

消波機能と魚礁機能を有する 新型被覆ブロックの開発

DEVELOPMENT OF THE NEW TYPE ARMOR BLOCK
WITH THE EFFECTS OF WAVE ATTENUATIONS AND ECO-REEF FOR FISH

谷野賢二¹・梅沢信敏²・上久保勝美³・川原真⁴・柳沼利信⁵・時川和夫⁶

Kenji YANO, Nobutoshi UMEZAWA, Katsumi KAMIKUBO,
Makoto KAWAHARA, Toshinobu YAGINUMA and Kazuo TOKIKAWA

¹正会員 工博 北海道東海大学 工学部 海洋環境学科 (〒005-8601 北海道札幌市南区南沢5条1丁目1-1)

²正会員 独立法人 北海道開発土木研究所 環境水工部 (〒061-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³正会員 独立法人 北海道開発土木研究所 環境水工部 (〒061-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

⁴正会員 東洋建設株式会社 北海道支店 土木部 (〒001-004 北海道札幌市中央区北4条西6丁目1-1)

⁵東洋建設株式会社 北海道支店 (〒001-004 北海道札幌市中央区北4条西6丁目1-1)

⁶正会員 工博 東洋建設株式会社 北海道支店 (〒001-004 北海道札幌市中央区北4条西6丁目1-1)

Eco-reef concrete blocks have not only a characteristic for the wave force attenuations such as the wave shock-pressure, run-up and scouring the bed mound, but for the construction cost benefit to use an industrial scrape such as dredging mud or sand for the reef, just banking, and have a much contribution to the surrounding environment ecology. The block has been developed, with the mentioned merits, is a box-type and has some open slits on the walls.

The paper mentions the hydraulics characteristics of the artificial reef by the eco-reef concrete blocks, for the wave reflections, transmissions, set-up behind the reef, and the stability of the block to compare with the concrete armor unit or the rubble stones. Further, after banking a small mound such as the same rubble mounds behind the artificial reef with the eco-reef blocks, the wave transmission are measured and analyzed the efficiency for the wave transmissions attenuation.

Key Words: artificial reef breakwater, new type armor block, wave attenuations, eco-reef, deepwater

1. まえがき

これまで、海岸・港湾・漁港施設等に用いられるコンクリートブロックは、消波ブロック、被覆ブロック、魚礁ブロックのように、用途別に単一の機能を有するものとして製作されてきた。本論文で提案する立体構造の新型被覆ブロック（以下、エコリーフブロックと呼ぶ）は、本体の被覆機能に加え、消波機能、魚礁機能、工費縮減効果を併せ持つものであり、種々の施設に対応が可能であると考え。本報告では、海岸保全施設として各地に建設されている人工リーフ¹⁾に着目し、特に大水深域での人工リーフの被覆材としてエコリーフブロックを利用する場合について、検討した結果を示す。

2. 検討内容

大水深域に人工リーフを設置する場合、堤体材料として石材を用いて所要の消波効果を得るためには水深が浅い場合に比べて大量の捨石が必要となり、一般に不経済となる。こうした欠点の解決策の一つとして、捨石の代わりに海水に溶出しない建設廃材や建設発生土あるいは石灰灰等のリサイクル材を活用することが考えられる。これら建設廃材等を早期かつ経済的に海中に投入するためには、図-1のような、事前に高い消波効果をもつ小規模な人工リーフの建設が必要となる。小規模な人工リーフの被覆材としてエコリーフブロックを使用することで、種々のエコリーフブロックの特性が活かせると考えた。すなわち、エコリーフブロックは立体構造であるこ

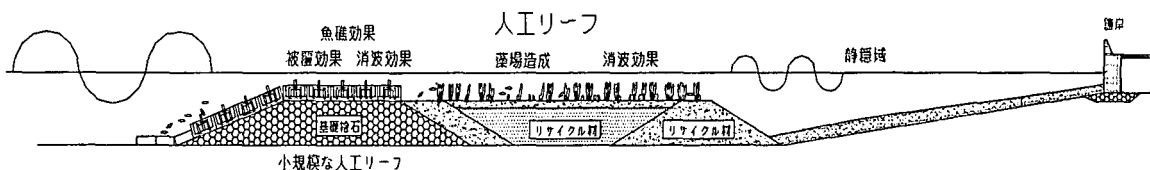


図-1 実用化モデル

とから、同じ天端高の人工リーフに比べ捨石量を減らすことができる。また、立体構造は消波機能や魚礁機能を併せ持つことを可能とする。さらに、エコリーフブロック背後にリサイクル材で小段を設けることによって、小段によるエネルギー散逸効果に加え、小段の海藻類の生育場として利用が可能となる。

本検討では、不規則波を用いた水理模型実験によって、エコリーフブロックを人工リーフの被覆材として用いた場合の耐波安定性ととともに、人工リーフの波高伝達率、反射率および堤体背面の平均水位上昇量等の水理特性を検討した。また、被覆材として捨石や既存被覆ブロック(以下、Bブロックと呼ぶ)を用いた場合についても検討し、その結果を比較することで、エコリーフブロックの優位性を確認した。さらに、エコリーフブロック背後に小段を追加した場合の波高伝達率等から小段背後伝達波の推定法について検討した。

3. エコリーフブロック形状

エコリーフブロックは開口スリット部における水平乱流やブロック壁面内部の粗度抵抗等によってエネルギー損失を引き起こして消波を効果的におこなない、さらに内部空間を角型魚礁ブロックと同様にして魚礁効果をも兼ね備えている箱型被覆ブロックである。エコリーフブロック標準型の形状は、長さ4m×幅3m×高さ2mであり、エコボックスとエコ消波板から構成され、重量はおおよそ300kN(30tf)である。エコボックスの前後壁面および左右壁面の開口部は開口率20%を有し、上面は開放されている。エコ消波板は20%の開口率を持つ平板ブロックであり、エコボックスの中に組み込まれる。なお、実験に用いた形状は消波効果を考慮し消波板を0.7m突出させた図-2の標準型と0.7m突出しないタイプとして消波効果が明瞭に現れるようにボックスのみ(消波板なし)のタイプを実験対象とした。

4. 実験方法

実験は、長さ22m、幅0.8m、深さ2.0mの片面ガラス張り二次元造波水槽で、不規則波を用いておこなった。模型縮尺は耐波安定性試験では1/25、波高伝達率等の水理特性試験では1/30とした。堤体模型は0.04N(4gf)程度の砕石を用いてマウンドを形成し、その上にブロック等を並べた(以下の数字は全

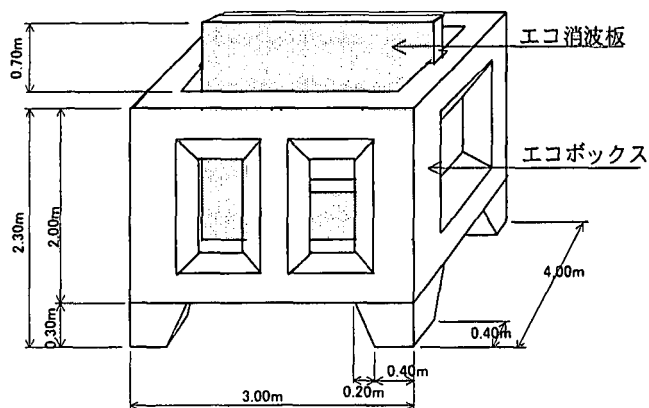


図-2 エコリーフブロック(標準型)形状

てフルード則による現地寸法)。

耐波安定性試験では、堤脚水深 $h=12\text{m}$ に、ブロック天端をエコボックスの天端として、ブロック天端水深を $R=2\text{m}$ となるように天端長さ $B=37.5\text{m}$ のマウンドを形成した。そして、マウンド上にエコリーフブロックの敷設列数を3列から8列に変えて並べ、表-1の定義に従い、移動量を計測した。また、ビデオ撮影をおこない移動状況の把握をおこなった。但し、対象範囲は水平天端面である。使用した実験波の周期は $T_{1/3}=10\text{sec}$, 14sec であり、入射波高(H_i)は $H_{1/3}=4.0\text{m}\sim 6.8\text{m}$ の範囲で変化させた。

水理特性試験では、堤脚水深 $h=12\text{m}$ 、マウンド天端長さ(ブロック敷設長さ) $B_1=24.5\text{m}$ 、マウンド高さ $D=8\text{m}$ 、ブロック天端水深 $R=2\text{m}$ の場合と堤脚水深 $h=14\text{m}$ 、マウンド天端長さ(ブロック敷設長さ) $B_1=24.5\text{m}$ 、マウンド高さ $D=8\text{m}$ 、ブロック天端水深 $R=4\text{m}$ の場合の2設置条件でエコリーフブロック(標準型)、エコリーフブロック(消波板なし)、Bブロック、砕石の4種類の被覆形状に変更し、波高伝達率、反射率、リーフ背後の水位上昇量を計測し比較した。さらに、人工リーフ背後にエコリーフブロックの敷設高さと同じの高さに小段天端長さ $B_2=20.5\text{m}$ のマウンドを設け小段通過後の伝達率等を計測し、小段効果を確認した。使用した実験波の周期は $T_{1/3}=8\text{sec}$, 10sec , 14sec であり、入射波高(H_i)は $H_{1/3}=0.6\text{m}\sim 8.1\text{m}$ の範囲で変化させた。伝達波、反射波の計測は人工リーフの後方および前方に設けた各2本の波高計による入反射分離推定法を用いて計測した。データは造波開始後、造波板と模型の間を波が3往復する時間を経過してから、サンプリング間隔 $0.031\text{sec}\sim 0.063\text{sec}$ で200波分の波データを取得した。水位上昇量はリーフ背後の2本の波

高計の水位データの平均値とした。

表-1 ブロックの移動の分類と定義

ランク	定義	安定性
I	全く移動しない。	安定
II	基本長の1/8(1.6cm)未満で移動する。	
III	基本長の1/4(3.3cm)未満で移動する。	
IV	基本長の1/4(3.3cm)以上移動する。	不安定

5. 耐波安定性

図-3 はエコリーフブロック標準型を対象にしたもので、相対天端水深(R/Hi)をパラメーターとして相対ブロック長さ(ブロック敷設長さ B_1 /入射波波長 L)と移動率の関係を示したものである。

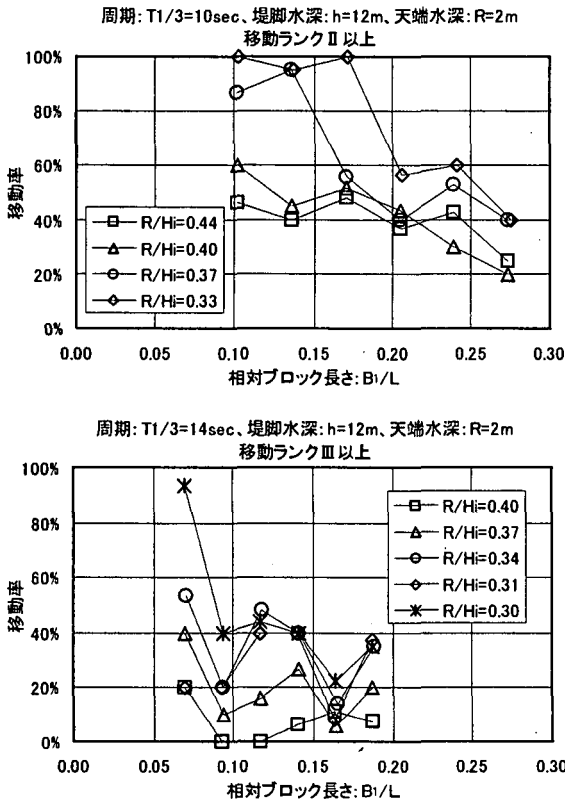


図-3 相対ブロック長さとの移動率の関係

上図の $T_{1/3}=10\text{sec}$ 、移動ランク II 以上の場合では $B_1/L=0.21$ に変化点があるものの、各ラインとも穏やかな直線を示し、全体的に $B_1/L=0.25$ で 60% 以内、 $B_1/L=0.275$ で 40% 以内と B_1/L の大きくなるに従い移動率が小さくなる傾向にある。これに比べて、下図の $T_{1/3}=14\text{sec}$ 、移動ランク III 以上では、 $B_1/L=0.09$ 及び $B_1/L=0.16$ に移動率の変化点が生じている。リーフ斜面で砕波した波の波峰が気泡を伴いブロック表面に落下するのがおおよそ $B_1/L=0.15$ 付近であることを考えると、 $T_{1/3}=10\text{sec}$ 、移動ランク II 以上の場合では波峰の落下の影響が少ないようであるが、

$T_{1/3}=14\text{sec}$ 、移動ランク III 以上の場合には $B_1/L=0.16$ で移動率が最も下がっており波峰の落下の影響が考えられ得る。この影響は、波峰の落下の際に発生する流れに起因するものと考えられる。

エコリーフブロックの耐波安定性試験で、不安定と定義される移動は、今回の実験では生じなかった。安定と定義される移動の中で発生した移動は、ブロックの抜け出しや転倒ではなく、全て水平移動であった。これは、エコリーフブロックが立体構造であるため、群体として機能するときには、個々のブロックの抜け出しや転倒が生じ難いこと、エコリーフブロックにはエコ消波板が組み込まれており抗力が増大していること、およびスリット部や遊水部でのエネルギー逸散が大きいことが影響していると考えられる。このため、ブロック間の隙間を詰める程度の水平移動は発生するが、全体的なブロック配置は大きく変わらないものであった。

6. 波浪制御特性

(1) 伝達率 [伝達波高 (Ht)/入射波高 (Hi)]

図-4 に被覆形状をパラメーターとする堤脚水深別、周期別の相対天端水深と伝達率の関係を示す。伝達率の小さい被覆形状は、おおよそ、エコリーフブロック (標準型) < 砕石 < Bブロック < エコリーフブロック (消波板なし) である。エコリーフブロック (標準型) は最大で 1 割程度、砕石よりも伝達率が小さい。このように、エコボックス天端まで砕石を盛り上げた場合の伝達率よりさらに伝達率が小さいのは、エコボックス底盤上の砕波、エコリーフブロックおよびエコ消波板の開口スリット部における水平乱流、ブロック壁面の粗度抵抗等の消波効果によるエネルギー損失が、エコボックス天端まで砕石を盛り上げた場合の砕波によるエネルギー損失よりもさらに大きい結果と思われる。エコリーフブロックのエネルギー消費の傾向として、相対天端水深が $R/H_i < 1$ では、ブロック自体の消波に加えて、エコボックス底盤上での砕波の影響が強くてているが、相対天端水深が $R/H_i > 1$ になると、エコリーフブロック自体の消波が大きな影響を与えるようになっており、低波浪に対しても高い伝達波の低減効果があるものと思われる。

(2) 反射率 [反射波高 (Hr)/入射波高 (Hi)]

図-5 に被覆形状をパラメーターとする堤脚水深別、周期別の相対天端水深と反射率の関係を示す。どの形状も反射率は 0.1~0.3 程度と低く、各被覆形状の違いによる反射率の差は少ない。法面勾配が 1 : 3 と緩勾配であるためその影響と思われる。実用化においては、基礎マウンドの法面を緩勾配にさえすれば、設置の目的に合わせて自由な選択が可能と言える。

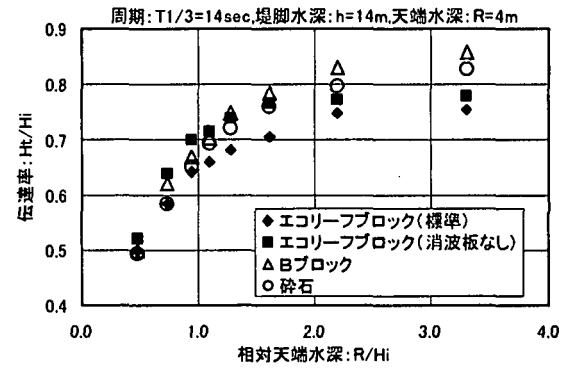
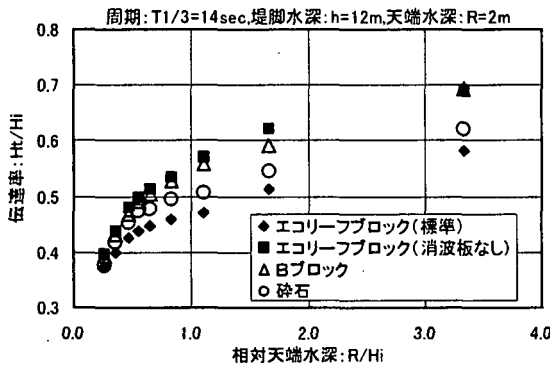
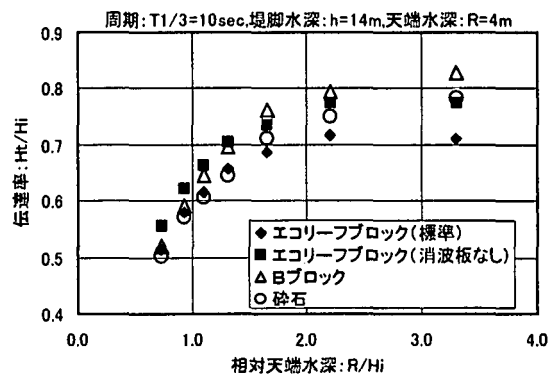
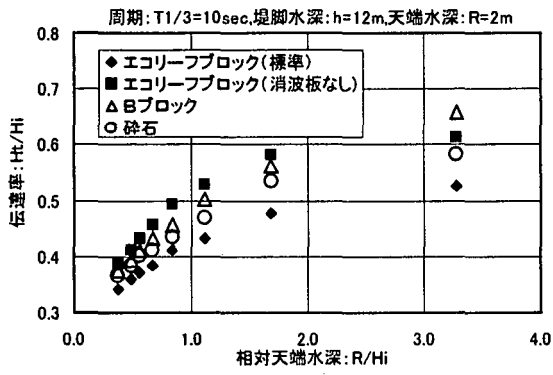


図-4 相対天端水深と伝達率の関係

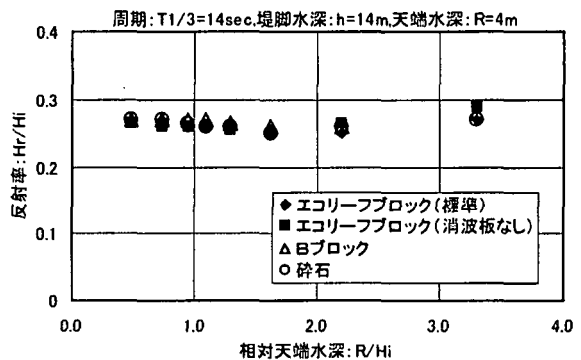
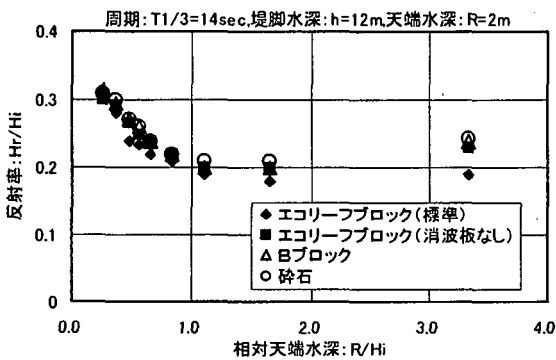
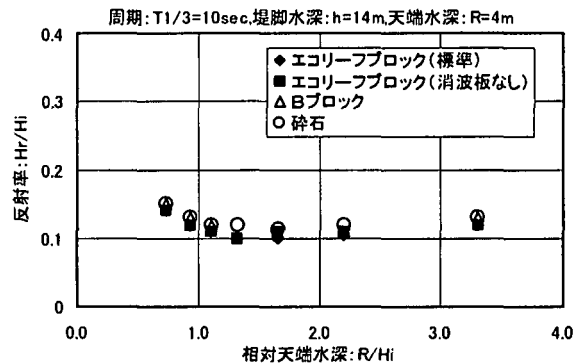
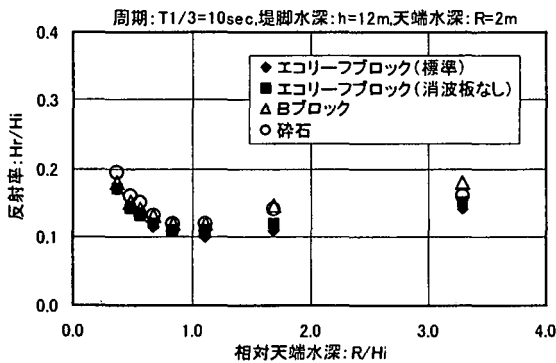


図-5 相対天端水深と反射率の関係

(3) 平均水位上昇量[水位上昇量(η)/入射波高(H_i)]
被覆形状をパラメータとする堤脚水深別、周期別の相対天端水深と相対水位上昇量の関係を図-6に示す。

水位上昇量の小さい被覆形状はエコリーフブロック(消波板なし) < エコリーフブロック(標準型)

≧ Bブロック < 砕石の順である。一般に人工リーフは伝達率や伝達波周期比が減少すると、平均水位上昇量が大きくなる傾向²⁾にあるが、エコリーフブロック(標準型)は、その傾向を示さず、伝達率が低い割には水位上昇量は大きな値を示さなかった。これは、前にも述べたとおり、砕波によるエネルギー

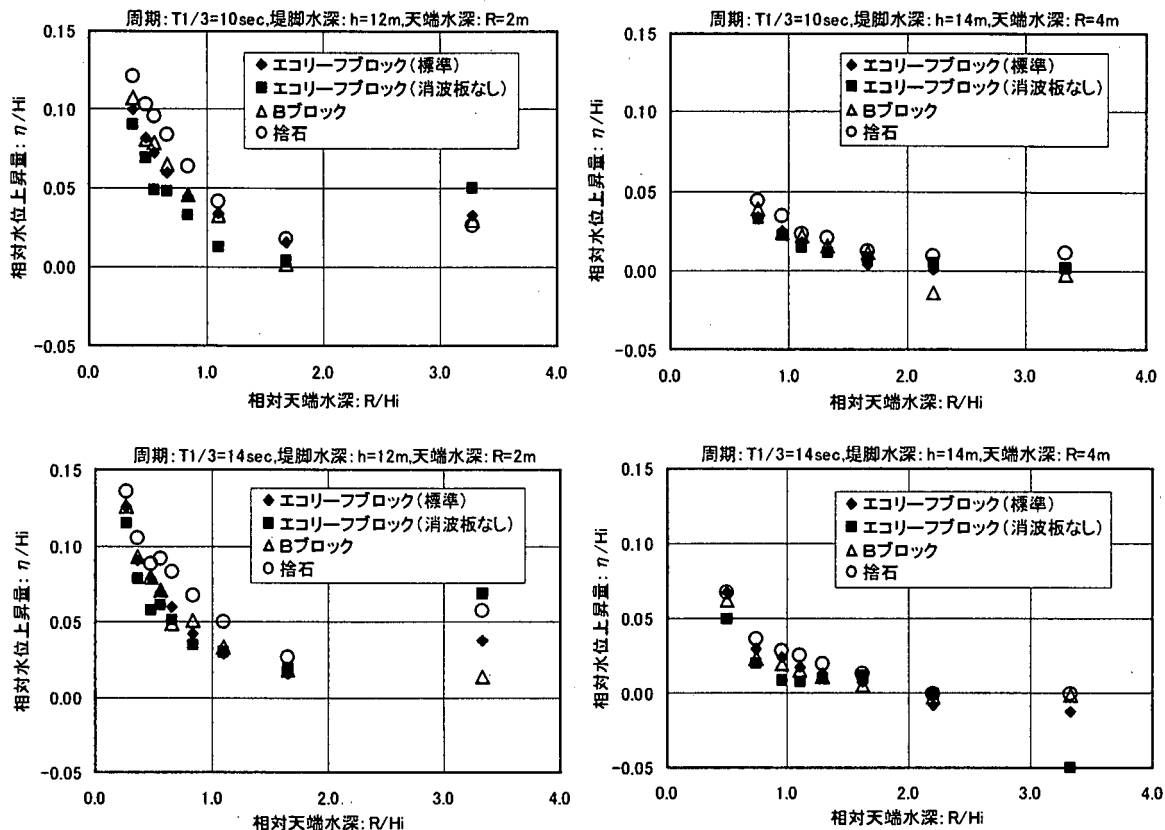


図-6 相対天端水深と水位上昇量の関係

減衰の実質水深がエコボックス底盤上水深であり、砕波による水位上昇が碎石の場合より小さいことやエコリーブブロックは開口部を有しており、背後で上昇した水塊がエコリーブブロック遊水部を通過して戻りやすいためと考えられる。

7. 小段付き人工リーフの伝達波高(Ht)の試算

図-1 の実用化モデルのような小段付き人工リーフを築造するためには、背後利用目的を考慮した伝達波高の推定が重要である。このために、高山らの研究成果³⁾を参考に実験結果からリーフ背後の伝達波高の推定を試みた。

小段がない場合の波高伝達率を $Kt_1=Ht_1/Ho'$ 、小段付きの場合の波高伝達率を $Kt=Ht/Ho'$ として、小段のみの伝達率を $Kt_2=Ht/Ht_1$ とした。これより、実験から得られた小段がない場合の伝達波高(Ht₁) および小段を付けた時の伝達波高(Ht)の計測値から小段がない場合の波高伝達率(Kt₁)および小段のみ

の伝達率(Kt₂)の関係式を最小二乗法により近似し、小段付き人工リーフの伝達波高(Ht)を算出した。

小段がない場合の波高伝達率の関係式を(1)、(2)式に示す。なお、堤脚水深が大水深域となることを考慮し、近似に用いるパラメーターに相対水深(h/Ho')を加えた。

$$Kt_1 = -0.63 \frac{B_1}{Lo} + 0.48 \frac{R}{Ho'} - 0.05 \frac{h}{Ho'} + 0.41 \quad 0 < \frac{R}{Ho'} < 1.0 \quad (1)$$

$$Kt_1 = -0.51 \frac{B_1}{Lo} + 0.27 \frac{R}{Ho'} - 0.05 \frac{h}{Ho'} + 0.58 \quad 1.0 \leq \frac{R}{Ho'} < 2.5 \quad (2)$$

小段のみの伝達率の関係式を(3)式に示す。

$$Kt_2 = -0.28 \frac{B_2}{Lo} + 0.026 \frac{r}{Ht_1} + 0.90 \quad 0 < \frac{r}{Ht_1} < 4.0 \quad (3)$$

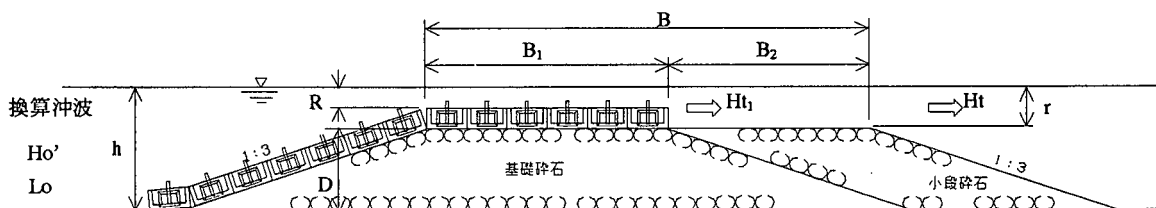


図-7 試算モデル

図-8 は(1), (2)式による Kt_1 の計算値と実験値を比較したものである。また、図-9 は(3)式による Kt_2 の計算値と実験値を比較したものである。図-10 は(1), (2)式および(3)式を用いて、 $Ht=Kt_1 \cdot Kt_2 \cdot H_0'$ の関係から伝達波高を計算で求め、実験値と比較したものである。図-8、図-9、図-10 とも多少のばらつきはあるが、実験値は計算式によく一致した値を示している。これより(1), (2)式および(3)式を用いて図-1に

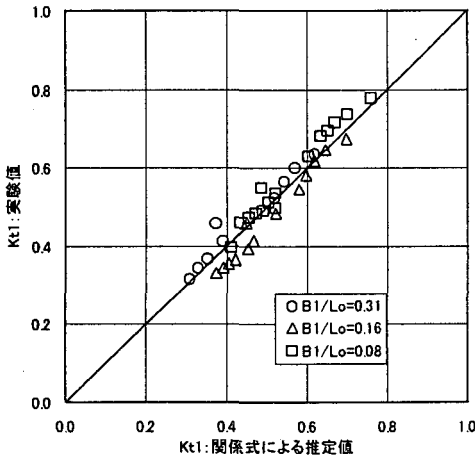


図-8 推定値と実験値の関係(Kt_1)

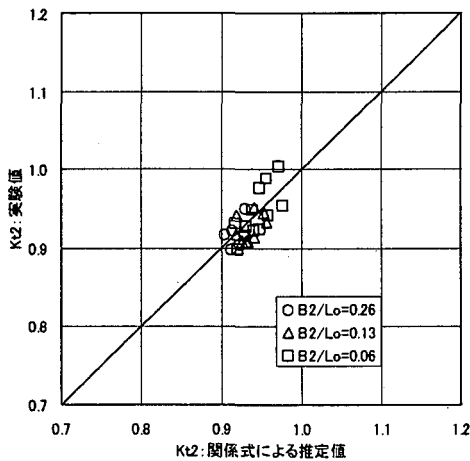


図-9 推定値と実験値の関係(Kt_2)

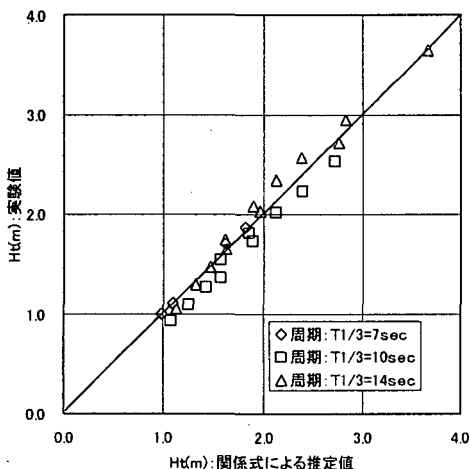


図-10 推定値と実験値の関係 (Ht)

示すような人工リーフの伝達波高を算定することが可能であると考えられる。

8. まとめ

本研究によって、大水深域にエコリーフブロックを人工リーフの被覆材として用いた場合の耐波安定性および水理特性について次の事項が確認できた。

- ・エコリーフブロックの移動は、ほとんどがブロック間の隙間を詰める程度の水平移動であり、全体的なブロック配置は大きくかわらない。
- ・エコリーフブロック(標準型)を有する人工リーフは、エコボックス自体および消波板の消波効果によりブロック天端まで砕石を積み上げた場合の波高伝達率より更に小さい伝達率をもつ。
- ・反射率は、法面勾配が1:3程度の緩勾配では他の被覆形状と同程度の小さい値を示す。
- ・エコリーフブロック(標準型)の平均水位上昇量は石材に比べると小さく、水位低減効果がある。
- ・小段付き人工リーフの伝達波高の推定は関係式(1), (2)式および(3)式を用いることで可能である。

9. あとがき

以上により、大水深域でのエコリーフブロックを用いた人工リーフの水理特性等を明らかにすることができた。

なお、エコリーフブロックを人工リーフに適用する場合の優位性の中で、特に立体構造によるマウンド捨石量の低減効果は、近年の工費縮減の考え方に沿った重要な効果であること、また、魚礁効果の確認をおこなうために実物大のエコリーフブロックを海中に設置し現在観察中であることを付記する。

謝辞：実験およびデータ整理にあたっては、当時北海道東海大学大学院生の黄木恵治君、同学生の沼田泰裕および小野諭君に多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1)建設省河川局海岸課監修：人工リーフの設計の手引き，94p，全国海岸協会，1992。
- 2)たとえば，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，79p，1988。
- 3)高山知司・池田直太：広天端幅潜堤による波浪変形と護岸越波流量の低減効果，港研報告，第27巻，4号，pp.63-92，1988。