新潟海岸金衛町エ区における ふた山型人エリーフの水理特性

小林 豪毅1・小山 英夫2・阿部 翔太3・高木 利光4

 ¹正会員 八千代エンジニヤリング(株) 河川部(〒111-8648東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー) E-mail:hdt-kobayashi@yachiyo-eng.co.jp
²前北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 海岸課(〒951-8153 新潟県新潟市中央区文京町14-13) E-mail:koyama-h848s@mlit.go.jp
³正会員 八千代エンジニヤリング(株) 河川部(〒111-8648東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー) E-mail:sh-abe@yachiyo-eng.co.jp
⁴フェロー会員 八千代エンジニヤリング(株) 河川部(〒111-8648東京都台東区浅草橋5-20-8 CSタワー) E-mail:ts-takagi@yachiyo-eng.co.jp

ふた山型人工リーフの水理特性について,現地観測データを基に検討を行った.人工リーフの基本性能 である波浪低減効果を評価したところ,換算沖波波高4m以上の波に対して波高伝達率0.5未満であった. 水位上昇量は通常の人工リーフの断面実験結果の1/4~1/3であり,ふた山型人工リーフが防護上必要な機 能を有していることが確認された.人工リーフ背後の流況は入射波高によって変化し,高波浪時は砕波に 伴うサーフェスローラーの補償流として沖向きの流れが発生する.また,ADCPの反射強度から高波浪時 には海底の土砂が巻き上げられていると推定される.これらの結果から,人工リーフの整備途中で生じた 人工リーフ背後での洗掘は,高波浪時に巻き上げられた土砂が沖向きの流れで未施工区間から流出したこ とが原因と考えられる.

Key Words : bimodal aitificial reef, wave breaking, surface roller, undertow, ADCP

1. はじめに

新潟海岸金衛町工区は、防波堤整備による沿岸漂砂の 遮断、河川整備による土砂供給量の減少、地盤沈下によ り海岸侵食が進行したため、新潟県により離岸堤、突堤 等が整備されてきた.さらに平成19年度からは直轄事業 としてヘッドランド、人工リーフ等の整備が進められて いる.金衛町工区の海岸保全施設の特徴の一つは、沖合 施設としてふた山型人工リーフを採用していることであ る.ふた山型人工リーフの形状は水理模型実験¹⁰を基に 決定され、図-1のように人工リーフを2列配置するとと もに、沖側リーフに開口部を設けた形状となっている.

金衛町第2工区のふた山型人工リーフは平成28年度に 完成し、その効果を調べるために平成30年度に現地観測 が行われた.ふた山型人工リーフとヘッドランドを組み 合わせた海岸保全施設は全国で初めての事例であり、そ の性能を評価することは、今後、第1工区および第3工区 の整備を進める上でも重要である.本研究では、波浪・ 流況の現地観測データを基に、ふた山型人工リーフの水 理特性について検討する.



図-1 新潟海岸金衛町工区のふた山型人工リーフ

2. 現地観測の概要

(1) 観測機器および設置地点

観測には7台の波浪・流速計(アイオーテクニック社製 WAVE HUNTER), 1台のADCP(Nortek社製Aquadop Profiler), 3台の電磁流速計(JFEアドバンテック社製Infinity-EM)を用 いた. それぞれの設置地点を図-2に示す(色の違いは水 深を表す). 金衛町工区への入射波を観測するため,沖 側の水深10m地点(St.1)に波浪・流速計を設置した. その 他の機器は、ふた山型人工リーフによる水理現象を把握 するため、人工リーフより岸側に設置した.また、人工 リーフ背後の洗掘に関連していると考えられる流れの鉛 直構造と浮遊砂状況を確認するため、洗掘の顕著な地点 (St.8)にADCPを設置し、流れの鉛直分布および反射強度 を計測した.

(2) 観測期間中の海象

現地観測は冬季風浪を対象とし、2018年11月21日から 2019年1月12日までの53日間行った. 観測期間中のSt.1, St.3, St.6における有義波高,有義波周期および平均水位 を図-3に示す. なお、平均水位は静穏日(有義波高0.5m 未満の日)の平均値を0としてプロットしている. 12月28 ~30日は冬型の気圧配置が強まり沖側のSt.1において有 義波高3m以上の高波浪が継続した. 観測期間中最大の 入射波は有義波高4.34m,有義波周期9.7s,波向NWであ った(2018年12月29日4時). 図-4に観測期間中のSt.1にお ける波向の出現頻度を示す. 観測期間中の波向はNNW ~NWがほとんどであり、NNWの出現頻度が80%以上で あった.





3. ふた山型人工リーフの基本性能

(1) 波高低減効果

現地観測データから、ふた山型人工リーフの波浪低減 効果を評価した.換算沖波波高と波高伝達率の関係を図 -5に示す.波高伝達率は人工リーフ背後の有義波高(St.3, St6)と換算沖波波高(St.1の有義波高を浅水係数で割り戻 して算出)の比で評価した.図中には、「人工リーフ設 計の手引き(改訂版)」²に示されている算定図の読み取り 値もプロットしている(天端幅20mとして算定).金衛町 工区において、防護上必要な人工リーフの性能は、沖波 波高8.0mに対して波高伝達率を0.6未満にすることである ¹.図-5より換算沖波波高4mに対して波高伝達率は0.5程 度である.観測値、算定図ともに、波高が大きいほど波 高伝達率は小さくなる傾向にあることから、ふた山型人 エリーフは防護上必要な波浪低減効果を有していると考 えられる.

(2) 周期低減効果

ふた山型人工リーフの周期低減率を評価した結果を図 -6に示す.横軸は天端水深Rと換算沖波波高Hdの比,縦 軸は透過波周期Tiと入射波周期Toの比である.入射波周 期はSt.1における有義波周期を用い,透過波周期はSt.3, St.6の有義波周期を用いた.図中には、谷本ら³の実験結 果から読み取った平均的な値も算定図としてプロットし ている.今回の観測では人工リーフによる顕著な周期低 減は認められなかった.図-3(b)の12月28~30日の結果 を見ると、St.3で一旦周期が低減するが、St.6で元に戻っ ていることがわかる.このような傾向は仲座ら⁵の実験 でも報告されており、人工リーフ上での波の分裂等によ り一旦乱れた波形が伝播とともに復元したと考えられる.

(3) 水位上昇量

金衛町工区において、ふた山型人工リーフが採用され た理由の一つは、人工リーフ背後の平均水位の上昇を抑 制するためである.ふた山型人工リーフの水位上昇量を 評価した結果を図-7に示す.水位上昇量は沖側のSt.1の 平均水位と人工リーフ背後のSt.3、St6の平均水位の差か ら算出した.図中には、宇多ら⁴の断面実験結果の読み 取り値も算定図としてプロットしている.「手引き」² に示されているように、現地での水位上昇量は断面実験 結果の1/2以下となるが、ふた山型人工リーフでは1/4~ 1/3以下であった.今回の観測により、ふた山型人工リ ーフの水位上昇抑制効果が確認された.

(4) 長周期波

天幅幅の広い人工リーフでは、リーフ上で長周期波が 増幅することが報告されている⁹. そこで、ふた山型人 エリーフによる長周期波の変化について検討した. 高波 浪時の周波数スペクトルの例を図-8に示す. 人工リーフ の沖側(St.1)の周波数スペクトルに対して、人工リーフ背 後(St.3, St.6)の周波数スペクトルは全周波数帯でエネル ギーが低減しており、長周期波の増幅は認められない. 図-9に60分間の水圧データから周期30~300sの成分を抽 出して求めたSt.1, St.3, St.6の長周期波高を示す. 長周 期波発達時の長周期波高は人工リーフ沖側のSt.1よりも 人工リーフ背後のSt.3, St.6のほうが小さく、ふた山型人 エリーフによる長周期波の増幅は認められなかった.





4. ふた山型人エリーフ背後の流況

(1) 流況の平面分布

金衛町工区の海岸保全施設はヘッドランドとその開口 部に人工リーフを設置しており、開口部が存在しないこ とが特徴となっている.また、汀線付近には離岸堤が存 在している(図-2).各地点の流向の出現頻度を図-10に示 す(流速0.1m/s以上のデータ).また、図-11に観測期間中 最大の有義波高が生じた時の流況を示す.なお、図-10, 図-11は海底に設置された波浪・流速計および電磁流速 計の観測結果であるため、底層の流況を表している.

人工リーフ中央背後のSt3では、西方向の流れの出現 頻度が高い.これは図-4に示すように、波向NNW(海岸 法線より東寄り)の出現頻度が高いためと考えられる. 次節で述べるが、人工リーフ背後のSt2, St3, St4では、 高波浪時は沖向きの流れが顕著になる.St9, St10, St11では離岸堤の影響が大きく、開口部および両ヘッド ランド基部の開口部から沖へ流出する流れが顕著である.

(2) 入射波高による流況の変化

人工リーフに近いSt2, St3, St4では,入射波高によ る流況の変化が確認された.図-12に人工リーフ沖側の St1の有義波高と,各地点の流向の関係を示す(流速 0.1m/s以上のデータ).St2,St4では入射波高2.5mを境と して流向が明確に変化しており,波高2.5m未満では岸向 き(ただし,St2では沿岸方向流速が顕著),波高2.5m以上 では沖向きとなる.人工リーフ中央背後のSt3ではSt2, St4ほど明確ではないが,入射波高が大きいほど流向は 沖向きとなる.これらの入射波高による流況の違いは人 エリーフ上での砕波現象が原因と考えられる.人工リー フの天端水深は平均潮位時で20mであり,波高2.5m以上



(3) ADCPの観測結果

置して流れの鉛直分布を計測した. 図-13に入射波高と 鉛直方向の流向の分散の関係を示す. 流向の分散は流れ の鉛直構造に関係しており、その値が小さいほど一様流 に近い分布であることを意味している. データのばらつ きは大きいが、入射波高が大きいほど流向の分散が小さ くなる傾向となっている. ADCPの観測結果から、人工 リーフ背後の流れは入射波高が大きいほど一様流に近づ く傾向が確認された.ただし、ADCPは気泡を含むと異 常値となるため、サーフェスローラーのような海面付近 の流れは計測されていない. そのため, 海面付近では流 向が急変している可能性がある.

(c) St.4

図-12 入射波高による流向の変化

流向の分散が大きいケースと小さいケースの岸沖流速 の鉛直分布の例を図-14に示す.流向の分散が大きいケ ースでは、表層と底層で流向が逆になっている.入射波 高が大きいと、全層で沖向きの流れとなっているケース が多い.高波浪時はサーフェスローラーによる岸向きの 質量輸送が大きいため、その下層は全て沖向きの流れに なると考えられる.





今回の観測では濁度計を設置しなかったが、ADCPの 反射強度と浮遊砂濃度の間には相関関係がある(例えば, 横山らり. 浮遊砂濃度の定性的な傾向を把握するために, 入射波高と反射強度の関係を調べた. 図-15に人工リー フ沖側のSt.1における有義波高と人工リーフ背後のSt.8に おける反射強度(海底上2m)の関係を示す.ただし、反射 強度180count以上のデータは飽和している可能性がある ため棄却した. 図-15より, 波高が高まるにつれて浮遊 砂濃度が高くなっており、高波浪時には人工リーフ背後 で土砂の巻き上げ量が増加していると推定される. 同時 に、高波浪時には強い沖向きの流れが生じていることか ら、巻き上げられた土砂は沖側に輸送されることになる. 金衛町第2工区では人工リーフの整備途中に洗掘が生じ たが8,この原因は高波浪時の土砂の巻き上げと沖向き の流れと考えられる.人工リーフ整備後は金衛町第2工 区の海浜は安定傾向であることから⁹,開口部が閉じら れたことにより土砂の流出が低減したと考えられる.

5. 平面2次元計算による検討

ブシネスク方程式モデルによる平面2次元計算を行い (格子間隔5m,時間刻み0.05s),波浪・流況の再現性につ いて検討した.波浪および流況の計算結果を各々図-16, 図-17に示す.図-16のベクトルは波向,図-17のベクト ルは流向を表している.波浪については、ふた山型人工 リーフによる波浪低減が概ね再現されている.流況につ いては、離岸堤を回り込む流れや開口部から流出する流 れは再現されており、離岸堤背後の土砂はこの流れによ りヘッドランド側に寄せられることになる.ただし、人 エリーフの影響が大きいSt2,St3,St4では再現性が低 い.前述のように、人工リーフ近傍ではサーフェスロー ラーの補償流が支配的になっており、このような現象を 平面2次元計算で再現するには限界がある.再現性を高 めるためには、サーフェスローラーによる質量輸送や3 次元性を考慮したモデル¹⁰が必要と考えられる.





図-17 ブシネスク方程式モデルによる流況計算結果

6. おわりに

本研究では,波浪・流況の現地観測データを基に,ふ た山型人工リーフの水理特性について検討を行った.主 要な結論を以下に示す.

- ふた山型人工リーフの波高伝達率は換算沖波波高 4m以上の波に対して0.5未満であり、防護上十分な 波浪低減効果を有している.
- 2) 周期低減については、高波浪時は人工リーフ背後で 一旦周期が低減するものの、その後の伝播過程で元 の周期に戻る現象が見られた。
- 3) ふた山型人工リーフによる水位上昇量は,通常の人 エリーフの断面実験結果の1/3~1/4であり,水位上 昇抑制効果が確認された.
- ふた山型人工リーフによる長周期波の増幅は認められなかった.
- 5) 人工リーフ背後の流況は入射波高によって変化し, 高波浪時は人工リーフ天端でのサーフェスローラー の補償流として沖向きの流れが発生する.
- 流れの鉛直分布も入射波高によって変化し、入射波 高が大きいほど一様な沖向きの流れとなる.
- 7) ブシネスク方程式モデルによる平面2次元計算によ

り波浪変形や離岸堤周辺は流況を再現することがで きた.しかし、人工リーフ近傍の流況は再現性が低 いため、サーフェスローラーの質量輸送や3次元性 を考慮したモデルが必要と考えられる.

参考文献

- 上谷昌史,高井光彦,山田浩次,橋本新:ヘッドランド間の海浜安定化に対する人工リーフの効果について,海岸工学論文集,第55巻,pp.581-585,2008.
- 国土交通省河川局海岸室・国土技術政策総合研究所 海岸研究室監修:人工リーフ設計の手引き(改訂版), 社団法人全国海岸協会,pp.14-19,2004.
- 3) 谷本修志, 宇多高明: サンゴ礁海岸における波,流れ, 地形変化に関する研究, 土木研究所報告, 第181号, pp.85-182, 1990.
- 宇多高明,小俣篤,横山揚久:人工リーフの機能と設 計法,土木研究所資料,第2696号, p.79, 1988.
- 5) 仲座栄三,津嘉山正光,川満康智,竹内理佳,渡真 利尚樹,崎浜秀哉,野村幸士郎:リーフ上伝播波の周 期変化について 一非線形分散波の成分波間エネル ギー授受の観点から一,海岸工学論文集,第 47 巻, pp.731-735, 2000.
- 6) 琴浦毅,関本恒浩,川本秀夫,大村剛,杉原聡,森 屋陽一:大規模な人工リーフにおける長周期波の増幅 特性とその護岸波力への影響,土木学会論文集 B2(海 岸工学), Vol.66, No.1, pp.756-760, 2010.
- 横山勝英,宇野誠高,森下和志,河野史郎:超音波流 速計による浮遊土砂移動量の推定方法,海岸工学論 文集,第49巻,pp.1486-1490,2002.
- 8) 二階堂竜司,山本麗以,宮村佳那,原文宏,青木伸 一,笹倉伸男,森越健二,岡大人:新潟海岸金衛町工 区におけるふた山型人工リーフの波浪低減効果と海 浜安定性の検討,土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, pp.473-478, 2015.
- 二階堂竜司,五十嵐雄介,小山英夫,中園大介,原 文宏,土井康義:新潟海岸金衛町工区におけるヘッド ランドと人工リーフの静的安定化手法の効果分析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.955-960, 2018.
- 田島芳満: 波および Surface Roller による質量輸送を考慮した準三次元海浜流モデルの構築,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.106-110, 2010.

(2019.3.13受付)

HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF BIMODAL ARTIFICIAL REEF AT KINEICHO ON NIIGATA COAST

Hidetaka KOBAYASHI, Hideo KOYAMA, Shota ABE and Toshimitsu TAKAGI

Hydraulic characteristics of a bimodal artificial reef were evaluated by using field observation data. The wave transmission coefficient was less than 0.5 for offshore wave height greater than 4m. The wave setup was less than conventional artificial reefs. It was confirmed that the bimodal artificial reef have the necessary protection performance. Current patterns behind the artificial reef varies with the incident wave height. Undertow velocity is generated by surface rollers of breaking waves when incident waves are high. Also, it was presumed that suspended sediments increase with wave height from backscatter intensities of ADCP. The scouring that occurred during artificial reef construction is thought to have been caused by suspended sediment transport due to undertow through an unbuilt section during high wave periods.