

天竜川河口砂州の伸長に伴う河岸侵食と海浜変形

宇多高明* ・鈴木忠彦** ・大石守伸***
山本雅彦**** ・大谷靖郎*****

1. まえがき

河口砂州の形成は、しばしば洪水流の流下を阻害するとともに、砂州周辺における河川流の湾曲による河岸侵食などの問題をひき起こす。一方、海岸側から見れば、河口砂州の形成と洪水流によるフラッシュは、周辺海岸への漂砂供給を論じる上で重要な問題となる。この種の問題は、波と河川流の作用が複雑に関係するため、現象を解明するためには現地観測に基づく実態把握が不可欠である。しかし、沢本ら(1987)や佐々木ら(1987)による阿武隈川の河口砂州に関する研究を除いて、大河川における検討は十分ではない。そこで、本研究では、天竜川を対象としてこのような検討を行うものである。

天竜川は、河床勾配が1/500~1/1,000とかなり急で、河口まで粗礫を運搬している河川であり、河口には長大な砂州が発達している。最近、天竜川では河口砂州が東向きに大きく発達したため、河口の左岸域では河岸が激しく侵食され、河川堤防の基礎が洗掘される状況となった。しかし、6月30日に $Q=2,868\text{ m}^3/\text{s}$ の洪水が発生し、砂州がフラッシュされたため堤防の被災は一応まぬがれた。このような河口砂州の大規模な伸長とフラッシュは、サイクリックに生じていると考えられるが、その機構は定量的には十分明らかにされていない。本研究は、深淺測量データや航空写真を分析し、河口砂州の発達・消失過程について考察するものである。

2. 天竜川河口砂州および海浜地形の短期的変化

(1) 河口部平面地形の比較

天竜川の河口砂州の急激な伸長状況を調べるために、1993年3月~7月の間に3回の深淺測量を行った。得られた深淺図を図-1, 2, 3に示す。測線は、河口左岸側にNo. 135が、右岸の浜松側にNo. 143が位置し、測線間隔

は200mである。1993年3月28日測量の図-1によると、-5m~-10mの等深線が最も沖合に突出した部分は河口中心の東約1.5kmに位置し、河口部の等深線形状は東西で非対称となっている。また、河口砂州は浜松

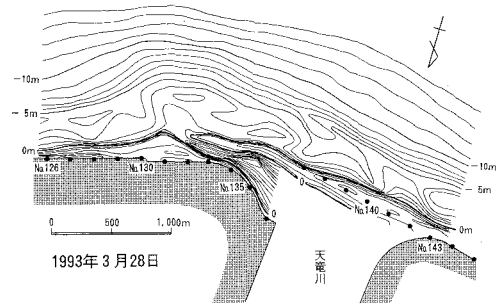


図-1 天竜川河口部の海浜地形 (1993年3月28日)

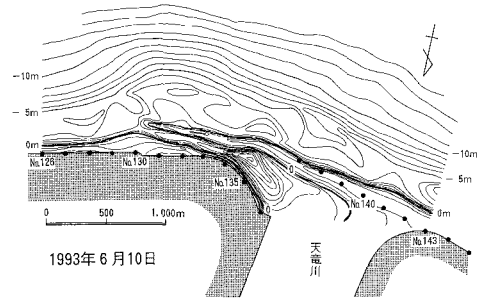


図-2 天竜川河口部の海浜地形 (1993年6月10日)

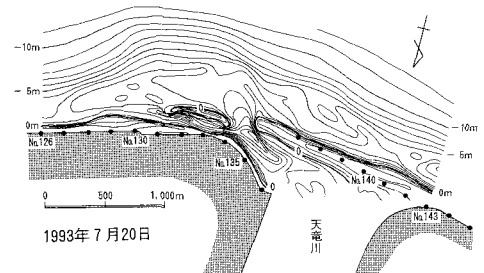


図-3 天竜川河口部の海浜地形 (1993年7月20日)

* 正会員 工博 建設省土木研究所 河川研究室長
** 建設省河川局防災課 災害査定官
(前)静岡県土木部河川課 課長補佐
*** 静岡県土木部河川課
**** 静岡県袋井土木事務所 工事第二課長
***** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー 海岸環境部

側の起点 (No. 143) から東に 2.2 km まで細長く伸びている。これらのことは、河口中心に対して西側からの入射波の頻度が高く、東向きの沿岸漂砂が卓越していることを示している。また、沖合の -7 m 以深の等深線はほぼ平行であるのに対し、-6 m 以浅ではバール・トラフの形成によって非常に複雑な形状となっており、碎波に伴う地形変動が -6 m 以浅で著しいことを示している。さらに、汀線が -7 m 以深の等深線とほぼ平行な点も特徴的である。なぜなら、砂州に対する平均的な波の入射方向は、これらの等深線や汀線とほぼ直角に近い角度となっていると考えられるからである。一方、砂州が折れ曲がっている No. 135 付近の沖合には浅瀬が存在しており、水面上の砂州の平面形状と沖合地形に強い関連が見られる。

図-2 は、1993 年 6 月 10 日の河口砂州形状である。河口砂州はさらに東向きに伸び、砂州の裏側に狭い水路が形成され、河口は左岸堤防の位置よりも東に約 300 m も移動した。砂州の先端は、図-1 の段階では -2 m 以浅で発達していたが、図-2 では -3 m まで非常に急勾配で落ち込む状況となった。砂嘴は浅海域ほど細長く、しかも急速に伸びるが、急深な所では伸長速度が大きく減少し、しかも形態的には円弧状になりやすい特性があること (宇多・山本, 1992) を考慮すると、砂州は 6 月 10 日の段階では 3 月時点と比較して既に伸長しにくい状態になっていたと判断される。

図-3 に洪水後の 1993 年 7 月 20 日の砂州状況を示す。砂州は No. 134 付近で切れ、新たな河口が形成された。また、東側の砂州は島状にとり残され、その両端部では波の作用により小さな砂嘴が形成された。砂州のフラッシュ前後の海浜地形を比較すると、新河口の東側では土砂の流出によりかなり浅くなったことがわかる。

また、図-1 と図-2 を比較すると、砂州の先端は、3 月時点では測線 No. 132 付近にあるが、6 月時点では測線 No. 131 を越え、砂州の延長は 2 km に達している。砂州の幅は、中央部では 100~200 m であるが、先端部では 30~50 m と非常に狭い。砂州の先端は 3 月から 6 月の間に約 300 m 東へ伸び、その伸長速度は約 4 m/day に達した。一方、左岸側では河口砂州の伸長と対応して舌状砂州が東側へ約 200 m 移動するとともに、舌状砂州の突出度が減少してなだらかな形状となった。

(2) 河口部断面地形の変化

河口砂州を含む海浜断面地形の変化を図-4 に示す。
 (a) 砂州伸長時を見ると、沖合に砂州が伸びた No. 131 付近では、砂州背後の河岸は河川流の側方侵食によって大きく削られている。測線 No. 131 での汀線後退量は約 100 m にも達し、高い浜崖が形成された。一方、No. 131~No. 132 の海浜断面を見ると、河口砂州は沖合に存在していた水深 1~2 m 程度の浅瀬の上に形成されたこ

とがわかる。このような浅い平坦面上の土砂堆積の場合には、漂砂供給量に対応して砂州は速やかに伸びることができる。ところが、砂州先端東側の No. 130 では、砂州形成前の No. 132 のような平坦面は存在せず、先端付近の水深は 3~4 m と深い。このことは、同じ漂砂供給量に対して砂州が既に伸長しにくい状態に達していたことを表している。

砂州背後の河道は、両岸ともに急勾配となっており、No. 135 付近には最大水深が 9 m の深みが存在する。また、既に沖合に砂州が存在していた No. 133~136 では、砂州背後の河道断面の変化は小さく、砂州の伸長による影響はほとんどない。しかし、砂州の付け根の No. 139~143 では、河口テラスが全般的に侵食されていることから、この付近からの侵食土砂が供給源となって砂州の東側への発達を促したと考えられる。

図-4(b) の砂州のフラッシュ前後を見ると、砂州が切断された No. 134 付近では、旧砂州の頂部が -1.3 m まで削られ、-1/180 の逆勾配が沖合 600 m まで続き、さらにその沖側には著しい堆積が生じている。このような砂州フラッシュ後の海浜断面形状は、佐々木ら (1987) の阿武隈川河口の場合と非常によく似ている。また、砂州が切れた No. 132~No. 134 の沖合ではいずれも土砂の堆積が見られるが、最も顕著な堆積は、旧河口から東側の No. 130~No. 127 の沖合 100~400 m の範囲であ

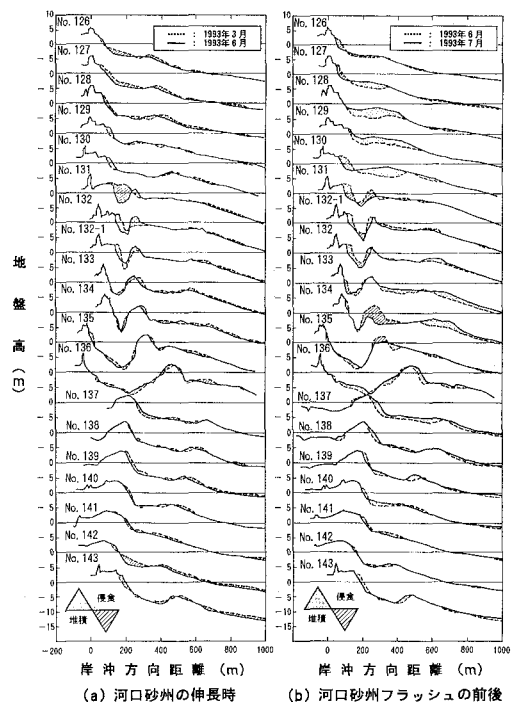


図-4 河口部縦断面形状の短期的変化

る。一方、新河口より西側の No. 136 以西や東端の No. 126 では顕著な地形変化は見られない。

そこで、No. 135～No. 126 の区間のうち No. 132 以東では-5m 以浅、それ以西では-8m 以浅を対象に断面積変化量を求め、測線間隔 200 m を乗じて土砂変化量を算出すると、侵食土砂量は $3.7 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、堆積土砂量が $7.8 \times 10^5 \text{ m}^3$ となった。測線間隔がやや広いので土砂量の計算精度はあまり高くないが、それでも砂州部から数 10 万 m^3 の土砂が沖合へ流出したことがわかる。

河口砂州の砂州高の沿岸分布を図-5 に示す。砂州高は、砂州の付け根の No. 138 以西では約 4 m と高いが、測線 No. 137 では約 2.5 m と低くなり、砂州の先端では 1 m 程度の高さとなっている。したがって、越流による砂州のフラッシュは、No. 137 以東で発生しやすい状況にあると考えられる。

(3) 河道の変化

河口砂州の欠壊前の河道断面を図-6 に示す。砂州背後の河道は兩岸ともに急勾配となっており、No. 3 (No. 135 付近) では最大水深が 9 m に達している。0 m 以深の河道断面積は、No. 3 より上流では 1,000 m^2 以上と大きい。No. 4 では約 300 m^2 と急に小さくなる。洪水前の河川流量は約 700 m^3/s であったことから、測線 No. 4 より下流側の河道では、縮流によって非常に速い流速が生ずる条件になっていたことがわかる。

砂州切断後の河道断面図-7 である。上流側の No. 1 の断面積はほとんど変化していないが、新河口のすぐ上流の No. 3 では断面積が約 20% 減少している。また、左岸側の断面形には変化が見られないのに対して、砂州側では土砂の堆積が見られる。これは、新たに河口が開削されたために洪水直後に新河口より波が侵入したことにより、海側から土砂が搬入されたことを表している。

3. 河口砂州の空中写真の判読

天竜川河口では、これまでに空中写真撮影がくり返し

行われてきているが、ここでは、1993年6月7日に撮影された空中写真をもとに河口周辺の海岸特性を調べてみる。写真-1は、河口右岸の浜松側より東を望んだ写真である。写真手前にある消波堤の東側端部では汀線がフック状となり、西側に比べて汀線が後退していることから、

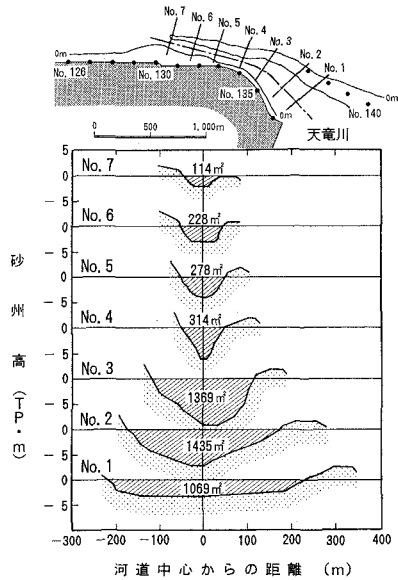


図-6 流軸に沿った河道の断面形状 (1993年6月10日：砂州欠壊前)

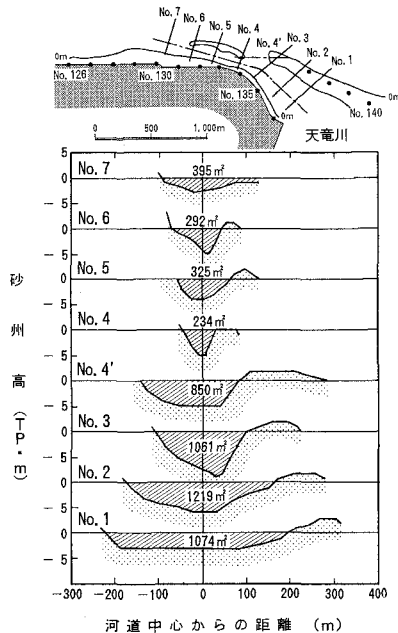


図-7 流軸に沿った河道の断面形状 (1993年7月20日：砂州欠壊後)

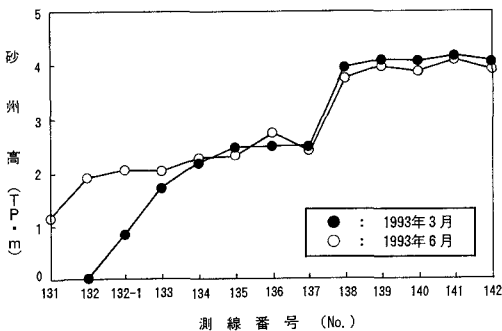


図-5 砂州高の沿岸分布

この付近では東向きの沿岸漂砂が卓越していることを示している。写真-2は、河口砂州のほぼ中央より東を望んだ写真であり、河川流が細長く東向きに流れていることがよくわかる。また、河口砂州の汀線は直線状に延びておらず、写真に示すように沖向きに凸状となる部分が存在する。その沖合には白濁した部分が見られ、その付近に浅瀬が存在することがわかる。この浅瀬の存在は、図-2の深浅図にも示されている。波が砂州に対してほぼ一様に作用するのであれば、このような突出地形は直ちに平滑化されてしまうはずであるが、この突出地形は

かなり安定的に存在することは興味深い。写真-3に河口とその東側の海岸状況を示す。河道の左岸側は、砂州の伸長とともに河川流による側方侵食で削られ、浜崖が形成されている。また、河口の沖合には、河口をとり囲むように白濁した砕波が見られる。これは、河口の周辺に河口テラスが発達していることを表している。

4. 天竜川河口周辺地形の長期的変化

空中写真の判読による河口砂州の1982年～1993年の変化をまとめると図-8となる。天竜川の河口砂州は、常に右岸から左岸に（西から東に）向かって伸びており、長期的に見ても河口砂州の形成には東向きの沿岸漂砂が大きく関与していることがわかる。また、河口砂州が発達すると砂州の左岸側の砂浜は削られる。特に、1991年3月～1993年3月の2年間では河口砂州が約500m伸びたが、この間に左岸の砂浜が大きく侵食されている。これは、河口砂州の発達とともに河川の流軸が左岸側に移動したことによる。これらの写真から砂州先端の延伸速度を求めると、1984年～1990年では3～10m/monthであるのに対して、1991年3月～1993年3月では約20m/monthとなり、最近の砂州の発達速度は非常に大きい。また、この期間中には、砂州が2回（1982年1月～1983年11月、1990年2月～1990年11月の間）切れている。

河口周辺の断面地形の変化を図-9, 10に示す。1987年7月～1990年7月では、No. 135における堤防前面の侵食が著しい。これは、砂州の伸長により河川の流軸が岸



写真-1 天竜川河口右岸（浜松側）の状況



写真-2 天竜川河口砂州の状況



写真-3 天竜川河口左岸海岸と河口テラスの状況

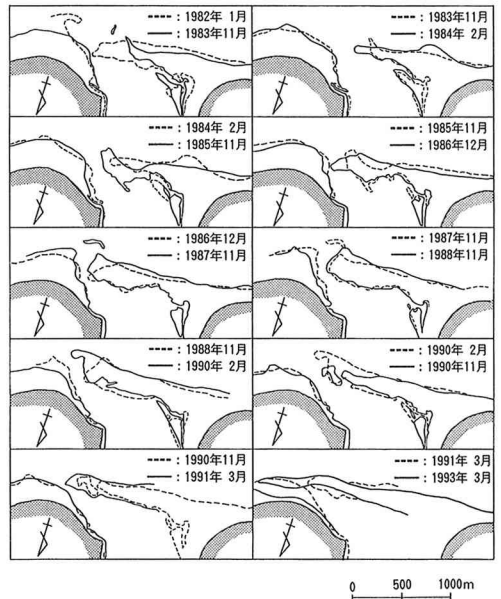


図-8 河口砂州形状の長期的変化 (1982年～1993年)

側に移動したために生じたものである。1990年7月～1993年7月では、No. 131 および No. 133 において、沖合に形成された砂州の背後の河川流による侵食が顕著であり、堤防前面の砂浜が大きく欠壊している。また、No. 133～No. 137 では河口砂州の沖合の侵食が著しく、No.

137 では砂州が岸側に後退している。一方、No. 141 では、砂州の発達に伴う著しい堆積が生じている。

5. 結 論

① 天竜川の河口砂州の急速な伸長は、東向きに沿岸漂砂によるものであり、砂州の伸長に必要な土砂は主として浜松側の砂州部分より供給された。

② 砂州の汀線はほぼ直線的ではあるが、詳細に見ると汀線の海側への突出が見られた。このような突出部は沖合の浅瀬の存在と対応しており、特に河口テラスの付け根部分ではこの特徴が顕著であった。

③ 河口砂州が東向きに発達したことに伴い、砂州背後の海浜は河川流の側方侵食により大きく削られ、浜崖が形成された。また、河岸の侵食深さは、従来の河道に最も近い所から河口の先端へ向けて次第に減ずる分布を示していた。

④ 河口砂州は、水深約2mの河口テラス上では急速に伸長したが、河口テラスの発達が見られない急深な場所では伸長速度が大きく減少した。このことは、砂州の発達を支配する供給土砂量および河口テラスの形状に対して、砂州の発達がほぼ限界状態に達していたことを示している。

⑤ 砂州は、 $Q=2,868 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水により No. 134 付近で切断されたが、その位置は、砂州高が T.P.+2.5 m 以下で、洪水流が河道を直線的に流下して砂州に衝突する箇所であった。また、砂州のフラッシュにより約40万 m^3 の土砂が流出し、河口テラスが形成された。

以上のように、天竜川の河口砂州を対象として波の作用による砂州の伸長と洪水流による砂州の切断の過程を明らかにした。この種の問題を議論する場合には、沿岸漂砂の状況、河口テラスの発達状況そして砂州高の沿岸分布等を検討する必要があると考えられる。また、砂州によるせき上げおよび砂州フラッシュが起こる限界砂州高として、天竜川では約2.5mが目安として与えられた。

参 考 文 献

宇多高明・坂野 章・山本幸次 (1991): 遠州海岸の1960年代以降における海浜変形, 土木研究所報告, 第183号, pp. 23-70.
 宇多高明・山本幸次 (1992): 砂嘴形成海域の海底地形と砂嘴形態の関係について, 地形, Vol. 13, No. 2, pp. 141-157.
 佐々木隆士・宇多高明・刀禰 賢・菅原信雄・海野 仁 (1987): 洪水流による河口砂州のフラッシュの観測, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 327-331.
 沢本正樹・首藤伸夫・谷口哲也 (1987): 阿武隈川河口砂州の変形過程, 土木学会論文集, 第387号/II-8, pp. 179-188.

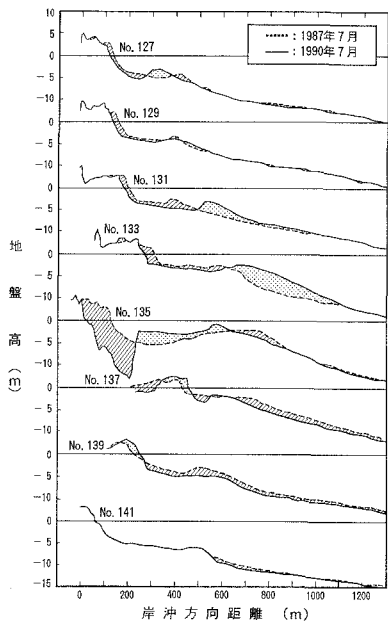


図-9 河口部海浜縦断面地形の変化 (1987年と1990年の比較)

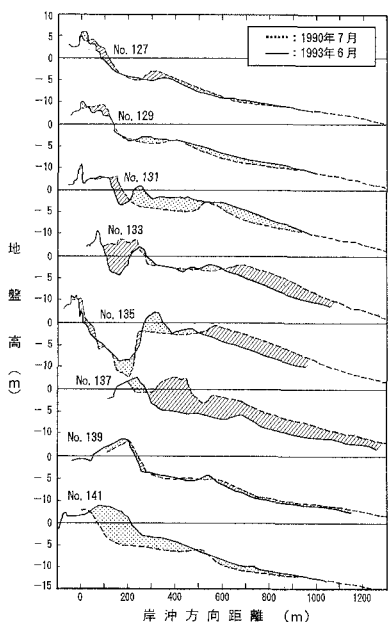


図-10 河口部海浜縦断面地形の変化 (1990年と1993年の比較)