

駿河海岸和田鼻地先における砂礫の粒径別移動特性

佐藤 慎司* ・ 笠井 雅広** ・ 河野 龍男***
諸田 勇*** ・ 加藤 俊夫**** ・ 桜庭 雅明*****

1. はじめに

駿河海岸大井川左岸海域は、大井川上流域に建設されたダムの堆砂、大井川河道内の砂利採取による海岸への供給土砂量の減少、防波堤や放水路などの構造物建設による沿岸漂砂の阻止等により侵食が進み(宇多, 1997)、侵食領域は大井川河口から北東へ約 8 km の和田鼻地先にさしかかっている。和田鼻地先は海底谷が汀線近くまで迫っており、海底谷への土砂流出を制御するため平成 6 年度に試験突堤が施工された。

同海岸の表層底質分布は図-1 に示すように、汀線際に礫が分布し、海床勾配の緩い沖合い 1~2 km の範囲には砂が分布している。和田鼻地先より東側の急勾配海岸部には、礫が広く分布し、砂はごく限られた水深帯にしか見られない。このように同海岸の底質は細砂から中礫までの広い粒度分布を有し、その空間分布も特徴的であるので、土砂収支を把握するためには、粒径集団毎の移動実態を把握する必要がある。

本研究は深淺測量データ、波・流れの観測、表層音波探査、底質調査、試験突堤周辺の汀線変化およびトレーサー追跡調査を実施し、粒径集団毎の移動特性を明らかにした。

2. 地形変化実績

1962 (昭和 37) 年以降行われている定期深淺測量成果から、水深 10 m までの領域における地形変化実績を求めた。断面積変化の算出にあたっては、1991 (平成 3) 年から 1995 (平成 7) 年までの 5 年間の深淺データから 5 年平均の断面積を算出し、これと 1986 (昭和 61) 年から 1990 (平成 2) 年までの平均断面積との比較から 5 年間の侵食・堆積状況を評価した。対象区間を礫の浜部分布域を +2~0 m、礫の海床分布域を 0~-5 m、砂の海床分布域を -5~-10 m と 3 領域に分け、それぞれの領域

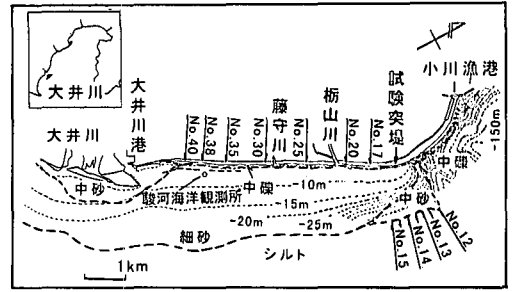


図-1 対象範囲と表層底質の分布

における断面積の変化を評価した。図-2 は No. 8 から No. 44 までの領域における海浜断面積の変化を示したものである。測線間隔は 200 m ピッチである。図より、各領域における海浜断面積変化を沿岸方向に積分すると土砂変化量が得られる。図からそれぞれの領域の侵食量を算出すると、+2~0 m で 28,000 m³/yr, 0~-5 m で 92,000 m³/yr, -5~-10 m で 140,000 m³/yr となり、海浜全体では 3 つの水深帯における侵食量を合計すると、現在でも年間 20~30 万 m³ 程度の侵食が続いていることがわかる。大井川方面から始まった侵食波は下手へと伝播しているが、礫が卓越する +2~-5 m の範囲の侵食波速度の方が砂が卓越する -5~-10 m の侵食波の移動速度より速い。すなわち、侵食は礫が主として存在する汀線付近から始まり、徐々に砂が主成分である沖合いへと遷移していると考えられる。

海底谷入口付近から小川漁港防波堤までの地形変化実績については、同海岸の海底地形が海脚と海谷が入り組む複雑なものであるため、測量平面図から変動量を算定した。水深 30 m までの領域での土砂量をみると、海底谷

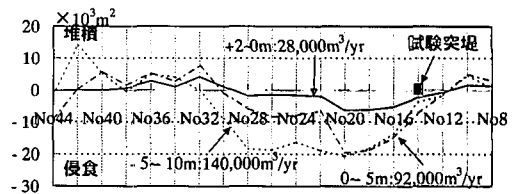
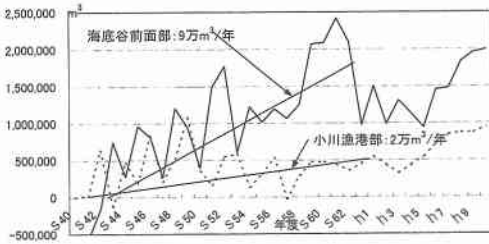
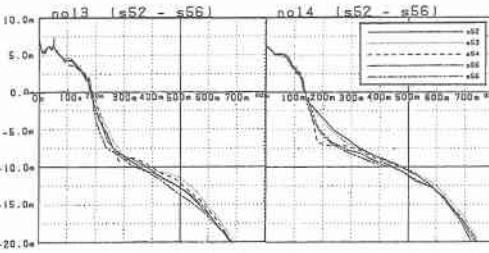


図-2 直線海岸の地形変化実績 (H 3~H 7 の平均)

* 正会員 工博 東京大学大学院助教社会基盤工学専攻
(前建設省土木研究所海岸研究室長)
** 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室
*** 正会員 工修 建設省静岡河川工事事務所
**** 正会員 工修 元日本工営(株)名古屋支店
(現中日本建設コンサルタント(株))
***** 正会員 工修 日本工営(株)情報システム部



図一3 海底谷入口～小川漁港防波堤間の地形変化実績



図一4 断面変動

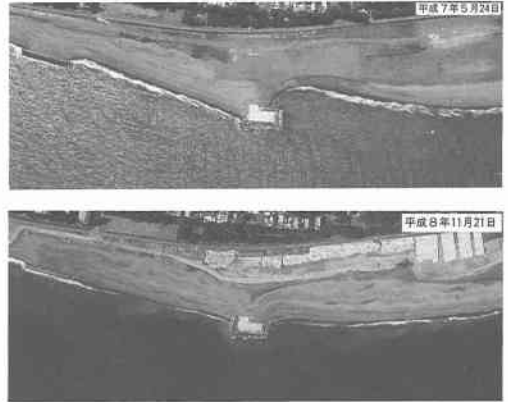
前面では年間約 9 万 m^3 の堆積がみられ、小川漁港防波堤までの領域に年間約 2 万 m^3 が堆積している(図一3)。水深 10 m までの領域ではそれぞれ約 3 万 m^3 と約 0.5 万 m^3 となる。以上の結果から大井川左岸海域の水深 10 m までの土砂量をみると、和田鼻地先までの直線海岸部では年間 20～30 万 m^3 が侵食されているが、和田鼻地先以東の領域にはそのごく一部しか堆積していないことになる。また、図一3では、1987(昭和 62)年から 1989(平成元)年にかけて、海底谷前面で急激な土砂の減少が見られる。その後、土砂量は徐々にしか回復していないことから、この土砂損失は測量誤差とは考えにくい。

海底谷前面の No. 13 における断面地形変化を図一4左に示す。水深 10 m より深い領域で 2 m をこえる不安定な地形変動が確認できる。このような地形変動は直線海岸部の測線では見られず、海底谷前面でのみ観察される特異なものである。これらから判断すると、沿岸漂砂により輸送された土砂が、海底谷前面に徐々に堆積するとともに、数年に一度の頻度で海底谷への大規模な流出をくり返していると考えられる。

3. 試験突堤周辺の地形変化

3.1 断面変動

定期深浅測量成果によると、直線海岸部は大井川方面からの侵食波が伝播すると汀線が大幅に後退し、以後元の海浜断面に復元することはなかった。しかし、海底谷入口付近の試験突堤位置を含む約 800 m の範囲では約 5 年間隔で、水深 10 m までの範囲で侵食と堆積を繰り返す不安定な断面変化がみられた。図一4右に示す。



写真一1 試験突堤を中心とした空中写真

返す不安定な断面変化がみられた。図一4右に示す。

3.2 汀線変動

試験突堤上手約 250 m 地点には、汀線後退防止対策工としてコンクリートブロックが設置されている。下手側に構造物は設置されておらず、下手側 250 m 地点付近は砂嘴地形の曲線部の開始地点付近にあたる。これらの範囲を含んだ試験突堤を中心とした約 700 m の空中写真を、1994(平成 6)年 3 月から年 6 回程度継続して行っている。空中写真の例を写真一1に示す。写真は試験突堤を挟んで汀線のずれの大きい 1995(平成 7)年 5 月を上段に、ずれが最小の 1996(平成 8)年 11 月を下段に示している。左側が漂砂上手、右側が下手である。

1994(平成 6)年 3 月から 1998(平成 10)年 11 月までの計 26 枚の空中写真から試験突堤周辺の汀線変動結果を解析した。空中写真からの汀線の読み取りには潮位補正を行っていない。汀線変動の解析は、汀線のずれが最小の 1996(平成 8)年 11 月の汀線位置を基準とした。上手・下手において変動の最も激しい範囲は試験突堤周辺なので、試験突堤両端から 50 m 離れた地点の汀線位置を、外力とともに図一5に示す。汀線変動は冬期から初夏にかけての波浪静穏期に試験突堤上手側で堆積し下手側で侵食するので、試験突堤を挟んだ汀線のずれが拡大する。台風期は上手側で侵食し下手側で堆積するので、汀線のずれが小さくなる。この変動が年周期で発生している。1994(平成 6)年から 1996(平成 8)年の汀線のずれはほぼ回復していたが、1997(平成 9)年・1998(平成 10)年では汀線のずれは回復せずに下手側で侵食が残っている。外力は河海洋施設地点(水深 7.5 m)で観測した有義波を用いた。図には 7 日間単位での最大の有義波高 ($H_{1/3}$) と周期 ($T_{1/3}$) を示した。汀線のずれは冬季から初夏にかけて徐々に拡大するが、 $H_{1/3}$ が 2 m を越え、かつ $T_{1/3}$ が 10 秒を越える波浪が来襲すると回復している。これは台風の来襲時期(図中○印)とほぼ一致する。

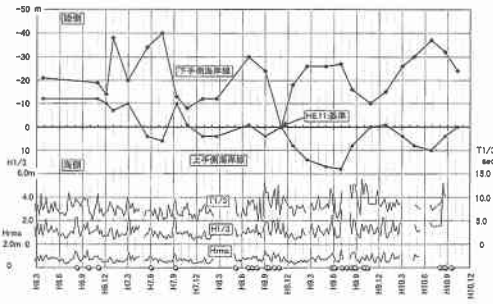


図-5 試験突堤上手下手の汀線変動と外力変動

これらより静穏期の波浪では試験突堤により沿岸漂砂が捕捉されるが、高波浪が来襲する場合には試験突堤の漂砂捕捉効果が効かなくなっていることを示している。

3.3 トレーサー礫の追跡

高波浪時における礫の挙動を把握するために、試験突堤上手汀線部で投入後3~4年経過したトレーサーの分布を調べた。トレーサーは ϕ 30~50 mmの花崗岩で、1995(平成7)年1月と1996(平成8)年1月に 3 m^3 ずつ投入されたものである。試験突堤上手側に残っていたトレーサーは44個、試験突堤を通過して下手側に移動したトレーサーは100個であった。上手側の分布範囲は投入地点付近に最も多く、約300 m上手の消波工背後まで分布していた。下手側は砂嘴部の曲線始点付近で海底谷に海脚部の位置するNo. 12付近に集中し、最遠点は試験突堤から約2,400 m下手の小川漁港防波堤地点に到達していた。平面的な分布は殆どのトレーサーが浜の汀線際にあり海中は4個のみであった。これらより、礫は試験突堤を越えて移動していることが確認できた。

試験突堤を越える礫の移動経路は、試験突堤沖合いの海中部、試験突堤陸側を回り込む浜部が考えられる。海中部の移動は、試験突堤先端水深(3.5 m~4.0 m)が静穏期の礫の移動限界水深よりも深いので礫の捕捉効果が高く、逆に高波浪期の礫の移動限界水深は試験突堤先端水深よりも深くなって移動が発生すると考えられる。浜部の移動は、浜崖から堤防間での礫の飛散状況から、高波浪により後述するバームが飛ばされるものと考えられる。このように試験突堤は静穏期に礫を捕捉し、高波浪期にその一部を下手に供給することにより適度な沿岸漂砂制御機能を果たしていると推定される。海中部と浜部の移動量の割合は現時点では不明であり、今後の検討項目の一つである。

4. 砂と礫の挙動

4.1 浜部の堆積状況

浜部の波浪静穏時は写真-2(地点No. 4)に示すように表面に礫が分布し、汀線際に頂部標高TP.+2.5~3.0

m程度のバームが形成されている。礫は ϕ 30~100 mm程度である。一方、高波浪来襲後の浜部は写真-3に示すように砂が卓越しており、その後、数週間で元通りの礫のバームが形成され、写真-2の状態に戻る。

浜部の砂礫の堆積状況を調べるために、試験突堤上手と下手で2本ずつと砂嘴部で2本(No. 11・12)のトレンチ掘削を行なった。トレンチは汀線直角方向に長さ30 m、深さ1.5 mとした。トレンチ結果によると、砂層と礫混じり砂層が交互に堆積していた。この互層は4本のトレンチ全てで、かつ、断面の岸沖方向および鉛直方向の全てで確認できた。互層の各層の厚さは約30 cmであった。礫の粒径は水平方向に連続する同一層内ではほぼ共通しているが、異なる互層の粒径に共通性は認められなかった。互層の傾斜角は地表の傾斜角とほぼ同じで海に向かって下がっていた。互層の状況を写真-4に示す。

4.2 海床部の堆積状況

a) 調査方法

波浪静穏期の汀線際はバームから水深4~6 m程度まで数分の一の勾配で礫が連続しているが、それより深い範囲では百分の一程度の海床勾配で、沖合い1~2 kmまでの水深20~30 m範囲の表層に砂が分布し、更に沖合いには細砂・シルトが分布している(図-1)。表層に砂が分布している範囲の海床構成を、音響式底質探査装置を用いて調査した。周波数は7 kHz、分解能は0.1 mであ



写真-2 No. 4 付近の波浪静穏時のバーム堆積状況



写真-3 No. 4 付近の高波浪来襲後のバーム消失状況



写真-4 浜部の互層の堆積状況

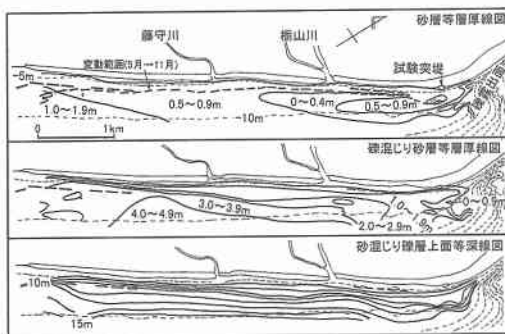


図-7 砂層と互層の層厚分布と砂混じり礫上面等深線 (H 10.5)

る (佐藤他, 1999)。

調査測線は 14 測線で No. 12 から No. 40 までの領域に配置し、沖合延長を 500 m 程度とした。高波浪来襲による地形および内部の堆積状態の変化を確認するために 1998 (平成 10) 年 5 月と 1998 (平成 10) 年 11 月に同一測線で行った。5 月と 11 月の間には台風 4, 5, 6, 7, 9, 10 号の 5 個の台風が来襲した。

b) 調査結果

調査結果例 1998 ((平成 10) 年 5 月の測線 No. 15) を図-6 に示す。表層の砂の堆積厚は 0.5 m 程度で、その下に浜部と同様な砂と礫混じり砂の互層が 2~3 m 程度堆積している。互層の下は礫の卓越した砂混じり礫層となる。砂混じり礫層では音波が散乱するため堆積層厚やその下層構造は不明である。

調査結果の確認は深さ 1 m のコア採取を 4 箇所と 2 本の海中ボーリング 20 m により行った。これらの確認調査より砂および礫混じり砂の互層での砂と礫の重量比率はおおよそ 65% : 35%、砂混じり礫層での比率は 20% : 80% であった。なお、海床部の互層の各層の厚さはトレンチ調査で確認した浜部のものよりも厚く 0.5~1.5 m 程度であった。また、浜部では明瞭な互層が見られたのに対し、海床部の互層はかなり乱れていた。

c) 平面分布

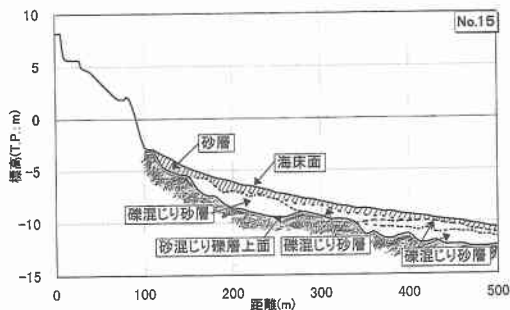


図-6 測線 No. 15 の解析結果 (平成 10 年 5 月)

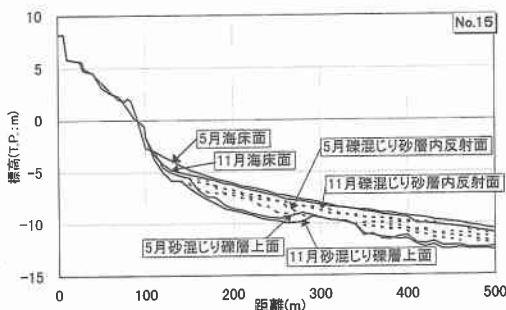


図-8 5月と11月の断面構成の比較結果

5 月調査結果の砂層と互層の堆積層厚分布、砂混じり礫層上面等深線を図-7 に示す。砂層と互層の厚さは大井川に近いほど厚く、海底谷に近づくると薄くなっている。また、砂混じり礫層上面の等深線は、大井川寄りでは深く海底谷寄りでは浅くなり、海床の等深線に対して 10~25° の斜めに交わっている。

d) 砂と礫の移動過程

5 月と 11 月の調査結果の比較より、砂と礫の移動状況を推定する。測線 No. 15 の 5 月と 11 月の断面を比較したものを図-8 に示す。海床面から 1.5 m 程度の表層の砂の下層も実質的に変動しており、高波浪時には表層の砂が浮遊し、その下の層が移動していることがわかる。他測線もほぼ同様の結果が得られた。これらから各測線の地形変化発生範囲を読み取り、図-7 上図に破線で示した。

各測線の探査結果をもとに、岸沖方向に 10 m 間隔で各層の体積を算定し、前述した各層の砂と礫の構成割合を乗じるにより、各層における砂と礫の体積を評価した。これらの 5 月と 11 月の結果を比較することにより、同期間における砂および礫の増減量を算出したものを図-9 に示す。ただし、調査は船により海中のみを対象としたために、浜部から水深 2~3 m までの変動は不

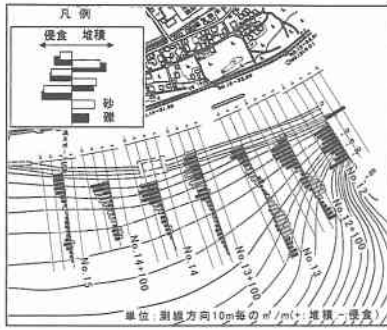


図-9 海底谷周辺の砂・礫の変動状況

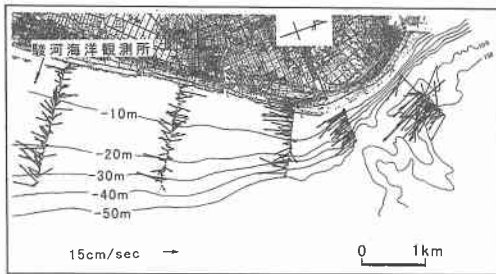


図-10 ADCPによる左岸海域底層の流速場

明である。水深7~8mより浅い領域では侵食が卓越し、海底谷前面の水深10m以深の領域では堆積傾向にある。また、侵食域では、砂・礫が同程度の割合で侵食されているのに対し、No.12+100やNo.13の水深10~13m程度の堆積域には砂が選択的に堆積し、海底谷が位置するNo.12では礫の侵食のみが見られることが特徴的である。

5. 外力特性

駿河海洋観測所の平成9年度の波高波向頻度は、SE方向が約63%、SSEが約30%、ESEが約6%でSE~SSEに収斂している。汀線方向はN35°Eであるため、波による沿岸漂砂は北東方向となる。

平成7年9月から平成9年1月にかけて、測線No.14上の水深7.5m地点で波と流れの連続観測を実施した。

その結果によると、海底谷周辺の流れは潮流成分は極めて弱いものの、年間を通じてほぼ同じ頻度で強い南向きの流れが観測された。流れの強さは0.6m/sに達することもあり、0.3m/s程度の南向きの流れが約2週間継続することもあった。流れの鉛直構造を把握するために、1998(平成10)年1月5日の小潮の時に左岸海域の流れ場の観測を行った。観測は曳航式ADCPを用いて3次元的に調査した。砂の移動に支配的な底層の流速分布結果を図-10に示す。直線海岸部では風が北東向きに吹いており、表層部での流れは北東方向であったが、図に示すように底層では逆転していた。海底谷付近では強い流れが南向きに分布し、流速は約0.3m/sであった。このような強い流れの存在は、粒径の細かい砂の輸送に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

6. まとめ

本研究で明らかになった項目を以下にまとめる。

- ① 駿河海岸大井川左岸海域は侵食領域が北東へ伝播し、和田鼻地先沖合いまで到達している。和田鼻地先沖合いでは、海底谷に向けて土砂の堆積が進んでいる。堆積土砂は水深10~13mでは砂が卓越している。
- ② 試験突堤周辺では静穏期には砂礫が捕捉され、試験突堤両側の汀線のずれが徐々に拡大するが、高波浪期には試験突堤を回り込む砂礫が多くなり、汀線のずれは回復する。この変動が年周期で繰り返されることにより、下手海岸への適度な土砂供給を確保した形での海岸保全が実現されている。
- ③ 海底谷近傍では、南向きの強い流れが発達することが多く、この流れの作用により、浮遊しやすい細かな砂の北への移動は抑制され、砂礫の分級が進む。

調査実施と調査結果のとりまとめには日本海洋調査(株)の外山大輔氏の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 宇多高明(1997): 日本の海岸侵食, pp. 218-234.
 佐藤慎司・河野龍男・諸田 勇・加藤俊夫・右貝和久(1999): 表層音波探査を用いた三次元海床構成の分析手法およびその適用例, 第54回年次学術講演会(印刷中)。