

石川海岸の人工リーフ建設に伴う汀線位置変化と漂砂動向に関する研究

鷺見 浩一* ・野口 将志**・水谷 法美***
羽原 琢智****・三浦 正一****

本研究は、石川海岸の人工リーフ建設に伴う汀線位置の経時変化を来襲波と関連づけて考究した。さらに、深浅測量データに基づいて石川海岸の漂砂動向を検討した。人工リーフ設置に伴う汀線位置は、建設直後の夏期では建設前と比較して約 10 m 前進したが、冬季では後退に転じた。この汀線位置の変動には、季節変化に伴う石川海岸への来襲波が関係していた。また、深浅測量による離岸堤周辺の地形は、離岸堤の北東と南西で非対称であり、南西側は離岸堤中央へ大きく突出する等深線となっており、追加侵食されていた。これに、入射波の卓越する波向が北西と北北西であることを併せて考慮すると、石川海岸の沿岸漂砂は南西方向に卓越すると考えられる。

1. はじめに

石川県の海岸線は、図-1 (a) に示すように能登半島の高岩岬を境界として、北方向に富山県との県境までの能登半島沿岸と南方向に福井県越前岬までの加越沿岸から成る。石川県内の加越沿岸の海岸線総延長は約 146 km であり、その大部分は砂浜海岸である。石川海岸は、この加越沿岸の中心部の金沢港から南西へ約 20 km にわたる海岸線を指す。石川海岸では昭和 22 年から 44 年において海岸が侵食され、約 60 m の汀線後退が確認されていた。その後、離岸堤・人工リーフ等の海岸構造物が設置された海岸では汀線は前進したが、侵食傾向にある海岸では、現在においても海岸構造物が築造されている。しかし、これまでに石川海岸の構造物背後域での海浜の安定性や漂砂機構については十分に議論がなされておらず、海岸の安定性を確保するためには、構造物の設置に伴う汀線位置の定量的な把握や漂砂機構の実態解明が必要となっている。

そこで本研究では、平成 15 年 9 月に石川海岸八田地先に設置された人工リーフの建設前と建設後の経時変化に伴う汀線変動と波浪の関係を考究する。さらに、海象条件と深浅測量データを関連づけて検討し、石川海岸の漂砂動向を究明する。

2. 観測対象海岸と調査概要

(1) 石川海岸と汀線調査方法

図-1 (b) に示すように石川海岸八田地先は、金沢市と松任市の境界に位置し、海岸侵食の防止対策として 3 基目の人工リーフ (天端幅 $B=50$ m, 堤長 $L=150$ m) が平成 15 年 9 月上旬に設置されている。この人工リーフ建設に伴う汀線位置変化を検討するために、DGPS による

汀線観測を平成 15 年 4 月から平成 16 年 1 月の期間に週に 1 回の頻度で満潮時に 36 回実施した。また、平成 16 年 4 月と 5 月にも、月に 1 回の頻度で満潮時に観測を行った。観測範囲は八田地先の約 1.2 km にわたる海岸とした。汀線測量には、ハンディタイプの DGPS ユニット (GERMIN 社製: etrex) を用いた。また、図-2 に示すように、観測区間には時間変化に伴う汀線位置の変動を定量的に把握するために、11 の調査点を設置した。

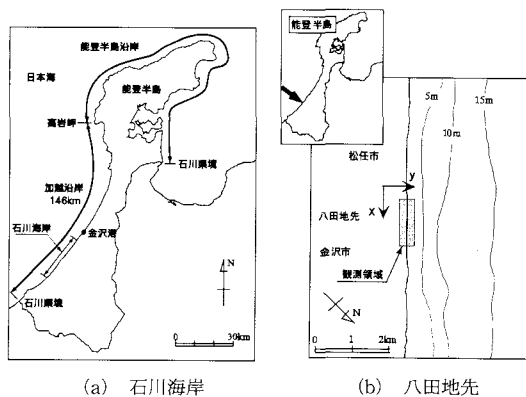


図-1 石川海岸と八田地先の位置

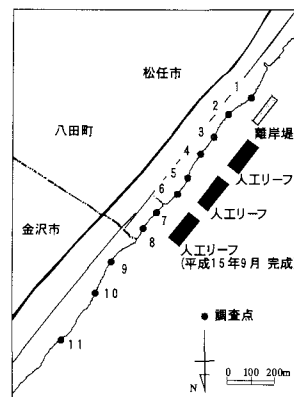


図-2 調査点

* 正 会 員 博(工) 金沢工業大学助教授 環境・建築学部環境土木工学科

** 学生会員 金沢工業大学 大学院工学研究科土木工学専攻科

*** 正 会 員 工 博 名古屋大学教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻

**** 工 修 (株)日本科学技術研修所 解析技術本部

(2) 海岸構造物周辺の波浪場とシールズ数の算定

八田地先の波高分布を検討するために、式(1)に示すエネルギー平衡方程式を用いて波浪場を算定した。

$$\frac{\partial}{\partial x}(SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(SC_g \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ S \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right\} = -\varepsilon_b' S \quad (1)$$

ここに、 S は方向スペクトル、 C 、 C_g は波速と群速度、 θ は波向、 ε_b' は碎波減衰項である。

波高の計算結果から海底面での流速振幅を求めることにより、シールズ数を算定した。

$$\phi_m = \frac{f u_{bm}^2}{sgd} \quad (2)$$

ここに、 ϕ_m はシールズ数、 u_{bm} は海底での水粒子速度の振幅、 s は土粒子の水中比重、 d は土粒子の粒径、 f は摩擦係数であり、0.01とした。

また、人工リーフ背後の汀線の前進・後退と石川海岸の波浪特性との関係を検討するために、堀川ら(1975)による式(3)で、無次元係数 C を求めた。

$$H_0/L_0 = C(\tan \beta)^{-0.27}(d/L_0)^{0.67} \quad (3)$$

ここに、 H_0/L_0 は沖波波形勾配、 d は土粒子粒径、 $\tan \beta$ は海底勾配である。

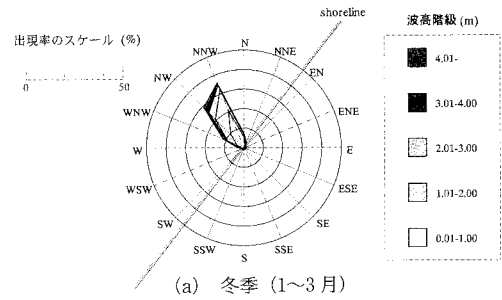
3. 石川海岸の波浪特性

八田地先から南西へ4.5 kmの徳光地先の沖合1.5 km(水深 $h=15$ m)に設置された超音波式波高計の観測記録から、石川海岸への来襲波特性を検討した。その結果を図-3(a)~(c)に示す。なお、図-3(a)は平成15年の冬季(1~3月)、図-3(b)は夏期(7~9月)、図-3(c)は年間(1~12月)の波向別波高出現分布を示している。平成15年の波浪観測データから、石川海岸の入射波の波向は年間を通じて北北西と北西が卓越し、その出現頻度はそれぞれ23%、21%であった。一方、月別平均有義波高については季節による変動が明瞭であり、8月が0.27 mであるのに対し、2月は1.01 mであり、冬季に高波浪が出現していた。かねてから石川海岸では、冬季風浪が卓越することが武藤ら(1992)により指摘されていたが、本調査においても冬季に高波浪が卓越する傾向が図-3により確認できた。

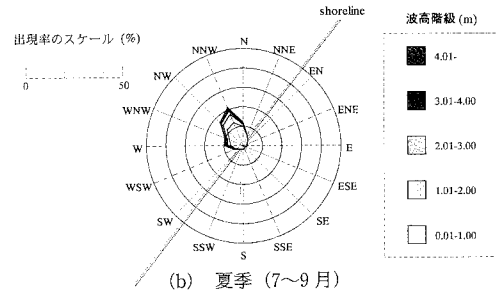
4. 八田地先の汀線変化

八田地先の経時変化に伴う汀線変化特性を検討するために、平成15年4月~平成16年5月の期間にDGPSによる汀線観測を実施した。月ごとの観測結果の一例を図-4(a)~(f)に示す。

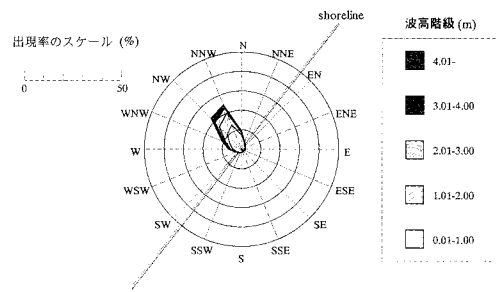
図-4(a)に示す平成15年4月の八田地先の汀線は、東側の人工リーフの背後に舌状砂洲の形成が確認でき



(a) 冬季(1~3月)



(b) 夏季(7~9月)



(c) 平成15年(1~12月)

図-3 石川海岸の波浪特性

る。また、 $X=1550$ m付近の人工リーフ開口部の汀線は窪んだ形状となっている。図-4(b)に示す5月の汀線形状を4月と比較すると人工リーフ背後の舌状砂洲の拡大が確認できる。調査点4周辺の汀線は4月と同様に $Y=20$ m付近の位置にある。図-4(c)に示す8月の汀線位置は、調査点4の周辺では前進し、4~5月では窪んだ形状となっていた汀線が、舌状砂洲の頂部へ向かう緩やかな形状となっている。図-4(d)は人工リーフの設置が完了した9月の汀線観測の結果を示している。新たに設置された人工リーフ背後域の汀線の前進が確認できる。図-4(e)に示す12月の汀線観測の結果では、 $X=2380$ mの調査点11周辺の砂浜が消失していたが、 $X=1200 \sim 1900$ mの海岸構造物の背後地では、調査点11ほど激しい汀線の後退は生じておらず、離岸堤と人工リーフの侵食防止機能が確認できた。図-4(f)は平成16年4月の観測結果を図示したものである。同図より調査点

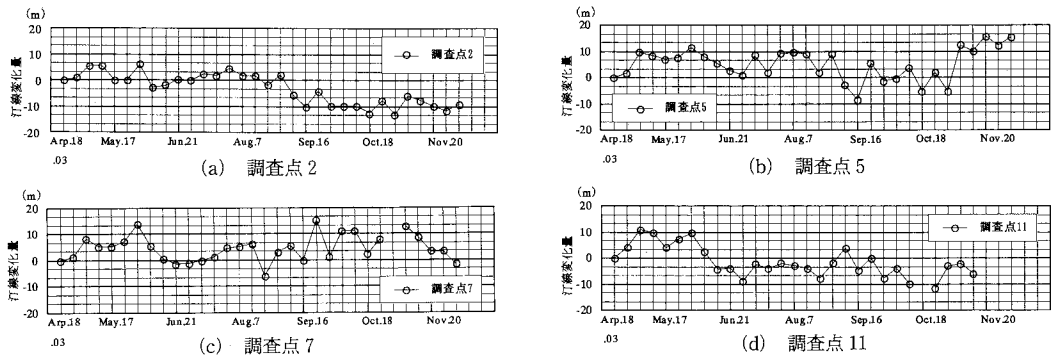


図-5 各調査点における汀線変化量

次に、エネルギー平衡方程式による波浪場の算定結果の一例を図-6(a)~(c)に示す。図-6(a)は人工リーフ建設前の平成15年4月の波浪場を、図-6(b)、(c)は人工リーフ建設直後の9月と冬季の高波浪が来襲する12月の波浪場をそれぞれ示している。計算への入力条件は、徳光地先の沖合に設置された超音波式波高計の観測データから月別平均有義波高を求めて、建設前の4月は $H_{1/3}=0.33$ m, $T_{1/3}=4.1$ s, 建設後の9月は $H_{1/3}=0.31$ m, $T_{1/3}=3.8$ s, 高波浪時の12月は $H_{1/3}=0.98$ m, $T_{1/3}=6.1$ sとした。また、入射波の波向はすべて北西とした。図中の実線の四角形は離岸堤を、破線の四角形は人工リーフを示す。沖側境界で与えた波高がほぼ同じである図-6(a)と(b)から、人工リーフ建設前と建設後の波浪場を比較すると、新たに建設された人工リーフ岸側の $X=1800$ m, $Y=100$ mの海域付近の波高分布が異なり、建設前では入射波とほぼ同じであった波高が、建設後では人工リーフの強制碎波により減衰しているのが確認できる。また、高波浪が入射する場合の図-6(c)においても、人工リーフ背後で波が減衰しているのが判る。さらに、 $X=1800$ mにおける岸沖方向の波高分布を示した図-7を見ると、入射波高が比較的小さい4月と9月の $Y=130$ m付近の波高の比較では、人工リーフの設置により透過波高が約6 cm小さくなっている。高波浪時の $Y=130$ m付近の波高の比較では、建設前と建設後では約20 cmの波高が減衰している。また、入射波高(9月は $H_{1/3}=0.31$ m, 12月は $H_{1/3}=0.98$ m)と $Y=67.5$ m地点の透過波高(9月は $H_T=0.20$ m, 12月は $H_T=0.47$ m)により、透過率 K_T を求めると建設直後の9月は約0.64であり、高波浪時の12月では約0.48であったことから、特に冬季の高波浪時において人工リーフの消波機能が確認できた。

人工リーフ建設前の7月の月別平均有義波高を $H_{1/3}=0.47$ m, 周期を $T_{1/3}=4.1$ s, 波向を $\theta=NW$ として算定した波高より、海底面での水粒子速度の振幅を求めるこ

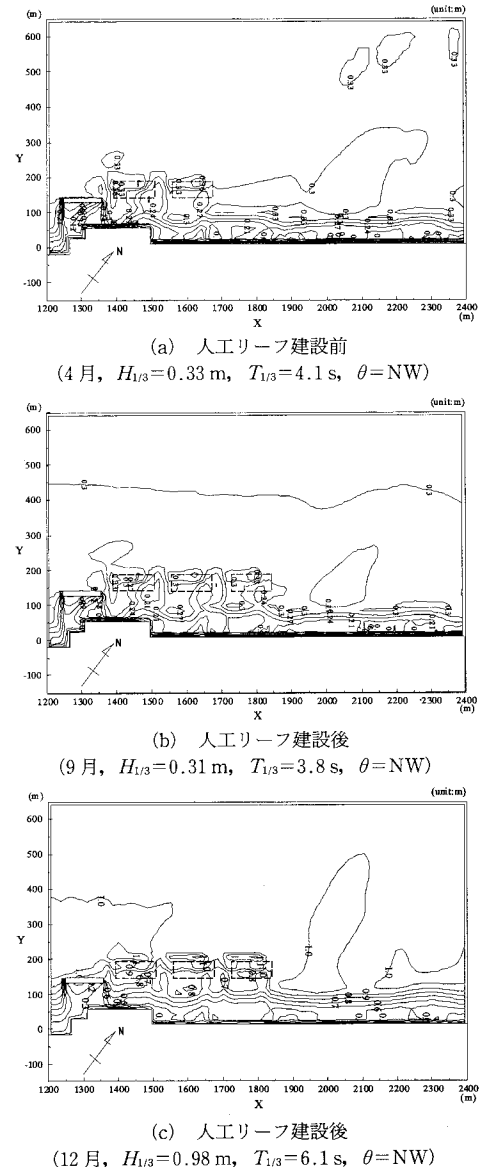


図-6 八田地先の波止場の算定結果

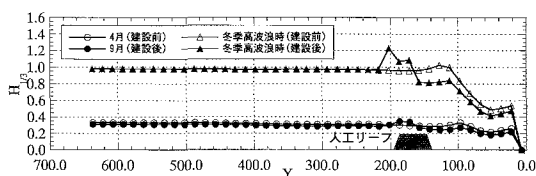


図-7 岸沖方向の波高分布 (X=1800 m)

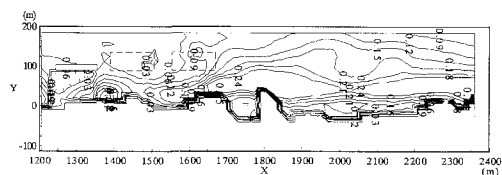
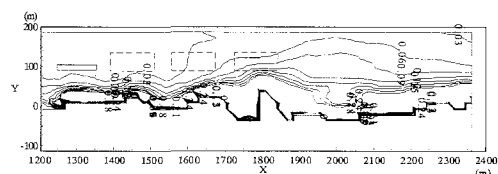
(a) 人工リーフ建設前
(7月, $H_{1/3}=0.47$ m, $T_{1/3}=4.1$ s, $\theta=NW$)(b) 人工リーフ建設後
(9月, $H_{1/3}=0.31$ m, $T_{1/3}=3.8$ s, $\theta=NW$)

図-8 八田地先のシールズ数分布

とによって、計算したシールズ数分布を図-8(a)に、人工リーフ建設後の9月の波高から求めたシールズ数分布を図-8(b)にそれぞれ図示する。なお、同図は水深 $h=50$ cm 以深のシールズ数の算定結果を示したものであり、汀線際の形状が図-6と異なる。新しく設置された人工リーフ岸側のシールズ数は0.09であり建設前の0.15と比較して小さい値となり、人工リーフが海浜の安定化に寄与していることが判る。

6. 深浅測量に基づく石川海岸の漂砂動向

平成15年2月に実施された深浅測量の結果から、石川海岸の漂砂動向を究明する。なお、測量データは東京湾平均海面 (T.P.) を基準としている。

図-9に $X=1600$ m, 2000 m, 3200 m の地形断面図を示す。各測線の海底地形断面を見ると、汀線から約400 m の位置にバーの発達を確認できる。また、各側線の水深8 m 以浅において、顕著な地形変化が生じているのに対し、水深8 m 以深では海底地形がほぼ一致し、緩勾配 ($\tan \beta=1/100$) であることから、漂砂は水深8 m 以浅で活発であると判断できる。図-10に八田地先から南西方向へ約1200 m 地点の離岸堤周辺の等深線図を示す。ハッチ有りの離岸堤周辺の地形は、離岸堤の北東側と南西側で非対称であり、南西側が離岸堤中央へ大きく突出する等

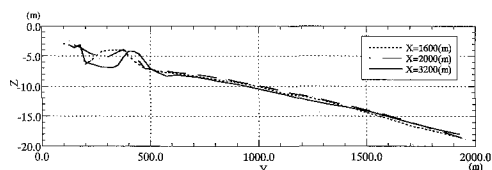


図-9 海底地形断面図

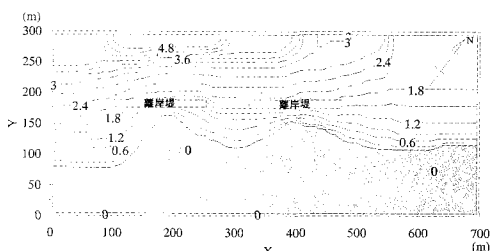


図-10 等深線図

深線となっている。これは、離岸堤群により南西方向の沿岸漂砂が阻止され、離岸堤の北東側で堆砂が生じ、南西側で侵食が発生したことを示している。平均海岸線に対する法線が北西より反時計回りに7°であり、入射波の卓越する波向が北西と北北西であることを考慮すると、石川海岸の沿岸漂砂は南西方向に卓越することが判る。

7. おわりに

本研究では、石川海岸の人工リーフの建設に伴う汀線位置の経時変化と漂砂動向を検討した。

人工リーフ設置に伴う汀線位置は、建設直後は建設前と比較して約10 m 前進したが、その後は後退に転じた。この汀線位置の変動には、石川海岸への来襲波の相違が要因となっていた。また、離岸堤周辺の海底地形が、離岸堤の北東と南西で非対称であり、南西側の海底地形は離岸堤中央へ大きく突出する等深線となっており侵食されていた。これにより、石川海岸では南西方向の沿岸漂砂が卓越することが判明した。

謝辞: 本研究で用いた波浪と深浅測量データは、国土交通省北陸地方整備局よりご提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 329-333.
- 武藤和宏・宇多高明・島 敏明・岡本俊策 (1992): 高波浪によるバーの大規模変動の観測, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 446-450.