

消波機能と魚礁機能を有する 新型被覆ブロックの安定性に関する研究

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

谷野賢二¹・窪内篤²・井元忠博³・石川浩希⁴・柳沼利信⁵・時川和夫⁶

Kenji YANO, Atsushi KUBOUTI, Tadahiro IMOTO,
Hiroki ISHIKAWA, 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)

The concrete blocks used for coast, ports and fishery harbours have been made as a function for every use. Authors developed the new type armor block with not only the effects of armor but the effects of wave attenuation and eco-reef for fish, and have studied about the using the block as armor block of the artificial reef especially in the case of applying to the deep sea area.

The paper mentions, in the case of applying this new type armor block to the face of the slope of embankment and armor block of submerged breakwater, the execution of hydraulic model test for the purpose to clear the stability number to analyze proper necessary weights on terms and condition of significant wave height etc.

Key words: new type armor block, stability number, wave attenuations, eco-reef

1. まえがき

一般に、海岸・港湾・漁港施設などに用いられるコンクリートブロックは、消波、被覆、魚礁のように用途別に単一の機能を有するものとして製作・開発されてきた。著者らが過去に実施した実験によれば、高い消波機能、安定したマウンド被覆機能、水産協調機能(ブロック内部空間を利用)、さらに工費縮減効果を併せ持つ複合型の被覆ブロックを開発し、大水深域での人工リーフの被覆材として用いる場合の水理特性について検討している¹⁾。この新型被覆ブロックは、図-1に示すように開口スリット部および開口鉛直板(エコ消波板)により渦流発生やブロック壁面内部の粗度抵抗など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行うものであり、その水理特性は図-2に示すとおりである。

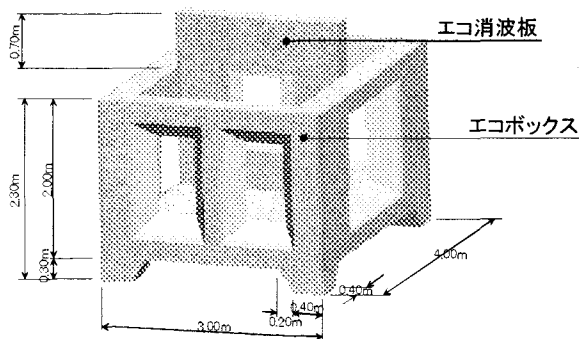


図-1 新型被覆ブロック構造(30t型)

本研究は、波力を受ける傾斜構造物の表水面および潜堤などのマウンド被覆材として新型被覆ブロック(以下、エコリーフブロックと呼称)を用いた場合

の所要質量を算定するために必要な K_D 値および安定数 N_s 値を検討することを目的として水理模型実験を実施し、解析を行ったので報告する。

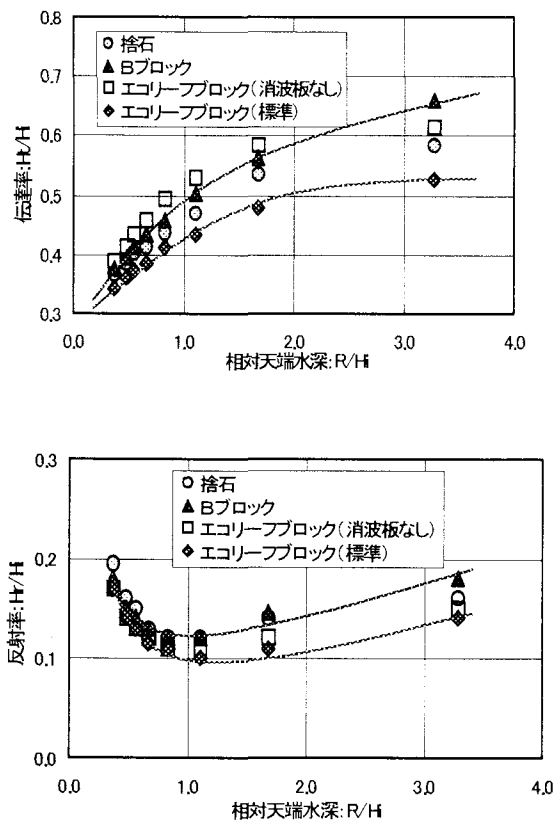


図-2 新型被覆ブロック水理特性

2. 所要質量算定の基本式

傾斜堤などの斜面被覆材は、内部の捨石を保護するものであり、それ自身が散乱しないように安定な質量を確保する必要がある。この安定な質量の算定には、最近では安定数 N_s 値を用いたハドソン式(一般化されたハドソン式)で表される式(1)が一般的に用いられるようになっている。また、この式は混成堤のマウンドなどほかの被覆材にも適用できる式である²⁾。

$$M = \frac{\rho \gamma H^3}{N_s^3 (S\gamma - 1)^3} \tag{1}$$

ここに M , $\rho \gamma$, $S\gamma$ はそれぞれ、被覆材の所要質量、密度、比重である。波高 H は不規則波群の規模を代表するものとして、斜面設置位置における進行波としての有義波高を用いることを標準としている。また、安定数 N_s 値は、構造物の特性や被覆材の特性によるほか、波浪諸元、被害率などによって定まる係数である。

従来、斜面の被覆材の所要質量は、被覆材の形状

および被害率などから決まる定数である K_D 値と斜面が水平面となす角 α を用いて、 $N_s^3 = K_D \cot \alpha$ として算定していた。本研究で検討する構造形式は、エコリーフブロックで被覆された斜面構造と潜堤構造である。斜面構造では斜面勾配 $\cot \alpha$ の違いによるブロックの安定性を検討する。そこで、各種の波浪条件から得られるエコリーフブロックの安定に対する限界波高をハドソン式に代入し、斜面構造では K_D 値、潜堤構造では N_s 値を求め、エコリーフブロックの適切な所要質量を算定する。また、マウンド被覆材の安定性は必ずしも質量のみによって決まるものではないため、配列(敷設列数)による安定性についても検討する。

3. 実験方法

実験は図-3 に示す、長さ 22.0m、幅 0.8m、深さ 2.0m の 2 次元造波水路を用いた。水路床は 5.0m の水平部分(厚さ 1.0m)と沖側へ向かって 1/30 勾配の固定床からなっている。この 2 次元造波水路には不規則波ピストン式吸収造波装置が設置されている。構造物の模型は水平床と 1/30 勾配の変化点を沖側法先として設置した。

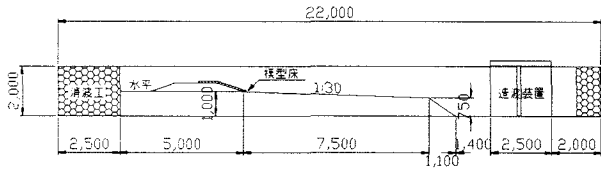


図-3 実験水路

図-4 および図-5 に実験模型断面を示す。傾斜堤構造では、斜面勾配を 1:1.5~1:3.0 まで変化させ $\cot \alpha$ の違いによるブロックの安定性を確認した。潜堤構造の場合は、ブロックの敷設列数を 7 列、9 列に変化させ敷設列数の違いによるブロックの安定性を検討した。

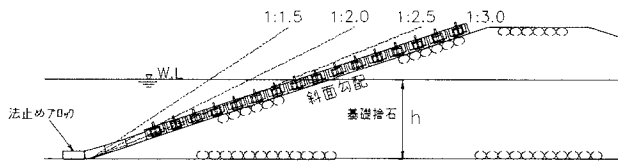


図-4 傾斜堤構造模型断面

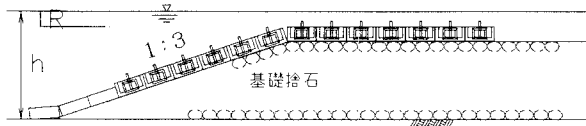


図-5 潜堤構造模型断面

なお、エコリーフブロックの形状は2種類を想定しており、図-1に示したものが標準型のI型であり、ブロック内部に設置してあるエコ消波板の突起(ブロック本体より突き出ている部分)が無く、ブロック上面が水平となるものをII型と呼んでいる。実験ではこの2種類を用いた。

実験波浪には修正ブレッドシュナイダー・光易型スペクトルを目標とした不規則波を用いた(以下の数字は全てフルード則による現地換算寸法)。模型実験の縮尺は、1/50 および 1/40 の2種類である。それぞれのブロック質量は、縮尺 1/50 ではI型 28.44t、II型 27.51t であり、縮尺 1/40 ではI型 14.56t、II型 14.09t である。

実験の波浪条件は、縮尺 1/50 では堤体設置水深 $h=15\text{m}$ 、 18m に対して、周期は 14.35sec 、 10.25sec の2種類、波高 $H_{1/3}$ は、 $5\text{m}\sim 9.75\text{m}$ 、ブロックの天端上水深 $R=2\text{m}$ とした。また、縮尺 1/40 では水深 15m に対して周期 14.17sec 、 10.25sec 、波高 $H_{1/3}$ は $5.0\text{m}\sim 8.0\text{m}$ 、天端上水深 $R=2\text{m}$ とした。したがって、 $h/L=0.091\sim 0.1735$ 、 $R/H_{1/3}=0.21\sim 0.40$ の範囲で実験を実施した。

過年度に実施した水利特性実験結果によると個々のブロックが移動して、ブロック間の隙間が無くなると個々のブロックの動揺は極端に小さくなる傾向にある。このとき、ブロック群は一体的になることによって安定するか、あるいは全体で移動し、ブロックの被害は生じづらくなる。このため今回の安定実験ではブロックに対して最も危険側となるように、実験波高毎にブロック間に隙間を持たせてブロックを設置することとした。実験での隙間は、法線および断面方向ともに 0.2m とした。

ブロック被害の定義は、一般には裏返りや転落、ブロック基本長の $1/2$ 以上の移動が定義となるが、エコリーフブロックは、その特徴でもある立体構造から、ブロック間からの抜け出しやブロック長 $1/2$ 以上の被害には至りづらい構造である。また、ブロック群として一体的に移動するため、一般的な被覆ブロックとは異なり、ブロック長 $1/2$ 以上の移動は被覆部分の全体移動になる事が想定される。基礎マウンドの保護を目的として被覆ブロックを設置することから安全側ではあるが、ブロック長の $1/4$ 以上の移動を被害と定義した。

実験断面は、ガラス面から水路幅方向へエコリーフブロックを 10 個敷設し、残りの部分にダミーブ

ロックとして既存の被覆ブロックを用いた。このため被害率は、ガラス面から 1 個を除いた 9 個の部分を検査域とし、ブロックの全個数に対する被害個数の比(%)として表した。

4. 実験結果および考察

(1) 被災形態

各実験断面における全般的な移動状況として、エコリーフブロックは立体的な構造であることから、ブロックの抜け出しによる被災は全くみられない状況であった。

a) 斜面勾配および法止め効果

図-4 で示した斜面勾配 $1:3.0$ および $1:2.5$ では、周期や波高の大小によらず本実験の波浪条件では被害は見られていない。これはエコリーフブロック内に進入した波がスリット部をとおり、消波板によって効率よく波のエネルギーが減衰され、斜面に遡上するためにブロックに働く揚圧力が減じられていることやブロックの重心が低い為に安定性が増しているものと推測される。一方、勾配 $1:2.0$ および $1:1.5$ では、主に法面最上部のブロックが前後(水深)方向に移動を繰り返し、法面全体を被災させている。但し、これは斜面のみにブロックを敷設した場合であり斜面法先から海底地盤上に法止めとしてブロックを連続して敷設した場合の安定性は非常に高くなっている。図-6 は勾配 $1:1.5$ の場合でそれを表したものである。斜面のみでは有義波高 5.0m で 100%の被害を受けているが、法止め構造とした場合では有義波高 8.0m まで被害率は 0%である。

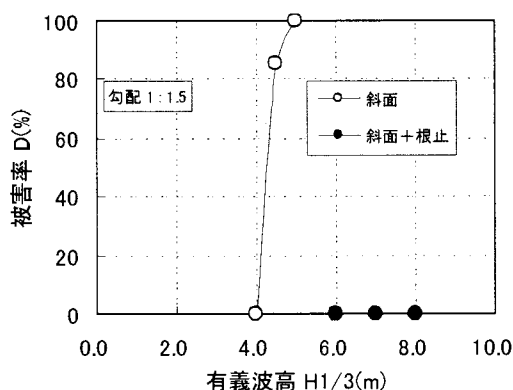


図-6 法止め構造による被害の低減

以上のことから、斜面勾配の安定性については、勾配 $1:2.5$ および $1:3.0$ ではエコリーフブロックの特性などにより非常に安定性の高いブロックと判断された。勾配 $1:1.5$ および $1:2.0$ では斜面のみにブロックを敷設した場合は、法面全体に被害を及ぼすことから、法先から海底地盤上に連続してブロックを敷設する法止め構造が望ましい結果となった。

b) 敷設列数の効果

潜堤の被覆材に用いた場合の主な被害箇所は、法肩部および敷設後端部で発生している。法肩部については、ブロック同士の隣接がないため、ブロック単体で岸側後端を軸に僅かに動揺しているが、被害には至らない。また、敷設列数後端部は波の打ち込みによる移動が最も顕著である。

図-7 は、周期をパラメータとしてブロックを7列(黒印)および9列(白印)に敷設した場合の有義波高に対する被害率をプロットしたものである。7列および9列敷設の場合、周期の短い10.25secでは波高の大小によらずブロックは安定している。

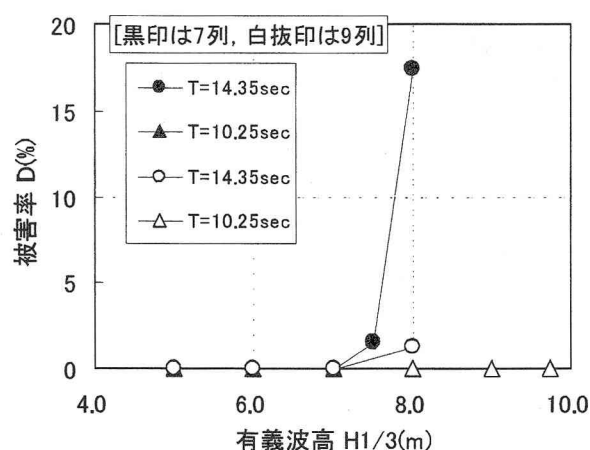


図-7 敷設列数による比較

一方、周期の長い14.35sec、波高8.0mの場合、9列敷設では2.0%程度、7列敷設では18.0%程度の被害率になっている。これは周期10.25sec程度であれば4~5列目付近、それより長い周期14.35secでは写真-1に示すように6~7列目の後端部付近に波の打ち込みが多く見られているため、ブロックの敷設中央部(4~5列目)へ波が打ち込む場合は、ブロックが個々ではなく面となって砕波を受けるためブロックの移動幅が小さく被害はほとんど生じていない。また、敷設列の後端付近による波の打ち込みでは、ブロック単体での移動が顕著に現れるため被害は増加している。このような状況であるため、9列敷設の場合では打ち込み箇所後方もブロックにより十分に被覆されているためブロックの移動はほとんどなく被害は発生しない状況であった。

以上のことから、ブロック敷設列数の増加によって被害率は減少する。このことは、著者らの過去の実験結果からも示唆されている。著者らは敷設列数を3列から8列まで変化させて実験を実施し、その結果、敷設列数7列の場合が最も安定性が高い結果を示している。また、3列や4列敷設ではブロック背後に波の打ち込み箇所が生じるため基礎マウンドに洗掘が生じ構造物本体に影響を及ぼす結果となっている。今回、実験で実施した9列敷設では、7

列敷設よりさらに安定性は高くなっていることから、基礎マウンドに対する被覆効果やブロック自体の安定性を増すためには、敷設列数を多くするほど良いと考えられるが、著者らの実験結果および今回の実験での被害状況を考慮すると、7列程度の敷設が最も有効かつ経済的な敷設列数であると考えられる。



写真-1 波の打ち込み状況

c) ブロック形状(I型, II型)の効果

図-8 は斜面勾配1:2.0, エコリーフブロックの敷設は斜面のみで $h/L=0.093$, 0.138 におけるブロック形状I型およびII型を有義波高に対する被害率で比較したものである。

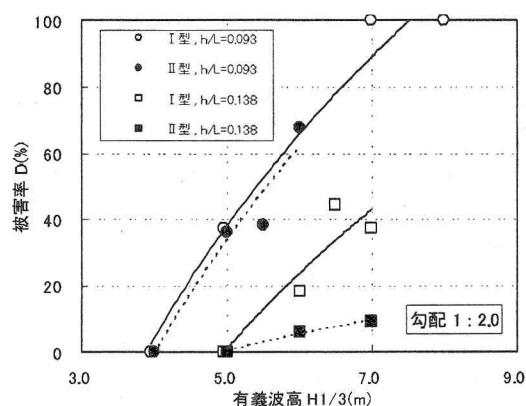


図-8 ブロック形状の比較

$h/L=0.138$ ではI型, II型における被害率の差は6.0m以上でみられるが、I型はII型に比べ、ブロック天端部に突起(エコ消波板)があるため、波の抵抗を受けやすく移動幅も大きくなるためである。

しかしながら、被害率0%の有義波高はI型, II型ともに5.0mであり、ブロックの所要質量を算出するために必要な安定限界波高を考えた場合、I型, II型とも同じ K_D 値となり、それぞれの安定性機能は同等であるといえる。また、 $h/L=0.093$ の場合は、I型, II型に被害率の差はほとんどみられないため、周期が短い場合に比べて、ブロック形状における安定性に対する違いはない傾向にある。

これらのことについては、潜堤構造とした場合に

についても同様な結果であった。

以上のように、ブロックの安定性についてはⅠ型とⅡ型の差異はあまりない結果となった。よって、Ⅰ型とⅡ型の使い分けについては、消波機能において優位であると考えられるⅠ型は、人工リーフや混成堤前面側等の消波効果を特に期待する場合に適用し、防波堤の背後マウンドに適用した水産生物の増集効果を期待するようなケースについては、ブロック上を小型船舶が航行する事も考えられるため、天端水深の関係上、Ⅱ型のような消波板の突起が無い形式が望ましいものと考えられる。

以下の内容についてはブロック形状Ⅰ型の結果を主に図化する。

(2) 傾斜構造物表面面に用いる場合の所要質量算定

斜面勾配 1:2.5 および 1:3.0 では実験の波浪条件としての最大有義波高である 9.75m 相当の波、また斜面勾配 1:1.5 および 1:2.0 では、法止めを必要とする構造条件とするならば 8.0m 相当の波でも共に被害は生じていない。これらの条件を前出の式(1)に代入し、各々の K_D 値を求め、横軸に有義波高、縦軸にエコリーフブロックの所要質量を表した所要質量算定図(図-9)を作成した。

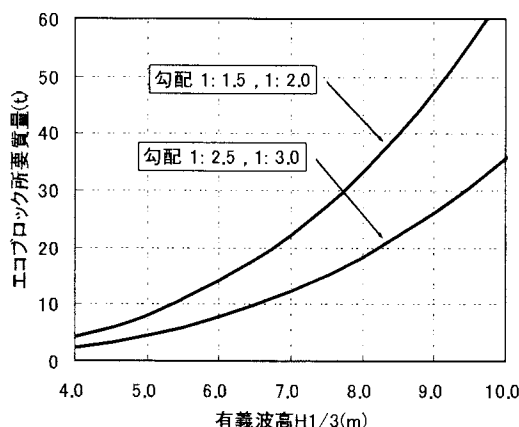


図-9 所要質量算定図(傾斜構造)

この算定図を用いることによって、傾斜構造物に用いる場合のエコリーフブロックの所要質量を適切に算定することができる。但し、勾配 1:1.5 および 1:2.0 は法止め構造を標準とする条件付である。

(3) 潜堤などのマウンド被覆材に用いる場合の所要質量算定

安定数 N_s の値は、被覆材の特性や波の諸元、水深および被覆材の天端上水深などにより異なってくる。潜堤の被覆材として用いるブロックの所要質量算定として多く用いられている方法は、天端上水深 R と有義波高の比 R/H と波の諸元に対する安定数 N_s の関係から、設計に用いる N_s を算定する方法で

ある。本研究においても、いくつかの要因を無次元量として(例えば H/h , h/L , R/H など)、安定数 N_s 値との関係を検討した結果、エコリーフブロックの安定性は特に波長に大きく依存していることが分かった。

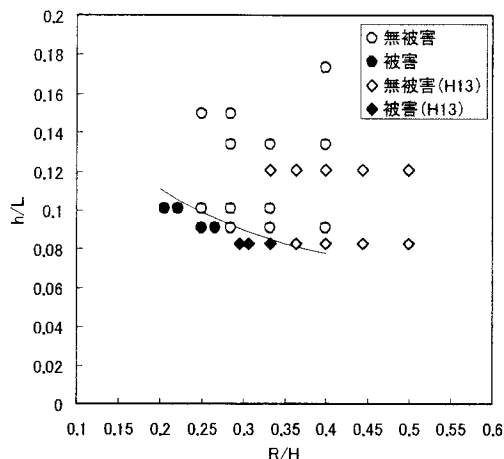


図-10 安定限界の算定

図-10 は横軸に天端上の水深 R と有義波高の比 R/H 、縦軸に水深 h と波長 L の比 h/L として、本実験と著者らの過去の実験⁹⁾による実験結果を併せて、被害の有無についてプロットしたものである。これらのデータは種々の波浪条件の結果を合わせて示したものであり、図中ではこれを区別していない。ブロックの被害は、 $h/L=0.082\sim0.103$, $R/H=0.34\sim0.2$ の範囲において生じている。図中の曲線は、ブロックに生じた被害と被害無しの境界を表したものであり、この境界曲線がエコリーフブロックの安定限界である。つまり、このことは境界曲線上の各波長に対して限界波高が存在していることを示している。したがって、この曲線を用いて安定数 N_s 値を求めることができる。天端上水深 R は、一般的に用いられることの多い $R=2.0\text{m}$ とその前後 1.5m, 2.5m を用いて、潜堤構造とした場合の安定数 N_s 値の算定図(図-11)を作成した。

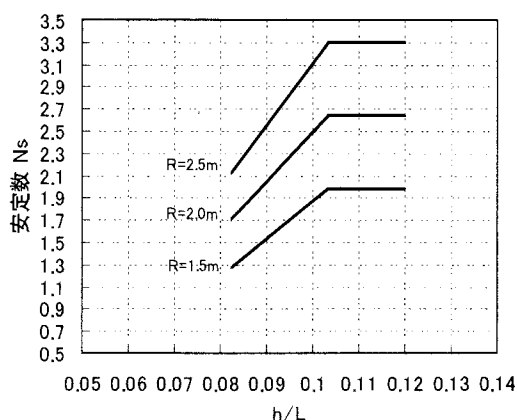


図-11 安定数 N_s の算定図

図-11 で示した安定限界曲線(図-10)の範囲である $h/L=0.082\sim 0.103$ では、波長が長くなることによって N_s 値は小さくなり、ブロックの所要質量は大きくなる。また、波長が短くなると N_s 値は大きくなり、ブロック質量は小さくて済む傾向を示している。また、天端水深が小さくなること、すなわち被覆材に対する波の影響が大きくなることによって、 N_s 値は小さくなり、ブロック質量は大きくなることを表している。この算定図の一定値で示している部分は、今回の実験データ範囲外であるが、 $h/L>0.103$ 条件で波高が大きい場合、これまでの実験状況から潜堤上もしくは潜堤手前で波が砕波することが容易に推測されるため、 $h/L=0.103$ から求められる N_s 値を上限値とすることが妥当なものと考えられる。また、 $0.082>h/L$ の条件では、波の打ち込み箇所がブロック背後へずれ込むことが予想されることからブロックには被害が生じないものと推測され、一定値としても良いと考えられるが、ブロック背後のマウンドに影響を及ぼす可能性が懸念されるため、 $0.082>h/L$ の範囲については、さらに検討が必要である。

以上により、潜堤などのマウンド被覆材として用いるエコリーフブロックの所要質量は、周期に依存しており、図-11 で示した h/L と天端上水深 R から安定数 N_s 値を求め、式(1)により算定が可能である。

5. まとめ

新型被覆ブロック(エコリーフブロック)の被覆材としての安定性に対する不規則波による実験結果について述べたが、本実験条件の範囲内での主要な結果をまとめると以下のとおりである。

<斜面構造に対して>

- ・ 斜面勾配 1:2.5 および 1:3.0 ではブロックの特性などにより非常に安定性が高いことが確認された。
- ・ 斜面勾配 1:1.5 および 1:2.0 での敷設は、法面のみだけでは法面全体に被害を及ぼすことから、法先から海底地盤上に連続してブロックを敷設する法止め構造とすることが有効である。
- ・ 図-9 を用いることによって、有義波高に応じた適切なエコリーフブロックの所要質量を算定することができる。

<潜堤構造に対して>

- ・ 今回の実験によれば、30t ブロック(模型縮尺 1/50)および 15t 型ブロック(模型縮尺 1/40)では、7 列程度の敷設が最も有効かつ経済的であると判断された。
- ・ h/L と R/H の関係から安定限界波高を導き、 h/L および天端上水深 R に応じた安定数 N_s 値を求めるための算定図(図-11)を得た。

<ブロック形状について>

- ・ エコリーフブロック I 型、II 型ともに同等の安定性を有していることが確認された。

6. あとがき

エコリーフブロックは、平成 12 年度より研究を実施してきたものであり、消波機能、被覆機能および水産協調機能を併せ持つ複合型のブロックである。水理特性(消波機能)については、過去に実施した実験によって解明されているため、本研究では被覆機能としての安定性について実験を実施した。傾斜構造物および潜堤構造物に対して、種々の波浪条件から得られるエコリーフブロックの安定に対する限界波高を一般化されたハドソン式に代入し、斜面構造では K_D 値を求め、エコリーフブロックの適切な所要質量の算定図を得ることができた。また、潜堤構造では h/L と R/H の関係から安定限界波高を導き、安定数 N_s 値を求めるための算定図を得た。これらの算定図により、各々の構造断面における適切なエコリーフブロックの所要質量の算定が可能である。また、水産協調機能については、現在、日本海側において、平成 14 年度に試作したエコリーフブロックを雄冬漁港港口の海中に沈設し、その効果を実証確認中である。

最後に本実験の実施およびデータの整理には、北海道東海大学学生の沖崎雅樹君、桑原一紀君および服部宏和君に多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 谷野賢二、梅沢信敏、上久保勝美、川原眞、柳沼利信、時川和夫(2002): 消波機能と魚礁機能を有する新型被覆ブロックの開発、海洋開発シンポジウム Vol.18
- 2) (社)日本港湾協会(1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説