

投石安定重量算定法に関する研究

水産工学研究所 漁場施設研究室 高木 儀昌
明田 定満
森口 朗彦

調査実施年度：昭和63～平成4年度

緒 言

岩礁浅海域の重要な漁業生産対象種であるアワビ・ウニ類の年間漁獲量は、アワビ類6,466トン（昭和45年度）、ウニ類27,528トン（昭和44年度）をピークに減少傾向にある¹⁾。我が国ではこれらの種の増殖を図るために、生物学的増殖手段として天然種苗の移植、人工種苗の生産と放流が各地で行われるとともに、工学的増殖手段である増殖場造成が沿岸漁場整備開発事業（以下、沿整事業という）の一環として各地で行われている。

一般に、アワビ・ウニ類は潮通しが良く岩礁の張り出しや起伏により、渦流が形成されるような複雑な流動環境を備えた砕波近傍の岩礁域や転石帯に生息している^{2) 3)}。また、餌料となるアラメ、カジメ、ホンダワラ類やコンブ類の繁茂域も、概ね水深10m以浅の浅海岩礁域であることが多い。

我が国ではアワビ・ウニ類あるいはイセエビの増殖を図る目的で、対象生物の棲み場造成や餌料海藻の付着基質の拡大のために、石材やコンクリートブロック等の着定基質を用いた増殖場造成が行われている。しかしながら、増殖場造成海域は、対象種の生態から波変形が著しく大波力が作用する砕波帯近傍にあることが多く、設置した着定基質が台風や冬期風浪により逸散することが度々生じている。沿整事業を実施する上で、着定基質の所要重量算定方法の精度向上が求められているが、増殖場造成に用いる着定基質の所要重量算定に関する工学的な研究⁴⁾は僅かしか無い。そこで、着定基質を用いた増殖場造成に関する設計指針の精度向上を図るため、本研究では、①無次元砕波水深と設計流速の関係、②着定基質の設置方法と安定性の関係、について実験的に検討し若干の知見が得られたので報告する。

現行の設計計算法

沿整事業で使用される構造物は、沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（以下、指針という）に従い設計される⁵⁾。指針には着定基質を用いた増殖場造成を行なう場合、砕波帯における着定基質の所要重量は、(1)(2)式を用いて算定することが規定されている。

$$u = K \times \sqrt{g h} \dots \dots \dots (1)$$

$$W = C \times u^6 \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

W：着定基質の所要重要重量 (kg)

u：設計流速 (m/s)

C：重量算定係数 (C=2.5)

K：流速算定係数

0.43 (h ≤ 3m)

0.54 - 0.036 h (3m < h ≤ 6m)

0.32 (6m <)

g：重力加速度 (9.8m/s²)

h：設置水深 (m)

検討内容

従来より、着定基質を用いた増殖場造成は、静穏な浅海域から順次行なわれてきたが、最近では海象条件の厳しい外海浅海域での施工事例も徐々に増えてきている。また、着定基質の設置水深が10 mを越える増殖場造成は、増殖対象種の増加に伴って今後も増える傾向にある。そこで、現行の設計流速算定法及び着定基質の所要重量算定法を、①大水深域、②海象の厳しい外海浅海域に適用するためには、以下に述べる解決すべき問題点が出てきた。

3. 1 設計流速算定法

着定基質の所要重量算定に用いる設計流速は、着定基質の設置場所における砕波による底層流速特性から定められている。ここで、砕波による底層流速特性は、砕波形態と同様に波形勾配及び海底勾配により、その時空間特性が異なることが予想される。ところが、現行の設計流速算定法では、設計流速に影響を及ぼすパラメータとして着定基質の設置水深は考慮されているが、海底勾配や波形勾配は考慮されていない。そのため、増殖場造成地点の地形条件、海象条件によっては、設計流速を過大に算定するなど設計流速算定法の適用範囲、算定精度等に問題点を有している。

3. 2 着定基質の所要重量算定法

当初、アワビ・ウニ類等の岩礁を対象とする増殖場造成は、水深5～7m以浅の海域で実施され、対象生物の生態条件とも概ね合致する300～700kgの石材が着定基質として用いられていた。最近では設計波高が大きい外海浅海域に増殖場を造成する事例や、イセエビ幼稚仔保護のために10m以深に増殖場を造成する事例が増加しつつある。このような増殖場では、重量1トン以上の着定基質が必要とする場合が多く見られるが、アワビ・ウニ類あるいはイセエビの生物学、生態学的知見からは、そのような着定基質を必要としない場合が多い。

設計波高が大きい外海浅海域での増殖場造成や着定基質の設置水深が10m以深となる増殖場造成に、現行の設計流速算定法及び着定基質の所要重量算定法を適用すると、設計流速は、①水深の1/2乗に比例、②水深6m以深では流速測定係数Kが一定、等から着定基質の設置水深が深くなるに従い過大な算定値となり易い。また、着定基質の所要重量は、①設計流速の6乗に比例、②重量算定係数Cには着定基質の設置方法の影響が考慮されていない、等から着定基質の設置水深が深くなるに従い、設計流速の算定精度に影響され過大となり易い。以上の理由により、着定基質の所要重量の算定精度の向上には、設計流速の算定精度の向上が必要不可欠である。

3. 3 検討方針

そこで、現行設定法との継続性を考慮して、設計流速算定法及び着定基質の所要重量算定法の基本的な取扱いは変更せずに、適用範囲の拡大、算定精度の向上が図れるように、(1)(2)式中の流速算定係数K及び重量算定係数Cの取扱いを再検討した。

設計流速に関する検討

4.1 実験方法

水理実験は、風洞付規則波造波水槽（長さ70m，幅0.7m，深さ2.2m，水底勾配1/50のモルタル斜面付）を使用して行った。なお、実験スケールはフルード相似則に従い、1/25とした。

着定基質の所要重量算定に用いる設計流速は、敷設された着定基質が最も危険となる碎波時の底層流速特性から算定されるべきである。そこで、①式に示される設計流速算定式の妥当性を検討するために、碎波点における底層流速特性に関する水理実験をおこなった。

水理実験では、着定基質の設置水深が10 mを越える増殖場にも対応出来るように、碎波水深 h_b を可能な限り深くするために、実験波は設定周期（ $T=1.0\sim 2.5$ 秒）における造波可能な最高波とした。また、碎波点における底層流速 U の計測は、図1に示すように碎波点を中心にして20cm間隔で測点を3箇所設け、水路底面の影響を受けない水路底面直上約3cmの位置における水平流速を電磁流速計を使用して計測した。

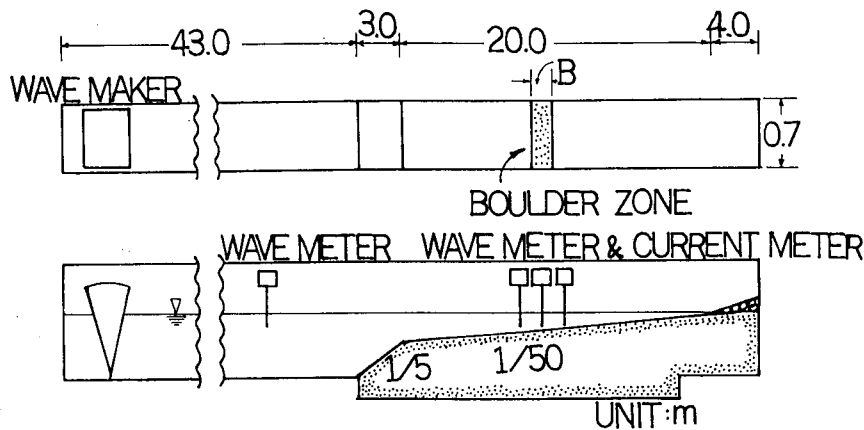


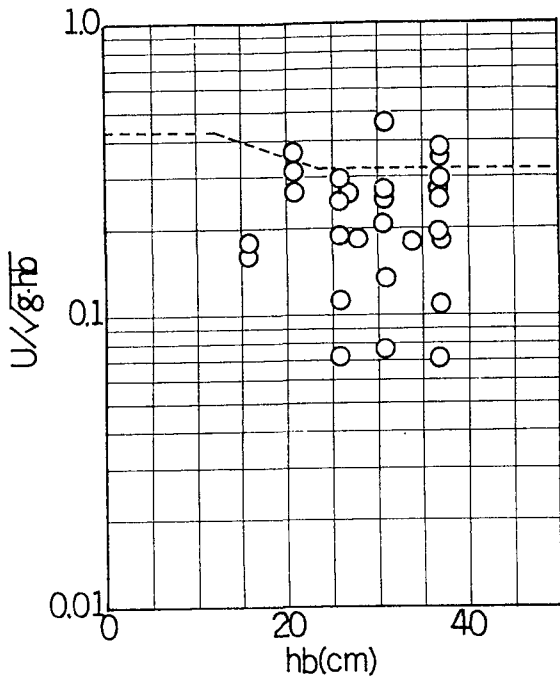
図1 設計流速に関する水理実験

4.2 結果及び考察

まず最初に、現行の設計流速算定法の適用限界を確認するために、碎波点における水平方法の底層流速 U を長波の波速 $\sqrt{gh_b}$ で無次元化した無次元碎波流速 $U/\sqrt{gh_b}$ （以下、流速算定係数 K という）と碎波水深 h_b の関係を図2に示す。図2に示すように、流速算定係数 K は碎波水深 h_b に対して概ね(1)式に示される値以下となるが、ばらつきが大きく碎波水深 h_b だけでは充分整理することは出来ない。

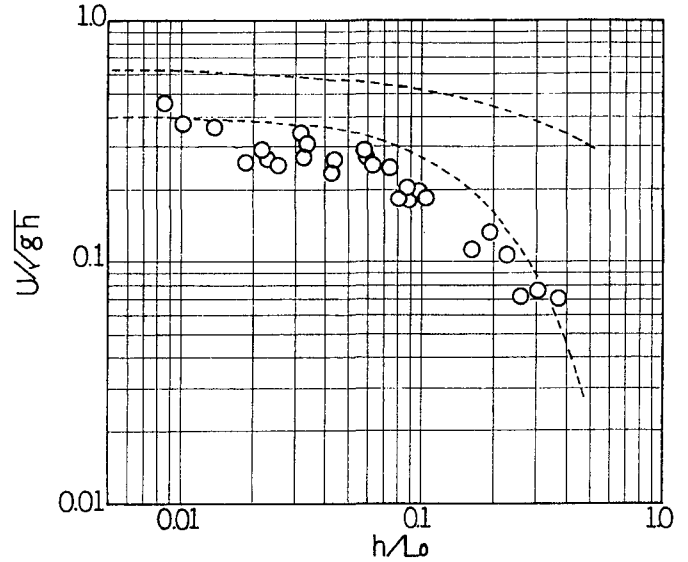
そこで、碎波点における底層流速 U に及ぼす波周期の影響を検討するために、碎波水深 h_b を沖波波長 L_0 で無次元化した無次元碎波水深 h_b/L_0 と流速算定係数 K の関係を図3に示す。図3に示すように、碎波水深 h_b に代わる指標として、波周期の影響を考慮した無次元碎波水深 h_b/L_0 を用いることにより、流速算定係数 K は $h_b/L_0 < 0.5$ までの浅海波領域の幅広い範囲にわたり整理することができた。

図中に示した点線は、水平床における波による波峰部と水底部の水平流速値⁶⁾である。水底勾配1/50の碎波点における底層流速 U は、水平床における波による水平流速値と概ね合致することから、図3に示す無次元碎波水深 h_b/L_0 と流速算定係数 K は、水底勾配1/50より緩勾配な海域に適用出来るものと思われる。



○ : 実験値
 点線 : 指針に示される流速算定係数 K

図 2 流速算定係数 K と碎波水深の関係



○ : 実験値
 点線 : 合田による波峰部及び水底部の水平流速算定値
 図 3 流速算定係数 K と無次元碎波水深の関係

4.3 今後の課題

着底基質を用いた増殖場は、急勾配な海域から緩勾配な海域まで造成される。そこで、本論では施工事例の多い緩勾配な海域における設計流速算定法を検討するために、水底勾配1/50における流速算定係数Kと無次元碎波水深 h_b/L_0 の関係について検討した。今後、急勾配な海域における設計流速算定法を検討するために、水底勾配1/10～1/40程度の無次元碎波水深 h_b/L_0 と流速算定係数Kの関係を把握しておく必要がある。さらに、流速算定係数Kに及ぼす波形勾配の影響も把握しておく必要がある。

着底基質の安定性に関する検討

5.1 実験方法

水理実験は、風洞付規則波造波水槽（長さ70m、幅0.7m、深さ2.2m、水底勾配1/50のモルタル斜面付）を使用して行なった。なお、実験スケールはフルード相似則に従い、1/25とした。

(2)式に示される着底基質の所要重量算定式の妥当性を検討するために、代表的な着底基質である石材を用いて、波動場における着底基質の安定性に関する水理実験を行なった。水理実験では、経済的に入手可能な最大寸法である。「トン石（重量 1ton）」の縮尺1/25模型として重量64gの丸みを帯びた玉石（比重2.60）を用い、石材の設置方法の相違による石材の動態と石材の移動限界流速 u_m を測定した。

我が国の海岸・港湾施設の設計波には、概ね有義波周期10秒前後の波浪が採用されていることが多いので、実験対象波には、有義波周期10秒の波浪を選定した。水理実験ではフルード相似則に従い、実験対象波の縮尺1/25に相当する周期2秒の規則波を用いた。

石材の設置方法は図4に示すように、①石材を単体設置、②石材を敷詰幅B及び敷詰密度Dの組合せによる群体設置とした。なお、石材の敷詰幅Bは碎波点を中心に幅20、40、60、cmの3種類とし、敷詰密度Dは(3)式で定義し、25、50、75、100%の4種類とした。

$$D = \frac{\text{敷詰幅 } B \text{ の敷詰総数}}{\text{敷詰幅 } B \text{ の敷詰可能数}} \times 100 \dots \dots (3)$$

波動場における石材の動態（移動時の運動形態）を、①静止、②振動するが移動しない、③回転または滑動しながら移動する、の3種類に分類した。ここで、移動限界流速 u_m は、石材が回転または滑動しながら移動開始する底層流速と定義した。移動限界流速 u_m の計測は、砕波点を中心に敷設した敷詰石材の中央部における水路底面直上約3cmの位置の水平流速を測定した。

石材は被災率 P は、(4)式で定義した。

$$P = \frac{\text{移動した数}}{\text{敷詰幅 } B \text{ の敷詰総数}} \times 100 \dots \dots (4)$$

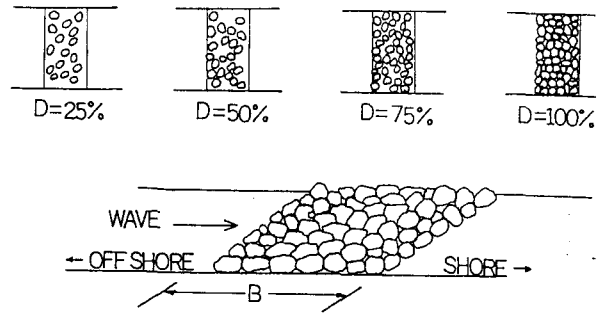


図4 石材の設置方法

5. 2 石材の移動限界流速

海岸保全施設や港湾の外郭施設であるブロック積傾斜堤や離岸堤に使用される捨石や異型ブロックの K_d 値は、背後区域に及ぼす社会経済的影響等を考慮して、被災率が1%以下となるように定められる。一方、アワビ・ウニ類あるいはイセエビを対象とした増殖場は、天然の岩礁域や転石帯周辺に造成されることが多い。そのため、周辺海域に及ぼす影響や経済性等を考慮して、石材の所要重量は、石材の被災率が10%以下となる移動限界流速から検討することとした。

「トン石（重量1 ton）」の縮尺1/25模型である重量64gの石材の移動限界流速は、定常流場では49cm/sであったが、周期2秒の波動場では37~39cm/sであった。ここで、重量64gの石材に対する設計流速は、(2)式に示す着底基質の所要重量算定式から逆算すると、概ね定常流場での移動限界流速と同程度の54cm/sであった。このように波動場における石材の移動限界流速は、定常流場における石材の移動限界流速と比較すると低くなる傾向にあるが、これは定常流場と波動場における石材の動態の相違に起因するものと考えられる。すなわち、石材の動態の目視観察から、定常流場では石材に作用する流体力は水平方向の抗力が卓越するため、石材の動態は滑動が主となる。一方、波動場に設置された石材は、周期的に変動する波力の作用により動揺し易く、容易に転倒または回転しながら移動するため、定常流動より移動限界流速が小さくなるものと思われる。

5. 3 石材の敷詰密度、敷き詰め幅の影響

敷詰幅 B をパラメータにした敷詰密度 D と移動限界流速 u_m の関係を図5示す。石材を群体設置した場合、図5に示すように敷詰幅が長くなるに従い、また敷詰密度が高くなるに従い、石材の安定性が高まり石材の移動限界流速が大きくなる。この現象は、敷詰幅が長くしたり敷詰密度を高めた場合、石材同士の噛み合わせにより石材個々の動きが拘束されるとともに、石材に作用する流体力の受圧面積が減少するためと考えられる。

増殖場の岸沖方向の造成幅は、地形条件や対象生物の生物学的、生態学的条件から制限され易い。そこで、石材の安定性が最も低い敷詰幅20cmの場合について、敷詰密度と石材の安定性について考慮することとし、敷詰幅20cmの場合の敷詰密度 D と石材の動態の関係を図6に示す。図6に示すように石材の敷詰密度が50%以上になると、群体設置する効果として、石材の安定性が高まり、特に敷詰密度が75%以上になると、敷設石材は殆ど移動せず概ね安定しているので、石材を群体設置する場合は敷詰密度を75%以上とすることが望まれる。

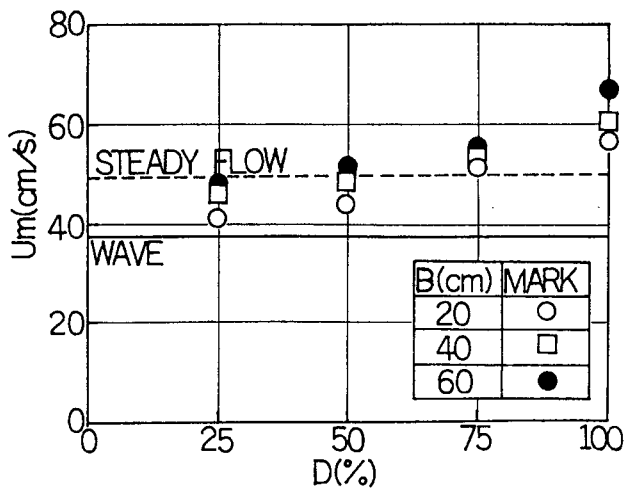


図5 敷詰密度 D と移動限界流速 u_m の関係

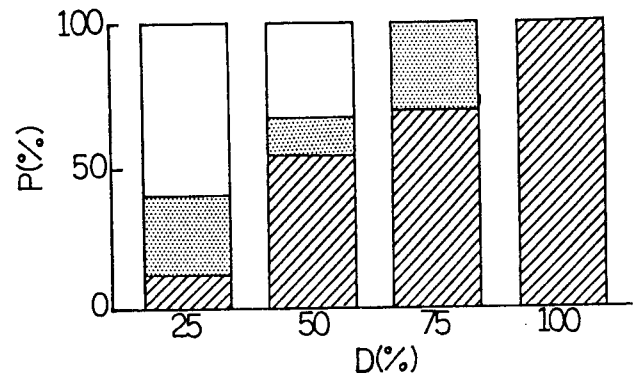


図6 敷詰密度 D と石材の動態の関係

5.4 今後の課題

本水理実験では実験波の波周期を2秒としたため、波周期の相違による被災範囲と敷詰幅の関係や波形勾配の影響は考察出来なかった。

水理実験には玉石を使用した。増殖場造成に使用される石材は割石、切石と呼ばれる角張った石材である。また石材は種類により比重が異なる。そこで、石材の所要重量算定法を検討するためには、石材の安定性に及ぼす石材形状、比重の影響を明らかにしておく必要がある。同様に、コンクリートブロックを着定基質として用いる場合も検討しておく必要がある。

困礁の効果に関する検討

6.1 実験方法

水理実験は、風洞付規則波造波水槽（長さ70m、幅0.7m、深さ2.2m、勾配1/50のモルタル塗斜面付）を使用して行った。なお、実験スケールはフルード相似則に従い、1/25とした。

石材または異型ブロックにより構成された施設は、不規則波中の最大波の作用により瞬間的な逸散に至るものではなく、連続した大小の波による連続的な作用により順次被害が拡大することが多い。すなわち、水理実験においても短期的には安定な波を作用させた場合でも、長期間連続的に作用させれば敷設石材の両端から順次逸散していく傾向が見られ、敷設石材の周囲に困礁を設け逸散防止を図る必要性が伺われた。

困礁の効果を確認するために、波動場において困礁内に敷設された石材の安定性に関する水理実験を行った。水理実験では図7に示すようにステンレス棒（幅20mm×高さ10mm×長さ70cm）を困礁模型として使用した。また、困礁を付加することにより、石材の安定性がどの程度向上するか、また使用石材の重量を軽減出来るか検討するために、表1に示すように石材寸法を5種類変化させた。

実験波は周期2秒の規則波とし、底層流速の計測は碎波点を中心に敷設した敷詰石材の中央部における水路底面直上約3cmの位置の水平流速を計測した。

石材の敷詰密度は、群体設置の効果が著しく敷設石材が安定している75%、100%とし、敷詰幅は20cmとした。なお、困礁内に敷設された石材の動態を、①静止、②振動するが移動しない、③回転または滑動しながら移動する、④瞬間的に逸散、の④種類に分類した。

表1 実験に使用した石材

| 石 材 | 現地重量(kg) | 模型重量(g) | 寸法比 |
|-----|----------|---------|------|
| A | 1000 | 64 | |
| B | 200 | 12.8 | 1/5 |
| C | 100 | 6.4 | 1/10 |
| D | 50 | 3.2 | 1/20 |
| E | 16 | 1.0 | 1/64 |

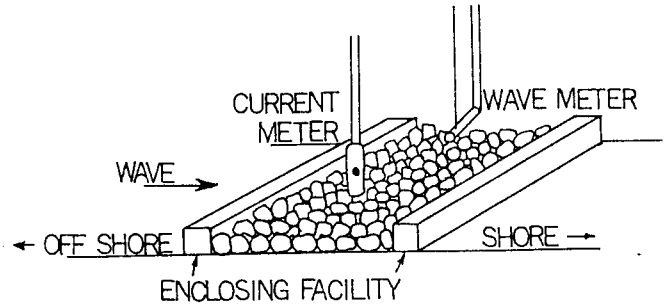
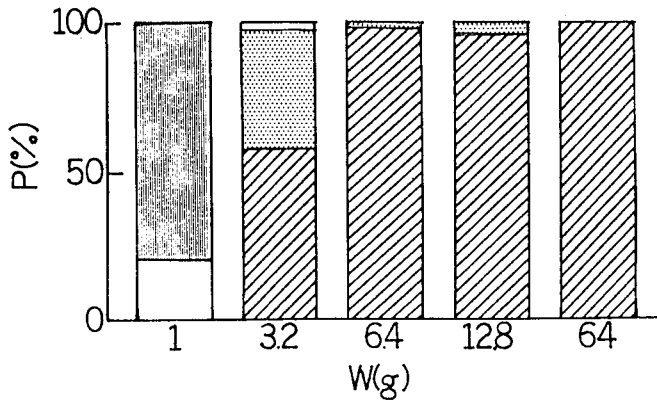
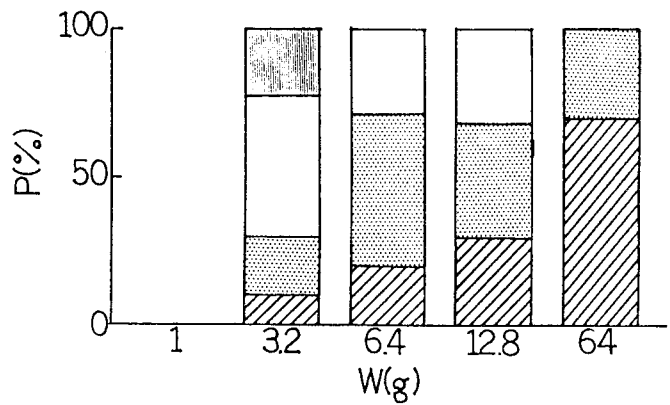


図7 囲礁の効果確認に関する水理実験



- : 静止
- : 振動するが移動しない
- : 回転または滑動しながら移動
- : 逸散

図8-1 石材の動体に及ぼす囲礁の効果 (敷詰密度 D = 100%)



- : 静止
- : 振動するが移動しない
- : 回転または滑動しながら移動
- : 逸散

図8-2 石材の動体に及ぼす囲礁の効果 (敷詰密度 D = 75%)

6.2 囲礁の効果

囲礁を付加した⑤種類の模型石材について、石材の動態に及ぼす囲礁の効果を図8に示す。ここで囲礁内の石材が静止状態または振動するが移動しない状態であれば安定とし、回転または滑動しながら移動する状態または瞬間的に逸散であれば被災したと判定した。

敷詰密度が100%の場合、囲礁を付加することにより、重量3.2g以上の石材が概ね安定となった。ところが、敷詰密度が75%の場合、囲礁を付加することにより、重量64gの石材は概ね安定となるが、重量12.8g以下の石材では1/4~2/3程度被災する。以上のことから、囲礁を付加することにより、群体設置された石材の安定性が向上すること、敷詰密度を向上させることにより使用石材を敷詰密度75%では1/5~1/2程度、敷詰密度100%では1/20~1/10程度に小さく出来る可能性が見出された。なお、敷詰密度により石材の安定性が著しく異なるため、囲礁を付加する場合でも、群体設置の敷詰密度は最低75%以上とすることが望まれる。

6.3 今後の課題

囲礁を付加した場合の敷設石材の安定性は、波条件、石材の設置条件（石材重量のばらつき、敷詰幅、敷詰密度、一層積または多層積か）、囲礁の形状配置（異型ブロックまたは石材か、囲礁の大きさと配置）等々により異なるため、今後囲礁を付加した場合の敷設石材の安定性に及ぼす波条件、石材の設置条件、囲礁の形状配置の影響を検討する必要がある。

着定基質の所要重量算定式

着定基質の所要重量算定法は、波動場における着定基質の安定性から論じるべきである。そこで、石材の安定性の指標である移動限界流速 u_m と石材の被災率 P の関係を図9に示す。図9を参照にして、石材の被災率が10%以下になるように、石材の敷詰密度毎の移動限界流速を定め、(2)式に示す着定基質の所要重量算定式から重量算定係数 C を逆算した結果を表2に示す。

増殖場造成に際しては、敷設石材の安定性の観点から敷詰密度を75%以上とすることが望まれるが、図8に示す石材の動態に及ぼす囲礁の効果、及び石材の設置精度の不確実性を考慮して、表3に示すように囲礁の有無による重量算定係数 C を定めた。

囲礁を付加しない増殖場では、短期的には害を及ぼさない波浪でも連続的に作用することにより、順次逸散する事例が見受けられた。そこで、重量算定係数 C を2.5から5.0に割増しすることにより施設の安全性を高めることにした。石材の所要重量算定式は(2)式に倣い、(5)式のように表す。

$$W = C \times u^6 \quad (\text{kg}) \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

C : 重量算定係数

25.0 : 石材を単体設置

5.0 : 石材を群体設置 (囲礁無し)

1.0 : 石材を群体設置 (囲礁付き)

u : 設計流速

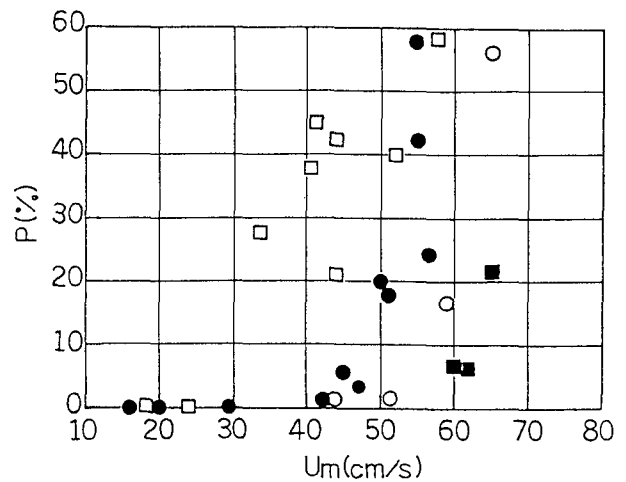


図9 移動限界流速 u_m 被災率 P の関係
 □敷詰密度25%、●敷詰密度50%
 ○敷詰密度75%、■敷詰密度100%

表2 移動限界流速と重量算定係数 C

| 敷詰密度 (%) | 移動限界流速 (cm/s) | 重量算定係数 C |
|----------|---------------|------------|
| 単体 | 0.35~0.40 | 25.0~18.2 |
| 25 | 0.35~0.50 | 34.9~15.7 |
| 50 | 0.48~0.50 | 5.3~4.1 |
| 75 | 0.53~0.55 | 2.9~2.4 |
| 100 | 0.60~0.62 | 1.4~1.2 |

表3 重量算定係数 C

| 敷詰密度 (%) | 重量算定係数 C | |
|----------|------------|-----------|
| | 囲礁無 | 囲礁有 |
| 単体 | 25.0 | - |
| 75 | 3.0 | 1.5 |
| 100 | 1.5 } 2.5 | 0.3 } 1.0 |

模型縮尺効果⁷⁾

ブロック積傾斜堤や離岸堤等に使用する異型ブロックの安定性に関しては、水理実験の模型縮尺効果がある。ここで、安定性に関する模型縮尺効果は、異型ブロック形状と作用する波の挙動に関するレイノルズ数が 4×10^5 以上であれば無視でき、それ以下のレイノルズ数では模型縮尺効果を加味した補正を加える必要があることが報告されている。模型縮尺の影響が無いとされるレイノルズ数が $Re = 4 \times 10^5$ 以上されるが、本水理実験のレイノルズ数が $Re = 2 \sim 3 \times 10^4$ であることから、模型縮尺の影響が無い範囲スタビリティナンバー N_s に対する補正係数として1.5~1.7が得られた。なお、ハドソン式の K_d 値とスピリティナンバー N_s には $K_d \propto N_s^{\cdot 9}$ の関係があることから、模型縮尺効果を考慮することにより、 K_d の増加すなわち所要重量の軽減化の可能性が窺えた。

類似施設的设计法

9.1 斜面被覆材^{5) 8) 9)}

波力を受ける斜面の表法面を被覆すべき捨石及び異型ブロックの所要重量は、ハドソン式と呼ばれる(6)で算定される。ハドソン式は広範囲な水理実験並びに現地での使用も実績も豊富なため、ブロック積傾斜堤や離岸堤等に使用する斜面被覆材の所要重量を算定する際に使用される。

$$W = \frac{r_R \cdot r_w^{\cdot 9} \cdot H^{\cdot 9}}{K_D \cdot \cot \alpha \cdot (r_R - r_w)^{\cdot 9}} \dots\dots\dots(6)$$

ここで、

- W : 捨石、異型ブロックの所要重量
- r_R : 捨石、異型ブロックの空中単位体積重量
- r_w : 海水の単位体積重量 (1.03ton/m³)
- α : 法面が水面となす角度
- H : 構造物設置位置における設計波高
- K_D : 被覆材によって定まる定数

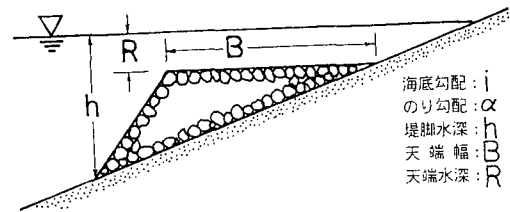


図10 人工リーフの模式図
 i : 海底勾配 B : 天端幅
 α : のり勾配 R : 天端水深
 h : 堤脚水深

9.2 人工リーフ^{10) 11) 12)}

異型ブロックや石材を使用した海域制御施設として、波浪制御と沿岸漂砂の制御を目的とした人工リーフと呼ばれる施設がある。人工リーフは天然サンゴ礁が持つ波浪減衰機能を、石材や異型ブロックを用い、図10に示すような構造に再現したものであり、その構造から幅広潜堤と位置付けられる。潜堤は天端深を浅くすることにより、堤体からの反射と強制碎波によって波浪減衰効果が得られる。一方、人工リーフは天端水深を深くすることにより堤体からの反射は抑制されるが、天端幅を広くすることにより碎波碎波後の乱れによる波浪減衰効果を得ようとするものである。

ハドソン式を石材を用いた増殖場や人工リーフのような極々緩勾配な幅広天端状の施設に適用した場合、型ブロックや石材の所要重量を過大に算定し易い。そこで、人工リーフに使用する石材や異型ブロック所要重量は、流れによる揚力と重力の釣合から導かれた(7)式で算定され、 $L.W.L.$ の堤脚水深 h と天水深 R が $R/h > 0.2$ の場合適用され、 $R/h < 0.2$ の場合はハドソン式で所要重量を算定することが示されている。ここで、人工リーフの効果を充分発揮されるためには、リーフ上で碎波を政治させるよう天端深は $R/H_0' < 1.3$ にすることが望ましい。人工リーフ被覆材の所要重量算定法の特徴は、①堤脚水深がきくなるとリーフ法面が急勾配になるため所要重量は増大する、②換算沖波波高 H_0' が大きくなるに従

い所要重量が増大するが、ある程度大きくなるとリーフ沖側で砕波が生じるため所要重量は低下する、等々である。

$$W = \frac{K_L \cdot r_w^3 \cdot R^3}{r_R^2 \cdot \cos^3 \alpha} \dots\dots\dots(7)$$

ここで、

- W : 捨石、異型ブロックの所要重量
- r_R : 捨石、異型ブロックの空中単位体積重量
- r_w : 海水の単位体積重量 (1.03ton/m³)
- α : のり面が水平面となす角度
- K_L : 被覆材によって定まる定数 (0.5程度)
- R : 天端水深

人工リーフに用いる被覆材の所要重量算定式は、 $R/H_0' > 1.0$ または $H_0'/h > 1.5$ 、 $R/H_0' < 0.1$ かつ $H_0'/h > 0.4$ の範囲における適用性は確認されていない。堤脚水深 h と天端水深 R がほぼ等しい増殖場のような場合には、換算沖波波高 H_0' によっては適用不可となる場合が考えられる。石材を用いた増殖場を堤脚水深 h と天端水深 R がほぼ等しい人工リーフであると想定して、石材の所要重量を算定すと概ね1ton以下となり、本論で提案した石材の所要重量算定法により若干小さい所要重量算定値が得られた。

人工リーフ法肩部で砕波した波浪は天端上で減衰するため、堤体全体を均一重量の被覆材を使用する必要はなく、概略の目安として天端沖端からの距離 X に応じて計量化出来ることが示されている。

- $5R < X < 10R$ 算定重量の1/5
- $10R < X < 20R$ 算定重量の1/10
- $20R < X$ 算定重量の1/50

同一所要重量を有する区間は、人工リーフ設置水深が概ね10m以浅であること、リーフ法肩部で砕波可能な水深から天端水深が決定されることから、概ね1/4波長程度と考えられ本論で示した1/4波長毎に石材の所要重量を算定することと概ね合致した。

結 言

本論では、着定基質を用いたアワビ・ウニ類の増殖場造成における着定基質（石材）の所要重量算定法について、流速算定係数 K 及び重量算定係数 C の再検討を行った。その結果、波周期の影響を取り込んだ流速算定係数 K の算定法を提案するとともに、石材を単体設置及び群体設置時の実用的な重量算定係数 C を提案した。さらに、水理実験における模型縮尺効果の検討並びに人工リーフ被覆材の所要重量算定法との比較検討を行った。現在、石材の安定性に及ぼす困礁の影響を明らかにするための追加水理実験及び山口県阿武郡阿武町宇田郷地先での現地調査を実施中であり、困礁の効果については後日改めて報告したい。

水理実験並びに実験結果の整理に御助力戴いた日本大学理工学部学生鈴木一徳君及び漁場施設研究室の村並美弥嬢、塚口修代嬢に記して謝意を表します。

本論の最後に当たり、本研究は沿岸漁場整備開発調査費による直轄調査課題「投石安定重量算定に関する研究」により実施したことを附記することで、御尽力戴いた関係各位に感謝申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 農林水産省統計情報部：漁業養殖業生産統計年報，1958～1989
- 2) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会：増殖場造成指針（昭和58年度版），pp. 55～252, 1982
- 3) 青森県・岩手県・秋田県・神奈川県・福岡県：アワビ種苗放流マニュアル，pp. 1～68, 1990
- 4) 上北征男・明田定満：砕波帯における転石の安定に関する研究，水工研技報水産土木6, 141～149, 1985
- 5) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（昭和58年度版），pp. 213～215, pp. 225, 1983
- 6) 土木学会：水理公式集（昭和46年改訂版），pp. 522～528, 1971
- 7) 島田真行・藤本稔美・斎藤昭三・榊山勉・平口博史丸：消波ブロックの安定性に関する模型縮尺効果について，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 442～445, 1986
- 8) 社団法人全国漁港協会：漁港構造物標準設計法1990年版，pp. 33～34, 1990
- 9) 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 132～138, 1989
- 10) 海岸保全施設築造基準連絡協議会：改訂海岸保全施設築造基準解説，pp. 68～69, 222～227, 1987
- 11) 宇田高明・小保篤：人工リーフの設計法，土木技術資料VOL. 29, No. 12, pp. 26～31, 1987
- 12) 人工リーフ被覆材の所要重量算定法，土木研究所資料第2893号，pp. 1～48, 1990

1. 設計上の留意点

増殖場造成に際して、着定基質の決定は付図1に示すように、工学的な安定条件のみならず、対象生物の生物学的、生態学的条件とともに、利用者である漁業者の漁具漁法を考慮して行なう。

(1) 工学的な留意点

設計潮位は最も危険な潮位とし、設置水深は潮位を加味したものとする。設置水深は潮位により碎波帯もしくは非碎波帯になる場合があるので注意を要する。特に潮位により碎波帯もしくは非碎波帯になる水深帯が存在する場合、非碎波帯では低潮位が最も危険であり、碎波帯では高潮位が最も危険となる。

(2) 生物学的な留意点¹⁾

アワビ類は成員になるに従い、短径40cm程度以上の転石に対しては余り選択性を示さず、短径が40～80cmであれば棲息密度に差が見られないことから、着定基質としては短径が40～80cm程度が望ましい。

2. 碎波帯近傍と非碎波帯の区分

長周期波では碎波点から沖側1/4波長程度までは、碎波点における底層流速と同程度の底層流速が発生するため、着定基質の所要重量算定の上では、碎波点と同様な取り扱いを要する。そこで、碎波点から沖側1/4～1/2波長程度の危険領域（以下、碎波帯近傍という）と非碎波帯を以下に示す指標により区別するものとするが、便宜上、付図2を用いて碎波帯近傍と非碎波帯を区別して良い。

$$\frac{H}{h} > \frac{2}{3}$$

ここで、h：水深、H：波高である。

3. 着定基質の所要重量算定式

着定基質の所要重量算定法は、①碎波帯内及び碎波帯近傍、②非碎波帯に分けられ、以下に示す算定法により行われる。

(1) 碎波帯内及び碎波帯近傍

$$W = C \cdot u^6 \quad (\text{kg}) \dots\dots\dots (a)$$

$$u = K \cdot \sqrt{gh} \quad (\text{m/s}) \dots\dots\dots (b)$$

ここで、

W：着定基質の所要重量 (kg)

C：重量算定係数

25：着定基質を単体設置

5：着定基質を群体設置

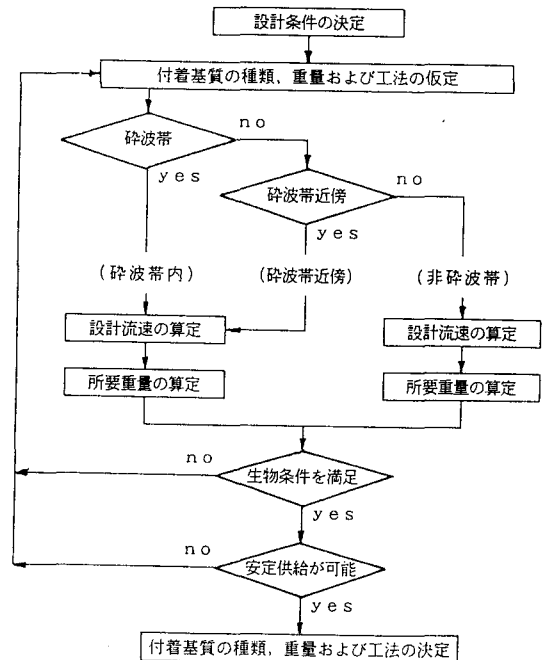
1：囲礁を設けて着定基質を群体設置

u：設計流速 (m/s)

K：流速算定係数

g：重力加速度 (9.8m/s²)

h：設置水深 (m)



付図1 設計の手順

設計流速は、無次元碎波水深 h_b/L_0 と流速算定係数 K の関係から求める。ここで、設計流速を算定する水深は、設計波の碎波水深 h_b を用いることを原則とするが、碎波点から1/4波長以上岸側の碎波帯内に増殖場造成する場合は、付図3に示すように増殖場の最も沖側水深を用いるものとする。増殖場が1/4波長以上の範囲に渡る場合、使用する着定基質の適正化及び軽減化を図るために、付図3に示すように着定基質の所要重量の算定は1/4波長毎に行なうものとする。

着定基質を群体設置する場合、着定基質の敷詰密度が高くなるに従い、また敷詰幅が長くなるに従い、設置した着定基質の安定性が高まる。特に敷詰密度が75%以上であれば石材が概ね安定するので、群体設置する場合は敷詰密度が75%以上が望ましい。

(2) 非碎波帯

$$W = 0.04 u^6 \text{ (kg)} \dots\dots\dots (c)$$

$$u_0 = u_0 \cdot \sqrt{\cos \theta + 1.5} \dots\dots\dots (d)$$

$$u_1 = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh(2\pi D/L)}{\sinh(2\pi h/L)} \dots\dots\dots (e)$$

$$u = u_0 + u_1 \text{ (ベクトル合成)} \dots\dots\dots (f)$$

ここで、

W : 着定基質の所要重量 (kg)

u : 設計流速 (m/s)

u_0 : 潮流等の一般流速 (m/s)

u_0' : 潮流等の平均流速

(指針第2編第3章「流れ」による)

u_1 : 波による水平流速 (m/s)

θ : 主流方向と設計流速方向のなす角度

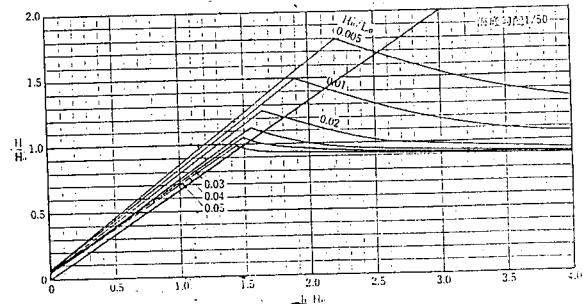
h : 設置水深 (m)

H : 設置水深 h における波高 (m)

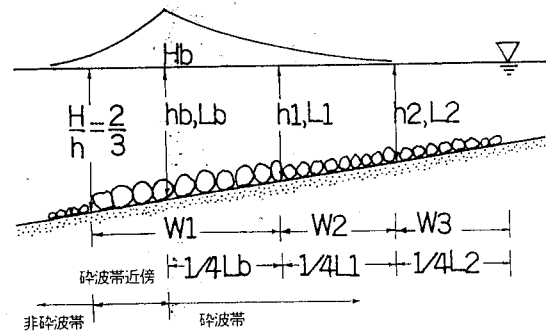
L : 設置水深 h における波長 (m)

T : 波周期

D : 着定基質の設置厚 (m)



付図2 碎波帯および碎波帯近傍における石材所要重量算定式の適用限界 (海底勾配1/50)



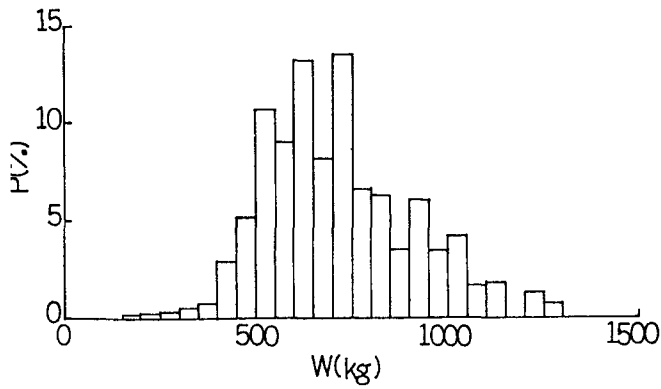
付図3 石材の所要重量算定の模式図

(3) 多層積された着定基質の所要重量算定法

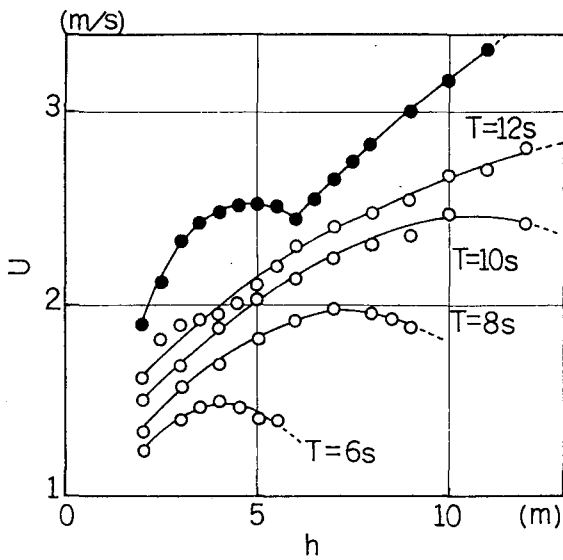
対象生物の生物学的、生態学的特性及び経済性の観点から、着定基質の積層厚は2~3層積までであるが、部分的に潜堤状、鞍状に多層積にする場合もある。その場合、着定基質の堤脚水深と天端水深の関係から、着定基質の所要重量算定にハドソン式を適用する方が合理的と考えられる。人工リーフの設計法では、L. W. L. の堤脚水深 h と天端水深 R が $R/h < 0.2$ の場合にハドソン式を適用することが定められており、着定基質の安定性を十分検討した上で適切な所要重量算定法を選定することが望ましい。

(4) 石材の品質

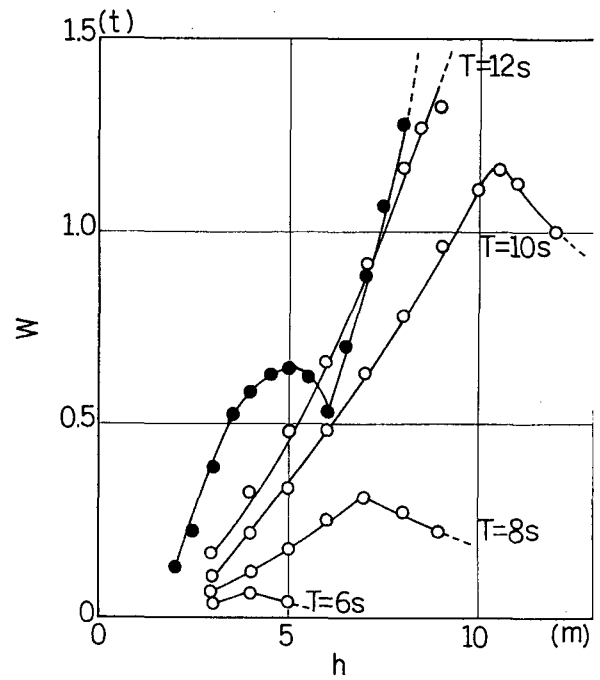
捨石や被覆石は安定計算上の所要重量から規格が決定されるが、増殖場造成現場では安定計算上の所要重量を満足しない石材の混入が必ず見られる。捨石や被覆石に使用する石材の品質を調査した事例として、ある県の採石場において採石された石材 (規格500~700kg) の重量分布を付図4に示す。規格が500~700kgと定められた石材であっても、300~1300kgまでの石材が含まれており、相当数の規格外石材の混入が見られる。そこで、増殖場造成に際しては、石材の品質を考慮して使用石材を決定することが望ましい。



付図4 石材の重量分布の一例
(規格: 重量500~700kg)



● 指針から得られる流速
○ 本実験から得られる流速
付図5 設計流速算定値の比較



● 指針から得られる石材の重量
○ 本実験から得られる石材の重量
付図6 石材の所要重量算定値の比較

4. 現行設計法と新設計法の比較検討

現行設計法と本論で提案した設計法による設計流速と着堤基質の所要重量の比較を付図5、6に示す。本論で提案した設計流速値は、非碎波領域から碎波領域にわたる広範囲な水深帯において、現行設計法と比較してより妥当な流速分布特性を示している。さらに、有義波周期10秒以上となるような長周期波浪が卓越する海域を除いて、着定基質の所要重量は概ね1トン以下となり、対象生物の生物学的、生態学的にも合致し、経済的にも見合う妥当な着定基質が選定できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 青森県・岩手県・秋田県・神奈川県・福岡県：アワビ種苗放流マニュアル，25～27，1990