

石川海岸の沖合における漂砂機構

田中茂信*・佐藤慎司**・川岸真一***
石川俊之****・山本吉道*****

1. ま え が き

図-1に示す石川海岸では、明治25年から昭和45年の80年間で200mも汀線が後退した。現在は離岸堤群による侵食対策で前浜が回復しているが、深浅測量によると離岸堤沖合では相変わらず侵食が進行している。波による底質の移動限界水深を越える水深15m以深における沖合侵食は、これまで測量誤差と見なされてきた。

本研究では、沖合を含む大規模な現地観測を実施し、水深15mを越える沖合の地盤高変動の実態を把握するとともに、その物理的根拠について明らかにすることを目的とする。

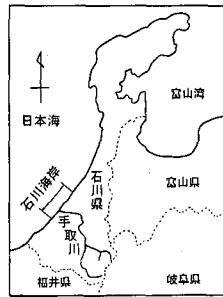


図-1 石川海岸の位置図

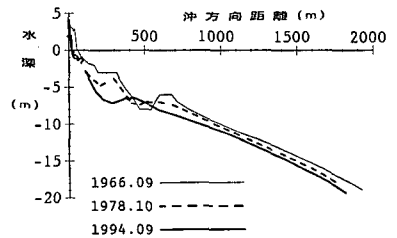


図-2 代表断面の海底地形変化
(手取川河口北側近く)

2. 深浅測量データの解析

本海岸では超音波測深機による深浅測量を1960年ごろから実施している。図-2は代表例として手取川北側河口近く海底断面を示すものであるが、水深20m付近で2mにもなる水深変化が認められる。このような沖合の海底地形変化は、波のみによっては生じえないと考え、従来は測量誤差と見なされてきた。図-3は本海岸を均等に分割して、根上1工区南、美川1工区、および、松任2工区南(徳光地先)の各ブロックの土砂変化量の経時変化を示すものであるが、沖合侵食が約30年間の長期的傾向として現れている(図中の破線は中間データの無いことを示す)。それゆえ、この侵食を測量誤差として無視することはできない。

3. 現地観測とその成果

超音波測量から判った沖合侵食の物理的裏付けを取るために、平成6年度冬期に予備調査を、平成7年度冬期に本調査を実施した。本調査の詳細を以下に述べる。

a) 観測期間：最も早く設置した計器の観測開始は1995年12月28日、最も遅い終了は1996年2月19日

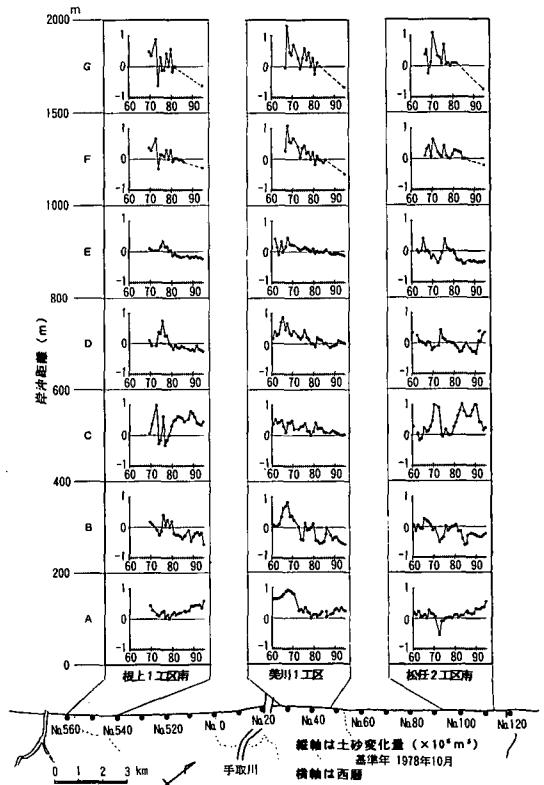


図-3 石川海岸の土砂変化量の経時変化

* 正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室長
** 正会員 工博 同上 海岸研究室主任研究員
*** 建設省金沢工事事務所流域対策課長
**** 同上 流域対策課係長
***** 正会員 工博 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部

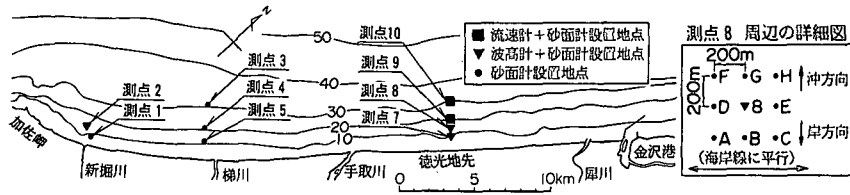
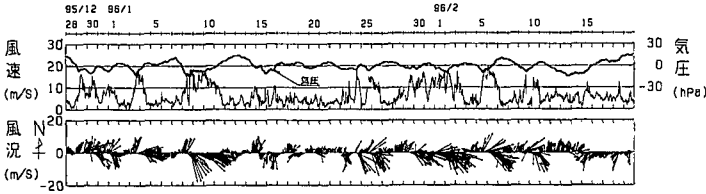
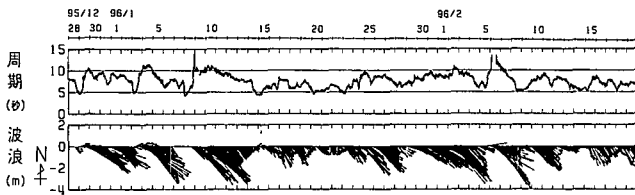


図-4 現地観測の項目と位置の説明

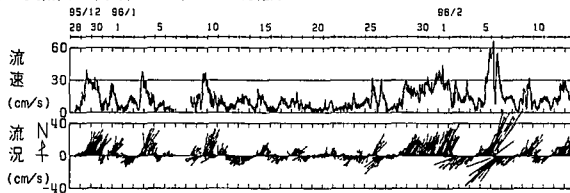
① 徳光地先での風と気圧 (1013hPa を 0 とする)



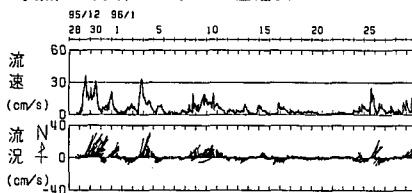
② 測点 8 (水深 15 m) での波浪



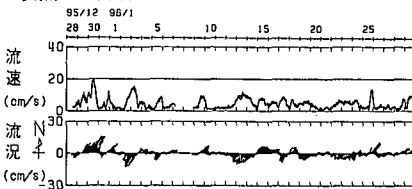
③ 測点 8 (水深 15 m) での上層流



④ 測点 8 (水深 15 m) での底層流



⑤ 測点 10 (水深 30 m) での底層流



⑥ 測点 2 (水深 15 m) での底層流の経年変化

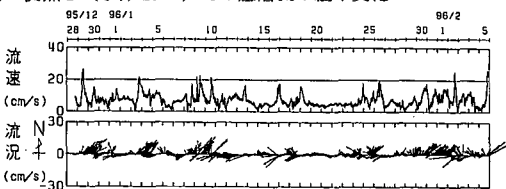


図-5 気圧, 風, 波浪, および流れの経時変化

である。

b) 観測項目: 図-4 に示す。

- 波と流速: 徳光沖水深 15 m, 20 m, 30 m と新堀川沖水深 15 m の計 4 地点のデータを回収した。
- 水深変化量: 上記地点以外に梯川沖水深 10 m, 20 m, 30 m と, 測点 A~H の砂面計データを回収した。
- 他に, 上記各地点の砂れん観測, 徳光地先での風速と気圧も測定した。

主な観測結果を図-5~7 に示す。これらの図で, 波高は有義波高, 波向と流速および風速は 20 分間の平均値であり, 底層流は海底面から 70 cm 上のものである。

石川海岸では, 北向きに卓越した海流が有ること, また, 冬期に激しい風浪が主に北西方向より来襲し, これに

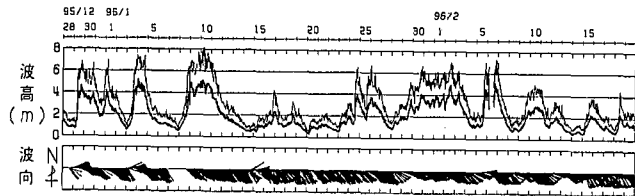
よる海岸侵食が顕著であることは知られていたが, 図-5~7 より, 下記事項がさらに明らかになった。

a) 流況特性

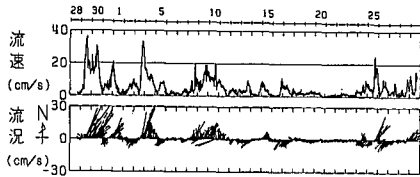
図-5 の各グラフより次のことが判った。

- 海風と波浪の相関だけでなく, 風と流れの相関も良く, 測点 8 の上層流と底層流の比較から, 強風時には吹送流が底層まで発達することが判る。ただし, 風向が海岸線と直交する時には, 底層流の発達が弱まるようである。また, 底層流は, 水深が深くなるほど弱くなる傾向にあるが, 測点 10 の水深 30 m でも細砂を動かし得る限界流速の 10 cm/s をしばしば越えている。測点 8 での過去 1 年以上に渡る底層流の長期記録では, 最大で 50 cm/s 程度, 波高 1 m 以上の時の平均値で約 10 cm/s の北向流れであった。
- 底層流の向きは風向とあまり一致しておらず, しかも, 南向流れより北向流れの方が強い傾向にある。これは, 北西方向から卓越して来襲する強風による海面摩擦応力にコリオリ力と海底地形による拘束,

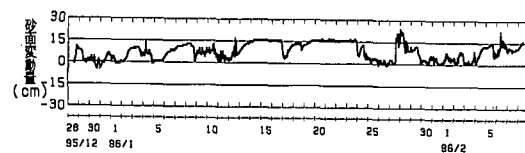
① 測点8 (水深 15 m) での波浪



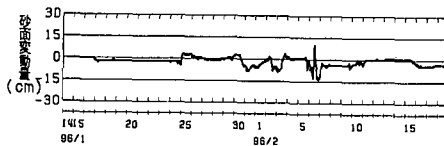
② 測点8 (水深 15 m) での底層流



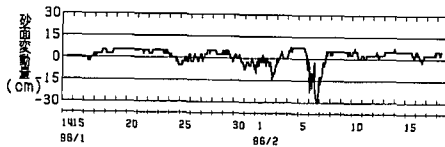
③ 測点2 (水深 15 m) での水深変化量



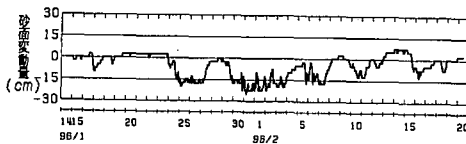
④ 測点3 (水深 30 m) での水深変化量



⑤ 測点4 (水深 20 m) での水深変化量



⑥ 測点5 (水深 10 m) での水深変化量



⑦ 測点8 (水深 15 m) での水深変化量

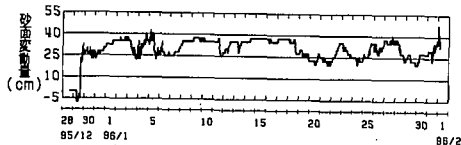


図-6 徳光沖での外力と新堀川沖, 梯川沖, 徳光沖変化量の経時変化

および対馬暖流が影響するためと考えられる。

iii) 新堀川沖の測点2 (水深 15 m) の底層流は、徳光

沖の測点8 (同水深) のそれと類似しているが、その流速は測点8に比べて、北向時にはやや小さく、南向時にはやや大きくなっている。北方向へ移動した底質が、南向流れて戻りやすくなっている。

b) 広域の沖合海底地形変化特性

図-6の各グラフより次のことが判った。ただし、測点5や8で、砂面変動量が変化しなくなる時期が見られるが、これは、礫がセンサーの穴に詰まったためと考えられる。

i) 測点8の波や底層流と水深変化量の比較から、波と底層流の発達時(有義波高2 m以上で底層流10 cm/s以上、この時の瞬間最大流速は50 cm/s以上になる)に、急激に侵食を生じ、外力の減衰時に堆積して水深が徐々に元へ戻るパターンの多いことが判る。平成6年度の予備調査では、測点8に蛍光砂を投入したが、最大有義波4 mに対して、蛍光砂は完全に流失していた。

ii) 測点2, 4, 5, および8の相互比較から、水深変化量は南側ほど小さくなる傾向にある。これは、南側ほど岩石海岸(加佐岬周辺)に近くなり、大きな粒径の底質が増えていること、北向きの底層流が、新堀川沖で徳光沖より弱くなっていることと密接に関係していると考えられる。

iii) 測点3, 4, 5の相互比較から、水深10 m~30 m間では深くなるほど、水深変化量は小さくなっているが、水深30 m地点でも無視できないほどの水深変化が生じており、ダイバーによる目視観測で、砂れんの存在も認められた。また、いずれの測点でも時化の発達時に侵食が見られるが、侵食の開始時期は岸側が速く、

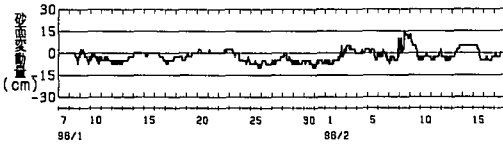
徐々に沖へと広がっていくのがわかる。このことは、時化の発達時には波による岸向き漂砂により沖合い部の侵食が生じていることを示唆している。

c) 峽域の沖合海底地形変化特性

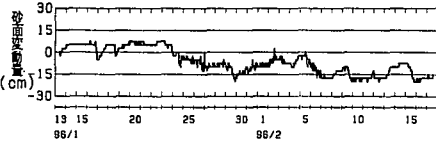
図-7の各グラフより次のことが判った。

i) 測点A~Hは図-4に示されるように測点8の周辺に一边200 m間隔で配置されている。これらの全測点において、観測が開始された1月7日以降で、波と底層流が穏やかになった1月16日0時を基準に時間的变化を追ってみると、全体的に侵食傾向に

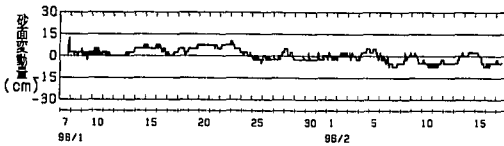
① 測点A (水深11m, 岸側, 南側)



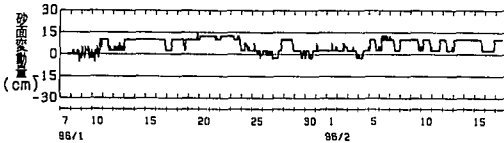
② 測点B (水深11m, 岸側, 中央)



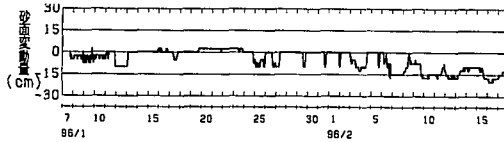
③ 測点C (水深11m, 岸側, 北側)



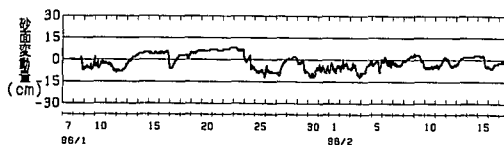
④ 測点D (水深14m, 中間, 南側)



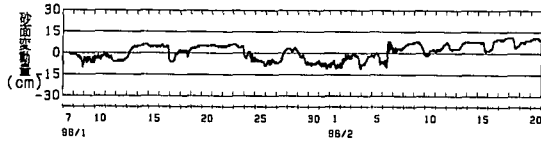
⑤ 測点E (水深13m, 中間, 北側)



⑥ 測点F (水深15m, 沖側, 南側)



⑦ 測点G (水深15m, 沖側, 中央)



⑧ 測点H (水深15m, 沖側, 北側)

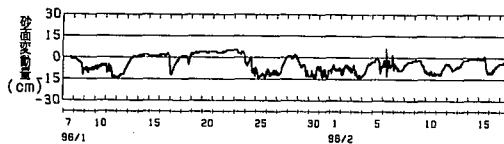


図-7 徳光沖の測点8周辺 (A~H) での水深変化量の経時変化

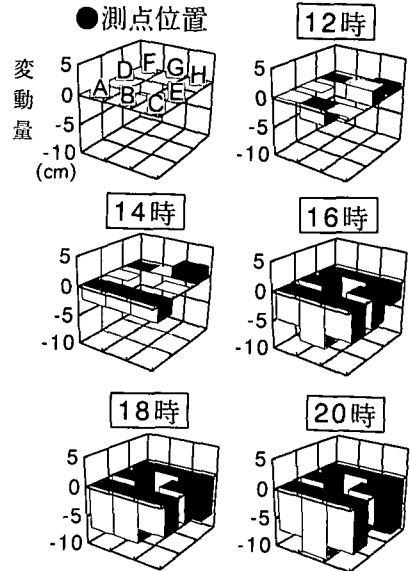


図-8 2月15日12時~20時までの砂面変動量の分布

なっている測点が多い。

ii) 測点D, Eのある中間帯の底質には、礫分が他測点より多かったため、砂面計のセンサーの穴が詰まり易く、砂面変動を示さなくなる期間がある。これに注意しながら、各測点間の比較を行うと、沿岸方向にはほとんど同時に侵食が始まっているが、岸沖方向にはわずかな差であるが、岸側の方が早く変化しているようである。この海底地形変化を詳細に見るために、典型的な砂面変動を生じている2月15日12時から20時までのデータを用いて、図-8に示す砂面変動量の分布図を作成した。この図から、まず波の影響をうけ易い岸側から砂面変動が顕著になり、波高の発達に伴って沖側の砂面変動も顕著になる様子が判る。

4. 石川海岸の漂砂移動機構についての考察

波による移動限界水深以深である水深15mの箇所では、波のみによる顕著な地形変化は考えにくい。佐藤(1995)は、日本海側の近海では、強風時に吹送流が発達して、海岸境界の影響により強い底層流を生じることを理論的に示し、海底地形変化へ大きな影響を及ぼしかねないことを指摘しているが、これを肯定する事例が、第3章の観測データに現れている。要するに、石川海岸沖合の海底地形変化は、波と底層流の両者によって生じていると考えられるのである。そして、下記のa)~f)から、短期的な水深変化は主に波の働きによって、長期的な変化は両者によって生じており、波で舞い上がり沖へ移動した底質が、底層流によって北側海岸へ流失してい

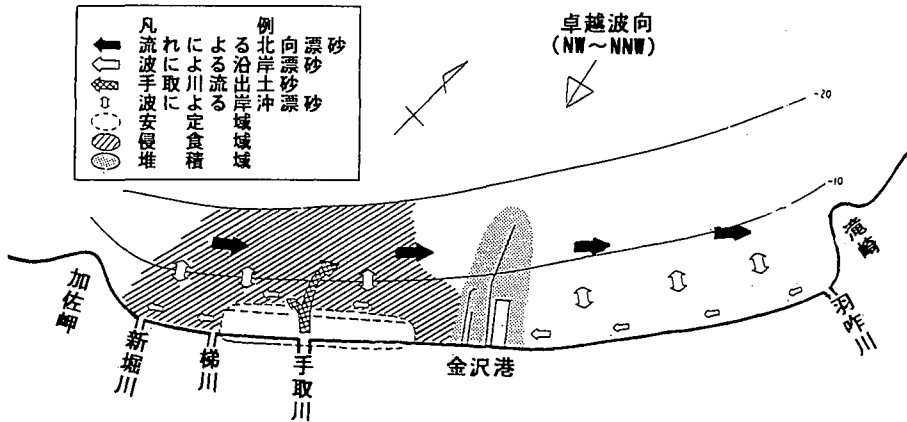


図-9 石川海岸の漂砂移動のイメージ

る可能性が指摘でき、この岸からの土砂供給量と北側海岸への土砂流失量がバランスしていないために、沖合侵食が生じていると考えられる。

- a) 海底の短期的な侵食は、波の発達に合わせて、岸側から沖側へ広がっている。そして、波の減衰と共に徐々に堆積する。
- b) 波高の大きな波は侵食性となって冲向漂砂を発生させ易い。一方、波高の小さな波は堆積性になり岸向漂砂を発生させ易いが、深い水深まで影響を及ぼさない。
- c) 波で舞い上がった底質は、底層流が弱くとも容易に流れに乗って移動する。特に、石川海岸の底層流はしばしば 10 cm/s 以上となり、冲向漂砂として沖へ移動した土砂などを運び去ってしまい、その一部が金沢港防波堤の南側などに堆積するものと考えられる。
- d) 潮流の弱い日本海近海の底層流は、発達した吹送流と海流から成っていると考えられるが、その流向はどちらも北向きが卓越している。
- e) 金沢港工事事務所の深浅測量成果によると、本海岸の北側に位置する金沢港の南側沖合や北側岸近くに大量の堆砂が認められる。
- f) 手取川などからの土砂供給量は非常に少なく、底層流の上流である南側は岩石海岸になっており、十分な土砂供給があるとは思えない。

以上から、本海岸の漂砂移動のイメージは図-9 のようになる。

ただし、波による沿岸漂砂の卓越方向は、各所で観測

されている波の卓越方向が北西～北北西であること、土砂が海岸構造物の北側岸近くに堆積している場合が多いことなどから、南方向と推定している。

5. 主要な結論

石川海岸の深浅測量データの解析から、長期的傾向として測量誤差のレベルを越える大規模な沖合侵食の存在が明らかとなり、その漂砂移動機構を複数地点での直接測定から究明した。

まず、強風によって波が発達するが、この時に海底侵食が岸側から沖側へ急速に進み、水深 30 m でも水深変化量で 10 cm 以上と無視出来ない量になることが有る。そして、波の減衰時には沖合いは堆積に転じて、海底地盤高は元へ戻ろうとするが、そのスピードは侵食時に比べて遅い。

さらに、底層流も強風によって発達し、水深 30 m でも細砂が動きだす限界流速である 10 cm/s 以上となり、その卓越流向は北向きである。波による浮遊砂はこの底層流によって北側海岸の沖合いへ運び去られ、石川海岸の岸へ簡単に戻れなくなると考えられる。

このように、波と底層流が本海岸の沖合侵食機構で極めて重要な役割を演じていることが判った。

参 考 文 献

- 佐藤慎司 (1995): 日本海沿岸で観測された流れの特性, 土木学会論文集, No. 521/II-32, pp. 113-122.