蒲原海岸の有脚式離岸堤周辺での地形変化実態

宇多 高明¹・三波 俊郎²・五十嵐 竜行³

¹正会員 工博 一般財団法人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)
E-mail: uda@pwrc.or.jp

²海岸研究室有限会社 (〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉301)
E-mail: GGB01566@nifty.com

³正会員 一般財団法人土木研究センター 河川・海岸研究部 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)
E-mail: igarashi@pwrc.or.jp

駿河湾奥の富士川河口右岸に位置する蒲原海岸を対象として、1952年以降2010年までに撮影された空中写真、深浅測量データ、および2008年11月と2010年1月に実施したNMB (Narrow multibeam) 測量データなどを基に地形変化の実態を明らかにした。当海岸では沖合に海底谷が発達しているため海底勾配が急であり、このため消波施設として有脚式離岸堤が設置されている。このような特徴を有する海岸での地形変化実態を現地実測により明らかにした。

Key Words : Beach changes, shoreline changes, offshore breakwater, Kanbara coast

1. はじめに

蒲原海岸は、図-1に示すように駿河湾奥部に流入する富士川の西側に広がる長さ約5 kmの砂浜海岸である。この区域の海浜変形について、宇多¹⁾は地形図と空中写真を基に1915年から1984年までの汀線変化を分析し、1915～1947年では富士川河口部は堆積性にあり、この間には汀線が最大240 mも前進したが、1947～1970年には侵食傾向に転じ、富士川河口での汀線後退量は250 mに達したことを明らかにした。侵食が進んだことから、蒲原海岸では1988年以降離岸堤(従来型)4基が建設されるとともに、1995年からは有脚式離岸堤4基の建設も進められたが、これらの離岸堤が設置された条件下で、近年までに起きた海浜地形変化は不明であった。また、蒲原海岸沖には深海が海岸線近くまで迫るため、高波浪が減衰せずに海岸線に到達するという特徴もある。ここでは、このような特徴を有する蒲原海岸を対象として、1952年以降2010年までに撮影された空中写真、深浅測量データ、および2008年11月と2010年1月に実施したNMB (Narrow multibeam) 測量データ、さらには2013年2月に実施した底質採取結果などを基に、蒲原海岸の地形変化の実態を明らかにする。検討対象区域は、東端を富士川河口、西端を由比バイパスの付け根に流入する神沢川とする全長6.2 kmの海岸線である。

2. 空中写真に基づく汀線変化調査

図-2は蒲原海岸全体の1952, 1986, 2008年撮影の空中写真を示す。1952年では蒲原海岸全体にほぼ90 m幅の砂浜が広がっており、日軽金放水路付近から富士川河口までほぼ直線状の汀線が伸びていた。また西端近傍の神沢川河口付近にも幅40 mの前浜があった。その後、1986年までに海岸状況には大きな変化が現れた。まず富士川河口部では、1960年代に行われた砂利採取により河口部汀線が後退するとともに、網状砂州の発達していた河道が掘

図-1 駿河湾内の蒲原海岸の位置

図-2 1952, 1986, 2008年撮影の蒲原海岸の空中写真

削により広い水域へと変化した。富士川河口と日軽金放水路間では汀線が大きく後退し、日軽金放水路の東側隣接部では突堤10基と消波工が設置され、前浜は消失した。その東側には4基の消波堤が設置されたが、その東端では汀線がフック状となった。フック状汀線の形成はこの区間で東向き、すなわち富士川河口方面へ向かう沿岸漂砂が卓越することを示している。日軽金放水路と向田川河口間では砂浜が残されていたが、向田川と堰沢川の間では7基の消波堤が設置され汀線が固定された。さらに、神沢川河口付近では消波堤が造られた。

2008年では富士川河口近傍では洪水により供給された土砂が河口部に堆積したため、局所的な汀線前進が見られたが、消波堤と日軽金放水路間は構造物で固められた。同様に、対象区域西部の向田川河口以西でも消波堤によって汀線が固定された。一方、日軽金放水路と向田川間では7基の離岸堤が設置されたため、それらの背後では舌状砂州の形成が進んだ。

次に、図-2(c)に示す矩形区域（日軽金放水路と向田川河口周辺）の拡大空中写真を図-3に示す。1961年までは自然海浜であり1952年当時と砂浜状況はほぼ同様であったが、1977年には日軽金放水路の東側に8基の突堤が設置された。突堤間には海岸線と平行に砂浜が広がっていたが、1986年では突堤間の前浜は大きく狭まった。また、向田川河口の西側に消波堤が設置されたため、河口部でフック状の汀線が形成された。その後1991, 2001, 2008年と年を経るにしたがい日軽金放水路の東側では根固めブロックや離岸堤が多数設置された。また、日軽金放水路と向田川河口間では経年的に離岸堤の建設が進められた。図-3(h)には2010年1月に行われたNMB測定の結果も示す。これによれば、日軽金放水路と向田川河口沖には海底谷が迫っており、このため波の屈折により当区間の海岸線が凹状となっていることが分かる。また、日軽金放水路

図-3 図-2の矩形区域の拡大空中写真

では空中写真に見える施設のみでなく、河口導流堤のように水深8 mにまで至る水面下に没した施設が伸びており、水深が大きい施設のため沿岸漂砂を阻止していると

図-4 蒲原海岸全体の汀線変化 (1952年基準)

図-5 日軽金放水路と向田川付近の詳細汀線変化 (1952年基準)

推察される。また、離岸堤はいずれも水深が最大8 mまでの間に設置された。

図-4は富士川河口から由比バイパスまでの間の、1952年を基準とした1961～2009年の汀線変化を示す。著しい汀線変化は富士川河口部で起きており、河口から日軽金放水路方向へと汀線後退量が次第に減少する分布形となっている。このことは、日軽金放水路～富士川河口間の侵食が富士川河口部汀線の後退の一部として起き、日軽金放水路以西の侵食もこれと連動した変化として起きた可能性が高いことを示唆している。

日軽金放水路の西側区域における汀線変化状況を詳細に調べるために、1961年を基準とした2009年までの汀線変化を図-5に示す。なお、この区域には有脚式離岸堤および通常型の離岸堤が設置されているので、離岸堤の設置位置、沖向き距離、および建設年度をまとめて示す。1961年から1977年では全域で汀線が後退したが、汀線後退量は対象区域西端で最大値35 mを示した。対象区域の西側は由比バイパスであり、西側は沿岸漂砂の固定境界とみなせることから、上記の侵食は東向きの沿岸漂砂によって砂が運び去られたためと考えられる。その後1986年になると図-2に示したように向田川河口以西では汀線に沿って消波堤が設置され、汀線が固定されたため向田川の東側で集中的な汀線後退が起きた。この場合も侵食域の西端での汀線後退が最大という特徴を示した。

1991年では、西端部に3基の通常型離岸堤が既に完成していたために、それらの背後で舌状砂州が形成され、しかも西側の離岸堤ほど離岸距離が短く消波効果が高かったため、離岸堤背後の汀線前進量が西側ほど大きな

図-6 海浜面積変化量の経時変化

った。同様な傾向が2009年まで継続し、西側に建設された4基の離岸堤の背後ではいずれも舌状砂州が発達した。舌状砂州の形成に要する砂は離岸堤から日軽金放水路までの区域から運ばれたため、日軽金放水路の西側隣接部では汀線の後退が起きた。同時に、この区域には有脚式離岸堤が設置され、それらの離岸堤の背後で舌状砂州が形成されたが、離岸距離が大きいため有脚式離岸堤背後の舌状砂州の規模は小さかった。

以上のように、現況では向田川以西からは沿岸漂砂の供給はなく、また向田川以西では消波堤が設置されて汀線が固定されている。その上、日軽金放水路も補強され、その西側隣接部では1961年と比べて40 mも汀線が後退した結果放水路長が相対的に増したため、東向き沿岸漂砂の通過が困難となって日軽金放水路～向田川間はほぼポケットビーチ化された。この条件下で離岸堤が建設されて波の場が変化したため、従来のように東向きの沿岸漂砂が西向きに変わって地形変化が生じたと考えられる。

3. 海浜面積変化量と侵食速度

図-6は、富士川河口右岸～神沢川区間 (X=22.5～27.5 km) と日軽金放水路～神沢川区間 (X=24.1～27.5 km) における海浜面積変化量の経時変化を示す。富士川河口右岸～神沢川区間の海浜面積は、1952～1977年で $9.3 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{yr}$ の割合で直線的に減少し、その後1986年頃にはほぼ一定となった。1986年までの侵食面積は $2.5 \times 10^5 \text{ m}^2$ で、漂砂の移動高として富士川河口部で得られた値10 mを準用すると、総侵食土砂量は $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、1952～1986年の平均侵食速度は $7.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。一方、日軽金放水路～神沢川区間の海浜面積は、1952～1977年で $4.0 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{yr}$ の割合で減少し、その後1986年頃には海浜面積はほぼ一定となった。1986年までの侵食面積は $1.3 \times 10^5 \text{ m}^2$ で、同じく漂砂の移動高10 mを乗じると、総侵食土砂量は $1.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、1952～1986年の平均侵食速度は $3.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。図-2の空中写真に示したように、1986年頃までは日軽金放水路が短く、放水路沖を沿岸漂砂が通過可能な状態にあったと考えられることから、日

軽金放水路～神沢川区間での侵食は日軽金放水路沖を沿岸漂砂が東向きに通過したことによって起きたが、1986年以降導流堤が伸ばされた結果、東向きの沿岸漂砂の流出が抑制され、海浜がほぼ平衡状態に近づいたと考えられる。また、日軽金放水路～向田川区間を除くほぼ全線に消波工が設置され、汀線が固定されたこともこの理由の一つと考えられる。

4. NMB測量データと縦断形比較

図-7は、2008年11月と2010年1月に実施したNMB観測によって得られた深浅図と、2時期での水深変化量を示す。地形的に見ると向田川河口の東側に位置する測線No.100付近では海底谷が汀線近傍まで深く入り込み、非常に急深な地形となっている。これに対して向田川以西には緩勾配の陸棚が発達している。また日軽金放水路から富士川河口右岸の間にも陸棚が発達している。2時期の地形変化としては、向田川～神沢川、日軽金放水路～富士川河口に至る区域の消波堤～水深5 mの間に帯状の侵食域が見られ、これと逆に水深5～10 m付近はやや堆積傾向を示す。

侵食堆積状況を詳しく調べるために、図-7に示す8測線を選んでこれらの測線に沿った縦断形変化について調べた。測線は向田川の西側から2測線 (No.103, 106)、日軽金放水路と向田川の間から4測線 (No.97～No.100)、さらには日軽金放水路以東から2測線 (No.94, 92) を選んだ。神沢川～向田川間の消波堤設置区間に位置するNo.106, No.103では、図-8に示すように1976～1999年には変動を有しながらも汀線～水深5 mが徐々に侵食されていたが、2012年までにこの間が掘られ、その沖合の5～8 m付近に堆積するという沖向き漂砂による地形変化が起きた。とくにこの地形変化はNo.106で顕著に見られる。2011年9月21日には台風15号の襲来に伴い、駿河湾近傍の各地で既往最大波高が観測された (石廊崎: $H_{1/3} = 10.6$ m, $T_{1/3} = 12.8$ s, 下田港: $H_{1/3} = 8.38$ m, $T_{1/3} = 10.9$ s, 遠州灘竜洋: $H_{1/3} = 11.7$ m, $T_{1/3} = 15.7$ s)。これを考慮するとこの時の高波浪により沖向き漂砂が生じた可能性が高い。No.106において、1976年の縦断形から水深5 mでの縦断勾配を求めると、1/20であったが、2012年に同一地点の縦断勾配は0、すなわち平坦となった。

日軽金放水路と向田川間には離岸堤が設置されているが、この区域の縦断形変化を図-9に示す。従来型離岸堤を横断するNo.100では、離岸堤沖の15 m以深では海底勾配が1/3.5と非常に急である。この測線での地形変化は離岸堤岸側でのみ起きており、1975年以降侵食が進んだものの、最近の変化は小さい。有脚式離岸堤を通るNo.99でも離岸堤の岸側で侵食が起きているが、水深約5 mに

図-7 NMB測量による深浅図と地形変化量の平面分布

図-8 縦断形変化 (向田川西側: 測線No.103, 106)

設置された離岸堤を通る断面のNo.100と比べて、離岸堤の岸側隣接部での侵食が顕著である。離岸堤の直岸側の縦断形変化を見ると、1975年以降単調に地盤高の低下が起きている。一方、この測線では沖合の20 m以深でも地形変動が起きたように見えるが、縦断形は1975～1986年には大きく前進した後、1999年には1975年の縦断形まで戻り、そして2012年には再び前進し、しかも水深10～15 mの間では無変化である。これらのことから、沖合での地形変化は測量誤差の可能性が大きい。

有脚式離岸堤 (斜板堤) の設置断面No.98では、他の縦断形状と異なり、施設の岸側に窪みが形成される一方、

図-9 縦断形変化

(日軽金放水路→向田川間：測線No.97～No.100)

図-10 縦断形変化（日軽金放水路東側：測線No.94,92）

施設近傍では砂が堆積して地盤高が上昇するという地形変化が生じている。このような地形変化は、高波浪時に斜板上を越えた海水が落下して突っ込み渦を生じ、これ

図-11 底質粒径分布

(2013年2月6,7日採取：測線No.106,99,97)

が海底面付近に到達したことにより形成されたと考えられる。なお、同じ有脚式離岸堤でもカルモスの設置断面ではこのような特性は見られないのは、施設上での砕波形態の違いによると考えられる。

日軽金放水路の西側に隣接するNo.97では侵食量が最も大きく、ほぼ標高6mから水深5mまでの急勾配斜面と、その沖の緩斜面が水深13mまで岸側へ後退している。縦断形変化から当海岸における地形変化の限界水深はほぼ13mにあることが分かる。

日軽金放水路の東側の測線No.94とNo.92の縦断形変化を図-10に示す。消波堤設置区間を通るNo.94では、前浜が消波堤により固定化されたのと対照的に、沖合の5～13m間の緩勾配斜面上で緩やかに侵食が進んでおり、汀線固定の代償として沖合侵食が進みつつある。さらに富士川河口に近づいたNo.92では1975年から1999年までに7m以浅が著しく侵食されたが、2012年までには蒲原海岸西部のNo.106で見られたのと同様な沖向き漂砂による地形変化が観察されるが、これも2011年9月21日の台風15号時の高波浪の作用に起因する可能性が高い。

5. 底質粒度組成の水深分布

2013年2月の底質調査により得られた測線No.106, 99, 97の底質粒度組成の水深分布を図-11に示す。なお、測線位置は図-7に、縦断形は図-8, 9に示してある。No.106では水深4m以浅で礫の含有率が80～90%と、集中的な堆積が見られる。この水深帯は図-8によれば汀線近傍の急斜面に相当している。一方、水深6m以深では礫に代わって中砂細砂が海底面を広く覆っているが、ここは図-8のようにバーの形成区域と重なる。このように水深4mを境に粒度組成が大きく異なり、陸側は礫が、沖側は砂

で覆われている。

測線No.99は、離岸堤（カルモス）が水深8 m付近に設置された断面である。この測線の標高1～3 mでは中砂が50～70%を占め、礫はほとんど見られない。これに対して礫の含有率は汀線で60%、水深1 mでは90%近くまで増加している。水深の増加とともに礫量は緩やかな減少傾向を示すが、水深13 mでも25%礫が含まれる。この測線は図-7, 8に示すように海底谷に近接して急深なため水深の大きい場所でも礫が堆積していることが分かる。また、図-8の縦断形に示すように、水深8 m地点は離岸堤のすぐ岸側に位置するが、そこでは局所的に礫の含有率が著しく減少し、海底面は砂で覆われている。図-8の縦断形変化によれば、この付近は離岸堤設置後侵食が進んでいる場所でもある。No.99では離岸堤（カルモス）が設置されており、離岸堤付近での碎波による乱れが海底面に到達した際、礫が運び去られたと推察される。

次に、水深6～7mに設置された離岸堤（斜板堤）の開口部に位置する測線No.97では、汀線付近は礫で覆われているが、礫の含有率は水深方向に減少し12 mではほぼ0となる。しかし水深4, 5 mでは局所的に礫の含有量が他と比べて減少している。この場合も離岸堤（斜板堤）による碎波の乱れが海底面に到達し、これにより礫が移動したと推定される。

6. まとめ

富士川河口右岸～神沢川区間（ $X=22.5\sim27.5$ km）における1952～1986年での海浜面積変化量に、漂砂の移動高10 mを乗じて海浜土砂変化量の変化を算出したところ、この区域では 2.5×10^6 m³の土砂量が減少し、この間の平均侵食速度は 7.4×10^4 m³/yrであった。この区域での土砂量の減少には富士川河口部での砂利採取の影響が大きい。同様に日軽金放水路～神沢川間では、総侵食土砂量は 1.3×10^6 m³で、1952～1986年の平均侵食速度は 3.8×10^4 m³/yrであった。

1986年までは日軽金放水路が短く、放水路沖を沿岸漂砂が通過可能であったと見られることから、日軽金放水路～神沢川区間での侵食は日軽金放水路沖を沿岸漂砂が東向きに通過したことによって起きたと推察される。しかし、1986年以降導流堤が伸ばされ、また補強された結果、東向きの沿岸漂砂の流出が停止し、また、日軽金放水路～向田川区間を除くほぼ全線に消波工が設置され、汀線が固定されたため海浜はほぼポケットビーチ化されたと考えられる。

1986年頃から侵食対策として向田川近傍から通常型離岸堤が短い離岸距離で建設されたため、それらの背後では舌状砂州が大きく発達したが、それに必要な土砂は日軽金放水路を東端とする区域から逆流の形で運び込まれた。その後1995年からは通常型離岸堤の東側に有脚式離岸堤が4基設置されたが、離岸距離が大きかったため舌状砂州の規模は小さかった。さらに上記離岸堤背後への沿岸漂砂のため日軽金放水路の西側隣接部のNo.97では著しく侵食が進んでいるのが実状である。一方、日軽金放水路の東側の汀線付近が消波工で固められた区域の沖合の水深5～13 m間の緩勾配斜面上で侵食が進んでいる。この侵食は西側に日軽金放水路があって沿岸漂砂の流入が阻止される条件で東向きの沿岸漂砂があるため起きたと推察される。

謝辞：本論文の作成には、国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所より深浅測量データ、底質採取データ等を提供して頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明：「日本の海岸侵食」，山海堂，p. 442, 1997.

BEACH CHANGES AROUND NEW-TYPE OFFSHORE BREAKWATERS ON KANBARA COAST

Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI and Tatsuyuki IGARASHI

On the basis of the aerial photographs taken between 1952 and 2010, bottom sounding data and narrow multibeam survey data, which were taken in November 2008 and January 2010, beach changes of the Kanbara coast were investigated. This coast extends on the right hand side of the Fuji River flowing into Suruga Bay. Off the coast a submarine canyon develops with a very steep slope, so that several new-type offshore breakwaters have been constructed as a measure against beach erosion. Not only long-term beach changes but also topographic changes around these offshore breakwaters were analyzed.