

下新川海岸の荒俣・生地地先での 深海への土砂流出の定量評価

工藤 裕之¹・宇多 高明²・高村 裕一³・堀口 敬洋⁴

¹国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所（〒380-0903 長野県長野市鶴賀字峰村74）

E-mail: kudou-h2gy@mlit.go.jp

²正会員（一財）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: uda@pwrc.or.jp

³国土交通省北陸地方整備局黒部川河川事務所（〒938-0042 富山県黒部市天神新173）

E-mail: takamura-y84sy@mlit.go.jp

⁴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: horiguchi-t@tokencon.co.jp（Corresponding Author）

富山湾に流入する黒部川では、河口部およびその南側に隣接する荒俣地先において、河川流出土砂が急峻な海底を経て深海へと流出している。また一部の土砂は南向きの沿岸漂砂により生地地先まで運ばれ、最終的に生地地先からも深海へと流出している。この地域の海岸保全にはこのような土砂移動が深く係わることから、荒俣地先～生地地先を対象にNMB測量データを用いて海浜地形変化を定量的に解析した。この結果、生地地先では有脚式離岸堤沖において一挙に3万 m³もの土砂流出が起きていること、また沖合の海底勾配が限界勾配1/1.9より急になると海底面が不安定となって海底地すべりが起き、砂の冲向き流出が起ることが分かった。

Key Words : Shimoni-ikawa coast, landslide, steep slope, critical slope, NMB survey, longshore sand transport

1. まえがき

下新川海岸は、急深な富山湾に面した黒部川扇状地の外縁をなす海岸である。この海岸では、海岸線近傍まで急深な海底谷が迫っていることから、汀線付近から深海への土砂流出が著しい¹⁾。とくに当海岸への主要な土砂供給源である黒部川にあっては、河口が急峻な海底谷に面しているため、河川流下土砂が深海へと流出しやすい条件を有している。本研究は、このように急峻な海底谷周辺に位置する黒部川河口周辺海岸を対象として、汀線砂の沖への流出機構について実測データをもとに考察することを目的とした。研究対象地は、黒部川河口の南側に位置する荒俣・生地地先である。これらのうち、荒俣地先は黒部川河口左岸に隣接するために、河川流出土砂が沿岸漂砂により地先へと直接運び込まれているが、この地先に設置されている離岸堤による沿岸漂砂の阻止のために、いったんは離岸堤沖に砂礫が堆積しつつも、砂礫の堆積量が増すと海底勾配が限界勾配より急となって冲向きの土砂流出を誘発している²⁾。そこで、深海への土砂流出を軽減する方策として、離岸堤背後で土砂を掘

削し、それを下手側へ運ぶサンドバイパスが2017～2019年に行われた³⁾。サンドバイパスにより運ばれた土砂を含め、荒俣地先から南向きの沿岸漂砂により運ばれた砂は、南側の生地地先まで運ばれているが、そのようにして運ばれた土砂もまた生地地先から深海へと流出している⁴⁾。このため荒俣地先～生地地先での海岸保全においては、このような土砂動態の把握が重要である。そこで、荒俣地先と生地地先を対象として、南向きの沿岸漂砂と急勾配の海底を経た冲向きの土砂流出の動態をNarrow Multi-Beam（NMB）測量データを基に定量的に解析した。

2. 荒俣・生地地先の施設等の概況と解析方法

荒俣・生地地先では、毎年1回NMB測量が行われてきているので、これらの測量データを用いて地形変化解析を行った。解析には、2012年を初回とし、2022年まで10年間の測量データを用いた。以下では、2009年9月のNMB測量データを基準として、各年の地形変化量を算出した。なお、地形変化解析の結果については、余白の

関係上、偶数年の解析結果を示した。

図-1には荒俣地先における離岸堤と人工リーフの配置を設置年とともに示す。荒俣地先では、黒部川河口左岸隣接部から1～5号離岸堤（堤）が設置され、また2,3号堤と3,4号堤間にはそれぞれ人工リーフが設置されている。とくに荒俣地先の北側人工リーフの背後には最大95m幅の前浜が形成されているが、この前浜は黒部川からの流出土砂が堆積してできたもので、安定した砂浜として保持されている。同じく図-2には生地地先に造られている3基の有脚式離岸堤（北側から順に61,60,59号堤）と、



図-1 荒俣地先の離岸堤（1～5号堤）と人工リーフの配置

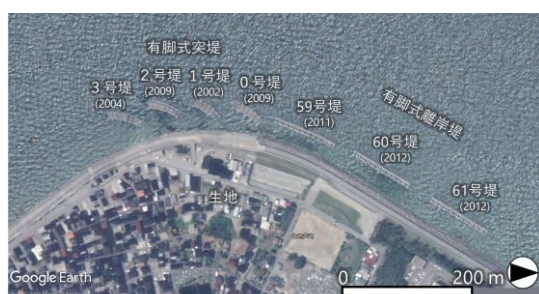


図-2 生地地先の有脚式離岸堤と曲突堤の配置

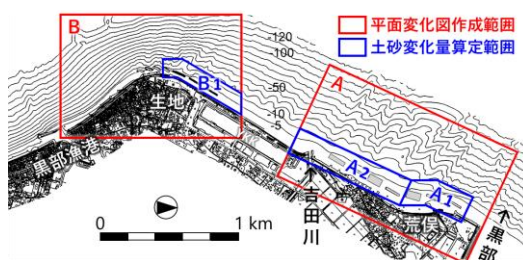


図-3 荒俣・生地地先での地形変化の解析区域

表-1 荒俣地先でのサンドバイパス量

年	工事期間	掘削土砂量(m ³)
2017	5月 8日～17日	5,350
	6月12日～17日	2,950
	10月16日～28日	2,600
2018	7月18日～27日	5,200
	10月25日～11月10日	6,600
2019	6月13日～28日	6,050
	10月29日～11月 1日	750
合計		29,500

その南側の4基の有脚式突堤（曲突堤）の配置を示す。

荒俣・生地地先における海底地形変化の解析では、図-3に示すように、黒部川河口に隣接する荒俣地先（図-1）と、生地地先（図-2）を対象とし、これらを便宜上区域A、Bと呼び、各区域での地形変化を詳しく調べた。一方、荒俣地先では1号堤沖での沖向きの土砂損失を軽減し、下手側への漂砂の連続性を保つために1号堤背後の堆積土砂を3号堤背後へと運ぶサンドバイパスが2017～2019年に行われた²⁾。サンドバイパスのための掘削は、2017年には3回、2018, 2019年には2回行われた。表-1には各期間の土砂掘削量を示す。掘削量は2017年が1.1万m³、2018年が1.2万m³、2019年が0.7万m³であり、総量約3万m³の土砂が掘削され、下手側へと輸送された。このことから、荒俣地先の3号堤を境として、その北側に区域A₁を、南側にA₂を設定し、各区域での土砂量の変化を算出した。同じく生地地先においては、3基の有脚式離岸堤周辺で顕著な地形変化が観測されたことから、この区域をB₁として各区域内での土砂量変化を調べた。

3. 荒俣地先(区域A)における地形変化解析

図-4(a)には荒俣地先の2012年9月の深浅図と地形変化量の分布を示す。NMB測量は船舶を用いて行われているが、離岸堤や人工リーフより岸側の水深が小さい区域では測量船が接近できないことから測量の空白区域（グ

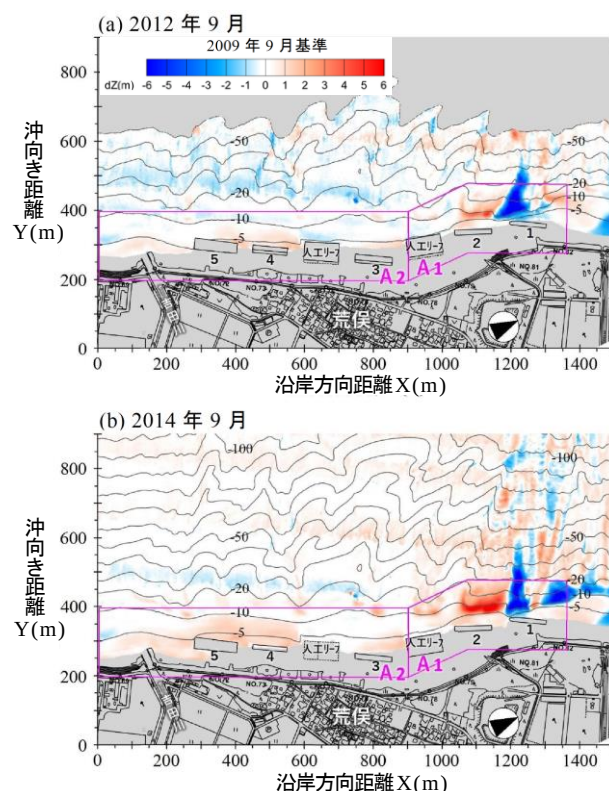


図-4 荒俣地先での海底地形変化量の平面分布(2012,2014年)

レーズン) がある。したがって離岸堤より沖合での地形変化に着目すると、荒俣地先では、海岸線沖の-10 m 付近までは沿岸方向に平坦な等深線が伸びていたが、-20 mより沖には7か所で海底谷が形成されており、水深100 m付近まで深く切れ込んだ谷が発達している。これに対し、-10 m以浅では沿岸方向に緩やかに湾曲した等深線形状となっている。これは荒俣地先における波による地形変化の限界水深³⁾がほぼ-10 mにあり、これより浅い水深帯の海底は波の作用により平滑化されていることによる。この時期、北端に位置する1号離岸堤(堤)の南端沖の5~30 m間で集中的な侵食が起き、それに隣接する2号堤沖の-10 m付近では堆積が進んでいた。

同様に、図-4(b)には2014年9月の深浅図と地形変化量の分布を示す。図-4(a)と比較すると、2012年には1号堤沖の侵食区域が2号堤の北端方向へと楔状に入り込んでいたが、2014年には離岸堤沖の侵食域は1号堤の南端から直接沖向きに広がり、逆に2号堤沖では堆積がいつそう進んだ。また、この時期、1号堤北側の黒部川河口隣接部でも沖合侵食が進んでいた。1,2号堤付近より南側の区域での地形変化は小さかったものの、調査区域南端部の4,5号堤の-10 m以浅でも緩やかな堆積が起きていた。2014年はサンドバイパス実施以前なので、海底谷への土砂落ち込みが起きつつも一部の土砂が南向きの沿岸漂砂により運ばれていたことが分かる。

続いて図-5(a)には2016年の深浅図と地形変化量の分布を示す。この時期には、再び1,2号堤付近で顕著な地形

変化が起きた。まず1号堤の南端部沖の5~40 mの水深帯で著しい侵食が起これ、最大地盤高の最大低下量は10.8 mに達した。侵食域の南端部は1,2号堤の開口部沖へと北側より入り込んでおり、図-4(a)に示した2012年9月までに生じた侵食域の分布とよく似た形状であった。この時もまた、2号堤沖の5~20 m間では堆積域が残されていることが注目される。南向きの沿岸漂砂により運ばれた土砂が2号堤の沖に過剰に堆積し、それが1号堤に近い場所から順に安定性を失って急勾配斜面を経て流出したためこのような地形変化分布が得られたと考えられる。さらに1号堤の北端沖の-10 m付近では集中的な堆積も起きている。

2018年8月になると(図-5(b))、2016年には堆積が進んでいた2号堤沖の堆積域全体で侵食域が一挙に広がり、2号堤沖での顕著な堆積域は完全に消失した。一方、この時期には南人工リーフの陸側端でのサンドバイパスによる土砂投入²⁾が始まったため人工リーフ端部から南側での堆積量が増した。さらに2020年12月では離岸堤岸側の海底形状も測量された(図-6(a)参照)。これによると、2号堤背後でのサンドバイパスのために土砂が掘削された区域で顕著な埋め戻しが起き、同時に南人工リーフと4号堤の間では砂礫の投入によって投入点より南側の区域の-10 m以浅で堆積量が増し、この土砂の堆積域は吉田川河口を超えて南側にまで広がった。

2022年11月には同様に2号堤背後の土砂堆積が顕著に進んだほか、サンドバイパスによる土砂投入が行われた

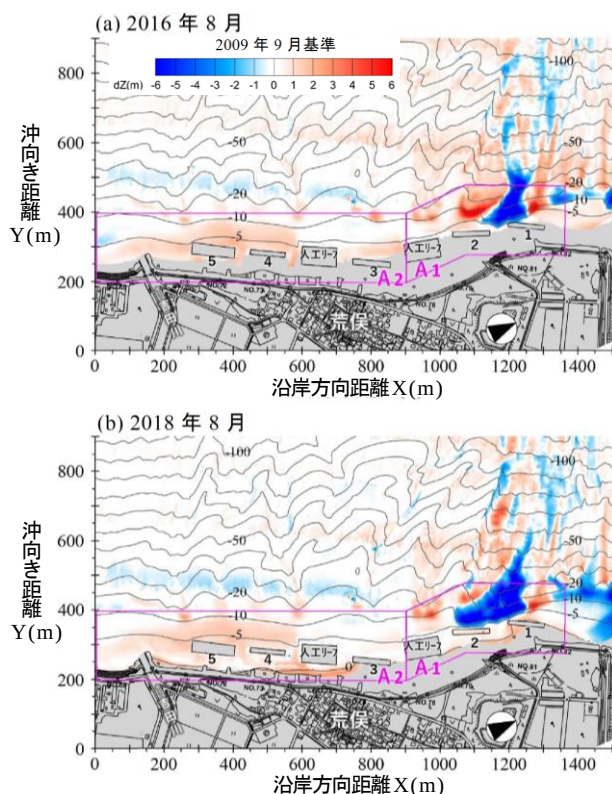


図-5 荒俣地先での海底地形変化量の平面分布(2016,2018年)

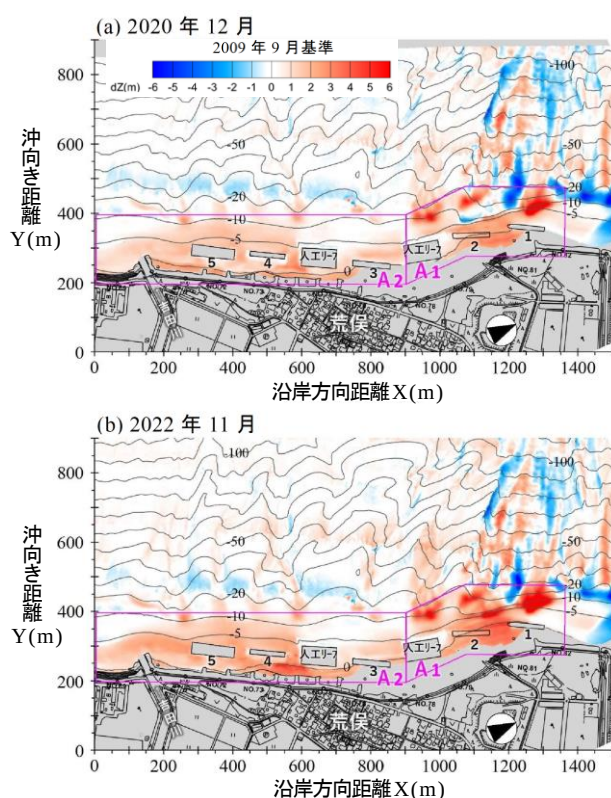


図-6 荒俣地先での海底地形変化量の平面分布(2020,2022年)

南人工リーフと4号堤の開口部背後での堆積量が大きく増加した（図-6(b)）。これにとどまらず、吉田川河口沖を横切って堆積域が南側へと広がったことから、荒俣地先でのサンドパイプスの効果が明瞭に発現されたことが確認された。このようにして吉田川河口沖を南側へと通過した土砂は生地地先へと運ばれた。

4. 生地地先(区域B)における地形変化解析

図-7(a)には生地地先における2012年9月の深浅図と地形変化量の分布を示す。生地地先では、海岸線が西向きに大きく突出し、この突出点より北側の海岸線はN30°E方向に走行しているが、この海岸線突出点を境に海岸線の走行方向が大きく変わりN35°W方向となる。すなわち生地地先の海岸線の突出点を境に、海岸線の走行方向が反時計回りに65°回転している。海岸線の向きが大きく変化するのは、黒部川河口方面から南向きに運ばれてきた沿岸漂砂が、生地地先において急勾配をなして深海へと落ち込み、砂嘴状に突出した地形を形成していることによる。このため生地地先西端部での海底勾配は1/3と急である。宇多ら⁴⁾は、生地地先において1999～2014年に取得されたNMB測量データを用いて、長さ50mの有脚式突堤（曲突堤）周辺の地形変化について解析し

た。この結果、主に曲突堤先端部で顕著な堆積が起り、2号堤先端部の堆積域を縦断する測線における1999～2014年での縦断形変化によれば、土砂の堆積域は-20mにまで及び、陸棚上に海底勾配1/1.8という非常に急勾配をなしつつ堆積が起きており、その際の最大堆積厚は7.8mに及ぶとした。

図-7(a)には2009～2012年での地形変化量を併せて示すが、この期間では、3基の有脚式離岸堤のうち59号堤の沖側隣接部でわずかな堆積が見られる一方、3号曲突堤の沖合の-10m付近沖で侵食が起きていた。2014年9月までには、59号堤沖、60、61号堤の開口部沖、さらには61号堤の北側隣接部で堆積が進み、59号堤沖での最大堆積厚は3.7mであった（図-7(b)）。一方、有脚式離岸堤沖での堆積と対照的に、有脚式離岸堤の南側に設置された曲突堤周辺での地形変化は少なく、2、3号堤間の-10～-20m付近で局所的な侵食が起きていたのみであった。

2016年8月になると（図-8(a)）、59号堤の南端と北端沖の-10m付近での堆積がいっそう進み、南端沖での堆積厚は4.6mに達した。また60、61号堤の開口部沖では2014年までに起きていたのと同じ場所で地形変化が起き、堆積量が増加した。しかし、曲突堤の設置区域は侵食傾向であり、とくに2号堤沖の-10m付近で集中的に侵食が進んだ。2018年8月では（図-8(b)）、59号堤の南端および北端沖の-10m付近での堆積がいっそう顕著となった

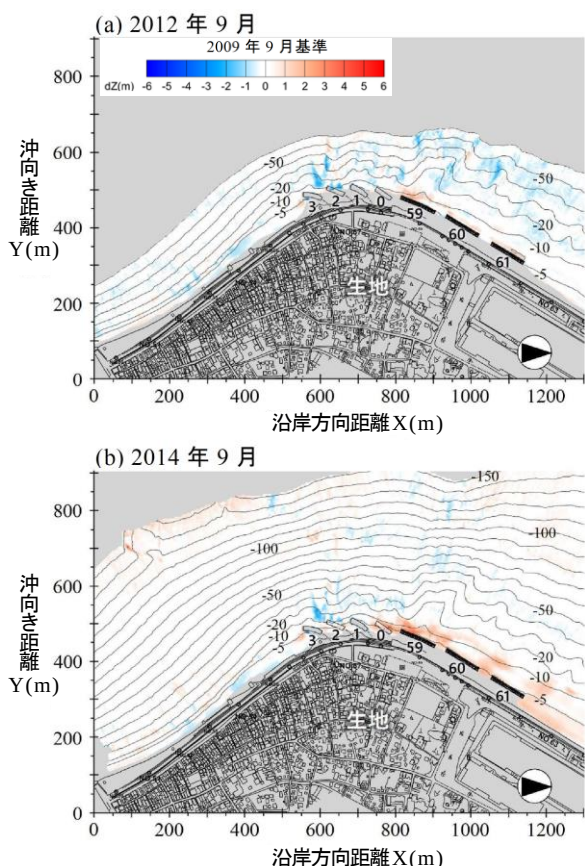


図-7 生地地先の海底地形と地形変化量の分布(2012,2014年)

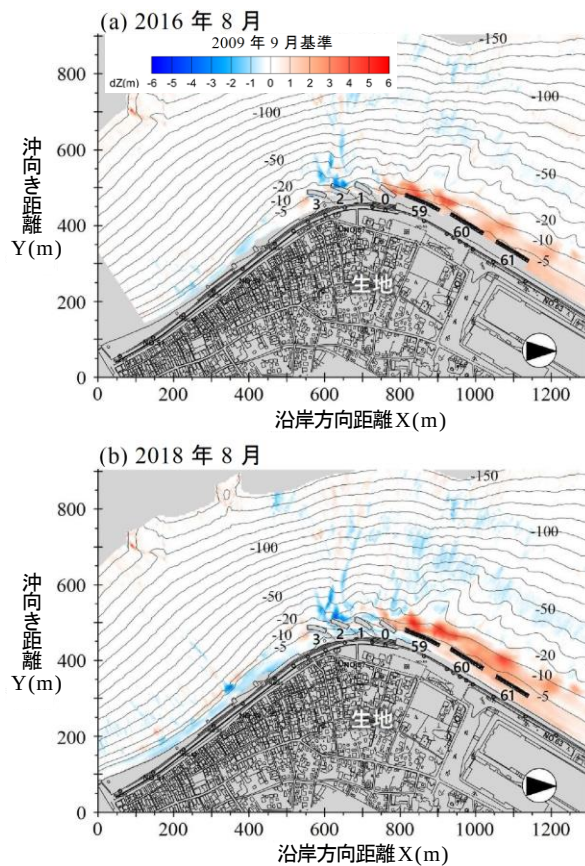


図-8 生地地先の海底地形と地形変化量の分布(2016,2018年)

だけでなく、60, 61号堤の開口部沖の-10 m付近での堆積量も増加した。土砂の堆積は3基の有脚式離岸堤の設置範囲で顕著であり、その南側の曲突堤周辺では北端の0号堤を除いて全体に侵食傾向が続いていた。

2020年12月までの地形変化では（図-9(a)），有脚式離岸堤沖で著しい堆積域が沿岸方向にほぼ連続的に広がり、

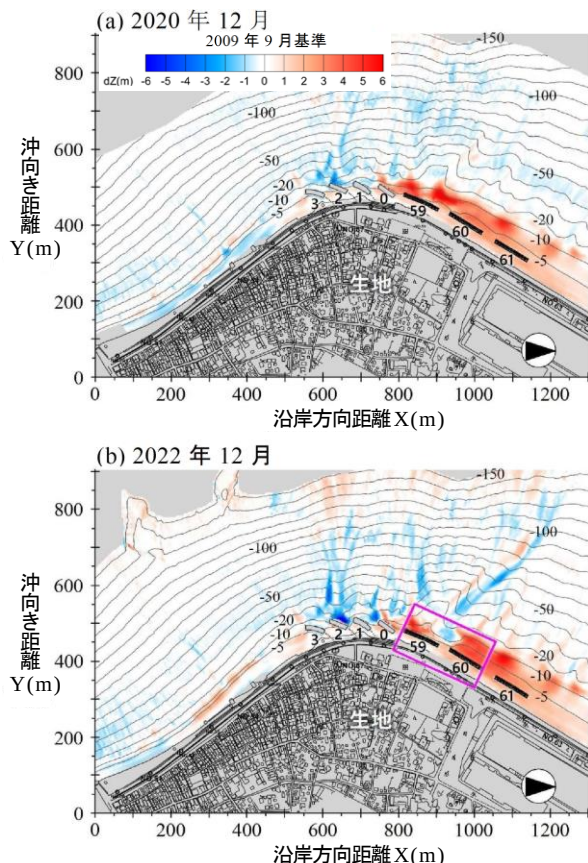


図-9 生地地先の海底地形と地形変化量の分布(2020,2022年)

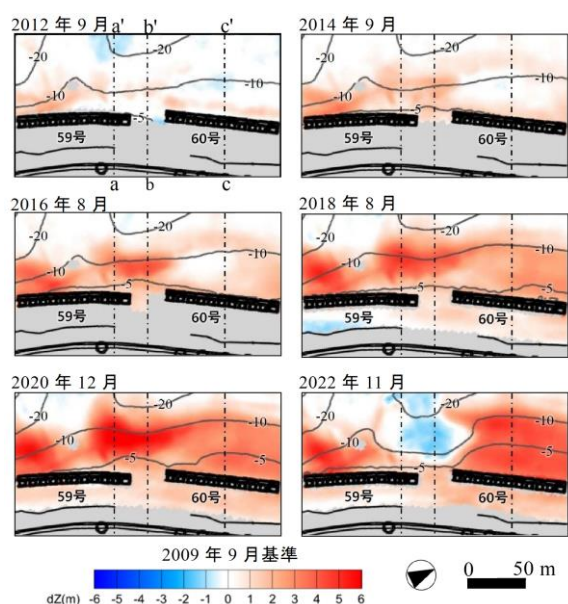


図-10 生地地先の59,60号離岸堤付近の経年的地形変化(拡大表示)

とくに59号堤の南端と北端沖の-10 m付近と、60, 61号堤の開口部沖の-10 m付近での堆積量が最大で4.6 mまで増加した。これにより、59～61号堤沖まで沿岸方向にほぼ連続した堆積域が形成された。有脚式離岸堤沖での顕著な堆積に対し、南側の曲突堤周辺は侵食傾向にあり、南向きの沿岸漂砂が有脚式離岸堤区間で流れにくくなっていたことが分かる。その後、ここでは省略するが2021年11月までは図-9(a)に示す2020年とほぼ同様な地形変化が観測されたが、2022年12月には59, 60号堤の開口部沖の-10 m付近を中心に最大7.1 m厚で堆積していた土砂が一挙に消失し、沖合の海底谷に沿って細長い侵食域が形成された。また同じ時期、従来から侵食傾向にあった曲突堤沖でも侵食が著しくなった。とくに0, 1号堤間沖と2号堤沖では-100 mに至るまで侵食域が連続的に伸びていたことから、有脚式離岸堤沖で海底地すべりが起きたのと同じ時期に曲突堤沖でも沖への土砂流出が起きたことが分かった。

以上のように、59, 60号堤の開口部沖では急激な土砂流出が観測されたことから、とくに生地地先における59, 60号堤を含む沿岸方向に230 m、岸沖方向に125 mの矩形区域（図-9(b)）を定め、この区域の地形変化を拡大して調べた（図-10参照）。これによると、2020年まで59, 60号堤の開口部沖では徐々に堆積が進んでいたが、2020年12月～2022年11月の間に堆積土砂が一挙に消失したことが分かる。このように生地地先の59, 60号堤沖では、2020年12月～2022年11月に急激な土砂落ち込みが起きたが、その原因の一つに高波浪の襲来が係わった可能性が考えられる。そこで、田中観測所での波浪観測結果より、下新川海岸での高波浪の閾値を年数回波の3.5 mとして整理したところ、2017年10月に既往最大級の高波浪（7.57 m）を観測したが、2020年12月～2022年11月には従来と同程度の波浪条件であった。したがって上記の沖向きの土砂移動は異常波浪の作用ではなく、堆積に伴って海底勾配が限界勾配を超えて堆積したことに起因すると推定された。

そこで図-10に示すように、59号堤の近傍に測線a-a', b-b'を、また60号堤を横断してc-c'を定め、これらの測線での縦断形変化を調べた（図-11）。測線a-a'では、2009年9月から2020年12月までに-5～-20 m間で砂が堆積し、-10～-15 m付近での最急縦断勾配が1/2.1と急になったが、2022年11月までには堆積した土砂は一挙に消失し、堆砂が起こる前の2009年9月とほぼ同様な縦断形に戻った。すなわち、測線a-a'では、沖合に砂が堆積して縦断勾配が1/2.1まで急となり、砂礫が沖合で堆積する場合の限界勾配に達したため縦断形が不安定となった結果、海底地すべりが起きたと推定される。同様に、59, 60号堤の開口部を通るb-b'でも、測線a-a'と同じく沖合の縦断勾配が経年的に増し、沖合の最急勾配が1/1.9となり、その後

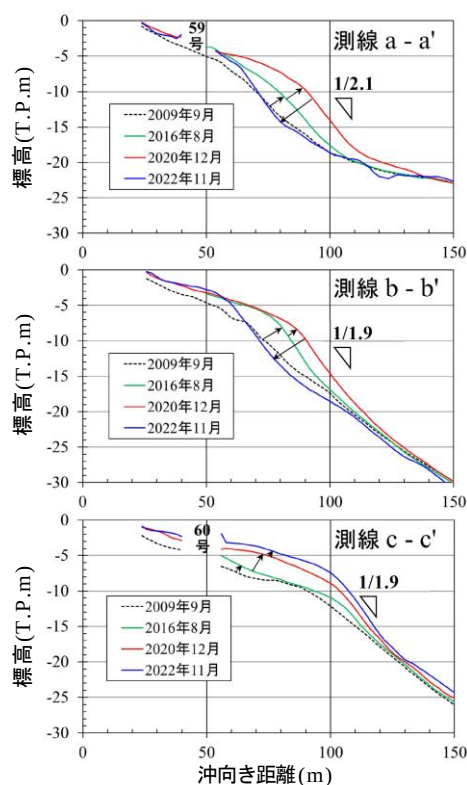


図-11 測線aa', b-b', c-c'における縦断形変化

一挙に砂流出が起きた。一方、60号堤を横断する測線 c-c' では、2022年に至っても砂の堆積が続き、2022年11月での水深13 m付近での最急勾配は1/1.9となった。この勾配は測線 b-b' で観測された限界勾配1/1.9と等しいことから、海底地すべりがいつ起きてもよい条件を有していた。結局、この付近では、測線 b-b' で測定された海底勾配1/1.9が限界勾配であり、これを超えて砂が堆積した場合、海底面が不安定となって重力の作用により冲向きの土砂流出が起こることが分かった。

5. 土砂量変化

荒俣地先の黒部川河口に隣接する区域A₁と、その南側に隣接する区域A₂、およびA₁+A₂の土砂量変化を図-12に示す。A₁では2012～2015年に5.3万m³だけ土砂量が増加したが、その後2018年まで9.3万m³だけ土砂量が減少した。この原因は、2016～2018年において1、2号堤沖で大量の土砂が深海へ流出したことから、土砂量の急減はこれに起因する。しかし、その後急速に土砂量が増加し、2017年から2019年には表-1のように合計で29,500 m³の土砂掘削が行われたにも関わらず、2022年末までに2012年と比較して16.7万m³もの土砂が堆積した。一方、下手（南）側に位置する区域A₂では、サンドパイパスによる養浜が行われたため2018～2019年に3.9万m³の急激な増加は起きたものの、2012～2022年では比較的単調

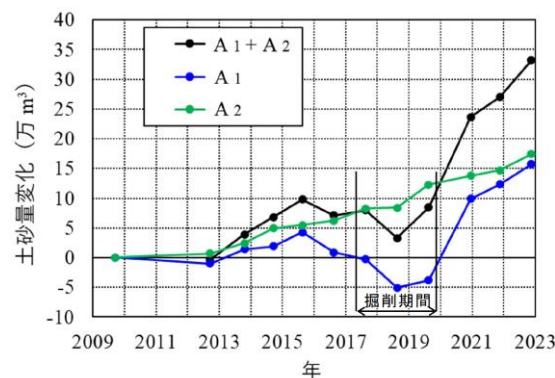


図-12 荒俣地先での土砂量変化



図-13 生地地先での土砂量変化

に土砂量が増加しており、この間の土砂量の平均増加速度は1.7万m³/yrであった。

同様にして生地地先の区域B₁における海浜土砂量の経年変化を図-13に示す。生地地先では、図-9,10に示したように、2022年に有脚式離岸堤直近から深海への土砂落ち込みが起きたことから除き、2012～2021年の堆積量を求めると12.9万m³の堆積となった（平均1.4万m³/yr）。生地地先への唯一の砂供給は吉田川河口を通過する南向きの沿岸漂砂によることから、生地地先への沿岸漂砂量は1.4万m³/yrとなり、この値は荒俣地先のA₂での堆積速度と近い値となり、ほぼ一定量の漂砂が生地地先へと流れていることが分かる。さらに図-13において2021～2022年には土砂量が急激に減少したが、これは深海への土砂落ち込みに起因すると考えられるので、図-13よりその量を算定すると3万m³となり、深海への土砂流出が起こると一挙に3万m³もの土砂損失が起きうることが明らかになった。

6. まとめ

生地地先にあつては、北側の荒俣地先方面から運ばれてきた土砂が有脚式離岸堤の沖側直近において2012年9月から2021年11月まで連続的に堆積していたが、2022年11月までに一挙に3万m³もの土砂が深海へ流出して失われた。その場合、縦断形の変化データより、砂が堆積して沖合の海底勾配が限界勾配である1/1.9より急になると海底面が不安定になり、海底地すべりとして砂の冲向き流出が起こることが分かった。

REFERENCES

- 1) 宇多高明, 山本幸次: 湖および湾内に発達する砂嘴地形の変形特性, 地形, Vol.7, pp.1-22, 1986. [Uda, T. and Yamamoto, K.: Spit formation in lake and bay, *Trans. Japan. Geomorphological Union*, Vol. 7, pp. 1-22, 1986.]
- 2) 宇多高明, 山田義仁, 村井寛昌, 大谷靖郎, 五十嵐竜行, 大木康弘, 三波俊郎: 下新川海岸の黒部川河口および荒俣地先での深海への土砂流出の実態, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.1_739-1_744, 2017. [Uda, T., Yamada, Y., Murai, H., Ohtani, Y., Igarashi, T., Ooki, Y. and San-nami, T.: Sand discharge into deep sea at Kurobe River mouth and Aramata area on Shimoni-ikawa coast, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 73, No. 2, pp. 1_739-1_744, 2017.]
- 3) 宇多高明, 岡嶋康子, 宮島祥子, 大谷靖郎, 繁原俊弘, 芹沢真澄: 深海への土砂流出軽減策としての離岸堤背後での土砂掘削-下新川海岸荒俣地先での検討-, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, pp.1_907-1_912, 2018. [Uda, T., Okajima, Y., Miyajima, S., Ohtani, Y., Shigehara, T. and Serizawa, M.: Excavation of cusped foreland behind detached breakwater to reduce offshore sand discharge into deep ocean, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 74, No. 2, pp. 1_907-1_912, 2018.]
- 4) 宇多高明, 山田義仁, 村井寛昌, 大谷靖郎, 五十嵐竜行, 大木康弘, 三波俊郎: 下新川海岸の生地鼻に造られた有脚式突堤の堆砂効果の現地実測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, pp.1_697-1_702, 2017. [Uda, T., Yamada, Y., Murai, H., Ohtani, Y., Igarashi, T., Ooki, Y. and San-nami, T.: Field investigation on sand deposition by groin of pile structure constructed at Ikuji-bana on Shimoni-ikawa coast, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 73, No. 2, pp. 1_697-1_702, 2017.]

(Received March 14, 2024)

(Accepted July 18, 2024)

QUANTITATIVE EVALUATION OF SAND DISCHARGE INTO DEEP SEA IN ARAMATA AND IKUJI AREAS OF SHIMONI-IKAWA COAST

Hiroyuki KUDO, Takaaki UDA, Yu-ichi TAKAMURA and Takahiro HORIGUCHI

At the mouth of the Kurobe River flowing into Toyama Bay, alluvial sand from the river discharges into the deep sea through the steep seabed near the mouth along with the discharge of sand into a steep seabed offshore of the Aramata area located immediately south of the mouth. The rest of the sand discharged from the mouth is transported southward and finally discharges into the deep sea in the Ikuji area located south of the Kurobe River. Thus, shore protection of these areas closely relates to the longshore sand movement and offshore discharge of sand. Selecting the Aramata and Ikuji areas as the study area, beach changes were analyzed using the NMB survey data. As a result, it was found in the Ikuji area that $3 \times 10^4 \text{ m}^3$ of sand discharged at a once offshore of the detached breakwater of pile structures, and the seabed became unstable when the seabed slope exceeds 1/1.9, causing the landslide on the seabed.