

相模川河口砂州と河口テラスの変形機構

TOPOGRAPHIC CHANGES OF RIVER MOUTH BAR AND TERRACE OF THE SAGAMI RIVER

宇多高明¹・佐藤 勝²・清田雄司³・渡辺宗介⁴・芹沢真澄⁵・古池 鋼⁴

Takaaki UDA, Katsu SATO, Yuji SEITA, Shusuke WATANABE, Masumi SERIZAWA and Kou FURUIKE

¹ 正会員 工博 (財) 土木研究センター 審議役 なぎさ総合研究室長 (〒110-0016 台東区台東1-6-4 タカラビル)

² 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所管理課長 (〒230-0051 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-18-1)

³ 平塚市経済部みなと水産課主管 (〒254-0803 神奈川県平塚市千石河岸28-11)

⁴ 海岸研究室 (有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208)

⁵ 正会員 海岸研究室 (有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208)

Topographic changes of the river mouth bar and terrace of the Sagami River were investigated through field observations and numerical analysis of waves and nearshore currents. The river mouth bar of the Sagami River has retreated and deformed largely, resulting in the sand deposition to the navigation channel of Hiratsuka fishing port. In order to improve this condition, fundamental mechanism of sand movement around the terrace off the mouth was investigated. Sand deposition into the navigation channel was accelerated by the longshore sand transport along the marginal line of the terrace.

Key Words : Sagami River, river mouth, terrace, navigation channel, field observation

1. はじめに

相模川河口の右岸側には須賀漁港が立地している。この漁港は、河口より上流に位置するため、河口を經由した航路が右岸側に沿って延びている。河口には導流堤が設置されているため、漁船はこの導流堤に沿いつつ上流方向へ向かうのを通例としてきた。しかし、近年、相模川の河口砂州に著しい変化が生じ、従来航路としていた部分に規模の大きな砂州が形成され航行が危険となった。このため漁業者からは航路維持のための浚渫の陳情がしばしばなされるようになった。しかしながら、過去の資料をもとにした分析によれば、新たに形成された砂州は相模川の左岸砂州の動きと一体的なものであり、右岸側での浚渫工事の影響は河口全体に及び、左岸側での侵食を助長する危険性が高いことが指摘されている。このことより、相模川河口において航路維持のための抜本的対策を立てる必要に迫られている。

相模川河口砂州の変形に関する既往研究として、宇多ら¹⁾は、河口砂州に著しい変形が起こる以前の段階において、洪水流による砂州のフラッシュと波による砂州の再形成について3段階の土砂移動サイクルの仮説を立てた。しかし現況では、河口砂州の大部分が消失しているので、改めて河口付近での土砂移動機構について検討する必要がある。また福山ら²⁾は、1946年から2002年まで

4時期の空中写真を示し、河口砂州の上流側への移動と規模の縮小を明らかにするとともに、1971年以降の砂州の汀線位置や河口砂州の土砂量の変化を求め、河口砂州は1993年から1995年にかけて大幅に土砂量が減少したことを明らかにした。この研究は相模川河口砂州の長期的な変動について調べたものであり、短期的な土砂移動サイクルについては触れていない。これらのことから、本研究では2003年9月14日と10月5日に河口部の現地調査を行い、また2002年の深淺図をとともに波浪と海浜流の数値計算を行って、現地踏査と計算の結果をもとに河口部の地形変化機構図を作成して対策立案の一助とした。

2. 現地踏査

(1) 河口テラスの形成と左岸河口砂州の復元

写真-1は、湘南大橋上から左岸導流堤（以下、導流堤と呼ぶ。現在は左岸と砂州で繋がっておらず、海中に孤立しているので中導流堤に分類される。）の上流部の杭部分と、左岸の河口砂州を撮影したものである。導流堤は杭式であり、その天端は平均海面よりやや低い位置にある。また水面上に突き出た長い杭は5m間隔で並んでいる。写真撮影時は大潮期の干潮時であったために、導流堤の頭部が空中に露出している。導流堤と左岸砂州の間にはかなり広い水域があるが、ここは相模川の洪水流

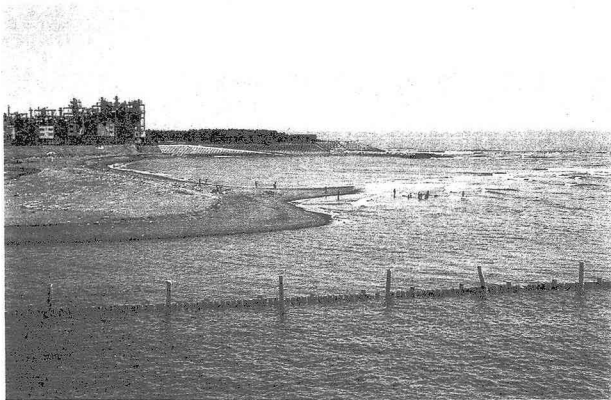


写真-1 湘南大橋上から左岸導流堤と河口砂州を望む
(2003年9月14日撮影)



写真-2 楔状砂州

路の一部である。洪水は導流堤を斜めに切る形で沖合へと流出する。

湘南大橋から見ると、左岸砂州は従来と比較してその面積が大きく狭まっている。遠方に見える柳島の流域下水道施設の直前で汀線は大きく凹状となる。これはその付近が侵食され、侵食土砂が砂州の先端方向へと運び去られたことによる。注目されるのは、左岸砂州の先端やや手前に楔状の砂州が伸び、その先端から沖合へと斜めに浅瀬が伸びていることである。

写真-2は左岸砂州上からこの楔状砂州を撮影したものである。楔状砂州の周辺では両側からの入射波が汀線に沿って碎波していることがよく分かる。一般にこのような形で突出した汀線に対し両側から碎波が起これば、強い岸向きの漂砂移動が起こり、短時間で楔状砂州は消失する。しかし写真で見る限りこの砂州はかなり安定している。この理由は、写真-2に示す砂州沖合部の海底地形にある。

写真-1, 2に示す楔状砂州の沖合には、半ドーナツ状の浅瀬が伸びている。この浅瀬は洪水が流出した際に河口砂州から砂が運ばれ、それが堆積してできた河口テラスである。河口テラスの中心部は洪水流が集中するため深い、その縁辺部は非常に浅くなっている。このような状態にある海底地形では波浪が斜めに作用することになるので、河口テラスの側面に沿って強い斜め岸向きの沿岸漂砂が起こる。この漂砂が次々と上陸している



写真-3 左岸護岸上から楔状砂州を望む

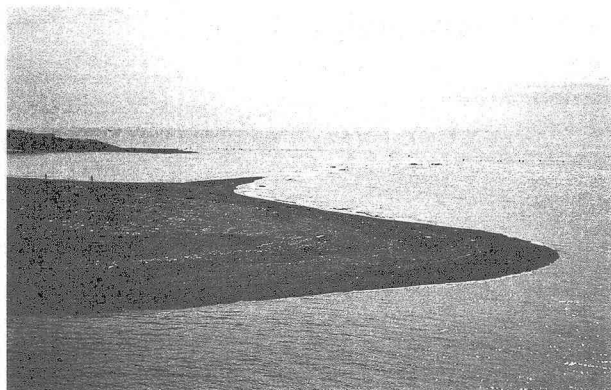


写真-4 左岸砂州の先端部 (2003年10月5日撮影)

場所が楔状砂州である。したがってここでは動的意味で土砂が絶えず運び込まれるために、楔状砂州が維持されていると考えられる。

写真-3は、同じ楔状砂州を左岸護岸上から望んだものである。侵食されて凹状となった左岸砂州から非常に細長い楔状に砂州が伸びていることがよく分かる。

写真-4は、9月14日撮影の写真-1とほぼ同じ場所を10月5日に撮影したものである。両者の対比によりこの間の砂州の変化が明らかになる。写真-1では楔状砂州の右(西)側にある砂州先端部の突出はそれほど著しくなかったが、写真-4では砂州先端部が河道中心へ向かって大きく伸びた。

この要因は2つ考えられる。第1は、河口テラスの外縁に沿って岸向きに運ばれた土砂が楔状砂州を經由し、砂州に沿う沿岸漂砂の作用によって先端方向へと運ばれ、砂州が河道方向へと発達したとするものである。第2は、左岸砂州の付け根付近が削られ、そこからの侵食土砂が砂州の先端方向へと運ばれたとするものである。これらのうち第1要因による変化は、波浪作用と洪水流の作用の繰り返しの依存してサイクリックに生じるものであるから一方向的な土砂の欠損には結びつかないと考えられる。しかし第2要因による変化は非可逆的、一方向的な変化をもたらす。

次に、前出の写真-2を再び参照すると、沖合部では細長い白い碎波帯が間欠的に右側へと伸びていることから分かるように、河口テラスの浅瀬はそのまま対岸方向



写真-5 河口テラスと導流堤との接点付近の状況

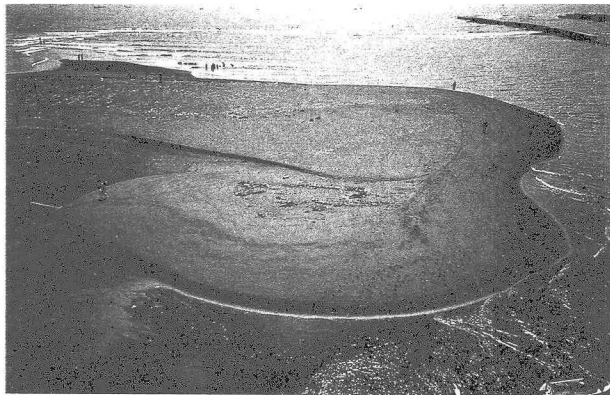


写真-6 河口砂州の全体状況

へと延び、導流堤にまで達している。その状況を湘南大橋上から撮影したのが写真-5である。水平に細長い沿岸砂州が延びていることが細長い碎波帯の状況から見て取れる。この砂州の先端は不透過構造を有する導流堤の付け根部分と接続し、そこには水面上に砂州が現れている。ここでは漂砂移動が導流堤の存在によって阻止されているため、砂浜が出現したと推定される。

河口テラスと左岸の河口砂州の全体状況を湘南大橋上から撮影したのが写真-6である。写真上部にはほぼ水平に写された河口テラス上の碎波帯が伸び、片側は左岸河口砂州へ、他方は導流堤へと延びていることがよく分かる。これら両端が河口テラスから岸方向への漂砂移動の境界となっている。

(2) 河口左岸砂州の付け根付近での侵食状況

相模川河口の左岸砂州では、砂州先端方向への沿岸漂砂移動が起きた結果、従来にも増して侵食が進んでいた。この状況を9月14日に、左岸側にある緩傾斜護岸の端部付近から砂州中央へと移動しながら調査した。まず写真-7は、緩傾斜護岸の端部に形成された浜崖である。高さ約0.9mの浜崖が形成されており、浜崖は砂州の先端方向へと続いている。侵食の結果汀線は凹状となると同時に、海浜縦断面も鉛直上方に凹状となっている。写真-7の中央やや左側に見える付近で撮影したのが写真-8である。砂浜中に埋まっていた粘性土層が露出していた。この層には多くの植物の根が入っていたことから、

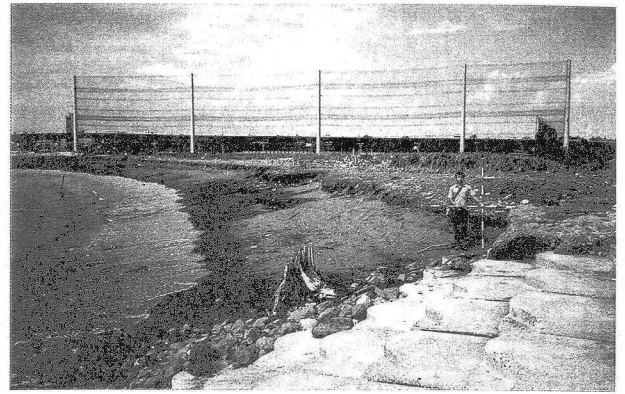


写真-7 左岸の緩傾斜護岸の端部付近での侵食状況



写真-8 浜崖の形成と露出した粘性土層

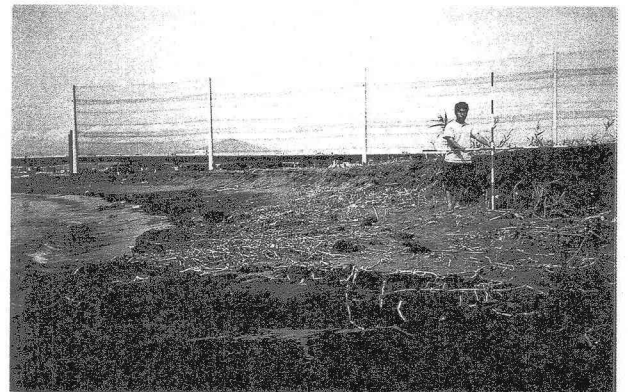


写真-9 粘性土層付近の拡大写真

ここが間違いなく最近急激に侵食された場所であることが分かった。この位置での浜崖の高さは約0.8mである。

写真-8と同じ粘性土層付近を拡大して10月5日に撮影したのが写真-9である。写真-8では粘性土層の表面が周辺の砂浜の面とほぼ同じ高さにあったが、10月5日の状況を示す写真-9では、粘性土層周辺の砂地盤がさらに低下し、粘性土層の露出度が大きくなった。これらの写真の比較より、左岸砂州の付け根付近ではここ21日間でも侵食が継続していたことが分かる。

写真-10は、写真-9の隣接部分における侵食状況である。露出した粘性土層が侵食され崩落しているが、写真-9に示した粘性土層が波に対して抵抗力を発揮するために、その西側隣接部の抵抗力の小さな部分が集中的に

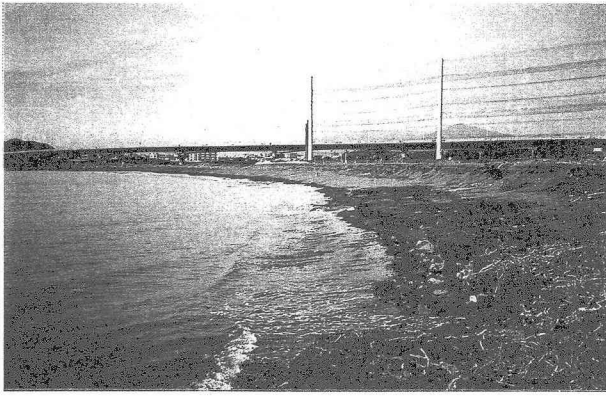


写真-10 写真-9の隣接部での侵食状況



写真-11 河口中心へと近づいた部分での浜崖形成状況

削られ、汀線がフック状に後退している。

9月14日撮影の**写真-8**では、3本のコンクリート柱が立っているが、それらのうち左側から2番目の柱が汀線と交差する付近の状況を撮影したのが**写真-11**である。浜崖の高さは0.8mである。注意深く観察すると、砂州には多くの縞模様が見える。これは侵食を受けた砂州が、遡上波または飛砂の堆積作用によって時間をかけて形成されたものであり、それが急速に侵食されたことを表している。これらの写真から判断する限り、海浜はいまだ安定しておらず、したがって今後も浜崖侵食が進む状況にあると推定される。

(3) 航路における堆砂

航路における堆砂状況を調べるために、まず湘南大橋上から砂州の形成状況を撮影したのが**写真-12**である。導流堤と右岸の間に写真に示すように大規模な砂州が発達している。この砂州の手前（上流）側にも浅瀬が続く、湘南大橋下部付近まで斜めに浅瀬が延びている。同様に、下流側でも碎波の白濁状況から分かるように河川の流下方向に対し浅瀬が斜めに延びている。このため写真に示すように、右岸側に沿って下流方向へと移動する船舶は、右岸沿いから大きく左にカーブした後、再度舵を右に切って導流堤間を沖合へと航行しなければならない。この場合、写真に示す砂州先端部付近の浅瀬の形状が定まっておらず、状況によってそれが延びるために左に舵を切る場所で事故が起きやすいという問題が生



写真-12 河道内に形成された砂州

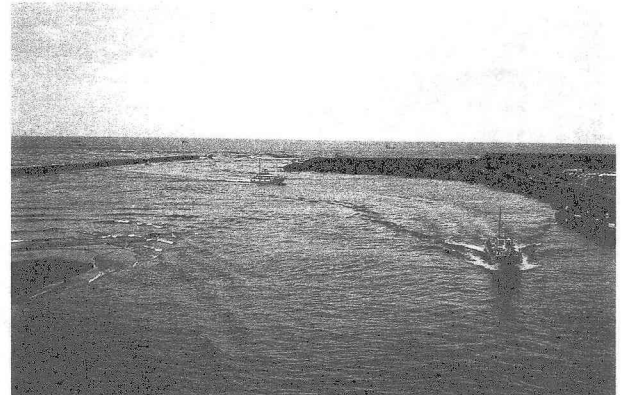


写真-13 右岸側航路を通過中の漁船

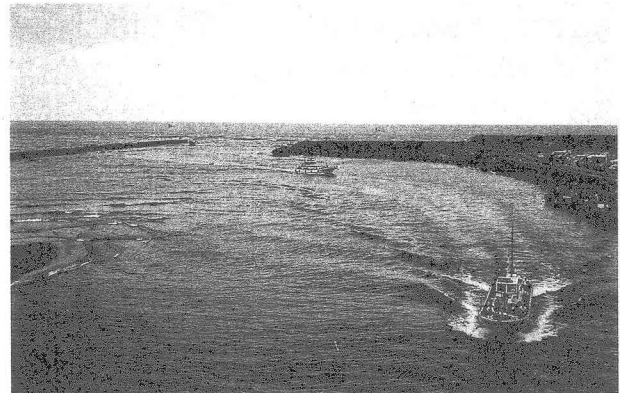


写真-14 右岸側航路を通過中の漁船（続）

じる。

これらの状況は漁船の入港時の写真でさらに確認ができる。**写真-13**と**写真-14**は、湘南大橋上より、写真の焦点を完全に同一としたまま漁船の航行に合わせて短い時間間隔で撮影したものである。したがって写真に写された2隻の漁船は全く同一である。浅瀬を避けながら入港しつつある状況がよく分かる。いずれの漁船も浅瀬を避けるため大きく右にカーブして航行している。

3. 波と海浜流の計算

相模川河口部の地形変化機構について検討するために、波浪・海浜流の数値計算を行った。波浪変形モデルには、磯部（1986）の放物型モデルを用いた不規則波の計算を、また海浜流場の計算には堀川編（1985）の方法を

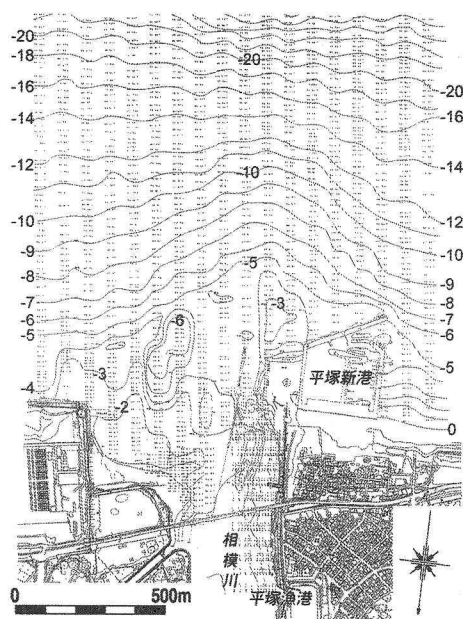


図-1 相模川河口部の深浅図

用いた。波浪変形計算は、沿岸方向に1.9km、岸沖方向に2.3kmの区域で、海浜流計算では同じく1.8km×2.2kmの計算区域を設定して行った。不規則波の成分波への分割数は、周波数が5分割、波向を9分割とした。計算メッシュ間隔は10mである。海底形状は2002年測量の深浅図から与え、入射波条件は宇多らりを参考として、通常時波浪の $H_0=1.0\text{m}$ 、 $T=7\text{s}$ 、入射波向は河道に直入射する方向として $S10^\circ\text{E}$ とした。また潮位条件はM.S.L. (平均潮位) とした。

図-1には2002年測量の河口部深浅図を示す。河口沖の-5m以深では河口を中心として等深線が凸状となっているが、従来見られた河口砂州は左岸の海岸線の延長上にはなく、砂州が大きく上流へ遡った結果、フック状の汀線形状が形成されている。また後退した左岸砂州と、海に孤立した導流堤の間を斜めに洪水流が流れたために、その沖には細長い深みが形成されている。さらに左岸砂州の先端部には一部楔状砂州も見られる。図-2には波向分布を示す。左岸砂州の先端部と右岸沖にある浅瀬では、屈折による波の集中も見られる。

図-3は波高分布である。中導流堤がやや斜めに伸びて河口を塞いでいること、また右岸も河口で突出しているために、これらの上流側には波高が非常に小さい静穏域が形成されている。この静穏域は、右岸に沿って上流方向に細長く伸びている。また中導流堤の左岸側では波高が高いのと対照的に、右岸側では波高が低いので、中導流堤の上流端では急激な波高低下が起きている。

図-3に示す波高に対応した海浜流が図-4である。これによれば、左岸側から延びてきた砂州の先端には反時計回りの循環流が生じ、流速が増大している。同時にその沖の河口テラスの縁に沿った岸向き流れも生じている。この流れは、洪水時に冲向きに流出した砂の岸側への回帰をもたらすと考えられる。同様にして右岸沖の浅瀬付

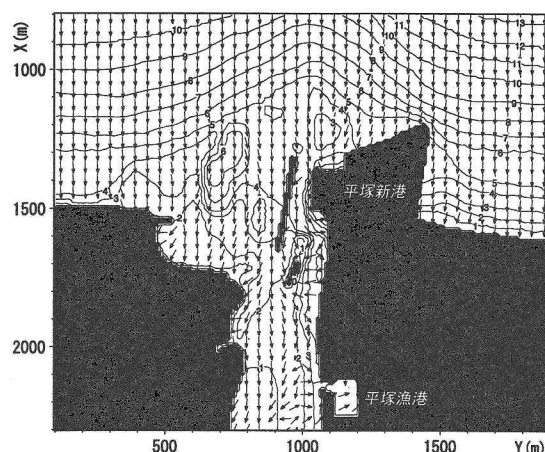


図-2 波向分布

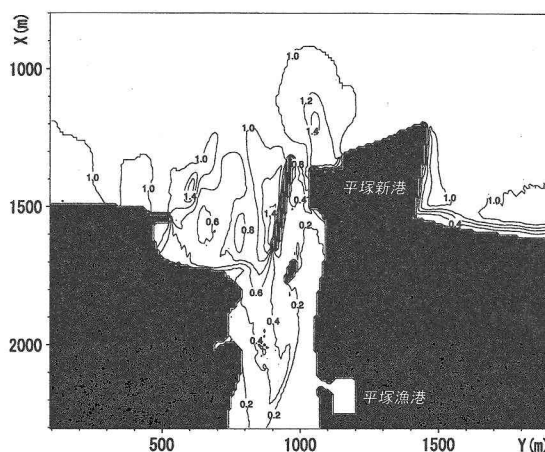


図-3 波高分布

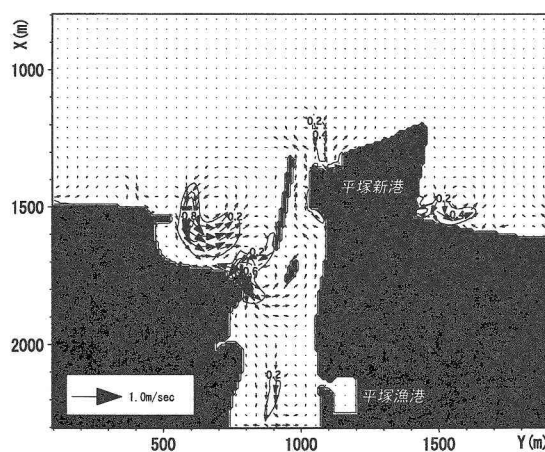


図-4 海浜流の分布

近でも岸向きのフラックスが生じている。

4. 考察

現地踏査と数値計算の結果より、大きく変形した後の相模川河口で生じている現象は図-5の模式図として整理できる。図中の番号で示す現象を以下整理する。

① 洪水流の作用：波浪場の計算によって明らかになったように、相模川河口では、右岸の突起や導流堤などにより右岸側が遮蔽されて砂が堆積しやすい環境となって

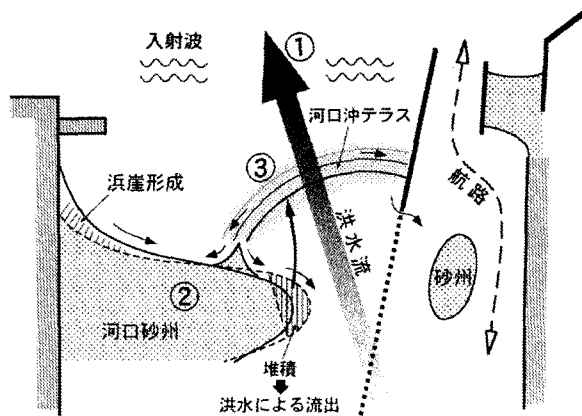


図-5 相模川河口部で生じている現象の要約

いる。このため洪水流は直線的に流下しにくく、東側に傾いて流出した。このような洪水が起こると、左岸砂州の先端部が削られ、その土砂の一部は河口沖テラスへと運ばれる。

② **左岸砂州の変形**：左岸砂州はその付け根部分で侵食が、また先端部で堆積が起きている。砂州付け根での侵食原因は、河口への入射波が砂州の汀線に対して斜め入射となるために、右向きの沿岸漂砂が発達し、沿岸漂砂の供給のない護岸端部から土砂が削り取られることによる。一方、砂州先端部の発達を助長する砂の供給源は2つある。第1は、河口左岸砂州の付け根付近から沿岸漂砂によって運び込まれる土砂である。第2は、沖合の河口テラスから、写真-2に示す楔状砂州を経由した岸向き漂砂によって供給されるものである。洪水流によって左岸砂州が切れた直後において、砂州が側方侵食を受けた部分では、平面的に見て汀線の沿岸方向勾配が著しく大きくなる。このためそれを補償するべく沿岸漂砂によって急速に土砂が運び込まれる。一方、洪水によって沖合に運ばれ、河口テラスを形成した土砂は次第に岸向きに移動し、砂州の復元が進む。

③ **河口テラスの変形**：洪水流によって運ばれた土砂が沖合に堆積して河口テラスが形成されるが、河口テラスは写真-5.6のように沖向きに突出しているため、河口テラスの外縁線に沿って両側へと向いた漂砂が発生し、一

部は左岸砂州へ楔状砂州を経由して戻る。また一部は右側へ運ばれ、導流堤によって移動が阻止された場所に狭い前浜を形成する。さらに一部は上流方向へ運ばれ、右岸沖の砂州部に堆積する。

④ **左岸砂州の安定性**：洪水流の作用は間歇的に生じる。そのたびごとに安定形に近づいていた砂州の先端部が削り取られる。これによって河口沖テラスが形成されるが、その構成土砂の一部は波の作用下で河口砂州へと戻る。しかし一部は右岸側砂州へと運ばれる。この土砂は左岸側へ再び戻ることは不可能である。また河口テラスへの堆積土砂の回帰に時間を要する。さらには規模の大きな洪水では一部の土砂が図-1に示す区域の沖合へと流出しうることから、最終的に左岸砂州にあっては土砂量の欠損が生じ、その分河口砂州の土砂量が減少する。すなわち現況では左岸砂州は不安定な状況下にある。

⑤ 河口テラス外縁付近からの砂州への砂の回帰と、左岸砂州の付け根付近の侵食による左岸砂州への砂供給は現在もなお続いている。このため左岸砂州は現在でも河道中心方向へと発達しつつある。河口砂州がさらに発達を続けると、洪水時に河口砂州はフラッシュされるが、その土砂は再び河口テラスを形成して半円状に堆積し、一部の土砂は旧左岸導流堤の付け根に堆積する。さらに波の作用で右岸近傍の砂州へと移動する。結果として大局的に見ると左岸の侵食土砂が右岸側の砂州（中州）の形成に繋がることになる。

以上のように要約されるので、各種対策の検討においては、右岸、左岸という片側のみに注目する視点ではなく、総合的視点を持って計画を論ずることが必要である。

参考文献

- 1) 宇多高明・木村一雄・寺田好孝・小倉和範・見附敬三：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, 1997.
- 2) 福山貴子・松田武久・佐藤慎司・田中 晋：湘南河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, 2003.