

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職
	榎田真也 (うめだしんや)	金沢大学	教授
②研究テーマ	名称	石川海岸周辺の砕波帯から沖合における沿岸水理・海浜変形過程と広域土砂動態の推定	
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和2年度	令和3年度	総合計
	286万円	286万円	572万円
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)		
氏名	所属機関・役職 (※令和4年3月31日現在)		
由比 政年	金沢大学・教授		
有田 守	金沢工業大学・准教授		
谷口 健司	金沢大学・教授		
二宮 順一	金沢大学・准教授		
⑤技術研究開発の目的・目標	(様式海岸-2、海岸-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)		
<p>目的：石川海岸周辺の砕波帯や沖合における底質粒径と地形変化の関係性，時空間スケールの異なる沿岸水理の変動特性を究明し，沖合を含んだ大規模な土砂動態を測量・観測データや力学モデルにより推定することで，長期・広域的な海浜変形の予測技術の向上を図る。</p> <p>上記目的のため下記6つの目標を設定した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 沖合流況と気象・海象影響の究明：加越沿岸の陸棚上の大規模流れや砕波帯沖の流れと風・波・海流の年間変動や相互の関係性について定点観測や長期海洋再解析データ等を用いて検討する。 2. 地形変化の時空間変動特性の解明：最近20年間の石川海岸の砕波帯及び沖合における海底地形の変化傾向や領域別土砂量の変動状況を整理する。 3. 底質の基本的性質と移動頻度の把握：底質の粒径や化学元素組成の岸沖方向変化を明らかにし，波や流れによる底質の移動頻度を推算する。 4. 海底土砂の粒度組成と沖合地形変化の関係性：土砂動態や漂砂フラックスの推定に不可欠な底質の岸沖・沿岸方向の質的变化を把握し，地形変化との関連性を調査する。 5. 高波浪時の流動・土砂移動パターンの推定：砕波帯・沖波帯周辺における海岸流や海浜流等の混在する流況および土砂移動特性について力学モデルを用いて検討する。 6. 土砂量の長期変化傾向と漂砂量の推定：石川海岸の土砂量変化，波・流れによる沿岸漂砂や河川から海岸に供給される土砂量を整理・推定して，長期平均的な漂砂フラックスを推定する。 			

⑥研究成果

(1) 石川海岸における海底表層土砂の粒度組成の空間変化と沖合地形変化の実態把握

手取川河口を中心に左右岸に広がる石川海岸の根上・美川・松任の3地区において、水深約5~24mにある47地点で(図1)、船上から grabs式採泥器を海中に投入し、海底表層付近の土砂を調査した。また、底質粒径と漂砂方向や地形変化との関係を検討するため、松任地区の水深15m付近にある徳光海象計の波・流れの観測記録および石川海岸の深浅測量データ(金沢河川国道事務所提供)を利用して、沖合の沿岸漂砂方向や地盤高の長期変化傾向と底質の粒度組成の空間変化を比較・考察した。本調査で得られた主な結果は以下に示すようにまとめられる。

- 沿岸砂州周辺で粒径が局所的に大きな地点があるものの、水深5~15mでは細粒砂が大部分である(図2)。0.1mm以下の微細粒分は水深10~13.5m付近で含有率が高く、手取川河口沖や周辺地点で10%を超える。水深が15~18m以深になると中粒砂や粗粒砂の割合が増えて、粒径は沖の方が大きくなる。沖合で底質粒径が粗粒化する傾向は石川海岸3地区で共通するが、粒径が急変する境界は手取川河口の左岸側で水深15m付近、右岸側で水深18m付近である。砕波帯沖における底質の沖方向への粗粒化と沖合の地形変化は石川海岸の特徴である。
- 手取川河口右岸側の水深15m付近では、底質の中央粒径は0.2mm以下で、細粒砂が大部分であり、左岸側に比べて、底質粒径は細かく、揃っている(図3)。対照的に、左岸側の根上地区の沖合の底質は中央粒径が右岸側の2倍程度大きく、細粒砂・中粒砂・粗粒砂が混在する。沿岸方向の3地区と岸沖方向の3つの水深帯に分割した9領域における底質の粒径階別の存在率を算定した結果(図4)より、水深10~15mの粒度組成の沿岸方向変化は、底質が砕波帯沖で卓越する北東方向の流れにより分級し、漂砂下手側で細粒化するのを示唆した。

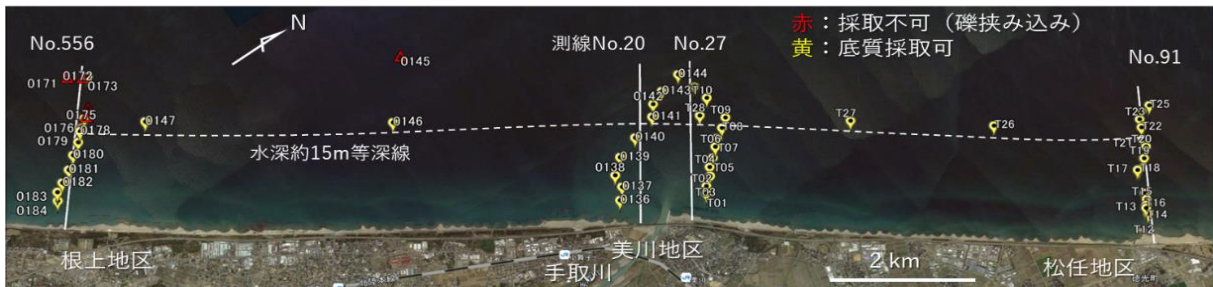


図1 手取川河口周辺海岸における底質採取調査地点と近傍の深浅測量断面

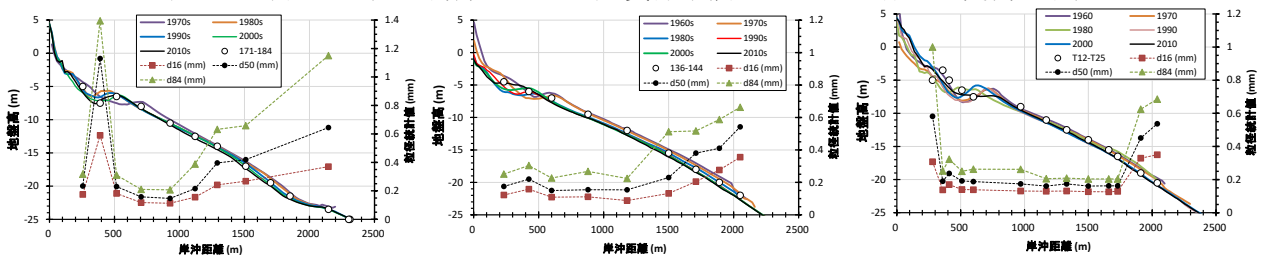


図2 各地区の岸沖断面地形と底質粒径(左:根上, 中:美川, 右:松任地区)

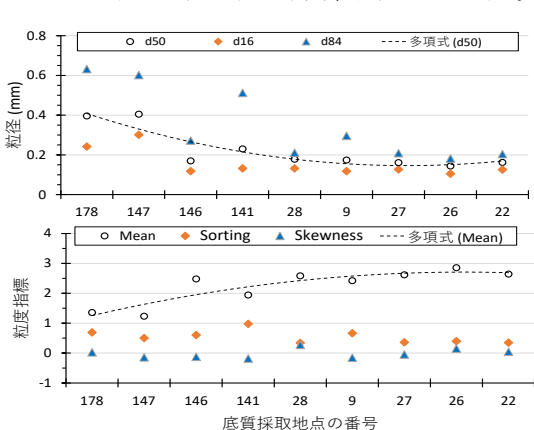


図3 粒径代表値と粒度指標の沿岸方向変化

水深帯	粒径階級	底質採取率 (%)			3地区全体
		根上地区	美川地区	松任地区	
5-10m	0.71mm以上	8.5	2.4	3.0	5.7
	0.355-0.71mm	6.7	8.5	8.7	7.7
	0.250-0.355mm	15.4	10.2	11.1	13.2
	0.180-0.25mm	31.9	24.1	25.9	28.7
	0.125-0.18mm	27.1	35.3	36.8	31.8
	0.090-0.125mm	7.7	15.3	12.5	10.3
0.09mm未満	2.7	4.1	2.1	2.6	
10-15m	0.71mm以上	0.7	0.6	0.9	0.8
	0.355-0.71mm	10.9	6.3	3.5	7.4
	0.250-0.355mm	10.1	7.3	5.7	8.0
	0.180-0.25mm	21.9	19.0	21.6	21.5
	0.125-0.18mm	34.8	42.6	54.6	43.7
	0.090-0.125mm	13.9	15.0	10.8	12.7
0.09mm未満	7.7	9.2	2.9	5.8	
15-20m	0.71mm以上	5.1	0.5	1.6	3.9
	0.355-0.71mm	51.5	35.2	26.9	47.9
	0.250-0.355mm	19.2	20.8	16.5	21.8
	0.180-0.25mm	11.2	19.4	20.5	18.9
	0.125-0.18mm	7.7	17.7	30.8	21.8
	0.090-0.125mm	2.9	3.3	2.6	3.4
0.09mm未満	2.4	3.2	1.1	2.3	

図4 各地区・水深範囲における底質の粒度組成

- 3) 沖合の底質粒径が岸側に比べて増大する成因について海底地形変化と松任地区の沖合で発見されている海底林との関係に着目して検討した。海底林は沖合 2 km 程度の水深 20 m 付近で海底面に根を張った状態で 1998 年に発見された。松任地区の底質調査地点から沿岸方向に約 0.8~1.5km 北東側に海底林は位置し、その根元周辺の地盤面は海水準が現在より低かった縄文時代早期の古手取川扇状地の扇端に位置し、古手取川の洪水・氾濫により地層の中に埋没し、その後の海面上昇により海底に長期間水没していたと推測されている (図 5)。底質の粗粒化が見られた底質採取地点 T24 と T25 は海底林とほぼ同じ離岸距離や水深にあることがわかった。
- 4) 海底林周辺の地盤高は 1960 年代から 1980 年代までは比較的安定していたものの、1980 年代から 1990 年代にかけて 1~1.5m 程度急激に低下した (図 6)。海底林は 1998 年に発見されたこと、樹高は最大のもので 0.6 m 程度であったことから、1980 年代までは海底面下に埋没していた樹幹が沖合の海底侵食により 1990 年代に海底面上に露出したと推定された。また、1990 年以降も海底林周辺では海底侵食が 2010 年代まで続いており、海底林根元の基礎地盤と推測される古手取川扇状地に堆積していた泥から砂礫を含む幅広い粒径の土砂が海底面に露出し、その範囲が次第に拡大したと推察された。
- 5) 石川海岸の沖合侵食は 1970~1990 年代で顕著であったが、その後も侵食傾向が続く領域があり、侵食域の表層底質は粗粒径成分の割合が高い地点が多いことが明らかになった (図 7)。また、砕波帯沖の地形変化は、砕波帯と同様に手取川河口から海岸に流出する土砂の質や量の変化の影響を受けていることがわかった。底質採取地点周辺の地盤高のトレンドを調べた結果、砕波帯沖で底質の空間的な粗粒化が見られた多くの地点は侵食域に分布していることがわかった。根上・美川地区における沖合底質の粗粒化は松任地区と同様に地形変化との関連性が高いと推察された。

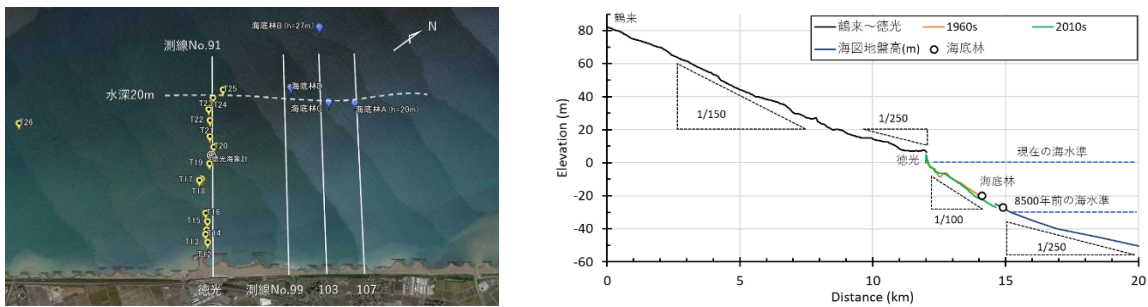


図 5 海底林の調査地点、底質採取地点と測量断面 (左) および海水準の変化 (右)

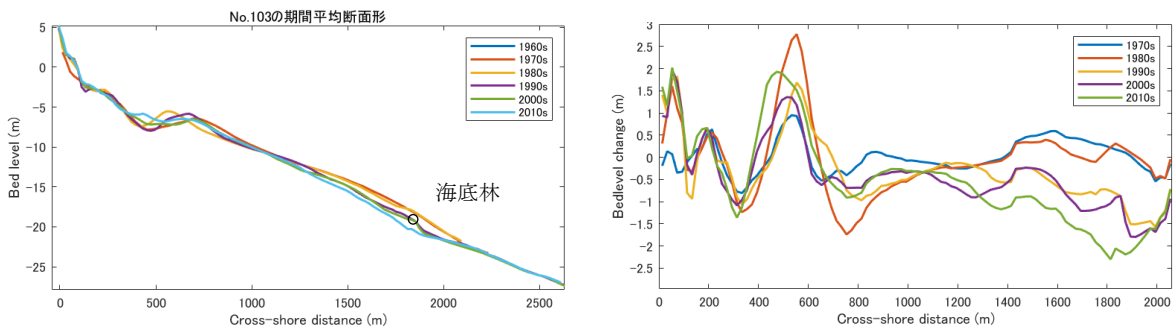


図 6 海底林付近の岸沖断面地形 (左) と地盤高の変化量 (右) (1960 年代平均地盤高基準)

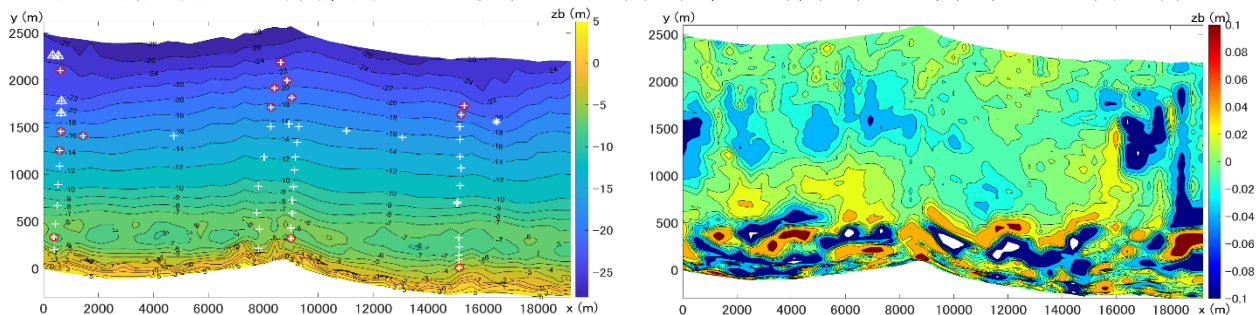


図 7 石川海岸の地盤高の平均値 (左) とトレンドの分布 (右) (1996~2017 年)

(2) 高波浪時の砕波帯と沖合における波・流れによる漂砂量の空間分布特性

砕波帯および沖合での土砂移動が活発になると考えられる高波浪イベントを対象に、波・流れ・底質輸送と地形変化を考慮したプロセスベースモデルによる数値解析を行い、石川海岸の沖合を含めた広範囲の流動や漂砂量の分布特性を調べた。解析にはオープンソースの Delft3D を利用し、境界条件として、海洋長期再解析データ FORP を用いて得られた加越沿岸の陸棚上で発達する大規模流れの流量、定点観測による風と波の時間変化を与えるとともに、(1)の調査結果に基づいて底質の粒度組成の岸沖分布と深浅測量等による海岸地形を初期条件として与えた。まず、1)モデルの妥当性を検証するため、2004年10~12月に美川左岸地区で行われた蛍光砂の追跡調査の結果を対象に、沖合の観測流速や蛍光砂の移動・拡散状況について現地調査と数値解析で比較した。次に、2)近年20年間の高波浪イベントを抽出して、ピーク波高時の波向の頻度を調べ、高頻度であった3方向から有義波高5mを超える代表イベントを選び、波向による沿岸流動や漂砂フラックスの空間分布の変化を検討した。

1) 蛍光砂追跡調査の期間中に水深15m地点で観測された流速の時間変化は本解析モデルにより定性的・定量的に精度良く再現することができた(図8)。特に、有義波高4m、風速15m/sを超える条件下で北東に向かう強い流れが沖合で発達するが、それ以下の条件下では沿岸流速は0.3m/s以下の範囲に収まることなどの特徴を良好に捉えた。海流・風・波に関する境界条件の取り扱いを変えて検討した結果、海流成分・風・波は砕波帯の沖合における沿岸流の発達に重要であることがわかった。また、本解析結果は、水深10mと20m地点に投入された蛍光砂の波・流れによる移動・拡散状況を定性的に捉えられることが確認された(図9)。

2) 波高ピーク時の波向が異なる3つの高波浪イベントについて、波高ピーク時の2日前から5日間を解析対象として数値計算を行い、期間平均の流速や漂砂量の空間分布を計算した(図10)。その結果、発生頻度が最も高い波向が汀線直交方向に近い場合、沿岸漂砂の卓越方向が砕波帯と沖合で反対になる可能性が示された。波向が汀線直交方向に対して西寄りまたは北寄りの場合、波高ピーク時は水深15m付近まで流速0.5m/sを超える沿岸流が発達し、その沖側領域では弱い沖側流れが起きると推定された。波向きの異なる3イベントの計算結果の比較から、水深10m付近における岸沖漂砂の方向は主に波向により変化するが、水深20m断面の岸沖漂砂はいずれも沖向きが支配的となり、水深20m以深の領域では堆積傾向を示した(図11)。

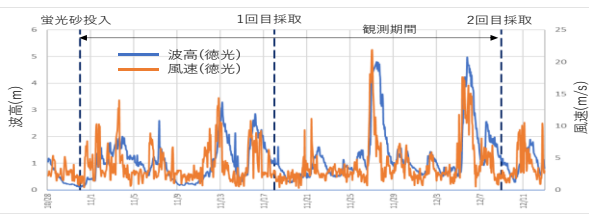


図8 波高・風速の観測時系列(上)と沿岸方向流速の観測と計算の比較(下)

	波向	波高	周期	順位	観測日
西北西の波	291°	5.68m	11.5s	20	2013年1月2日18時
北西の波	309°	6m	11.6s	6	2007年3月12日3時
北北西の波	318°	5.32m	10.2s	44	2011年12月26日

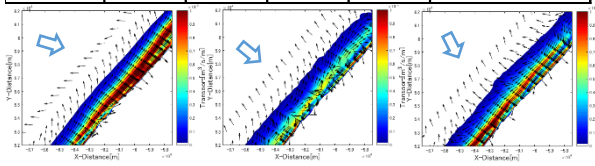


図10 波向の異なる高波浪イベントの条件(上)とイベント期間平均の漂砂量の分布(下)

	右境界・左境界	沖境界	風	沖波
CASE1	ノイマン条件	水位	徳光観測風速・風向(デフォルト)	徳光観測波高・周期・波向(換算沖波)
CASE2	FORP流量	なし		金沢港観測波高・周期・波向(換算沖波)
CASE3	ノイマン条件	水位	徳光観測風速・風向(抵抗係数変更)	徳光観測波高・周期・波向(換算沖波)
CASE4	FORP流量	なし		
CASE5	ノイマン条件	水位	徳光観測風速・風向(抵抗係数変更)	徳光観測波高・周期・波向(換算沖波)
CASE6	FORP流量	なし		
CASE7	FORP流量0.5倍	なし		

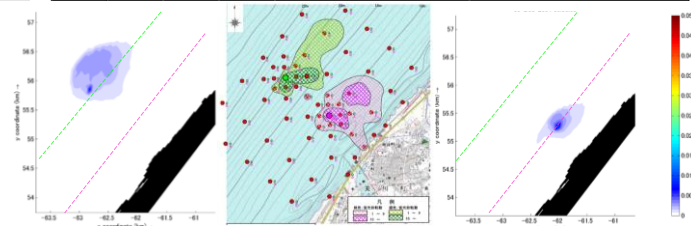


図9 境界条件の設定(上)と蛍光砂追跡調査と数値解析の移動範囲の比較(下)

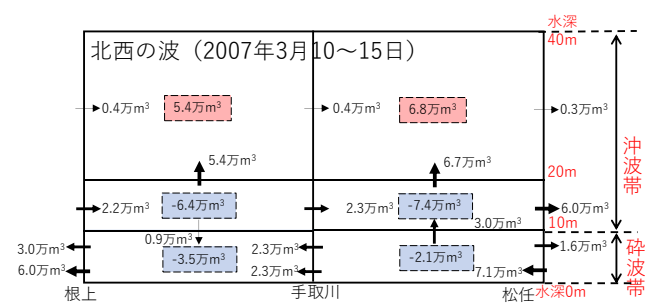


図11 累積漂砂量と土砂量変化の数値解析結果

(3) 石川海岸における土砂量の長期変化傾向と漂砂量の推定

長期・広域的な土砂移動状況を把握するため、手取川の土砂管理が現在とほぼ同じ状態と考えられ、石川海岸の沖合の深浅測量記録や波・流れの定点観測記録が蓄積されている1996～2017年を対象に、1) 砕波帯や沖合の各領域における土砂量の変化と河川流量の関連性を検討し、2) 長期平均的な土砂収支と漂砂フラックスを推定するとともに、先行研究による1980年代の土砂収支と比較・考察した。

1) 石川海岸を沿岸4区間×岸沖3区間の12領域に分割し(図12)、地盤高を積分して各領域の土砂量を求めた。測量実施月は年によって異なるため、測量間隔に合わせて手取川の鶴来観測所の毎時流量の累積値を求めて、海岸土砂量の変化との相関を調べた。全ての領域で正の相関を示し、海岸の漂砂量が平年に比べて大きいと推定した約4年間を除くと、河口左岸側の2領域で高い相関値を示すことがわかった(図13)。河川から河口部に流出した土砂は砕波帯の沿岸漂砂の卓越方向に沿って左岸側に輸送される割合が比較的多いと考えられる。閾値を設定して河川流量の累積値を求めた結果、砕波帯のR3以外の領域では、年平均流量程度の閾値で相関係数がピークをとり、河口の沖合領域では平均流量の2-3倍を閾値にすると相関が高くなった(図14)。沖合領域への河川土砂の供給には比較的大きな規模の出水が有効になることを示唆する結果が得られた。

2) 領域R1～R8を対象に河川供給土砂量を考慮して土砂の連続式から各領域間の沿岸・岸沖漂砂の期間平均値を求めた。河川土砂量は平年値を10万m³/年と仮定し、測量期間に対応した累積河川流量に係数を掛けて年々変動を求めた(図15)。R1・R4およびR5・R8の沿岸方向境界において、砕波帯の沿岸漂砂量はKamphuisの式、沖合の漂砂量は波・流れの同時作用によって沖合底質に含まれる細粒土砂が浮遊・移動する状況にあると仮定して、浮遊砂の輸送量として評価した(図16)。土砂収支解析の結果(図17)、砕波帯の沿岸漂砂量は南西方向へ進むにつれて減少し、沖合の各領域間の沿岸漂砂量はほぼ同程度と推定された。岸沖漂砂は砕波帯と沖合領域の間で岸向き、沖合領域の沖境界では沖向漂砂を示した。1980年代の土砂収支の解析結果(田中ら, 1997)に比べて、近年は砕波帯の土砂量が堆積傾向に変化したものの、沖合領域の侵食傾向は続いている。また、(2)で推定した高波浪時の短期平均の漂砂の移動方向(図11)と長期平均の漂砂方向はほぼ同じであることが確認された。

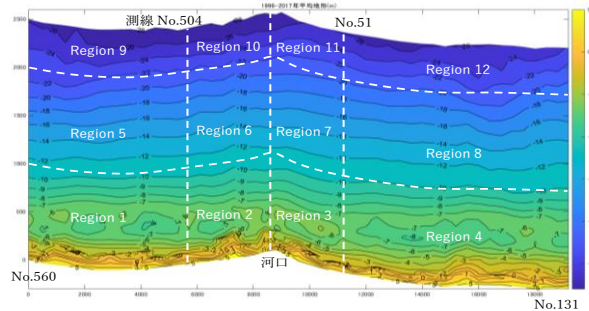


図12 石川海岸の領域分割 (R1～R12)

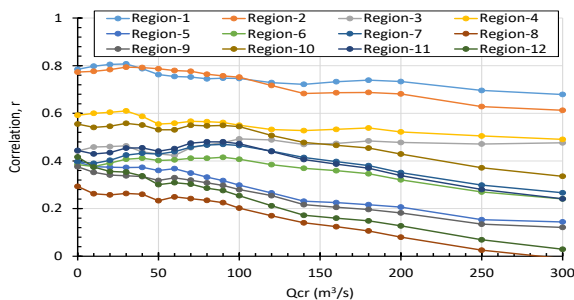


図14 流量閾値の違いによる相関係数の変化

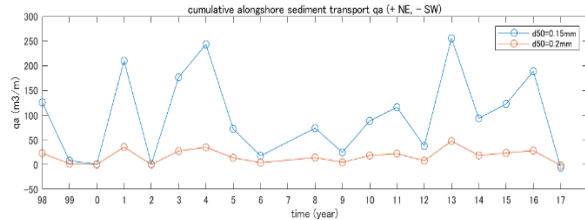


図16 土砂収支解析に用いた沖合の沿岸漂砂量

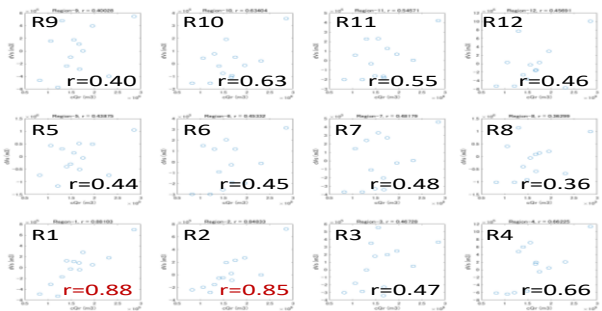


図13 海岸土砂量の変化と河川累積流量の相関

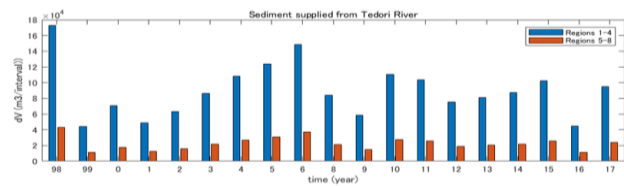


図15 土砂収支解析に用いた河川供給土砂量

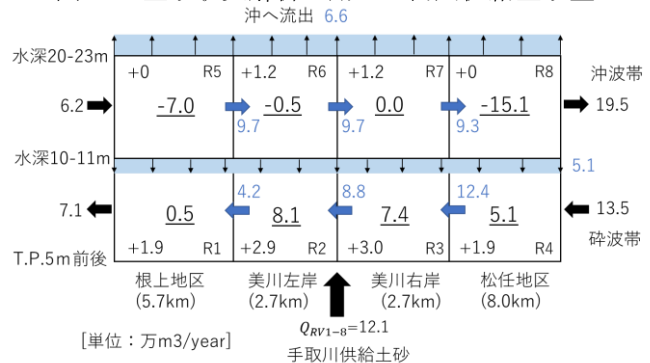


図17 期間平均漂砂量の推定結果

⑦研究成果の発表状況・予定

- ・榎田真也，二宮順一，有田守，由比政年：石川海岸における砕波帯沖の流れの季節変化と風・波・海流との関係性，土木学会論文集B2（海岸工学），77巻，2号，pp.I_355-I_360，2021年
- ・同上：第68回海岸工学講演会，2021年11月12日発表
- ・有田守，榎田真也：蛍光X線分析による石川海岸白山市沿岸の砂の構成元素特性，令和3年度土木学会年次学術講演会，II-114，2021年9月9日発表
- ・佐々木健太，帯刀大樹，榎田真也，二宮 順一：FORP長期海洋再解析データを用いた加越沿岸の広域流況の季節変動特性，令和3年度土木学会中部支部研究発表会，II-24，2022年3月4日発表
- ・山崎真志，由比政年：石川海岸における海底地盤高の長期変動と多段砂州移動の基本特性，令和3年度土木学会中部支部研究発表会，II-36，2022年3月4日発表
- ・帯刀大樹，佐々木健太，榎田真也，二宮 順一：石川海岸の砕波帯沖の流れの発達と外力との関係性，令和3年度土木学会中部支部研究発表会，II-45，2022年3月4日発表
- ・大屋寛人，由比政年：石川海岸の中・長期的地形変化が波浪伝達特性に及ぼす影響に関する基礎的研究，令和3年度土木学会中部支部研究発表会，II-46，2022年3月4日発表
- ・有田守，榎田真也：石川海岸沿岸による海底砂の構成元素特性に関する研究，令和4年度土木学会年次学術講演会，2022年9月発表予定
- ・榎田真也，有田守，Tussanun Thunyaphun，Do Quynh Nhu，由比政年：石川海岸における海底表層土砂の粒度組成の空間変化と沖合地形変化，第69回海岸工学講演会，2022年11月発表予定
（同上：論文投稿中）
- ・由比政年，山崎真志，榎田真也：石川海岸の長期・中期地形変化と土砂供給源との位置関係に関する基礎的研究，第69回海岸工学講演会，2022年11月発表予定

⑧研究成果の社会への情報発信

（ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。）

特になし。

⑨表彰、受賞歴

（単なる研究成果発表は⑧⑨に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。）

なし。

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や海岸政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究では、高波浪時の砕波帯や沖合における漂砂量の分布や波向の影響を力学モデルにより検討し、さらに測量・観測データ等に基づいた土砂収支解析による結果と比較・検討した。今後の課題は、沿岸外力として考慮した海流・風・波が土砂輸送の時空間変化に与える効果について詳細な分析を進めたい。石川海岸の根上・美川・松任地区は、侵食対策の海岸整備が周辺海岸より早く進み、比較的安定しているものの、沿岸漂砂で繋がる周辺海岸の地形は不安定な状態である。西側に隣接する小松・片山津海岸の侵食、東側の金沢港周辺の土砂堆積や北部海岸で進行する侵食等について、メカニズム解明や将来予測が重要である。港湾など大型構造物で砕波帯の沿岸漂砂は遮断されているが、沖合漂砂で繋がっている周辺海岸を含めた広域漂砂系の土砂動態を推定するには、陸棚領域の風・流れ・波の解析が有効であり、そのために必要な地形データと共に周辺海岸における底質の粒度組成情報を広範囲で収集する必要がある。今後は、漂砂系の上手部に位置する石川海岸の海岸過程の理解をベースに、周辺海岸への影響評価や広域漂砂系の海岸過程の究明に展開が可能であると考えられる。

⑪研究成果の海岸行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、海岸政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究で得られた加越沿岸周辺の海流の影響を受ける大規模流動の基本特性および砕波帯沖の流れと波・風と海流との関係に関する知見は、例えば日本海の海洋環境の変動が石川海岸周辺の海岸水理や漂砂環境に及ぼす影響を予見する際に参考となる情報であり、長期的な海岸計画や海岸政策の指針を検討する上で有用と考えられる。また、砕波帯から沖合の長期・広域的海浜変形や土砂量変化に関する知見は、海岸構造物の整備が概ね完了し、海岸線は安定傾向にある石川海岸等の海底地形変化の実態把握や今後の海岸モニタリングの範囲や頻度を検討するのに役立つ。さらに、現地調査・分析に基づく海底土砂の質の空間分布情報、長期平均の土砂収支や漂砂量の推定結果、および砕波帯から沖合の土砂循環過程に適用可能な解析モデルは、漂砂セル内の隣接する海岸との相互作用を考慮した総合土砂管理を検討する際にベースとなる情報提供が可能と考えられる。