

洪水流と波による相模川河口デルタの変形実態の調査

Field investigation of topographic changes of river mouth delta of the Sagami River due to flood flow and sea waves

建設省土木研究所海岸研究室長 宇 多 高 明 Takaaki UDA

Field investigation of topographic changes of the river mouth delta was carried out at the Sagami River. Bottom topography was measured by soundings several times before and after the flood occurred in 1985. It was found that the causes of the recent retreat of the river mouth bar are partly due to the decrease of the fluvial sediment supply from the river, and partly due to the dredging of the river bed. Recent beach changes are especially severe at the corner of the left bank, where coastal revetment was damaged by the scouring. Bottom profiles were compared with time and space by assuming the ergodicity of the beach profile change.

Keywords: Sagami River, river mouth delta, flood flow, superposition of beach profile, ergodicity

1. まえがき

近年、全国各地の河口において、主として河川流下土砂量の減少に起因して河口砂州の規模が小さくなり、あるいは砂州が上流方向へ移動した例が見られるようになった。河口砂州の消失は、洪水の流下能力の向上の面からは確かに望ましいことではあるが、一方において、河口砂州は高潮や塩水の遡上防止能力も有しているので、従来から存在した砂州の変形あるいは人工的改変については十分な配慮が払われるべきである。一般に、河口部の地形は波と流れの作用の下で常時変動を繰り返しており、しかも河口流と波との干渉が生ずると考えられるため、その現象は複雑である。しかし現象が複雑であるが故に、十分なデータ量ではなかったとしても、現地の河口周りのデータを収集して種々の考察を加えることは現象解明に大いに役立つと思われる。筆者らは、相模川を選んで種々の調査を実施し、そのデータをもとに河口砂州の変動と、フラッシュに伴う河口沖の地形変化について考察した¹⁾。本報では更にデータを加えて相模川河口部の地形変動について考察する。

2. 河口部の海象条件

相模川は流域面積 $1,683\text{km}^2$ 、計画流量 $7,300\text{m}^3/\text{s}$ を持つ一級河川である。河口部付近の海岸の波浪特性としては、国立防災センターが平塚海岸沖で実施している波浪観測の1978年12月から1982年8月までの期間のデータによると、有義波高の単純平均値は 0.56m 、周期の平均値は 5.9sec である¹⁾。また、各周期毎に沖波の波浪エネルギーを推算して頻度分布を求めると、周期毎のエネルギー分布は $6\sim 7\text{sec}$ がピークとなる。したがって沖波の代表周期を 6.5sec とすると、エネルギー平均波高は 0.73m となる。

3. 河口砂州の変形実態

相模川の河口部汀線は、近年かなり急速に後退してきた。最初に河口部汀線の過去約20年間の長期的変化を1964年より1987年まで4時期の空中写真をもとに調べた(図-1)。1964年11月では左岸側において現在は階段護岸が設置されている箇所の前面においても護岸法線より約96mの幅を有する広い前浜が存在した。また右岸と導流堤の間にも前浜が存在した。その後1972年までに左岸側の下水処理場の放流路付近では約50m汀線が後退した。さらに1982年までには同じ位置において汀線後退量が約75mと侵食が進むとともに、右岸と

導流堤の間の砂浜は消失した。1987年になると、左岸側の砂州の付け根部分の汀線は階段護岸の法線より陸側となった。河川からの流出土砂量が多ければ河口デルタの汀線は周辺地形に対して突出するはずである。ところが逆に凹んでいることは、河川からの流出土砂量が非常に少なくなっていることを表わしている。

次に、短期的地形変動について考察する。河口砂州は、台風の出水(1986年8月5日、台風10号、 $Q_{max}=1,084m^3/s$)による砂州のフラッシュと、風浪による河道内への漂砂の侵入により調査期間中かなり大きく変化した。1985年9月から1986年2月に至る砂州の平面形の変化を図-2に示す。1985年においては、調査開始時より約2ヶ月前の6月30日～7月2日に、台風6号による $Q_{max}=2643m^3/s$ の出水があった。このためそれ以前に形成されていた河口砂州は大きくフラッシュされた。深浅測量は9月10日以降に実施したが、洪水直後から9月までの間は河口の上流側にある湘南大橋上より砂州形状の写真撮影を実施した。結果を写真-1,2,3に示す。これらは、洪水から10日後の7月12日から8月2日の間の砂州先端部分の成長状況を示す。わずか1ヶ月足らずで砂州は東から西へと数十m成長したことがわかる。9月以降の砂州形状の変化を示した図-2によれば、砂州は左岸側より流路方向へと次第に伸びている。このような砂州の伸延状況は、写真で得られた特徴と良く一致する。また、砂嘴の先端部は時計回りの方向に回転しつつ河道の上流方向へ伸びている。これは河道を通して進入する波によって土砂が運ばれたことを表わす。砂州全体の変化に注意すると、砂州の堆積域の面積は侵食域の面積より明らかに大きく、土砂が海岸より河道内へ運ばれたことがわかる。

次に、図-2において砂州が横断方向に最も発達した位置の近傍を通る測線No.26を選んで断面形状の変化を調べた(図-3)。砂州は鉛直上方に凸な断面形を保ちつつほぼ平行移動する形で横断方向に発達した。また、陸上部の砂州高はT.P.約1mではほぼ一定である。砂州高がほぼ一定となるのは、砂州部へ到達する波の打ち上げ高が

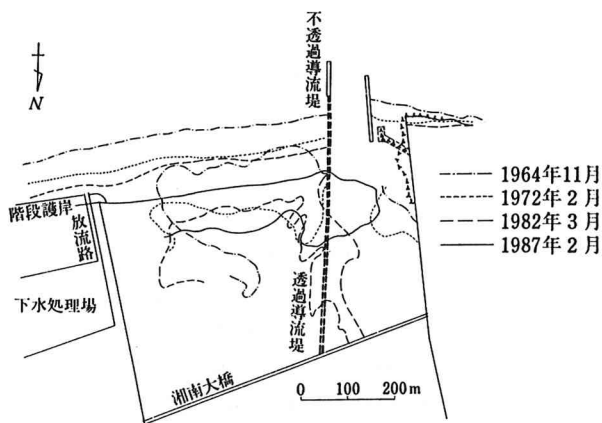


図-1 砂州部汀線の長期的変化

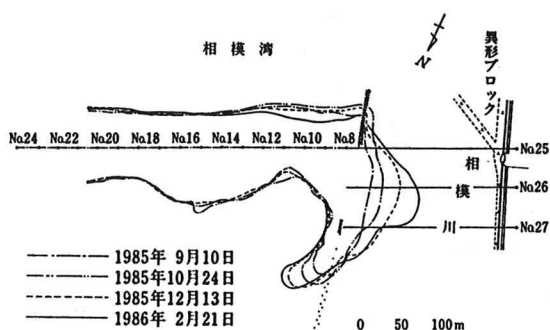


図-2 河口砂州形状の変化(1985年9月～1986年2月)



写真-1 河口砂州の伸長



写真-2 河口砂州の伸長



写真-3 河口砂州の伸長

ほぼ一定なためと考えられる。また、T.P.約-2m
以深での海底勾配は約 34° と非常に急であって、
それが河床面と不連続に交っている。砂州の先
端が河床面と交差した部分以外では海底面の変
化はほとんど存在しない。結局、図-3に示した
断面形の変化は、海岸より河道内へと砂嘴周り
に沿って進入する波によって土砂が運ばれ、堆
積したことを表わしている。さらに、土砂が堆
積する場合、砂州先端部の平均海面下では砂の
水中での安息角を保って断面形がほぼ平行移動

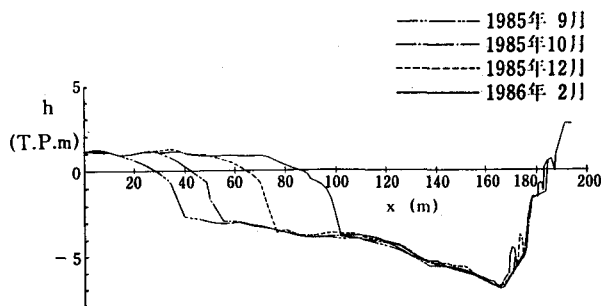


図-3 河口砂州断面形の経時変化(1985年9月～1986年2月)

することがわかる。このような砂州の断面形の変化の特徴は、一般に、海浜において沿岸漂砂によって地形変化が生ずる場合の変化²⁾と同一である。このことより、上述の河口砂州の変形は、海から河道内へと向かう沿岸漂砂によって生じたものと考えられる。

一方、砂州の岸沖方向の断面では、前報¹⁾で明らかにしたように図-2において河口砂州が著しく伸延したのと同じ時期の1985年10月～1986年2月の期間、汀線は次第に後退し、前浜勾配とバーム頂高を一定に保ちながら海浜断面はほぼ平行移動した。また、海浜断面の平行移動が見られる範囲はT.P.約-2m以浅であって、T.P.-2m付近では勾配が急変した。

前報¹⁾では砂州部の土砂量の変化より、導流堤を通過して河道内へと侵入する漂砂量を算定し、2回の観測期間中、侵入漂砂量が共に約 $200\text{m}^3/\text{d}$ に等しいことを明らかにした。以下では、この土砂の供給源について詳細に検討する。まず前出の図-2によると、砂州部の著しい面積の増加に対応した海岸部での広い侵食域は見られないことに注意すべきである。すなわち、土砂の供給源はさらに東側の区域か、あるいは岸向漂砂によって沖合から土砂が打ち上げられたかのいずれかである。図-2は砂州の先端部の形状を表わすに過ぎないので、砂州の付け根部分の測量を1987年6月に実施した。この結果得られた深淺図を図-4に示す。砂州の付け根部分には下水処理場からの放流路が設置されている。近年においてこの放流路付近は著しく侵食が進み、護岸等の施設が設置されたが、それらも被災している。その西側区域の汀線形状は、フック状になっており、その部分には高い浜崖が形成されている。浜崖上部の高さはT.P.約4mに達するから、この部分より大量の土砂が運び去られたことがわかる。砂州の付け根部分は過去激しく侵食を受けてきている点から判断すると、この区域の侵食土砂のほとんどは河口方向(西)へと移動し、砂州の発達を促したと考えられる。この場合、海面下の地形特性としては、T.P.-2m～-3mの間に広い平坦面が形成されており、またT.P.-2m～2mの間の等深線は汀線とほぼ平行である点などから、河口方向へ向いた沿岸漂砂の活発な範囲は、T.P.-2m以浅と考えられる。

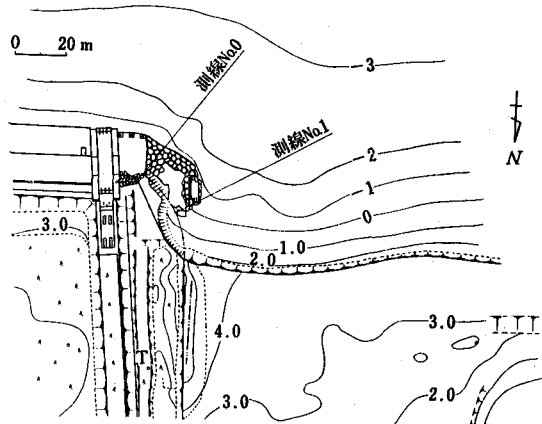


図-4 河口砂州付け根部分の侵食状況

砂州付け根部分では海岸の侵食状況写真が撮られているので、それらの比較により侵食状況を理解することができる。写真-4は1986年8月8日に撮影された左岸の状況である。約1.7mの浜崖が形成されており、排水口の保護用マットの一部がぐずれ落ちている。写真前方の左岸近傍での浜崖の位置は左岸上にあるフェンス付近であることに注目しよう。写真-5はほぼ同じ位置より1987年5月29日に撮影した状況である。写真-4と比較すると浜崖は大きく後退した。左岸上のフェンスとの相対位置の比較によれば、汀

線がさらに後退したことが明らかである。結局、河道内へ侵入した土砂の大部分は砂州の左岸近傍が侵食されて運ばれたものと考えられる。

4. 河口沖の海底地形変化

河口沖の海底地形の変化も砂州形状の変化と密接な関連を有している。そこで洪水前後に得られた深浅図をもとに地形特性を調べた。河口沖の深浅図を図-5に示す。図中には1986年3月と1986年10月の等深線を重ねて示した。この間、8月5日には $Q_{\max}=1084 \text{ m}^3/\text{sec}$ の出水が、また9月3～4日には $Q_{\max}=1799 \text{ m}^3/\text{sec}$ の出水があった。全般的特徴として、河口沖の等深線は沖向きに大きく舌状に突出しており、河口デルタ形状となっている。等深線の張り出しは、T.P.-6m付近が最も大きく、深さとともに減少し、T.P.-18mで等深線の張り出しはほぼ見られなくなる。また T.P.-2m～-4mの間には緩い勾配の斜面、いわゆる河口テラス³⁾が見られる。さらに注目すべき点として、河口デルタの中心線を境に、東西で河口デルタ形状が非対称となっていることである。すなわち、中央の導流堤沖の西側は割合と平坦であるが、東側では大規模なバー、トラフ地形が存在し、湾入部が汀線近くまでせまっている。この地形特性は、図示する2回の深浅図のみではなく、他に行われた3回の深浅測量のいずれの場合も見られた。沖からの入射波が河口に對し直角入射するのであれば、河口沖の地形はほぼ左右対称となると考えられる。したがって河口沖の地形の非対称性は、波が斜め入射していることに関連すると推定される。その場合、導流堤の東側に深みが形成されていること、また、一般に沿岸漂砂を阻止する構造物(流れ)の漂砂上手側では土砂が堆積し、下手側では侵食が生ずることから判断すると、卓越波の入射方向はやや西側からと考えられる。2回の深浅図の比較を行うと、河口沖のT.P.-5m～-14mの間では堆積域が見られる。また、その両側では侵食域も存在する。

一般に、河口デルタ地形は河川流と波の作用の下でほぼ動的平衡状態を保っていると考えられる。河川流の作用は河口中心で最も強く、河口から沿岸距離が大きくなると弱くなる。そのため河口デルタの地形について河口中心と、離れた地点の断面形とを比較することによって、河川流の効果を知ることができる。そこで、海浜地形変化に関しエルゴード性の概念を導入することにより、沿岸方向に配置された測線のデータを用いて、あたかも1断面が経時的に変化したかのように考えて海浜断面形の重ね合わせ²⁾を試みた。ただし、河川流と波との作用以外による地形変化は小さいと仮定する。1986年3月の深浅データをもとに、河道中心を含んで左右岸の測線の重ね合わせ図を図-6に示す。共に重ね合わせを行う場合の基準点は図-5に示すように沿岸方向に配置された測点を原点とした。最初に右岸側の重ね合わせ図に注目する。各測線の断面形は測線No.7を除き前浜部分はほぼ同一形状を有し、また沖合では河口より最も離れた測線No.1に漸近している。測線No.1ではほぼ単調な緩い勾配の断面形であるが、河口に近づくとき200m $\leq y \leq$ 600mの間で平坦面が形成されている。この間の各測線の横断面形はなだらかな変化状況を示す。No.7に典型的に見られる河口沖の平坦面は、沿岸方向に見たとき沖方向に突出した形状となっている。したがって波の



写真-4 河口左岸の状況



写真-5 河口左岸の状況

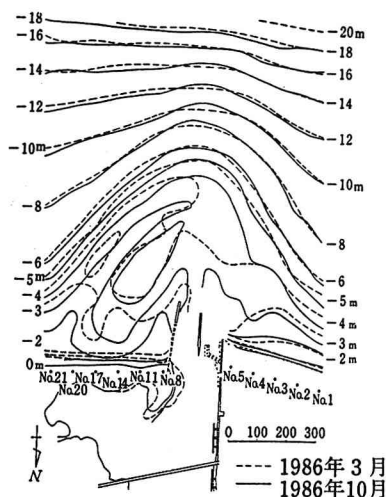


図-5 河口沖の海底形状の変化

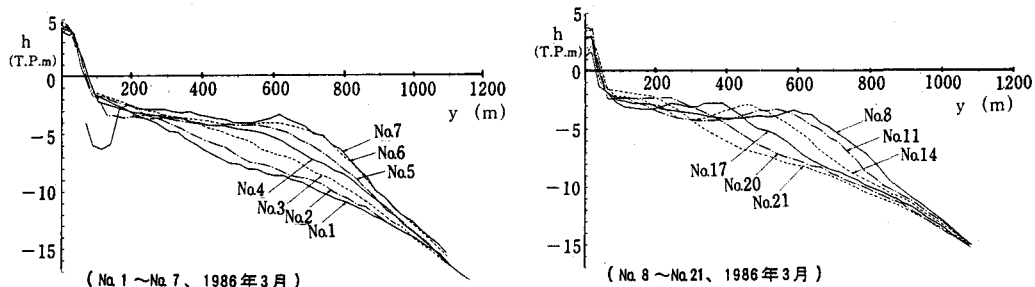


図-6 海浜断面形の重ね合わせ図

作用の下ではこれは平滑化されるはずである。ところがこのような地形は図-5に示したようになかなり安定して存在する。この主な原因は、河川の固有流量とタイダルプリズムによる退潮流とが河口から冲向きに流出する際、入射波と干渉し、入射波が屈折変形することにより沿岸方向へのエネルギーフラックスが生じにくくなったためと考えられる。

次に、左岸側の重ね合わせ図に関しては(図-6参照)、前浜勾配がほぼ同一なこと、また沖合では河口より離れたNo.21の断面形に漸近する点は右岸側の場合と良く一致するが、断面形の変化パターンが大きく異なっている。左岸側の各測線ではいずれもバー、トラフ地形が存在し、しかも河口中心に近接するほどバー頂が沖に位置している。右岸側の断面形は沿岸方向に単調に変化した、左岸側の場合はそのような変化に、バー、トラフ地形の変動が重なっており、しかもバーの位置が河川流の作用の著しい所ほど沖にあることが特徴と言える。

次に、河口沖の地形の短期的変化について調べた。1986年には8月と9月にそれぞれ $Q_{max}=1084m^3/sec$ と $Q_{max}=1799m^3/sec$ の洪水があった。そこでこれを挟む2時期の測量データとして、1986年3月と10月の深浅データを選び、この間の海浜断面形状の変化を図-7にまとめた。断面比較図の作成においては、左右岸より各々4断面を選んだ。右岸側のNo.4ではその変化量は小さいが、河口中心に近くにしたがい河口砂州からフラッシュされた土砂の堆積に起因する海底地盤高の上昇が見られる。No.5ではT.P.-7m以浅で堆積している。また、河口に近づくとも堆積の見られる水深が次第に浅くなり、No.6ではT.P.-5m以浅で、No.7ではT.P.-4m以浅で堆積が見られる。

一方、河口左岸側では右岸側と異なった地形変化が見られる。No.8ではバー頂は高くなり、トラフはさらに深くなった。No.11では同様にバー、トラフ地形が発達したが、 $500m \leq y \leq 900m$ の広い範囲で侵食が生じ、地盤高が低下している。このような傾向はNo.14, No.17と河口中心から離れた断面においても同様に存在し、河口砂州からのフラッシュ土砂は河口デルタに様に堆積するものでないことが分かる。

1986年3月の深浅測量によると、相模川河口の右岸側では単調な勾配の海浜断面が形成され、左岸側ではバー、トラフ地形が形成されていた。その後、河川の出水や波浪の作用を受けた1986年10月段階の海底地形では、この特徴が益々著しいものとなった。結局、沖

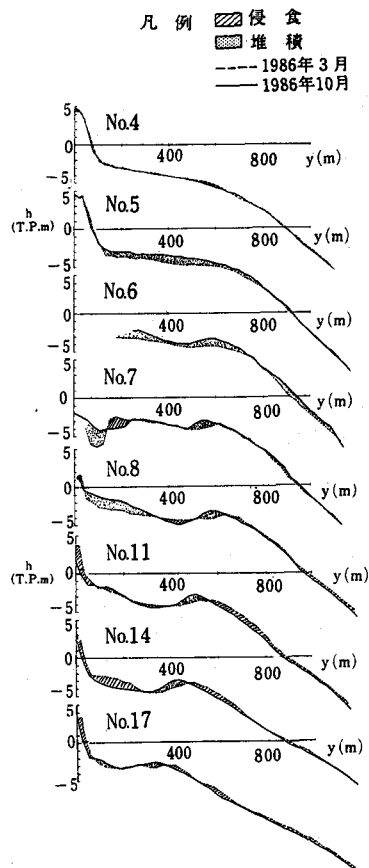


図-7 海浜断面形の変化

(1986年3月と1986年10月測量データの比較)

合部の地形には動的な意味での平衡形状が存在し、それに変動が重なっていることがわかる。

前報¹⁾では、1986年10月と1987年3月の深淺データの比較を行い、図-5のNo.20,21付近および右岸のNo.1～No.3の前浜上に著しい堆積が生ずること、また、これら両堆積域は沖合において同心円状の細長い堆積域によって連結されていることを明らかにした。このような地形変化は洪水流によってフラッシュされた土砂の一部が再び砂浜へ打ち上げられる状況を表わしているものと考えられる。したがって、フラッシュされた砂州の大部分の土砂は、再び波の作用の下で元の状態へと戻るものであって、長期的に見れば砂州の大規模な侵食原因とはなりにくいと考えられる。

5. 考察

相模川河口部砂州の汀線は図-1に示したように経年的に後退してきた。この原因はいくつか考えられる。第1には、もともと河口部汀線は河口デルタとして周辺より突き出ていたが、ダムの建設などの影響により河口からの流出土砂が減少するに伴い漂砂の均衡がくずれて侵食傾向に変化したことが考えられる。第2の理由としては河道内にある平塚漁港の航路を確保するために、漁港およびその下流側で行われてきた航路浚渫によって、砂州部の土砂が減少したことが考えられる。とくに近年における砂州の変形にはこれが重要な影響を持っていたと考えられる。すなわち、河口砂州が図-2のように河口の横断方向に伸びるごとに、河道部では浚渫が行われ、その土砂は河口の沖合に投棄されてきた。その量をまとめると表-1のようである。1982年を除けばいずれも河口部で浚渫が行われている。浚渫が行われると、導流堤部分を通して海側から漂砂が侵入する。左岸砂州の長さは約400mあるから、例えばそれが20m後退したとする。砂州部で活発な漂砂が見られるのはT.P.-2m～+2mの間の約4mであるから、漂砂の移動高を4mとすれば総土砂量は約32,000m³となる。この値は表-1に示した浚渫量とオーダー的に等しい。このことから河口砂州の後退の原因として航路浚渫が重要と考えられる。実際には河口砂州は洪水流によるフラッシュも受けているが、これは一時的な砂州後退をもたらすとしても経年的な後退傾向を説明するのは難しいと考えられる。

表-1 平塚漁港区域内浚渫土砂量

年	浚渫量 (m ³)	浚渫位置
1980	19,100	左岸側
1981	13,200	右岸側けい船岸
1982	7,200	平塚漁港船だまり
1983	5,920	右岸側
1984	13,000	左岸側
1985	5,350	左岸側
1986	7,220	河 口
合計	70,990	

6. 結論

- ①1985年の測量データより河口砂州の変形を調べた。これによると、砂州の横断方向または上流方向への発達、砂州に沿う沿岸漂砂によるものであることがわかった。
- ②砂州の発達に必要な土砂の多くの部分は、砂州の左岸付け根部分より漂砂によって運ばれたと考えられる。なぜならば近年、左岸付け根部分では著しく侵食が進んでいるからである。砂州の先端の土砂を浚渫し、他の場所へ投棄すると、再び河道方向へ土砂が移動するために、左岸近傍では新たな侵食が生ずることになる。
- ③河口沖には河口デルタ地形が発達しているが、断面形状の重ね合わせ比較によると、その形状は河口中心に対し左右両側の断面で非対称形となっている。波が河口中心線に対して斜め入射するためこのような非対称地形が生じたと考えられる。

参考文献

- 1) 藤井友竈・宇多高明・綿貫布征・鴨下由男・木村慎二：相模川河口部の地形変化実態，第35回海岸工学講演会論文集，pp.447～451，1988。
- 2) 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄：霞ヶ浦における風波による湖浜変形の実態，土木学会論文集，第381号／Ⅱ-7，pp.161～170，1987。
- 3) 田中 仁・須賀堯三・高山博之・羽鳥定久：河口部の流れと河口砂州の形成に関する研究，第31回水理講演会論文集，pp.737～742，1987。