下新川海岸荒俣地先における沖合への土砂損失機構

Mechanism of Sand Loss into Submarine Canyon Offshore of Aramata Region of Shimoni-ikawa Coast

諏訪義雄¹·山田浩次²·宇多高明³·古池 鋼⁴·三波俊郎⁴·石川仁憲⁵·横澤 綾⁴

Yoshio SUWA, Koji YAMADA, Takaaki UDA, Kou FURUIKE, Toshiro SAN-NAMI Toshinori ISHIKAWA and Aya YOKOSAWA

Several submarine canyons develop offshore of the Aramata region of the Shimoni-ikawa coast in Toyama Bay. The Kurobe River flows into the sea immediately east of this area, and a large amount of sediment has been supplied to this area as a source of westward longshore sand transport. However, after the construction of the detached breakwaters, offshore sand transport was accelerated and beach erosion occurred downcoast. In this study, aerial photographs and bathymetric survey data were analyzed and then, the mechanism of this offshore sand transport was investigated using the BG model proposed by Serizawa *et al.* (2006).

1. まえがき

下新川海岸の荒俣地先は、富山湾に面し、黒部川河口左岸に位置する。既往研究(宇多ら、1989;宇多、1997;金澤ら、2006)によれば、急流河川である黒部川は大量の土砂を海岸へと運んできているが、流出土砂の一部は黒部川河口沖から直接深海へと流出し、また一部はこの付近で卓越する西向きの沿岸漂砂によって運ばれたあと、最終的に生地鼻付近から沖合へと流出することが分かっている。

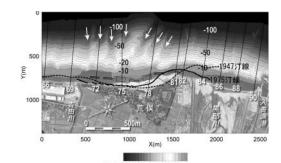
現在では水系一貫の土砂管理が模索されており、黒部川は北陸地方におけるこのような考え方が試行されている代表事例のひとつである。河川から海岸に至る土砂の移動を考えたとき、荒俣地先は非常に重要なポイントの一つとなる。その理由は、越波対策として設置された離岸堤や人工リーフが沿岸漂砂をブロックしているため、海岸への供給土砂が西向きに移動しにくくなっており、結果的に深海への土砂損失が助長されている可能性があるためである。しかしこれに関する既往研究(字多ら、1989;字多、1997;金澤ら、2006)は、いずれも実態論的研究であり、沖への土砂損失を理論的に明らかにし、それにもとづく具体的対策までの検討は行われていない。このことから、本研究では、まず空中写真や深浅測量データより土砂落ち込みの実態を明らかにし、その上で芹沢ら(2006)によるBGモデルを用いて急勾配海岸への

1 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸 研究室長 2 正会員 工修 国土交通省国土技術政策総合研究所海岸 研究室 3 正会員 (財) 土木研究センター常務理事なぎさ 工博 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 海岸研究室(有) 5 正会員 工修 (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室

土砂落ち込みの定量的予測を行うものである.

2. ナローマルチビーム (NMB) 測量による深浅 図の分析

図-1は、2005年実施のナローマルチビーム (NMB) 測 量による黒部川河口から荒俣地先に至る区域の深浅図と 測線配置である. ここで海岸線に沿う帯状の区域は、水 深が小さいためNMBデータが取得されていない海域を 示す. 図-1によれば、黒部川河口沖の海底には直線状の リッジが沖向きに伸びている. また荒俣地先沖では海底 谷が顕著に発達しており、測線No.81からNo.69の間に7 列の海底谷(矢印)が見られ、とくにNo.81の西側隣接 部の海底谷では、水深10mの等深線が海岸線のごく近傍 まで発達しているのが特徴である. 黒部川河口沖の海底 勾配は1/5と非常に急なため、他の河川で見られるよう な河口テラスの発達はない. また詳細に調べると, No.82とNo.84の間の-10m以浅には緩斜面が形成されて いるが, この緩斜面の幅はNo.82では狭まり, No.81付近 では消失している. しかし海底谷の西側の, No.78と No.75の間では再び緩斜面が発達する. さらにNo.69以南 でも同様な緩斜面の発達が見られる.



Z(m) -100-80-60-40-20 0 図-1 黒部川河口から荒俣地先に至る区域の深浅図と測線配置

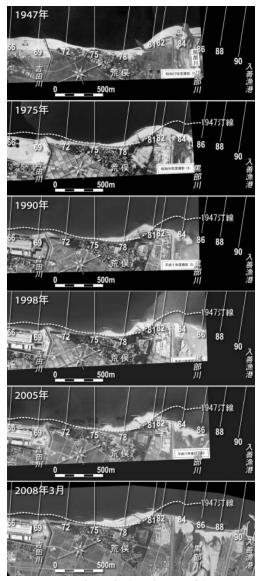


図-2 空中写真(1947年~2008年)

図-1には、次節で明らかにする1947年と1975年の空中写真から読み取った汀線形状も示す。1947年と現況汀線を比較すると、荒俣地先では離岸堤や人工リーフの背後で砂の堆積が進んでおり、汀線が大きく前進していることが分かる。また測線No.84では沖合の急斜面が始まる位置が1947年当時の汀線と一致しており、それより陸側に緩斜面が形成されていることから、この緩斜面は侵食の結果形成されたことが分かる。しかしさらにNo.86寄りでは1947年の汀線が急斜面の開始点より沖に位置する。このような場合、西向きの沿岸漂砂により土砂が運び去られれば、侵食に伴って侵食緩斜面が形成されなければならないが、侵食緩斜面は全く存在しない。これよ

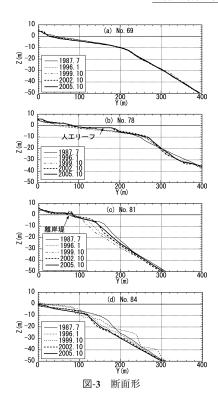
り1947年の突出した汀線付近では沖向きの土砂落ち込みがあった可能性が非常に高いことを意味する。さらに1975年には、No.81とNo.78の間の汀線が大きく前進していたが、汀線が最も沖合まで突出する点は沖合に発達する海底谷の谷頭と一致している。これよりこの付近では汀線から深海へと非常に急勾配の斜面が形成されていたことを意味し、その急斜面を沿岸漂砂が通過する際、土砂が安定性を失って深海へと落ち込んだ可能性が高いことが分かる。

3. 空中写真の分析

黒部川河口と荒俣地先を含む沿岸方向に2.6kmの区域に おける海岸状況の変化を空中写真の比較により調べた. 図-2には1947年から2008年までにおける同一区域の空中 写真を示す. また空中写真には1947年の汀線形状と深浅 測量の測線位置をあわせて示す。まず1947年では、黒部 川河口が大きく突出し、測線No.81付近で汀線形状が凸状 から凹状へと変化し、海岸線に沿って連続的に海浜が延 びていた。1975年では、黒部川河口の汀線後退が著しく なるとともに、No.82にある不動点を中心に汀線の向きが 時計回りに約25°回転した.これと同時にNo.82の南側直 近では汀線が大きく前進し弧状の汀線となった. さらに 吉田川河口付近での侵食も激化し、同時に荒俣地先南部 では小規模な突堤群が伸ばされた. 汀線変化によれば, 1975年の黒部川河口の汀線への法線方向N40°Wから卓越 波浪が入射していると推定できるが、この斜め入射波条 件では1947年にはいずれの地先でも強い西向きの沿岸漂 砂が発達する条件にあったことが分かる。1990年になる と, 黒部川河口左岸の護岸が直接波に曝されるようにな り、護岸の露出区間の延長は200mとなった。この結果河 口左岸砂州は孤立し河道内へと入り込んだ。1998年まで には河口から1,2,3号離岸堤が建設されていたが,2,3号 離岸堤の背後にはトンボロが発達している。既に1号離岸 堤の背後では1995年当時満砂状態にあったので、2,3号 離岸堤背後のトンボロの形成に必要な砂礫は1号離岸堤の 沖を通過し、それが堆積したと考えられる。2005年では 1号堤から東側の汀線が斜めに大きく後退した(法線方向 N44°W). 2008年では1号堤周辺が侵食されて離岸堤が孤 立し、小規模なトンボロが残された、同時に2.3号離岸 堤の間にある人工リーフ付近では砂が堆積しほぼ直線状 汀線となった.

4. 縦断形変化

吉田川河口の西側に隣接する測線No.69では、汀線から-10mまで約1/20勾配の斜面があり、縦断形は-10mで折れ、それ以深では1/4.7勾配に変わる(図-3(a))。この測線では侵食が進み、 $1947\sim2008$ 年には汀線が70m



後退したことを考慮しつつ縦断形を調べると、-10m以浅の緩斜面は侵食時に形成されたものであり、これより波による地形変化の限界水深 h_c がほぼ-10mにあることが分かる。

1号人工リーフを横切るNo.78では、空中写真による汀線変化に示したように1947~2008年の間に85mの汀線前進が起きている。図-3 (b) においても天端水深2 mの人工リーフの岸側では汀線の前進が見られる。一方人工リーフ沖では、1987年から2005年の間、-10mの等深線が16m前進している。そのとき-10mから-20mの間の海底勾配が時間的に急勾配となり、2005年には1/3.6となっている。-10m以浅での海底勾配は約1/18であって、No.69で得られた勾配1/20とほぼ同一である。このことは、のり先水深が5.6mの人工リーフの沖側の-10mに至る斜面上を沿岸漂砂が西向きに通過する際、砂が h_c 以深へと落ち込んだことを示していると考えられる。

離岸堤を通るNo.81では(図-3 (c)), -6m付近まで 1/12の斜面が続いた後急深になるが、 $-10m\sim-20m$ 間の海底勾配を求めると、海底勾配が最も急なのは1987年の 1/2.4であり、緩いのが1999年の1/3となる。1987年から 1999年までは侵食とともに沖合の海底勾配は緩くなったが、その後2005年までは海底勾配が増加している。沖合の地形変化はほぼ-40mまで生じている。この海岸での h_c は-10mにあるが、これより水深の大きな場所へと落ち込

表-1 計算条件

表-1 計算条件	
計算モデル	粒径BGモデル(芹沢ら, 2006), 回折計算: 方向分散法(酒井ら, 2003)
初期地形	1995年の海底地形(ナローマルチビーム)
計算ケース	ケース1 離岸堤なし(再現計算) ケース2 離岸堤あり(再現計算) ケース3 離岸堤の波高伝達率の上げた場合 ケース4 河口に隣接する1号離岸堤の撤去
入射波条件	波高 H =1.6m,周期 T =7.2s *1 ,波向 N 15 $^{\circ}$ W *2 *1国交省田中観測所:波高 1 m以上のエネルギー平均波 *2 生地鼻に至る現況汀線に45 $^{\circ}$,エネルギー平均波向は N 12 $^{\circ}$ W
潮位条件	M.S.L. ± 0.0m
空間メッシュ	$\Delta X = 10 \text{m}$
計算間隔∆t	$\Delta t = 2 \text{hr/step}$
計算ステップ数	4380step/yr (5年間*: 21900step) *金澤ら (2006) によれば、荒俣地先沖では 経年的な堆積と崩落が繰り返されており、1 回の崩落での損失土砂量は20万m³/yr程度である。本研究では堆積期間を5年と仮定する。
粒 径	粒径2成分と平衡勾配 $d_1:d_{50}=0.3$ mm, $\tan\beta=1/8$, $d_2:d_{50}=0.7$ mm, $\tan\beta=1/15$ 交換層厚: ΔZ あたり 10 m 合有率:交換層A,B $d_1:\mu=0.0,d_2:\mu=0.0$ (疑似固定床:交換層を空にしておく)
漂砂の水深方向 分布	宇多・河野の分布
移動限界水深	h_c =9m
バーム高	<i>h</i> _R =3m
漂砂量係数	沿岸漂砂量係数 Kx = A /sqrt (d_{50}), A =0.02 d_1 : Kx =0.3651, d_2 : Kx =0.2390 岸沖漂砂量係数 Ky/Kx =1.0 小笹Brampton係数: K_2 =1.62 Kx ($\tan \beta$ =1/30) 重力係数:0.2 安息勾配(土砂落ち込みの限界勾配)陸上:1/2, x 中:1/4 エネルギー逸散率 局所勾配考慮あり 漂砂量式中の $\cos \alpha_b$ =0.5:60°以上は60° 池野係数(鉛直境界補正の勾配)0.2
境界条件	左右端,岸沖端: q =0(漂砂の流入流出なし)1995年地形の粒径含有率をゼロ(疑似固定床)とした。 黒部川の流出土砂量 10 万 m^3 /yr(字多ら,1989)流入土砂の含有率: $d_1:\mu$ = $0.33, d_2:\mu$ = 0.66 ※卓越波向から,全量が左岸へ流入するものとした。 ※入善漁港側からの流入は 0 ※湧き出し範囲: x = 1640 \sim 1700 m, y = 320 \sim 410m
構造物条件	突堤 K_i =0.0,離岸堤 K_i =0.4→伝達率低減時 K_i =0.8 人工リーフ K_i =0.7

んだ砂は波の作用では移動しない. しかしそこで著しい 地形変化が生じている理由としては, 斜面勾配が急になった結果, 海底の地すべり(金澤ら, 2006)が起きたことによると推定される.

1999年の縦断形から定まる勾配が安定勾配とすれば,

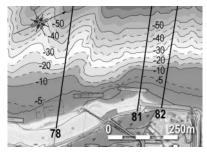


図-4 No.81付近に発達する海底谷付近を拡大した深浅図

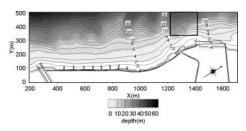


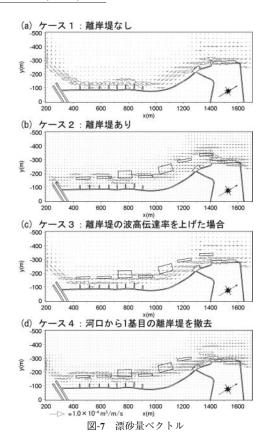
図-5 初期地形



図-6 構造物配置

これより上に急勾配で堆積した砂礫は何らかのきっかけで不安定になり、1999年の縦断形に見られるような安定勾配まですべり落ちるが、再び土砂が堆積して急勾配の縦断形になったと考えられる.

河口を通るNo.84では1987年には大きく膨らむ縦断形 を有していたが、その後-25m付近まで大きく削り取られ ている. 地形変化がんと比較して大きな水深まで起きて いること、また海底勾配がNo.81と同程度に急なことか ら,河口前面でも海底地すべりが起きた可能性が大きい. 図-4には、図-1の深浅図よりNo.81付近に発達する海底 谷付近の拡大深浅図を示す. 1号離岸堤の西端付近で は-10m以浅の緩斜面の幅が30mと非常に狭くなってい る. この部分の海岸線はもともと南側で後退する形状 であり、その形は護岸形状に残されている. これと比 較すると、離岸堤は護岸線に対して斜行して設置され たため, その西端が海底谷に接近する結果となってい る. このような形状であれば海岸線とほぼ平行に流れ る沿岸漂砂を大きく阻害することになり、離岸堤の西 端を沿岸漂砂が通過する際海底谷への土砂流出を促進 する可能性が高い.



5. BG モデルによる海底谷への土砂落ち込み予測

(1) 計算条件

ここでは芹沢ら(2006)によるBGモデルの適用を図る.表-1には計算条件を示す。初期地形には、1995年に行われたナローマルチビーム測量の結果得られた海底地形を与えた。計算は離岸堤の設置状況を変えて4ケース行った。ケース1は現況再現で、ケース2、3、4は、それぞれ離岸堤あり、離岸堤の波高伝達率を上げたもの、および河口に隣接する1号離岸堤を撤去した案である。入射波高は田中観測所における波高1 m以上のエネルギー平均波として、H = 1.6 m(周期T = 7.2 s)とし、波向は、生地鼻に至る直線状の現況汀線に45°の角度となるN15°Wを用いた。図-5は初期海底地形を示す。図-6には構造物の配置を示す。

(2) 計算結果

図-7には漂砂量ベクトルの比較結果を示す。離岸堤なしの場合(ケース1),沿岸漂砂は突堤区間で多少の乱れはあるものの,海岸線に沿ってスムーズに流れる。離岸堤が設置されると、1号離岸堤により沿岸漂砂が阻止され、阻止された沿岸漂砂が斜め沖へと向かる。離岸堤が設置されると、1号離岸堤により沿岸漂砂が阻止され、

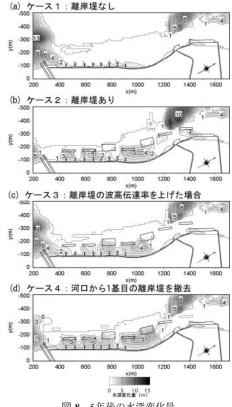


図-8 5年後の水深変化量

阻止された沿岸漂砂が斜め沖へと向かう. このような沖 向き漂砂が起こるため海底谷への土砂損失が助長される ことになる. しかし離岸堤の波高伝達率を上げると沿岸 漂砂量は増大し, また離岸堤の撤去によれば, 海底谷方 面への斜め沖向きの漂砂を大きく減じ、沿岸漂砂となっ て流すことが可能となる.

図-8には各ケースの水深変化量を示す. 各ケースとも 初期から5年後までの水深変化量を示す。ケース1では、 時間経過とともに荒俣沖の海底谷への土砂損失量が増大 していく. 離岸堤を設置したケース2では離岸堤が南向 きの沿岸漂砂を阻止し各離岸堤の背後に堆積をもたらす が、同時に1号離岸堤沖での損失土砂量が増大したこと が分かる. 離岸堤の波高伝達率を上げたケース3では, 海底谷への土砂損失は軽減され、南向きに流れる沿岸漂 砂も回復する. 同様にして1号離岸堤を撤去すると (ケ ース4)、1号離岸堤沖の海底谷への土砂落ち込みが大き く軽減される. 図-5,6に示すように河口に近い離岸堤沖 の1つ目の海底谷に矩形状の計算区域を設定し、計算値 と初期値の地形変化量から各ケースの海底谷への損失土 砂量を求め、損失土砂量の経時変化を求めたのが図-9で ある. 離岸堤ありと比較して、 離岸堤なし、離岸堤の波 高伝達率上げた場合、および1号離岸堤の撤去はいずれ

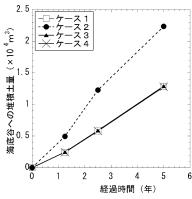


図-9 海底谷への損失土砂量

の場合も損失土砂量が大きく低減(5年で43%)してい る. 離岸堤なし、離岸堤の波高伝達率を上げた場合およ び1号離岸堤の撤去のいずれも同じ結果になったことは、 1号離岸堤が海底谷への土砂損失を引き起こす主要因で あることを意味する。これより1号離岸堤の撤去を行え ば自然状態と同じ水準まで損失土砂量の低減が可能なこ とが分かる.

6. 結論

BGモデルを用いて荒俣地先沖の海底谷を含む急勾配 海岸における土砂移動機構について検討した.この結果, 海岸線近傍まで海底谷が迫っている荒俣地先では、従来 から海底谷への土砂損失が問題となっていたが、離岸堤 の設置に伴って沿岸漂砂帯が沖向きに押し出され、結果 として海底谷への土砂損失が助長されていることが数値 モデルにより再現された. 現地観測データからも同様な 状況が観測されたことから, 今後海底谷への土砂損失を 防止するには、1号離岸堤を撤去するなど、離岸堤や突 堤など海底谷へ向かって突き出た構造物を造る代わり に、沿岸漂砂をスムーズに流す仕組みを造ることが大事 である.

紶 考 文 献

宇多高明・中田定男・小俣 篤 (1989):下新川海岸における 深海への土砂流出実態, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.374-378.

宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p.442.

金澤裕勝・笹倉伸男・中山真二・福濱方哉・山本幸次・橋本 新・辺見 聡 (2006):黒部川河口の周辺海域における大 規模な土砂崩落の実態, 海岸工学論文集, 第53巻,pp. 611-615.

酒井和也・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之 (2003):波の遮蔽構造物を有する海岸における3次元静的 安定海浜形状の簡易予測モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.496-500.

芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼(2006):Bagnold 概念に基づく海浜変形モデル, 土木学会論文集B, Vol. 62, No.4, pp.330-347.