

# 粗粒材養浜後の浜松篠原海岸の海浜変形の実態

宇多 高明<sup>1</sup>・内藤 慎也<sup>2</sup>・袴田 充哉<sup>3</sup>・八木 裕子<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 (一財) 土木研究センターなぎさ総合研究所兼日本大学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 (Corresponding Author)

<sup>2</sup>静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課 (〒420-8601 静岡県静岡市葵区追手町 9 番 6 号)

E-mail: kasenki@pref.shizuoka.lg.jp

<sup>3</sup>静岡県交通基盤部河川砂防局河川海岸整備課 (〒420-8601 静岡県静岡市葵区追手町 9 番 6 号)

<sup>4</sup>正会員 (株) 東京建設コンサルタント環境防災事業本部海岸・海洋部  
(〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-15-6)

浜松篠原海岸では、2006年以降、3基の離岸堤の設置とともに天竜川の河床堆積物を用いた粗粒材養浜が行われ、2016年2月までに92.9万 m<sup>3</sup>の土砂が投入された。深浅測量データを基にこの海岸での粗粒材の移動状況を詳しく調べたところ、土砂投入区間では、汀線が2015年までに最速で15.4 m/yrの速度で前進したが、養浜が中止されると投入部では徐々に汀線が後退し、一度は広がった前浜が狭まった。汀線を挟むT.P.+3 m~-2 m間の前浜断面積変化量  $\Delta A$  と汀線変化量  $\Delta y$  の間には  $\Delta A = 4.41 \Delta y$  なる関係 ( $R^2 = 0.93$ ) が得られ、投入土砂は汀線付近に集中的に堆積し、gravel bodyをなして移動しており、その場合の移動高は4.4 mであった。これより、投入された粗粒材は汀線付近に集中しつつ移動することから、少なくとも投入土砂が汀線付近に留まる間、汀線維持上一定の効果があることが分かった。

**Key Words :** beach nourishment, shoreline change, Hamamatsu-shinohara coast, coarse sediment

## 1. まえがき

浜松篠原海岸(図-1)は、天竜川河口の西約3.7 kmから西側に広がっており、その東端部では二級河川馬込川が遠州灘に注いでいる。この海岸では、天竜川からの流出土砂量の激減とともに侵食が進んできた。2003年には当海岸にあった浜松市のゴミ処分場が侵食され、埋積ゴミが流出するなどの被害が出た。これを契機として、2005年より天竜川下流河道の河床掘削土砂を用いた粗粒材養浜が開始され、2016年2月までに総量92.9万 m<sup>3</sup>の土砂が投入された(図-2)。養浜後、空中写真や深浅測量データなどを用いた地形変化解析が行われ、養浜区域付近では汀線が著しく前進したことが、また、養浜材に含まれた礫が-2 m以下に集中的に堆積しつつ、沿岸方向に広が

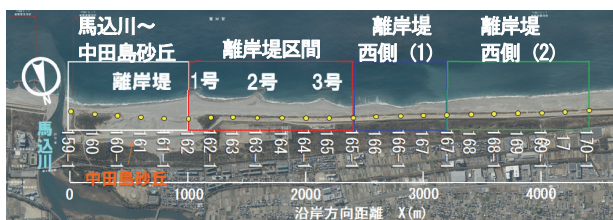


図-1 浜松篠原海岸での深浅測量の測線配置と座標系

ったことが明らかにされた<sup>1)</sup>。しかしその一方、沖合では侵食が進行しつつあることから、過去40年間に取得された深浅測量データを用いて、等深線位置の時間空間変化を調べる方法により沖合侵食の実態も調べられた<sup>2)</sup>。しかし養浜区域の汀線変化と海浜断面変化の詳しい関係は捉えられていないし、また、当海岸では粗粒材が投入されると同時に3基の離岸堤が設置され、これらが汀線付近での粗粒材の沿岸方向の移動を強く抑制していると思われるが、離岸堤と粗粒材の移動との関係も明らかではない。本論文では、これらの点について深浅データを用いて詳細な解析を行った。

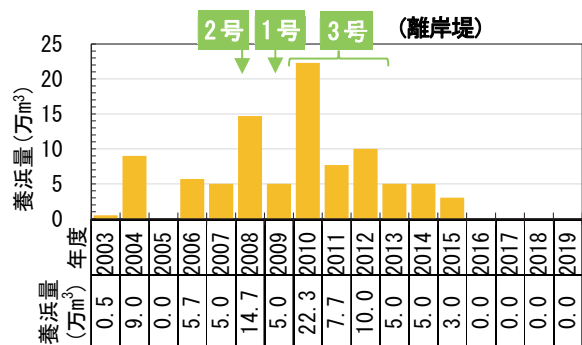


図-2 各年の養浜量と1~3号離岸堤の建設時期

## 2. 養浜の実態と調査方法

図-1には調査区域の測線配置を示す。馬込川の右岸河口導流堤に原点を設け、沿岸方向にX軸を、それと直角方向にY軸を定めた。粗粒材養浜は、馬込川河口からその西500 mまでの矩形区域で行われた。養浜区間を横断する測線はNo.159-1, 160, 160-1の3測線である。土砂投入は2003年から開始され、2005年には中断されたものの、2006年から2016年2月まで毎年行われた(図-2)。また、養浜と同時期の2007, 2008年には2号離岸堤(以下、2号堤と略)と1号堤が図-1に示す位置に造られ、引き続き2009~2011年には2号堤の西約600 mに3号堤が設置された。

養浜後、馬込川河口右岸に設定されたNo.159-1より、西向きに200 m間隔、沖方向に1500 mまでの範囲について、21測線で深淺測量を行った。以下では、養浜が開始された2005年以降の取得データより、まずはT.P.±0 mで与えられる汀線位置を読み取り、その時空間的変動を調べた。また、既往研究<sup>1)</sup>によれば、粗粒材はほぼ2 m以浅に堆積し、それより沖への移動はほとんどないことが明らかにされていることを考慮し、T.P.-2 m~+3 m間の前浜断面積を算出し、これと汀線変化の関係について調べた。さらに、当海岸での波による地形変化の限界水深 $h_c$ (T.P.-12 m)に至る全水深帯の断面積の変化を調べた。図-3には例として、No.160-1での縦断形と断面積の計算範囲を示す。最後に、調査区域全体での土砂量変化をもとに、今後の侵食対策について論じた。

## 3. 汀線変化

### (1) 養浜区域での汀線変化

養浜区域(測線No.159-1, 160, 160-1)における汀線変化を図-4に示す。No.159-1( $X=0$  m)では2006年2月より汀線の前進が始まり、変動を伴いながら9.5 m/yrの速度で前進し、2015年3月には最大前進量116 mを持つに至った。しかし2016年2月に養浜が終了すると一度は前

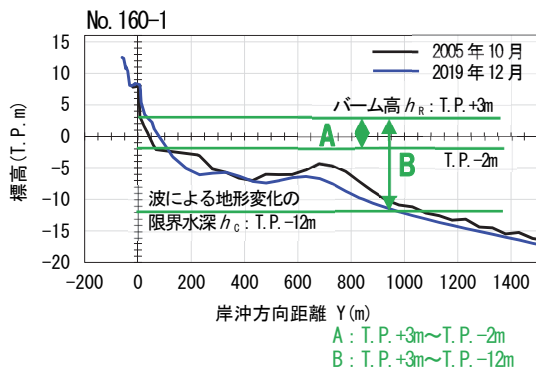


図-3 海浜断面形の変化と断面積の計算範囲

進した汀線が後退傾向に転じ、2018年までは50 m程度の前進量を保っていたものの、2019年12月には養浜前の状態に戻った。No.160( $X=200$  m)でも2006年11月から汀線前進が始まり、2012年11月までに12.2 m/yrで前進し、最大前進量が103 mとなった。その後2014年2月まで前進量は102 mとほぼ同じ値を保ったが、2015年11月までに50 m後退した。さらに2019年1月まではほぼ一定値を保ったが、2019年12月には汀線が急激に後退し、養浜前と比べ31 m前進したのみとなった。同様に、No.160-1( $X=400$  m)では、2007年2月から15.4 m/yrの速度で前進し2013年11月までに91 mまで前進したが、その後緩やかな後退傾向に変わった。またこの測線でも2019年12月には急激な汀線後退が起き、養浜前と比べ21 m前進したのみとなった。

### (2) 養浜区域と1号堤間での汀線変化

養浜区域と1号堤間(測線No.161, 161-1, 162)における汀線変化を図-5に示す。No.161( $X=600$  m)では、2008年3月より汀線が前進し始め、変動を伴いながら16.0 m/yrと急速に前進し、2014年9月には最大前進量104 mを持つに至った。2015年以降、汀線は後退傾向に転じたが、2017年11月までの汀線後退速度は14.3 m/yrで、そ

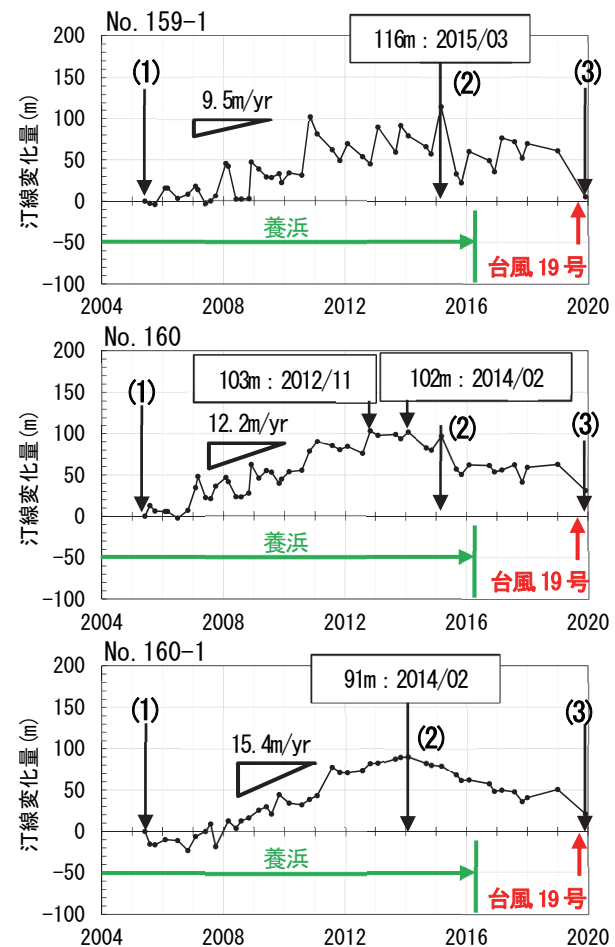


図-4 養浜区間 (No.159-1, 160, 160-1) の汀線変化

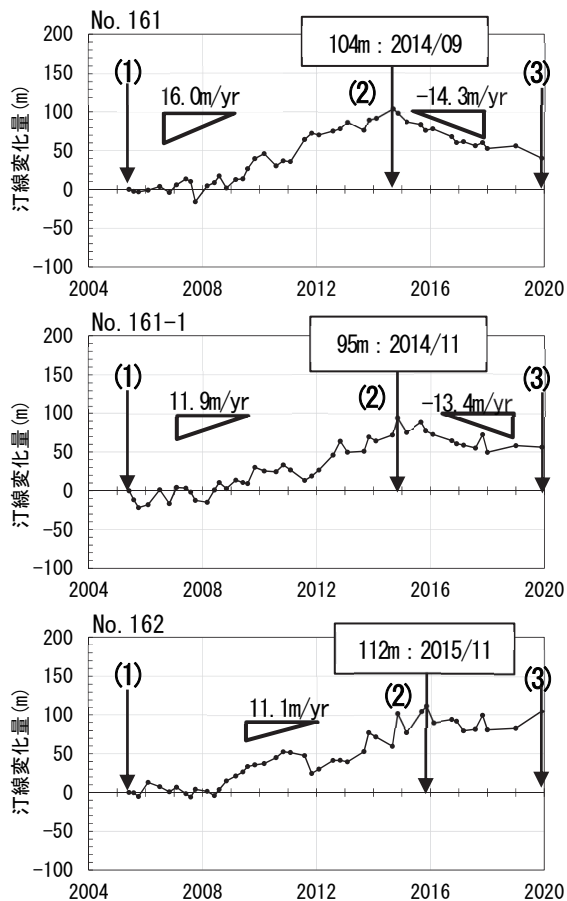


図-5 養浜区域と1号堤間 (No.161, 161-1, 162) の汀線変化

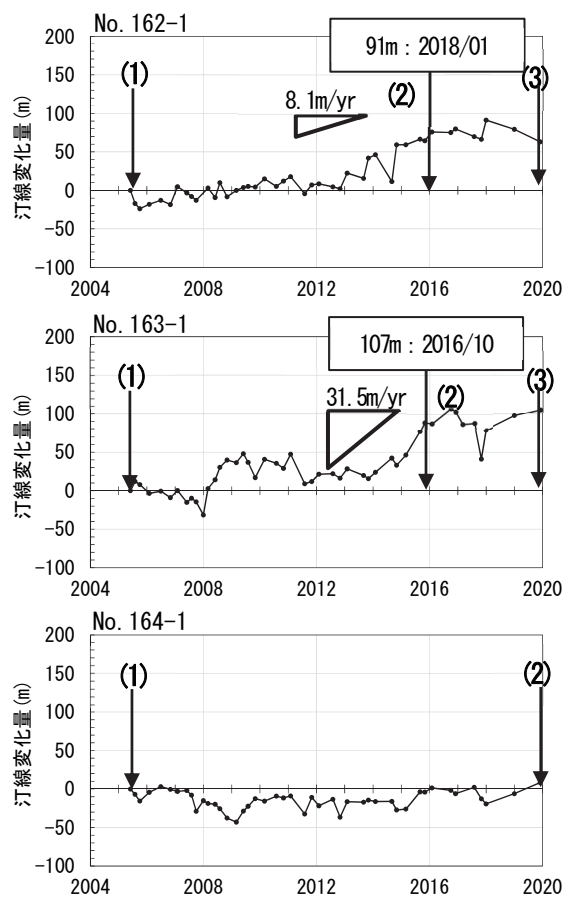


図-6 1号堤と3号堤間 (No.162-1, 163-1, 164-1) の汀線変化

の後はほぼ50mの一定値を保った。養浜終了後約4年が経過した2019年12月でも40mの浜幅が残された。No.161-1 (X=800m) では2008年3月から汀線前進が始まり、2014年11月までに11.9m/yrの速度で前進して最大前進量95mを持つに至ったが、その後は2017年8月まで13.4m/yrの速度で後退した。2019年11月まではほぼ60mの前進量を保った。No.162 (X=1000m) では2008年6月から11.1m/yrの速度で前進し2015年11月までに112mとなり、養浜が中止されても汀線前進量は80mとほぼ一定値を保った。この測線は1号堤の東側直近に位置するため、離岸堤による沿岸漂砂阻止効果が顕著に現れたことが汀線位置が保たれた理由と考えられる。

以上の6測線の汀線変化を比較すると、馬込川に近接するNo.159-1, 160, 160-1では2019年に汀線が急激に後退し、しかも2019年12月時点の汀線後退量が馬込川に近い場所ほど56m (No.159-1)、32m (No.160)、30m (No.160-1)、16m (No.161)と大きいのが特徴である。竜洋観測所での波浪観測によれば、2019年10月12日には台風19号に伴う高波浪(最大有義波高7.42m, 周期12.5s)がS24°E方向と左回りの方向から入射したが<sup>3)</sup>、図-1より調査対象区域の平均汀線に立てた法線の方向角はS12°Wであり、法線に対する波向角は左回りに36°をなしていた。このため大きな西向き沿岸漂砂が生じ、

この沿岸漂砂が馬込川河口導流堤により阻止されたためその西側近傍で汀線が大きく後退したと考えられる。

### (3) 1号堤と3号堤間での汀線変化

図-6には1号堤と3号堤間(測線No.162-1, 163-1, 164-1)の汀線変化を示す。ここにNo.163-1とNo.164-1の間には2号堤が設置されている。これによれば、No.163-1 (X=1600m)を境に汀線変化に顕著な違いがあり、No.162-1, No.163-1では東側に位置する測線と同様、2005年以降2016年頃まで汀線が単調に前進し、最大汀線前進量を示した後もほぼ一定値を保っていたのに対し、2号堤の西側に位置するNo.164-1 (X=2000m)では養浜と連動した汀線前進は見られず、養浜と独立に、ほぼ一定値を保った。投入粗粒材の一部は2号堤付近を通過したものの、2号堤が西向き移動をかなり強く阻止したことがこの理由と考えられる。

### (4) 3号堤の西(下手)側での汀線変化

3号堤の西(下手)側の測線No.165-1~No.169-1の汀線変化を図-7に示す。上手側の養浜区間では汀線が2015年頃まで前進したのと対照的に、いずれの測線でも汀線は2012年頃から単調に後退し続けている。3号堤は2011年までに造られたことを考慮すると、3号堤の建設により

西向き沿岸漂砂が減少したことがこの区域での汀線後退の原因と推定される。

#### 4. 縦断形変化

養浜による前浜の地形変化を明らかにするために、特徴の見られる3測線の縦断形変化を図-8に示す。ここに、No.159-1は養浜区域、No.162は1号堤上手側で養浜区域の西端に、No.166-1は3号離岸堤の西側を通る測線であり、いずれも陸端からY=250mまでの範囲の縦断形変化を示す。また、図-8に示すNo.159-1とNo.162の縦断形の測定時期は、図-4.5にそれぞれ番号で示すように、(1)養浜開始時の2005年、(2)汀線が最も前進した2015年頃、そして(3)2019年12月とした。一方、2号堤西側のNo.166-1では明瞭な汀線前進が起こらないまま2012年以降汀線が後退したことから、図-7に示すように、(1)初回と(2)最終の2019年12月の縦断形を示した。

まず、養浜区域を通るNo.159-1では大量の土砂が投入されたため、2015年まで断面積が大きく増大し汀線も前進したが、2019年12月までに大部分の土砂は削り取ら

れ、養浜前の縦断形に戻った。養浜区域と1号堤間を通るNo.162では、西向き沿岸漂砂により投入土砂が運ばれてきた結果堆積が進んでおり、離岸堤が沿岸漂砂を阻止しているため堆積形状が保たれている。これに対して、3号堤の西側のNo.166-1では、初期汀線近傍が侵食され、汀線後退と同時に前浜の土砂の消失が著しく、2005年から2019年までに前浜から大量の土砂が消失し、海底勾配が急となった。

#### 5. 前浜断面積と土砂量の変化

各測線の縦断形変化においては、波による堆積作用の上限(バーム高)はほぼ+3mにあった。また、既往研究によれば礫の堆積限界はほぼ-2mにある。そこで、T.P.+3m~-2m間を前浜と定義し、この間の海浜断面積を算出した。例えば、図-9は養浜区域(No.159-1, 160-1)の前浜断面積の経年変化を示す。この区間の前浜断面積は、図-4に示した汀線変化と相似形を保って変化しており、他の測線でも同様な傾向が確認できる。そこで図-10には全測線のデータを用いて汀線変化量( $\Delta y$ )と前浜断面積変化量( $\Delta A$ )の相関を調べた結果を示

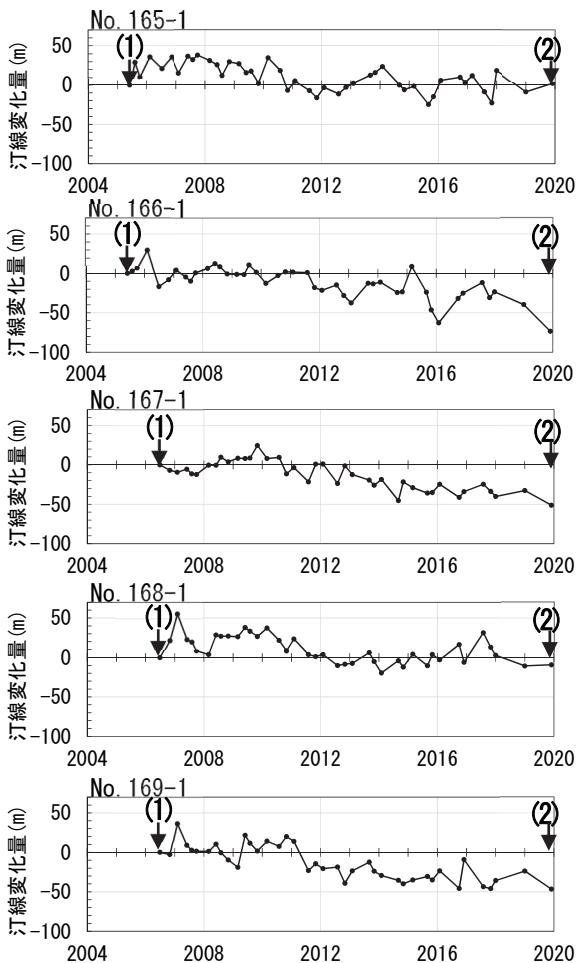


図-7 3号堤の西(下手)側のNo.165-1~No.169-1の汀線変化

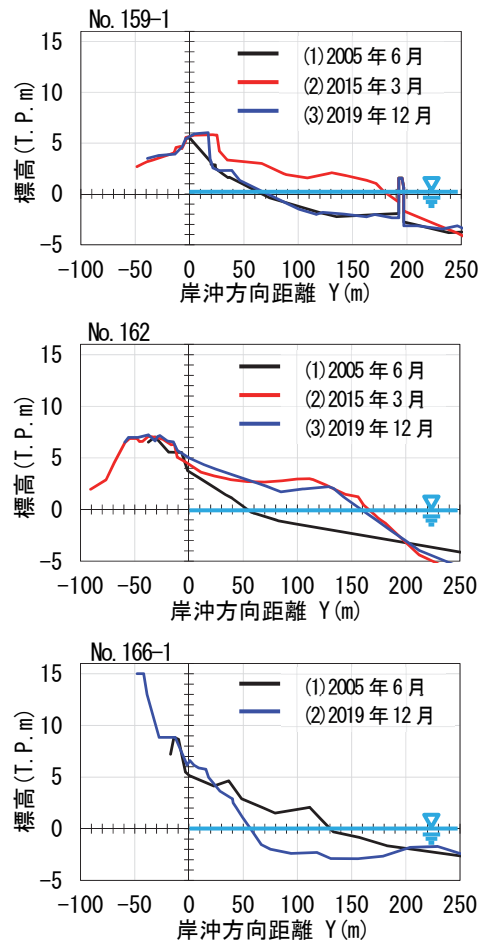


図-8 No.159-1, 162, 166-1の縦断形変化

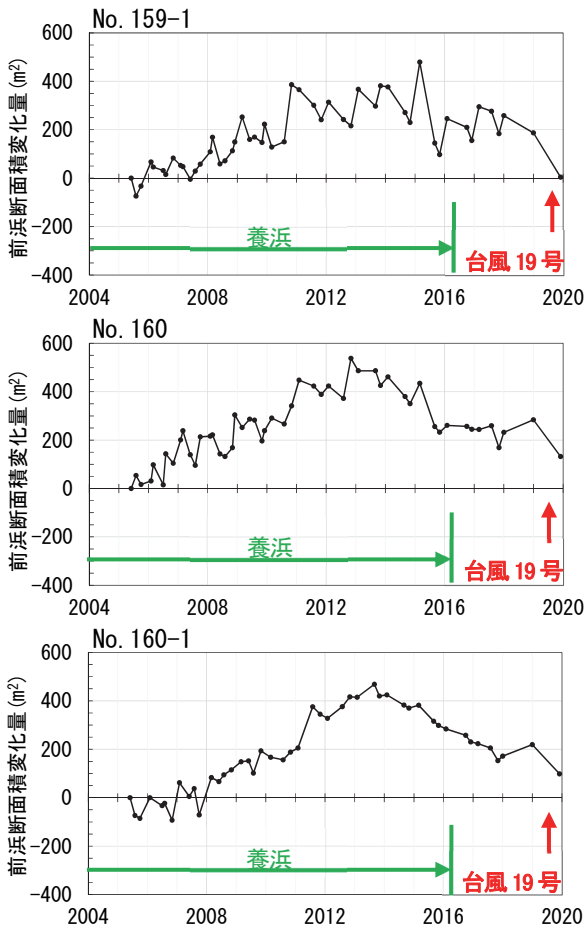


図-9 養浜区間 (No.159-1, 160, 160-1) の前浜断面積の変化

す。これによれば、 $R^2=0.93$  で  $\Delta A=4.41 \Delta y$  なる関係が得られ、汀線変化量と前浜断面積変化量の間には高い相関関係が成立している。このことは、投入礫が汀線付近において砂と混合しつつもまとまって移動していることを意味し、礫を主とする土砂の塊 (gravel body) の移動が起きていると考えられる。この場合、gravel body の移動高はほぼ 4.4 m で与えられる。

ここで図-11 に示したように、調査区間全体を馬込川～中田島砂丘 (No.159～No.162)、離岸堤区間 (No.162～No.165-1)、離岸堤西側区間(1)、離岸堤西側区間(2)の4領域に区分し、それぞれの区間の T.P.+3m～T.P.-2m 間の前浜断面積を積分し、その時間的変化をまとめた結果を図-11 に示す。養浜区間を含む 1 号堤東側の No.159～No.162 では、2015 年 3 月に 39.0 万  $m^3$  のピーク値を有した後、養浜休止後の 2016 年 2 月から 2019 年 12 月まで 3.2 万  $m^3/yr$  の速度で土砂量が単調に減少している。なお、2008 年には測線 No.160, 162, 164 において岸沖方向測線に沿って底質調査が行われ、粒度組成の水深方向分布が調べられた<sup>1)</sup>。この結果によれば、投入された養浜材のうち礫分はほぼ 2 m 以浅に集中的に堆積することが確認された。したがってこの土砂量の減少は、離岸堤群付近を礫を主成分とする土砂がまとまって沿岸方向に移動し

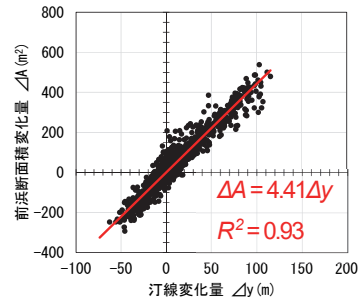


図-10 前浜断面積変化量と汀線変化量の相関 (全データ)

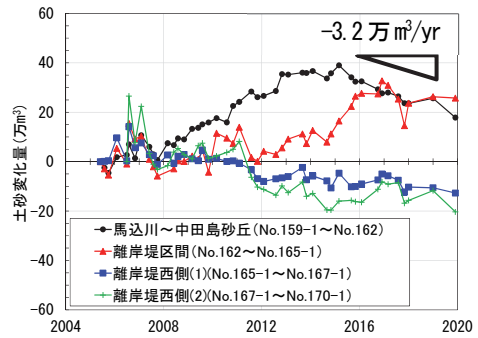


図-11 区間別前浜土砂変化量

たことによると考えられる。

その西側の離岸堤区間の土砂量はほぼ一定値を保っているためこの区間では西向きの沿岸漂砂が通過するのみであるが、離岸堤群の西側区間(1)では上手側からの漂砂供給を受けつつも 1.6 万  $m^3/yr$  の速度で土砂量は単調に減少している。よって養浜区間を含む 1 号堤の東側と離岸堤群の西側区間(1)での土砂量減少速度の和 4.8 万  $m^3/yr$  が浜松篠原海岸の粗粒材養浜区域の T.P.+3m～T.P.-2m 間から運び去られていると考えられる。

## 6. 全海浜断面積変化量

前節までの検討によれば、養浜による汀線の前進と同時に、T.P.-2 m～+3 m 間の前浜断面積も経時的に増加し、養浜が中止されると前浜断面積も減少に転じたことが明らかになった。しかし浜松篠原海岸では図-3 に示したように、沖合にはバー・トラフが発達しており、それらの変動に伴う地形変化は、前浜地形変化と比べても大きい。そこで陸側の基準点から波による地形変化の限界水深  $h_c$  (T.P.-12 m) に至る全水深帯の断面積の変化について調べた (図-12)。この結果を図-4 に示した汀線変化と比べると、養浜が行われているにもかかわらず変化傾向が大きく異なる。

まず、馬込川～中田島砂丘間の No.159-1～No.162 では、養浜が行われたことにより 2010～2012 年には土砂量が急速に増加し、2014 年 11 月まではわずかな減少に留まっていたが、以降ではほぼ 11.4 万  $m^3/yr$  の速度で土砂量の

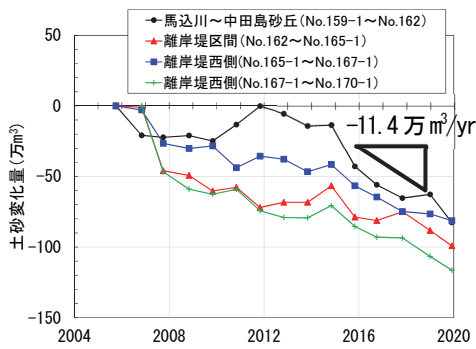


図-12 海浜全土砂量の変化 (2005年6月基準)

減少が起きた。No.162～No.165-1の離岸堤区間では、上手側で養浜が行われたにもかかわらず2011年以降土砂量の増加はわずかで、ほぼ一定のレベルを保った後、2014年11月以降、馬込川～中田島砂丘間の養浜区間とほぼ同様な速度で砂が運び去られた。さらに、離岸堤西側のNo.165-1～No.167-1とNo.167-1～No.170-1の区間でも同様に侵食が進んでいる。以上の4区間全体での2014年11月以降の総侵食速度は33.4万m<sup>3</sup>/yrであった。この値はT.P.-2m～+3m間での侵食速度4.8万m<sup>3</sup>/yrと比べると約7倍であり、汀線～前浜での侵食と比べると主として細砂・中砂が堆積している沖合<sup>り</sup>での侵食が著しいことが分かる。

## 7. まとめ

浜松篠原海岸では天竜川の河床堆積物を用いた粗粒材養浜が2006～2015年に行われ、2015年までに総量92.9万m<sup>3</sup>の土砂が投入された。養浜後のモニタリング調査によれば、土砂投入区間では汀線が2015年まで最速で15.4m/yrの速度で前進したが、養浜が中止されると土砂投入部では徐々に汀線が後退し、一度は広がった前浜が狭まった。汀線を挟むT.P.+3m～-2m間(前浜)の土砂量を求めたところ、前浜断面積変化量 $\Delta A$ と汀線変化量 $\Delta y$

の間には $R^2 = 0.93$ で $\Delta A = 4.41 \Delta y$ なる関係が得られた。投入礫は汀線付近にgravel bodyをなして移動しているため上記関係が得られたと考えられ、その場合の移動高はほぼ4.4mで与えられた。

一方、養浜区間を含む1号堤東側のNo.159～No.162では、2015年3月に39.0万m<sup>3</sup>のピーク値を有した後、養浜休止後の2016年2月から2019年12月まで3.2万m<sup>3</sup>/yrの速度で土砂量が単調に減少していた。その西側の離岸堤区間の土砂量はほぼ一定値を保っていたことからこの区間では西向きに沿岸漂砂が通過するのみであるが、離岸堤群の西側区間(1)では上手側からの漂砂供給を受けつつも1.6万m<sup>3</sup>/yrの速度で土砂量は単調に減少していた。よって養浜区間を含む1号堤の東側と離岸堤群の西側区間(1)での土砂量減少速度の和4.8万m<sup>3</sup>/yrが浜松篠原海岸から運び去られていると考えられる。したがって上記土砂量の減少速度見合いの約5万m<sup>3</sup>/yrの粗粒材養浜を行うことができれば、少なくとも前浜部分では養浜の効果を保つことが可能と考えられる。一方、浜松篠原海岸の沖合では侵食が進みバーの消失も続いている。これについては沖合の海底に主に堆積している細砂・中砂の供給量を増やすことが必要であり、沖合侵食への対応は今後の課題として残されている。

## 参考文献

- 1) 宇多高明, 石川仁憲, 三波俊郎, 青葉佳宏, 大井戸志朗: 静岡県浜松篠原海岸における粗粒材養浜後の地形変化実態, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I\_691-I\_695, 2014.
- 2) 貝沼征嗣, 遠藤和正, 榎原秀作, 宇多高明, 石川仁憲, 三波俊郎: 浜松篠原海岸の粗粒材養浜区域の沖合で進む大規模侵食, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp. I\_709-I\_714, 2016.
- 3) 宇多高明, 貝沼征嗣, 袴田充哉, 八木裕子: 通常と逆向きに発達した沿岸漂砂による竜洋海岸の侵食, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.76, No.2, pp. I\_541-I\_546, 2020.

(Received March 17, 2021)

(Accepted July 22, 2021)

## BEACH CHANGES ON HAMAMATSU-SHINOHARA COAST AFTER BEACH NOURISHMENT USING COARSE MATERIAL

Takaaki UDA, Shinya NAITO, Mitsuya HAKAMATA and Hiroko YAGI

On the Hamamatsu-shinohara coast, beach nourishment has been carried out between 2006 and 2015 using  $9.26 \times 10^5$  m<sup>3</sup> of coarse sediment transported from the riverbed of the lower Tenryu River as well as the construction of three detached breakwaters. Beach changes after the beach nourishment were monitored by beach surveys. The shoreline has advanced at a rate of 15.4 m/yr until 2015 in the nourishment zone, and then the shoreline has gradually retreated after the stoppage of beach nourishment. The relationship between the change in foreshore area ( $\Delta A$ ) between +3 m above and 2 m below mean sea level, and the shoreline change ( $\Delta y$ ) was investigated. A relationship of  $\Delta A = 4.41 \Delta y$  was obtained between the variables with  $R^2 = 0.93$ . Coarse sediment was transported alongshore with a characteristic height of beach changes of 4.4 m. Thus, beach nourishment was effective to maintain the shoreline.