

相模川河口砂州の変動に関する現地調査

FIELD INVESTIGATION OF CHANGES OF SAGAMI RIVER MOUTH BAR

海野修司¹・宇多高明²・佐藤 勝³・清田雄司⁴・三波俊郎⁵・前川隆海⁶

Shuji UMINO, Takaaki UDA, Katsu SATO, Yuji SEITA, Toshiro SAN-NAMI
and Takami MAEKAWA

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

² 正会員 工博 (財) 土木研究センター 理事 なぎさ総合研究室長 (〒110-0016 台東区台東1-6-4 タカラビル)

³ 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)

⁴ 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)

⁵ 海岸研究室 (有) (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)

⁶ (財) 土木研究センター主任研究員 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

Changes of the river mouth bar of the Sagami River caused by a flood and waves were investigated through field observations. The river mouth topography was measured in December 2002 and April 2004, and compared to analyze the impacts of a flood and waves to the river mouth. Returning process of sand carried offshore by a flood was measured on both shores of the river mouth. Dynamic process of sand movement at a river mouth was realized.

Key Words : River mouth, sand bar, flood, returning process of sand, field observation

1. まえがき

近年、相模川河口部では著しい地形変化が生じ、河口の上流に位置する須賀漁港の航路維持に困難を来している。従来、相模川河口では左岸砂州が安定的に延びていたが、この砂州が上流方向へ移動するとともに、洪水流の作用でしばしば流出しその形状変化が非常に大きくなっている¹⁾。こうした状況のもとで、2004年には須賀漁港から相模湾へ向かう航路を安定化させるために長さ50mの中導流堤が建設され、一応の航路確保には役立っているものの周辺部の地形変化はなお激しい。このような河口砂州の変動に関しては、一般に河口砂州は洪水流の作用によりフラッシュされるが、沖合へフラッシュされた砂は波の作用のもとで再び河口へと戻り、河口砂州が復元されることが知られている。最近、河口部への砂の回帰に関し、宇多ら²⁾は等深線変化モデルを用いて沖へ流出した砂が洪水後の波の作用により岸向きに運ばれて河口砂州が復元される状況を予測した。このような場合には、洪水流の作用時間は数時間であるのに対し、波の作用は数週間と長い。また宇多ら³⁾は、ポテンシャル流とのアナロジーに基づいて吸い込み・湧き出しを与えることにより、動的平衡状態にある河口部周辺の海底地形を求める手法を明らかにし、その上で河口に平行導流堤が延ばされている場合、導流堤が河口への

砂の回帰を阻止するものであることを明らかにした。この場合における外力は河川流と波の同時作用である。

本研究では、以上の既往研究や現地状況、さらには砂移動の時間スケールを考慮し、航路維持問題の解決の一助となるよう2002年12月と2004年4月に河口部深淺測量を実施した。また、相模川河口砂州について継続的な観察を行ったところ、上述の土砂の回帰現象と思われる現象が観察されたことから、この観察結果についても述べる。

2. 斜め空中写真に基づく相模川河口の概況調査

2004年12月、相模川河口部の斜め空中写真撮影を行った。ここではこの写真をもとに河口部の概況を明らかにする。写真-1がこの斜め写真である。河口右岸側にある漁港は平塚新港である。この漁港と河口右岸導流堤の間には平面形が台形状の海浜があるが、その陸側半分は浚渫土砂が置かれたものである。一方、海側半分は波の作用で堆積した海浜である。右岸導流堤は長さが短く、その先端付近まで海浜が発達し、先端部は碎波帯内に含まれることから、右岸導流堤を越えて河口内への漂砂が存在しうる条件下にある。また右岸導流堤の上流端は航路への侵入波浪により変形を受けフック状汀線となっている。

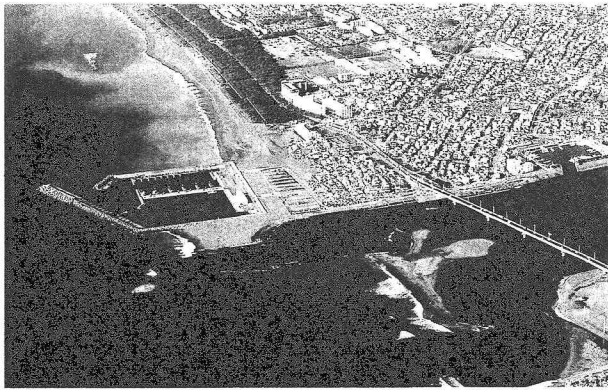


写真-1 相模川河口部の空中写真（2004年12月撮影）

写真下部には左岸の横堤の先端の一部が見える。また中央には孤立した複雑な形状を有する河口砂州がある。この河口砂州は西（写真上方）で旧左岸導流堤と接続している。中央の砂州は両端に砂嘴が発達していることから分かるように、上流方向へと発達しつつある。また砂州中央部で湘南大橋へと大きく突出した砂州の、周辺より標高が高い円形部は2003年まで存在した長大な河口砂州の残りであり、洪水時にはこの部分のみを残して砂州は全て流出した。したがって現況で砂州面積が広がっている点は、沖へと運ばれた砂が中央の砂州へと回帰したことを表している。

3. 深浅測量データの分析

3.1 平面図の比較

図-1は2002年12月の深浅図である。この図によると、既に過去に指摘されているように、河口沖には幅広い河口テラスが発達し-5m付近には平坦面がある。一方、右岸側から旧左岸導流堤へとS字に曲がる深みが続いている。この深みが須賀漁港へ出入りする漁船の航路であって、旧左岸導流堤に沿って沖向きに延びており、これと対照的に右岸導流堤側は相対的に浅くなっている。また右岸にある棧橋付近の水深は約4mと深かった。

2002年10月1日には台風21号による大規模な洪水（河口から6.5km上流の神川橋地点でのピーク流量 $2000\text{m}^3/\text{s}$ ）があり、左岸河口砂州を横切って南南東方向へ向かう洪水が発生し、これによって左岸河口砂州は大きくフラッシュされた。左岸と旧左岸導流堤の中間地点沖にある局所的な深みはこの洪水により形成されたものである。また、右岸にある棧橋の東側区域において、深みより東側では一度河床が上昇した後、再び河床が低下しているが、ここは洪水流によって洗掘された場所である。

このように、図-1には河心から南南東方向を向いて流れた洪水流と、右岸寄りの深みに沿って流れた洪水流の作用が色濃く残されている。そして右岸導流堤沖にある-4mの閉曲線で表される浅瀬は、導流堤間を急縮で流れたと急拡があったため、右岸沖で流出した砂が堆積し

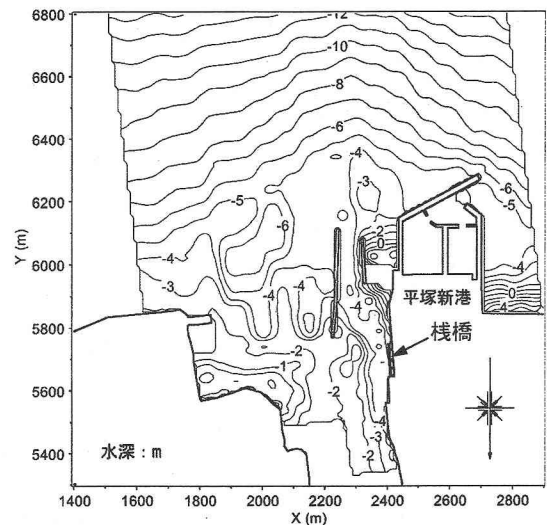


図-1 相模川河口部の深浅図（2002年12月）

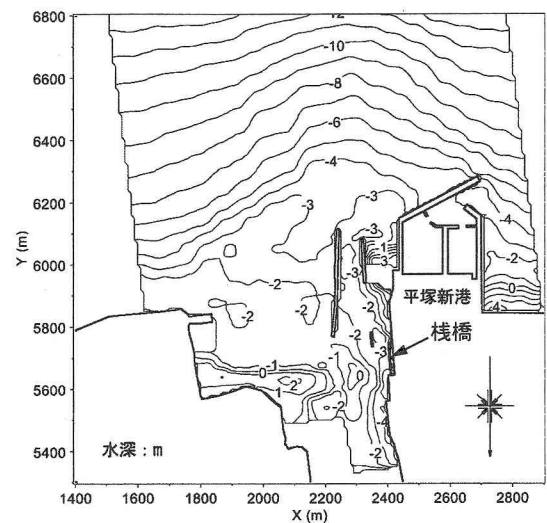


図-2 相模川河口部の深浅図（2004年4月）

て形成されたと考えられる。

図-2は2004年4月に測量された図-1と同一区域の深浅図である。右岸に沿って須賀漁港から沖向きに延びていたS字カーブを描く深みは依然として存在しているが、全体に堆砂が進んで水深が小さくなった。またこの時期までに対策として造られた中導流堤がこの深みの中央に位置している。右岸の棧橋上流部には、2002年当時存在した深みが残されているのに対し、下流側で全体的に浅くなった点は、その後の波浪作用によって河口が埋まるような変化が起きつつあったことを意味する。また旧左岸導流堤と左岸の間の沖合にあった-6mの深みは慣らされて平坦となると同時に、その間にあった2箇所の深みも水深が4mから2mへと小さくなった。

左岸河口砂州は図-1では規模が小さかったが、その砂州が西向きに先端部が約100mも伸び大きく発達した。左岸砂州は孤立した砂の塊であることから考えて、このような砂州の発達に要する砂は沖合から岸向き漂砂によって運び込まれなければならない。また長く伸びた左

岸河口砂州の先端部に着目すると、砂州先端の裏側、つまり上流側には -2m の等深線で囲まれた局所的な深みがある。これは図-1と比較すれば、洪水流によって形成された深みが東側からの土砂の落ち込みによって埋められた残りであることが分かる。

同様に、図-2では旧左岸導流堤の上流約 100m に小規模な島が形成されている。この島の西側に注目すると、そこで -2m の等深線が横向きに張り出して航路を狭めている。この島は左岸砂州と連続しておらず、左岸砂州との間に -2m の水域を残している。このことから、左岸側から砂州の汀線に沿って砂が連続的に運び込まれたのではなく、旧左岸導流堤の上流側付け根付近にあった浅瀬を形成していた砂が航路の通過波によって上流方向へ運ばれ、波浪の静穏となった場所付近で水面上に現れた砂州を形成したものと推定される。つまり、旧左岸導流堤の右岸側では、航路を通過して上流方向へ向かう波が存在し、その波が旧左岸導流堤背後の航路側へと傾いた急斜面で砕波することによって岸向きの漂砂が発生することが堆砂要因と判断される。

一方、右岸導流堤の上流側では -2m の等深線が斜めに三角状に延び、航路に向けて斜めの斜面が形成されている。-1m の等深線も同様である。このような状態で導流堤間から波が進入すると上流方向への沿岸漂砂が生じる。さらに、右岸導流堤と平塚新港の間の海浜が侵食され、-2m 以浅で等深線が後退したことから、この付近から供給された砂が右岸導流堤と平塚新港の間の区域にうちあげられるとともに、右岸導流堤の先端を回り込んで一部が河道上流方向にも運ばれたと考えられる。

3.2 地形変化量の平面分布

図-1, 2 に示した 2 時期の深浅図をもとに海浜地盤高の変化量を算出し、平面分布として整理したのが図-3である。この図によれば調査区域全体で堆積傾向となり、また沖合の水深 20m 以深でも測線ごとにかかなり大きな変動があることから、これらの測量結果については精度があまり高くないと推定される。したがって、土砂量の計算などを行うことはできないが、それでもいくつかの場所で顕著な地形変化が見られる。

まず、左岸と旧左岸導流堤の沖合に形成されていた深みが砂で埋ったことが見てとれる。同様に旧左岸導流堤のすぐ東側の場所でも堆砂が進んだ。もう一つ注目されるのは、図に A で示すように、左岸河口砂州の先端部で堆積が進み、この堆積のために洪水によって形成された深みが埋ったことである。同様に、旧左岸導流堤の上流に形成された小規模な島の右岸寄りでも著しい堆積が生じ、航路を狭めていることが分かる。この土砂の移動方向は旧左岸導流堤の上流端付近から斜め上流方向へ向かった後、西向きに方向を転じて滞筋を埋める向きであったと推定される。

右岸導流堤と平塚新港の間の海浜の汀線のすぐ沖は

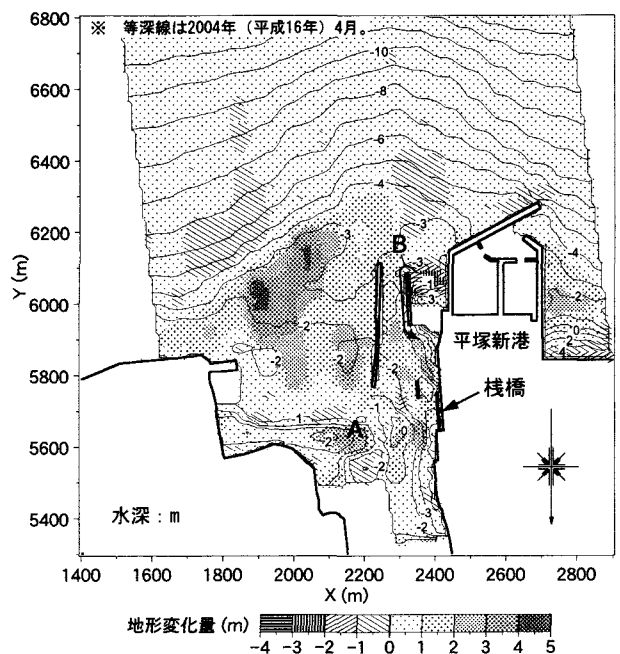


図-3 地形変化量の平面分布 (2002年12月～2004年4月)

侵食されているが、これと同調するように右岸導流堤の上流側の隅角部で堆砂が進んでいる。このことは、図に B で示すように、右岸導流堤の先端を東側に回り込んで砂が上流方向へ運ばれ、それが右岸導流堤の背後に堆積した可能性が高いことを意味する。

3.3 海浜縦断形の比較

2 時期の測量データをもとに図-4 に示す測線配置で海浜縦断形の変化を調べた。測線番号は右岸から左岸へと付けている。図-5 には各測線の海浜縦断形の変化をまとめて示す。測線が河口砂州を横断しているために、左岸に接近するにしたがい砂州高が上昇している。十分砂州が発達している No.5, No.6 では河口砂州の典型的な姿が見られる。すなわち、砂州はほぼ -2m の平坦面から立ち上がり、全体に凹状である。汀線位置と標高 2m の間の前浜勾配は 1/8 である。これに対し、バーム頂 (2.5m) から砂州の裏側では勾配が 1/40 と緩やかになり、砂州裏側の

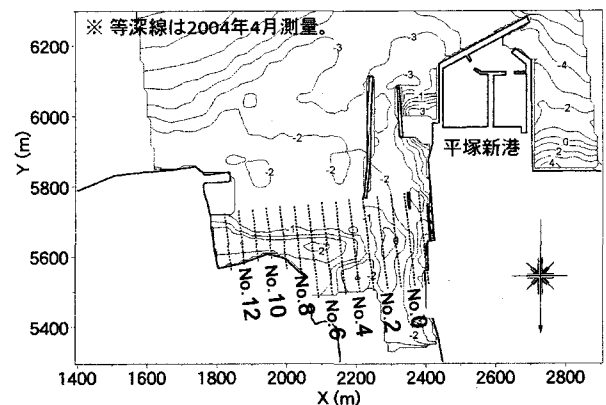


図-4 横断測線の位置

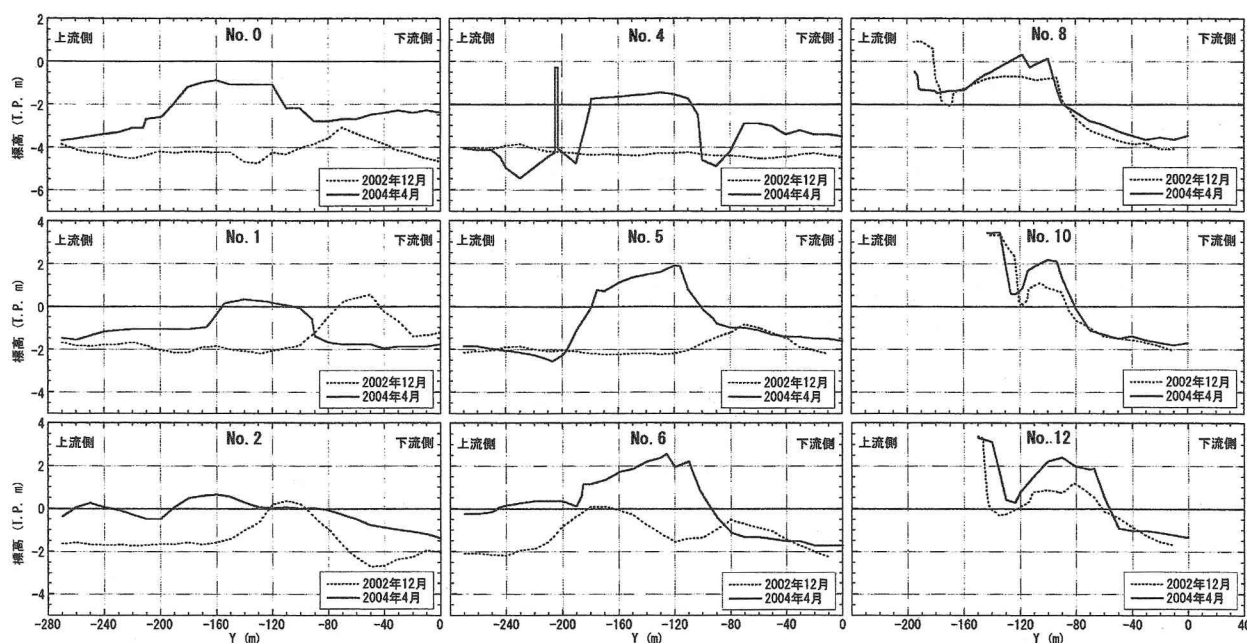


図-5 砂州の横断形の比較

満潮時汀線からは1/4と砂の水中の安息勾配に近い急勾配を保って落ち込んでいる。

以上の点は、河口内における河口砂州の変動計算においては、波のうちあがり高 (h_R : パーム高) は2.5mに、波による地形変化の限界水深 (h_c) は-2mとすべきことを示す。これらの情報は等深線変化モデルなどによる砂州の変動計算に有効に利用できよう。

4. 沖合へ流出した砂の回帰現象の観察

4.1 河口左岸での砂の回帰現象

写真-1に示したように、相模川河口左岸には堤防を守るための横堤(水制)が設置されている。写真-2は、2004年10月31日にこの横堤を撮影したものである。従来、この横堤の沖側には前浜は全く存在していなかったが、洪水後そこに前浜が形成された。しかも異形ブロックの上部まで海側から連続的に砂が堆積した上、ブロック間には漂着物も打ち上げられていることから、砂は波の作用

により堆積したものであることが明らかである。すなわち、洪水流によって河口砂州から沖へと運ばれた砂が、波の作用のもとで岸向きに移動し、それが横堤によって阻止されたために横堤の沖側に堆積したと考えられる。一方、写真-2では碎波線が横堤に対して斜交しており、横堤の付け根では碎波帯幅が広く、先端では狭まっている。このような斜め碎波状況では横堤の先端方向への漂砂が生じ、横堤の前面に堆積した砂は横堤の先端を越えて上流方向へ運ばれることになる。

写真-3は、ほぼ同じ場所から3週間後の11月21日に撮影したものである。異形ブロックでできた横堤の天端上には乾燥した砂が残されているのと対照的に、横堤の沖側に形成されていたなだらかな勾配の海浜では砂が削り取られ、異形ブロックが再び姿を現した。波の作用の及ばない横堤の天端上に堆積した砂と、横堤沖側の wet beach とが明らかに不連続になっていることから、前面で侵食が進んでいることが明らかである。

一方、写真-2によれば横堤先端の上流側には小規模な砂嘴が見られたが、この状況を横堤背後から撮影したの



写真-2 河口左岸の横堤前面に形成された前浜 (2004年10月31日)



写真-3 写真-2と同じ横堤 (11月21日撮影)



写真-4 横堤先端の上流側の砂嘴を横堤の背後から撮影



写真-5 相模川河口右岸導流堤と平塚新港の間の海浜
(2004年9月15日撮影)



写真-6 写真-5と同じ海浜（11月21日撮影）

が写真-4である。横堤先端部背後にはほぼ半円形状の砂の堆積が見られる。この砂の堆積は写真-1では全く見られなかったから、3週間で形成されたことは間違いない。砂の堆積を見ると、横堤沖から進んできた波が先端で回折した後、砂嘴の汀線に沿って斜めに碎波している状況が見て取れる。また砂嘴の付け根では波高が非常に低い。以上の特徴は、横堤の先端を越えて沿岸漂砂によって内側へと砂が運び込まれたことを表している。その際、この程度の地形変化に3週間程度の時間を要するものであることが分かる。

4.2 河口右岸の例

写真-1に示したように相模川河口右岸には導流堤があり、隣接する平塚新港との間に狭い砂浜を有してい



図-6 定点写真撮影位置

る。写真-5は洪水前の2004年9月15日撮影の海岸状況である。前方に見えるのが平塚新港の防波堤と、それに接して設置された消波工である。写真によれば、この消波ブロックと手前側の右岸導流堤（その上に立っているもので写真には写らない）の間に砂浜が広がっていた。この海浜には洪水流によって沖へと運ばれた砂が岸向きに運ばれた結果、新たに砂浜が大きく広がった。11月21日の状況を示すのが写真-6である。写真-5より、9月15日の汀線位置を読み取り写真-6に矢印で示すが、従来から存在した砂浜に砂礫が堆積して汀線が前進し、小高いバームが形成されたことが分かる。

この区域は西側を平塚新港の防波堤によって区切られており、孤立した海浜であることを考慮すれば、砂の唯一の供給源は沖合からの岸向き漂砂に求めなければならない。一方、沖合には図-1にも示したように、洪水流により沖合へと運ばれた砂が堆積していることから、その砂が波の作用でこの狭い海浜にうちあげられたものであることが分かる。

以上のように相模川河口の両岸では、いずれもよく似た形式をもった岸向き漂砂が観察された。

5. 定点写真による砂州変動の観測

5.1 観測方法と観測期間中の波浪・流量

相模川河口部では、河口部の地形変化状況・航路への堆砂状況などを把握する目的で、平塚市により2003年4月から現在まで40回以上の定点写真撮影が行われている。図-6に示すように、湘南大橋上の定点A、Bから下流側の状況を水平方向の連続写真として撮影が行われており、河口砂州の発達状況や洪水によるフラッシュ後の砂州の変化状況などが見て取れる。ここでは、湘南大橋上の2地点で撮影された写真について、各時期の連続写真をいったんパノラマに接合した上、同一画角で切出し、時系列に並べて整理した。

図-7は、観測期間中の波高と河口部流量の時系列データである。波高データは（独）防災科学技術研究所平塚沖波浪観測塔の1/10波高を使用した。流量データは寒川堰地点における流量から換算した河口部流量である。

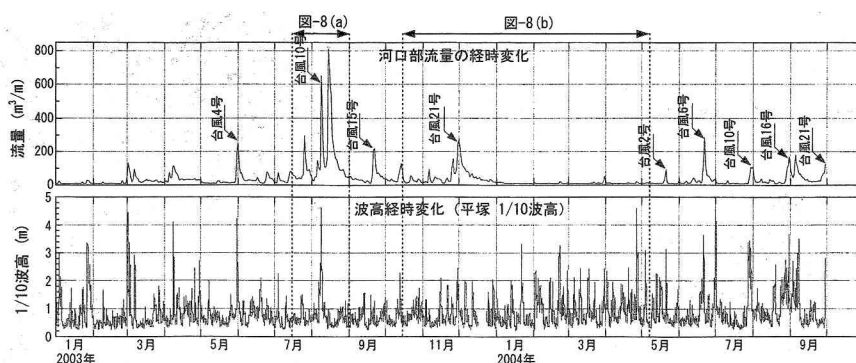


図-7 観測期間中の波高および河口部流量

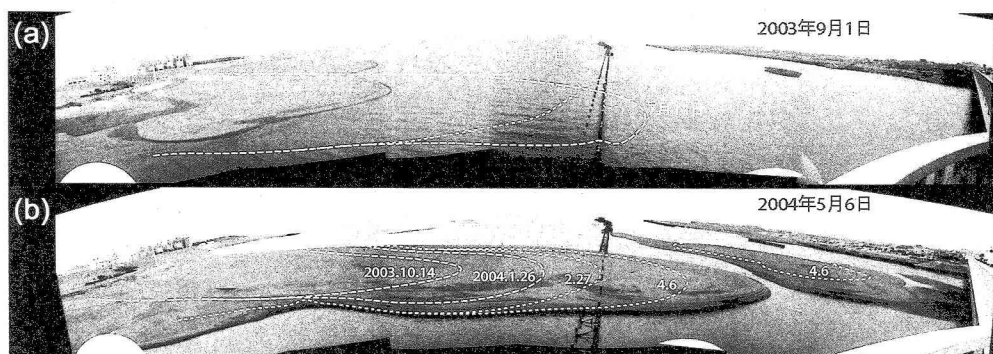


図-8 定点写真観測結果 (定点A)

波高データによれば、春～秋期では1/10波高で4mを越える波高が数回出現している。これに対して冬期は高波浪の頻度は低い、波高1.5～3.0mの波浪の来襲頻度が高い。河口部流量データによれば、主に夏～秋期の台風時に100～800m³/sの洪水が発生している。とくに2003年8月の台風10号による洪水とその直後に発生した洪水の規模が大きかった。

5.2 観測結果

(1) 洪水による左岸砂州のフラッシュ

2003年8月9日に台風10号が襲来し、台風にとまなう洪水（流量約650m³/s）により図-8(a)のように左岸砂州の先端部がフラッシュされた。これに引き続き8月15日に生じたさらに規模の大きな洪水（流量約810m³/s）により砂州の西側半分が大きくフラッシュされた。2003年4月～2004年9月の期間を通して上記以外に砂州のフラッシュが起きていないことから、相模川河口にあっては、河口部流量として600～800m³/sが砂州フラッシュの限界流量の目安になると考えられる。また砂州がフラッシュされる場合、砂州先端には下流方向へ向いた細長い砂州が形成されることも分かる。なお8月11日の汀線形状では砂州の先端に砂嘴が形成されているが、これは洪水後の波浪の作用の結果と考えられる。

(2) 砂州の再発達

規模の大きな洪水が発生しない冬期には、図-8(b)のように左岸砂州が右岸方向へと大きく発達する。同時に旧左岸導流堤の下流端にも砂州が形成されやすく、航路

沿いに進入する波の作用で上流へ長く伸びる。砂州を発達させる砂は、砂州の沖側の浅瀬から左岸砂州へ供給され、その後沿岸漂砂によって砂州の先端方向へ運ばれる場合と、沖合の浅瀬から供給され、旧左岸導流堤の上流側を経て航路沿いに運ばれる場合とがある。これは3節で述べた結果と一致する。また図-8(b)によれば、河口砂州の復元には約半年を要することが分かる。

6. まとめ

本研究によれば、相模川河口砂州は洪水によってフラッシュされた後、その構成土砂が両岸に沿って岸向きに運ばれたことが判明した。また、河口の中央部においても砂州の発達が続くことから、そこでも砂の岸向きの回帰が起きていると判断された。河口砂州の保全を図りつつ航路維持を行うには、このような砂の回帰現象についての十分な理解が必要である。

参考文献

- 1) 宇多高明・佐藤 勝・清田雄司・渡辺宗介・芹沢真澄・古池 鋼：相模川河口砂州と河口テラスの変形機構，海洋開発論文集，第20巻，pp. 527-532, 2004.
- 2) 宇多高明・芹沢真澄・高橋 功：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, 2004.
- 3) 宇多高明・芹沢真澄・古池 鋼・三波俊郎：2次元ポテンシャル流とのアナロジーに基づく動的安定海浜形状の予測法，海岸工学論文集，第51巻，pp. 491-495, 2004.