

非対称人工海藻による流れ場の制御

小林智尚*・仲座栄三**・星野 仁***
石塚昭彦****・石原慎太郎*****

1. はじめに

人工海藻は砂浜の侵食防止工などとして古くから考えられている海岸構造物の一つである。近年、海岸はレジャーなどの需要が増大し、海岸景観も沿岸開発の重要な要素になっている。人工海藻は水面上には現れない海岸構造物であるため、最近この景観の点からも注目されつつある。

現在この人工海藻を用いた波浪制御や漂砂制御の試みが行われている。浅野ら(1988, 1991)や間瀬ら(1989)は人工海藻による波浪変形や波高減衰に関して室内実験およびモデル解析により検討を進めている。また、菅原・入江(1990)や小田ら(1991)はこの人工海藻を用いて漂砂を制御しようとする試みを行っている。さらに菅原・永井(1992)はこの人工海藻を海洋・海岸構造物の周辺部に設置し、この構造物まわりに発生する局所洗掘を抑制する試みを行っている。

これらに適用されているさまざまな人工海藻もいくつかの種類に分類できる。例えば浅野ら(1988, 1991)は波動場の水粒子と共に動揺する軟質の人工海藻を前提として研究を進めている。これに対し、小田ら(1991)はほとんど変形しない硬質の人工海藻を提案している。彼らの提案する人工海藻の形状もユニークな三角形である。このように、現在人工海藻にはいくつかの分野においてその目的にあった特徴をもつものが適用されている。

これらの人工海藻はこの海藻の存在による乱れの発生や主流の抑制によって波浪変形や漂砂制御などの効果を示している。しかし一般に波の進行方向に関係なく人工海藻の変形は左右対称となっているために、その効果が十分に表れていないと考えられる。そこで本研究では左右に非対称に変形する人工海藻を提案する。これにより従来の人工海藻に比べて水粒子運動制御に方向性を持たせることができ、より積極的に海水の運動をコントロー

ルできるものと考えられる。そしてさらにここではこの人工海藻の可能性を明らかにする。

2. 非対称人工海藻

本研究では波動場の水粒子運動を方向性も含めて制御できる人工海藻を提案する。したがってこの場合、人工海藻も非対称に変形するものを考える必要がある。また、ある程度実用化も意識し、単純な構造であることも条件とした。これらの条件を満たすよう本研究では図-1に示すようなセルロイドシートに曲率を持たせた構造の人工海藻を提案する。この人工海藻は曲率を有していることによって、図中a方向の流れすなわち海藻の凸面側から凹面側への流れに対しては容易に変形・転倒するが、図中b方向の流れに対しては人工海藻は変形せず直立したままとなる。したがって、人工海藻が転倒するために図中a方向の流れはこの海藻による抑制を受けないが、図中b方向の流れの場合にはこの流れは直立した人工海藻により抑制を受ける。このようにして本研究では人工海藻の水粒子運動制御に方向性を持たせた。

実際の室内実験では図-2に示す様に複数の人工海藻を底面上に配置し、この人工海藻の特性について検討を行った。本研究ではまずこの人工海藻の諸特性を定性的に明らかにする。そしてこの結果を従来の対称運動する軟質および硬質人工海藻と比較する。そして最後にこの人工海藻の諸元について検討を行う。

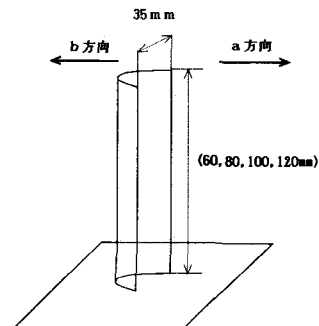


図-1 人工海藻の構造

* 東京理科大学助手 理工学部土木工学科

** 琉球大学助手 工学部土木工学科

*** 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

**** 栃木県庁

***** 三井不動産建設株式会社

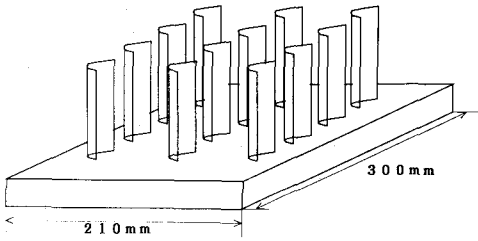


図-2 人工海藻の配置

3. 実験方法

本研究では図-3に示す長さ35 m、幅1 m、高さ1.1 mの両面ガラス張りの波動水槽を用いて実験を行った。水槽内には勾配1/20の斜面を設置し、その斜面の途中、水深400 mmの地点に人工海藻を設置した。人工海藻は単体を幅35 mm、高さ60 mmから120 mmのセルロイドシートから作成し、図-2に示すように岸沖方向に間隔75 mmで3列、沿岸方向に間隔40 mmで4列配置して人工海藻群とした。この人工海藻の設置方向については海藻の転倒方向が岸向きの場合と沖向きの場合の2通りの場合について検討を行った。入射波は水深600 mmの造波部分において波高を90 mmから200 mm、周期を1.5秒から2.5秒まで変化させている。

4. 非対称人工海藻の定性的性質

まず、本研究で提案する非対称人工海藻の定性的性質を明らかにする。ここでは水深600 mmの部分において周期2.0秒、波高90 mmの入射波を用いて実験を行った。実験は人工海藻が設置されていない場合と、岸向きに転倒する高さ100 mmの人工海藻群を設置した場合とで比較を行った。

まずこの人工海藻の動揺の様子をビデオで撮影し図化した結果を図-4に示す。図中の番号はそれぞれの瞬間の非対称人工海藻の形状に対して順につけたものであり、波峰が非対称人工海藻の上部を通過した瞬間の人工海藻の形状を0とし、それから1/6秒ごとの変化を順に表現している。この図より、波峰通過時には番号1の形状のように人工海藻は水粒子と共に変形しており、また波の谷通過時には番号7の形状のようにこの海藻は直立して水粒子運動に対してその運動を抑制しようとしているのがわかる。この変形のパターンがこの人工海藻の特徴を表している。

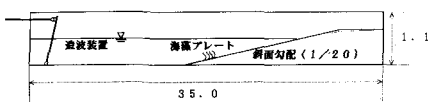


図-3 実験水槽 (単位 m)

次にこの人工海藻近傍の水粒子運動を明らかにするために水よりわずかに比重の大きい浮遊粒子を水槽中に投入し、その粒子の運動を人工海藻の運動と共に観察した。その結果を図-5に示す。図中の番号は先ほどと同様に、1/6秒ごとの浮遊粒子の位置と人工海藻の動揺の様子を表している。この図から人工海藻を設置していないときには浮遊粒子はほぼ波動理論どおりの楕円軌道を描きながら徐々に沈降しているのがわかる。それに対して人工海藻を設置した場合には浮遊粒子は徐々に沈降しながらも、波峰通過時(番号4)には大きく岸方向に大きく移動し、逆に波の谷通過時(番号9~10)にはわずかに沖方向に移動しているだけである。このように、この人工海藻は水粒子運動を特定の方に片寄らせる性質を持っていることがわかる。これはこの人工海藻が直立したとき

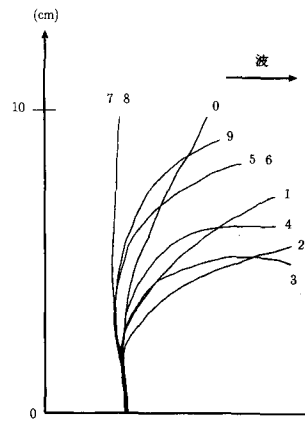
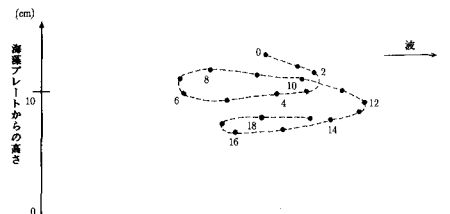
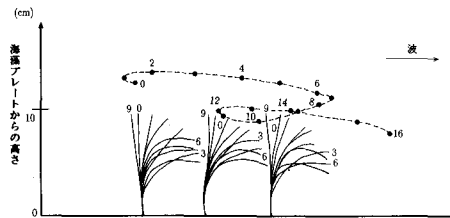


図-4 非対称人工海藻の動揺の様子(図中の番号は1/6秒ごとの位置を示している)



(a) 人工海藻を設置しない場合



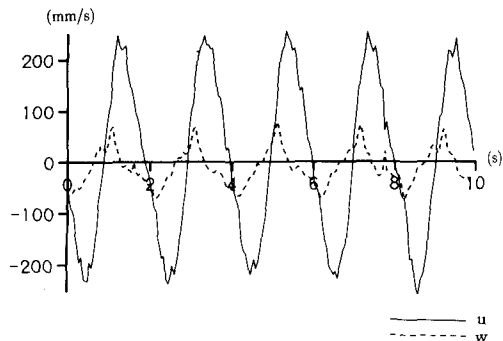
(b) 人工海藻を設置した場合

図-5 浮遊粒子と人工海藻の運動の様子(図中の番号は1/6秒ごとの位置を示している)

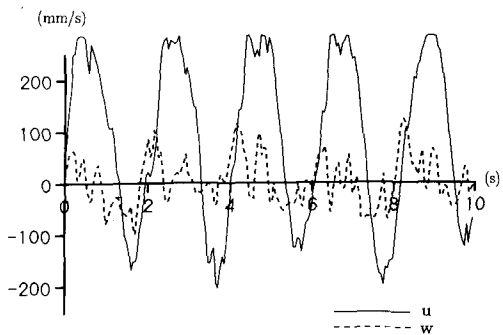
水粒子の運動を抑制するばかりではなく、この海藻が転倒変形をするときには水粒子の運動を助長して特定の方向にさらに片寄らせている様子がわかる。この点については今後、人工海藻群近傍での圧力分布やその勾配の視点から解析を行う必要があると考えられる。

また人工海藻群の中の流速分布を電磁流速計を用いて計測した。その結果の一部を図-6に示す。これは人工海藻の先端にあたる、底面より高さ100 mmの点における流速の時間変動をあらわしている。ただし、図の(b)では流速の u 成分が正の部分でやや振り切れている。人工海藻を設置していない場合には流速はゼロをはさんでほぼサインカーブ状に変動している。これに対して人工海藻を設置した場合には全体的に正の方向、すなわち岸側にずれたサインカーブの流速変動を示している。しかし、これらの流速変動の振幅や信号の形状はほとんどかわっていない。したがって、この人工海藻は波動場の流速変動に対してその波形信号をほとんど変化させることなく一様流成分を付加していることが分かる。これは図-5で観察されたことと同じ意味である。すなわちこの人工海藻は直立したとき水粒子の運動を抑制するばかりではなく、この海藻が転倒変形をするときには逆に水粒子の運動を助長する効果を有しているといえる。

この流速計を用いて鉛直方向の平均流速分布を求めた。その結果を図-7に示す。図中■は人工海藻群を設置



(a) 人工海藻を設置しない場合



(b) 人工海藻を設置した場合

図-6 非対称人工海藻群内の流速変動

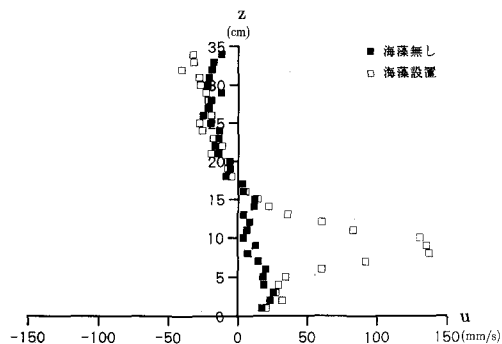


図-7 人工海藻群を設置した時の鉛直流速分布(人工海藻が岸向きに転倒変形する場合)

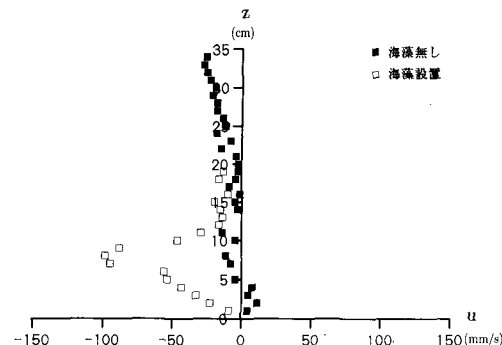


図-8 人工海藻群を設置した時の鉛直流速分布(人工海藻が冲向きに転倒変形する場合)

していない場合での鉛直流速分布をまた□は人工海藻を設置した場合での鉛直流速分布を示している。この図から人工海藻を設置することによってこの人工海藻先端の高さ(100 mm)を中心に大きな岸向きの平均流速成分を発生させられことが明らかである。また、色素を用いた可視化実験の結果、この人工海藻によって生じた平均流速成分を補償する流れはおもに人工海藻の側方に水平面的に広く分布しているようであった。

人工海藻群の向きを変えて沖側に転倒変形するように設置し直し、その時の平均流の鉛直流速分布を求めた結果が図-8である。人工海藻群を設置した時の鉛直流速分布の図から、今度はこの人工海藻が冲向きの平均流速成分を発生していることが分かる。このように図-7および図-8より、本研究で提案する非対称人工海藻を任意の方向に設置することによって希望する方向に大きな平均流速成分を生じるさせることができる。

5. 従来の人工海藻との比較

本研究で提案する非対称人工海藻を、岸沖方向に対称に変形する従来の軟質および硬質の人工海藻と比較を行う。ただしこの比較を行う前に従来の人工海藻は波浪制御などの他の目的を持って提案されていることをあらか

じめ考慮に入れる必要があらう。

比較に用いた従来型の軟質人工海藻はセルロイドシート性、また硬質の人工海藻はアルリル性であり、その形状は共に図-9に示すような幅40 mm、高さ100 mmの矩形をしている。これらの人工海藻を非対称人工海藻と同様に図-2のように配置して人工海藻群を形成させ、これらの人工海藻による効果を比較した。比較実験では前節の実験と同様に、入射波に用いた波は水深600 mmの部分において周期2.0秒、波高90 mmの波であり、また人工海藻群は1/20の一樣斜面上の水深400 mmの点に設置した。

これらの人工海藻の動揺の様子と水よりやや比重の大きい浮遊粒子の運動の様子を図-10に示す。この図から、軟質人工海藻は水粒子の運動と同期して岸沖方向共に同様な変形をしているのが分かる。これに対し、硬質人工海藻はまったく変形していない。これらの人工海藻の動揺の様子を図-4に示す非対称人工海藻のものと比較するとその特徴の差は明らかである。

次にこれらの人工海藻まわりの流速分布を測定した結果を示す。図-11は底面から100 mmの高さにおけるこれらの人工海藻群内での流速変動を示している。この図を図-6とあわせて観察すると、非対称人工海藻上の流れで見られた一樣流速成分が図-11では見られない。また特に硬質人工海藻では人工海藻が存在しない場合と比べて流速変動の振幅が小さくなり、その波形には明確な乱れが見られる。これは従来の人工海藻は主に主流の慣性力を抑制し乱れを生じさせることにより、入射波の波高減衰や漂砂制御に対し効果的に作用させようとしているためと考えられる。

図-12はこれらの人工海藻を設置した状態での平均流速分布の鉛直流速分布を示している。図中、■は人工海藻を設置しない場合の波動場の平均流速分布を示している。この図を図-7と図-8と比べると従来の人工海藻では任意の方向に平均流速分布を変形する効果があまり見られない。

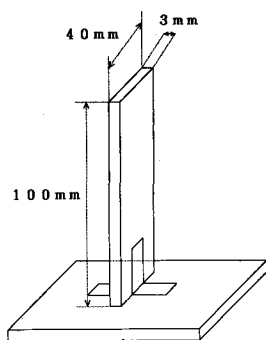


図-9 比較に用いた人工海藻（硬質人工海藻）

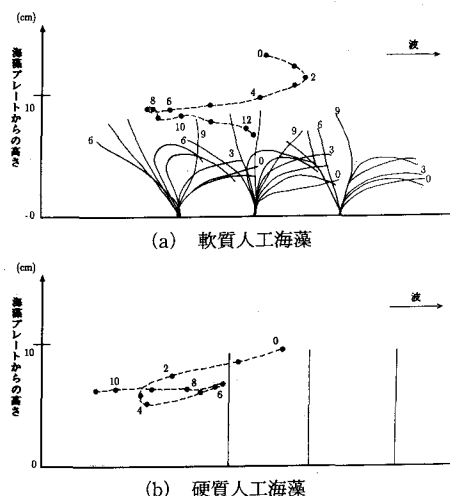


図-10 従来の人工海藻の動揺の様子（図中の番号は1/6秒ごとの位置を示している）

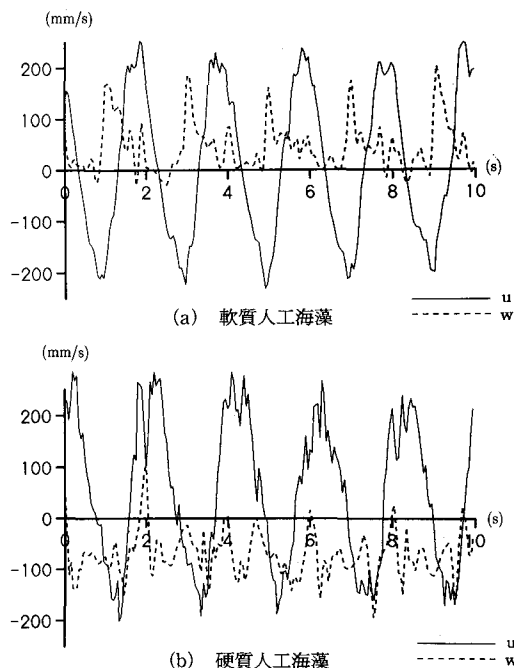
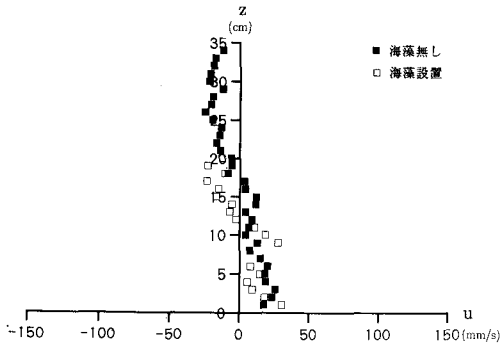


図-11 従来の人工海藻群内の流速変動

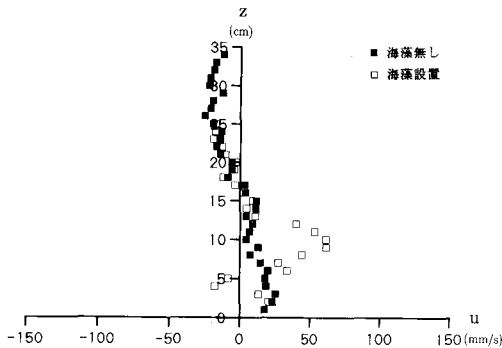
これら従来の人工海藻の実験結果を比較した結果、本研究で提案した非対称人工海藻は従来の人工海藻に比べて任意の方向に平均流速分布を変形する効果が極めて大きいことが明らかである。

6. 非対称人工海藻の長さの影響

本研究で提案する非対称人工海藻は波動場の水粒子運動にしたがって変形したり、逆に直立して水粒子運動を抗したりするので、水粒子運動の軌道振幅や最大流速な



(a) 軟質人工海藻



(b) 硬質人工海藻

図-12 従来型の人工海藻群を設置した場合の鉛直流速分布

どの波動場の諸条件と非対称人工海藻の全長や曲率などは何らかの関係があると考えられる。そこでここでは入射波の水粒子運動の軌道振幅と非対称人工海藻の全長との関係について検討を行う。

ここでは入射波の条件を以前と同様に固定した。すなわち水深 600 mm の部分において周期 2.0 秒、波高 90 mm の入射波を用いた。また人工海藻群も同様に 1/20 の一様斜面上の水深 400 mm の点に設置した。比較に用いた人工海藻は長さが 60 mm, 80 mm, 100 mm, 120 mm の 4 種類である。これらの人工海藻を設置したときの鉛直方向の平均流速分布を図-13 に示す。この図から明らかなように、本実験で設定した条件の入射波に対しては長さ 100 mm の非対称人工海藻が最も有効であった。この時長さ 120 mm の人工海藻の動揺の様子を目視観測すると、人工海藻が比較的長いためにこの人工海藻が直立して流れに抗している時間に対して、変形転倒している時間が長く、前節で述べた従来の軟質人工海藻に似た動揺の様子を示した。逆に長さ 60 mm の人工海藻では水粒子運動と共に変形転倒している時間が短く直立している時間が長くなり、前節で述べた従来の硬質の人工海藻に似た動揺の様子が観察された。

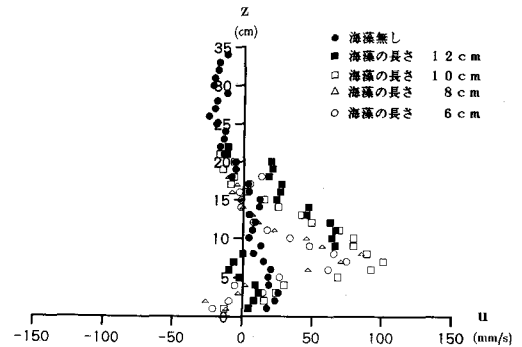


図-13 様々な長さの非対称人工海藻を設置したときの鉛直方向平均流速分布

このように本研究で提案する非対称人工海藻にはその効果を最大限に発揮するために波動場の諸条件と人工海藻の諸元の最適な組み合わせを考える必要がある。この組み合わせをどのように行うかは今後検討を進める必要があろう。

7. おわりに

本研究では任意の方向に平均流速を偏移する効果を持つように非対称に変形動揺する人工海藻を提案した。そしてこの人工海藻の有効性を明らかにした。この非対称人工海藻はその特性を生かして、海水交換や浮遊砂を中心とした漂砂制御に適用できるものと考えられる。ただし、この非対称人工海藻はその動揺の様子からもわかるように、この人工海藻の特性を活かすためには波動場の諸条件と人工海藻の諸元との関係を考慮する必要がある。今後、この関係についてさらに定量的に検討を行うと共に、この人工海藻による海水交換や漂砂制御などについても具体的に検討を進めたい。

参考文献

- 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎 (1988): 海藻が繁茂する場の波高減衰の特性, 第 35 回海岸工学論文集, pp. 138-142.
- 浅野敏之・出口 浩・間瀬 肇・小林信久 (1991): 揺動する海藻群落上を伝搬する波の特性, 第 38 回海岸工学論文集, pp. 26-30.
- 小田一紀・天野健次・小林憲一・坂田則彦 (1991): 硬質型人工海藻の漂砂制御効果に関する基礎的研究, 第 38 回海岸工学論文集, pp. 331-335.
- 菅原一晃・入江 功 (1990): 人工海藻による底質移動の制御効果について, 第 37 回海岸工学論文集, pp. 434-438.
- 菅原一晃・永井紀彦 (1992): 波による堤体前面の洗掘, 海岸侵食に対する人工海藻の防止効果, 第 39 回海岸工学論文集, pp. 461-465.
- 間瀬 肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野敏之・柳生忠彦 (1989): 傾斜浜に設置した人工海藻による波浪変形解析, 第 36 回海岸工学論文集, pp. 90-94.