干潟海岸に流入する祓川河口部における 地形変化の実態

BEACH CHANGES AROUND MOUTH OF HARAI RIVER FLOWING INTO TIDAL FLATS

宇多高明¹・三波俊郎²・宮原志帆²・芹沢真澄³・福澤一博⁴

Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI, Shiho MIYAHARA,
Masumi SERIZAWA and Kazuhiro FUKUZAWA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なごさ総合研究室長兼日本大学客員教授
理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

²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)

³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301)

⁴ (株) スリーエヌ技術コンサルタント (〒812-0007 福岡市博多区東比恵3-24-29)

Sand movement between the tidal flats and a beach was investigated, taking the Kutsuo coast facing Suo Sea in Seto Inland Sea as the example. The shoreline changes were investigated using past aerial photographs and bathymetric survey was carried out around the mouth of the Harai River flowing into the tidal flats. Shoreward transport of sand originally supplied from the offshore zone of the tidal flats, while forming a slender sand bar, and the landing of such sand were observed on this coast, where very wide tidal flats develop.

Key Words : Tidal flats, Kutsuo coast, Suo Sea, shoreward sand transport, Harai River

1. まえがき

福岡県杓尾海岸は、図-1に示すように周防灘に東面し、沖合約1.2kmまで広大な干潟が発達していることで特徴付けられる。周防灘は、瀬戸内海の一部のため相対的に外力水準が低く、結果的に外海・外洋に面した海岸で観察される海浜変形と比べるとその規模は小さいと考えられるが、潮位偏差が大きいのと対照的に波浪強度が小さいことから、特徴ある地形変化も起こり得ると考えられる。また、沖合の干潟が潟土で構成されているのに対し、砂浜は砂礫で構成され、質的にも異なることもまた干潟とその縁辺に沿って延びる砂浜での地形変化が外海外洋に面した海岸での現象と比較して異なる要因のひとつを与える。このため、例えば、最近足利ら¹⁾が明らかにしたように、干潟上の覆砂が波の作用で海岸線へと運ばれる現象なども観察される。本研究では、外海・外洋に面した海岸での海浜変形と対比しつつ、足利らが研究の対象としたのと同じ周防灘に面した福岡県杓尾海岸を対象として、過去の空中写真の判読を行うとともに汀線変化解析、さらには地形測量や底質採取などの実測を行い、干潟域での海浜変形特性、とくに洪水により干潟面へと運ばれた砂の海岸への回帰過程を実測により明らかにする。

2. 研究方法

研究対象地区は杓尾海岸を中心とし、北側は蓑島、南側は杓尾新漁港までを含む区域とした。この地区で1947～2008年に撮影された空中写真の判読を行い、次にそれらを拡大して対象地区の詳細な地形変化を調べ、祓川の河口砂州の変化や河口幅の変化を明らかにした。また2005年11月実施の深淺測量データに加え、2010年2月には縦断測量の再測を行って地形変化を調べた。さらに2009年12月27日の干潮時には海岸の現地踏査と底質採取・前浜勾配の測定を行った。

図-1 福岡県杓尾海岸の位置

図-2 季節別のエネルギー平均波向の分布
(NOWPHAS荻田港)

沓尾海岸での朔望平均満潮位H. W. L. はT. P. +2.07m, 平均潮位はT. P. +0.10m, 朔望平均干潮位L. W. L. はT. P. -2.12mにあり, 潮位偏差が大きい. 波浪条件については, 沓尾海岸の北東9kmに位置する荻田港での波浪観測結果 (NOWPHAS荻田港) をもとに, 測得率が高い2000~2007年のデータをもとに分析すると, 通常時の波高は1m以下がほとんどで, 周期は2~4sで変動している. 図-2は, 荻田港における季節別のエネルギー平均波向の分布を示す. 各季節と通年で波向はよく似ており, エネルギーのピークから見た波向はN85°Eである. またエネルギー平均波高は0.38mである.

3. 広域空中写真の判読

図-3には1947, 1966, 1974, 1999年の空中写真を示す. 1947年には祓川河口から蓑島の背後へと北向きに長さ1300m砂州が発達し, 蓑島背後には長さ380mの砂嘴が伸びていた. 祓川河口沖から干潟面上には流路が延び, この流路は沓尾の岬に沿って東向きに曲がり, 沖向きに伸びた流路の左岸側には何本もの縦縞模様が見える. これはそれらの分布状況から祓川からの流下土砂が波によって岸向きに運ばれる過程を表していると考えられる. その証拠の一つに, 祓川河口左岸にはそれらが集積して突出した砂州が形成されていたことがあげられる. 波の作用下では, このような突出した砂州は砂が連続的に供給されなければ安定的に存在することができない (動的平衡状態) ので, このような砂州が発達した状況は沖合から岸へと砂が回帰していることを表していると考えられる. さらに干潟沖のP付近では, 5列の細長い沿岸砂州が発達し, それらは蓑島東端の砂浜と沓尾の東側にあった砂浜へと続いていた. これらから, 当時蓑島と沓尾の東側の海浜には祓川から沖合の干潟へと運ばれた砂が供給される条件にあったことが分かる.

1966年までには, 祓川河口から蓑島の背後へと1300m北向きに伸びていた砂州の大部分を埋めて干拓が行われ護岸で囲まれた. この結果, 沓尾海岸の

図-3 沓尾海岸周辺の空中写真 (広域)

砂浜は護岸と祓川河口の間のみになった. しかし沓尾海岸では砂州に対して縦縞模様で示される砂州が発達していた. 祓川河口沖左岸での細長い砂州の発達状況は1974年も同様である. 1999年には, 沓尾漁港 (島式) の建設が始まった. その後砂州自体には大きな変化が起こらずに現在に至っている.

図-4 空中写真（沓尾海岸と祓川河口）

4. 沓尾海岸と祓川河口の詳細地形の判読

図-4には沓尾海岸と祓川河口の詳細空中写真を示す。1947年では祓川河口から右に緩やかに湾曲した滞筋が干潟面へと続いていた。この滞筋の北側には幾筋もの縦縞模様が伸びていた。1948年にもほぼ同様な特徴が見られるが、これらの細長い縦状砂州の陸側端に砂の塊が形成されているのがわかる。1947年と1948年の比較では左岸砂州の伸長に伴い河口幅が50mから40mまで狭まった。1961年には埋め立て護岸とともに沓尾漁港（旧）の概形が完成し防波堤が伸びた。東西方向に伸びた防波堤は1947年当時の滞筋を塞ぐように伸びたため滞筋が北側へと押し出された。1966年では、沓尾漁港（旧）の東防波堤の東側には砂が三角形に堆積した。ここでは1961年には砂の堆積は見られなかったことから、祓川の流出土砂が干潟面上へと運ばれた後、波の作用で右岸側の海岸に到達後防波堤脇まで運ばれたと考えられる。一方、河口には砂嘴が伸びているが、これが防波堤の役割を果たした結果、その上流側に安定した干潟を形成させており、また砂嘴が河口で突出しているためそこで流路が狭められている。1974年では沓尾漁港の航路に防波堤を回り込んで砂が堆積している。

さらに1966年と比較して砂嘴がさらに伸びたことが分かる。しかし1981年には再び開口幅が大きくなっていることから、この間に洪水の作用か、あるいは掘削が行われたと考えられる。1999年では沓尾漁港の入口に東側から回り込んだ砂が堆積して砂嘴が形成されている。2005年では沓尾漁港内に堆積してきた砂州は除去される一方、東防波堤の北端に漁港への堆砂防止用の突堤が伸ばされた。一方、沓尾海岸では1999年と比べて砂浜面積が増加している。このような変遷を経て2008年の状況となった。

図-5には河口砂州の沖側汀線の変化を示す。1948

図-5 河口砂州の沖側汀線の変化

図-6 河口砂州の付け根および先端の岸沖位置の経時変化

図-7 河口幅の経時変化

～1961年における左岸護岸の建設後、砂州は全体に60m程度後退している。図-6は、河口砂州の付け根およびその先端の岸沖位置を読み取り、時間的変化を調べた結果を示すが、1961年までに変化が起きた後、現在まで砂州の位置は安定している。また砂州先端（右岸に最も近接した点）と砂州の付け根（護岸に近接したX=1590m上の汀線位置）の岸沖位置の時間的変化によると、1974年以降逆モードの変化が起きている。

図-7は河口幅の経時変化を示す。河口幅は1947年以降23～50m間で変動している。このような河口幅の変動は、沓尾海岸から河口への沿岸漂砂により運ばれた砂の堆積（プラス要因）と、洪水による砂嘴のフラッシュ、または航路維持のための掘削（マイナス要因）とのバランス関係により定まるが、長期的に見ると1947年以降あまり変化は起きていない。また沓尾漁港（島式）は1990年代に建設されたが、これによる砂州の汀線への影響もほとんど見られない。

5. 祓川左岸砂州の地形特性

図-8には左岸河口周辺の深浅図を示す。行橋総合公園の護岸隅角部近傍に座標原点を、祓川を横断する方向にX軸を、またX=-20mを通してX軸と直交する方向にY軸を定める。この座標系をもとに深浅図が描かれているが、その場合の標高の基準はT.P.0mとする。なお縦断測量は図-8のA-A'、B-B'、C-C'、D-D'測線で行われたが、平面深浅図と縦断形の測量時

図-8 祓川河口左岸砂州の地形

期には約4年間のずれがあるので、平面深浅図から読み取った標高と、縦断形に示す標高との間にはずれがある。

(1) 平面形

図-8によると、まず行橋総合公園の護岸から祓川右岸まではほぼ300m離れている。この間に沓尾海岸の砂浜が広がるが、北端は埋立地の護岸により区切られている。砂浜は護岸より南側に発達しているが、ほぼ中央部のX=120m付近には縦方向に細長い砂州が伸び、そこで汀線が突出している。この地点を南に越えると汀線は祓川の流路へと斜めに伸びる。また行橋総合公園の護岸から縦方向に伸びた細長い砂州までの区間と、縦方向の砂州より南側の区間では汀線の方角が異なる。図示するように各区間で汀線とほぼ直角方向に法線A-A'とB-B'を引くと、それらの方向はN72°E (A-A')、N88°E (B-B')であり、汀線への法線方向には両区間で16°の相違がある。

南向きに伸びた汀線は、測線B-B'を通過後大きく回り込み、砂嘴先端部では半円形の汀線となる。砂嘴が大きく突出した場所では祓川右岸との間に幅15mの水路を残すのみとなっている。また砂嘴先端部では海浜勾配が非常に急なことが特徴である。このような砂嘴は波の作用で南向きの沿岸漂砂が発達する場合に形成されるものであり、祓川河口を塞ぐように砂嘴が十分発達するとほぼ安定状態となって南向きの沿岸漂砂も止まる。しかし洪水によって砂嘴先端部が削られ、土砂が沖合へ流出した場合や、人工的に砂嘴先端部を掘削した場合、安定形状から崩れるため再び北部から砂が流れ込むことになる。

砂州沖と海浜との関係を調べると、前浜は1.0mから3.0mの間で発達している。この間には中砂または粗砂が堆積し、前浜勾配は1/10と急である。一方、標高1.0mより沖合には平坦面が発達しており、これが干潟面である。また縦方向に伸びた砂州の南北で平坦面の標高に違いがあり、祓川河口に近接する南側で地盤高が高い。

(2) 縦横断形

図-8に示す4断面に沿った縦横断形の変化について調べた。図-9(a)にはA-A'の縦断形を示す。Z=0.5m以深のフラット面は干潟であり、前浜勾配1/9の砂浜とは急角度をなして交差している。前浜は砂で構成されるが、干潟面は潟土であって構成材料が大きく異なる。またこの測線でのバーム高は2.4mにある。図-10はA-A'断面の前浜状況を示す。

砂州と直角方向沖向きに伸びた細長い砂州と砂嘴先端の間を通る測線B-B'では、バーム高は1.6mまで低下している。この測線でも干潟面と砂浜はきれいに区分され、砂浜の前浜勾配は1/8と急である。図-11はB-B'測線の状況を示す。一方、砂嘴先端の測線C-C'では上手側から運ばれてきた砂が急勾配で落ち込むため、砂浜の勾配は1/4と非常に急である。この状況は対岸から撮影した図-12に詳しい。

図-9 砂州の縦横断形

細長く伸びた砂州と直交方向に定めた測線D-D'では、細長い砂州の両側の干潟面の標高が異なり、砂州の付け根で測定すると祓川側で0.2m地盤高が高くなっている。地盤高が高いのは祓川から運ばれた砂が波の作用で岸向きに運ばれていることによると考えられる。

6. 左岸埋め立て護岸前面での干潟から岸への砂移動

図-3(d)に示すように行橋総合公園前面は直立護岸により囲まれている。この護岸の基部に沿って幅2mのコンクリートがあり、またこの平坦なコンクリート面の海側にはホロースクエヤー製の異形ブ

図-10 測線A-A'付近の前浜状況

図-11 測線B-B'付近の前浜状況

図-12 測線C-C'付近の前浜状況

図-13 行橋総合公園の前面の直立護岸隅角部 (R) の北側直近で発達しつつある砂浜

図-14 直立護岸隅角部 (R) 付近の湾曲した砂浜と干潟

図-15 捨石により移動が阻止された漂砂

ロックが連続的に敷かれていた。図-3(d)にRで示す護岸隅角部の北東側では、前方から手前へと2列に敷き並べられた異形ブロックの頭部が次第に砂に埋まり、幅約2mの砂浜（前浜勾配1/6）が発達していた。またその構成材料は砂礫であり、沖合の干潟を覆う潟土と全く異なっていた（図-13）。また護岸隅角点（R）では、護岸ののり尻と平行に砂浜と干潟面の境界線も湾曲し途切れることなく続いていた（図-14）。さらに湾曲した護岸の端部付近にある捨石部分では図-15のように、砂の回り込みが散乱した捨石により一部阻止されていたが、最終的にそこを通過した漂砂は杵尾海岸北端部へと流入してい

た。以上のように、箕島東部漁港直近から杵尾海岸に至る区域のコンクリート護岸の前面では砂浜の発達が見られ、南西部ほど砂の堆積量が増す状況が観察された。この砂浜の前浜勾配は1/6と急で、その外側には遷移帯を有し、さらに沖では平坦な干潟面へと続く構造を有することがわかった。砂浜の発達は南部ほど顕著で、護岸の湾曲部でも連続的な発達を示したことから、現在でも干潟面から陸向きの漂砂が生じ、それらが集められて杵尾海岸方面へと供給されていると推察された。なお、このような砂移動については、BGモデルによる計算により再現が可能である²⁾。

7. まとめ

- ① 空中写真に基づく杵尾海岸の変遷調査によれば、沖合約1.2kmまで続く広大な干潟に流入している祓川河口では、河川流により河口から干潟沖に運ばれた土砂が、河口テラス上での砂移動とよく似た状態で河口両側へと運ばれていたことが干潟面上の沿岸砂州の発達状況から推察された。
- ② 一方、河口沖の滞筋に沿って自然堤防状に堆積した砂は、海岸線とほぼ直角方向に縦縞模様の砂州を形成しつつ岸向き漂砂によって運ばれていたと推察された。
- ③ 河口幅の変動は、杵尾海岸から河口への沿岸漂砂により運ばれた砂の堆積（プラス要因）と、洪水による砂嘴のフラッシュ、または航路維持のための掘削（マイナス要因）とのバランス関係により定まるが、長期的に見ると1947年以降あまり変化は起きていない。
- ④ 箕島東部漁港直近から杵尾海岸に至る区域のコンクリート護岸の前面では砂浜の発達が見られ、南西部ほど砂の堆積量が増す状況が観察された。この砂浜の前浜勾配は1/6と急で、その外側には遷移帯を有し、さらに沖では平坦な干潟面へと続く構造を有することがわかった。砂浜の発達は南部ほど顕著で、護岸の湾曲部でも連続的な発達を示したことから、現在でも干潟面から陸向きの漂砂が生じ、それらが集められて杵尾海岸方面へと供給されていると推察された。干潟面上に運ばれ堆積した砂の平衡勾配が大きいことから岸向き漂砂が卓越すること¹⁾が上記要因と考えられる。

参考文献

- 1) 足利由紀子，清野聡子，宇多高明，畦津義彦，菖蒲明久，三原博起，小森信二，渡辺誠治，酒井和也：中津干潟沖での覆砂の岸向き移動機構，海岸工学論文集，第57巻，pp.1181-1185，2010。
- 2) 芹沢真澄，宇多高明，宮原志帆：浅い干潟面上で岸向きに発達する細長い砂州の形成予測-BGモデルの応用，土木学会論文集（海洋開発）特集号，第67巻，2011。（投稿中）