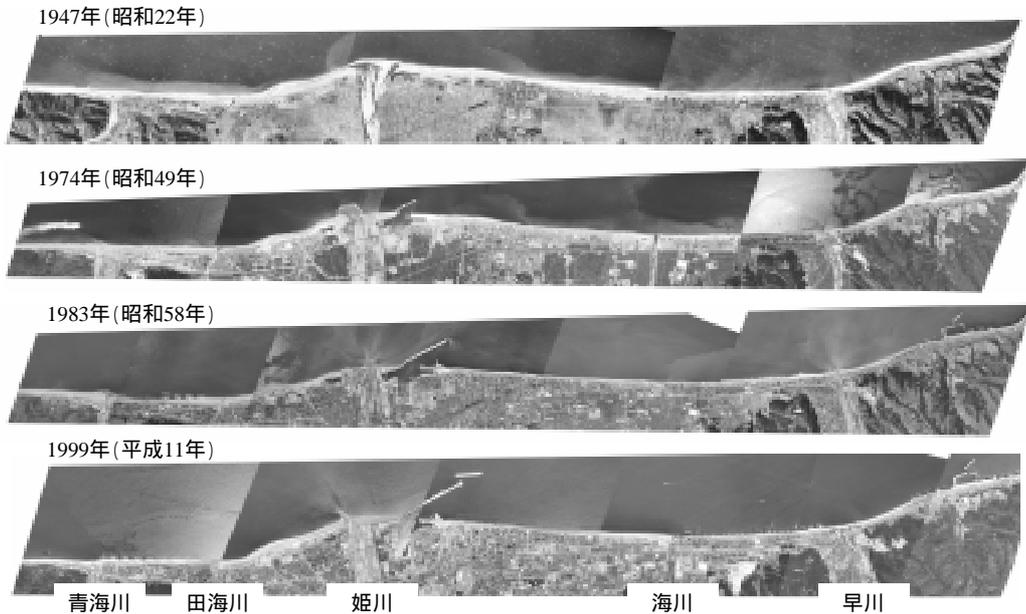


写真-1 姫川河口域の変遷

大井川河口域の変遷を写真-2 に示す．昭和 42 年以降大井川港の建設に伴い，徐々に河口砂州が後退し，南防波堤に砂が堆積している．昭和 59 年以降は河口部，汀線共に安定しており，河口部の開きは左岸から右岸に移動している．

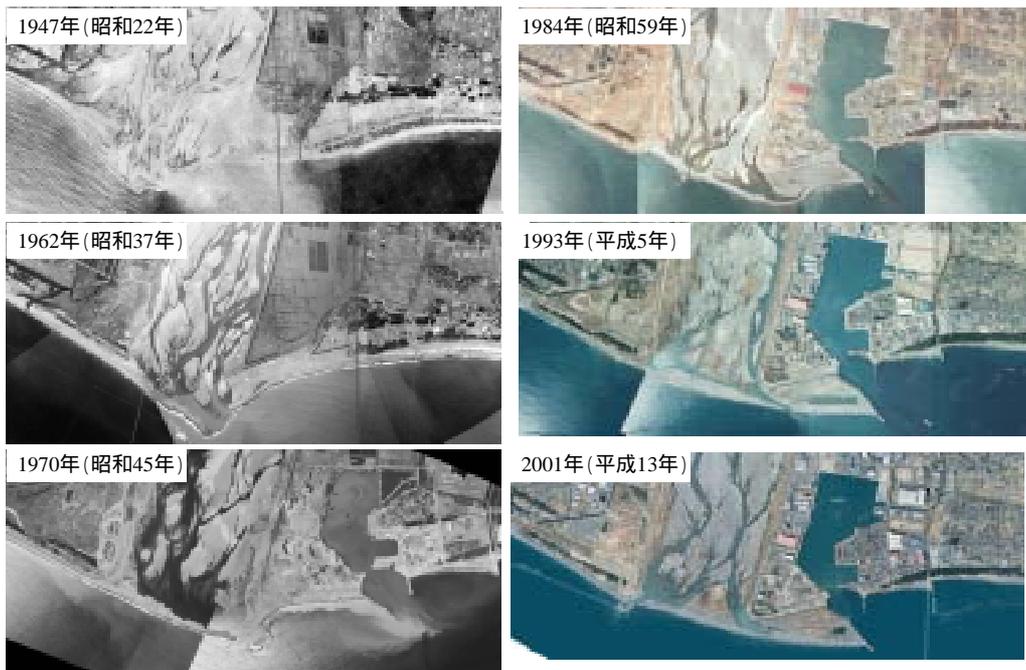


写真-2 大井川河口域の変遷

日野川河口域の変遷を写真-3 に示す．昭和 45 年には河口の沖合に河口テラスが形成されているような傾向があるが，昭和 54 年にはそれが消失して河口砂州が河道内へと移動した．その後は河口砂州の形状がやや変化したが，大きな変化は見られない．

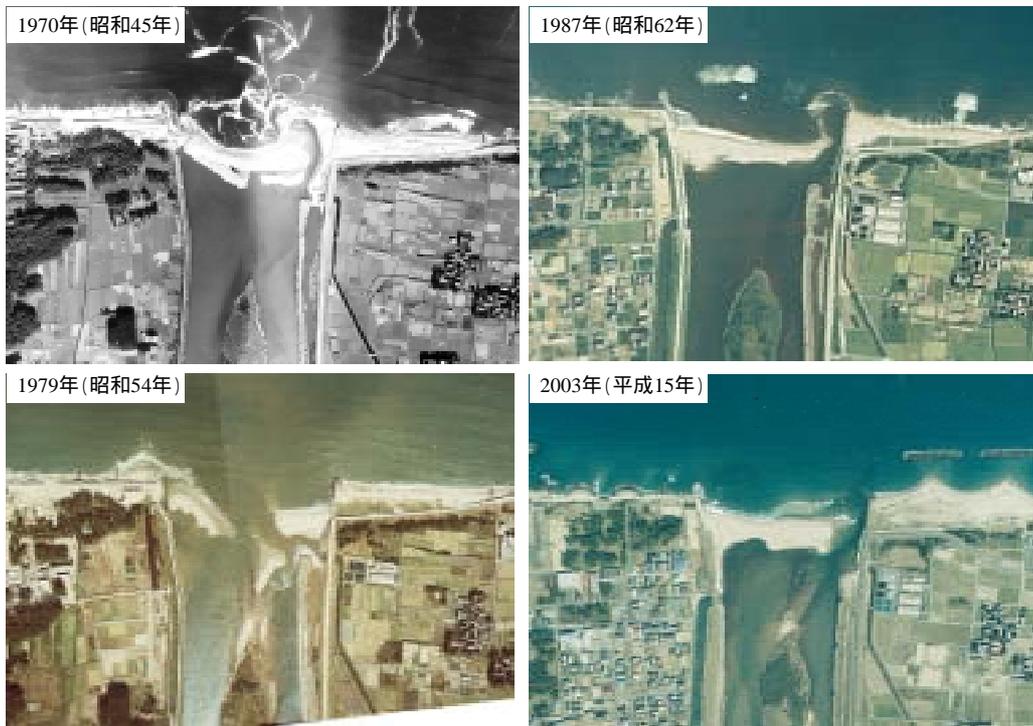


写真-3 日野川河口域の変遷

仁淀川河口域の変遷を写真-4 に示す．昭和 49 年までは河口砂州が沖合に突出していたが，昭和 55 年になると河口砂州が河道内へと移動した．そして河口砂州が岸側へと大きく湾曲した形状となり，その後は大きな変化は見られない．

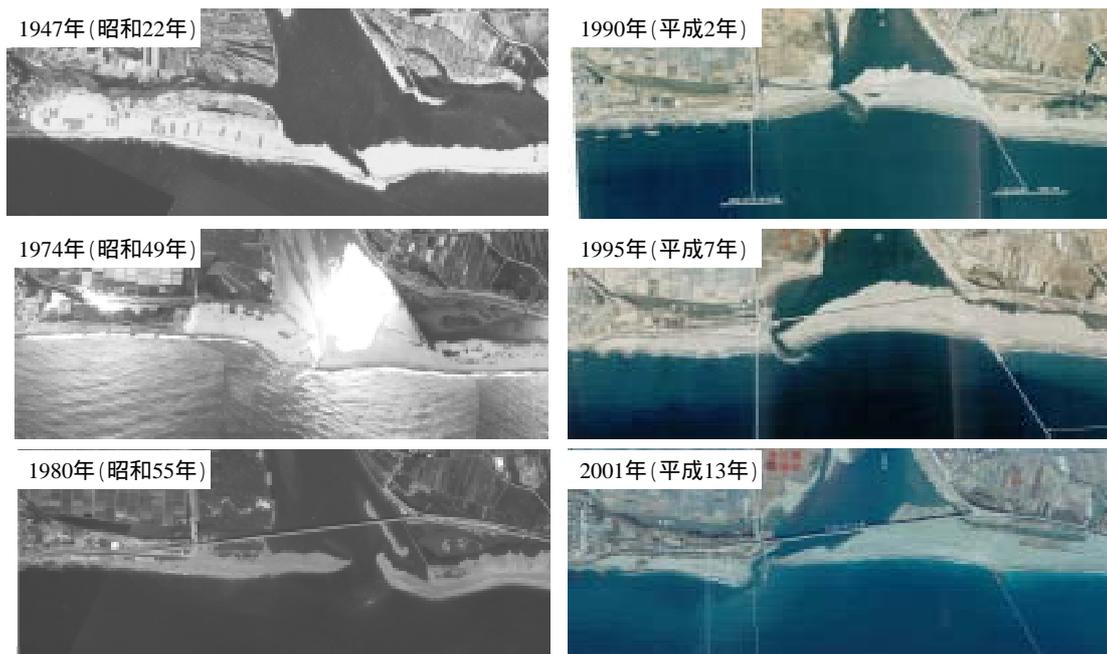


写真-4 仁淀川河口域の変遷

大淀川河口域の変遷を写真-5 に示す．昭和 37 年までは河口には構造物は建設されていなかったが，昭和 46 年には導流堤が建設され，その後は宮崎港と宮崎空港の建設が進み，大淀川河口域は大きく改変された．

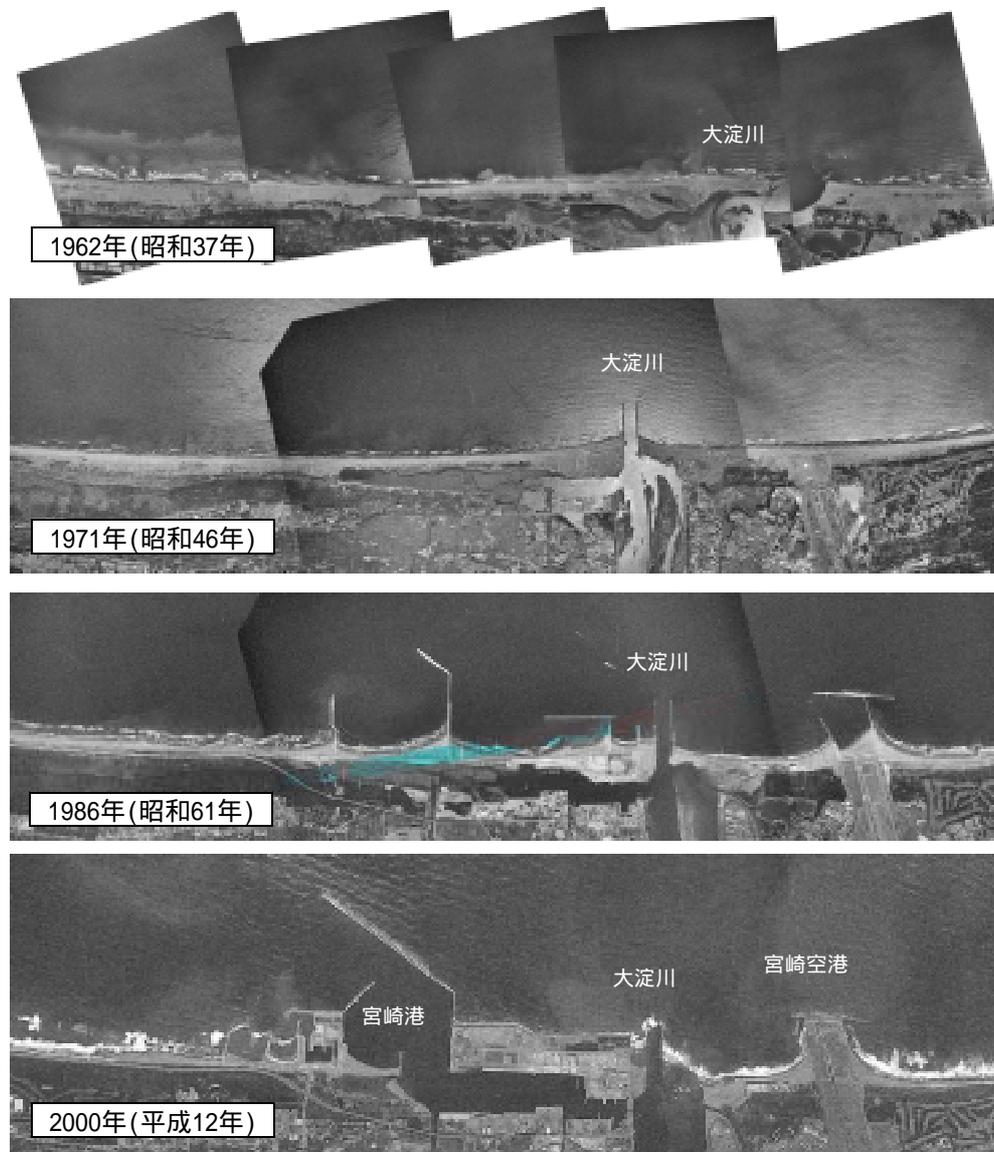


写真-5 大淀川河口域の変遷

以上のように各河川における河口域の変遷を比較すると，姫川と大井川では河口の右岸または左岸のどちらかに大規模な港湾が建設されて，その影響により沿岸漂砂の不均衡が生じて周辺海岸で海浜変形が進んだと推定できる．ただし，河川からの供給土砂の変化も生じていたと考えられ，それが周辺海岸の変形に影響したことは否定できない．

一方，日野川や仁淀川では河口部には大規模な構造物は建設されておらず，河川からの供給土砂の変化が河口域の海岸の変形に大きく影響したと推定できる．また，大淀川のように両岸に大規模な構造物が建設された場合は，近年においては大淀川の供給土砂の変化は，周辺海岸の変形に大きな影響を与えることはないと考えられる．

これらのことは、漂砂系に流入する河川の河口域に大規模な構造物が建設されているか否かにより分類することの必要性を示している。また、仁淀川河口沖では砂利採取が行われ、その影響が周辺海岸の変形に生じたことが報告されている。したがって、各河川の河口沖の地形を把握して、出水時における河川からの流出土砂の堆積領域や堆積過程を推定する必要があると言える。

5 河口域における堆積物調査の事例

ここでは、河口域における土砂の堆積過程を明らかにするために行われた調査の一例として、阿武隈川河口での堆積物柱状採取結果を紹介する。

阿武隈川河口域の河口テラスは扇状地形を成しており、水深は-1m ~ -10m、沖合 1km 程度の規模を持つものである。調査は、地表面下の地層断面を定方位にて採取する地層抜取採取法により、図-3 に示す 8 地点において実施した。そして、採取した堆積物試料を観察・分析して地質断面図を作成した。

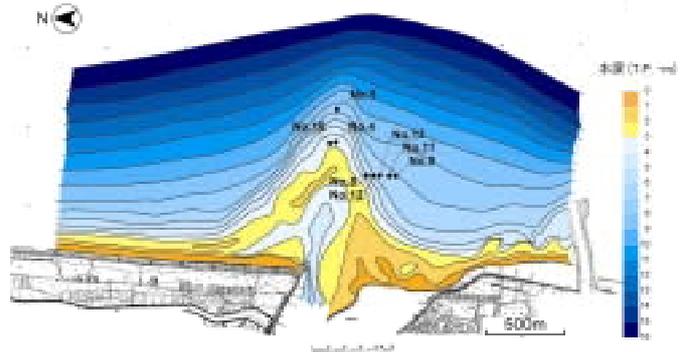


図-3 阿武隈川河口域の地形と調査地点

No.5, No.4, No.10 で採取した堆積物の観察・分析結果から作成した地質断面図(図-4)では、No.4 と No.10 は採取間隔が約 35m と比較的近いので、地層の対比を行いやすい。特に、マサ混じりの粗粒砂～ハンモック状斜交層理砂層～リップル葉理砂層～シルト(もしくはシルト混じり)層は両者とも層厚約 2m で同一の地層であると思われる。

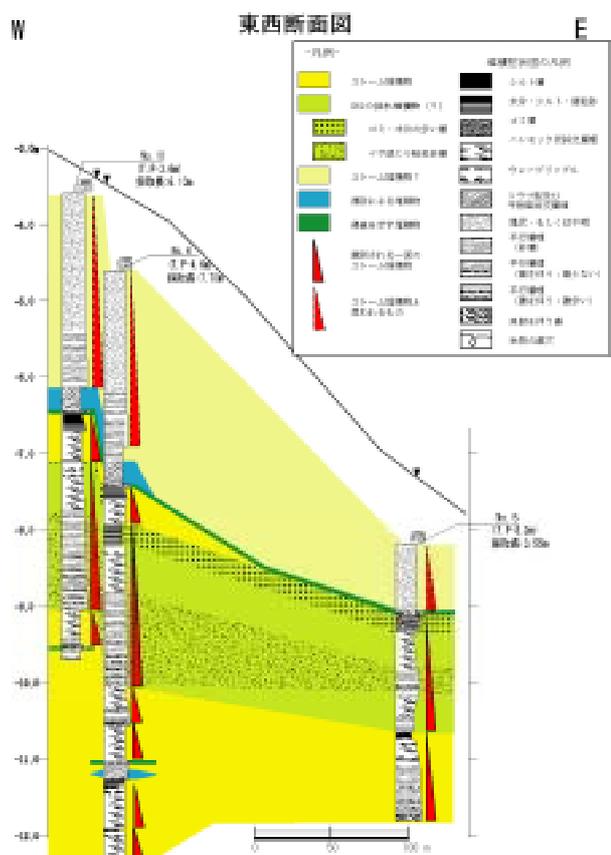


図-4 作成した地質断面図

なお、これらの地層の下位は侵食面が見られ、スナモグリの巣穴がその下位に見られるといった共通性がある。No.4 の T.P.-8.0m 付近にはビニール等のゴミが若干含まれていた。同様のゴミが含まれる層が No.5 の T.P.-9.0m 付近に見られ、その下位にはハンモック状斜交層理砂層やマサ混じりの粗粒砂層など共通の特徴が見られる。これらの地層は大規模な一回のストーム堆積物として認定されるものであり、同一の層準であると判断できる。

この対比可能なストーム堆積物の上位には

侵食を示す残留堆積物である礫層(貝殻混じり)が見られる。そして、No.4 の T.P.-7.30m 付近と No.10 の T.P.-6.30m 付近では、トラフ型斜交層理や平板型斜交層理が見られる。これらの地層の上位はマサ混じりの粗粒砂があり、同様の地層であることがわかる。

その他の部分の地層については、対比することは困難であるが、そのほとんどはハンモック状斜交層理を伴う砂層であって、ストーム堆積物からなることがわかった。対比可能となったストーム堆積物は厚さが 1.5 ~ 2m 程であり、他のストーム堆積物よりも遙かに厚い。恐らく、非常に大きい洪水等を伴う低気圧によって形成された地層であると思われる。

堆積相解析結果とゴミ年代、洪水記録の検討から、No.5 の T.P.-9m 付近で確認されたゴミ堆積物から、昭和 61 年 8 月 5 日の洪水に対応すると考えられる堆積物を識別することができた(図-4の黄緑色の地層、写真-6)。これは、ストーム堆積物の最上部にアイスキャンデーの容器が含まれ、これが中折れタイプの特徴的な形を持ち、製造年代などから昭和 60 年代以降のものであることが確認されたことによる。つまり、河口域における堆積物の柱状採取とその分析により、洪水や波浪の作用にともなう土砂の堆積過程が把握できると言える。



写真-6 堆積物の一例

6 おわりに

以上、本年度の調査結果を簡単に報告したが、今後は以下の検討を行う予定である。

代表海岸(漂砂系)において堆積物の採取・分析を行い、土砂の供給源と海岸の安定(形成)に寄与している土砂の粒径集団を明らかにする。

代表流砂系においては、総合的土砂管理計画の必要計画流砂量を決める沿岸漂砂量と堆積物の代表粒径との関係(沿岸漂砂量公式と沿岸漂砂量係数の評価)を解明する。

代表漂砂系に流入する河川の河口域においては、大規模な構造物の建設経緯および海底地形などを調べ、河川からの流出土砂の堆積過程の観点から河口域の分類を行う。

代表河川での河口域における堆積物の柱状採取とその分析を行い、洪水や波浪の作用にともなう土砂の堆積過程を把握する。

「流砂系の総合的な土砂管理」にもとづいた、改正「海岸法」の理念の実現に向けた海岸保全を推進するために必要とされる、「漂砂系における流砂量モニタリング手法」を提案する。

参考文献

磯部雅彦(1998): 海岸環境と流砂系土砂管理, 河川, No.628, pp.24-31.

磯部雅彦(1999): 改正海岸法の理念の実現に向けて, 海岸, 第 39 巻第 1 号, pp.14-18.

(文責: 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 山本幸次)