静岡清水海岸におけるsand bodyの移動実態と 養浜効果の検証

石川 仁憲¹・宇多 高明²・水野 良幸³・佐藤 雅史⁴・三波 俊郎⁵

¹ 正会員 一般財団法人土木研究センター (〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4)

E-mail:ishikawa@pwrc.or.jp

² 正会員 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)

³ 静岡県静岡土木事務所企画検査課 主査 (〒422-8031 静岡県静岡市駿河区有明町 2-20)

⁴ 静岡県静岡土木事務所工事第2課 工事班長 (〒422-8031 静岡県静岡市駿河区有明町 2-20)

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

深浅測量データおよび空中写真等の解析により、静岡清水海岸における近年の sand body の移動実態と、その移動促進策としての養浜の効果について明らかにした。静岡清水海岸では、安倍川からの $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂礫供給により、sand body が漂砂下手側へと確実に広がっている。また、静岡清水海岸では、2007 年以降 sand body の移動促進策として安倍川下流域の河床堆積土砂を用いた養浜が継続的に行われてきたが、これにより清水海岸は堆積傾向となり、養浜の効果が確認された。しかし sand body 先端付近の自然海浜は、粒径の細かい礫と砂で構成されているのに対し、養浜盛土付近の海浜は大礫を多く含み、結果的に沿岸方向の土砂移動速度が小さく、これにより sand body の移動が抑制された可能性が高いことが分かった。

Key Words : sand body, beach nourishment, Shizuoka-Shimizu coast, longshore sand transport, beach changes

1. はじめに

安倍川からの流出土砂量の激減により著しく侵食が進んだ静岡清水海岸では、1980 年頃から安倍川からの土砂流出の復活により河口付近から堆積が始まり、堆積域の先端では sand body (砂礫の塊) が、260 m/yr の速度で離岸堤群を埋めつつ漂砂下手側へ広がってきた¹⁾。この sand body について、2010 年までのモニタリングデータの解析では、その先端が静岡清水海岸の境界(滝ヶ原川河口)の南 2.5 km 付近にあった²⁾。一方、侵食が著しい漂砂下手側の清水海岸では、抜本的な対策の意味より sand body の早期到達が期待されている。本研究では、新たに 2010 年以降の深浅測量データおよび空中写真等のモニタリングデータを解析し、近年の sand body の移動実態と、2007 年以降実施されている sand body の移動促進策としての養浜の効果を明らかにした。

2. 解析方法

静岡清水海岸の海岸線は、安倍川河口から大きく内側に湾曲し、さらにその下手側では三保松原砂嘴の外縁に沿ってほぼ円弧状となる。このため、地形変化の理解を容易にするためにデカルト座標でなく、図-1 に示すように海岸線に沿った展開座標を用いて解析を進めた。まず、1970 年から 2014 年 12 月の間に撮影された 11 時期の空中写真を幾何補正した上で、展開座標系に修正し、離岸堤背後の堆積状況の経時変化を調べた。次に、1985 年以降毎年取得されてきた深浅測量データより、安倍川河口から真崎までの海岸線に沿って配置された 176 測線上における基準点から等深線までの沖向き距離を、展開座標

図-1 静岡清水海岸の位置と展開座標系

図-2 静岡清水海岸での養浜実績 (1998～2014 年)

図-3 静岡清水海岸の偏歪空中写真画像

系上に示して平面地形変化図を作成するとともに、1985年と1998年を基準とした水深変化量を算出して堆積・侵食量の経年変化を調べた。また、地形変化量と代表測線での底質粒度組成の水深方向分布より、安倍川から供給されている砂礫の量も推定した。これらの検討の結果、静岡清水海岸の地形変化と sand body の移動実態、粒径別の土砂動態を明らかにした。一方、静岡清水海岸の離岸堤背後では図-2 に示すように、1999 年より安倍川下流域の河床堆積土砂を用いた養浜が行われ、2007 年からは清水海岸側の離岸堤背後において、養浜により予め海底

地盤を上昇させることで、sand body の北側への移動を促進させることを目的とした継続的な養浜³⁾が行われている。そこで、この区域を対象に詳細な地形変化を調べ、養浜の効果と課題を明らかにした。

3. Sand body の移動実態の解析

(1) 空中写真による離岸堤背後の堆砂状況の変化

1970 年から 2014 年 12 月の間に撮影された 8 時期の偏

図-4 展開座標上を見る静岡清水海岸の地形変化 (1985 年基準)

歪空撮画像を図-3 に示す。1970 年から 1981 年までに安倍川河口から静岡清水海岸の境界まで著しく侵食されたが、その後安倍川河口から堆積が始まり、離岸堤群背後の堆積域は時間経過とともに着実に下手側へと拡大した。離岸堤背後の土砂がほぼ満砂状態(汀線が離岸堤に接続)となった区間の先端位置は、2010 年では $X = 5$ km 付近にあったが、2014 年では $X = 6.5$ km 付近までと 1.5 km 北側へと広がった。これより、離岸堤背後が満砂状態となった区域の先端部の移動速度は 300 m/yr となり、この値は従来から言われていた sand body の移動速度約 260 m/yr¹⁾と同程度であった。sand body の先端位置の厳密な定義はないが、離岸堤背後が満砂状態となった区域の先端部は着実に北向きに広がっていることが確認できる。

(2) 等深線形状と水深変化量の平面分布

図-4 は、1998, 2010, 2012, 2014 年の静岡清水海岸全体の等深線形状と、1985 年基準での水深変化量の平面分布を示す。1985 年時点では著しく侵食が進んでいた安倍川河口域～ $X = 9.2$ km 区間では、離岸堤背後で堆積が進み、また、空中写真で確認されたように、離岸堤背後が満砂状態となった区間が時間経過とともに漂砂下手側へ広がり、これに対応して離岸堤背後の地盤高が全体に高まった。ここで、離岸堤背後の満砂区間の北端は、2010, 2012, 2014 年でそれぞれ $X = 5, 5.7, 6.5$ km 付近と、北向きに広がるとともに、これらの地点より南側では 2 m 等深線が離岸堤沖まで移動し、離岸堤沖の地盤が浅くなった。これらの結果より sand body は着実に北側へ移動していることが明らかである。

図-5 展開座標上を見る静岡清水海岸の地形変化 (1998 年基準)

図-6 汀線変化量の沿岸方向分布 (1983 年基準)

図-4 では、1998 年までに進んだ清水海岸のヘッドランド区間での侵食が目立ち、個別箇所の地形変化が分かりにくいことから、1998 年以降の地形変化に着目し、1998 年を基準とした地形変化を図-5 に示す。1998 年では、sand body は図-4 によれば $X = 3.5$ km 付近まで達していたが、図-5 によれば、 $X = 4 \sim 6$ km 区間において経年的に漂砂上手側(南側)から堆積が進んだ状況が確認できる。ここで、静岡海岸 $X = 6 \sim 8$ km の離岸堤背後では、図-2 に示したように安倍川下流域の河床堆積土砂を用いた養浜(約 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^3$)が 2001～2003 年に行われた。図-5 によれば、 $X = 6.5 \sim 7.5$ km 間での養浜による離岸堤背後の堆積域はほとんど動かず、これに上手側から sand body による堆積域が経年的に近づき 2014 年までに到達した。養浜材に用いられた安倍川下流域の堆砂は礫が 80% を占

図-7 縦断形変化と底質粒度組成の水深方向分布

図-8 1985 年を基準とした海浜土砂量の変化 ($X=0.2\sim 8.8$ km)

図-9 清水海岸の偏歪空中写真画像 ($X=7.0\sim 10.8$ km 区間)

めて粒径が粗く, sand body に比べて沿岸方向に動きにくかったことがこの理由と考えられる. また, 2011 年以降 2014 年 11 月までに, 清水海岸南端の離岸堤背後において, sand body の移動促進を目的とした集中的な養浜 (約 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3$) が行われたことから, 同様な離岸堤背後の堆積地形が 2014 年の $X=8$ km 付近でも確認できる.

(3) 汀線変化, 縦断形変化および底質粒度組成の水深方向分布

深浅測量データをもとに調べた 1983 年基準の静岡清水海岸全域の汀線変化を図-6 に示す. 安倍川河口からの汀線前進域は, $X=1$ km から 8 km まで経年的に広がっている. 安倍川河口部で汀線前進量が最も大きく, 河口から離れるにしたがって汀線前進量が小さいという分布形から, 安倍川起源の土砂が流入し, 離岸堤が設置された条件のもとで北向きの沿岸漂砂によって土砂が運ばれたことが分かる. sand body により堆積が進んだ静岡海岸の No.30 (図-3 に示す No. 30 の地点) での 2006, 2013 年の縦断形と, 底質粒度組成の水深方向分布を図-7 に示す. これより, 堆積が進んだ地点では-7 m 以浅が著しく堆積し, 2013 年には沖合に礫がわずかにみられるものの, 砂礫と細砂の堆積域の境界の水深は, 2013 年においてもほぼ-4 m にあることが確認できる.

(4) 静岡清水海岸全体の堆積土砂量の変化

地形変動の著しい安倍川河口部を除く, $X=0.2$ km から, sand body により堆積が進んだ $X=8.8$ km までの区間における堆積土砂量の変化を調べた (図-8). なお, 対象区間では先に述べた養浜が行われているが, 解析期間で割るとその量は少ないので, 養浜量を除かずに算出した.

また, 底質粒度組成の水深方向分布によれば, 砂礫と細砂の堆積域の境界はほぼ-4 m にあることを考慮し, +5~-4 m の水深帯と, -5~-8 m の水深帯に区別して土砂量を算出した. 図-8 によれば, 対象区域における総土砂量は 1985~2014 年 12 月の約 30 年間で $4.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 増加した (増加割合: $1.4 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$). 一方, 沖合の-4 m 以深での土砂変化量は, 1985 年から 2003 年までに $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ 増加し (増加割合: $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$), その後平衡状態となった. この水深帯は主に砂で構成されていることから, 砂の供給量は $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定でき, 堆砂がある一定量まで進むとそれ以上供給される土砂は下手側へと運ばれ, 動的平衡状態に至ったと推定される. これに対し, -4 m 以浅の土砂量は, 2014 年 12 月まで単調に増加し, 約 30 年間で $3.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 増加した (増加割合: $1.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$). -4 m 以浅は, 図-7 に示したように礫と砂が 50% 程度の割合で構成されていることから, -4 m 以浅での土砂量の増加割合の内訳は, 礫が $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$, 砂が $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定できる. ここで, 礫が多く含まれる-4 m 以浅は単調増加傾向であるのに対し, 主に砂で構成される-4 m 以深は 2003 年以降平衡状態にあるが, 2003 年までの増加量に見合う $8.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂が現在も供給されているとすれば, 安倍川からの供給土砂量は, 礫 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$, 砂 $1.3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の合計より約 $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定される.

4. Sand body の移動促進策としての養浜

清水海岸の離岸堤背後では, 2007 年以降 sand body の移動促進のために養浜が行われてきた. 図-9 には, 清水海岸の 2014 年 12 月の偏歪空中写真を示す. 4~11 号離

図-10 Sand body 先端付近における訂線変化量の沿岸方向分布 (1983 年基準)

図-11 X=7.0~10.8 km 区間での 2000~2014 年の等深線図と 1998 年基準での地形変化量

岸堤と 17~19 堤の背後で舌状砂州が発達している。9~16 号堤は離岸距離が他の離岸堤と比べて長いいため、舌状砂州が発達しにくい条件にあるが、9, 10 号堤の背後で堆積が進んだ理由は、その北側にある離岸距離の短い 7, 8 号堤が突堤のように沿岸漂砂を阻止したことによる。一方、17~19 号堤背後の舌状砂州は、先に述べたように 2011 年以降、これらの離岸堤背後において sand body の移動促進を目的に $7 \times 10^4 \text{ m}^3$ の養浜が行われた結果形成されたものである。

図-10 には、1983 年基準の訂線変化量の沿岸方向分布を示す。訂線は $X = 10 \text{ km}$ 以南で前進傾向にあり、その量は南側ほど大きい。静岡海岸と比べ清水海岸では訂線前進量が小さい点は、静岡清水海岸の境界付近で北向きの沿岸漂砂が流れにくくなっていることを示している。

図-12 静岡清水海岸の境界付近の海岸状況 (2015 年 10 月 7 日撮影)

図-13 大礫養浜に伴う sand body の移動抑制の概念図

図-11 には、2000~2014 年の 4 時期の等深線図と 1998 年基準での地形変化量を示す。空中写真や訂線変化では明らかではなかったが、清水海岸では養浜とともに、2004 年以降、6~19 号堤間において経年的に堆積傾向にあることが分かる。これらのことから、sand body の移動促進を目的とした養浜は、同地区を堆積傾向に転じ、海底地盤を上昇させ、上手側から到達しつつある sand body の

土台づくりに効果を発揮していると評価できる。

図-12は、2015年10月7日の静岡清水海岸の境界付近の海岸状況を示す。Sand body が到達している静岡海岸の4号離岸堤の背後では、海浜は比較的粒径の細かい礫と砂で構成されていた(図-12(a))。これに対し18号堤背後の養浜盛土箇所では、護岸天端まで盛土が行われていたが、養浜材には粒径の大きな礫が多く含まれていた(図-12(b))。このためその北側に隣接する17号堤背後の舌状砂州の表面は盛土養浜により供給された大礫で覆われており(図-12(c))、図-12(a)のように自然に砂礫が堆積してできた砂浜と比べ大きく異なっていた。海浜材料の粒径が現地海岸と比べ何十倍も大きい場合、現地海浜を構成する粒径の小さな砂礫に比べて養浜箇所付近に留まりやすく、沿岸方向の動きが遅くなる⁴⁾。実際に、地形変化解析で明らかになったように、養浜材の投入箇所付近に形成された舌状砂州は沿岸方向の動きが少なく停滞状態にあった。このことから、養浜によって供給された大礫が表面を覆っている同地区では、上手側から到達したsand bodyの移動が抑制されている可能性が高いことが分かった(図-13の模式図参照)。

5. まとめ

実態解析によれば、安倍川から約 $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂礫の供給に伴い、sand bodyは現在も確実に北向きに広がり、sand bodyによる堆積域の先端は静岡清水海岸の境界付近に達していることが明らかになった。離岸堤背後が土砂でほぼ満砂状態となった区間の先端は、2014年までに $X = 6.5 \text{ km}$ 付近まで到達し、その移動速度は 300 m/yr であった。また、静岡海岸の離岸堤背後では、2001～2003年の養浜によって形成された離岸堤背後の堆積域に南側からsand bodyが到達し、2014年までに沿岸方向に連続的な堆積域となったことも確認された。さらに、2007年以降、清水海岸の離岸堤背後において行われてきたsand bodyの移動促進を目的とした養浜は、同地区を堆積傾向

に転じて、海底地盤を上昇させ、上手側から到達しつつあるsand bodyの土台づくりに役立ったと評価された。しかし、その一方で、養浜材に用いられた安倍川下流域の河床堆積土砂は、礫が80%を占め粒径が粗く、投入箇所の離岸堤背後では、大礫による舌状砂州が発達している状況にあった。sand bodyが到達し、砂浜が回復した現地海岸の前浜を構成するのは主に粒径の小さな礫と砂であるのに対し、大礫による舌状砂州は沿岸方向に動きにくいことから、今後、このような箇所では、上手側から到達したsand bodyの移動が抑制される可能性が高いことも指摘された。これは粒径の大きさの違いによる動きやすさに関する問題であり、静岡清水海岸のように一方沿岸漂砂が卓越する海岸では、現地海浜の材料より大きな粒径を用いるとこのような新たな問題が起こる。なお、この対応としては、現在形成されている舌状砂州を掘削し、その土砂を北側の未だ水深の大きい離岸堤背後に投入すれば良いと考えられる。総合土砂管理の観点から流砂系の砂礫を用いた養浜は各地で行われているが、河口から自然に供給された砂礫と、河床を掘削して人為的に運んだ砂礫ではその大きさが異なることから砂礫の移動状況にかなり大きな違いが出ることは今後留意すべき点である。

参考文献

- 1) 宇多高明, 西谷 誠, 芹沢真澄, 三波俊郎, 石川仁憲: 等深線変化モデルによるsand body移動の数値解析, 地形, Vol.28, pp.399-414, 2007.
- 2) 石川仁憲, 宇多高明, 大橋則和, 岩本仁志, 三波俊郎, 宮原志帆, 芹沢真澄: 安倍川からの供給土砂量の増減に応じた静岡清水海岸の地形変化とその再現計算, 地形, Vol.32, pp.437-457, 2011.
- 3) 宇多高明, 西谷 誠, 芹沢真澄, 三波俊郎, 石川仁憲: 静岡海岸におけるsand bodyの移動促進策の検討, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.1261-1266, 2008.
- 4) 宇多高明, 石川仁憲, 宮原志帆, 芹沢真澄: Moving Gravel Body工法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.1_661-1_665, 2011.

(2016.2.4 受付)

MOVEMENT OF SAND BODY AND VERIFICATION OF EFFECT OF BEACH NOURISHMENT ON SHIZUOKA-SHIMIZU COAST

Toshinori ISHIKAWA, Takaaki UDA, Yoshiyuki MIZUNO, Masashi SATO and Toshiro SAN-NAMI

The movement of sand body was investigated using the bathymetric survey data, and the effect of beach nourishment was verified on the Shizuoka-Shimizu coast. It was found that the sand body moved downcoast given the sand supply of $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ from the Abe River. The beach nourishment using the riverbed material of the Abe River was effective as a measure against beach erosion. However, it was estimated that the deposition of coarser material on the beach face causes the slowdown of the movement velocity of sand body.