

中空ブロックを用いたハイブリッド人工リーフ に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON A HYBRID ARTIFICIAL REEF USING HOLLOW BLOCKS

重松孝昌¹・伴登昭夫²・小池敏也³・角野昇八⁴
Takaki SHIGEMTAU, Akio Bandoh, Toshiya KOIKE, Shohachi KAKUNO

¹正会員 博(工) 大阪市立大学准教授 大学院工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²東洋水研株式会社 (〒100-0054 東京都千代田区神田錦町3-19)

³大阪市立大学 大学運営本部研究支援課 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

⁴フェロー 工博 大阪市立大学教授 大学院工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

In order to decrease wave-setup behind an artificial reef and return flow through the aperture of artificial reefs, a hybrid artificial reef with hollow blocks is proposed in this study. Experimental results on wave transmission, wave-setup and velocity of return-flow under different types of a hybrid artificial reef are presented. Furthermore surface flow patterns around a reef are investigated using a visualization technique. Based on the experimental results, the effectiveness of the hybrid artificial reef is presented.

Key Words : Artificial reef, hollow blocks, wave deformation, wave-setup, wave-induced flow

1. 序論

防災上あるいは親水性の観点から、海岸侵食の防止や砂浜の保全是重要な課題であり、サンドパイパス、突堤、離岸堤などの諸対策が実施されてきた。なかでも人工リーフは、天端が水面下に没しているため景観を損なわず、それゆえ、各所で活用されている。人工リーフは、リーフ上で碎波を誘発して波浪エネルギーの減衰を果たしている。しかし、この碎波による質量輸送が、リーフ背後の水位上昇を招き、その結果として背後海浜の安定性や越波量の増大、リーフ開口部における海底洗掘などの防災上の問題や、速い戻り流れが生成されることによる海浜利用上の安全性の問題などが懸念されるという指摘がある¹⁾。

このような懸念が現実の事象として捉えられるような地域に於いては、人工リーフ開口部における冲向き流速や水位上昇の抑制が求められ、既存の人工リーフの構造諸元を再検討する必要に迫られると想像される。本研究では、消波効果や水位上昇の抑制機能を有するとされる中空ブロック²⁾を既存の人工リーフに付加するハイブリッド人工リーフを提案

し、これによってリーフ開口部の戻り流れや背後の水位上昇の抑制を図ることを目的とするものである。

2. 実験概要

実験は、図-1 に示すように、長さ 100m、幅 3.0m、高さ 3.0m の二次元造波水路内に 1/30 の斜面を設け、その一部をパーティションで幅 2.0m とした。斜面上に、耐水性ベニヤで基礎マウンドを作成し、その上に平均粒径 13mm の碎石および中空ブロックの模型を用いてハイブリッド人工リーフを設置した。中空ブロックの諸元は図-2 に示す。

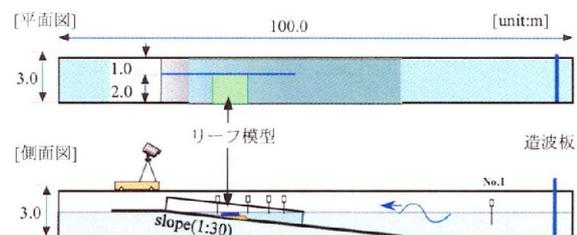
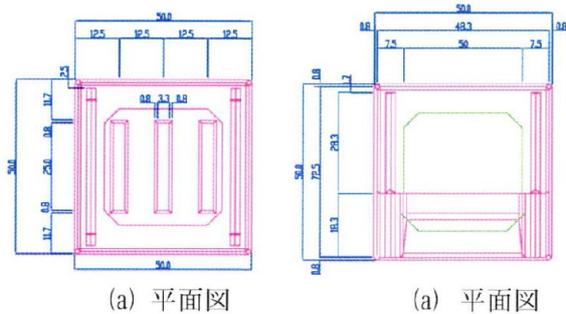
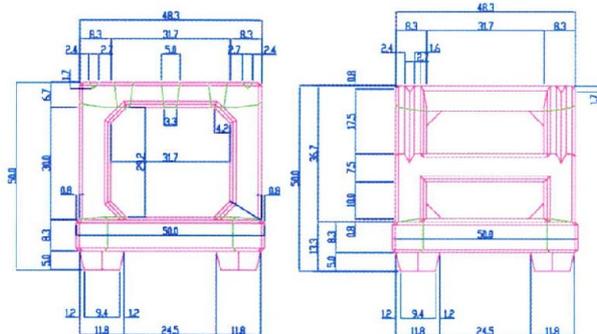


図-1 実験概要



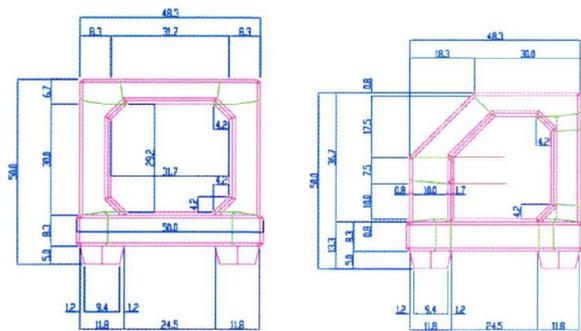
(a) 平面図

(a) 平面図



(b) 正面図

(b) 正面図



(c) 側面図

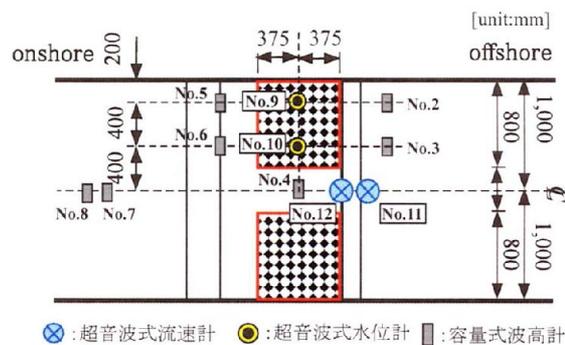
(c) 側面図

図-2 中空ブロック模型諸元(左：一般，右：端部用)

本中空ブロックは角野ら²⁾によって開発されたもので、上面板のスリット部を流体が通過する際に生じる渦流によって波浪エネルギーの減衰を期待するとともに、その内部は空洞となっているため海浜流を妨げない、鉛直混合拡散を促進する、魚礁効果が期待できる、海藻附着基盤効果が期待できる、などの特徴を有している。

実験では、造波板より約 20m 離れた地点に設置した容量式波高計によって水位の時系列を計測することによって、沖波波高 H_0' を求めた(図-1 参照)。ハイブリッド人工リーフ周辺の水位変動は、図-3 に示すように容量式波高計および超音波式波高計を設置して計測した。また、開口部の流速は超音波式流速計で計測した。波高計および流速計のサンプリング周期は 50Hz で、2 分間の計測を 5 回ずつ繰り返して行った。さらに、ガラス壁側面よりビデオ撮影を行い、ハイブリッド人工リーフ背後の水位上昇量を求めた。

実験に用いたハイブリッド型人工リーフ模型を、



○: 超音波式流速計 ○: 超音波式水位計 □: 容量式波高計

図-3 計測機器設置状況

表-1 実験条件の概要

リーフ天端幅	B [cm]	75
リーフ開口幅	W [cm]	40
リーフ天端長	W/L	160
天端水深	R [cm]	2.4, 3.9
周期	T [s]	0.8, 0.9, 1.0, 1.3, 1.4, 2.0
沖波波高	H_0' [cm]	1.7, 3.0, 4.2, 6.7, 13.7
波形勾配	H_0'/L_0	0.011~0.033
相対天端水深	R/H_0'	0.175~2.294
相対天端幅	B/L_0'	0.120~0.801

図-4 に示す。Type-A0 は、従来型的人工リーフの模型である。従来型的人工リーフでは、前述のように碎波に伴う背後の水位上昇およびそれに伴って発生する開口部における速い戻り流れが懸念されている。この対策としては、(1)開口部における対策、(2)碎波に伴う水位上昇の抑制、(3)戻り流れの制御などが考えられる。予め、Type-A0 に対して波を作用させて観察したところ、開口部を通過する比較的波高の小さい波と、これから遅れてリーフ上を碎波しながら通過する比較的波高の大きい波が観察された。そこで、(1)に対する対策として、開口部に中空ブロックを設置して前者の波による水位上昇および戻り流れへの影響を低減することを試みた。(2)に対する対応として、人工リーフの沖側の一部を中空ブロックに置換することによって、中空ブロックによる波浪エネルギーの減衰を期待するとともに中空部を介した沖向きの流れを阻害することなく質量輸送を低減し背後の水位上昇の低減を試みた。また、(3)に対する対応として、人工リーフの一部に中空ブロックを岸沖方向に設置することによって、ブロック中空部を流体が通過し、これによって従来型人工リーフでは開口部に集中する戻り流れを分散させ、これによって開口部の戻り流れの低減を試みた。実験条件を表-1 に示す。実験水深は、水平床部において約 1.5m で、天端水深 R が 3.9cm(HHWL) および 2.4cm(HWL)となるように調整した。

3. 実験結果

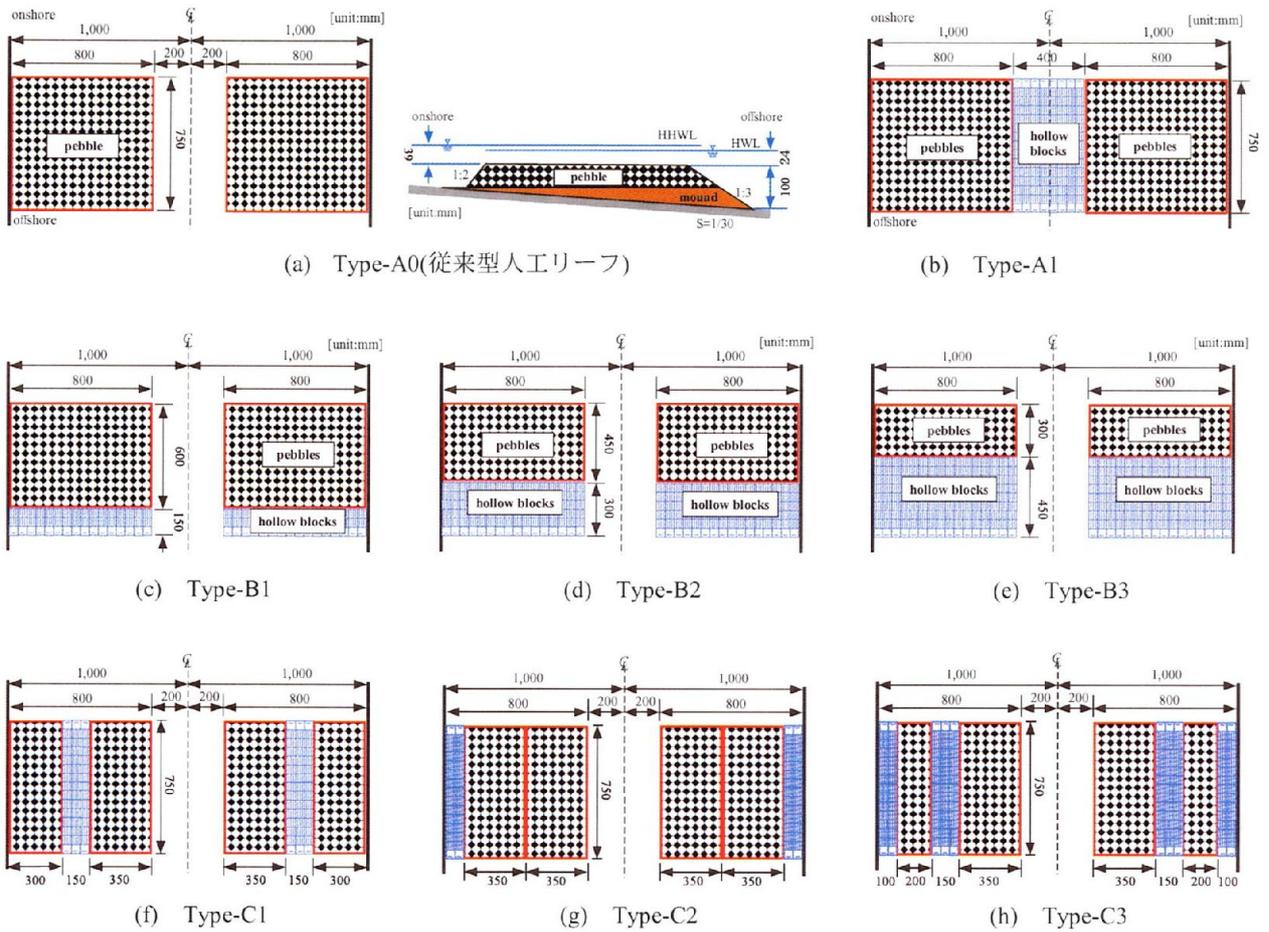


図-4 ハイブリッド型人工リーフ模型

(1) データの処理方法

水位変動の計測結果の一例を図-5 に示す。同図は、従来型人工リーフ (Type-A0), $T=2.0s$, $H_0'/L_0=0.021$, $R/H_0'=0.30$ の場合の水位計の時系列記録を示したものである。同図より、人工リーフの沖側近傍計測点 (No.2, No.3) および岸側近傍計測点 (No.5, No.6) の波形記録が異なっているが、これは斜面上に設置された人工リーフ上および開口部を通過する波の碎波・回折・浅水変形などの複雑な伝播過程によるものである。したがって、本実験結果から単純にリーフ岸側への伝達率を求めることは困難である。ここでは、水平床部で計測された波高 H_0' に対する No.7 および No.8 の水位計による波高の比 (K_T) として伝達率を定義することとする。それぞれの水位計記録からまた、図-5 からは明瞭な水位上昇を読み取ることができる。データの処理に当たっては、水位上昇が生じてからの計測期間中データを用いて水位上昇量を求めた後、ゼロアップクロス法を用いて個々の波を抽出して波高を求めた。

(2) 開口部に中空ブロックを設置する場合

図-6 は、従来型人工リーフ (Type-A0) と開口部に中空ブロックを設置した (Type-A1) の実験結果を比較したものである。同図(a)は伝達率を、同図(b)は No.7 および No.8 における水位上昇量を、同図(c)は

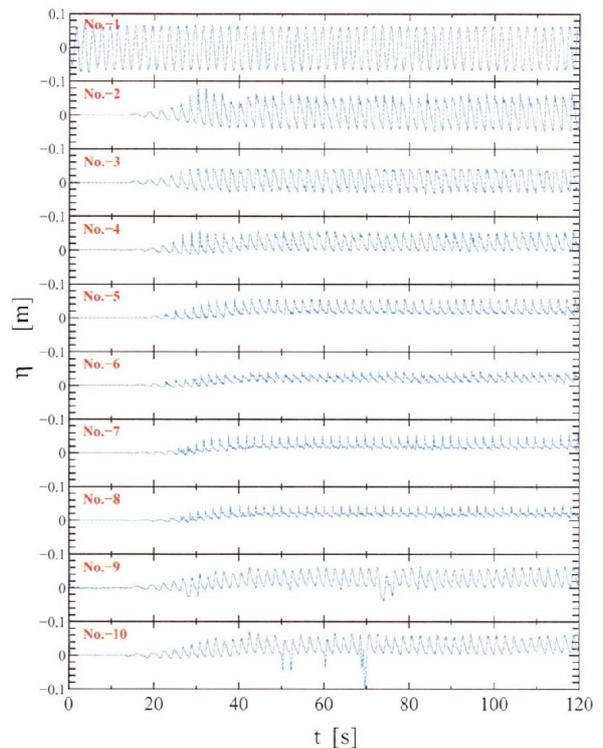
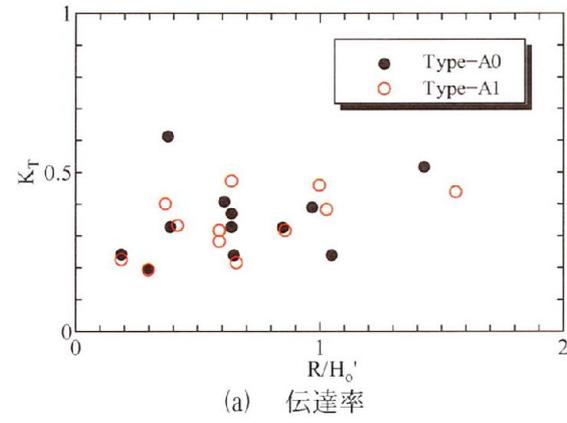
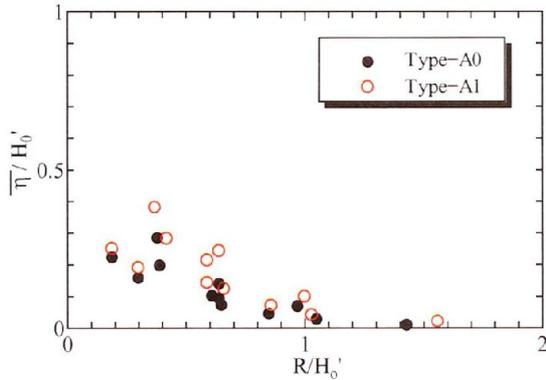


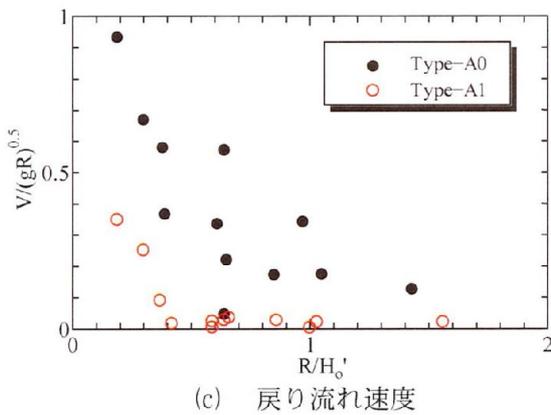
図-5 水面変動の計測結果
(Type-A0, $T=2.0s$, $H_0'/L_0=0.021$, $R/H_0'=0.30$)



(a) 伝達率

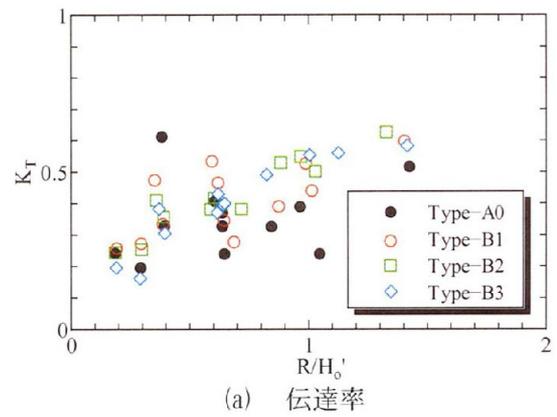


(b) 水位上昇量

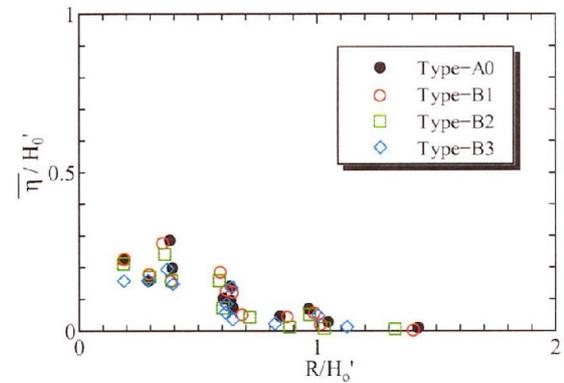


(c) 戻り流れ速度

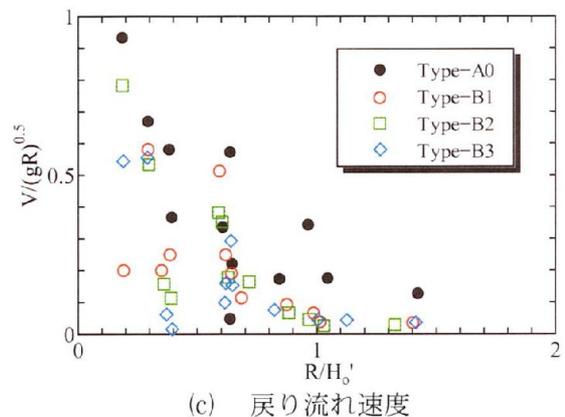
図-6 Type-A0とType-A1の比較



(a) 伝達率



(b) 水位上昇量



(c) 戻り流れ速度

図-7 Type-A0とType-B1~B3の比較

No.12 の流速計による冲向き流速を比較したものである。これらの図より、伝達率は両者に大きな差異は見られないことがわかる。水位上昇量も大きな差異は見られないが、Type-A1 の水位上昇量の方が若干大きくなるように見て取れる。これは、両者における開口部を通過する波の特性と密接な関係があると推察される。すなわち、Type-A0 では前述のように開口部を通過する波はリーフ上を通過する波よりも先行してやや波高を減じて計測地点に到達し空間的な波浪変形が大きいのに対して、Type-A1 では浅水変形や回折などの影響が小さく平面的な波浪変形が小さい。

開口部沖側端部における冲向き流速は、両者に大きな差が見られ、Type-A1 は Type-A0 のそれに対して小さくなっていることが分かる。このことは、

中空ブロックを開口部に設置することによって、冲向きの質量輸送量が少なくなっていることを示唆していると考えられる。

(3) 沖側の一部を中空ブロックに置換する場合

図-7 に、従来型人工リーフ(Type-A0)と、従来型人工リーフの沖側の一部を中空ブロックに置換した場合の比較を示す。なお、人工リーフ天端幅 B に対して中空ブロックの設置幅 B' の割合は、Type-B1 は $B'/B=0.2$ 、Type-B2 は $B'/B=0.4$ 、Type-B2 は $B'/B=0.6$ である。沖側の一部を中空ブロックに置換する場合の伝達率は、従来型的人工リーフの実験結果と比較すると、相対天端水深 R/H_0' が大きくなるとやや高くなる傾向が見られる。一方、水位上昇

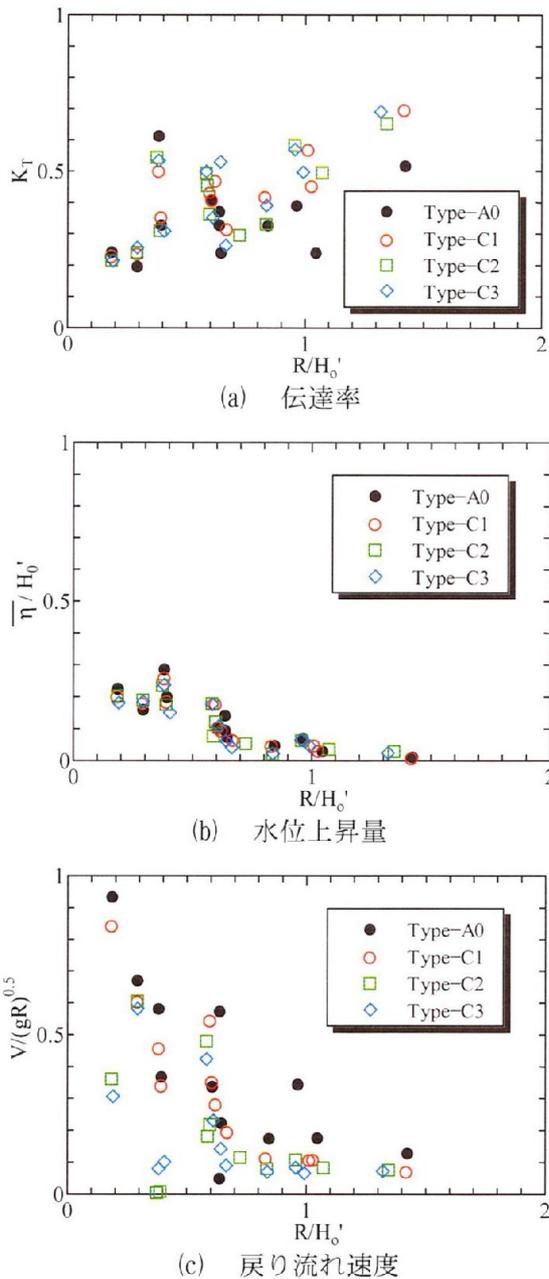


図-8 Type-A0とType-C1～C3の比較

量は Type-A0 とほとんど変わらないが、 B'/B が大きくなるほどやや低下する傾向が見られる。また、戻り流れ速度は、概ね、 B'/B が大きくなると低下する傾向を示す。すなわち、従来型人工リーフの沖側の一部を中空ブロックに置換することによって、戻り流れ速度の低減が期待できることが示されている。伝達率が従来型よりも高くなる理由として、本研究における伝達率の定義に課題があることに加え、中空ブロックの設置幅が十分でないこと等が考えられる。また、戻り流れ速度の実験結果はばらつきが大きい。流速計の設置位置や碎波に伴う混入気泡によるノイズの影響が少なからずあるものと考えられる。

(4) 波進行方向に中空ブロックに置換する場合

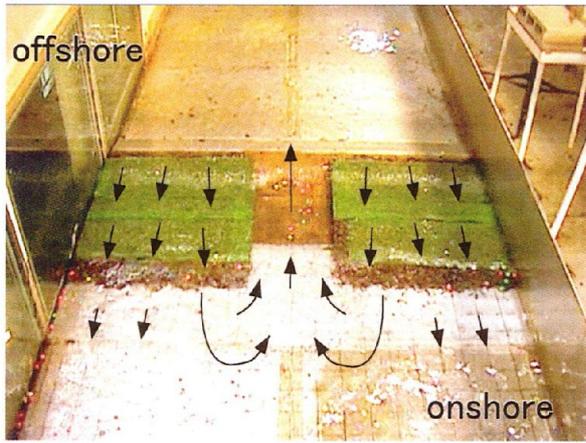
図-8 は、従来型人工リーフ(Type-A0)と、従来型人工リーフの岸沖方向に中空ブロックを設置した場合の実験結果の比較を示したものである。このとき、リーフ天端長 W に対する中空ブロックの設置長さ W' は、Type-C1 は $W'/W=0.125$ 、Type-C2 は $W'/W=0.188$ 、Type-C3 は $W'/W=0.313$ である。実験結果が示す傾向は、概ね、Type-B と同様である。すなわち、伝達率は相対天端水深が大きい場合には従来型的人工リーフの伝達率よりも若干高くなる傾向が見られ、水位上昇量は W'/W の増加とともにやや小さくなる傾向が、また、戻り流れ速度は従来型リーフよりも低下する傾向が見られる。

(5) 浮子を用いた流況可視化実験

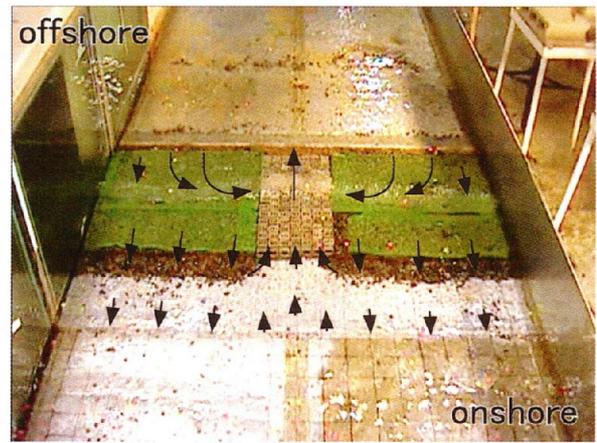
流速計による計測だけでは人工リーフ周辺の流況を把握することは困難であったので、浮子を用いて表面流況の把握を行った。荒天時の波浪条件ではいずれの条件においても質量輸送が大きく浮子は岸側へと輸送された。図-9には静穏時の波浪条件下における流況の観察結果を示す。同図(a)は、従来型人工リーフ周辺(Type-A0)の流況の概要を示したものである。この場合には、人工リーフ背後に明瞭な循環流が形成されている様子が観察された³⁾。リーフ上の浮子は、開口部沖側付近に位置するものは開口部へと輸送されることもあるが、概ね岸側へと移動した。人工リーフ岸側の浮子のうち開口部に比較的近い位置にあるものは開口部へ吸い寄せられるように移動し、その後、開口部を通過して沖側へ流出してゆく様子が観察された。同図(b)のType-A1の場合には、Type-A0と同様に、開口部の中空ブロックの上部を沖側へと流出する浮子が観察されるが、その移動速度はType-A0と比較すると遅かった。また、リーフ上を岸側へと移動する浮子の移動速度も遅かった。

図-9(c)には、Type-B3 の場合の様子を示す。開口部の流況は Type-A0 と類似している。開口部を通過して沖側へ流出する浮子はあったがその速度はType-A0 や Type-A1 と比較すると遅かった。沖側に設置された中空ブロック上の浮子の移動速度は極めて遅く、開口部に近いものは開口部へ、開口部から離れた浮子は岸側へ、いずれもゆっくりと移動した。また、碎石リーフ上を移動する浮子の移動速度は中空ブロック状の浮子と比較すると速い。同図(d)は、Type-C3 の場合の様子を示したものであるが、中空ブロック上の浮子と碎石リーフ上の浮子の移動速度には明瞭な差異が見られた。特に、リーフ開口部を形成する碎石リーフ上の浮子は、岸向きの移動速度が速かった。水槽側壁に接する中空ブロック上の浮子はやや沖向きに移動する傾向が見られたもののその移動速度は極めて遅かった。

以上のように、本研究で提案しているハイブリッド人工リーフは、中空ブロックの設置地位に



(a) Type-A0



(b) Type-A1



(c) Type-B3



(b) Type-C3

図-9 浮子を用いた流況可視化実験

よって質量輸送が空間的に大きく変化し、このことが開口部およびリーフ周辺の流況に大きな影響を及ぼしていることが明らかになった。

4. おわりに

本研究は、従来型人工リーフの一部に中空ブロックを併用することによって、その沖側の水位上昇を抑制し、その結果として発生する開口部の沖側流速の低減を図ることを目的として実施した。実験結果によれば、ハイブリッド型人工リーフでは、開口部の戻り流れ速度の抑制が可能であることが示唆され得た。ただし、データのばらつきが大きいので、詳細な波浪変形を考慮したより定量的な効果の検討が必要であると言える。

水路横断方向に一様に中空ブロックを設置した場合については、森ら⁴⁾が中空ブロック内部の流況特性を可視化実験によって明らかにしている。本実験においても、側方からのビデオ撮影画像および目視観測によって、中空ブロック内の流況を再確認している。今後は、従来型人工リーフの一部に中空ブロックを適用することによって、ハイブリッド人工

リーフ上およびその周辺の流体運動に及ぼす影響について詳細に検討する必要があると考えられる。

謝辞：本実験の遂行にあたっては、植木由美君、馬瀬慎也君、奥田砂由里君、風嵐陽太君、田中宏史君、水田圭亮君、松尾祐典君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 浜口達男, 宇田高明, 市ノ瀬栄彦, 五十嵐明: 新型海岸の人工リーフの沈下実態調査, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.434-438, 1989.
- 2) 角野昇八, 笹井伸行, 遠藤正男: 新しいタイプの人工リーフ堤体の水理特性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 13, pp.25-30, 1997.
- 3) 人工リーフの設計の手引き(改訂版), 社団法人全国海岸協会, 2004年.
- 4) 森信人, 伴登昭夫, 小池敏也, 遠藤徹, 中條壮大, 角野昇八: 中空ブロックを用いた人工リーフ内の流況特性について, 海洋開発論文集, Vol.23, pp.775-780, 2007.