

タンデム型人工リーフにおける海岸保全効果

佐藤正勝*・斉藤好生*・吉澤 裕**

海岸保全工法の一つである人工リーフは当初考えられた台形状（一般型）から、タンデム型、トラップ式など波浪エネルギーを鉛直的に変形させる形状へと変化している。胆振海岸の苫小牧工区では3基の人工リーフのうち、1基目は一般型、2基目、3基目をタンデム型で築造し2004年に完成した。タンデム型の採用にあたっては人工リーフの二次元水理模型実験を行っているが、断面鉛直方向への波浪エネルギーの分散や、打ち込み水塊などによる海浜流発生等による影響までは把握できていない。本研究は、これらの影響を実測の波浪観測結果と地形測量から解明し、タンデム型人工リーフによる前浜の安定効果を明らかにする。

1. はじめに

太平洋に面して緩やかな弧状の海岸線を持つ胆振海岸では、侵食が激しいため1985年より面的防護対策として、人工リーフと緩傾斜護岸による海岸保全施設整備を行っている。このうち、人工リーフは碎波帯沖の波浪エネルギーが海岸に直接作用しないように常時波浪碎波帯沖のTP-7mに築造している。

人工リーフの築造水深が深いため工費が嵩み、計画している人工リーフの完成までには長期間の年数を要することから、人工リーフの断面形状を一般型からタンデム型に変更するなどして工事費の縮減を図っている。

タンデム型人工リーフは反射率が小さく堤脚の洗掘が小さいことから洗掘防止用のアスファルトマットなどの基礎や堤体変形に伴う維持補修が少ないと考え断面を決めた経緯がある。タンデム型は二次元水理模型実験において一般型に比較し、波高伝達率で等価な断面としているが、断面直角方向への波浪エネルギーの分散や、打ち込み水塊などによる海浜流発生等は把握できていない。

今回、人工リーフ周辺における実測の波浪観測結果を用いて前浜の安定効果に対する実際の寄与度を評価すると共に、地形測量等によりタンデム型人工リーフの海岸

保全効果の評価を試みた。

2. 人工リーフ築造箇所及び人工リーフ形状

直轄胆振海岸の海岸保全施設としての人工リーフは一般型と称する台形状及びタンデム型と称する台形を二列並べた形状の二種類が築造されている。

胆振海岸の朔望平均満潮位はTP+0.75m、朔望平均干潮位はTP-0.78mであり、一般型人工リーフ天端高は図-2に示すようにTP-0.8m、タンデム型人工リーフは反射波による堤脚洗掘低減を図るため、図-3のように沖側天端TP-2m、陸側天端は碎波機能を考慮しTP-0.8mとしている。

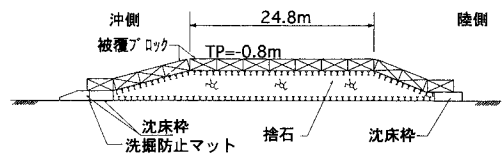


図-2 一般型人工リーフ断面形状

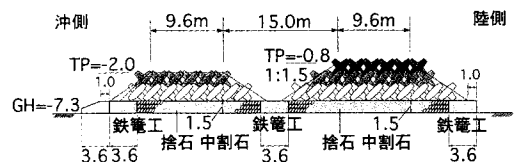


図-3 タンデム型人工リーフ断面形状

3. 調査内容

(1) 調査・観測箇所及び時期

調査及び観測箇所は苫小牧市元町地先の人工リーフ築造箇所であって図-4の人工リーフを含むTP-10m〜護岸までを人工リーフ着工前の1990年、築造後の1997年、1999年、2000年、2001年、2002年、2003年の7回横断測量を行っている。

図-5の1基目の人工リーフ中央沖側150m位置およ

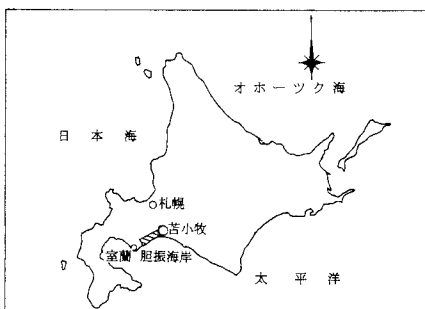


図-1 胆振海岸位置図

* 北海道開発局室蘭開発建設部治水課
** 正会員 東海大学 海洋学部 海洋土木工学科講師

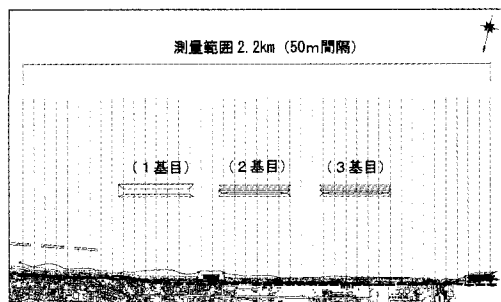


図-4 横断測量範囲 (元町地先)

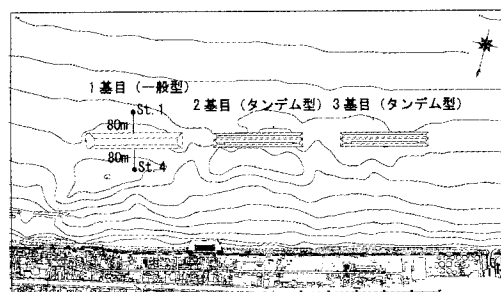


図-5 一般型人工リーフ観測箇所 (元町地先)

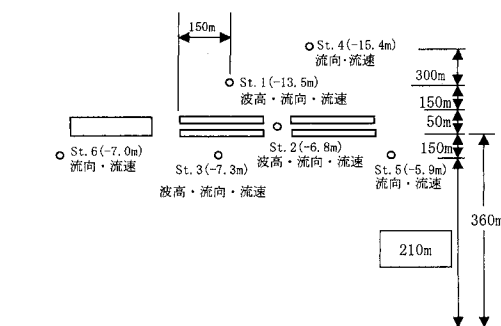


図-6 タンデム型人工リーフ観測箇所 (元町地先)

び陸側 150 m の位置で 1999 年 9 月 17 日から 11 月 4 日に一般型人工リーフ周辺の波浪観測を行い、図-6 に示す人工リーフ中央位置の沖側 150 m の TP.-13.5 m、及び陸側 150 m の TP.-7.3 m の位置で 2003 年 9 月 18 日から 11 月 20 日までタンデム型人工リーフ周辺において波浪観測を行った。

1999 年 9 月当時は人工リーフは一般型 1 基が完成し、2 基目のタンデム型人工リーフが延長 240 m 築造中における観測である。2003 年 9 月時点では人工リーフ 3 基目がほぼ完成し図-6 の配置での観測である。

(2) 調査観測内容

横断測量は図-4 に示す人工リーフ 3 基を中心とする 2.2 km を 50 m 間隔で行い、波高観測は超音波波高計で

0.1 秒毎に測得した。

4. 調査結果

(1) 人工リーフ築造後の海浜地形変化

胆振海岸苫小牧市元町地先では、人工リーフの 1 基目を 1990 年度に着手してから 2004 年 3 月で 3 基目が完成している。1 基目 (1989~1995 年) は一般型で、2 基目 (1996~1999 年)、3 基目 (2000~2004 年) はタンデム型で施工を行っている。人工リーフの陸側断面地形図-7 に示すように定義し、横断測量結果より一般型人工リーフ及びタンデム型人工リーフ陸側海浜における一次変化水深、浜頂、海浜幅を人工リーフ中央と平均値で求め図-8、図-9、図-10 に示す。

人工リーフ 3 基完成後の 2003 年までの人工リーフ背後の地形変化で特徴的なことは、図-8 に示す一次変化水深が人工リーフ築造前の TP.-2.4 m~-2.6 m に比較し人工リーフ築造後 TP.-1 m~-1.3 m と浅くなっている。その変化要因は波高の減衰および海浜流速の低下と考えられる。

波高は一次変化水深 h の 0.78 倍が砂浜に作用する波高と考えられ、平均海面において概ね前浜には人工リーフ築造前の波高 $H=2.5$ m から築造後波高 $H=1$ m 前後の波浪が作用するようになったと推察される。

一般型の背後における前浜幅 (図-9) は築造前 18 m 存在していたが人工リーフ築造後では 28 m 程度と幅広くなり、3 基目が築造され延長がのびるにつれ砂浜幅が 32 m と現在安定しているようである。タンデム型人工リーフ背後の直立護岸堤脚では築造前砂浜幅が 20 m 程度であったものが築造後徐々に幅を広げ 2003 年において 26 m と幅広くなっているがまだ安定していない。

この現象は後述する人工リーフによる波浪減衰効果と図-11 に示すように図-6 の St. 3 と St. 1 との沿岸平行方向流速比が 1.0 以下の出現回数が 61% を占めるようになってきていることから、人工リーフにより海浜流が抑制されていた効果によるものと考えられる。

このようなことから、前浜に作用する波浪エネルギーが低減され海浜流速が抑制され沿岸漂砂量が小さくなり前浜の侵食量が少なくなった結果、図-9 に見るように前浜の砂浜幅が安定している。

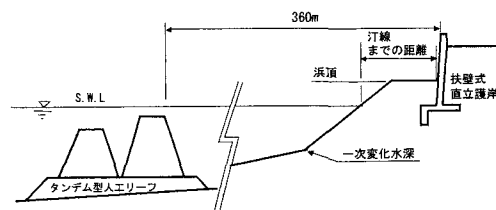


図-7 海浜地形の定義

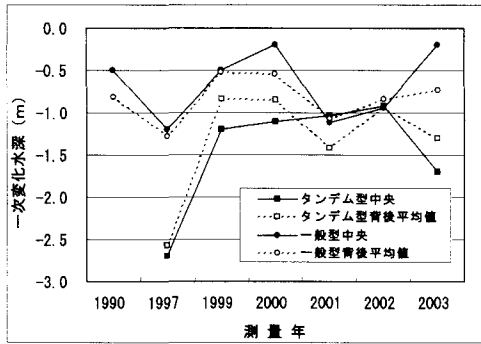


図-8 人工リーフ陸側の一次変化水深経年変化

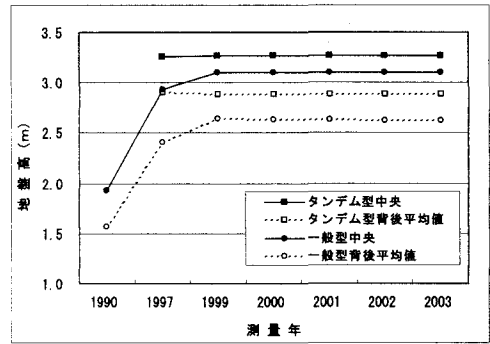


図-10 人工リーフ陸側の浜頂経年変化

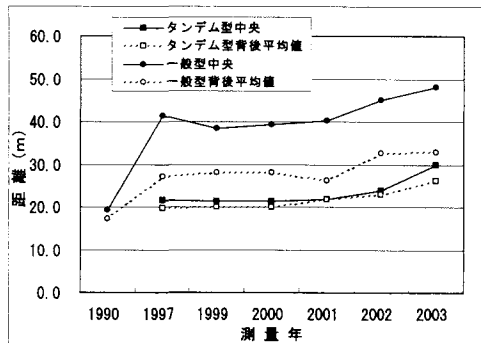


図-9 人工リーフ陸側の海浜幅経年変化

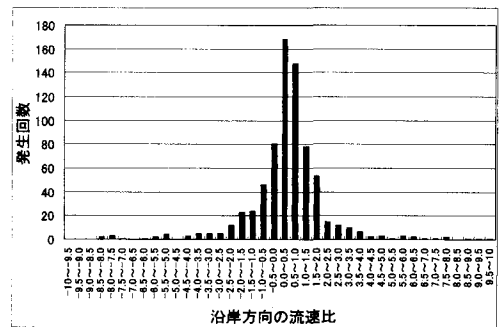


図-11 St. 3 と St. 1 との流速比の出現回数

さらに、人工リーフにより波浪が制御され波形勾配が小さくなり打ち上げ高が安定するため浜頂の平均値は図-10に示すように一般型人工リーフ背後でTP.+2.6m、タンデム型人工リーフでTP.+2.9mと安定している。

タンデム型背後の浜頂は人工リーフ着工以前に測量を行っていないので、一般型をみると元々観測値がTP.+1.6mあったものが+2.8mに変化したものか、当初から+2.8mであって安定しているか判断できないが、浜頂が高いことは進行して来る波浪の周期が大きいと推察され、一般型に比較しタンデム型の周期変化特性が異なっているものと考えられる。

(2) 人工リーフによる波浪減衰効果

人工リーフの所要波高伝達率は砂浜の安定に対して堀川らの海浜安定図(二次元)より季別波浪エネルギー最大波高($H_0=2.5\text{ m}$, $T_0=6.5\text{ s}$, $H_0/L_0=0.038$)に対して $K_t=0.39$ とした。

現地観測における波高伝達率 K_t の算出は浜口らが新潟海岸で行った方法と同様に人工リーフ沖側と陸側水域における観測地点での波高比をとする。

$$K_t = H/H_{in} \dots\dots\dots (1)$$

今回の観測では人工リーフから150m沖側のSt.1と

人工リーフから150m陸側のSt.3との波高を比較するのであるが、St.1とSt.3との距離が350mと離れていることから、周期差が0.1秒以内の波高の比を採用する。

一般型及びタンデム型の波高伝達率 K_t は観測によると図-12に示す結果が得られた。人工リーフの波高伝達率の特徴として波形勾配が小さいと K_t が大きくなる傾向がみられる。砕波帯沖の波浪エネルギーは概ね60%程度人工リーフにより減衰し、直立護岸堤脚に前浜が形成されている。

一般型人工リーフの波高伝達率がタンデム型人工リーフのそれよりも大きくなる傾向があるが、これは一般型が人工リーフから80mでの観測値であるのに対して、タンデム型は人工リーフから150mの位置での観測値であるため開口部からの影響が大きい結果と解釈される。

図-12の波高伝達率は堤頭部及び開口部からの回折波の影響を受けており、二次元水理模型実験の波高伝達率とは異なる。

開口部からの回折波の影響は人工リーフ堤長300m、開口幅150m、開口部の透過率 K_c を $K_c=0.8$ 、二次元水理模型実験による人工リーフ波高伝達率 K_t を0.39とすると次式で表すことが出来る。

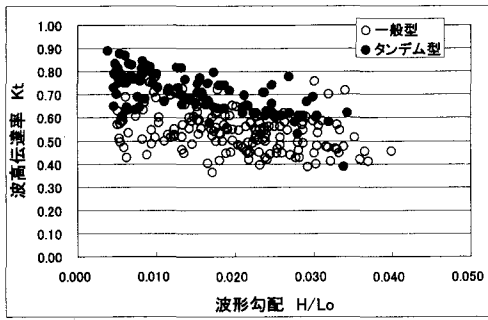


図-12 人工リーフ波高伝達率と波形勾配の関係

$$\sqrt{\frac{300}{300+150} \times 0.39^2 + \frac{150}{300+150} \times 0.8^2} = \sqrt{0.1014 + 0.2133} = 0.56 \quad \dots\dots\dots (2)$$

季別波浪エネルギー最大波に対して波高伝達率 $K_t = 0.39$ 程度になるような人工リーフ断面を二次元水理模型実験により決定してきたが、開口部からの波浪の影響を考慮した三次元の現象では、概ね $K_t = 0.6$ 程度となる。

一方、波形勾配 0.03 の時、図-12 より $H_{in}/H_{out} = 0.65$ より K_t を求めると

$$\left. \begin{aligned} &\sqrt{\frac{300}{300+150} K_t^2 + \frac{150}{300+150} \times 0.8^2} = 0.65 \\ &\sqrt{0.6667 K_t^2 + 0.2133} = 0.65 \\ &K_t^2 = 0.314 \\ &K_t = 0.56 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

程度となり、二次元水理模型実験と比較し、波高伝達率 K_t は同値となる。

5. 海岸保全効果

人工リーフによる海岸保全効果として、護岸前浜の侵食防止、沿岸漂砂捕捉、堤脚地盤高の安定による越波量の低減、打ち上げ高の低減が直接的な効果として現れる。

(1) 打ち上げ高の低下

一次変化水深は比較的安定し TP.-1m で、海底勾配はタンDEM型人工リーフ中央 (SP.620.9) における横断地形図 (図-13 参照) より TP.-5m ~ TP.-1m までの勾配として海底勾配 $i = 1/50 (= 4/200)$ とする。前浜幅は 25m で堤脚地盤高は TP.+2.6m で、護岸断面は表法勾配 1:0.5 の扶壁式直立護岸 (天端高 TP.+5.0m) とすると、開口部を考慮した人工リーフ透過後波浪伝達率 K_t を $K_t = 0.56$ として仮定勾配法による設計波浪 ($H_0 = 9.2$ m, $T_0 = 14$ s) の打ち上げ高さは TP.+4.5m と推算され、人工リーフ築造時の堤脚 TP.±0m で推算された打ち上げ高 TP.+5.3m に比較し 0.8m 低下し、現況護岸天端高 TP.+5.0m 以下となる。

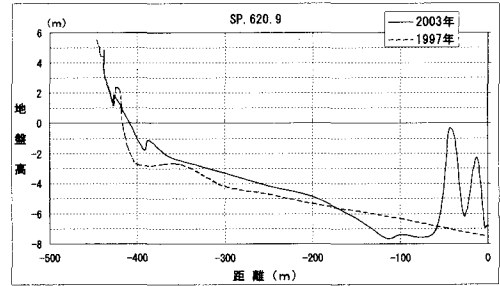


図-13 タンDEM型人工リーフ中央における横断海底地形 (1997・2003年測量)

6. ま と め

胆振海岸の人工リーフは従前の海岸保全効果に加え、自然海浜が少ないことから高波浪時における砕波帯内の海底地盤の侵食を防止するため、高波浪時の砕波水深の TP.-7m 付近に人工リーフを築造する計画にした。

今回、タンDEM型人工リーフの二次元水理模型実験で検討できなかった前浜形成への人工リーフの効果を横断測量等により、前浜地形の安定から一般型人工リーフと遜色無いことを把握した。

しかし、図-8 の一次変化水深は 2002 年までは比較的安定していたが 2003 年の測量結果によると一般型人工リーフ背後では浅くなり、タンDEM型背後の平均値で深くなっている。この傾向が今後とも続くのか否か、この要因は現時点で把握できていないので今年度の測量結果より土砂収支を求め検討することとしている。

胆振海岸では水深 15m 付近に常に沖に向かう流れが有る箇所が観測されており、海浜離岸流がこのような箇所では流れを助長され波浪により海底砂が移動しない水深まで砕波帯内の海底砂を運んでいる現象も考えられることから、今後は、人工リーフの効果を砕波帯内における海底地盤の侵食と結びつけ検討していく。

参 考 文 献

- 海岸保全施設築造基準連絡協議会 (1987): 改訂海岸保全施設築造基準解説, pp. 216.
- 浜口達男・宇多高明・井上 力・五十嵐晃・中山 修 (1988): 人工リーフの波浪制御効果に関する現地実験, 第 35 回海講演文集, pp. 128-132.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による 2 次元汀線変化に関する一考察, 第 22 回海講演文集, pp. 329-334.
- 安田孝志・陸田秀実・大屋敦嗣・多田彰秀・福本 正 (1997): トラップ式ダブルリーフの消波機能およびセットアップの抑制効果について, 海工論文集, 第 44 巻, pp. 761-765.
- Krystian, W. P., B. Z. Ryszard (1996): OFFSHORE BREAKWATERS AND SHORE EVOLUTION CONTROL, pp. 484-485.