

石川海岸徳光地先の大型離岸堤の効果追跡調査

二 木 渉* ・ 高 橋 至** ・ 高 木 利 光***
有 村 盾 一**** ・ 高 木 栄*****

石川海岸徳光地先の不透過型大型離岸堤のような砕波帯内の大規模な不透過構造物は既往の事例が非常に少ないことから、その堆砂効果と周辺への影響を空中写真および深淺測量による地形変化解析に基づいて検討した。その結果、不透過型大型離岸堤は従来型の透過型離岸堤と比較してその堆砂効果は高く、汀線後退位置は大型離岸堤の端部から卓越波向に対して漂砂の下手側に約 45°の位置に発生しており、従来から言われている鍵型防波堤背後に生じる片トンボロ現象による堆砂ならびに最大汀線後退位置は防波堤先端から 40~55°という侵食パターンと類似していることが明らかとなった。ただし、下手侵食の今後の動向に注意する必要がある。

1. はじめに

これまで、海岸保全対策およびその背後に造られる静穏域を利用するために、砕波帯内に消波構造物が建設されてきた。この沖合消波構造物の代表である離岸堤については、小規模で異形ブロックを用いた透過構造物の場合、数々の研究や現地海岸での適用事例も多く、その効果については概ね把握されている。しかし、大規模な不透過構造物を沖合 200 m 以上、しかも砕波帯内に設置した事例は非常に少なく、全国的には石川県石川海岸徳光地先、青森県玉松海岸等の大型離岸堤がその代表として挙げられるのみで、その効果・影響については明らかでないことも多い。

従来の離岸堤群は、海岸防護の観点からはその効果を発揮してきたといえるが、顕在化した侵食に対する早急な防護が最優先とされてきたため、漂砂下手側の海岸への影響、景観面や海浜利用への配慮が欠けていたことは事実である。一旦、異形ブロックによる離岸堤や消波工で覆われてしまうと海岸景観や海浜利用の可能性が著しく低下することになるが、消波構造物を大型化して沖出しすることによりレクリエーション空間の確保と景観面の向上が期待できる。ただし、このような構造物は大規模となるため周辺海岸への影響に注意する必要がある。石川海岸徳光地先の透過型大型離岸堤については、沖合部では沿岸流の蛇行によるものと推定されるバー・トラフの沖への移動が見られたが、構造物周辺の地形は安定していることが分かっている（武藤ら，1992）。

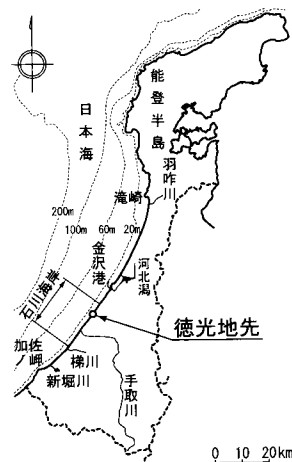
本報では、その後同地先において不透過の大型離岸堤（以降大型離岸堤と呼ぶ）が整備されていることから、その効果を航空写真による汀線比較や代表的な深淺測量成果から検討し、今後の同様な構造物の設計に資すること

を目的とする。

2. 石川海岸および大型離岸堤の概要

石川海岸は日本海に面した手取川扇状地に広がり、主な漂砂供給源である手取川からの土砂供給量の減少に伴って海岸侵食が顕著となったため、1961 年から直轄海岸として主に離岸堤による整備が進められてきた。徳光地先は図一に示すように手取川河口より北東約 7 km に位置している。既往の研究によると長期的には南向きの沿岸漂砂が卓越しているが、冲向きの漂砂として移動した土砂が北向きの沖合い流れによって流失する機構も侵食要因の一つである可能性が示されている（田中ら，1996，1997）。また、飛砂による海岸砂丘の形成過程や海浜砂採取による損失も近年の海岸侵食を理解する上で無視できないことが指摘されている（宇多ら，2002）。なお、汀線際の底質中央粒径は 0.2~0.5 mm であり北側ほど粒径が小さくなっていく（田中ら，1997）。

大型離岸堤は石川海岸の松任 2 工区徳光地先において 1998 年に建設が開始され 2001 年に完成した。この大型離岸堤はその法線を緩やかに湾曲させ、天端幅も 7~14



図一 石川海岸徳光地先位置図

*	国土交通省高田河川国道事務所 調査第一課長 (元金沢河川国道事務所 建設専門官)
**	国土交通省金沢河川国道事務所調査第一課 河川調査係長
***	正会員 博(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部
****	修(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部
*****	(株)アイ・エヌ・エー 海岸部

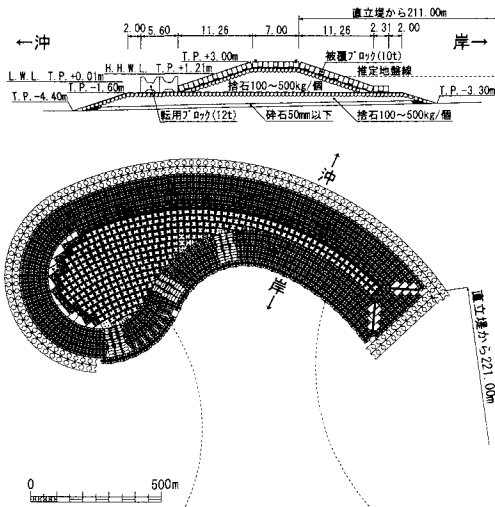


図-2 大型離岸堤現況構造図

mと広くとった不透過構造物である (図-2)。

3. 来襲波浪特性

徳光地先では沖合1.5 km (水深15 m) 地点において超音波式波高計による波浪観測が継続的に実施されている (図-3)。なお、図-3中の地形コンターは2001年11月測量によるものである。

図-4に波向別波高出現頻度分布を示す。なお、図-4の上図は1995年1月から2003年12月の全期間、中図は夏期(6, 7, 8月)、下図は冬期(12, 1, 2月)のデータである。

全期間で見ると、波向はNNW~Wに広範囲に存在しており、南西向きの沿岸漂砂が生じるNNW~NWの頻度が若干高い (図-4上図)。次に、夏期と冬期を比較すると、夏期は比較的静穏で波向きはNNWが若干突出しているがN~Wからほぼ均等に来襲している (図-4中

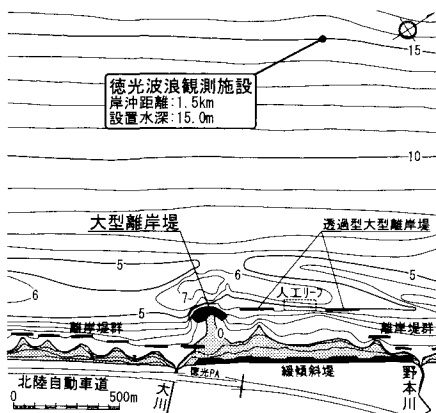
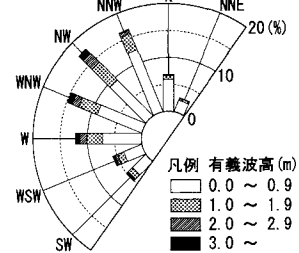
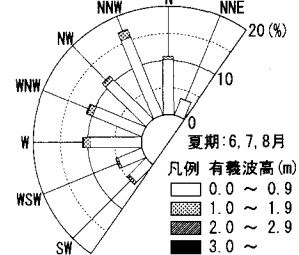


図-3 徳光波浪観測施設位置図

観測期間: 1995. 1. 1 ~ 2003. 12. 31 (全期間)
欠測率: 12.5%



観測期間: 1995. 1. 1 ~ 2003. 12. 31 (夏期)
欠測率: 0.7%



観測期間: 1995. 1. 1 ~ 2003. 12. 31 (冬期)
欠測率: 27.9%

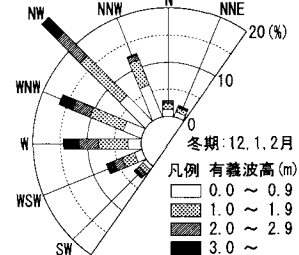


図-4 波向別波高出現頻度分布

図)。一方、冬期は主に冬期風浪に起因するもっと西寄りの波が卓越し、有義波高も1 m以下の出現頻度が約30%に対して3 m以上の高波が10%以上を占めている (図-4下図)。このときの卓越波向はNWをピークとしてW側に偏っていることから沿岸漂砂の卓越方向は北東向きに逆転する割合が多くなる。

図-5に徳光観測所での最大有義波高および有義波周期の経年変化と冬期の代表的な波高時系列を示す。なお、左軸が最大有義波高、右軸が有義波周期、空白箇所は欠測である。同図によると、観測期間中に有義波高が4 m以上となる時期は主に12月から2月にかけてであり、有義波周期は平均的に10~12 s程度である。冬期風浪に起因する高波の継続時間は一時化で数日続き、一冬に数回来襲するのが特徴である。

図-3の等深線に着目すると武藤ら(1992)が指摘しているように沿岸流の蛇行によるものと推定されるバー・トラフ (バー頂部水深5 m) の沖側への突出が認められ、さらに大型離岸堤前面のトラフ底部水深が7 m程度と

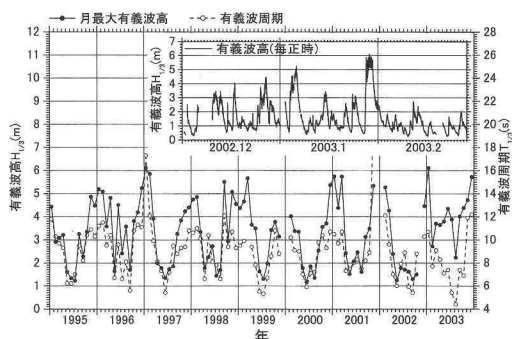


図-5 徳光観測所における有義波高の経年変化

周辺と比較して1 m程度深くなっている。これは、パー・トラフの沖向きへの移動とともに大型離岸堤沖側の重複波の形成に起因する局所洗掘の影響も加わっている可能性がある。このような水深5 m以深での大規模な地形変化は主に高波浪が継続的に来襲する冬期に生じている。

4. 空中写真による汀線変化の解析

大型離岸堤建設前の1997年1月撮影、大型離岸堤建設中の2000年3月撮影および完成後約1.5年経過した2003年3月撮影の空中写真を写真-1に示す。なお、図中の2003年3月撮影空中写真には、大型離岸堤の南側端部と離岸堤開口部の汀線後退位置とを結んだ補助線と1997年1月撮影時の汀線形状を追加してある。この線は卓越波向NWに対して時計回りに約45°の角度をなす。

写真-1の2003年3月撮影によると大型離岸堤の北側に設置されている同程度の堤長を有する従来型の透過型大型離岸堤と比較して、その背後に大規模なトンボロ地形が発達していることがわかる。このような堆砂は離岸堤周辺の底質が移動して生じたものである。また、その移動に伴う顕著な汀線後退位置はほぼ大型離岸堤の南側端部から卓越波向NWに対して時計回りに約45°の位置に発生しており、これは従来から言われている鍵型防波堤背後に生じる片トンボロ現象による堆砂と最大汀線後退位置は防波堤先端から40~55°という侵食パターン(田中, 1977)と類似している。一方、大型離岸堤と比較して透過型大型離岸堤(天端幅6 m, 天端高T.P.+2.7 m, 堤長200 m)は舌状砂州、高波浪時の流れの発生が顕著となる人工リーフ(天端幅50 m, 天端高T.P.-1.5 m, 堤長200 m)の背後は比較的緩やかな汀線形状といった構造タイプ別の特徴的な安定汀線形状を維持している。

次に、空中写真の汀線判読による汀線形状の変化および砂浜面積の基準年変化をそれぞれ図-6および図-7に示す。なお、砂浜面積の変化は汀線後退が生じている沿岸方向距離0~250 m間、堆砂傾向である250~1000 m間、全区間の3種類について1997年を基準とした各年の

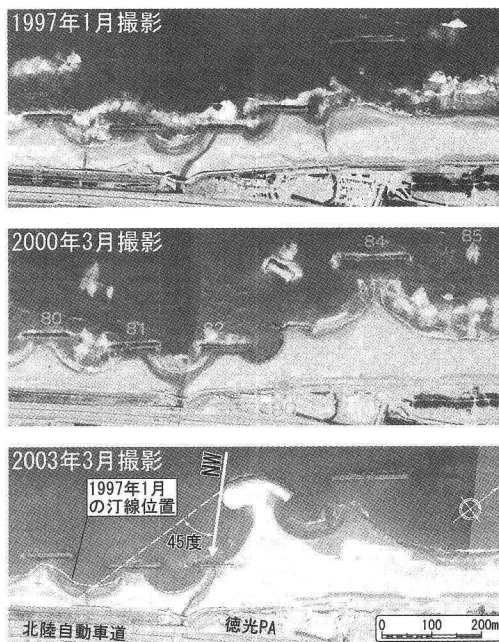


写真-1 大型離岸堤周辺の空中写真比較

汀線と護岸線とに囲まれた正味の面積変化である。

図-6によると大型離岸堤の南側端部から卓越波向NWに対して時計回りに約45°に位置する離岸堤開口部から南側は最大30 m程度汀線が後退している。また、透過型大型離岸堤のほぼ中央を中心に対称に形成されていた舌状砂州が、隣接する大型離岸堤に引き寄せられるように非対称に変形している一方、人工リーフ背後の汀線はほぼ安定していることがわかる。一般的には大規模な構造物の設置により沿岸漂砂を遮断した場合にはその堆積量に見合った侵食が構造物近傍から漂砂の下手に拡大していくが、既設離岸堤の侵食防止効果と高波浪時における大型離岸堤周辺の活発な漂砂の捕捉によるトンボロの形成安定化により沿岸方向距離250~1000 m間の正味の砂浜面積は増大している(図-7)。しかし、沿岸距離0~250 m間に着目すると特に既設離岸堤の開口部において大型離岸堤の影響と考えられる砂浜面積の減少が生じており、既往調査による沿岸漂砂の卓越方向が南西向きであることを考慮すると下手側にその影響が伝播していくことが懸念されるため今後の動向に注意する必要がある。また、2003年3月時点で若干砂浜面積が減少しているが、1997年1月撮影時との比較であるため2月の冬期風浪の影響が入っているものと考えられる。

5. 深浅測量による海浜地形変化の検討

(1) 大型離岸堤近傍の地形変化

大型離岸堤完成直後の2000年11月からその2年3ヶ

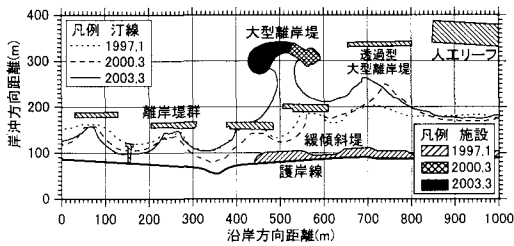


図-6 汀線形状の変化

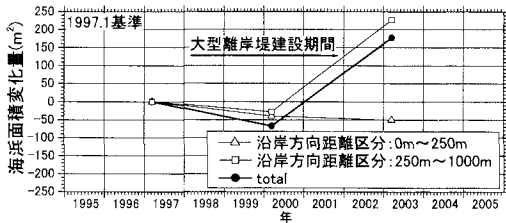


図-7 砂浜面積の経年変化

月後の2003年2月における大型離岸堤周辺の海浜断面地形比較と等深線比較をそれぞれ図-8, 図-9に示す。なお、2003年2月時の測線位置は図-9の図中に示してあるNo. 1~No. 10のみであるため、等深線比較はこの狭域での比較である。

これらによると、2001年11月には既に大型離岸堤背後に堆砂が生じておりその後浜高は1~2m程度である。その2年3ヶ月後においてはその背後の堆砂はほぼ飽和収束している一方、大型離岸堤と透過型大型離岸堤の開口部と大型離岸堤沖側においてはさらに堆砂が生じているが、この堆砂域のさらに沖合水深約7m付近を境界にトラフ形成に伴う侵食に転じている(図-8)。また、この堆砂は大型離岸堤直前面の全域で生じており、比較時期が冬期風浪の影響を受ける前後の11月と2月とはあるが、法先水深5m以上が水深2~3m程度まで浅くなっていることから反射に伴う洗掘は生じておらず堤体安定性の観点からは有利な状況といえる(図-9)。

(2) 長期的なバー・トラフ地形の変動

長期的な周辺への影響を把握するために定期深浅測量に基づく海浜断面地形変化を図-10に示す。なお、図中にはバー・頂部位置の変化を矢印で示してある。同図によると、バーの形成と発達、沖への移動と消失といった大規模な地形変動が沖合1000m程度(水深約9~10m)まで生じていることがわかる。一方、離岸堤背後は比較的地形変動が小さく、現時点では離岸堤の存在により背後海浜の安定状況は維持されていることがわかる。

測線 No. 83 におけるバー・トラフ岸沖距離とそれぞれバー・頂部水深およびトラフ底部水深の経年変化を示したものが図-11である。なお、岸側と沖側で明瞭に2つの

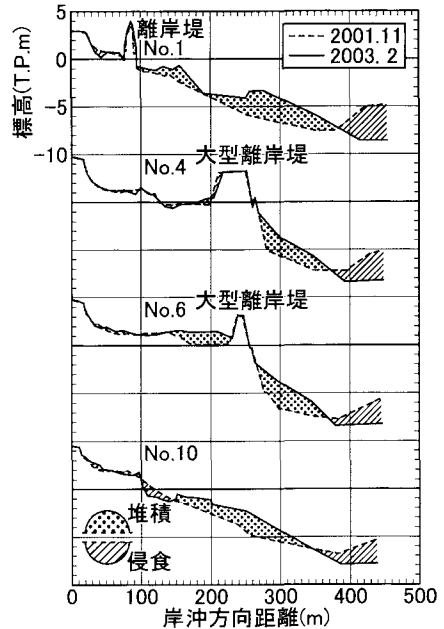


図-8 大型離岸堤周辺の海浜断面地形比較

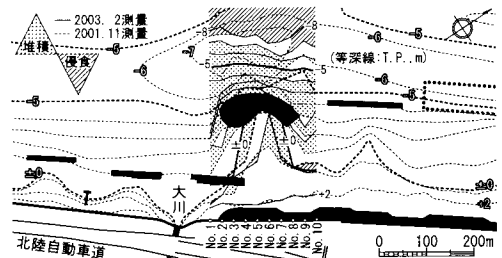


図-9 大型離岸堤周辺の等深線比較

バー・トラフが確認できた場合のみ岸側のデータをプロットしている。図-11によると1987年の沖合250m付近にバー・頂部水深3m程度のバーが形成された後、バー・トラフは発達しながら徐々に沖向きに移動する。1992年以降は沖合100~200m間に規模の小さなバー・トラフが形成されるとともに沖合へ移動したバー・トラフはやや扁平化し、縮小している。再び沖合250m付近にバーが形成されて沖向きに移動する。このような地形変動は10~15年のオーダーを1サイクルとして生じていたものと推定される。大型離岸堤背後の堆砂は冬期に生じるこのような大規模な地形変動に伴って生じる岸沖漂砂を効率良く捕捉しているものと推定できる。

次に、1980年を基準とした各測線の海浜地形断面面積の経年変化を図-12に示す。なお、断面面積変化は岸沖距離0~1000m区間を沖合消波施設を境界として区分し算出した。同図によると離岸堤背後はほぼ安定傾向にあるが、沖合は全体的に侵食傾向にあり、特に測線 No. 83 におい

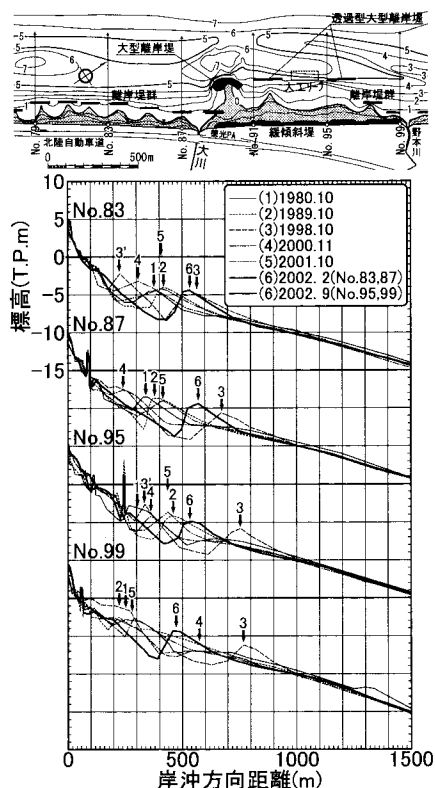


図-10 定期深浅測量による海浜断面地形の経年比較

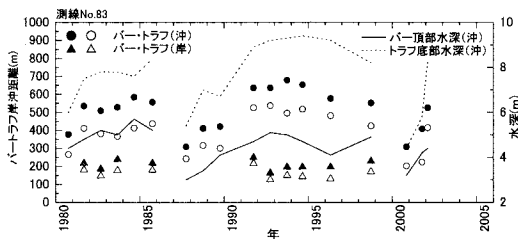


図-11 バー・トラフ位置と水深の経年変化

ては断面積が増加傾向であったが、大型離岸堤設置後に減少傾向に転じている。

6. まとめ

石川海岸徳光地先の不透過型大型離岸堤の堆砂効果と周辺への影響を空中写真および深浅測量による地形変化に基づいて検討した。その結果、以下のことが明らかに

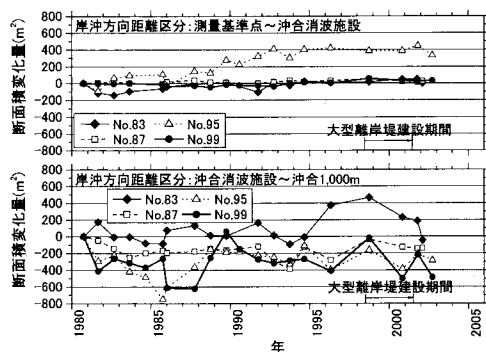


図-12 海浜地形断面積の経年変化

なった。

- ・不透過型大型離岸堤は従来型の透過型離岸堤と比較してその堆砂効果は高い。
- ・大規模なトンボロ地形は10～15年のオーダーを1サイクルとする沖側の大規模な地形変動に伴う岸沖漂砂の効率的な捕捉と離岸堤周辺の底質が移動して生じたものであり、その移動に伴う顕著な汀線後退位置はほぼ大型離岸堤の南側端部から卓越波向NWに対して時計回りに約45°の位置に発生している。これは従来から言われている鍵型防波堤背後に生じる片トンボロ現象による堆砂と最大汀線後退位置は防波堤先端から40～55°という侵食パターン(田中, 1977)と類似している。
- ・堤体周辺は堆砂傾向にあり安定性が確保されているが、今後下手侵食の動向に注意する必要がある。

参考文献

- 宇多高明・芹沢真澄・吉池 鋼・三波俊郎 (2002): 石川海岸の地形学的変化と手取川河口デルタの変形, 海洋開発論文集, 第18巻, pp. 485-490.
- 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道 (1996): 石川海岸の沖合における漂砂機構, 海工論文集, 第43巻, pp. 551-555.
- 田中茂信・佐藤慎司・川岸眞一・石川俊之・山本吉道・浅野 剛 (1997): 石川海岸における漂砂機構, 海工論文集, 第44巻, pp. 661-665.
- 田中則男 (1977): 港湾周辺における地形変化の典型的パターンについて, 第24回海講論文集, pp. 190-194.
- 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, 海工論文集, 第39巻, pp. 446-450.