海底谷への土砂落ち込みの予測モデル

Model for Predicting Sand Discharge into Submarine Canyon

宇多高明¹·高尾治海²·秋田和枝³·芹沢真澄⁴·三波俊郎⁵·石川仁憲⁶·横澤 綾⁵

Takaaki UDA, Harumi TAKAO, Kazue AKITA, Masumi SERIZAWA, Toshiro SAN-NAMI Toshinori ISHIKAWA and Aya YOKOSAWA

A submarine canyon develops offshore of the Morito River mouth on the Seisho coast in Sagami Bay. Previous studies revealed that littoral sand originally supplied from the Sakawa River located 3 km west of the submarine canyon has been lost in this submarine canyon. To study the mechanism of sand discharge into the submarine canyon, beach changes around the canyon were investigated using bathymetric survey data. Then, a model for predicting sand discharge into the submarine canyon was developed using the BG model proposed by Uda *et al.* (2008). The major causes of offshore sand loss are the presence of very steep slope of 1/6 of the submarine canyon and the change in shoreline orientation at the submarine canyon.

1. まえがき

西湘海岸西部,森戸川河口の東側に位置する国府津海 岸は,森戸川河口沖に位置する海底谷の谷頭付近に位置 するため,高波浪時には波浪があまり減衰せずに海岸に 到達する.2007年9月6日に襲来した台風9号時にも,背 後地では著しい越波被害が生じた.国府津海岸において も、1947年当時幅70m以上の海浜があったが,近年汀線 の後退とともに越波被害がたびたび起こるようになっ た.侵食原因については酒匂川からの流出土砂量の減少 や,森戸川沖の海底谷への土砂の落ち込みなど,様々な 要因が指摘されているが,原因は必ずしも明確になって おらず,このため有効な対策がとりにくい状況にある. このことから本研究では海底谷の谷頭周辺を含む,国府 津海岸の海浜変形の実態をまず分析し,それに基づいて 海底谷への土砂落ち込み機構をBGモデル(字多ら, 2008)により明らかにする.

2. 海底谷周辺における海岸の変遷と汀線変化

1947~2007年の空中写真から,森戸川河口を中心とす る東西約3.4km区間の汀線変化を詳しく調べた.その場 合,図には沿岸座標X(km)を記入して位置関係を明ら かにするとともに,各時期の空中写真に初回の1947年の

1	正会員	工博	 (財)土木研究センター常務理事なぎさ総 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
2			神奈川県小田原土木事務所河川砂防第一課長
3			神奈川県小田原土木事務所河川砂防第一 課
4	正会員		海岸研究室(有)
5			海岸研究室(有)
6	正会員	工修	(財)土木研究センター河川・海岸研究部

汀線も示した.また2007年の空中写真には海底谷の形状 を示し,2007年までの汀線後退量の分布と海底谷との位 置関係を明らかにした.さらに1947年および1973年を基 準とした汀線変化量も算出した.分析結果を図-1に示す.



図-1 森戸川河口部の空中写真と汀線変化



(1) 空中写真の判読と汀線変化

1947年には森戸川河口以東の国府津海岸では海岸線に 沿って幅70m以上の浜が広がっていた。1973年には、右 端の酒匂川河口に近接する部分で顕著な汀線後退が起き た. 汀線後退量は河口近傍ほど大きいことから、この汀 線後退は酒匂川からの流出土砂量の減少に起因すると考 えられる. 1985年には、酒匂川河口方面からの汀線後退 域が東向きに広がり、森戸川河口付近まで著しい侵食が 起きた.しかし森戸川河口より東側では汀線がほぼ安定 していた。1999年には、森戸川の西側に3基の小突堤が 伸ばされた.この結果、突堤の西側直近では汀線が前進、 東側隣接部では後退が起きており、とくに森戸川河口以 東でもこの時期に汀線が大きく後退した. 2007年は11月 に撮影されており、台風9号時の高波浪によって森戸川 の河口導流堤が破壊されたため1999年と比較して導流堤 が短くなり、その西側に堆積していた砂礫が流出し、汀 線が後退している.このとき国府津海岸では東側にある 突起部分まで全域で汀線が後退することになった.

図-1には、2007年の空中写真とともに1947年基準の汀 線変化を示す. 1985年までは酒匂川河口隣接部で最大の 汀線後退量を持ち、X=11.3-11.5km付近の不動点に向か って東向きに汀線後退量が小さくなるような変化と、上 記不動点から東向きに緩やかに汀線後退量が増大する傾 向とが同時に発生していた。1999年には突堤の建設に伴 ってジグザグな汀線変化が起き,上記不動点付近でも汀 線の後退が起きた.この傾向は2007年の台風9号の襲来 後も同様である。同じく図-1に示す1973年基準での汀線 変化によれば,森戸川河口の西側にある3基の突堤群で は1999年以降汀線位置に変化が見られなくなり汀線が安 定したが、その東側では1999年以降汀線後退が著しくな った. また森戸川河口導流堤による東向きの沿岸漂砂阻 止の影響も強く表れたが、2007年9月の台風9号による 導流堤の被災とともにその西側に堆積していた砂礫が一 挙に流出した結果, 導流堤両側での汀線位置のずれが小 さくなった.

(2) 侵食原因の推定

台風9号時には森戸川河口導流堤は高波浪により破壊さ れたが、その際西側に転倒した. また国府津海岸の斜路 の両側における砂礫の堆積状況写真によれば、砂礫は高 波浪時西向きに運ばれた.これらを考慮すると、図-1に 示す1999年から2007年11月までの汀線変化には、台風に よる高波浪時の西向き漂砂と、その後の通常波浪による 東向き漂砂の作用が重合していると見なければならない. 国府津海岸のX=10.8-11.8km間では汀線が後退しているが、 そこで失われた土砂量に見合う土砂堆積は見られない. さ らに森戸川河口右岸での導流堤の損壊時,右岸側では汀 線が後退したが左岸側では前進せず、むしろ後退傾向を 示す. このことは導流堤による沿岸漂砂の阻止効果はそ れほど大きなものではなかったことを示唆し、導流堤は 森戸川河口から東側約1km間の汀線をほぼ一様に後退さ せる沿岸漂砂阻止能力はもっていなかったと推定される. 結局,2007年に国府津海岸では台風による高波浪が東寄 りから入射して西向きの沿岸漂砂が起きたが、森戸川河 口付近から西側の海岸線が沿岸方向に約15°傾いているた め,海底谷の谷頭付近から西側に砂礫は移動できず谷頭 付近に堆積せざるを得なくなり、そこで海底谷への砂礫 の落ち込みが生じた可能性が大きい.図-2は、海底谷の 谷頭を通る測線No.34の縦断形を示すが、汀線から-7m付 近までは約1/6勾配であるが、沖合の-20mより沖は1/2と 非常に急勾配となっている、これらより土砂損失の重要 なポイントは以下のように考えられる.

- 森戸川河口沖に海底谷が発達しており、汀線近傍ま で急斜面が発達していたこと
- ② 台風9号では東寄りの入射波条件となり、西向きの 沿岸漂砂を発生させたこと
- ③ 森戸川河口付近を境に東西で海岸線の方向角に15°のずれがあるため、森戸川河口付近で沿岸漂砂が急減 すること
- ④ 通常波浪では東向きの沿岸漂砂が生じるが、この条件下で導流堤や突堤が伸ばされていたため、西向きの沿岸漂砂の逆流を阻害したこと
- ⑤ 突堤などの漂砂阻止構造物は通常時の東向き漂砂に より、東西非対称の地形ができあがっているが、その ような条件で急速な西向き漂砂が生じると沿岸漂砂の 阻止率が高まること

1985年までは酒匂川の流出土砂量の急減に伴う汀線後 退が起きていたが、その当時にも西向きの沿岸漂砂を生 じさせるような入射波は襲来したはずである.その場合、 森戸川河口以西には突堤状の構造物は存在していなかっ たから、逆流した砂は海岸線付近に堆積した後、通常波 浪の作用の下で再び東向きに移動したため汀線変化は生 じなかったと推定される.



3. 沿岸漂砂量の推定

空中写真から読み取った汀線位置の変化をもとに, 酒 匂川河口からの供給土砂量および各地域における沿岸漂 砂量の推定を行った(図-3).推定期間は1973年から 1999年までとした.対象地域は、沿岸漂砂から見て閉じ た系を形成すると考えられる大磯港(東端)から御幸ケ 浜の突堤までの約16km区間である.大磯港と御幸ヶ浜 突堤位置ではQ=0と考える.まず森戸川河口の西0.5km に位置する小八幡突堤群(3基)は建設後ほぼ4年(1992 ~1996年)で満砂となった。そこでこの区域での海浜面 積の増加量を求めると、1.22×104m²となる.これに宇 多ら(1995)の推定した移動高8.2mを乗じ,経過年数 (4年)で割れば小八幡突堤群上手での沿岸漂砂量が Q=2.5万m³/yr(東向き)と推定できる.一方, X=11~ 13km区間は海底谷の谷頭が近接するため土砂の流出区間 と考え、沿岸方向一様に土砂を流出させると、海底谷へ の総流出量は上記の条件から4.6万m³/yrと求まる.森戸 川沖の海底谷に近接する海岸線の長さは2 km なので単位 長さあたりの損失量は23m³/m/yrとなる.同様に山王川 河口部沖合にも海底谷の谷頭が近接する(延長0.4km) ため、ここでも土砂流出があるとし、単位長さ当りの流 出量を森戸川沖海底谷と同一の23m³/m/yrとすれば、総 土砂損失割合は0.9万m³/yrとなる.最終的に、土砂収支 計算より酒勾川の流出土砂量は1.3万m³/yrとなる.

4. 海底谷への土砂落ち込み予測モデルの基本条件

西湘海岸の森戸川河口から酒匂川河口に至る海岸線は, 森戸川河口付近の海岸線に対して反時計回りの方向に 15°傾いている.このような海底谷近傍での海岸線の変化 は,海底谷周辺での土砂移動機構に大きく影響すると考 えられることから,本研究では図-4(a)に示すように谷 頭右端の地点Bの右側の等深線が反時計回りの方向に15° 傾いた地形を初期条件として与えた.芹沢ら(2007)は, 森戸川河口沖の海底谷への土砂落ち込みに対し等深線変 化モデルを適用したが,そのモデルでは海底谷を除く海

底を全て移動床扱いとしたため、与えた初期地形から規 模の大きな地形変化が起こり、結果として現地海岸での 現象再現は必ずしも十分ではなかった.一方,海底谷の 両側には大陸棚斜面が発達し、この斜面と海底谷の組み 合わせが海底谷への土砂流出を左右すると考えられる。そ こで本研究では、海底谷と大陸棚斜面を模した-12mの平 坦面を考え,その上に堆積した砂が波の作用で移動する という設定とするとともに、局所的な砂移動の再現性を 高めるためにBGモデルを用いた.このような地形条件の もとで、現地海岸の年数回波相当の波として砕波波高が3 mの波の入射を考えるが、右斜め(-10°)および左斜め (10°)の方向から入射する波をそれぞれ右斜め波・左斜め 波と呼ぶ. また上記の波の作用のもと、地形変化は、波 による地形変化の限界水深h_=10mとバーム高h_=3mの間 で起こるとする. なお, 現地海岸での波浪条件と漂砂量 の関係が明らかではないので、実時間との対応は調べず に、計算ステップを5000stepに統一して比較を行った.ま た実際には、右斜め波と左斜め波の作用時間も異なると 考えられるが、本研究では、現象をできるだけ単純化し て調べたいことから右斜め波と左斜め波の作用ステップ 数は同一とした.計算条件として,岸沖・沿岸漂砂係数 比K_x/K_yは宇多ら(2008)と同様0.2とした.また平衡勾配 は実測縦断形をもとに1/6と設定した.境界条件としては, 左右端を開境界とし沿岸漂砂の出入りを許した.計算は, いずれも波の入射方向を-10°(右斜め波)と10°(左斜め 波)とした上で、自然状態 (無施設)、現況突堤群、突堤 増設,離岸堤新設の場合について検討した.表-1には計 算条件を示す.

5. 海底谷への土砂落ち込み予測の結果

(1) 自然状態(無施設)

図-4 (a)の初期地形において、右斜め波が作用した場 合の予測結果を図-4 (b)に示す.酒匂川からの流出土砂 が右端境界を通過して流入するが、谷頭の右端Bにおいて 海岸線の向きが15°変わるため、海岸線の法線に対する波 向角がBの右側領域での25°から、左領域での10°へと急

BGモデル (宇多ら, 2008)
交差角15°の平行等深線地形 海底勾配=1/6 -12m以深は固定床扱い
砕波波高: $H_b=3$ m, 砕波波向 $\theta=-10^{\circ}$ (右斜め波)、 10° (左斜め波)
$h_R = 3 \mathrm{m}$
$h_c = 10 \mathrm{m}$
$\tan\beta_c = 1/6$
$\tan\beta_g = 1/2$
沿岸漂砂量係数Ky=0.2 岸沖漂砂量係数Kx=0.2Ky
$\Delta x = \Delta y = 20 \text{ m}$
$\Delta t = 0.012 \text{ hr}$
5000ステップ
岸沖端:q _x =0, 左右端:dq _y /d _y =0

表-1 計算条件

変する.結果としてB点付近で沿岸漂砂量が急減し堆積が 起こる.砂の堆積とともに海底勾配が急となり、深海へ と土砂が落ち込む.この結果,図-4(b)に○印で示すよ うに水深の大きな場所で堆積が進む.図-4(b)の状態で 左斜め波が作用した時の地形を図-4(c)に示す。この条 件では、AB間では右向きの沿岸漂砂となるが、Bの右側 では海岸線が反時計回りの方向に15°傾いているので、 10°の入射角を有する左斜め波が作用しても沿岸漂砂は依 然として左向きである. この結果,海底谷の右端Bでは砂 の堆積が起こり、急勾配斜面を経て海底谷に落ち込む.初 期からの地形変化量を図-5(a)に示すが、右端境界から 流入した土砂は谷頭右端を中心に堆積し、堆積域が上手 側へと広がる.同時に大量の土砂が海底谷に落ち込む.一 方左斜め波が作用した場合にも海底谷への土砂落ち込み が起こるが、堆積量は右斜め波の作用時と比較すると小 さい (図-5 (b)).

(2) 現況 (突堤群)

現況において,酒匂川から森戸川河口間には3基の突 堤と森戸川河口導流堤が建設されており,汀線が階段 状となっている.そこでこれらの構造物が設置されて いる条件で海底谷への土砂落ち込みについて検討した. 図-6 (a) に示す初期地形に右斜め波が作用すると,突堤 間では階段状の等深線となる.また突堤により沿岸漂砂 が部分また突堤により沿岸漂砂が部分的に阻止されるた め,突堤群の沖合では等深線の蛇行が起こる(図-6 (b)). この状態で右斜め波が作用すると図-6 (c) となるが,階 段状の等深線は再び直線状となり,沖合の突出した等深 線の沿岸方向勾配も緩くなる.対応する地形変化量を図-7 に示す.突堤なしの場合,侵食域は右端境界から左側に 細長く伸びていたのみであったが,突堤が建設された結



果各突堤の下手側で著しい侵食が生じた.とくに森戸川 河口導流堤の下手側では著しい侵食が起きている.しか し図-5 (a)と比較すると,海底谷への土砂落ち込み量自 体は無施設の場合と比べて低減している(図-7 (a)).こ のように,現況の突堤群が設置された状態では,自然状 態に比べ海底谷への土砂落ち込み量は低減するが,汀線 付近で見ると堆積・侵食の変動が顕著に現れることがわ かる.

(3) 突堤増設

国府津海岸での侵食対策として海岸中央に突堤を増設 した場合の効果・影響について検討した.土砂落ち込み は右斜め波の作用時に大きいので,波の入射方向は右斜 め波のみとした.図-8(a)は海底谷中央部に突堤を設置 した場合の初期地形である.図-8(b),(c)には予測地 形と地形変化量を示すが,突堤を増設すると突堤の右 (上手)側での土砂落ち込みを助長させた上,侵食域が 左側に大きく伸ばす結果となる.

(4) 離岸堤新設

国府津海岸中央の水深4mに離岸堤を新設した場合に ついて検討した.図-9には初期地形,予測地形と地形変 化量を示すが,離岸堤では突堤と異なり,離岸堤上手側



での土砂落ち込みはなく,突堤の場合ほど顕著な構造物 を境としたジグザグ状の汀線は形成されず,離岸堤下手 側での汀線後退量は小さくなる.一方下手端の突堤脇に おける沖合への土砂損失は離岸堤の設置とは無関係に生 じ,海底谷への土砂損失防止の意味では有効ではない.

6. 結論

- ① 森戸川河口付近を境として海岸線の向きが15°変 わり,西側の海岸線の方向角が増す.このため右斜め 波,左斜め波いずれの条件であってもB点付近で沿岸 漂砂量の急減が起こり,堆積が起生じる.そこに急勾 配の海底谷が発達していることから深海へと土砂が落 ち込む.
- ② 現況の突堤群がある条件では、自然状態に比べ海底 谷への土砂落ち込み量は低減するが、汀線付近で見る と堆積・侵食の変動が顕著に現れる。
- ③ 海底谷の谷頭に突堤を造ると、突堤の上手側ではいずれも海底谷への土砂落ち込みが起こると同時に、侵 食域が下手側へ大きく広がる.このことから、谷頭付 近で突堤状の施設を造ることは海底谷への土砂損失防 止を図る上で逆効果となる.



④ 海底谷の谷頭に離岸堤を設置すると,離岸堤上手側での土砂落ち込みは起こらず,突堤の場合ほど顕著な構造物を境としたジグザグ状の汀線は形成されず,離岸堤下手側での汀線後退量は小さくなる.しかし下手端の突堤脇における沖合への土砂損失は離岸堤の設置とは無関係に生じ,海底谷への損失防止軽減の意味では有効ではない.

参考文献

- 宇多高明・川崎俊太・見附敬三(1995):西湘海岸小八幡地区 に建設された突堤の漂砂阻止率の検討,海岸工学論文集, 第42巻, pp.671-675.
- 宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼・石川仁憲 (2008): ebb tidal deltaの地形変化予測と沖への土砂損失 防止策の検討,海岸工学論文集,第55巻,pp.626-630.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼 (2007):海底谷へ の細粒土砂の選択的損失の予測モデル,海洋開発論文集, 第23巻, pp.1165-1169.