

人工リーフ背後で汀線後退を引起こす向岸流と循環流、その対処方針

野口賢二・諏訪義雄

1. 人工リーフの難しさ

人工リーフは、写真-1のように水深の急変により波を砕いて鎮める。砕波現象を利用するため、波が構造物へ衝突することが無く飛沫の発生が少ない。岸側となる背後では波高が小さくなるために離岸堤と同様の堆砂効果が期待されることがある。さらに、水面下に潜っていることが原則の構造物であり、景観面からも利点がある。設置条件にベストマッチできたことで、穏やかな海岸線と眺望が確保された優れた海岸環境を創出した例もある。このような背景から179km1301基（2013年）¹⁾の人工リーフが設置されてきた。しかし、実際は計画段階に思い描いていた汀線形状とならない事例も生じている。実は、計画・設計が難しい海岸構造物である。

波が人工リーフを通過すると写真-2のように、砕波が生じ人工リーフ背後に乱れた領域が形成される。この過程で、砕波に伴い岸向きの「向岸流」が生じ、これが汀線後退の原因となっている場合がある²⁾。本報では、水理模型実験の結果から不都合な汀線後退の原因を考察し、対処方針を提案する。

2. 背後流況の水理模型実験

人工リーフ背後の水理場は、主に「天端水深」と「離岸距離（汀線からの距離）」によって概

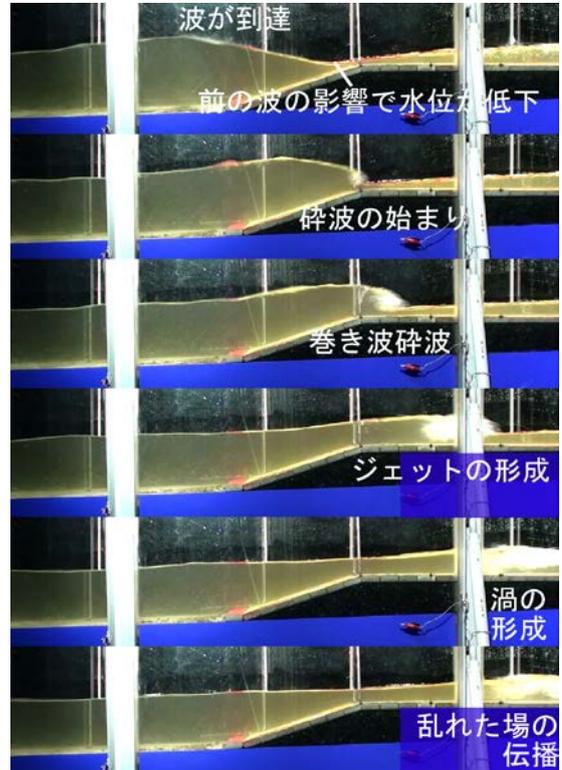


写真-1 人工リーフでの砕波と渦の発生(水路実験)

ね決定付けられる。「天端水深」は、摩擦や渦等の発生による天端上浅水部で生じるエネルギー損失や波の侵入量に影響する。「離岸距離」は、背後の水理場の空間の大きさを決めるので背後の流況に影響する。図-1に示すように、天端水深は静水時から0.01mと0.07mの2種類、離岸距離は3.0m、4.8mと6.6mの3種類として、模型条件I～IVについて実験した。

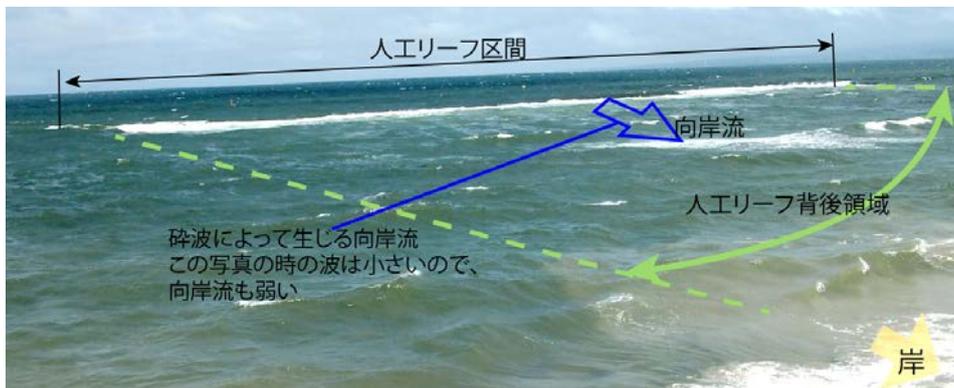


写真-2 人工リーフ上の砕波と背後の乱れた状態（皆生海岸富益工区）

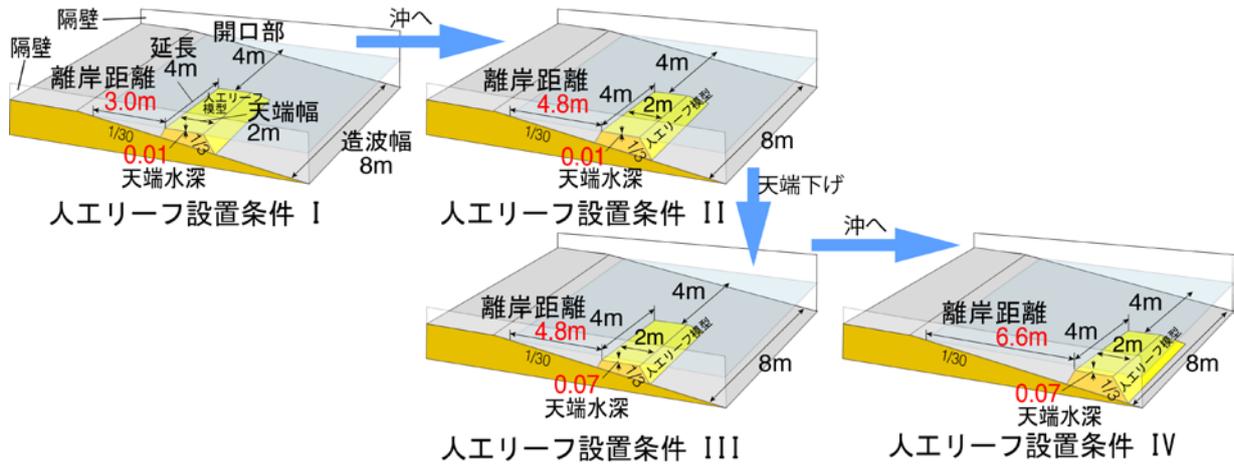


図-1 人工リーフ模型の形状と設置位置、天端水深と実験ケース

また、両側に隔壁を設置していることから開口部が8mで延長が8mの人工リーフのミラー実験である。実験の想定縮尺は、1/25である。なお、実験の詳細は、野口ら³⁾を参照されたい。

波浪条件は、我が国沿岸に來襲する波浪を網羅するように設定した。ただし、周期と波高のそれぞれで造波機の造波能力の限界までとなっている。沿岸の來襲波浪と実験条件の関係を図-2に示す。沿岸の波浪は、海象年表⁴⁾から海域の特徴を代表する3海象観測所を抽出した。各データは、2005年の毎正時の有義波高である。

実験の波浪条件は、☆印で示しており想定縮尺から換算して示した。☆印の中に、波浪条件によるケース番号を示した。

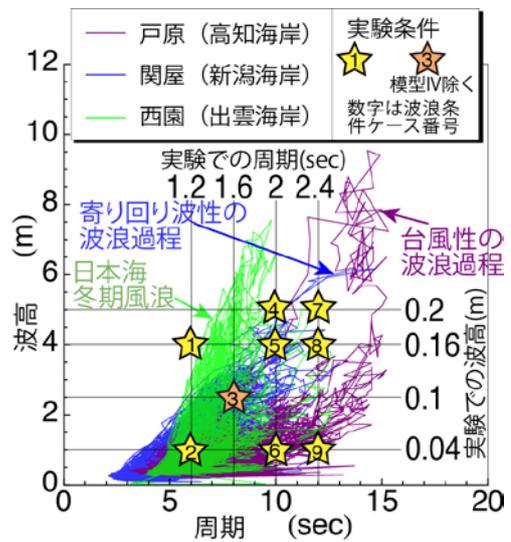


図-2 実験波浪条件と沿岸の波浪（2005年）

3. 実験結果

3.1 人工リーフ背後の流況タイプ

表面を浮遊する浮子（比重0.90程度）と底層を沈降して移動する浮子（比重1.13程度）に対してPTV(粒子追跡流速計)解析を行った。図-3にケース IV-8の流況を例として示す。軌跡は、表層が緑線、底層が橙線である。図で軌跡は2秒毎にプロットされており、流速が速い場合にはプロットの間隔は広がる。天端（黄色の四角）から岸側へ高速な流れが生じている。

下園らは同様の実験から、底層の流況で二つの循環流のバランスが流況を決定付けるとした⁵⁾。下園らにならひPTV解析と動画から流況タイプを図-4の表層と底層で各3種類に分類した。

さらに、表層と底層のタイプを組み合わせると図-5に示す9つの結合タイプを作成した。図には、得られた結合タイプと各タイプが地形変化に与

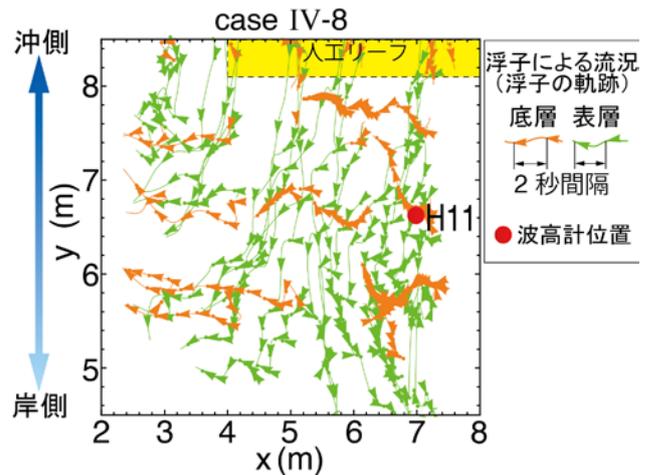


図-3 流況の例（ケースIV-8）

える影響を推測して示した。

図-6に各ケースで得られた結合タイプを示す。今回の実験では、結合タイプbCは確認されなかった。

3.2 汀線保全に有利な流況タイプ

人工リーフ背後の侵食対策に有利となるのは、

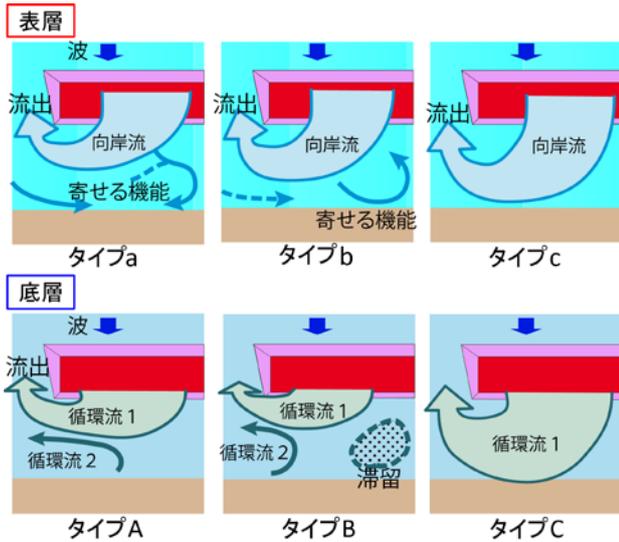


図-4 本実験で確認された流況タイプ

底層タイプで中間側に滞留域があるタイプBと表層タイプで寄せる機能を持つタイプaとbを組み合わせた図-5でのaBとbBである。これらは図-6によると天端水深も波高も小さい場合に見られる。表層の寄せる機能と底層での滞留による相乗効果で、bBが特に有利になると考えられる。

3.3 組み合わせで見た危ない流況タイプ

向岸流は汀線後退が一気に進む要因となるもの²⁾で、表層タイプcが顕著である。このタイプは、図-6で天端水深が小さい模型条件I、IIで波高16cm以上のケースで全て生じている。特に、結合タイプcCは、底層の循環流1も加わり表層から底層まで人工的リーフからの流れが岸に当たる流況となり、海岸線を襲い危険である。

3.4 性能を上げたはずなのに汀線後退はなぜ？

多くの人工リーフ計画が、社会的制約条件から岸側に寄せて設置される。岸側に寄せることの代替として天端の水深を小さく（天端高は高く）して波浪伝達率を下げることで静穏度（消波性能）を確保することが多い。波高伝達率 kt は、透過波高を沖波波高で除したものである⁹⁾。

図-6で波浪条件3、5、8について、実験で得られた kt （図-2中の赤印位置の波高計H11を透過波高とした）を人工リーフの設置条件毎に整理したのが図-7である。この図は、基本位置を沖側として、岸に寄せ、天端を上げて、さらに寄せるという検討の過程として線で結んだ。

沖側配置から岸に近づけたり天端を高くして水深を下げたりすると、波高伝達率は小さくなり改善されるが、反面、流況パターンは次第に

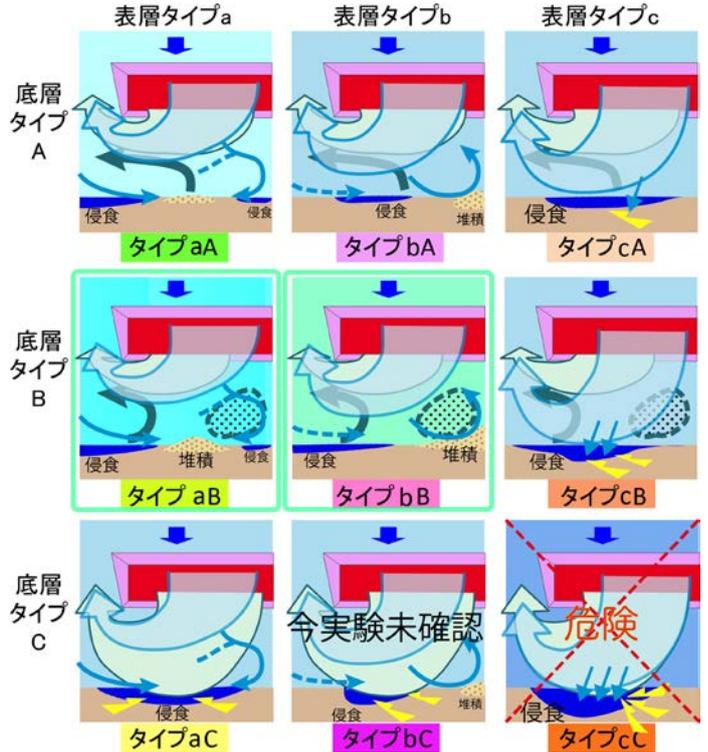


図-5 表層と底層を組合せた結合タイプと地形変化の推測

汀線保全にとって不利なものへと移行する。また、天端水深を浅くすることで、地形変化に有利な流況パターンへ推移したものは無い。こうして天端を上げて効率を上げたつもりが、汀線維持に逆効果となってしまう。

3.5 外力の設定に拘ったのに汀線後退は？

海岸侵食対策を要求性能とする設計でも、何らかの代表波浪を設定している。侵食の傾向やイベント的な侵食などを表現できる波浪を解析し設定することが多い。これは、海岸全体の計画立案に必要な数値である。

しかし、現地に設置されれば図-2に示したように様々な波高・周期の波を受ける。図中右上方の高波浪も毎年生じる。図-6は、流況が潮位や波浪により変化することを示している。地形変化は多様な外力作用の蓄積で進行する現象なので、代表外力だけでなく季節変動や気象イベントを考慮した検討が必要である。

4. 高景観価値の海岸をめざして（まとめ）

人工リーフ検討の対処方針を以下に示す。

- ・通常型人工リーフで天端高さを高くしても、汀線保全に対しての効果は低い。
- ・一つの代表波浪・潮位を用いるのではなく、外力全般を俯瞰して評価する。

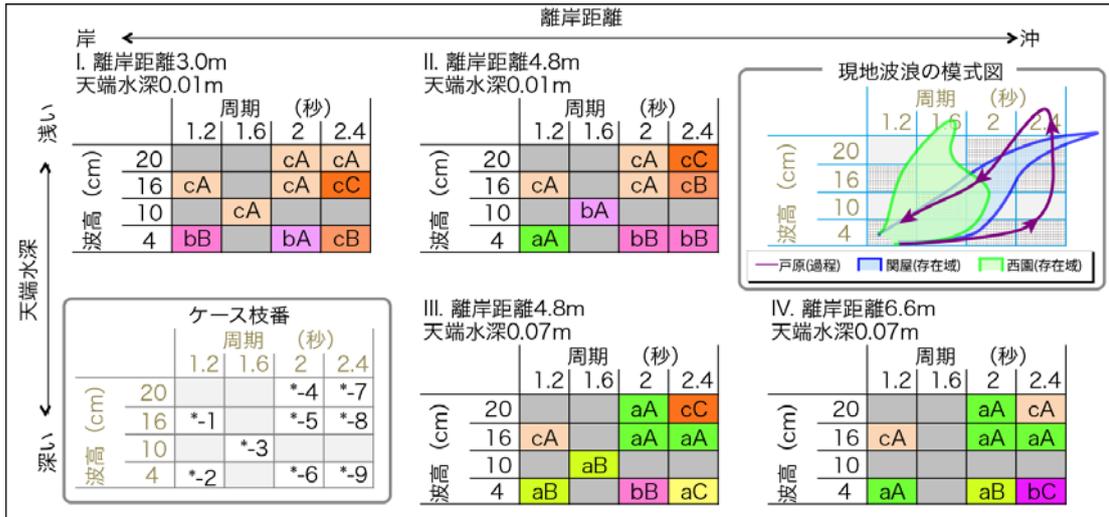


図-6 波浪条件の違いによる流況タイプ

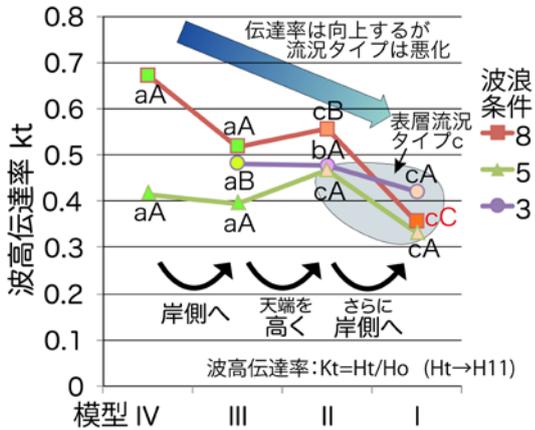


図-7 離岸距離と天端水深による波高伝達率の変化

- ・ 水理模型実験や背後の3次元的な流況を再現できる数値計算等の予測手法で確認する。
- ・ 表層Cまたは底層cで向岸流による被災が危ぶまれる場合には、海岸線の後退を計画に織り込むか例えば浜崖後退防止工等の補助工法を設けて備える。また、天端上で開口部へ逃がして向岸流を小さくする新型形状^{5),7)}の採用も効果が期待できる。
- ・ 波浪条件毎の来襲頻度と流況パターンから最善の人工リーフ諸元を選定する。
- ・ 背後の被災を頻繁に生じる人工リーフは、上記にしたがい天端下げ等を検討する。
- ・ 人工リーフが難しいとなれば、離岸堤を工夫して用い少しでも浜を確保する方向を目指す。人工リーフ周辺の地形変化予測を新たなステージへ進めるには、計画や設計の要求精度を満たす地形変化の数値計算手法が求められる。今実験により検証用データが充実したので、広くモデラー（計算手法開発者）に提供すること

で計算精度向上に期待したい。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局編：平成26年度版海岸統計、253p、2014
- 2) 山本学、宇多高明、石川仁憲、星上幸良、福濱方哉、野口賢二：向岸流の抑制により局所洗掘防止を図る人工リーフの開発、土木学会海岸工学論文集、第54巻、pp.806～810、2007
- 3) 野口賢二、岩佐隆広、二瓶 功、諏訪義雄、鳥居謙一、下園武範、佐藤慎司：波浪等の違いによる人工リーフ背後流況に関する水理模型実験、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.71、No.2、I_763～I_768、2015
- 4) 海象年表(第27回)平成17年：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、2008
- 5) 下園武範、鈴木淳也、佐藤慎司、磯部雅彦：人工リーフ背後における海浜流と漂砂の制御：海岸工学論文集、第51巻、pp.606～610、2004
- 6) 人工リーフの設計の手引き(改訂版)：国土交通省河川局海岸室・国総研海岸研究室監修、全国海岸協会、95p、2006
宇多高明、佐藤慎司、野口賢二、柴崎誠、熊田貴之：水理模型実験によるクレスト型人工リーフの改良検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.69、No.2、I_596～I_600、2013

野口賢二



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 主任研究官
Kenji NOGUCHI

諏訪義雄



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長
Yoshio SUWA