

水工学シリーズ 05-B-3

河口域の土砂動態

国土交通省国土技術政策総合研究所 海岸研究室 主任研究官

山本 幸次

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2005年8月

河口域の土砂動態

The Sediment Transport at River Mouth Area

山本 幸次
Koji Yamamoto

1. はじめに

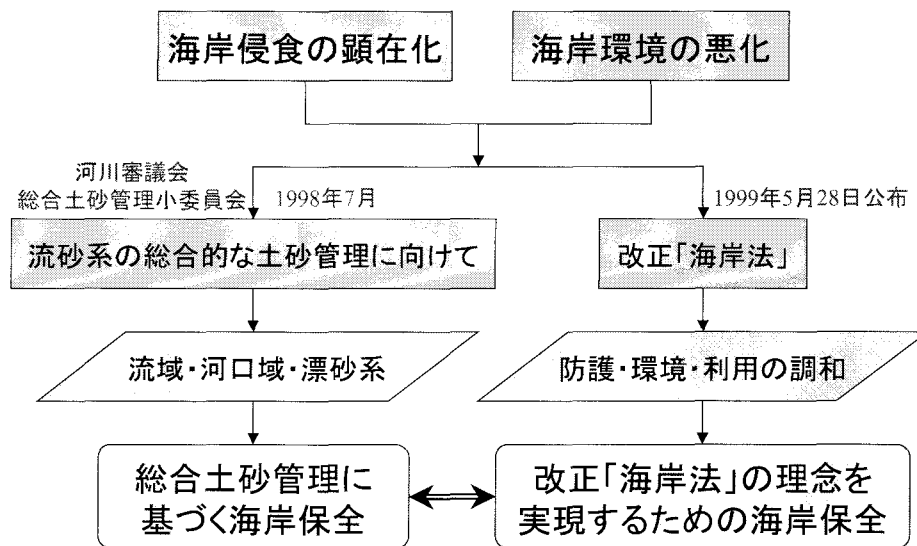
日本は環太平洋造山帯に位置し地質的に脆弱であること、およびアジアモンスーン地域に含まれ降雨量が多いことから山地での土砂生産が活発である。一方、高度成長期においては建設骨材の需要に応じて河川砂利の採取が行われるとともに、水資源の確保と治水対策のために多数のダムが建設された。また、沿岸域では大規模な防波堤を有する港湾や漁港開発などが整備された。この結果、各地において供給土砂の減少と沿岸漂砂の不均衡が生じて海岸線が著しく後退した。このように侵食が進んだ海岸では浜崖が形成され、海岸線沿いに家屋などが近接する場合にはそれが流出される危険性が生じた。このため、局所的な対策として堤防や護岸の整備、消波堤や離岸堤の設置などが行われてきたが、結果的に海岸の景観や生態系環境の悪化を招くことになった。

以上のような背景により、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始められることになり、それに基づく海岸保全が望まれている。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。これらに関して磯部（1998）は、流砂系における総合的な土砂管理計画では、下流側（すなわち、海岸）での必要計画流砂量（沿岸漂砂量）を最初に決めるべきであると指摘している。さらに、改正「海岸法」の理念の実現に向けての提言のなかで、河川からの流出土砂の一部が沖側へと損失する可能性を指摘し、河口域への流出土砂量と沿岸漂砂量の定量的な比較を提案している（磯部、1999）。

つまり、流砂系の総合的な土砂管理に基づく、改正「海岸法」の理念の実現を目指した海岸保全を推進するためには、河川（流域）と海岸（漂砂系）および河口域における土砂動態と土砂収支の把握が必要とされる。ところで、河川と海岸における土砂動態については、河川工学と海岸工学の観点から調査・研究が進められており、河川からの流出土砂量の推定手法や海岸での沿岸漂砂量の推定手法などが提案されている。しかし、河口域における土砂動態については、流入する河川の特性和海岸の地形学的特性によって各々異なるため個別の調査・研究となり、土砂動態を予測する普遍的な手法を提案するには至っていない。そこで、本稿では、国土交通省河川局が行っている河口域の土砂動態に関する調査・研究を紹介し、河口域の土砂動態を把握する普遍的な手法の確立を期待するものである。

2. 流砂系の概念と漂砂系における土砂収支

今後は図-1に示すように、流砂系の総合的な土砂管理に基づく、改正「海岸法」の理念の実現を目指した海岸保全の推進が望まれるが、このためには流砂系と漂砂系を定義して土砂収支を把握する必要がある。そこで、本稿では流砂系を図-2に示すように、陸域における土砂の運動領域である流域と、沿岸域での土砂の運動領域である漂砂系、これら2つの領域が接合する河口域からなると定義する。この流砂系における総合的な土砂管理では、山地から海岸までの全領域を含んだ総合的で計画的なものが望まれ、その場合に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る。この計画流砂量は下流側の海岸で必要とされ



よりよい海岸創り→次世代へ...

図-1 これからの海岸保全のあり方

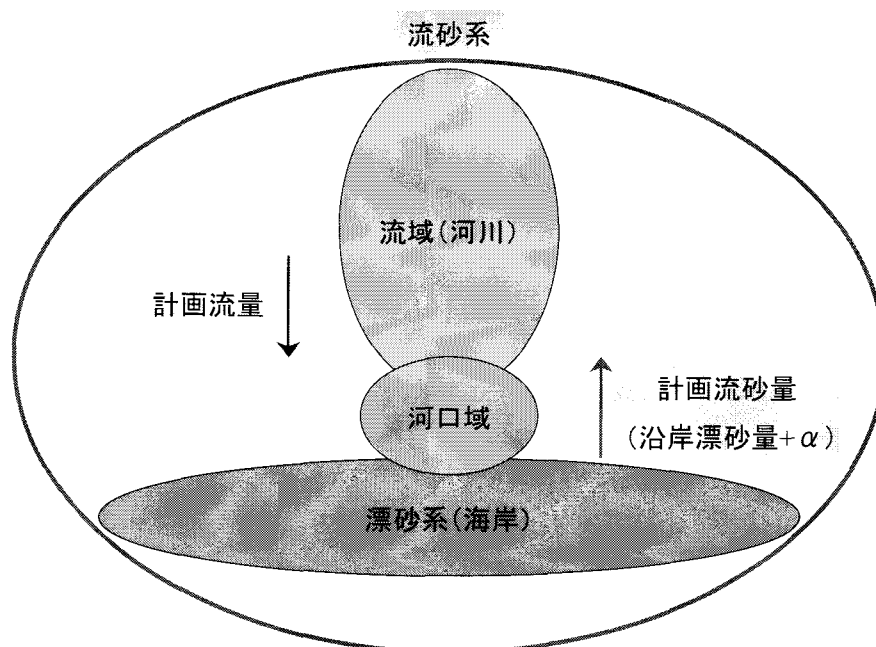
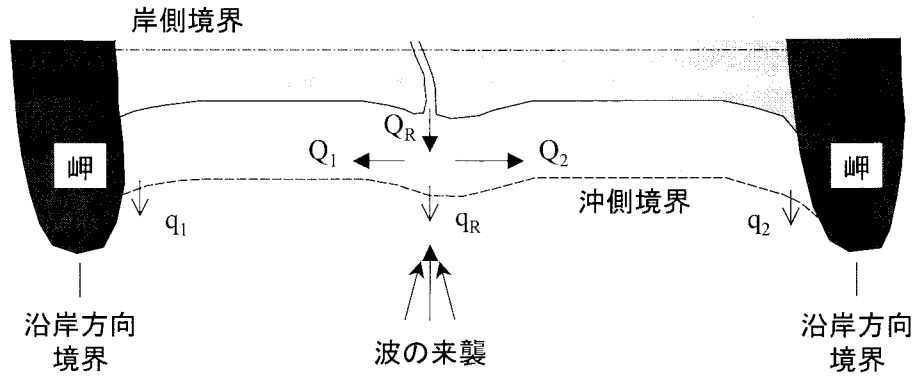


図-2 流砂系の概念

る流砂量（沿岸漂砂量+ α ）から決めるべきであり（図-2，↑印），海岸の位置する漂砂系における土砂動態の解明が必要とされる。

ここで，漂砂系は図-3 に示すように，1) 沿岸方向には沿岸漂砂の連続する区間，2) 岸沖方向には砂丘の陸端から海底の漂砂の移動限界水深までの範囲，3) 分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似な空間的領域と定義する。漂砂系では波浪の作用による沿岸漂砂 (Q_L, Q_R) や左右岸沖への損失土砂 (q_L, q_R) などの土砂動態と，出水時における河口域での土砂動態 (Q_R, q_R) が見られる。したがって，これらの土砂動態に関する調査・解析を行い，沿岸漂砂量と左右岸沖への損失土砂量，および河川からの流出土砂量などを精度良く把握して，海岸における計画流砂量を設定することが要求される。

漂砂系における土砂動態に伴う各土砂量の収支関係と，それによって生じる海浜変形について考察すると



漂砂系の概念

- 1) 沿岸方向には沿岸漂砂の連続する区間
- 2) 岸沖方向には砂丘の陸端から海底の漂砂の移動限界水深までの範囲
- 3) 分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似な領域

図-3 漂砂系の概念と土砂動態

Q_1 : 左岸側の沿岸漂砂量, Q_2 : 右岸側の沿岸漂砂量

q_1 : 左岸沖への損失土砂量, q_2 : 右岸沖への損失土砂量

Q_R : 河川からの流出土砂量, q_R : 河口沖への損失土砂量

●河口部海岸の変形

$Q_R > (Q_1 + Q_2 + q_R) \rightarrow$ 堆積, $Q_R = (Q_1 + Q_2 + q_R) \rightarrow$ 安定, $Q_R < (Q_1 + Q_2 + q_R) \rightarrow$ 侵食

●漂砂系全体の変形

$Q_R > (q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 堆積, $Q_R = (q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 安定, $Q_R < (q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 侵食

●河口部海岸と漂砂系全体の変形

$Q_R > (Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 堆積

$Q_R = (Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 安定

$Q_R < (Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 + q_R) \rightarrow$ 侵食

図4 各土砂量の収支と海浜変形

図4に示すようになると考える。まず、河口域周辺の海岸の変形は、流入する河川からの流出土砂量 (Q_R) と河川の左右岸の沿岸漂砂量 (Q_1, Q_2)、および河口沖への損失土砂量 (q_R) との収支関係で生じる。 $Q_R > (Q_1 + Q_2 + q_R)$ であれば、河口域に土砂が堆積して、河口域周辺の海岸が沖側へと突出するようになる。 $Q_R = (Q_1 + Q_2 + q_R)$ の場合では、河口域周辺の海岸はほとんど変形せず、 $Q_R < (Q_1 + Q_2 + q_R)$ ならば河口域の土砂が運び去られて、河口域周辺の海岸は侵食されることになる。

次に、漂砂系全域の変形は、河川からの流出土砂量 (Q_R) と左右岸沖への損失土砂量 (q_1, q_2)、および河口沖への損失土砂量 (q_R) との収支関係で生じる。 $Q_R > (q_1 + q_2 + q_R)$ であれば、漂砂系に供給される土砂量が損失土砂量よりも多いので漂砂系全域で見ると堆積傾向となるが、河口域周辺の海岸は侵食される可能性がある。 $Q_R = (q_1 + q_2 + q_R)$ の場合は、供給土砂量と損失土砂量が均衡するので漂砂系全域では安定となるが、河口域周辺の海岸は侵食されると危惧される。一方、 $Q_R < (q_1 + q_2 + q_R)$ ならば、供給土砂量よりも損失土砂量が多いので漂砂系全域は侵食傾向となり、河口域周辺の海岸も侵食されることになる。

さらに、河口域周辺の海岸と漂砂系全域の変形は、河川からの流出土砂量 (Q_R) と河川の左右岸の沿岸漂砂量 (Q_1, Q_2) と左右岸沖への損失土砂量 (q_1, q_2)、および河口沖への損失土砂量 (q_R) との収支関係で生じる。ここで、 $Q_0 = (Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 + q_R)$ とすると、 $Q_R > Q_0$ であれば河口域周辺の海岸と漂砂系全域は堆積が進むことになり、 $Q_R = Q_0$ の場合はほとんど海浜変形は生じない。一方、 $Q_R < Q_0$ ならば河口域周辺の海岸と漂砂系全域は侵食傾向となる。つまり、漂砂系における計画流砂量は原則として $Q_0 = (Q_1 + Q_2 + q_1 + q_2 + q_R)$ と設定するのが望ましいが、局所的な海岸侵食を許容できるのであれば計画流砂量を $Q_0 = (q_1 + q_2 + q_R)$ としてもよい。

以上のように、漂砂系における土砂収支と海浜変形を考察すると、河口域の土砂動態を把握することの重要性が分かる。特に、河口域の地形（河口テラスや河口砂州）は健全な流砂系の評価指標であり、河口テラスなどの喪失は急速な海岸侵食へとつながる。また、河口域では出水に伴う河口テラスの形成、波浪の作用による河口砂州の発達などの時間スケールが異なる現象が生じているので、その時間スケールに応じた調査・モニタリングが不可欠と考える。

3. 河口域の土砂動態に関する調査・研究課題

河川における出水時と非出水時の河口域の土砂動態を、澤本（1998）を参考にして模式的に図-5、図-6に示す。これに基づき、河川からの流出土砂量と河口域テラスおよび河口砂州の変形過程について考察する。河川からの流出土砂量が少ない場合には形成される河口テラスは小規模で、次の出水までの間に波浪の作用により侵食され消失する。また、河口域での土砂量が少ないので河口砂州は形成されないか、形成されても河道内に形成されることになる。したがって、河川からの出水時の流出土砂量が少ない状況が継続すれば、河口域から海岸侵食が進み沿岸方向に伝播していくことになる。

一方、河川からの流出土砂量が次の出水まで十分ある場合には河口テラスが形成されて、非出水時には波浪の作用によりそこから岸側へと土砂が運ばれ、河口砂州が形成されて周辺海岸に土砂を供給することになる。また、河川からの流出土砂量が多い場合は大規模な河口テラスが形成されるとともに、移動限界水深よりも深い部分まで土砂が堆積して波浪の作用後も河口テラスが残される。さらに、非出水時には河口域に海側に突出した河口砂州が形成されて周辺海岸に土砂を十分に供給する。このため、河川からの出水時の流出土砂量が多い状況が継続すれば、河口部から堆積が進み沿岸方向に伝播していくことになる。

このような河口テラスの形成には流出土砂量の質が重要で、河口砂州の発達には波浪による堆積物の淘汰分級も大きく影響すると考える。つまり、河口域に運ばれ堆積した土砂の量と質の時間的変化過程と、それにかかる時間スケールを把握することが重要であると言える。そこで、①河川からの流出土砂量の推定手法の確立と経年変化の把握、②河口テラスと河口砂州の経年変化の把握、③河口域における土砂動態の調査手

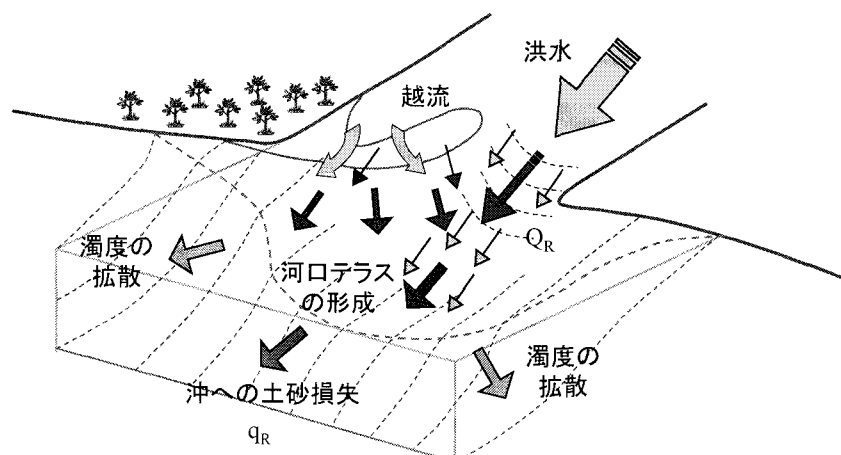


図-5 出水時における河口域の土砂動態の模式図

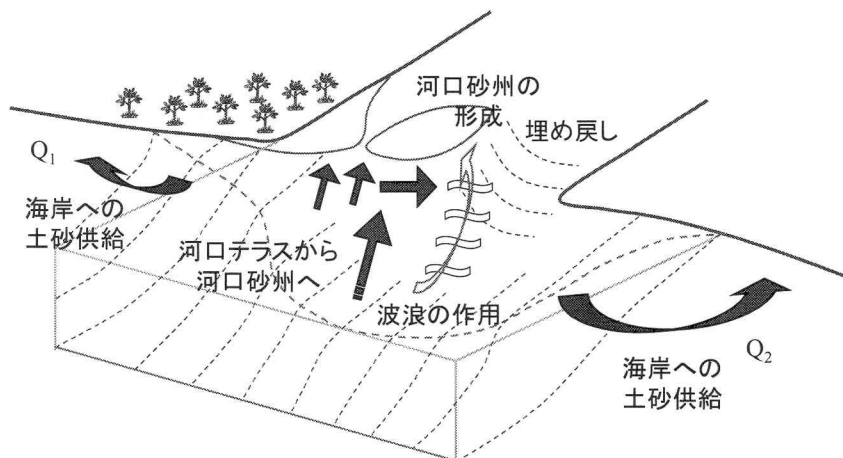


図-6 非出水時における河口域の土砂動態の模式図

法の開発と確立，④河口域における土砂動態のモデル化，などを河口域の土砂動態に関する調査・研究課題として取り組んでいる。以下では，各漂砂系において行っている河口域の土砂動態に関する調査の概要を紹介する。

4. 各漂砂系における河口域の土砂動態に関する調査

4.1 阿武隈川河口域の土砂動態の調査

仙台湾南部海岸は仙台湾沿岸の一部をなす砂質海岸であり，福島県常磐海岸からの供給土砂と主な流入河川である阿武隈川からの流出土砂により形成されたと考えられている。しかし，近年では南端に相馬港が整備されて常磐海岸からの供給土砂がほとんどなくなるとともに，阿武隈川流域においてダムなどが建設されて河川からの流出土砂量が減少し，海岸侵食が著しくなった。このため，南端の相馬港から北端の仙台新港までの漂砂系と阿武隈川流域における総合的な土砂管理に基づく海岸保全計画を立案する段階にある。そこで，平成15年度から阿武隈川河口域と仙台湾南部海岸における土砂動態に関する現地調査，および深淺測量データ等の解析が行われている。

阿武隈川河口域の河口テラスは扇状地形をなしており，水深は1m～10m，沖合1km程度の規模を持ち，写真-1に示すように海側はかなり突出している。堆積物の柱状採取は河口テラス上の8地点において実施され，その分析から河口テラスは粗粒砂層や砂礫層およびゴミ・木片混在砂層などに区別でき，それらの層は1回の大規模な洪水や暴浪波の来襲で堆積したと推定された。

この結果から，図-7に示すように洪水によって土砂が堆積する範囲を設定して，河口テラスが固定化した



写真-1 阿武隈川河口域の状況

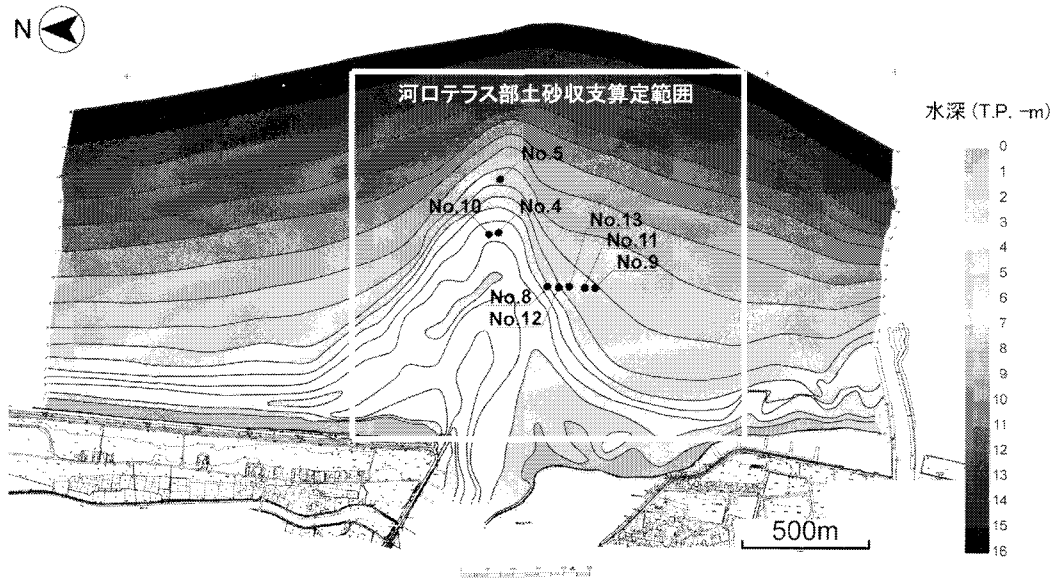


図-7 阿武隈川河口域の等深線形状

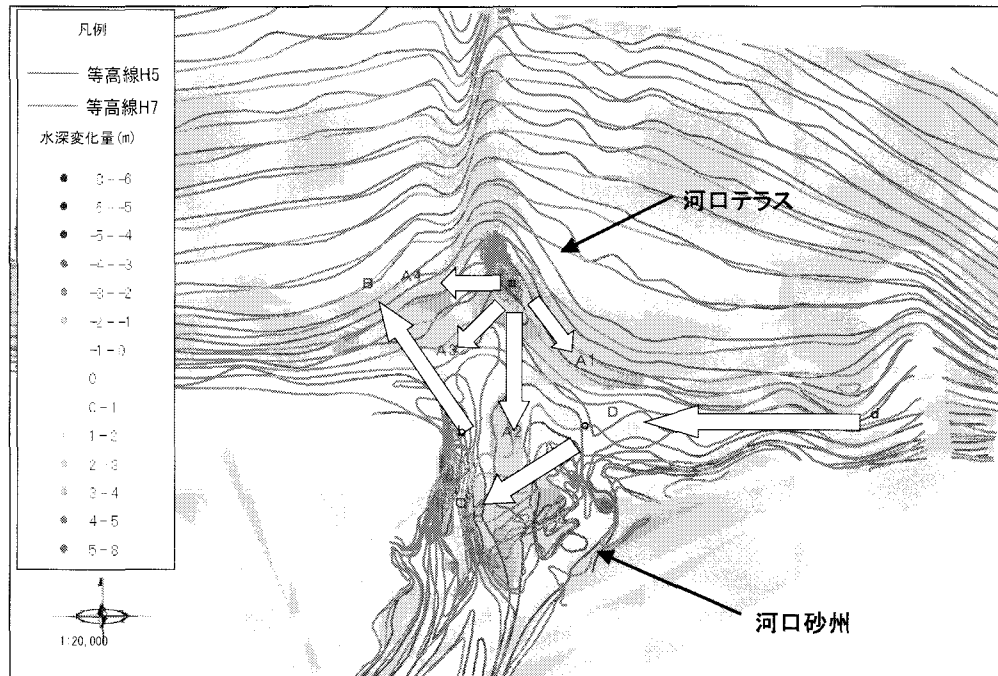


図-8 阿武隈川河口域における波浪の作用による土砂動態の推定

と考えられる昭和61年3月から平成15年3月までの深浅測量データにより土砂収支を算定し、河口テラス部では約15万 m^3 /年の堆積が進んでいることを明らかにした。また、河川流量のピークが $2,500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水時を含むデータのみを抽出して土砂変化量を求めた結果、1年当たりに換算すると約51万 m^3 /年の土砂が河口テラス上に堆積しているとの結果を得た。さらに、河口砂州の形成過程を再現した数値計算結果から波浪による土砂動態は図-8のように推定され、河口テラスが沿岸漂砂の供給源となっている可能性が高いとの結論が得られた。

4.2 姫川河口域の土砂動態の調査

青海海岸は図-9に示すように姫川の左岸に位置する砂礫海岸であり、姫川港が整備される以前は東端の早

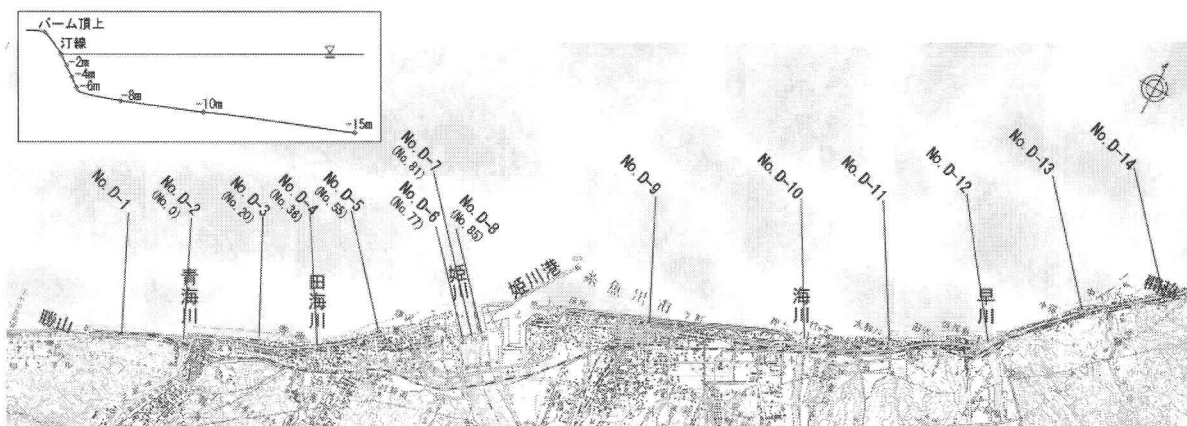


図-9 姫川が流入する沿岸

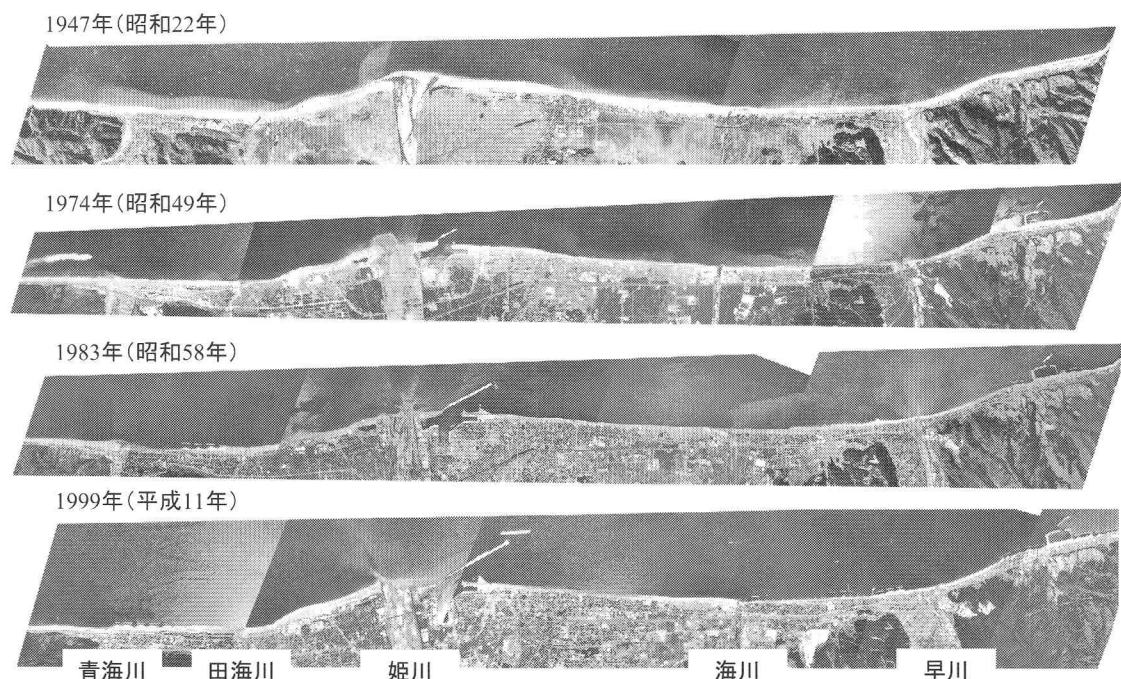


写真-2 姫川河口域の変遷

川河口と西端の青海川河口を沿岸方向境界とする漂砂系に位置していた(写真-2)。しかし、整備された姫川港の規模が大きいため、現在においては漂砂系の東側の沿岸方向境界は姫川港に設定するのが望ましい。姫川港から青海川河口までの範囲での海岸では侵食が問題となっているが、海岸における土砂動態についての調査は、土砂の生産域や河川流域における土砂動態調査に比較して遅れている。そこで、姫川流砂系における総合的な土砂管理の一貫として、姫川から海岸へ流出する土砂の移動機構を解明するために、平成15年度から姫川河口域を対象とした調査・解析を行っている。

姫川河口沖には図-10に示すように2つの海底谷が迫っており、河口域における土砂動態も複雑であると考えられる。そこで、まず、出水前後における姫川河口域の深浅測量データを比較して、流出土砂の堆積範囲を検討した。図-11は平成元年9月と平成2年9月の深浅測量で得られた深浅図を比較して作成した地形変化量図である。これによると、姫川河口沖の東側の海底谷に土砂が多く堆積したことが、土砂が堆積した水深は-30m以深であることが分かる。平成元年9月と平成2年9月の間には、2,351m³/sの規模の大きな出水があり、この出水に伴う流出土砂は河口域に堆積することなく、直接的に河口沖の海底谷に堆積したと考えられる。水深-30m以深の海底谷に一旦堆積した土砂は波浪の作用では岸側へは運ばれないので、姫川から流出

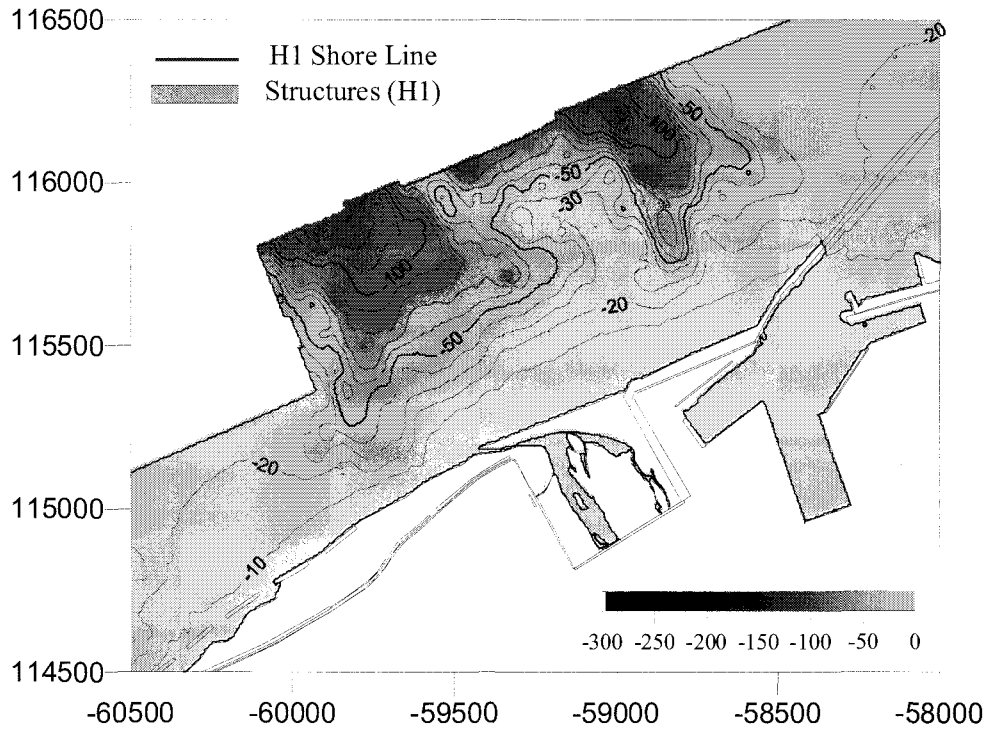


図-10 姫川河口域の等深線形状

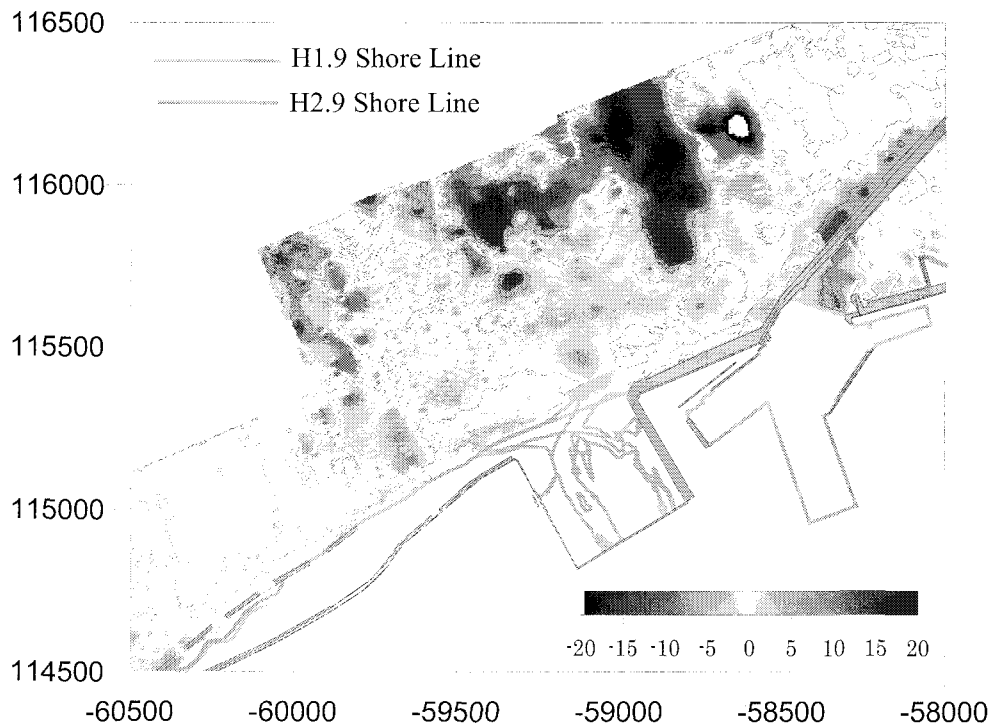


図-11 姫川河口域における地形変化の一例

した土砂の海岸への寄与率は小さいと推定される。

4.3 仁淀川河口域の土砂動態の調査

仁淀川が流入する高知海岸の長浜—新居工区(図-12)では、仁淀川からの流出土砂の減少や漁港の整備による沿岸漂砂の遮断、および河口沖や海域での海底砂利の採取などの影響により海岸侵食が深刻化した。

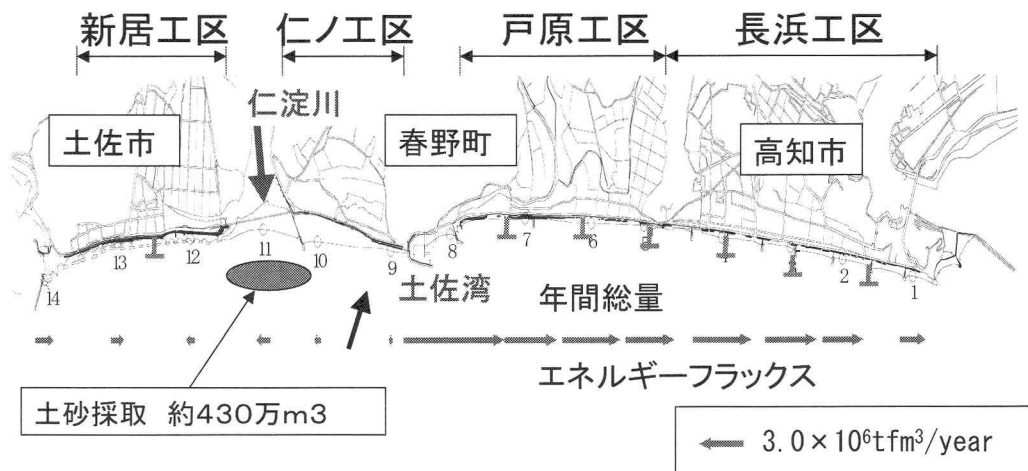


図-12 仁淀川が流入する沿岸

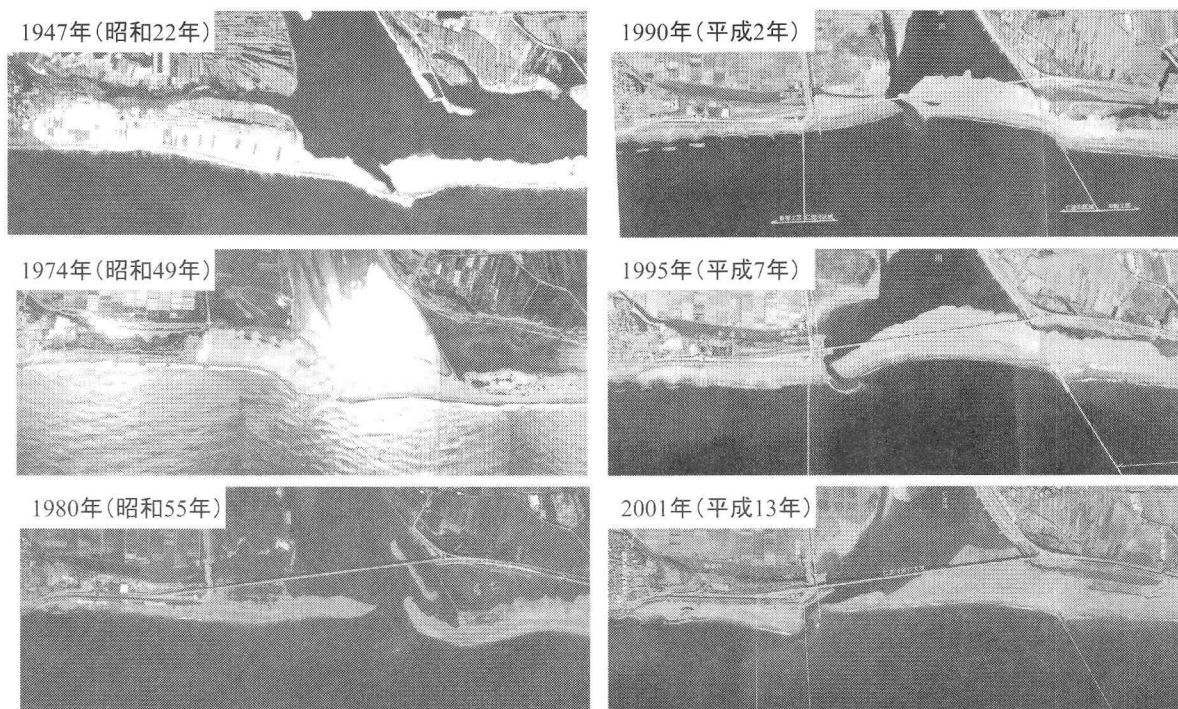


写真-3 仁淀川河口域の変遷

このため、海岸侵食の対策としてヘッドランド群による静的の安定海浜の創出が計画され、その整備に着手しているが、仁淀川流域と高知海岸における総合的な土砂管理に基づく海岸保全計画を立案する段階にきている。そこで、平成15年度から仁淀川からの流出土砂や高知海岸の沿岸漂砂に関して代表粒径別の土砂動態を解明するための調査・解析を行っている。

仁淀川河口域においては写真-3に示すように、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。仁淀川河口域での土砂動態 (Q_R , q_R) に関する調査としては、1次元河床変動計算による河口からの流出土砂量の経年変化(図-13, 図-14)が検討されている。これによると、河川からの流出土砂量は年によって大きく変化することが分かる。また、河床が比較的安定した近年(平成4年～平成10年)を対象とした計算では、海域への流出土砂量(粒径 $d=0.075\text{mm}$ 以上)は平均 $10.4 \text{万 m}^3/\text{年}$ と算定された。

一方、海域砂利採取禁止後における河口域地形の回復量を、図-15に示すような深淺測量(河口を含む幅

河床変動量②（1年毎に補間），直轄区間

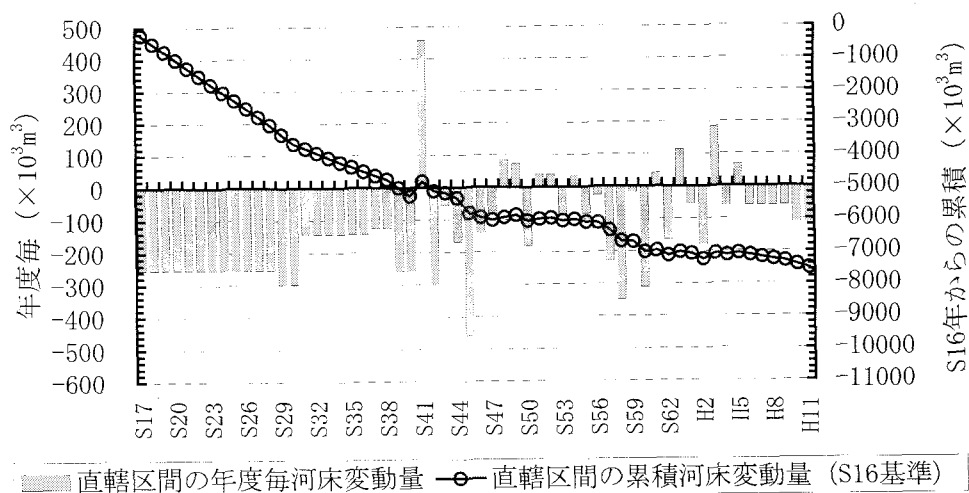


図-13 仁淀川の河床変動量

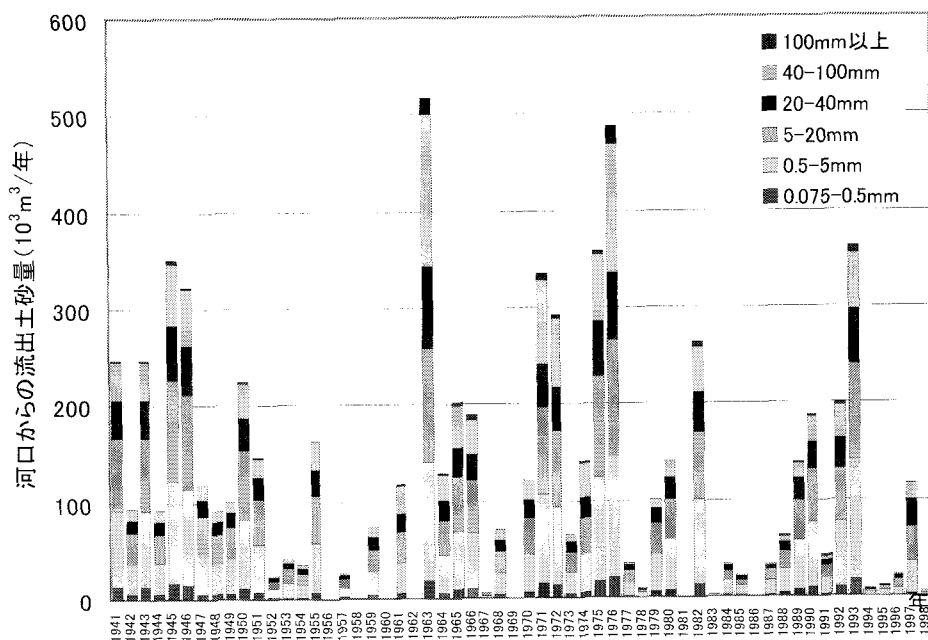


図-14 仁淀川からの流出土砂量

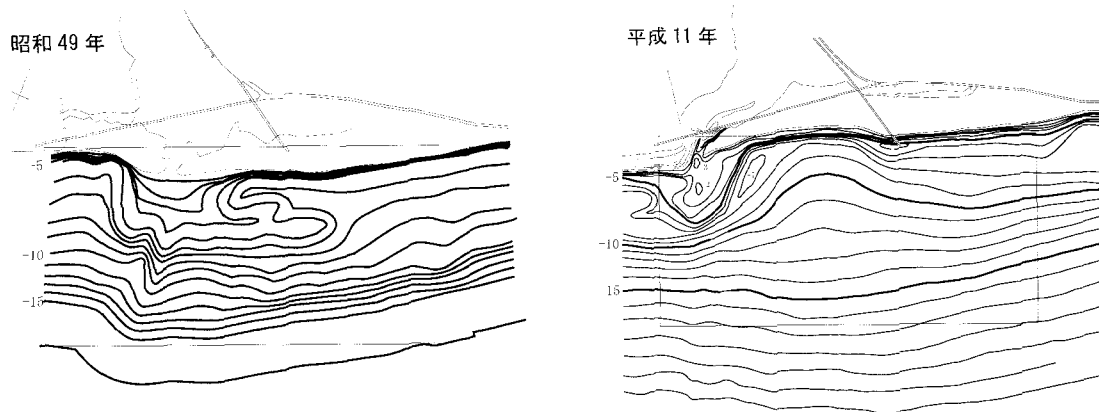


図-15 仁淀川河口域の地形変化

2km=2B の範囲) の経年比較から求めると、約 10.5 万 m³/年 (平成 4～平成 11 年の平均値) となった。したがって、河川からの流出土砂量と河口域における堆積土砂量はほぼ一致することになり、1 次元河床変動計算結果と深淺測量データの解析結果の比較により、河口域での土砂動態が精度良く把握できると言える。

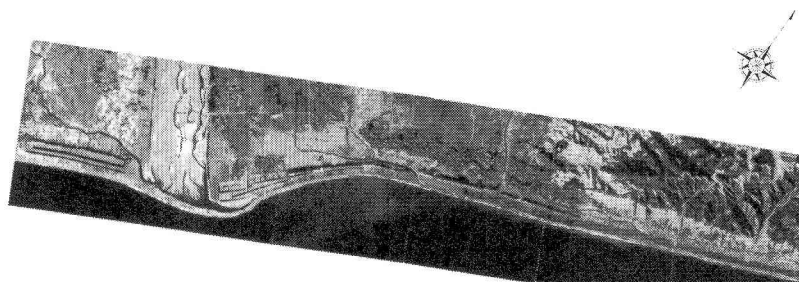
4.4 安倍川河口域の土砂動態の調査

安倍川は、静岡県静岡市梅ヶ島の大谷嶺 (標高 1999.7m) を源流とし、駿河湾に流入する流域面積 567km²、流路延長 51km の流域をもつ一級河川である。安倍川の河口左岸には静岡・清水海岸が位置しており、興津川から大崩海岸に至る漂砂系の一部をなす。また、この海岸では年間を通じて南側からの波浪が卓越するため沿岸漂砂の方向は東向きとされており、安倍川からの流出土砂は鉤状分岐砂嘴である三保松原の形成に寄与したと考えられる。なお、静岡・清水海岸では 1960 年代に安倍川河道内で砂利採取が盛んに行われたために、安倍川河口から東側へと著しい侵食が生じた。

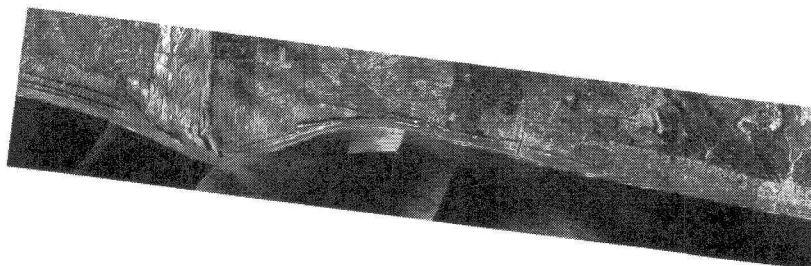
ここでは、まず、安倍川の河口域の変遷について述べる。写真-4 に示すように 1947 年～1962 年までは河口砂州は左岸側に偏寄していたが、1972 年になると右岸側の砂州が侵食されはじめた。1981 年～1984 年では右岸側の砂州がさらに縮小するとともに左岸側海浜でも侵食が進み、1988 年になると右岸側の砂州と左岸側海浜が復元しはじめた (写真-5)。写真-6 に示す 1994 年～1996 年では左岸側の海浜が回復し、流路が中央部に移動したことが分かる。1997 年～1999 年ではさらに流路がほぼ中央部まで移動し、2000 年～2001 年では左岸側の海浜がほぼ回復するとともに流路がやや右岸側に移動した (写真-7、写真-8)。

1998 年までは流路 (澇筋) は左岸側にあったが、2001 年では中央部よりやや右岸側にある。この流路の変化により、河口砂州が右岸側に発達したと考えられる。なお、流路が左岸側から中央やや右岸側に移動したのは、左岸側の海浜が復元して広がったためと推定される。

○1947年
(昭和22年)
撮影



○1962年
(昭和37年)
撮影



○1972年
(昭和47年)
撮影

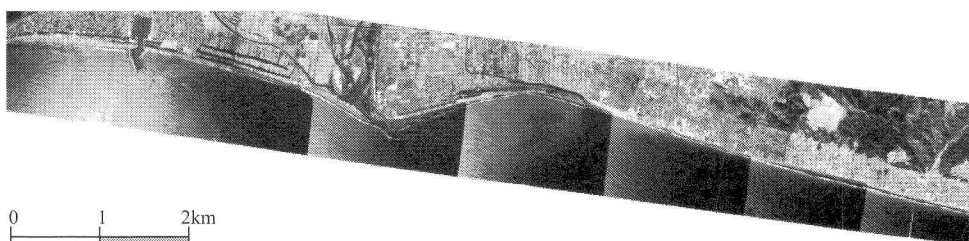
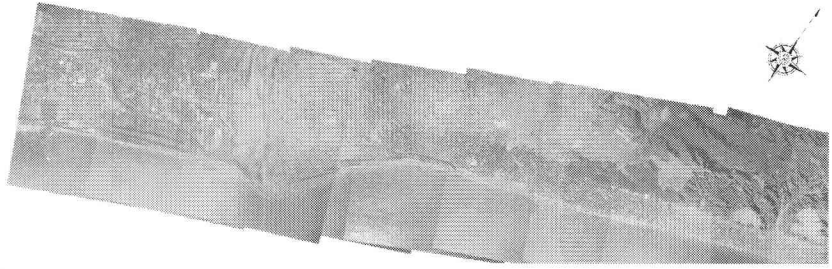
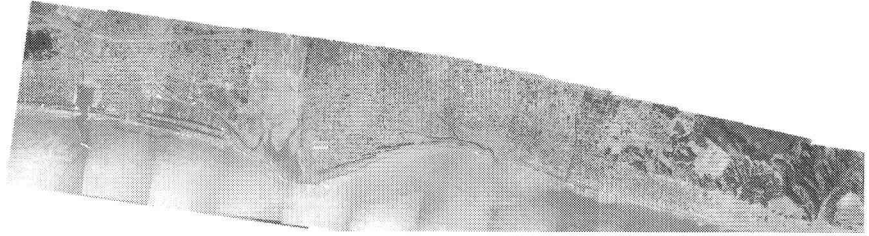


写真-4 安倍川河口域の変遷 (1)

○1981年
(昭和56年)
11月撮影



○1984年
(昭和59年)
2月撮影



○1988年
(平成63年)
2月撮影

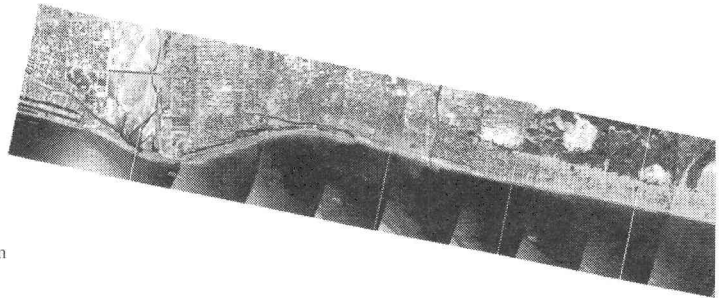
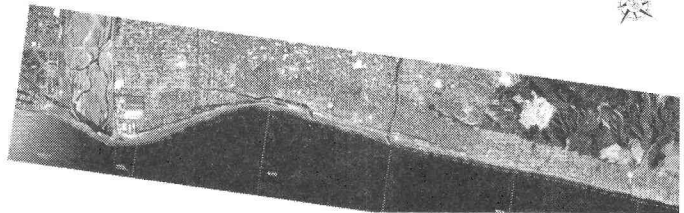
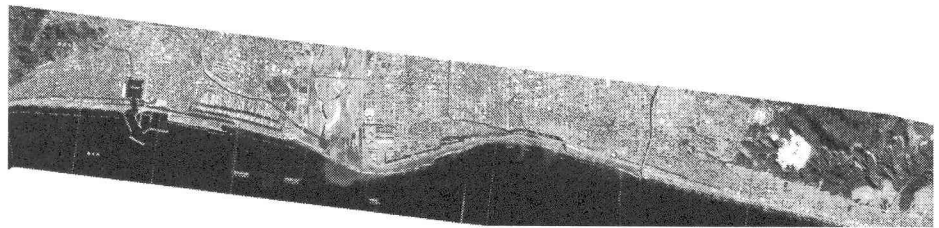


写真-5 安倍川河口域の変遷 (2)

○1994年
(平成6年)
3月撮影



○1995年
(平成7年)
3月撮影



○1996年
(平成8年)
1,2月撮影

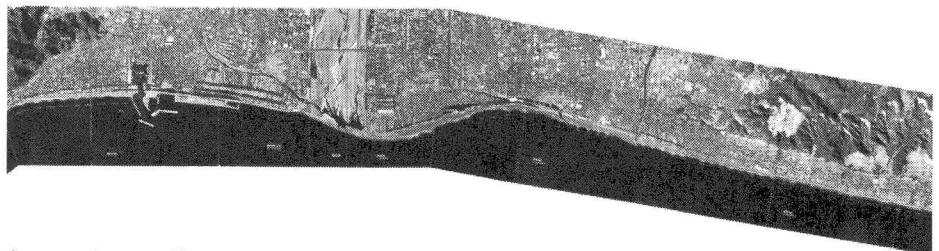
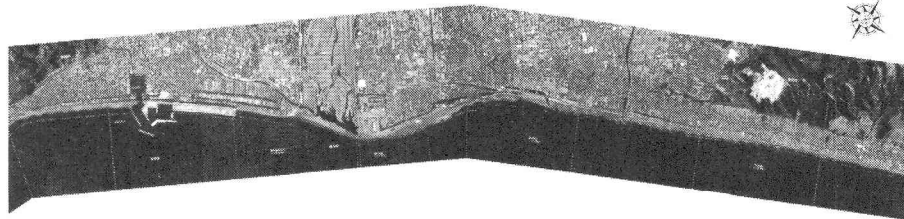
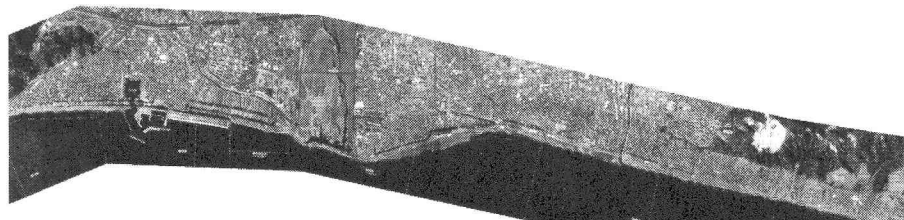


写真-6 安倍川河口域の変遷 (3)

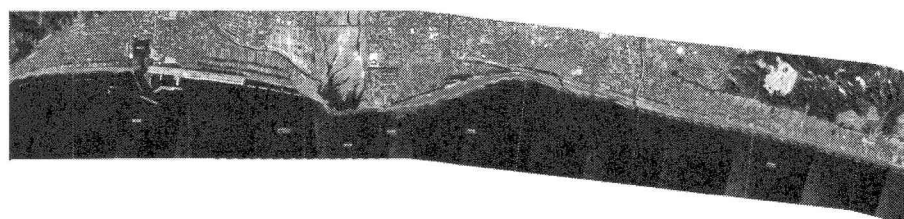
○1997年
(平成9年)
2月撮影



○1998年
(平成10年)
3月撮影



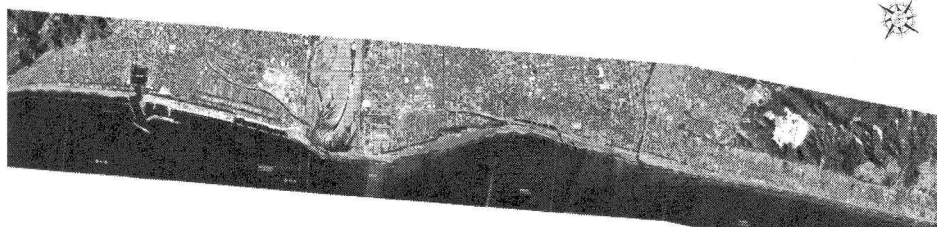
○1999年
(平成10年)
3月撮影



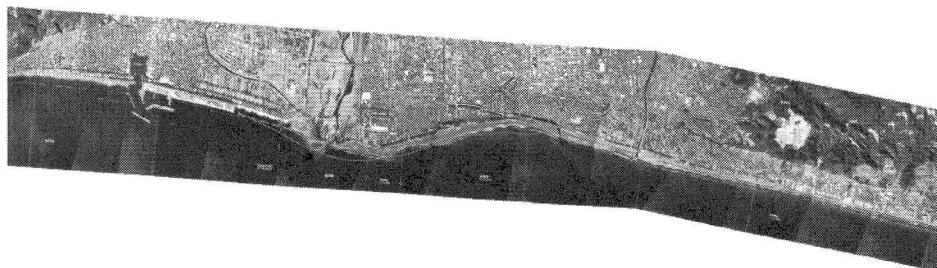
0 1 2km

写真-7 安倍川河口域の変遷 (4)

○2000年
(平成12年)
2月撮影



○2001年
(平成13年)
2月撮影



0 1 2km

写真-8 安倍川河口域の変遷 (5)

次に、図-16 に示す測線で測量された安倍川河口域の海浜縦断面と、安倍川の各年の最大流量との関係を検討する。河口右岸側に位置するNo.16では1995年2月を基準とした場合、最大流量が 500m^3 以下と小さかった1997年3月まではほとんど変化が生じていない(図-17)。1997年3月を基準とした場合、最大流量が 1700m^3 を超えた2ヶ年では $Y=200\text{m}$ 付近が堆積した。しかし、その後は最大流量が大きい年の後でも海浜縦断面の変化はほとんど見られない。

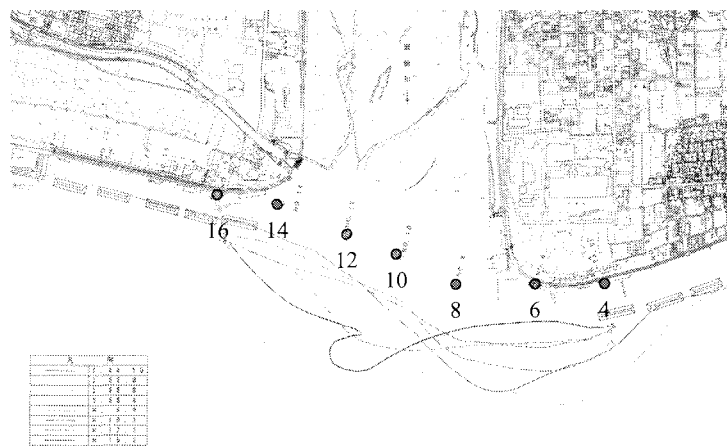
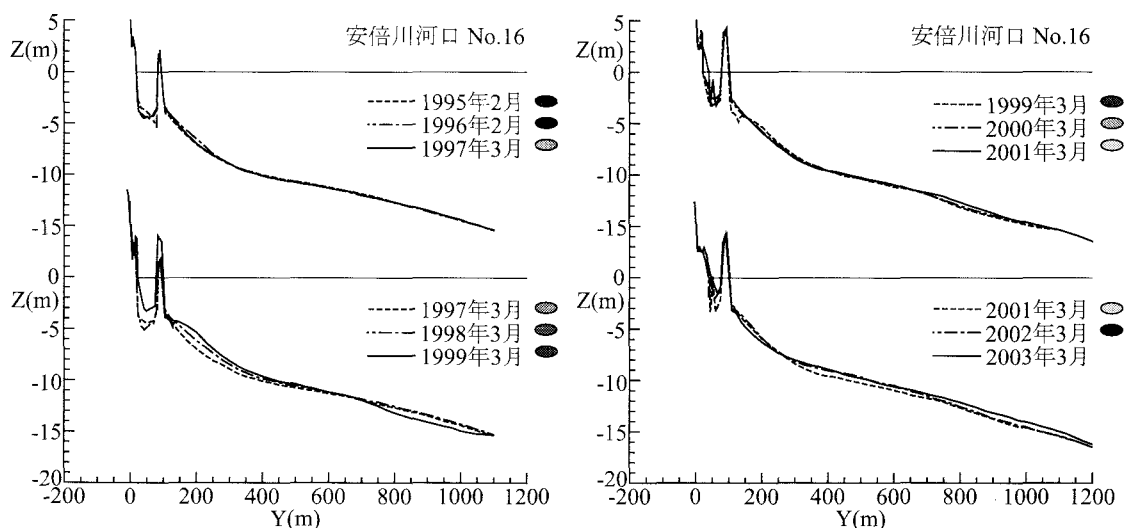


図-16 安倍川河口域での測線配置



手越流量

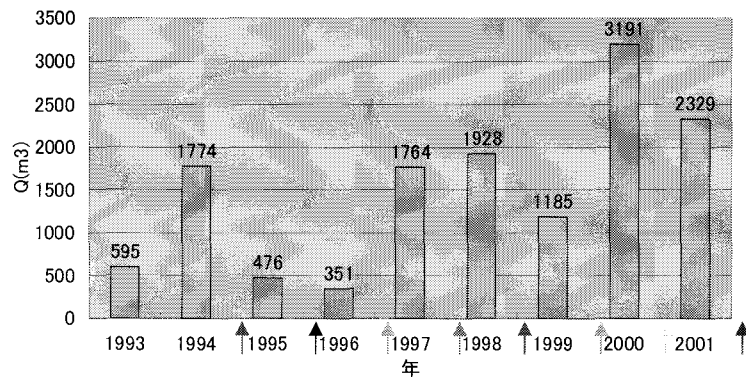


図-17 測線 No.16 の海浜縦断面の経年変化

図-18に示す河口右岸側に位置するNo.14でも1995年2月を基準とした場合、最大流量が小さかった1997年3月まではほとんど変化が生じていない。1997年3月を基準とした場合、最大流量が 1700m^3 を超えた1998年3月では汀線がやや前進し、その沖側に土砂の堆積が見られる。また、最大流量が 1900m^3 を超えた1999年3月では汀線が大きく前進し、土砂が堆積したことが分かる。最大流量が 1500m^3 以下であった1999年3月～2000年3月までは海浜縦断面はほとんど変化しなかったが、最大流量が 3000m^3 を超えた2000年3月～2001年3月には水深7m以深に土砂のかんりの堆積が見られる。

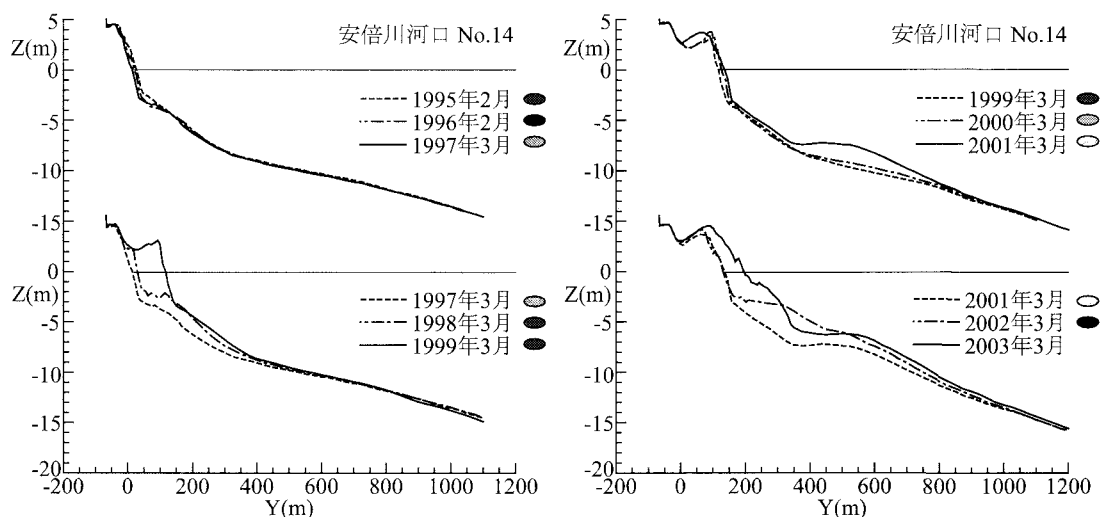


図-18 測線No.14の海浜縦断面の経年変化

河口中央に位置するNo.12では1995年2月を基準とした場合、最大流量が小さかった1997年3月までは前浜から水深4mまでの河口砂州が岸側に移動するとともにやや侵食された(図-19)。1997年3月を基準とした場合、最大流量が 1700m^3 を超えた1998年3月では河口砂州がやや沖側に移動した。また、最大流量が 1900m^3 を超えた1999年3月には河口砂州がさらに沖側に移動するとともに、かなりの土砂が堆積したことが分かる。最大流量が 1500m^3 以下であった1999年3月～2000年3月までは海浜縦断面はほとんど変化しなかったが、最大流量が 3000m^3 を超えた2000年3月～2001年3月には水深4～10mに土砂の堆積が見られる。最大流量が 2000m^3 を超えた2001年3月～2002年3月でも水深5m以深に土砂が堆積したことが分かる。

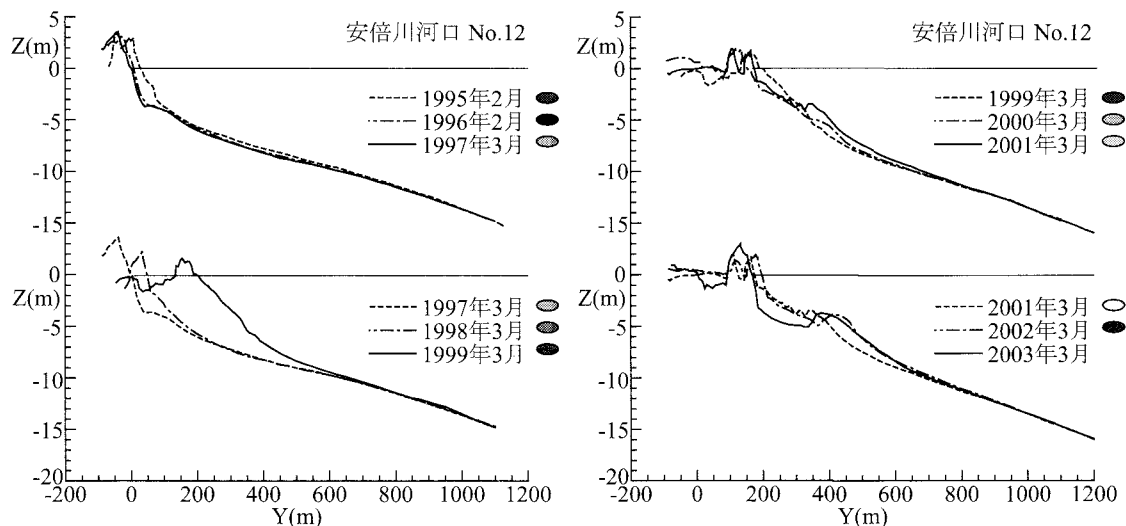


図-19 測線No.12の海浜縦断面の経年変化

図-20 に示す河口中央に位置する No.10 では 1995 年 2 月を基準とした場合、最大流量が小さかった 1997 年 3 月までは前浜から水深 4m までの河口砂州が侵食された。1997 年 3 月を基準とした場合、最大流量が 1700m^3 を超えた 1998 年 3 月では海浜縦断面の変化はほとんどなかったが、最大流量が 1900m^3 を超えた 1999 年 3 月には河口砂州が沖側に移動するとともに、かなりの土砂が堆積したことが読み取れる。最大流量が 1500m^3 以下であった 1999 年 3 月～2000 年 3 月までは海浜縦断面はやや侵食され、最大流量が 3000m^3 を超えた 2000 年 3 月～2001 年 3 月にも侵食が進んだ。最大流量が 2000m^3 を超えた 2001 年 3 月～2002 年 3 月では水深 5m 以浅に土砂の堆積が見られる。

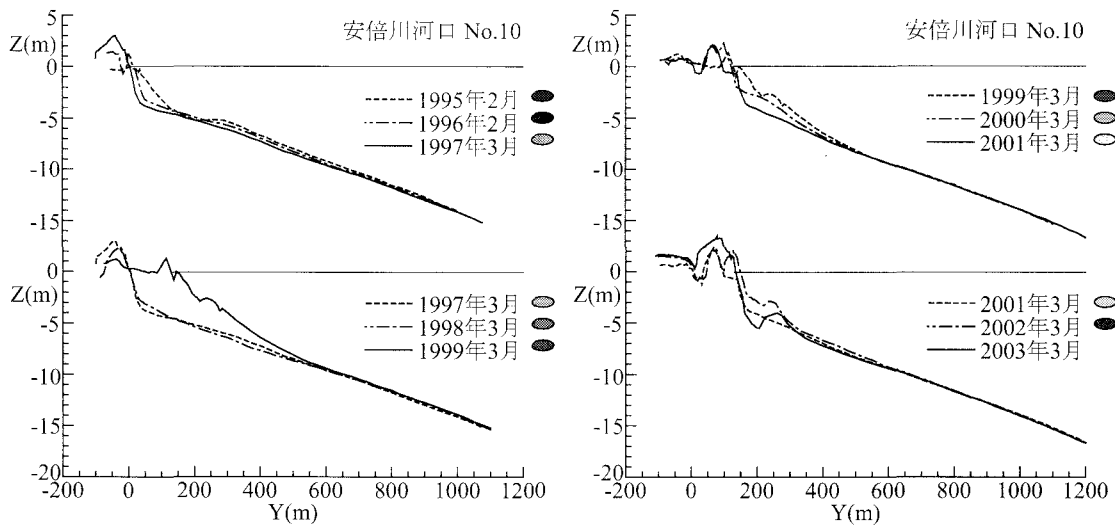


図-20 測線 No.10 の海浜縦断面の経年変化

河口左岸側に位置する No.8 では 1995 年 2 月を基準とした場合、最大流量が小さかった 1997 年 3 月までは前浜から水深 3m までの河口砂州がやや侵食された(図-21)。1997 年 3 月を基準とした場合、最大流量が 1700m^3 を超えた 1998 年 3 月では海浜縦断面の変化はほとんどなかったが、最大流量が 1900m^3 を超えた 1999 年 3 月には河口砂州が沖側に移動するとともに土砂が堆積したことが分かる。最大流量が 1500m^3 以下であった 1999 年 3 月～2000 年 3 月までは海浜縦断面はやや侵食され、最大流量が 3000m^3 を超えた 2000 年 3 月～2001 年 3 月にも侵食が進んだが、それより以降では海浜縦断面の変化はほとんど見られない。

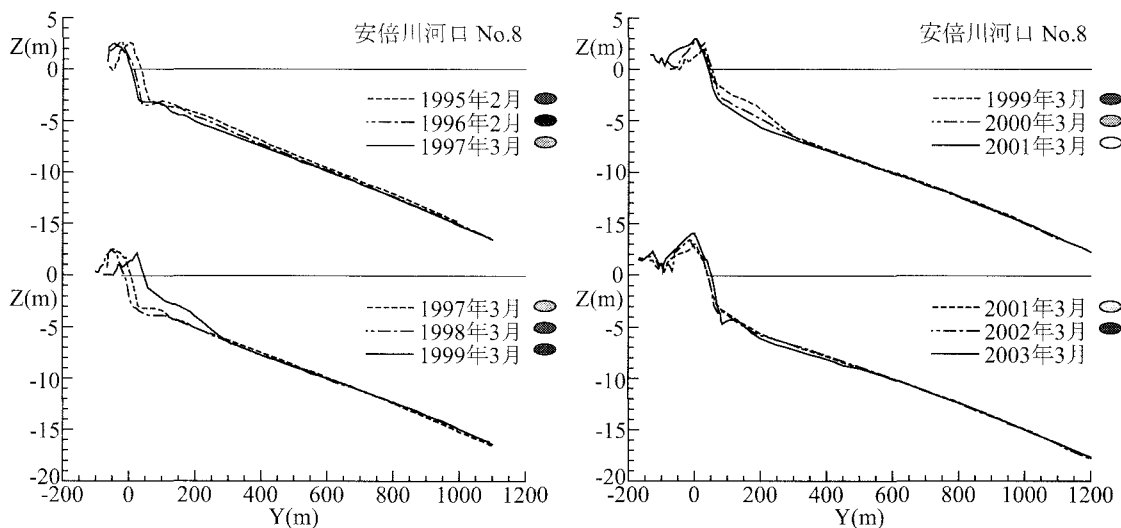


図-21 測線 No.8 の海浜縦断面の経年変化

図-22に示す河口左岸側に位置するNo.6では1995年2月を基準とした場合、最大流量が小さかった1997年3月までは海浜縦断面はやや侵食された。1997年3月を基準とした場合、1999年3月までは海浜縦断面の変化はほとんど見られない。最大流量が 1500m^3 以下であった1999年3月～2000年3月までは海浜縦断面はやや堆積し、最大流量が 3000m^3 を超えた2000年3月～2001年3月にも堆積が進んだが、それより以降では海浜縦断面の変化はほとんど見られない。

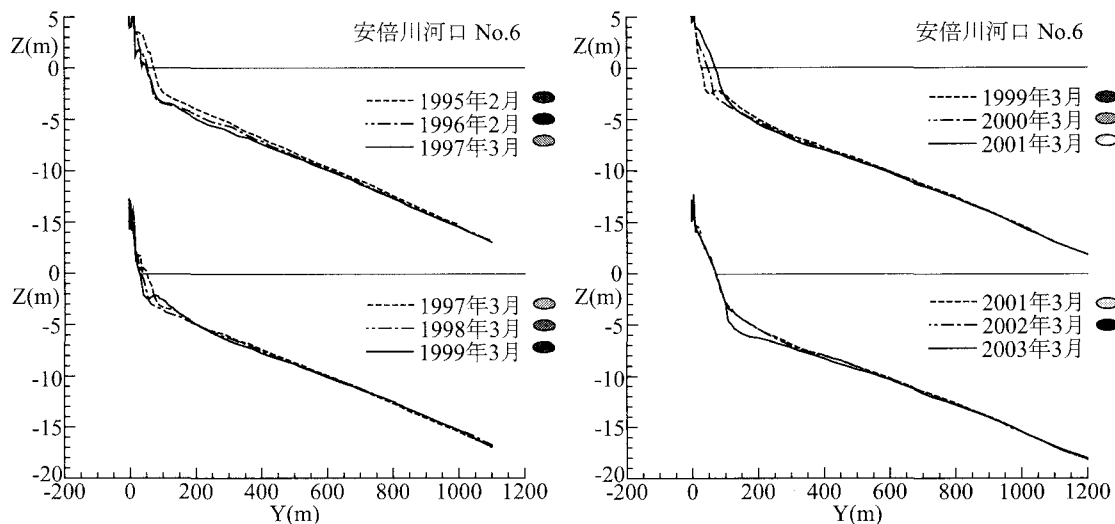
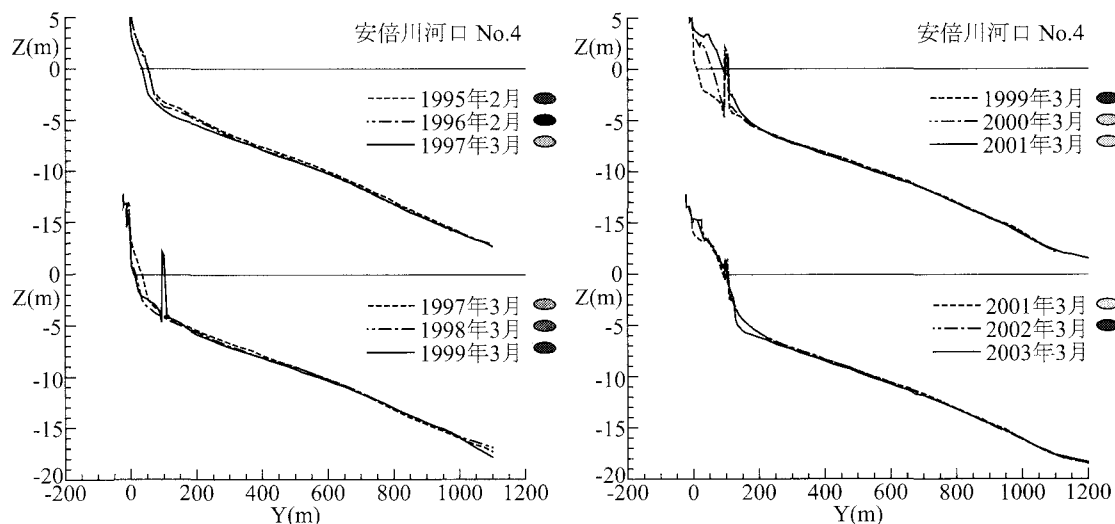


図-22 測線No.6の海浜縦断面の経年変化

No.6より東側のNo.4では1995年2月を基準とした場合、最大流量が小さかった1997年3月までは海浜縦断面はやや侵食された(図-23)。1997年3月を基準とした場合、1999年3月までは海浜縦断面の変化はほとんど見られず、この間に離岸堤が整備された。その後は離岸堤背後に土砂が堆積し、2001年3月以降は海浜縦断面が安定に保たれている。

図-23 測線No.4の海浜縦断面の経年変化



以上の検討から、河口域の中央部では最大流量が約 2000m^3 を超えた後では $Z=-15\text{m}$ まで土砂が堆積することが分かる。一方、静岡・清水海岸の侵食域における波浪の作用による海浜縦断面の変化限界水深は、図-24に示すように約 $Z=8\text{m}$ とされている。つまり、河口域中央部のNo.12、No.14の沖合水深 8m 以深に堆積した大量の土砂は波浪の作用では沿岸方向には運ばれず、静岡・清水海岸の復元・安定には直接的に寄与しな

いと推定される。

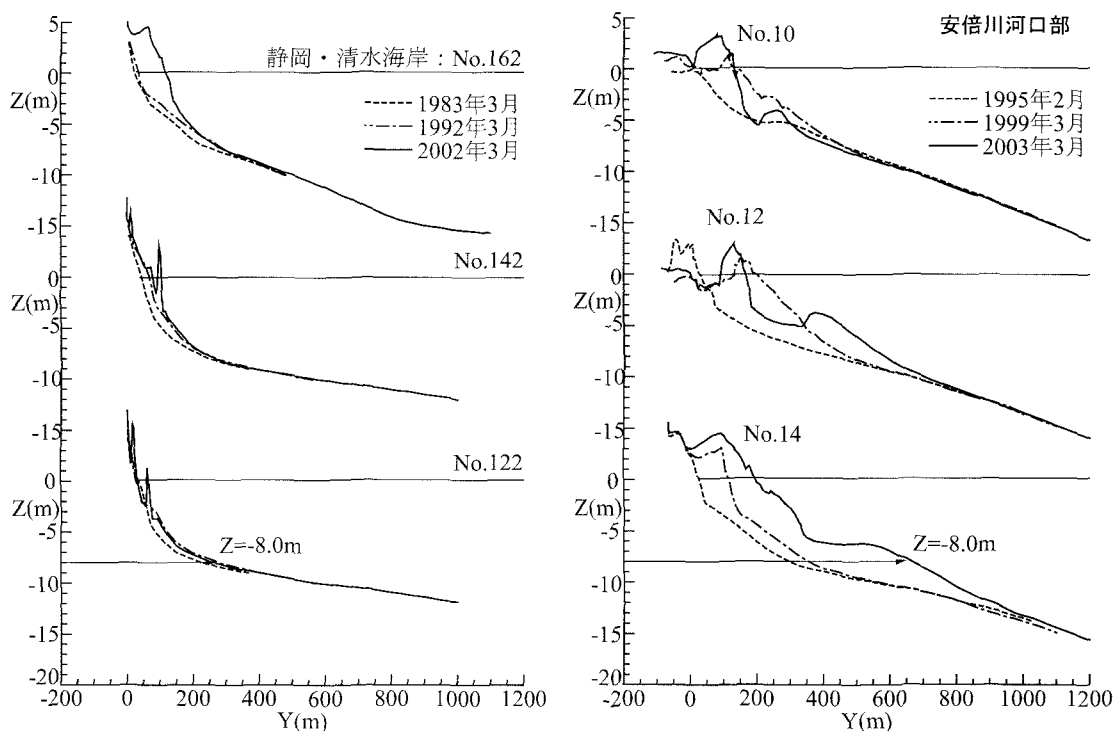


図-24 静岡・清水海岸の侵食域と安倍川河口域の海浜縦断面の比較

5. おわりに

流砂系の総合的な土砂管理に基づいた、改正「海岸法」の理念を実現する海岸保全を推進するためには、図-2に示したように海岸における計画流砂量を提示することが望まれ、図-3に示した漂砂系における土砂動態に伴う各土砂量 (Q_1 , Q_2 , q_1 , q_2 , Q_R , q_R) を精度良く把握する必要がある。特に、河口域における出水時の河口砂州のフラッシュや河口テラスの形成、波浪の作用による河口砂州の復元機構などを解明することは今後の重要な課題である。このことから、本稿で紹介したような河口域の土砂動態に関する調査を進め、1次元河床変動計算により河川からの流出土砂量を推定する手法や、深浅測量データ・堆積物調査の解析による河口域での土砂の堆積過程を把握する手法などの確立を図っている。また、付録に示したように近年では河口域の土砂動態に関する調査・研究が精力的に進められており、これらの研究事例が体系化されて河口域での効率的な土砂動態調査手法や土砂動態を再現できる数値計算モデルが構築されることを、筆者は期待している。

謝辞：本稿では国土交通省の東北地方整備局、北陸地方整備局、四国地方整備局、中部地方整備局において行われた河口域の土砂動態に関する調査の資料をお借りした。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

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.
- 澤本正樹(1998)：河口部に関する研究の現状と課題，「平成9年度 河口に関する研究」，(財)国土開発技術研究センター，pp.3-60.

付録 (最近10年間で海岸工学論文集に発表された河口域の土砂動態に関する論文)

- 宇多高明・松田英明 (1995) : 雄物川河口に見る河口沖テラスと河口砂州の形成・消失の相互関係, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.566-570.
- 宇多高明・大谷靖郎・橋本 新 (1995) : 阿賀野川河口における大規模洪水による砂州フラッシュと地形応答, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.571-575.
- 宇多高明・川崎俊太・加藤憲一 (1995) : 吉野川河口砂州の後退・縮小原因について, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.576-580.
- 高橋文彦・田中 仁・高橋 敦 (1995) : 1994年渇水期に観測された七北田川河口の完全閉塞, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.581-585.
- 真野 明・林 吉近・澤本正樹 (1995) : 阿武隈川河口テラスと砂州の干渉作用, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.591-595.
- 桑原直樹・田中 仁・佐藤勝弘・首藤伸夫 (1995) : 洪水時における河口地形変化の数値計算—格子間隔, 掃流砂, 浮遊砂, 二次流の効果について—, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.596-600.
- 伊福 誠・三好栄一 (1995) : 出水による肱川河口砂州周辺の流れと地形変化, 海岸工学論文集, 第42巻, pp.601-605.
- 宇多高明・松田英明・山形 宙 (1996) : 全国17河川のデータによる河口砂州形状のタイプ分類, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.596-600.
- 伊福 誠・三好栄一 (1996) : 出水に伴う肱川河口砂州の崩壊とその後の回復過程, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.616-620.
- 佐藤芳信・真野 明・澤本正樹 (1996) : 阿武隈川河口の流送土砂, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.621-625.
- 桑原直樹・田中 仁 (1996) : 洪水時の河口砂州崩壊現象に対する砂州高さ・潮位変動の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.631-635.
- 高橋 淳・田中 仁 (1996) : 河口最狭部断面形状の推定法について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.636-640.
- 山内健二・田中 仁 (1997) : 河口水位に及ぼす河口砂州の効果, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.441-445.
- 出口一郎・千 受京・石川裕夏・小野正順 (1997) : 由良川河口周辺地形の変動に及ぼす河川流量の影響について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.561-565.
- 島谷任克・笹本 誠・笠井太志・大場孝司・布施泰治・堺 茂樹 (1997) : 米代川の河口変動特性, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.571-575.
- 宇多高明・木村一雄・寺田好孝・小倉和範・見附敬三 (1997) : 相模川河口で観測された土砂移動サイクル, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.581-585.
- 宇多高明・山形 宙・松田英明・赤松直博 (1997) : 等深線変化モデルによる3次元河口デルタ地形の発達・変形予測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.586-590.
- 伊達政直・泉 典洋・田中 仁 (1997) : 掃流砂・浮遊砂の流出に伴う河口テラスの初期堆積機構, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.591-595.
- 和田尚大・田中 仁 (1997) : 河口砂州の現地調査と平衡高さ算定式の提案, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.596-600.
- 土屋義人 (1997) : 河口デルタ海岸の侵食と漂砂源管理について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.601-605.
- 山内健二・田中 仁 (1998) : 中小河川特有の河口現象を考慮した地形変化予測モデル, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.451-455.
- 宇多高明・加藤憲一・山形 宙 (1998) : 斜め入射波条件下で生じる河口部上手側海浜の貯砂効果のモデル化, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.591-595.
- 和田尚大・田中 仁・山路弘人 (1998) : 河口砂州形状の算定式に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.596-600.
- 稲村武彦・田中 仁 (1998) : 七北田川河口の完全閉塞条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.601-605.
- 千 受京・出口一郎・石川裕夏 (1998) : 河口砂州の崩壊と崩壊土砂の海域での堆積に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.606-610.
- 佐藤芳信・真野 明・澤本正樹 (1998) : 阿武隈川河口沖合における土砂堆積特性, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.611-615.
- 中野 晋・北野利一・藤川美和 (1999) : 吉野川下流部の地形変動と洪水による河口砂州変形計算, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.641-645.
- 千 受京・出口一郎 (1999) : 現地資料に基づく河口砂州の形状と崩壊に関する考察—砂州の存在を許容した河道管理計

- 画に向けて一, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.651-655.
- 本堂 亮・泉 典洋・田中 仁 (2000): 河口流出土砂の堆積特性及び数値計算, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.536-540.
- 山崎真一・奈良俊介・宮下将典・新山雅紀・山下俊彦 (2000): 鶴川河口海域における流動と底質の堆積・移動特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.646-650.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・山本幸次 (2000): 利根川河口部の漂砂機構と波崎海岸への土砂供給の実態, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.656-660.
- 山下俊彦・新山雅紀・菅沼 剛・早川哲也 (2000): 石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での堆積特性と土砂収支の試み, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.676-680.
- 山下俊彦・宮下将典・山崎真一・渡邊康玄 (2000): 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1026-1030.
- 山下俊彦・松本光矢・伊東祐一郎・清水康行・古路一哉 (2001): 尻別川の粒径別流出土砂特性と河口沿岸域での土砂収支の試み, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.646-650.
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・増田光一 (2002): 河口デルタの汀線・粒径変化の予測モデルー沿岸漂砂による分級作用の再現一, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.481-485.
- 成田 舞・石川忠晴・高橋 淳 (2002): 青森県高瀬川の河口部変動特性について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.526-530.
- 阿部真人・福山貴子・佐藤慎司・磯部雅彦・熊谷隆宏 (2002): 鮫川河口砂州の変形と勿来海岸の地形変化過程に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.531-535.
- 宇野誠高・横山勝英・森下和志・高島創太郎・大角武志 (2002): 熊本県白川河口域における土砂動態, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.561-565.
- 渡辺一也・田中 仁・榎山敏昭 (2002): 名取川における河口処理と地形変化, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1361-1365.
- 山下俊彦・奈良俊介・山崎真一 (2002): 河口沿岸域での ADCP を用いた濁度推定と浮遊物質の移動量算出の試み, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1491-1495.
- 渡辺一也・田中 仁 (2003): 感潮域における水位応答を利用した河口水深の推定, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.61-65.
- 栗山善昭・滝川 清・榎園光廣・野村 茂・橋本孝治・柴田貴徳 (2003): 熊本白川河口干潟における土砂収支の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.556-560.
- 福山貴子・松田武久・佐藤慎司・田中 晋 (2003): 湘南海岸流砂系の土砂動態と相模川河口地形の変化, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.576-580.
- 佐藤智昭・Totok Suprijo・真野 明 (2004): 河口砂洲を有する主な河川の最狭開口部平衡条件, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.526-530.
- Patchanok Srivihok・田中 仁 (2004): 高頻度空中写真撮影による七北田川河口砂州動態の検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.531-535.
- 宇多高明・芹沢真澄・高橋 功 (2004): 等深線変化モデルによるフラッシュ後の河口砂州の復元予測, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.541-545.
- 原口 強・畠山浩晃・木村 晃・高木俊男・市原季彦・高田圭太 (2004): 海底砂質堆積物の定方位連続地層採取方法と河口テラスの形成過程, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.566-570.
- 由比政年・中谷 健・石田 啓・山内正彦・二俣 秀・高橋 至 (2004): 手取川河口域周辺の海底地形変化に対する河川土砂供給の影響に関する研究, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.576-580.
- 山下俊彦・藤井賢介・山崎真一 (2004): 長期の石狩川河口沿岸域の底質堆積特性と河口地形変化, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.581-585.