茅ヶ崎漁港沖の-12 m以深の沖浜における 堆砂機構の解明

宇多 高明¹・石川 仁憲²・三波 俊郎³・細川 順一⁴・蛸 哲之⁴

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

E-mail: ishikawa@pwrc.or.jp

³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神奈川県藤沢土木なぎさ河川砂防部なぎさ港湾課 (〒253-0033 神奈川県茅ヶ崎市汐見台1-7)

茅ヶ崎漁港では、その西側近傍で堆砂が生じると同時に、漁港沖を通して南東方向へと堆積域が広がっている。その一方、漁港西側の柳島地区で侵食対策として行われてきた養浜の土砂の一部が沖合へ流出しているとの指摘がある。本研究では、これらの点に着目してNMB測量データの実態解析等を行ったもので、海浜流計算よれば相模川河口沖付近から東向きの沿岸漂砂により運ばれた砂の一部が漁港沖を南東方向へ流出したこと、また、粒度組成調査から柳島地区での粗粒材養浜土砂の沖合への流出はほとんどないことが明らかになった。

Key Words : Chigasaki fishing port, NMB survey, beach nourishment, longshore sand transport, grain size composition

1. はじめに

大磯港から江の島までの間に広がる長さ約15 kmの湘南海岸は、相模川からの流出土砂が堆積して形成された海浜であるが、相模川上流部に相模ダムなどが建設されたと同時に大量の砂利採取が行われた結果、河川流出土砂量が激減し、さらには沿岸に造られた茅ヶ崎漁港などによる沿岸漂砂の阻止に起因して侵食が進んできた。この海岸の地形変化について、宇多ら¹⁾は、既往研究も踏まえた上で、空中写真に基づく汀線変化解析と、1999年を基準としたNarrow Multi-Beam (NMB) 測量による5 mメッシュの水深データに基づく地形変化解析を行った。解析結果によると、相模川河口沖では河口沖テラスの縮小が続き、河口沖から柳島地区(柳島消波堤西端～茅ヶ崎漁港間)の消波堤沖まで侵食域が広がってきている。その一方、茅ヶ崎漁港の西側近傍では堆砂が生じると同時に茅ヶ崎漁港沖を通して南東方向へと堆積域が広がっていることが明らかになった。漁港沖の堆砂原因として、東向きの沿岸漂砂の一部が防波堤沖を南東方向へ流出していることに加え、柳島地区での侵食対策として行われてきた養浜土砂の一部の沖合流出の可能性も指摘されている。しかしこれらの点に関する定量的解析は十分でな

く、今後の課題として残されていた。本研究では、これらの点に着目して新たに解析を行い、地形変化の原因を明らかにした。

2. 対象海岸の概況

研究対象地域は、図-1の深淺図(2002年と2015年)に示すように湘南海岸のうち相模川河口～茅ヶ崎ヘッドランド(以下、ヘッドランド)間の長さ約4 kmの海岸であって、当地では東向きの沿岸漂砂が卓越している。この区域では、1996年までに柳島地区の消波堤(以下、消波堤)、茅ヶ崎漁港、ヘッドランドなどの施設が造られ、また、相模川河口右岸には先端水深5.5 mの平塚新港の防波堤が伸ばされた。2002年には茅ヶ崎漁港の沖防波堤と西防波堤の間に55 mの開口部があったが、2003年までにこの開口部は塞がれ、現在の施設形状となった。そこで防波堤形状が現況と同一となった2002年を基準年として解析を進めた。

この区域では継続的に養浜が行われてきている²⁾が、とくに東向きの沿岸漂砂が卓越する条件下での茅ヶ崎漁港沖での堆砂に関係する可能性があるのは、図-1に土砂投入地点を示す柳島地区の消波堤東側で行われている養

図-1 湘南海岸の相模川～茅ヶ崎ヘッドランド間の深浅図
(2002年2月, 2015年12月)

図-2 柳島海岸の養浜状況 (2016年8月16日)

浜である。この養浜は、図-2の海浜状況写真に示すように、消波堤東側隣接部において長さ約200 mの盛土養浜として行われ、2002～2015年に $9.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ の土砂投入が行われた。また、2006～2015年での平均養浜量は $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。なお、養浜箇所の東1 kmには茅ヶ崎漁港があり、そこで沿岸漂砂が阻止され堆積が続いていることから、漁港の西側隣接部ではサンドバイパスのため $0.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の土砂採取が行われている。よって柳島地区から茅ヶ崎漁港区間でのネットの土砂投入量は、上記のサンドバイパス量 ($0.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) による減少分を除く $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ となる。また、柳島地区での養浜材の粒度組成は、図-3に示すように平均で礫43.4%、粗砂13.0%、中砂19.8%、細砂15.8%、シルト8%であり、礫を多く含む粗粒材が養浜材として用いられた。

3. NMB測量データによる地形変化解析

本研究では、前報¹⁾での1999年基準での地形変化解析に代わり、防波堤建設直前の2002年を基準とした海浜地形変化について再度解析し直した。この場合、前報¹⁾では相模川河口から茅ヶ崎ヘッドランドの東側までに、5区域 (R:相模川河口部, A: 区域Rの東端～柳島消波堤,

図-3 柳島地区での養浜材の粒度組成 (2006～2015年)

B: 区域Aの東端～茅ヶ崎漁港, C: 茅ヶ崎中海岸, D: 茅ヶ崎ヘッドランド東側) を定めて土砂量変化を算出したが、本研究では、これらに加え図-1に示すように茅ヶ崎漁港沖の平島～烏帽子岩付近に区域Eを設定し、沖合部での地形変化も解析対象に加えた。

(1) 平面的地形変化の比較

図-4には2002年を基準とした2015年までの8時期の水深変化量の平面分布を示す。図-4(a)に示す2004年は、茅ヶ崎漁港の防波堤開口部が塞がれてから1年後であるが、この時期には沖合の区域Eでは有意な変化は認められない。一方、相模川河口沖では4～8 m付近で河口テラスの縮小が起きており、また区域A～Dの幅広い区域の6 m付近で帯状の侵食域が形成されたのと対照的に、その岸側ではいずれの場所でも堆砂が起きていた。2006年では(図-4(b))、茅ヶ崎漁港西側の区域Bの4～8 mの水深帯で顕著な堆砂が始まり、防波堤と平島の西側直近において冲向きに細長い堆積域が形成された。同じく平島沖の岩礁の岸側でも堆積が始まった。2008年では(図-4(c))、2006年と比べて茅ヶ崎漁港と平島の西側直近での堆砂量がいっそう増した。このとき同時に相模川河口沖での侵食量も増大している。さらに茅ヶ崎ヘッドランドの西側の4～8 m間でも茅ヶ崎漁港の西側隣接区域とよく似たパターンの地形変化が起きており、当海岸で卓越する東向きの沿岸漂砂が漁港防波堤やヘッドランドなどの構造物により阻止されたため、沿岸漂砂の一部が構造物の先端付近に達した後、東側へと流れ出したと推定できる。茅ヶ崎漁港とヘッドランドの東側直近では侵食傾向であることも上記推定を裏付けている。2010年でも(図-4(d))、2008年と同様な地形変化が起きており、相模川河口沖での侵食域が一層広がっただけでなく、2008年までは堆積傾向を示した柳島地先の消波堤の沖合から茅ヶ崎漁港の西側隣接部の区域Bの西半分まで侵食域が広がった。また、茅ヶ崎漁港と平島の西側隣接部、茅ヶ崎ヘッドランドの西側隣接部、平島沖の岩礁の岸側での堆砂も続いている。

2011年では(図-4(e))、2010年に見られた堆積・侵食状況がいっそう顕著となった。しかし2011年は全体に侵食傾向が強く現れており、次の図-4(f)に示す2013年には

図-4 2002年基準での水深変化量の平面分布

全体的に堆積傾向であるのと大きな違いがある。この理由として2011年の観測での測量精度が低かったことが考えられる。その後、2014、2015年とも図-4(g)(h)に示すように、茅ヶ崎漁港の西側では広範囲で堆積が進み、堆積

図-5 2002年基準での海浜土砂量の経年変化

域は平島の沖端を回り込むまで広がった。さらに、区域Eの-12 m以深においても広範囲にわたり厚さ0.2 m以上の堆積が生じた。堆積層厚は平島沖450 mと650 mにある岩礁の背後で相対的に厚くなっており、堆積域の沿岸方向の広がりほぼ区域Eに限定され、烏帽子岩の背後やその西に沿う谷状地形では顕著な堆積は見られない。区域Eは、茅ヶ崎漁港から平島の西側隣接部での堆積区域の南東沖に位置しており、東向きの沿岸流が茅ヶ崎漁港と平島に阻止されることで斜め沖向きに離岸流が発生し、その際粒径の小さい砂分が沖合へと運ばれ、堆砂が起きたと考えられる。その場合、堆積域の水深が12 m以上と深いことから、通常時の波浪の作用ではなく時化時の高波浪下で離岸流が発達したと推定される。一方、区域C（茅ヶ崎中海岸）では、前浜～3 mにかけては2006年以

図-6 2002年を基準とした海浜土砂量の経年変化

降の養浜効果により全域で堆積が進んだが、-3 m以深では東向きの沿岸漂砂により茅ヶ崎漁港の東側で侵食、ヘッドランド西側から沖合で堆積が起きている。以上のように、対象区域の土砂移動は、主に東向きの沿岸漂砂によって引き起こされている。なお、図-4からも分かるように、このような東向きの沿岸漂砂が卓越する条件では、区域B、Eと区域Cでの土砂量変化は独立と考えられる。

(2) 土砂量変化

NMB測量データから算出した2002年基準での区域R、A、B、Eの土砂量変化を図-5に示す。同種の図は前報¹⁾でも示したが、比較の基準年を1999年から2002年に変えてある。区域R（図-5(a)）は2002年以降単調減少傾向を示し、侵食速度は $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった。前報¹⁾では、同じ区域での1999年基準での侵食速度を $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と算定したが、計測期間を2002年以降とすると23%大きな値となった。前報と同様、1985年から平塚新港建設後の1996年までに河口から西向きに流出した漂砂量を $0.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ とし、また、相模川河口からの供給土砂量をほぼ $0.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と仮定すると、土砂収支より、河口付近からの東向き沿岸漂砂量は $2.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定される。同様に、区域Aでは（図-5(b)）、2009年以降侵食が始まり、土砂量は $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で減少した。

区域RとAでの土砂量の減少と対照的に、堆積傾向にある区域Bでの堆積速度は $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった（図-5(c)）。区域Bでの養浜による土砂増加量を除く補正を行った場合の土砂増加量は $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ なので、漂砂上手側から茅ヶ崎漁港付近へと流入する沿岸漂砂量は $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定される。この沿岸漂砂量は、宇多ら³⁾による1973～1985年での沿岸漂砂量の推定値（ $1.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ～ $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ ）ともほぼ対応を示す。また、区域Eでの堆積速度は $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であった（図-5(d)）。侵食域である区域RとA、堆積域の区域B、Eそれぞれの合計の変化を図-6に示す。時期によるバラツキはあるものの、2015年までに区域R+Aでは73万 m^3 の侵食、区域B+Eでは61万 m^3 の堆積と、ほぼ同程度の値を示し、区域R、Aの侵食土砂が区域Bのみならず区域Eへと拡散したことが分かる。

図-7 沖合の堆積域の底質の粒度組成（2016年7月6日）

図-8 測線No.5の縦断形変化と粒度組成（2016年1月）

4. 沖合の堆積域と茅ヶ崎漁港西側の底質

茅ヶ崎漁港沖の堆砂域では、2016年7月5日、図-1に示す水深9、12、15、22 mのNo.1～No.4において底質採取を行った。図-7には粒度分析結果を示す。これによれば、堆砂域の底質は主に細砂で構成され、水深の増大とともにシルトの含有量が増大している。また、4地点の平均では礫0.0%、粗砂0.3%、中砂5.3%、細砂84.4%、シルト9.9%であった。一方、茅ヶ崎漁港の西側では、2016年1月に図-1に示す測線No.3とNo.5付近のT.P.+3～-9 mの範囲で底質採取が行われた。漁港西側の堆砂域に位置する測線No.5の粒度分析結果を図-8に示す。-9 m以浅は主に中砂、細砂で構成されているが、中砂の含有率が高く、沖合の4地点に比べて粒径が粗いことが分かる。また、測線が平島の岩礁に隣接するため各水深の底質には礫が含まれているが、図-4に見られた堆砂が著しいT.P.-1～-9 mでの礫の含有率は2%とわずかである。

5. 海浜流計算

沖合での堆砂機構を調べるため、図-9に示す沿岸方向8.5 km、岸沖方向2.6 kmを対象に海浜流計算を行った。波浪場の計算にはエネルギー平衡方程式³⁾、海浜流場の計算には平面2次元運動方程式・連続式⁴⁾を用いた。計算地形は、図-1(b)に示した2015年12月の実測地形と、烏帽子岩の沖合について海上保安庁の海の基本図（1983年）より作成した海底地形図を用いた。波浪条件は、図-9に示す相模川河口西側の水深20 mに位置する平塚波浪観測塔における1980年以降の波浪観測データより算出した年数回有義波（上位0.1%）の平均値である波高3.44 m、周期14.2 sを用いた。図-10は1988年以降の欠測データを除

く波向の出現頻度を示すが、春季～秋季には東寄り、冬季は西寄りの波向が卓越し、通年のエネルギーは、エネルギー平均波向 $S8^{\circ}E$ の東西に2つのピークを有する分布となっている。対象海岸において東向きの沿岸漂砂が卓越する波向は西寄りであることから、計算では沖側境

図-9 平塚波浪観測塔（水深20m）の位置

図-10 平塚波浪観測塔（水深20m）における波向の出現頻度（1988年～2015年）

界での波向を西寄りの $N180^{\circ}E$ (Case 1), $N190^{\circ}E$ (Case 2), $N200^{\circ}E$ (Case 3) とし、これらの妥当性は、平塚波浪観測塔での計算波向が図-10に示した出現頻度内に入ることを確認した。

Case 1, 3の海浜流場の計算結果を図-11に示す。Case 1～3の平塚波浪観測塔位置での波向は、それぞれ $N179.8^{\circ}E$ (Case 1), $N186.5^{\circ}E$ (Case 2), $N192.8^{\circ}E$ (Case 3) であり、図-10に示した波向の出現頻度内であった。いずれのケースも相模川河口では河口テラスに沿って東向きの沿岸流が卓越し、柳島地区の消波堤沖を東に流れた後、茅ヶ崎漁港沖の岩礁付近での西向きの沿岸流と重なって離岸流となっている。この離岸流の位置は、入射波向が西寄りになるほど茅ヶ崎漁港に近づく。離岸流は水深の増大とともに弱まり、水深12～18m間では緩やかな東向きへの流れに変化する。一方、烏帽子岩の西側隣接部の岸側域では、いずれの場合も反時計回りの循環流が形成されているが、その強度は入射波向が西寄りになると弱まり、逆に、ヘッドランド沖での時計回り循環流の強度が強まる。とくに $N200^{\circ}E$ からの入射波の場合、図-11(b)に示すように茅ヶ崎漁港の西側区域での東向き流れが茅ヶ崎漁港の西側沖を通過した後、烏帽子岩西側での西向き流れにより行く手を阻まれる。この結果、柳島海岸側からの東向き流れによって運ばれてきた細粒分は流速の低下に伴い沈降・堆積することから、茅ヶ崎漁港沖の区域Eでの堆砂を促すと考えられる。図-5(d)に

図-11 海浜流場の計算結果

示した茅ヶ崎漁港沖の区域Eでの堆砂はこのような理由により生じたと推定される。

6. 考察

解析結果によれば、茅ヶ崎漁港沖合の堆積域の経年的な広がり、東向きの沿岸漂砂の一部が茅ヶ崎漁港の防波堤先端を南東方向へ流出したことに起因すると考えられる。東向きの沿岸漂砂の供給は、主に相模川河口テラスの侵食によりもたらされたものであるが、柳島地区では養浜が行われているので、その土砂の一部が沖合へと流出した可能性も残されている。その可能性については次のように考察できる。まず、地形変化の解析期間（2002年2月～2015年12月）での柳島海岸の養浜総量（平均養浜量）は、 $9.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($0.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) であった。一方、茅ヶ崎漁港沖の堆砂域の主構成材料は、図-7に示したように細砂84.4%、シルト9.9%と細砂以下の粒径で構成されている。これに対し、2006年以降の柳島地区での養浜材のうち、細砂以下の細粒分の含有率は23.8%（細砂15.8%、シルト8%）であった。仮に、2006年以前の養浜も同程度の粒度組成を有していたとすると、2002年以降の細砂以下の粒径の養浜総量は $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($0.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) となる。実際には、図-8に示したように水深9 m以浅でも細砂以下の粒径が含まれているが、この細砂以下の養浜材が沖合に全て流出したとしても、茅ヶ崎漁港沖の区域Eでの2002年以降の堆積速度 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の10%程度にしかならない。このように粒径をも考慮した堆砂量の推定によれば、区域Eでの堆砂量の大部分は相模川河口沖テラスの侵食によりもたらされたものであって、柳島地区での養浜による寄与度は低いことが明らかである。さらに、先に述べたように漁港の西側隣接部ではサンドバイパスのために、礫1.4%、粗砂4.7%、中砂78.8%、細砂13.5%、シルト1.6%で構成される前浜の堆積土砂が $0.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で採取されている。よってこれに相当する細砂以下の粒径成分 ($0.05 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) の沖への流出は少なくても、養浜砂の沖合流出の可能性がさらに小

さくなる。

7. まとめ

本研究では、茅ヶ崎漁港沖における堆砂域の経年的な広がりについて、NMB測量データによる地形変化解析と海浜流計算によりその原因を調べるとともに、柳島地区での養浜が沖合堆砂に及ぼした影響について考察した。検討の結果、相模川河口沖テラスでは $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で、また、柳島消波堤の前面の区域Aでは2009年以降 $5.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で侵食が進んでいること、これに対し茅ヶ崎漁港の西側隣接部では $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ で、沖浜の区域Eでは $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の速度で堆砂が進んでいることが分かった。また、区域Eでの堆積は、東向きの沿岸漂砂の一部が防波堤沖を南東方向へ流出したことが原因であることが分かった。区域Eの堆砂は主に細砂以下の粒径で構成されているが、2002年以降の細砂以下の粒径成分の養浜総量は $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($0.16 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$) となる。よってこの砂が全量沖に流出したとしても、沖合の堆積速度 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の10%程度にしかならず、柳島地区で行われた養浜が沖の堆積域に与えた影響は小さいことが明らかになった。

参考文献

- 1) 宇多高明, 三波俊郎, 高橋幸一, 蛸 哲之, 石川仁憲: 土砂バランスの崩れにより進む海浜変形と今後の土砂管理-湘南海岸の例, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, pp.1_751-I_756, 2016.
- 2) 宇多高明, 木下幸夫, 山野 巧, 吉岡 敦, 三波俊郎, 壺岐信二, 石川仁憲: 長期深浅測量データに基づく湘南海岸の海浜変形の実態分析, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.651-655, 2006.
- 3) 間瀬 肇, 高山知司, 国富将嗣, 三島豊秋: 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集, 628/ II 48, pp.177-187, 1999.
- 4) 堀川清司編 (1985): 「海岸環境工学-海岸過程の理論・観測・予測方法」, 東京大学出版会, p.582.

(2017.3.15 受付)

INVESTIGATION OF SAND MOVEMENT IN SEABED DEEPER THAN -12 M OFFSHORE OF CHIGASAKI FISHING PORT

Takaaki UDA, Toshinori ISHIKAWA, Toshiro SAN-NAMI,
Jun-ichi HOSOKAWA and Tetsuyuki TAKO

Sand has been deposited on the west side of Chigasaki fishing port, and it is believed that part of such sand was transported offshore. On the Yanagishima coast west of fishing port, part of beach nourishment sand is also assumed to be transported offshore. In this study, an analysis using NMB survey data was carried out. It was found from the numerical simulation of nearshore currents that part of eastward long-shore sand transport was carried offshore, and from the analysis of grain size composition that none of the nourishment sand composed of coarse material was transported offshore.