

北部加越海岸における海浜変動の沿岸方向変化に関する基礎的研究

松山 正之¹・由比 政年²・石田 啓³

¹学生会員 金沢大学 自然科学研究科環境科学専攻 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: m-matsuyama@mtb.biglobe.ne.jp

²正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: yuhi@t.kanazawa-u.ac.jp

³フェロー 金沢大学名誉教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: hishida@se.kanazawa-u.ac.jp

石川県加越海岸は、福井県境から能登半島付け根の滝崎に位置する砂浜海岸である。本研究では、金沢港以北に位置する延長約32kmの北部加越海岸を対象とし、1998～2010年に取得された深浅測量結果を用いて、海浜地形変動の基本特性を解析し、沿岸方向変化に着目して比較検討を行った。領域南端で金沢港に隣接する内灘地区において急速な堆積が進む一方、その北側では侵食が著しいこと、また、領域北端付近の羽咋地区においても、汀線後退が加速傾向にあることが確認された。海浜単位幅あたりの土砂量変動は、汀線位置変化と全般に対応する形となったが、領域北側においては、汀線の後退傾向に反して土砂量は微増・安定となるなど、汀線近傍と沖側で地盤高変動の傾向に相違が見られた。

Key Words : *Kaetsu Coast, alongshore variability, sandbar, shoreline, sediment volume*

1. 序論

海岸侵食は、土砂移動の流入・流出のアンバランスから発生し、自然外力の変化や人為的インパクトなど複雑な要因の影響を受ける。この内、地球温暖化に伴う気候変動や海面上昇の影響は長い時間スケールで緩やかに進行する。一方、人為的影響は比較的短時間で発現し、既に、港湾開発や護岸堤防整備などの海岸・港湾事業、あるいは、河川流域の治水事業が関与する海岸侵食の問題が国内外の多くの地域で顕在化している。

本研究で対象とする北部加越海岸においても、手取川流域開発や金沢港建設に代表される広域流砂系内の人為的改変が直接的・間接的に影響し、海浜地形に大きな変化が見られた。対象領域の海浜は、古来より手取川を起源とする広域流砂系の一部として発達してきた。しかしながら、近年、金沢港建設の影響を受けて、金沢港以南の海浜と（完全ではないにせよ）分断された状況にある。その結果、対象領域の南端では、南西向きに卓越する沿岸漂砂が金沢港東防砂堤により遮断され、急速な堆積が局所的に進行してきた。一方、領域中央部から北部にかけては、手取川起源の供給土砂の減少および金沢港の建設による沖合流送土砂の遮断等により、汀線後退が進行

し、安定な浜幅を確保することが困難な地域も点在する。現在、侵食対策の一環として、金沢港内に堆積した土砂を海上投入することで、当該地域北部（羽咋市千里浜海岸）の汀線後退を軽減するための方策が石川県により検討されている¹⁾。今後、長期的に健全な形で海浜の維持管理を継続するためにも、現時点での海浜地形の基本変動特性を把握することが必要である。

こうした観点から、本研究では、北部加越海岸の海浜変動特性解明の一環として、過去13年間に渡って取得されてきた深浅測量データの解析を行い、平均断面形状、長期変動トレンド、汀線（等深線）位置、海浜土砂量の変化、および、沿岸砂州に代表される地形変動の沿岸方向変化に着目して、基本変動特性の解析を行う。

2. 対象領域

(1) 海岸地形の概要

石川県加越海岸は、福井県境から能登半島付け根の滝崎までの海岸の総称であり、その大半は背後に砂丘を有する砂浜海岸である。本研究では、加越海岸の北部領域、すなわち、金沢港の北東に位置する延長約32kmの領域を

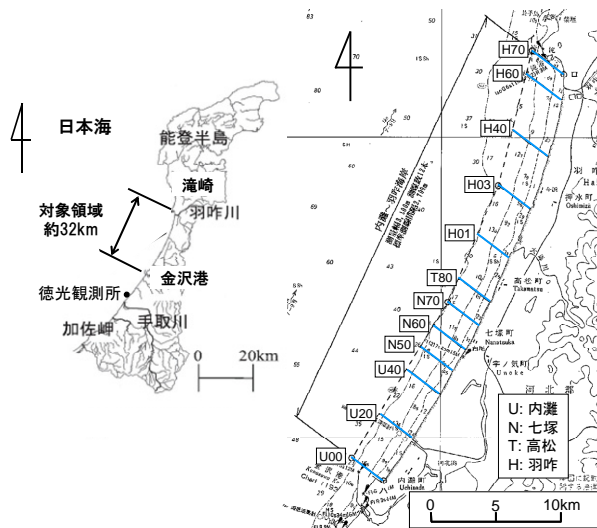


図-1 対象領域および測線位置

対象とする(図-1,2). 対象領域は、大きく、内灘海岸(内灘町)、七塚・高松海岸(かほく市)、および、押水・羽咋海岸(羽咋市)に区分される。海岸線形状は、金沢港から北北東に伸びる形で緩やかに湾曲している。対象領域の北部には、砂浜での一般車両走行が可能な「なぎさドライブウェイ」を有することで知られた千里浜海岸(押水・羽咋海岸の一部)を有している。図-2の航空写真は羽咋市今浜から羽咋(千里浜)海岸を通して、北側の湊崎方面を望む写真である。海岸線に沿って3段の沿岸砂州が発達している様子が窺える。図-1に示す12本の測線に対して、2010年に測定された断面地形の概要を図-3に示す。なお、図中で測線番号に付したH,T,N,Uは、それぞれ、羽咋、高松、七塚、内灘海岸に対応する。また、観測期間中の平均汀線位置(地盤高TP.+0m位置)を岸沖方向の基準点として離岸距離を表示している。測線位置が南側(内灘海岸)から北側(羽咋海岸)へ進むにつれて、海底地形が緩勾配となる。また、沿岸砂州は北側で3段に発達し、南端付近で消失している。

(2) 海象特性

国土交通省徳光海象観測所の沖合1500m地点(水深15m)に設置された海象計により、波高および波向きが観測されている。1995年から2010年にかけての観測結果によると¹⁾、夏季の波向はN~Wと広範囲であり、NNWにやや卓越する。夏季波浪の多くは有義波高1m以下であるが、冬季は有義波高1m以上の高波浪が頻繁に来襲し、波向はNW~NNWに卓越する。年最大有義波高は、5~8m程度に達する。汀線近傍においては、通年で考えた場合、南西向きの沿岸流が卓越すると推定されている。流況に関しては、加越海岸沖合で、北東向きの海岸流(吹送流および対馬海流)が存在している。既往の現地観測結果によると、冬期の季節風発達時には、北東向き



図-2 対象領域北部(羽咋海岸)の航空写真

の流速が卓越する傾向がある。水深10~15mの沖合においても、10cm/s以上の流速が生じ、細かい底質の移動や有意な地形変化が認められている²⁾。

(3) 底質特性

底質の大部分は細砂であり、南側ほど粒径が粗く、北へ向かうほど細かい。汀線近傍における代表粒径は0.2mm前後であり、砂州のトラフ部分で若干大きくなる傾向にある。図-4には、領域南寄り(U40)および北寄りの測線(H60)で測定された、断面地形と底質粒度分布の対応を示す。横軸は期間平均汀線位置を基準とした離岸距離、左および右縦軸にそれぞれ地盤高および中央粒径を表している。測線U40上では、砂州が2段に発達し、中央粒径は0.2~0.6mm程度の値を取っている。一方、測線H60では砂州は3段に発達し、粒度分布は0.15~0.18mmの狭い範囲に分布している。領域北側ほど粒度が細かくかつ均一となる理由の1つとして、手取川からの輸送距離の違いによるふるい分け効果が考えられる。

(4) 人為的影響

対象領域は、手取川を主要な土砂供給源としており、日本海に沿って加佐の岬から湊崎に広がる広域流砂系の北端に位置する。ただし、近年では、金沢港の建設により、金沢港以南の領域とある程度分断された状況にある。近年、手取川流域の開発³⁾や金沢港西防波堤の延伸等⁴⁾により、北向きの沖合海岸流により対象領域に輸送される土砂量が減少した。その結果、領域の中部から北部にかけて長期的な汀線後退が生じている。一方、南西向きの沿岸流が卓越する汀線近傍では、沿岸漂砂下手側に位置する内灘海岸で、金沢港東防砂堤近傍に砂が堆積し、局部的に汀線が大きく前進している。また、領域北端の測線H70も、湊港に隣接しており、こちらも港湾建設や離岸堤設置等の影響を受けている。

離岸堤や人工リーフ等の海岸構造物が内灘、七塚、羽咋地区等に点在するが、全体として少なく、領域内に設

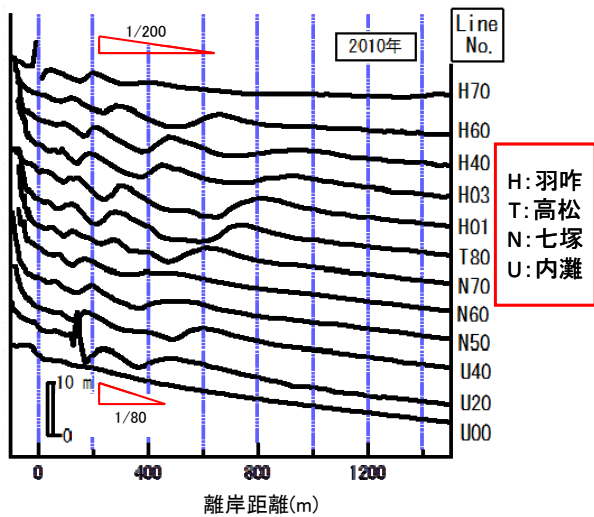
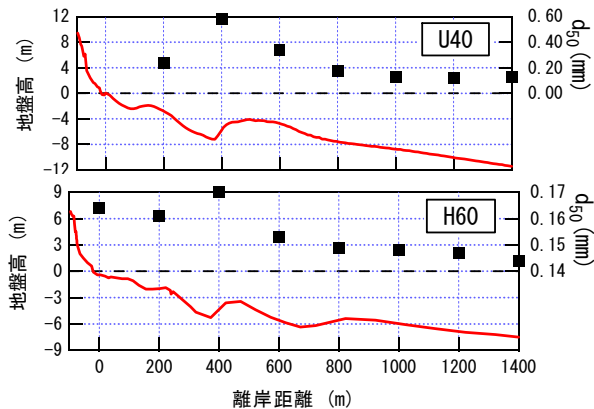


図-3 断面地形の沿岸方向変化 (2010年)

図-4 断面地形と底質粒度分布の対応
(測線U40, H60, 2010年)

置された構造物による直接的な影響は局所的である。図-3において、U20の離岸距離150m付近およびH70の汀線付近に見える突起状の地形変化は海岸構造物の存在を示す。なお、前述したように、領域両端では隣接する港湾構造物の影響を強く受ける。また、羽咋(千里浜)海岸を中心に、1984年から現在まで、年平均約5,000 m³の養浜が実施されている。養浜砂は、主に羽咋川河口付近に堆積した砂を採取したものである。

3. 観測データおよび解析手法

対象領域においては、国土交通省金沢河川国道事務所により、超音波測深機による深浅測量が年一回、主に秋期(9月～11月初旬)に実施されている。測量の範囲は沿岸方向に約32kmであり、測線は図-1に示したように、内灘3本、七塚3本、高松1本、および羽咋5本の計12本である。なお、測線の方向はN307°であり、汀線直交方

向とはわずかに異なっている。本研究では、13年分(1998～2010年)の深浅測量結果に基づいて海底地形変化の解析を行った。沿岸方向の測量間隔は、平均約3kmであり、岸沖方向の測量範囲は、測量基点から1～3.5km程度である。以下では、観測期間中の平均汀線位置(地盤高TP.+0.0m位置)を基準として離岸距離を表す。測線ごとに、期間平均地盤高と偏差、最高・最低地盤高、地盤高の変動率(最小自乗近似による線形トレンド)、等深線位置、海浜土砂量(単位幅当たり)変動等を解析した。この内、基点から1.3kmまでのデータを使用した。なお、地盤高データ(TP.)を線形補間により等間隔(20m)に再配置して解析を行った。

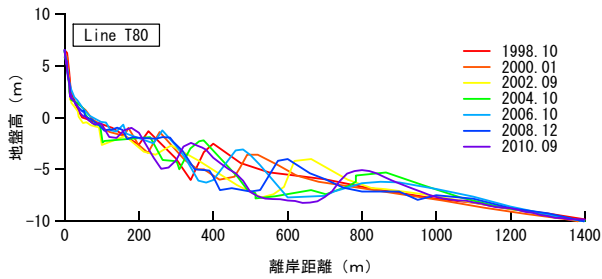
4. 地形変動の基本特性

(1) 断面地形の変動

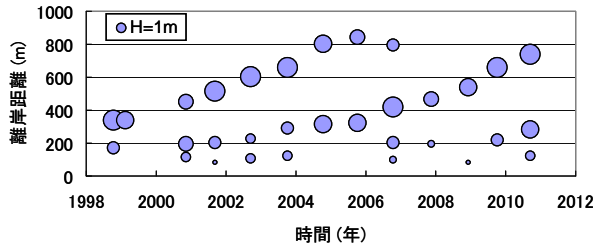
対象領域中央付近に位置する測線T80を対象とし、断面地形の経年変化を図-5(a)に例示する。図-5(b)は、横軸に時間、縦軸に離岸距離を取り、砂州比高をプロットの大きさで相対的に表現して、砂州頂部位置および比高の経年変化を表したものである。これらの図から、大規模な多段砂州の形成とその組織的な沖向き移動が確認できる。その特徴は、世界各地で報告されている移動形態⁵⁾と共通である。砂州移動の再現周期は羽咋地区では4～5年程度と報告されてきたが^{6,7)}、この測線では少し長めの7年前後となっている。同じ測線について、観測期間中の平均・最高・最低地盤高、地盤高変動の標準偏差、および、最小自乗近似により算出した地盤高変化率 a (m/年) の岸沖分布を算定した結果を図-5(c), (d)に示す。最高および最低地盤高は、沿岸砂州の頂部およびトラフ底部の軌跡に対応しており、両者の差(地盤高変動幅)が砂州比高の目安を与える。この例では3m程度の変動幅が認められる。地形変動の標準偏差も砂州変動が顕著な領域で大きい。一方、水深8m(離岸距離1000m)程度に達すると変動の標準偏差が小さくなっており、波浪による移動限界水深は8m程度と考えられる。地盤高変化のトレンドを見ると、汀線近傍でゼロに近い値をとり、離岸距離300～700mにかけて侵食($a < 0$)傾向が確認される。一方、それより沖側の領域では微小ではあるが、正の変動(堆積傾向)を示している。これらの特性は測線位置により異なるため、次節以降で沿岸方向変化について検討する。

(2) 地形変動の沿岸方向変化

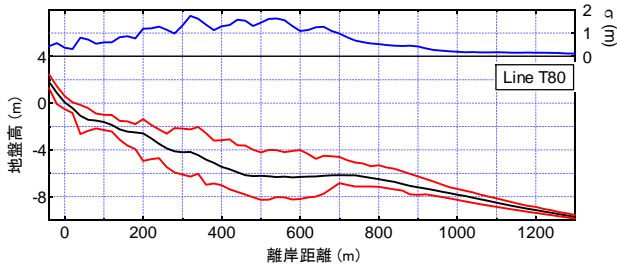
対象領域における平面的地形変動の例を図-6に示す。なお、以下の平面分布図においては、岸沖方向を拡大して表示している。水深8m以上の等深線位置は安定的で



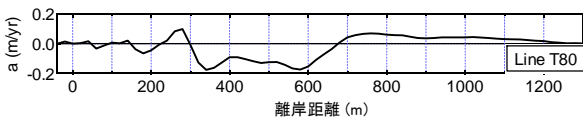
(a) 断面地形の経年変化



(b) 砂州頂部位置の移動



(c) 最高・最低・平均地盤高と変動の標準偏差



(d) 地盤高変化率

図-5 断面地形の変動例 (測線T80)

あるが、それより浅い部分では砂州移動に伴う変動が顕著となる。平均汀線位置を基準とした砂州の離岸距離は、領域全体で見ると、北側ほど大きい。領域内を比較すると、北側の羽咋地区で砂州の発達・移動が最も明瞭である。砂州の離岸距離は、測線位置が北側になるほど大きくなるが、羽咋地区内では砂州は組織的かつ比較的一様な移動を繰り返している。沿岸方向位置が少し南になると、砂州移動範囲や移動速度は減少してくる。また、沿岸方向距離15～19km付近で砂州位置・形状が屈曲あるいは不連続的に変化し、岸寄りに位置するようになることも多い。先述したような砂州移動の再現周期の違い(羽咋:4～5年, 高松6～7年)との関連も含めて、今後より詳細な検討を実施する予定である。南側では、砂州はさらに狭い範囲で岸沖移動を繰り返す。

続いて、平均地盤高、地盤高変動幅、および、地盤高変化率の空間分布について述べる。まず、平均地盤高の

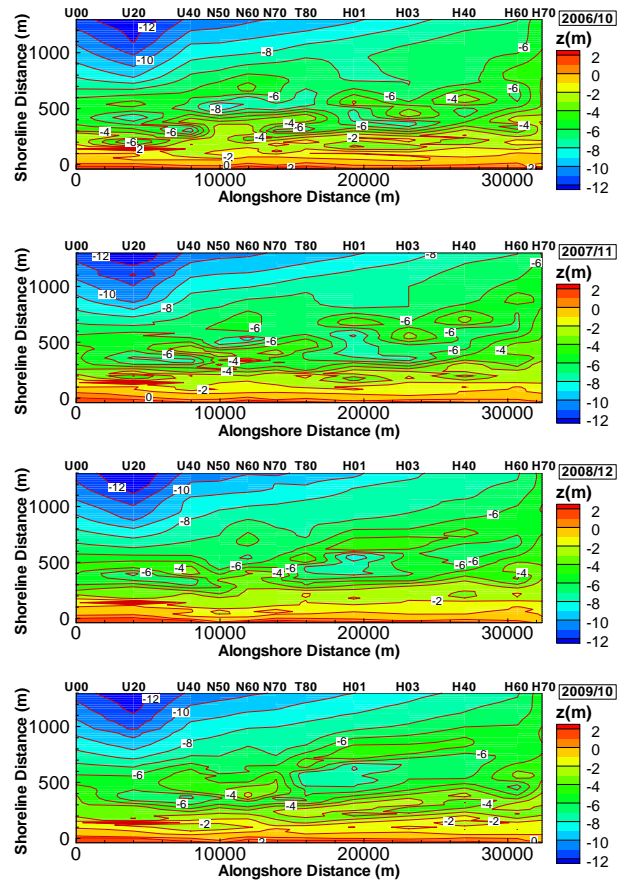


図-6 海浜地形の平面変化例 (2006年～2009年)

分布(図-7(a))を見ると、図-3でも述べたように、南側ほど海底勾配が急になることが確認できる。ただし、領域南端の測線U00は、金沢港東防砂堤付近の堆積による影響を強く受けるため、隣接する測線U20の位置で等深線が最も入り込んだ形になっている。平均的な断面勾配は北部で1/180、南部で1/90程度と2倍前後の違いがある。水深4mの等深線位置までは、沿岸方向に大きな違いはないが、水深6.7mの等深線位置から沿岸方向変化が明確になる。水深7m以上の等深線同士は平行に近い形で推移している。

地盤高変動幅の分布(図-7(b))からは、砂州移動の活発な領域を把握することができる。領域南端(U00)および北端(H70)の測線では砂州の発達は弱く、変動幅も小さい。変動幅が3m程度に達する領域に着目すると、領域南側では離岸距離200～400m付近で、中央から北寄りでは、300～600mの範囲で活発な砂州移動が生じていることがわかる。離岸距離がこれより大きくなると砂州の減衰域に入り、地盤高変動幅は減少している。

地盤高変化率(図-7(c))の分布は、岸沖分布の違いが特徴的である。南端のU00測線では、ほぼ全域にわたって堆積傾向であり、金沢港東防砂堤の影響が顕著である。隣接する測線U20,U40においては、汀線付近から600mにかけて堆積傾向、それより沖側で侵食傾向とな

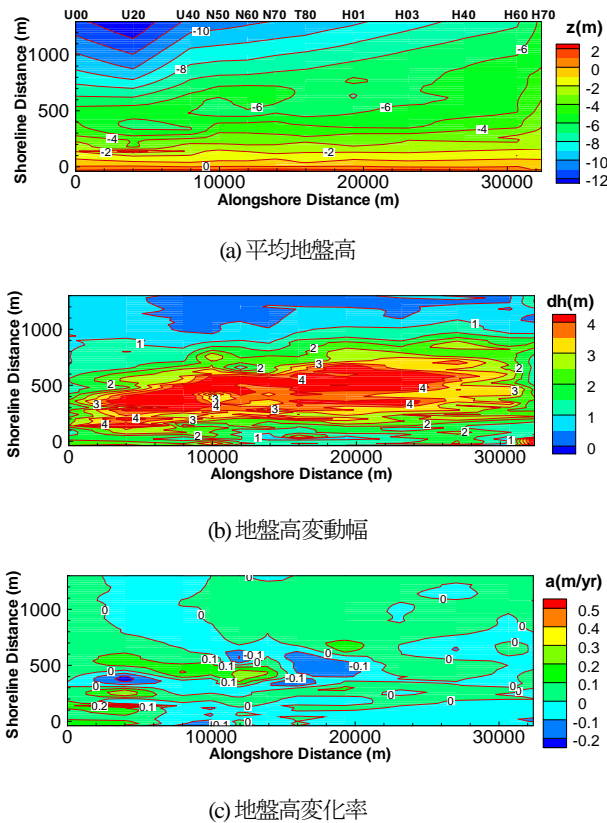


図-7 観測期間中の平均地盤高・地盤高変動幅
および地盤高変化率

っている。なお、U20の離岸距離150m付近で a が大きな正の値をとっているのは、離岸堤の建設によるものであり、その沖側での侵食傾向は、離岸堤からの反射波の影響を含むと考えられる。沿岸距離10km付近は、汀線近傍での侵食が最も顕著な地点であるが、岸沖方向では、侵食域と堆積域が交互に現れる。沿岸距離20km付近では、離岸距離500m付近に侵食域があり、近年のトラフの発達と対応している。さらに北側に移動すると、汀線近傍で侵食、沖側で堆積という傾向が強まってくる。沖側の堆積は値としては微小であり、オーダー的には測量誤差と同程度となるが、10年以上のトレンドとして継続的に現れており、かつ、北側の領域に特有であることから、偶発的な誤差とは考えにくい。全体として、海底断面は、領域の南側(U00を除く)では急勾配化、中央より北側では緩勾配化していることになる。

(3) 汀線位置および海浜土砂量の変動特性

各測線における汀線位置の変動トレンドは、4つの領域に区分して整理できる(図-8, 9)。対象領域南部に位置する測線(U00, U20)では、顕著な堆積傾向が見られ、汀線の前進速度は、3.2~4.9m/年に達している。これは金沢港東防砂堤による沿岸漂砂の遮断や離岸堤の設置など海岸港湾構造物の影響が強いと考えられる。隣接する

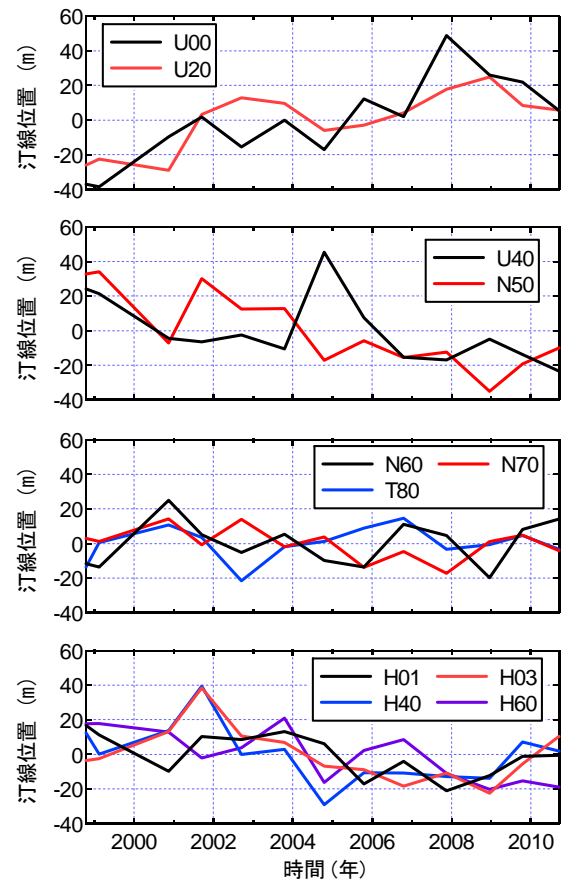


図-8 汀線位置の変動

U40, N50の測線では、一転して、領域内で最も大きな汀線後退が発生している。その割合は、2.7~4.6m/年であり、先の堆積傾向の測線の前進率とおよそ同程度の値である。つまり、これらの区間では汀線が回転する形で変動し、金沢港側に土砂が引き寄せられる形で汀線変化が進行している。領域中央部の測線(N60, N70, T80)においては汀線位置変動に明確なトレンドは認められず、短期的な変動を繰り返している。領域北部のH01~H70にかけては、汀線位置は再び後退傾向(1.6~3.0m/年)を示している。なお、この値は、より長い期間(1983年以降)を対象とした石川県の汀線測量に基づく値⁷⁾(0.5~0.7m/年)よりも大きく、近年、汀線後退が加速気味にあることを示している。なお、年単位の短期汀線変動に関しては、今後、金沢港における波浪観測データに基づいて外力変動(波高・波向き)との関連を検討する予定である。

続いて、離岸距離0~1300m区間を対象に、沿岸方向単位幅あたりの海浜土砂量の変化(海浜断面積変化)を解析した。図-10は、各測線の土砂量変化を対象に、最小自乗近似により算出した土砂量変化速度を示している。汀線位置変化速度(図-9)と分布形状が対応する部分も多いが、領域北部の測線H01~H40にかけては、汀線が後退しているにもかかわらず、土砂量は安定・微増の傾向

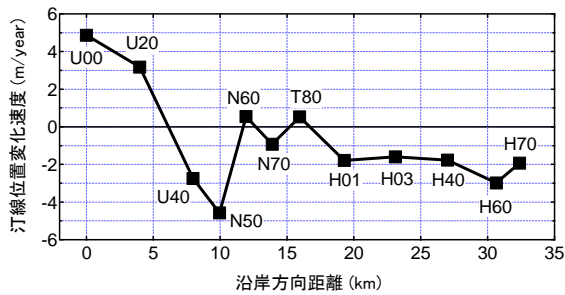


図-9 汀線位置の変化速度

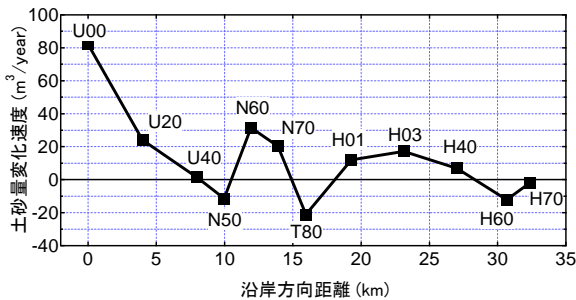


図-10 沿岸方向単位幅あたり海浜土砂量の変化速度

を示すなどの相違も見られる。これは、地盤高変化率（図-7(c)）にも示したように、汀線近傍と沖側で侵食・堆積傾向が異なることを反映したものである。

5. 結論

本研究では、北部加越海岸の海浜変動特性解明の一環として、深浅測量データの解析を行い、海浜地形変動の沿岸方向変化に着目して基本特性の比較検討を行った。その主要な成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 対象領域北側では3段の沿岸砂州が発達する。砂州の周期移動に関する再現周期は領域により異なる。平均地形を比較すると、測線位置が南になるにつれ、粒径が粗くなることを反映して海底勾配が増加する。
- (2) 領域の南側では汀線が回転する形で変動しており、金沢港隣接地域で局所的な堆積、その北側では顕著な

汀線後退が確認された。合わせて、領域北部（羽咋地区）においても加速的な汀線後退が見られた。

- (3) 海浜土砂量変化の分布は全体に汀線位置変化と対応するが、領域北側にかけては、汀線が後退しているにもかかわらず、土砂量は微増・安定傾向を示すなど、汀線近傍と沖側で地盤高変動の傾向に相違が見られた。

謝辞：本研究で使用した測量データは、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所より提供いただいた。また、本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金の補助を受けた。データ整理に当たっては、脇田康介氏、上畑達也氏、柳原健太氏（元金沢大学学生）の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 石川県：千里浜再生プロジェクト委員会（オンライン）, <http://www.pref.ishikawa.lg.jp/kasen/chirihama-saisei/index.html>, 参照 2012-03-22.
- 2) 田中茂信, 佐藤慎司, 川岸真一, 石川俊之, 山本吉道, 浅野 剛：石川海岸における漂砂機構, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 661-665, 1997.
- 3) Yuhi, M. : Impacts of anthropogenic modifications of river basin on surrounding coasts: A Case Study, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, Vol.134, No.6, pp.336-344, 2008.
- 4) Mizumura, K., Yamamoto, T. and Fujikawa, T. : Prediction of sand movement near port of Kanazawa, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, Vol.123, No.5, pp.215-222, 1997.
- 5) 早川和宏, 由比政年, 石田啓：石川県千里浜海岸における海浜地形変化に関する基礎的研究, 海洋開発論文集, 第55巻, pp.596-600, 2009.
- 6) Shand, R. D., Bailey, D. G. and Shepherd, M. J. : An Inter-site comparison of net offshore bar migration characteristics and environmental conditions, *Journal of Coastal Research*, Vol.15, No.3, pp.750-765, 1999.
- 7) 由比政年, 榎田真也, 早川和宏, 川島弘靖, 浦貴暁, 石田啓：千里浜海岸における海浜変動の基本特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第57巻, pp. 561-565, 2010.

ALONGSHORE VARIABILITY OF MORPHOLOGICAL CHANGE ON THE NORTHERN KAETSU COAST, ISHIKAWA, JAPAN

Masayuki MATSUYAMA, Masatoshi YUHI and Hajime ISHIDA

The characteristics of morphological variation on the northern Kaetsu Coast, Ishikawa, Japan, have been investigated using a set of annual field surveys collected over 13 years for an alongshore stretch of approximately 32 km. Spatiotemporal variation of cross-shore profiles, shoreline location, and sediment volume has been examined for 12 survey lines. The alongshore variability on the study area was substantial: Significant retreat of shoreline was recognized on the middle and north part, while an accelerated accretion occurred on the south end near Kanazawa Port.