

# 遠州灘に面した菊川河口周辺での 砂丘発達と飛砂量の算定

宇多 高明<sup>1</sup>・内藤 慎也<sup>2</sup>・八木 裕子<sup>3</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> 正会員 (株) 東京建設コンサルタント海岸・海洋事業本部

(〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-15-6)

E-mail: yagi-h@tokencon.co.jp

遠州灘に面した菊川の河口周辺に位置する測線 No.102, 88, 86, 84 において, 2015~2020 年に取得された縦断測量データを用いて陸向き飛砂量を算定した. また, 2021 年 4 月 20 日には菊川河口周辺の現地調査を行い, 海浜砂のサンプリングを行った. この結果, 各測線ごとの陸向き飛砂量は, 2.7 m<sup>3</sup>/m/yr (No.102), 3.4 m<sup>3</sup>/m/yr (No.88), 3.9 m<sup>3</sup>/m/yr (No.86), 8.1 m<sup>3</sup>/m/yr (No.84) と求められた (平均値: 4.5 m<sup>3</sup>/m/yr). この値は, 既往研究において地質学的時間スケールの地形形成から推定した陸向き飛砂量 3 m<sup>3</sup>/m/yr と同じオーダーであり, 長期間の地形形成から推定した飛砂量と, 縦断形変化から推定した飛砂量がオーダー的に一致することが分かった.

**Key Words :** rate of windblown sand, Kikugawa River, longitudinal profile, angle of repose of sand

## 1. まえがき

天竜川河口の両翼に広がる遠州灘沿岸では, 冬季に強い西寄りの風的作用を受けるために飛砂が著しい. 天竜川河口の東側に位置する東部遠州灘沿岸では, 西寄りの風による飛砂は東向きの沿岸漂砂とほぼ同一方向であり, 東向きの砂移動を助長する方向となっている. また大部分の区域では, 海岸線に対して風が斜めに海から陸へと吹き込むため, 浜岡砂丘をはじめとして各地で砂丘の発達が促されてきた. このように東部遠州灘沿岸にあっては, 飛砂量が沿岸漂砂量と比べて無視できないオーダーを有している. このことから, 宇多ら<sup>1)</sup>は, 東部遠州灘沿岸を対象として, 地質学的スケールでの砂丘の発達に要した総飛砂量をもとに陸向きの飛砂量のcalibrationを行い, 陸向き飛砂量の沿岸方向分布を求めた. 一方, 宇多ら<sup>2)</sup>は, 図-1に示す東部遠州灘沿岸の海浜変形に関し, 汀線から陸域へと運び去られる飛砂は海浜砂量の低減をもたらすと考え, 地形学的時間スケールでの沿岸漂砂分布を算出した. また, 1947年当時沿岸方向に運ばれる飛砂量は浜岡海岸ではほぼ2万 m<sup>3</sup>/yrであるとした. さらに海岸線直角方向の飛砂量分布として図-2の結果を示した. 図は御前崎から浅羽海岸までの地域における海岸線直角

方向での単位長さ当りの飛砂量分布を示しており, この結果によれば, 東部遠州灘沿岸に位置する大浜海岸に流入する菊川の河口付近では, 陸向き飛砂量が3 m<sup>3</sup>/m/yrと推定された. しかしこの推定の妥当性は現地海浜では確認されていない. そこで本研究では, 菊川河口周辺で行

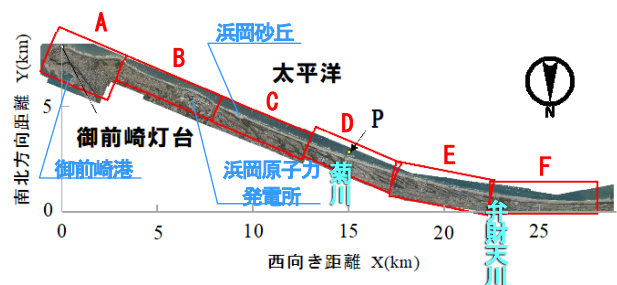


図-1 東部遠州灘海岸の空中写真と座標系<sup>2)</sup>

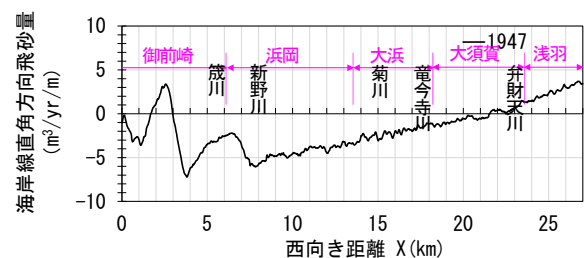


図-2 海岸線直角方向の飛砂量分布<sup>2)</sup>

われてきた縦断測量データに基づく砂丘地での堆砂量の変化より、陸向き飛砂量を算定するとともに、2021年4月20日には菊川河口周辺で現地調査と砂丘と海浜の構成材料の採取を行い、上記飛砂量の推定の妥当性について考察した。

## 2. 飛砂量の算定方法と飛砂堆積状況の確認

本研究では、飛砂の堆積が実際に起きていることをまず衛星画像により確認し、その上で定期縦断測量に基づく縦断形の変化から飛砂量の算定を行った。飛砂をひき起こす風の速度と方向は時間的に変動するものであるが、長期間で見た砂丘の形成には時々刻々に変動する飛砂というよりも、それらを積分した総飛砂量が強く関わると考えられることから、2015～2020年の6年間の縦断形測量の結果より平均値としての陸向き飛砂量の推定を行った。

当海岸では、海岸線に沿う砂丘頂付近に旧自転車道が走っているが、飛砂はこの旧自転車道を横断して砂丘の裏側に安息勾配の急斜面をつくりながら堆積している。縦断形変化を算出するための縦断測量は、図-3に配置を示すように、菊川河口の西側では測線No.93～No.102の4測線で、河口の東側ではNo.90～No.84の4測線で行われている。これらの測線のうち、顕著な飛砂堆積が観察された測線は、河口の西2 kmを通る測線No.102と、河口左岸側を通る測線No.88, 86, 84であったことから、これらの4測線を検討対象として陸向き堆砂量の計測を行った。その場合、飛砂は岸沖方向に設定された測線と直角方向、すなわちほぼ東向きに運ばれているため、測線に沿った



図-3 菊川河口の西側，東側での縦断測量の測線配置

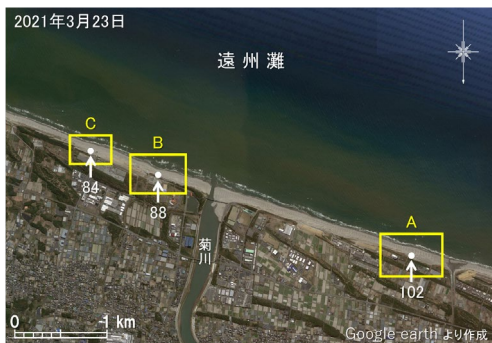


図-4 菊川河口両側での区域 A, B, C の配置

断面形状の変化のみを調べるのでは不十分であり、海浜の面的広がりを同時に把握する必要があると考えられる。このため、これらの測線を含む矩形区域を設定し、この区域内での海浜形状の特徴を衛星画像から把握することとした。図-3には設定した矩形区域を示す。

さらに飛砂の堆積状況を実際に現地海岸で調べるために、2021年4月20日に実施した現地調査では、図-4に示すように、菊川河口の西2 kmを通る測線No.102を囲んで区域Aを、河口東側の測線No.88とNo.84を囲んで区域B, Cを定め、これらの区域を対象に詳細な現地調査を行った。なお、測線No.86では現地調査時に津波防潮堤の工事が行われており、このため土地改変が著しく、現地状況の確認ができなかったことから除外した。

## 3. 縦断測量結果に基づく飛砂堆積量の計測

図-5には飛砂が著しい時期として、2018年1月13日撮影のNo.102付近の空中写真、測線の原点、測線方向を示す。図には前報<sup>1)2)</sup>で得られた当海岸での卓越風の方向W+11.25° Nも示す。図に示すように、後浜にはきれいに風紋が発達しており、推定された卓越風の方向はこれらの風紋とほぼ直交していた。また、後浜に造られた多数の堆砂垣の海側端部から下手側には堆積域が見られ、その形成区域は上記卓越風の方向と調和的であった。

図-5に配置を示す測線No.102の2015～2020年の縦断形変化を図-6に示す。測線No.102では、砂丘のピーク近傍を旧自転車道が縦断方向に走っているが、この旧自転車道海側のY=20 m地点より陸側では経年的に堆積量が増加しており、しかもこの付近は標高が6 m以上と、波の遡上域より陸側なので、波による地形変化ではなく飛砂による地形変化として、汀線側から運ばれた飛砂が堆積して起きたと考えられる。ただし、他の測線では砂丘背後の安息勾配斜面での砂の堆積量の推定を行うのとは異なり、この測線では砂丘頂の海側での地盤高の変化から砂の堆積量を推定することとし、参考として他の測線の結果と比較した。この測線上での2015年基準での断面積変化量より、最小二乗法で変化速度を求めると、堆積速度は2.7 m<sup>3</sup>/m/yr (R<sup>2</sup>=1.0)であった(図-7)。

同様にして菊川河口左岸の測線No.88を含む区域の空中写真を図-8に、縦断形変化を図-9に示す。測線No.88では、自転車道より陸側、砂丘裏側斜面の標高14～3 m間に、1/1.5勾配をなして砂が堆積し、砂丘背後の断面が陸向きに平行移動している。この砂の堆積は砂丘頂まで運ばれた砂が砂丘背後に安息勾配をなして堆積したものであり、砂は砂丘背後の急斜面を滑って斜面下方へと落ち込んでいる。そこで図-9に示す砂丘背後の急斜面を含む積分範囲で堆積断面積を求め、2015年基準での2020



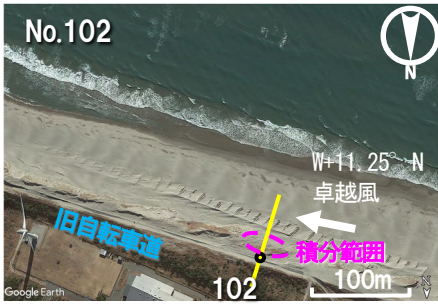


図-5 測線 No.102 付近の空中写真 (2018年1月13日)

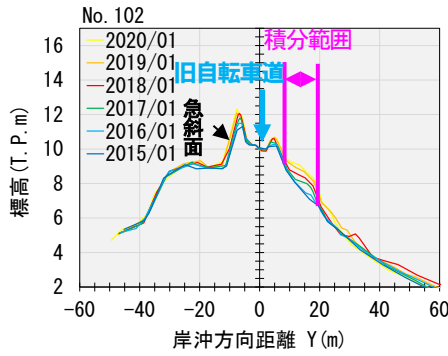


図-6 No.102 での縦断形変化

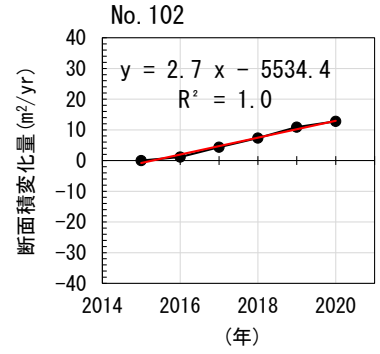


図-7 No.102 での断面積変化

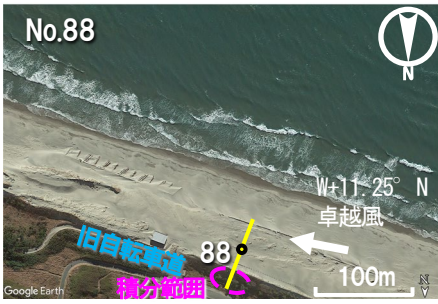


図-8 測線 No.88 付近の空中写真 (2018年1月13日)

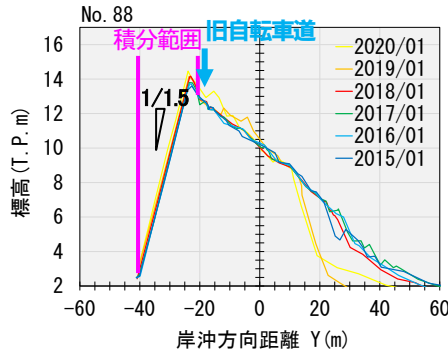


図-9 No.88 での縦断形変化

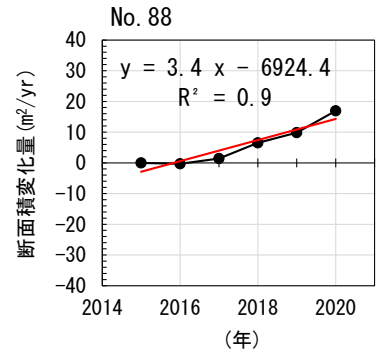


図-10 No.88 での断面積変化

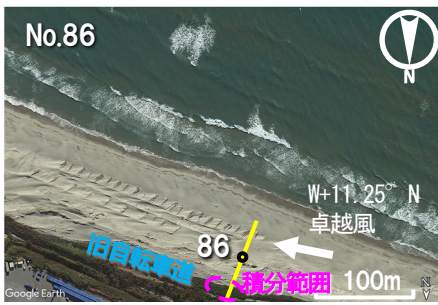


図-11 測線 No.86 付近の空中写真 (2018年1月13日)

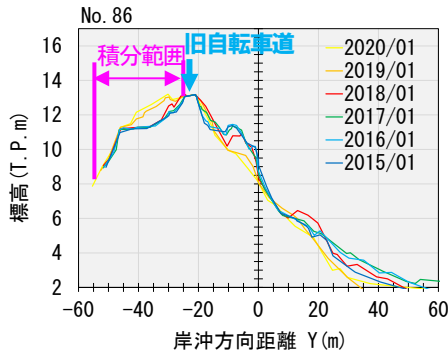


図-12 No.86 での縦断形変化

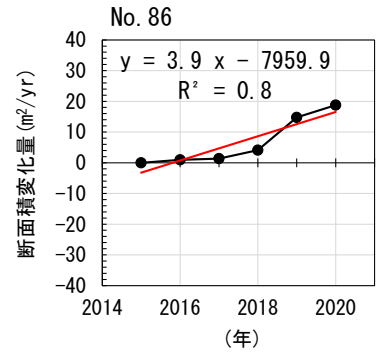


図-13 No.86 での断面積変化

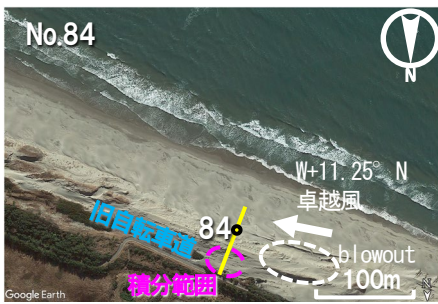


図-14 測線 No.84 付近の空中写真 (2018年1月13日)

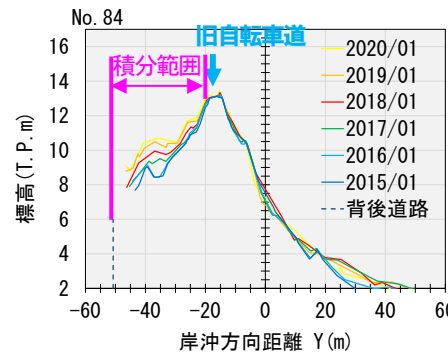


図-15 No.84 での縦断形変化

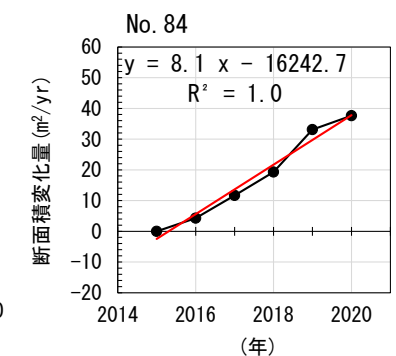


図-16 No.84 での断面積変化

年までの断面積変化速度を求めると、砂丘断面積の増加速度は  $3.4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr}$  ( $R^2=0.9$ )となった (図-10)。

同様にして測線 No.86 では空中写真として図-11 が、また縦断形変化として図-12 が得られ、この測線でも旧自転車道より陸側の急斜面で顕著な堆積が見られる。そこで図-12 に示すように旧自転車道より陸側の斜面上に積分範囲を設定して断面積を積分し、2015年基準での

2020年までの断面積変化量を求めると、その増加速度は  $3.9 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr}$  ( $R^2=0.8$ )となった (図-13)。この堆積速度は測線 No.88 の値( $3.4 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr}$ )とほぼ等しい。さらに測線 No.84 を含む区域の空中写真を図-14 に、縦断形変化を図-15 に示す。この測線でも砂丘のピークを旧自転車道が縦断して伸びており、旧自転車道の陸側の急斜面上で顕著な堆積が起きている。この場合も2015年基準での2020

年までの断面積の変化量を算出し、経過時間で除すと、断面積の増加速度は $8.1 \text{ m}^3/\text{yr}$  ( $R^2=1.0$ )となった(図-16)。この値は他の3測線で算定された値と比べると大きな値であった。この測線では図-14に示すように、測線の西側近傍に blowout が形成されており、そこで局所的に飛砂量が大きかったことがその理由と考えられる。

#### 4. 現地海浜状況の確認

区域 A (No.102) での 2021 年 3 月 23 日の衛星画像を図-17 に示す。海岸線とほぼ直角方向に伸びた海岸へのアクセス路を通して背後地から海岸砂丘へと達すると、海岸線に沿って幅約 100 m の広い砂浜があり、汀線近くには冬季の西寄りの風的作用により、風向と直角方向に並んだ多数の小砂丘が形成されていた。また、海浜へのアクセス路西側の砂丘地と背後地との境界線付近では、斜め陸向きの飛砂により運ばれた砂の堆積が著しかった。現地状況写真は図-17 に示す St.1～St.6 で撮影した。

まず、アクセス路から海岸砂丘に入った後、西側へ移動し、St.1 から西向きに海岸を望んだのが写真-1(a)である。この付近では広大な砂浜が西向きに広がっており、砂丘表面には汀線側から内陸へと向かう風紋が多数観察



図-17 区域 A (No.102) の拡大衛星画像

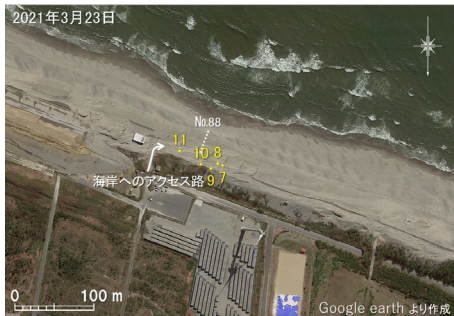


図-18 区域 B (No.88) の拡大衛星画像



図-19 区域 C (No.84) の拡大衛星画像



写真-1 飛砂の堆積状況





量は総量で3.6万 m<sup>3</sup>/yrと推定できる.

一方, 沿岸漂砂量については, 宇多ら<sup>1)</sup>に示されているように, 大きな地形改変が行われる前の1946~1966年では弁財天川河口付近で17.2万 m<sup>3</sup>/yr, 新野川付近で5.0万 m<sup>3</sup>/yrと, 東向きに低減する分布形を有していたが, 1977~2008年では菊川河口付近での沿岸漂砂量は約10万 m<sup>3</sup>/yrにまで減少していた. この沿岸漂砂量と飛砂量のオーダーの比較は漂砂と飛砂のスケール感を理解する上で役立つと考えられることから両者の比較を行うと, 沿岸漂砂量約10万 m<sup>3</sup>/yrに対し, 全飛砂量3.6万 m<sup>3</sup>/yrはかなり大きな量と考えられる. よって海岸線直角方向の飛砂が卓越するX=8~21 km区間では, 海浜砂量の低減を防ぐことが侵食防止上必要で, これには海岸線背後へ運ばれ, 海浜砂の損失となる飛砂を海浜へ戻すことが必要と考えられる.

## 7. まとめ

既往研究<sup>1)</sup>によれば, 菊川河口付近での陸向き飛砂量が単位海岸線あたり3 m<sup>3</sup>/yr程度存在し, これにより海浜砂の損失が起こることが明らかにされたが, 本研究ではこれを考慮し, 菊川河口の西側を通る測線No.102, 河口東側を通るNo.88, 86, 84において2015~2020年に取得された縦断測量データを基に堆砂量の変化を調べた. No.102は他の3測線と条件が異なるので同列には論じられないが, 各測線ごとの飛砂の堆積速度を求めると, 2.7 m<sup>3</sup>/m/yr (No.102), 3.4 m<sup>3</sup>/m/yr (No.88), 3.9 m<sup>3</sup>/m/yr (No.86), 8.1 m<sup>3</sup>/m/yr (No.84)と求められた(平均値4.5 m<sup>3</sup>/m/yr).

この値は, 前報<sup>1)</sup>において, 長期間の地形形成から推定した内陸へ向かう飛砂量3 m<sup>3</sup>/m/yrと同じオーダーであり, 地質学的時間スケールの地形形成から推定した飛砂量と, 6年間の縦断形変化から算出した飛砂量が同程度となる. これより, 宇多ら<sup>1)</sup>で用いた長期的地形変化からの飛砂量の推定法が有効であることが分かる.

また, 菊川河口の西側2.0 kmに位置する測線No.102付近と, 菊川河口の東600 mのNo.88, および東1.4 kmのNo.84付近を含んで矩形区域A, B, Cを設定し, これらの区域の2021年3月23日取得の衛星画像から砂丘の発達状況を調べるとともに, 2021年4月20日には現地調査を行ったところ, これらの区域ではいずれも飛砂による堆積が進んでおり, 縦断形測量データや前報<sup>2)</sup>で求めた飛砂の発達状況と現地状況に対応が見られた. 一連の検討により, この区域での海浜の土砂収支検討においては飛砂の定量的評価が重要なことが再確認された.

## 参考文献

- 1) 宇多高明, 三波俊郎, 石川仁憲, 伊藤祐介, 白石慎重, 佐藤純一郎: 御前崎海岸の海浜変形に及ぼす地殻変動の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I\_666-I\_670, 2013.
- 2) 宇多高明, 内藤慎也, 袴田充哉, 八木裕子: 東部遠州灘海岸の地形変化に及ぼす飛砂の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, pp.I\_421-I\_426, 2021.
- 3) 横田拓也, 小林昭男, 宇多高明, 野志保仁, 芹沢真澄: 波による漂砂と飛砂を同時に考慮した混合粒径海浜の変化予測モデル, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.77, No.2, pp.I\_433-I\_438, 2021.

(Received February 3, 2022)

(Accepted May 9, 2022)

# FORMATION OF SAND DUNES AROUND KIKUGAWA RIVER FACING ENSHU-NADA SEA AND ESTIMATION OF RATE OF LANDWARD WIND-BLOWN SAND

Takaaki UDA, Shinya NAITO and Hiroko YAGI

The rate of landward component of windblown sand was estimated on the basis of the profile changes along transects No. 102, 88, 86 and 84 measured between 2015 and 2020 in the vicinity of the Kikugawa River facing the Enshu-nada Sea. Field observation was carried out on 20 April 2021, and the beach material was sampled. The rate of landward sand transport was estimated to be 2.7 m<sup>3</sup>/m/yr (No. 102), 3.4 m<sup>3</sup>/m/yr (No. 88), 3.9 m<sup>3</sup>/m/yr (No. 86) and 8.1 m<sup>3</sup>/m/yr (No. 84) with an average of 4.5 m<sup>3</sup>/m/yr. This rate had the same order of magnitude with the value of 3 m<sup>3</sup>/m/yr estimated from the long-term topographic changes in the previous study. It was concluded that the value estimated from the long-term beach changes corresponds well with that estimated from the survey results.