

護岸の設計手法に対する一研究

ONE RESEARCH TO THE DESIGN TECHNIQUE OF SHORE PROTECTION

加藤恵子¹

Keiko KATO

¹正会員 共和コンクリート工業株式会社 技術研究所 (〒061-1405 北海道恵庭市戸磯 385-36)

This paper proposes the solid radar figure which can evaluate the characteristic of a block visually as one consideration to the new design technique. In order to clarify the block characteristic, the stability experiment was conducted using two kinds of block models by which structure of interlocking is different.

The experiment showed that both blocks had a big difference in the stability and the spread of damage.

In view of these facts, I consider that the characteristic of a block considered on the design is important.

Key Words : design technique, shore protection, block

1. はじめに

現在, 公共事業のあり方が見直され, 初期建設費用だけではなく維持管理費も含めたトータルコストの考え方が重視され始めている. コスト縮減対策の工法・手法がさまざま提案されている中, 設計断面の工夫などでコストの縮減を図った例はあるが, 被災した場合の修復コストなど維持管理費を視野に入れトータル的にコスト縮減を図ろうとする手法は確立されていない. 30年, 50年, 波浪に耐えうる構造物を作るよりも, たとえば10年に一度被災を受ける可能性があっても修復費用を考えたときトータルコストとして安価となる場合があると考え. 反対に, 初期費用は高いが, 維持管理が必要なくトータルコストが縮減できる場合もある.

そこで本研究では, 構造物を構成する材料のひとつである被覆ブロックに着目し, 形状差異における被害要因, 被害拡大状況の違いを把握し, 設計への導入を検討する.

最終的には, 海岸法の理念である「防護」「利用」「環境」の三本柱と照らし合わせ, ブロックを評価できる手法への発展を考察する.

2. 実験概要

安定性実験には, 二次元造波水路を用いた. 実験波浪はブレードシュナイダー・光易型のスペクトルを持つ不規則波とし, 周期 7.77~15.55sec, 波高

1.89~5.29m までの組み合わせとした. 堤体は碎石にてマウンドを作成し, ブロック模型で被覆した. 法面勾配は 3.0~5.0 割とした. 波は 1000 波以上作用させ, 目視にてブロック挙動を確認した.

3. ブロック形状

実験には図 3-1, 図 3-2 に示す 2 種類のブロック模型 (2t 型) を用いた. 実験縮尺は 1/34 でフルード相似則を用いた. Type-1 と Type-2 は噛合せ部が違う形状となっている.

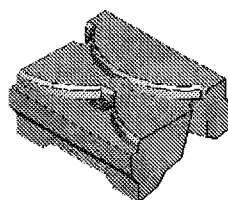


図 3-1 ブロック Type-1

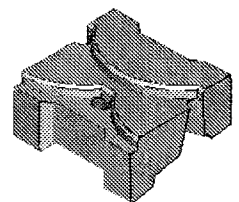


図 3-2 ブロック Type-2

4. 実験結果

(1) 安定係数 N_s と法面勾配 $\cot \alpha$ の関係

図 4-1~図 4-2 は, 縦軸に安定係数 N_s , 横軸に法面勾配 $\cot \alpha$ をとり, 被害率 $D(\%)$ をパラメータとしたグラフである. 被害率は, 波が作用したブロック総個数に対する被害個数の百分率で表した. 図 4-1 よりブロック Type-1 は, $\cot \alpha = 3.0$ で $N_s < 2.84$, $\cot \alpha = 4.0$ で $N_s < 2.46$, $\cot \alpha = 5.0$ で $N_s < 3.41$ について無被害であり波高に対する安定性は高いことがわ

かる．しかし N_s が安定限界を超えると急激に大きな被害率に発展している．その他， $\cot \alpha = 5.0$ で最も安定性が高いことがわかる．

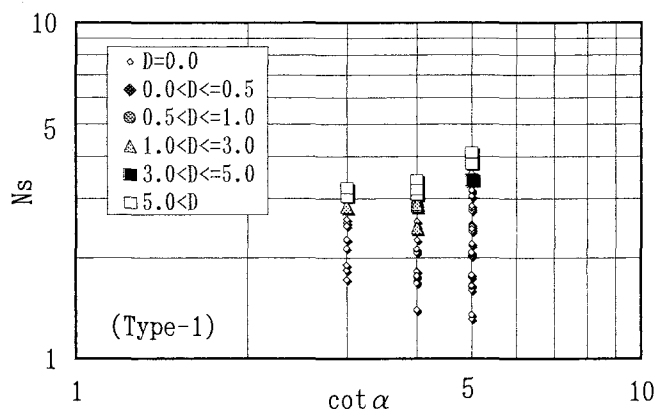


図 4-1 N_s - $\cot \alpha$ のグラフ (Type-1)

図 4-2 よりブロック Type-2 は $\cot \alpha = 3.0$ で $N_s \geq 2.49$, $\cot \alpha = 4.0$ で $N_s \geq 1.68$, $\cot \alpha = 5.0$ で $N_s \geq 1.65$ で被害が見られ，Type-1 より小さい N_s で被災し始めることがわかる．被害率は N_s が大きくなるにしたがって大きくなる傾向があり，Type-1 のように急激に被害が広がる傾向はみられない．また，Type-2 に関しては $\cot \alpha$ が大きくなるにつれ被害率が大きくなる傾向にあることがわかる．

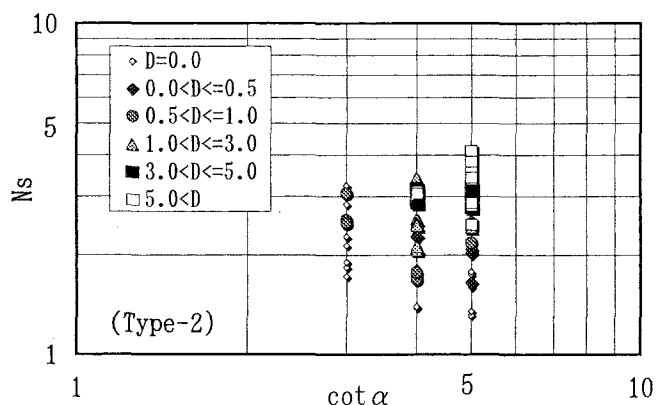
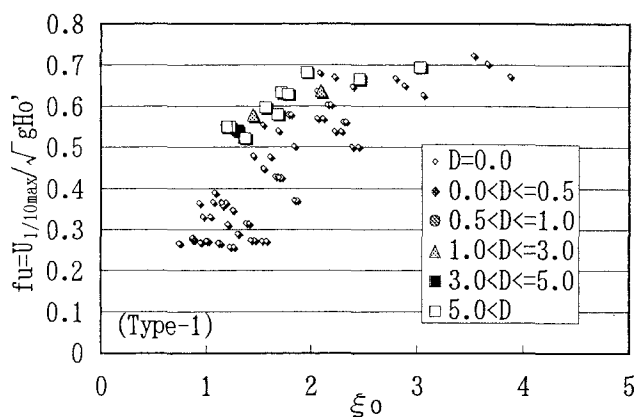


図 4-2 N_s - $\cot \alpha$ のグラフ (Type-2)

(2) f_u - ξ_o のグラフ

図 4-3～図 4-4 は，縦軸に無次元流速 f_u ，横軸に碎波帯相似パラメータ ξ_o をとり，被害率 $D(\%)$ をパラメータとしたグラフである． f_u は，電磁流速計を用いて実測したブロック表面流速のうち 1/10 最大流速を重力 g と換算沖波波高 H_o' とで無次元化した値である．

図 4-3 より，ブロック Type-1 は $f_u > 0.5$ ， $\xi_o = 2.0$ 前後に被害が集中していることがわかる．これは Type-1 が，流速が大きかつ波高も大きい波で被災することを表している．また， $\xi_o > 3.0$ では流速に



関わらず安定していることがわかる．

図 4-3 f_u - ξ_o のグラフ (Type-1)

図 4-4 より，ブロック Type-2 は ξ_o が大きくなるにつれ安定性が高くなる傾向があり， $\xi_o > 2.3$ では全く被災しなかった．Type-1 と比較し，小さい f_u でも被災していることがわかるが， ξ_o ごとに見てみると， f_u が大きくなるにつれ被害率が大きくなっていることがわかる．

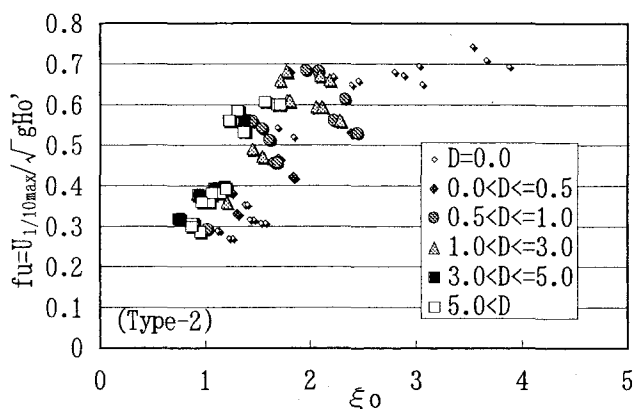


図 4-4 f_u - ξ_o のグラフ (Type-2)

5. ブロック形状の相違による特性評価

ブロック特性とは，波浪に対する安定性，被害拡大機構，孔の有無，その他形状的特徴などあらゆる事柄を包括したものを指す．ブロック特性のうち，波浪に対する安定性をブロック性能と位置づける．

(1) ブロック Type-1 の被害特性

Type-1 は，岸沖方向に隣り合うブロックが切り欠き部で重なり合う噛合せ構造を持つブロックである．図 5-1 に敷設側面図を示す．Type-1 は，ブロック同士が自重で支え合い，ブロックが連続した群体となって波に抵抗するため比較的揚圧力に強いと考える．図 4-3 を見ると，Type-1 は $f_u \leq 0.5$ まで ξ_o に関わらず安定しており，揚圧力に抵抗していることがわかる．しかし，法面と直角に波が叩き付けられるように進入し衝撃でブロックが抜けようとした際には，

その挙動が連続する前後の隣接ブロックにも影響を及ぼし、逆に被害を広げる結果となる。

図 5-2 に敷設平面図を示す。ブロックが抜けると隣接していたブロックが波によって横ずれする挙動が見られた。また、平面的な噛み合わせがないため波の進行によってブロックがめくられやすい様子が確認できた。つまり、ブロック Type-1 は比較的大きな波高に耐えられるが、一度被災すればその被害の拡大は急激となる可能性が高いことがわかった。

(2) ブロック Type-2 の被害特性

Type-2 は、法面方向の切り欠き部で平面的に噛み合うブロックである。図 5-1 に敷設側面図を示すが、Type-2 は法面直角方向で互いに噛み合わせを持たず、揚圧力にはブロック側面の摩擦力のみで抵抗する構造となっている。したがって Type-1 と比較し揚圧力の影響を受けやすく Type-1 よりも小さな波高でブロックの被害が出始めた。これは図 4-4 から明らかになっている。しかしブロックがひとつ抜けてもそこから一気に被害が広がることはなく、そのため、流速や波高と比例して徐々に被害が広がる傾向が現れたと考える。

(3) ブロック形状の差異による安定特性評価

今回の安定実験に用いた 2 種類のブロックは噛み合わせ構造のみが違うほぼ同形状をしたブロックである。この噛み合わせ構造の違いで、以下のことが把握できた。

ブロック Type-1 は、揚圧力に対し隣接ブロック同士が繋がり面状の群体となって抵抗するため、比較的波浪に対して高い安定性を示す。しかし被害が出始めると岸沖方向に隣接するブロックにも挙動を伝えること、また平面的な噛み合わせを持たないためブロックが横ずれを起こしやすいことなどから、被害の拡大は急激である。したがって、設計時の想定以上の波浪の来襲などで万が一ブロックが被災した場合には、その修復コストは比較的高くなるだろうと予測される。ブロックが重なり合う形状であることを考えた場合、かなり広範囲に及ぶ修復となる可能性も否定できない。

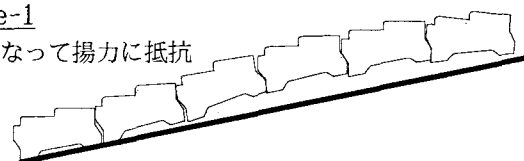
一方、ブロック Type-2 は、揚圧力に対しブロック単体で抵抗することになり比較的小さい波高でもブロックが被災し始める。図 4-2 で、緩勾配になるほど不安定となったのは、勾配が緩くなるほど近隣ブロック同士が接する側面の摩擦力が弱まり、ブロックが抜けやすくなったためと考える。しかし、Type-2 は図 5-2 で示すように平面的な噛み合わせをもち、ブロックがひとつ抜けても他のブロックは横ずれなどを起こさず連鎖的被害が起こりにくい構造であるため、被害の拡大は緩やかである。したがって波浪に対する安定性は Type-1 に劣るが、ブロックが被災した場合の修復コストは比較的安く済むと考える。

以上より、ブロック性能で比較すると Type-2 は

Type-1 に劣るが、ブロック特性に着目すると Type-2 の利点も見出すことが出来、それぞれのブロック特性を生かした使い方を可能にすると考える。

Type-1

- ・連なって揚力に抵抗



Type-2

- ・単体が浮き上がる

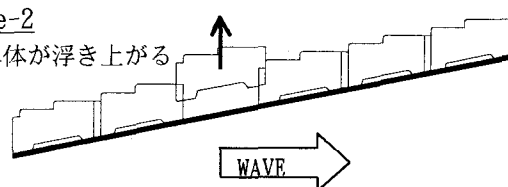
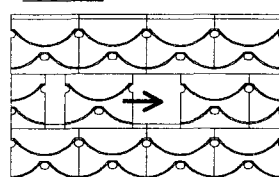


図 5-1 波作用中のブロック挙動(側面図)

Type-1



Type-2

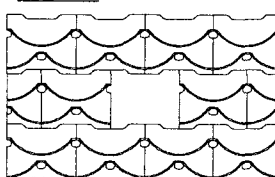


図 5-2 ブロックが抜けた場合の挙動(平面図)

6. 設計に対するブロック評価の導入

(1) ブロック特性評価図

海岸施設を築造するにあたり被覆ブロックを用いる場合、その所要質量の算定にはハドソン式などが用いられる。設計の対象となる波の波高は、30 年もしくは 50 年確率波などで決定されるが、設計当初予想しなかった台風の来襲や、波浪による洗掘などによりブロックが被災する事例が少なくない。この現状に関わらず、現在の設計では、設計波に対する安定性(ブロック性能)が重視され、被災した場合の修復コスト、保守点検の必要性など(ブロック特性)は軽視されているのではないかと考える。したがって今回、被害の拡大状況など、ブロックのもつ性質をブロック特性としてわかり易く示唆することを試みた。図 6-1 にその案を示す。本実験では、階段機能を持つブロックを用いたためその項目を加えた。対象となるブロックによって任意にレーダー図の項目は変更可能である。ここで、項目ごとにレーダー図にプロットするポイントは採点式で決定する。Type-1、Type-2 の採点表を表 6-1 に示す。ここで、レーダー図で面積の大きい方がプラスのブロック特性となるよう項目の設定を行う必要がある。噛み合わせ部以外は同じ形状のブロックであるため、同得点項

目が多く出ている．今回は同じ質量のブロック同士を比較したため移動限界波高をレーダー項目として加えたが，実際の設計では現地の波高に合せブロック質量を決定するため，所要も数などに変更されるところと考える．

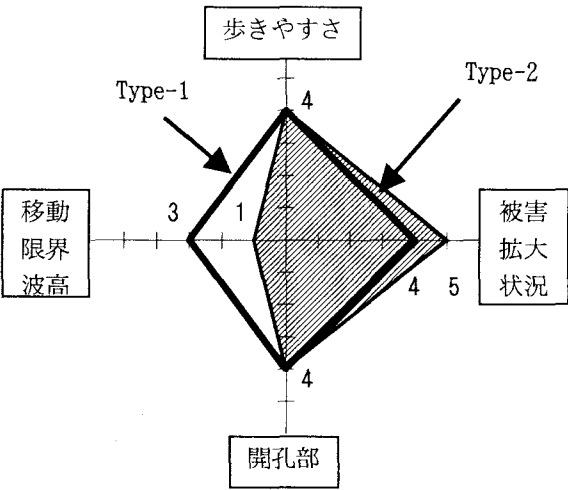


図 6-1 ブロック特性評価図

表 6-1 ブロック特性採点表

項目	採点内容 (cotα=4.0 の場合)	ブロック名	
		Type-1	Type-2
移動限界波高	Type-1 は H=2.98 m Type-2 は H=1.84 m	3	1
開孔部	サイズ・位置等で判断	4	4
被害拡大状況	拡大緩やか～急激に 従い，5～1	④	⑤
歩きやすさ	蹴上げ高さ・踏み面幅 などで判定	4	4

表 6-1 の採点精度を高めるためには定量的な考え方をする必要があるので，今回は形状の似通った 2 種類のモデルでのみ実験を行っているため定量化は難しい．そこで，移動限界波高及び被害拡大状況について次のように採点を行ってみた．

図 6-2 は cotα ごとに，D=0.0(%) で最も大きい Ns，D>5.0(%) となる最も小さい Ns を示したグラフである．(a)～(c) のグラフのうち，D=0.0(%) で Ns の大きい順に 5～1 と順位づけ，これを移動限界波高の採点とした．被害拡大状況は，D=0.0(%) から D>5.0(%) になるまでの Ns 値の差で表し，差が大きいものから 5～1 と順位付け，採点した(丸数字)．直線の傾きが急なものほど被害拡大が緩やかであることを表す．どちらも同程度のものは同じ得点とした．

図 6-3 は，図 6-1 に経済性という厚みを持たせた 3D レーダー図である．経済性というのは，1m² 辺りの単価，施工費の安さなどが上げられるが，修復コ

ストを見込んだ設計が可能となれば，点検頻度を定め，5～10 年程度の短いスパンで設計し，維持補修を行っていくことを前提とした経済性を追求するのが望ましく，検討期間内についての初期建設費用，維持管理費用などの合計を比較する必要がある．現段階では試算に及んでいないため，縦軸に経済性をとる，という紹介にとどまる．

経済性が低い場合でも，歩きやすさなどの利点を持っているブロックはレーダー図底面の面積が大きくなり，3D レーダー図での体積が大きくなる．3D レーダー図体積が大きいブロックほど，ブロック特性に優れたブロックと評価できる．

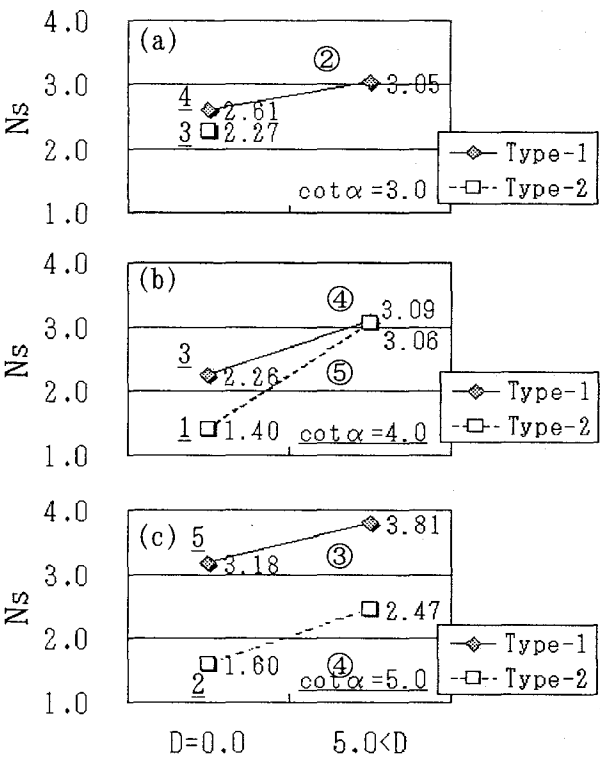


図 6-2 移動限界と被害拡大状況

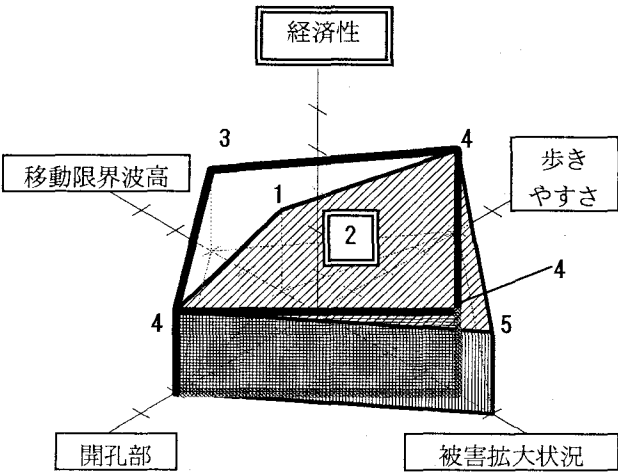


図 6-3 ブロック特性評価図(3D モデル)

(2)ブロック特性評価図の発展

平成 11 年に海岸法が改正され、従来の「海岸の防護・保全」に加え「海岸環境の整備・保全」および「公衆の海岸の適正な利用」が法の目的として追加され、「防護」「利用」「環境」は海岸法理念の三本柱となった。海岸法の適用範囲は一般公共海岸にまで及び、全延長の 80%を網羅する。ブロック特性図を図 6-4 のように発展させると海岸法と合致した評価図が作成できると考える。

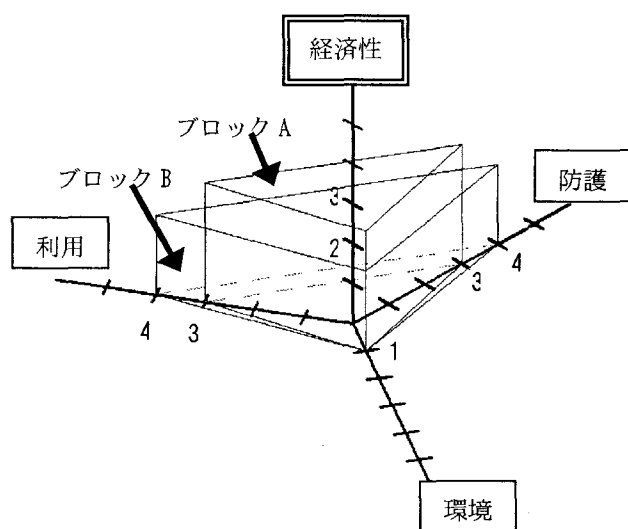


図 6-4 ブロック特性評価図

7. まとめ

今回の研究における安定実験結果より、2 種類のブロックについて以下のことが把握できた。

(1)Type-1

- ・流速が大きくかつ波高の大きい波で被災する。
- ・直的噛合せによりブロックが群体として抵抗するため揚圧力に強い。

- ・ $\cot \alpha = 5.0$ で最も安定性が良い。

- ・ブロックが一つ抜けるとそこから被害が広がる傾向があり、被害の拡大が急激となるため、被災した場合の修復コストは比較的高価であると予測される。

(2)Type-2

- ・流速や波高が小さい波でも比較的被災しやすい。
- ・鉛直方向の噛合せがなく、揚圧力に弱い。
- ・勾配が緩くなるにしたがって、安定性は低くなる傾向にある。
- ・ブロックが一つ抜けても平面的噛合せの効果により被害の拡大は緩やかであり、被災した場合の修復コストは比較的安価であると予測される。

噛合せ構造の差異だけでも以上のようなブロック特性の差異が現れたため、形状差異における被害要因・被害拡大状況の違いを把握することは、トータルコストを縮減し効果的にブロックを選定するために重要であると考ええる。そしてブロック特性を評価するには、図 6-3 に示すような 3D レーダー図が有効であると考えている。

8. おわりに

残念ながら、今回提案したブロック評価図に実際の設計条件を当てはめて検証する作業をまだ行っていない現状にあり、今後検証を行いたいと考えている。また、図 6-4 に示したブロック特性評価図へと発展させるためには、「防護」「利用」「環境」の三本柱について表 6-1 のような特性採点表の作成を検討する必要がある、そのためには、海岸事業における費用対効果分析¹⁾が必要であると考えている。

参考文献

- 1)(社)全国海岸協会：2003～2004 海岸ハンドブック，pp.186-189，2004。