

## 第26編 増殖場

### 第1章 増殖場の基本的事項

#### 1.1 増殖場の目的

増殖場の目的は、対象生物の資源増大若しくは保護育成を図るため、又は増殖に好適な環境を維持・管理することを基本とする。

#### 1.2 増殖場の要求性能

増殖場に共通する要求性能は、対象生物の生理・生態、餌料等を含む対象生物に適した生育環境及び成長段階に応じた場のネットワーク化、漁業の実態並びに栽培漁業や資源管理のための当該海域における取組状況を考慮し、対象となる漁場及び周辺海域の安全かつ円滑な利用及び的確な管理を行えるよう適切なものとする。

増殖場は、水産生物の生息環境を好適なものとするためのものである。そのため、漁業、種苗放流、資源管理等の取り組みを考慮し、対象生物の成長段階に応じて生息場を一体的に整備することにより、水産生物の効果的な増殖と保全を図ることが望ましい。

#### 1.3 施設の選定

増殖場の施設は、対象生物の生理・生態、生態的適地条件、造成海域の海象条件、地形条件などを考慮し、経済性及び利用上の安全性を満足するように適切に選定するものとする。

増殖場は、対象とする生物と場の特性に応じて、磯根増殖場、魚類増殖場及び砂泥域増殖場に区分することができる。また、増殖場の整備手法としては、着定基質、消波施設、防水堤、海水交換施設、中間育成施設、湧昇流発生構造物、循環流発生構造物及び藻留施設の設置がある。

求められる施設の機能は、対象生物の種類と成長段階によって異なる。また、求められる機能が同一であっても、波浪、流動、水質、底質、地形などの条件により、施設の構造、材質、規模が異なる場合がある。さらに、漁業形態、漁場管理、及び資材の入手、設置等に係る経済性によっても、選定される施設は異なる。

施設の選定は、施設に求められる機能を満足することを第一に検討することになるが、施設設置の影響が周辺海域や既存の施設に悪影響を及ぼさないよう配慮することを原則とする。特に、近隣に漁場が存在する場合には、増殖場の設置により周辺の波・流れ、底質等の環境が大きく変化して、周辺の漁場にも影響する可能性があることにも配慮することが望ましい。

##### 1.3.1 磯根増殖場

磯根増殖場は、岩礁浅海域の代表的な増殖対象種であるコンブ類、ワカメなどの海藻類、アワビ類、ウニ類、イセエビ類などの底生魚介類の増殖を図るため、それらの餌料環境や生息環境の改善・造成を目的としている。磯根増殖場の施設としては、藻場礁、循環流発生構造物、藻留施設があり、それぞれ本編の第2章2.2、第8章及び第9章を参照することができる。

### 1.3.2 魚類増殖場

魚類増殖場造成は、マダイ、ヒラメ、メバル等の魚類の産卵後から未成魚期までの一部又はすべての成長段階を対象として計画される。魚類増殖場の施設は、主に石材またはコンクリート製又は鋼製の人工構造物からなる。前者の設計は、「本編 2.2 藻場礁」を参照し、後者については、「第 15 編第 2 章 沈設魚礁」を参照することができる。

#### (1) マダイの場合

産卵場で産卵された卵は、3 日程度で孵化し、30 日程度の浮遊生活を送ったあと、全長 15mm で沿岸の藻場等に着底する。着底後は、成長とともに、生息水深が深くなり、食性も変化する。増殖の対象となるのは、着底期全長 15mm から未成魚期 200mm までの成長段階であり、この一部の段階あるいは全段階において、人工的な施設を用いて増殖するものである。

着底期を対象とした増殖場では、保育場となる藻場の造成を目的として 10m 以浅の浅海域に自然石を投入している。また、幼魚、未成魚期を対象とした場合は、コンクリート製または鋼製の人工構造物が投入されている。自然石と人工構造物のどちらも、餌場、逃避場の確保により、索餌を容易にし、害敵による減耗を少なくすることによってマダイの生残と成長を向上することをねらいとしている。着底期を対象とした増殖場の設計は、直接的な目的が藻場造成であるため、着定基質における藻場礁の設計と同様であり、「本編 2.2 藻場礁」を参照することができる。また、幼魚、未成魚期を対象とした餌場、逃避場の確保であれば、沈設魚礁の設計と同様であり、「第 15 編第 2 章 沈設魚礁」を参照することができる。

#### (2) ヒラメの場合

着底期から未成魚期までを対象として、良好な餌場の提供を目的として、コンクリート製あるいは鋼製の増殖礁が設置されている。ヒラメは着底期から幼魚期、特に甲殻類食性の時期に砂浜域に生息することから、その増殖場はマダイ増殖場と違い、漂砂の影響を考慮することを原則とする。砂浜域での漂砂に対する対策とヒラメの餌場の形成を兼ねた構造物として、十字礁といわれるヒラメ用増殖礁が用いられている。十字礁の特徴は、図 16-1-1 のように、水平な十字型の梁を海底から立ち上がった柱によって水中に持ち上げたような形状をしており、海底面と接触する部材が少ないため、洗掘と埋没の影響が軽減される。十字礁の設置事例では、海域の事前調査によって砂層厚及びその変動量を把握し、十字礁が砂中に埋まる高さに機能上必要な高さを加えて柱の高さを決定している。

このように、砂浜域で漂砂の影響が考えられる海域では、事前調査によって砂の動きを把握したうえで、施設の機能性、安全性、経済性を考慮して設計することが望ましい。

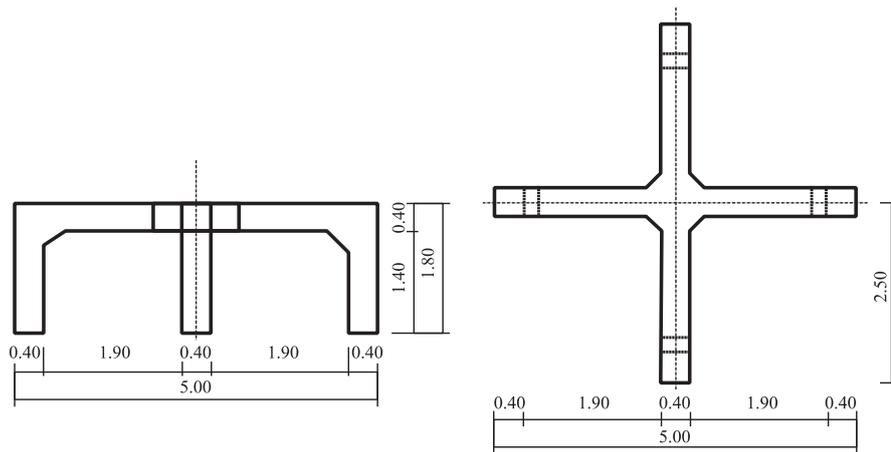


図 16-1-1 十字礁の例 (単位 : m)

### 1.3.3 砂泥域増殖場

内海及び内湾の砂泥域に適用される増殖場造成工法には地盤高調整、底質改良、作れい、消波施設及び砂止堤がある。砂泥域増殖場の設計では、「本編 2.4 干潟・浅場」を参照することができる。

## 第 2 章 着定基質

### 2.1 着定基質の要求性能

藻場礁としての着定基質の要求性能は、設置状況に応じて、以下の要件を満たしていることとする。

1. 対象生物を着定させることができるよう適切なものとする。
2. 波、流れ等の作用に対して構造上安全なものとする。

保護育成礁にあつては、前 2 項のほか、以下の要件を満たしていること。

3. 対象生物の餌場、生息場、産卵場、逃避場等として、適切なものとする。
4. 特に対象生物の保護を目的とする保護育成礁にあつては、漁具によるけん引等の作用に対して構造上安全なものとする。

干潟・浅場の要求性能は、設置状況に応じて、以下の要件を満たしていること。

1. 対象生物の生息に適した水深及び海底勾配を維持することができるよう適切なものとする。
2. 対象生物の生息に適した底質を維持することができるよう適切なものとする。
3. 対象生物の生息に適した海水交換ができるよう適切なものとする。

着定基質は、増殖場として整備される生息場の総称であり、藻場礁、保護育成礁及び干潟・浅場に大別される。着定基質の種類を分類すると、図 16-2-1 のようにまとめられる。

藻場は、一般にはアマモ等の砂泥性の海草類を含む大型海産植物が繁茂する場の総称であるが、藻場礁は岩などの硬い基質面に着生する大型海藻を対象とする着生基質として設置される。また、藻場礁の目的としては、①コンブ、ワカメ、ヒジキなどの食用海藻の生産、②海藻を餌とするアワビ、ウニ、サザエなどの水産有用種の餌料環境の改善、③藻場を産卵場、生息場とする魚介類の増殖などがある。

保護育成礁は、大型海藻以外の水産生物の増殖基質として、または漁業活動等に対して天然の生息場を保護するために設置する構造物である。

干潟・浅場は、砂泥性の水産生物の生息場として面的に造成される砂泥域増殖場であり、潮間帯の干潟のほか、アマモ場などの水深の浅い潮下帯砂泥域を含む。

藻場礁と保護育成礁は、石材、コンクリートブロック、鋼材などから構築され、増殖対象種である海藻の生育場または水産動物の産卵場、餌場、隠れ場などを造成または保護するために設置される。これらは波・流れに対して静的に安定であることを原則とする。これに対して、干潟・浅場の基質は、一般に粒径の細かい砂であり、短期間な砂面変動があっても動的安定が保たれていることを原則とする。

着定基質は、増殖対象生物の生態的適地条件を考慮して整備することを原則とする。生態的適地とは、必ずしも対象生物の生理的適地に一致しない。むしろ、食害生物や競合生物の生息に適さない環境的に厳しい場であることがある。そのような場では、対象生物の分布の制限要因について限界条件を把握したり、増殖場の造成予定地周辺にある良好な天然生息場の環境を事前に調査したりすることを原則とする。

なお、増殖場造成に関連する水産動植物の生物学的特性、生育環境・生息場の好適条件、繁殖生態及び害敵生物などに関する知見は、「資料 2.13 水産生物の環境条件」に示されている。

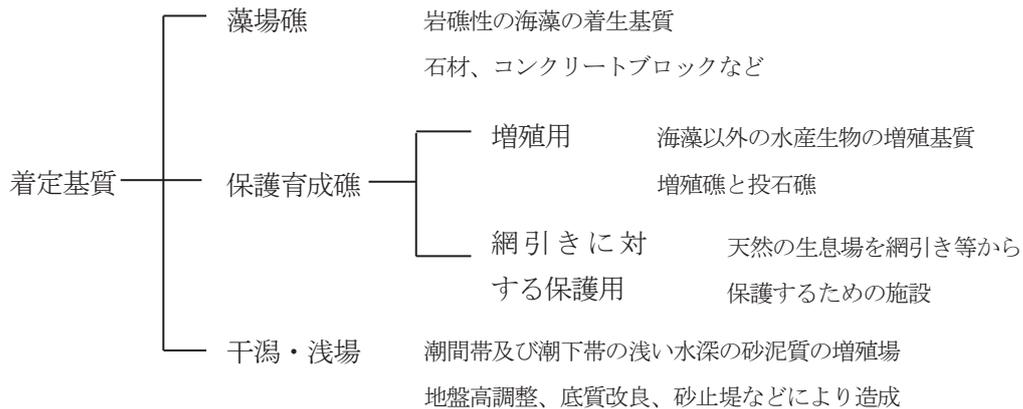


図 16-2-1 着定基質の種類

## 2.2 藻場礁

### 2.2.1 藻場礁の性能規定

藻場礁の性能規定は、以下に定めるとおりとする。

1. 藻場礁が増殖対象とする海藻の生育に好適な天端高、流動、基質形状、光、海底面からの高さ等の諸元を有すること。
2. 波、流れ等の作用に対して、藻場礁の安定質量を満足していること。
3. 漁船等の船舶の航行に影響を及ぼさないよう、適切に配置又は配慮されていること。

### 2.2.2 性能照査の基本

#### (1) 照査の手順

藻場礁の照査の手順は、図 16-2-2 を標準とする。

##### ① 藻場の立地条件の把握

本項「(2) 藻場の立地条件と形成阻害要因」を参照する。

##### ② 造成工法と造成場所の選定

本項「(3) 構造形式の設定」を参照する。

##### ③ 藻場形成に必要な播種等の作業計画の検討

本項「(4) 藻場形成に必要な作業」を参照する。

##### ④ 設計条件の決定

「第 2 編 設計条件」を参照する。

##### ⑤ 安定質量の算定

本章「2.2.4 藻場礁の安定質量」を参照する。

##### ⑥ 適した基質材の選択

経済的に利用可能な石材等の規格から、生物的要求と安定質量の条件を満足したものを選択する。

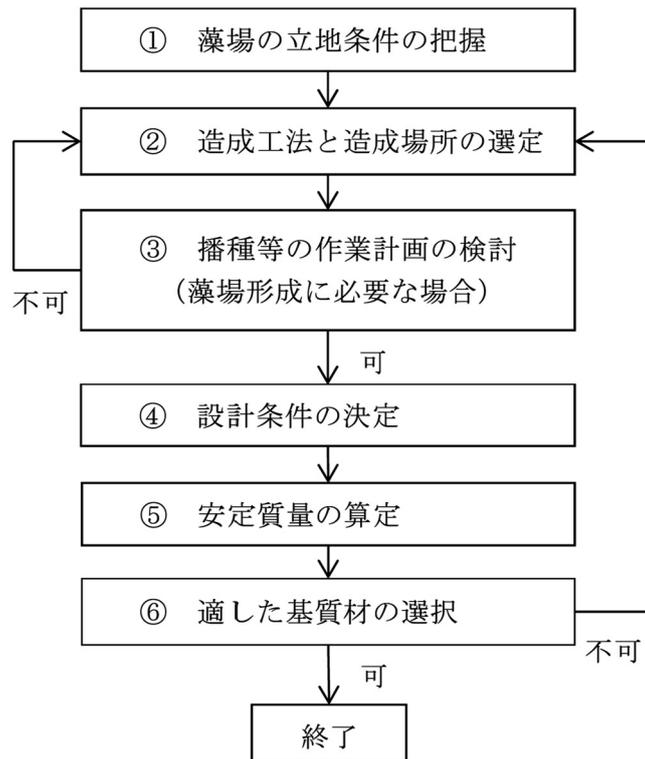


図 16-2-2 藻場礁の照査の手順

## (2) 藻場の立地条件と形成阻害要因

藻場の立地条件としては、水深、砂面からの高さ、砂の被覆状況、底面波動流速、陸水などの要因は特に重要であり、表 16-2-1 を参考にして、二、三の重要な要因を抽出し、それらの季節変化などを調べ、目標設定を行う。要因抽出では、要因間の関連性も調べておき、次項の代表的な藻場造成工法を参照にして、制御可能な要因または設置場所の選定で変更可能な要因を重点的に調べるとよい。波動流速は「第 2 編第 3 章 波」を参照して算定することができる。

藻場礁の諸元を適切にするためには、対象地区の近隣で藻場が持続的に形成されている場とそうでない場における環境の違いを事前に把握しておくこととよい。そのためには、藻場の分布域とともに藻場形成阻害要因を把握することを標準とする。阻害要因の把握では、可能性のある要因を網羅的に調べるのではなく、既往知見や事項に記載する代表的な藻場造成工法を参考にして、重要な要因を抽出して重点的に調べる方が効率的である。

表 16-2-1 藻場造成で考慮すべき影響要因

| 要因         | 考慮すべき事項   |
|------------|---|
| 食害         | 海藻を食べる動物としてウニ、植食性巻貝などの底生動物、アイゴ、ブダイ、イスズミなどの植食性魚類がある。底生動物の場合、強い流動の中では海藻に接近し、摂食できないため、海藻着生基盤の水深を浅くして波動を強くすることが、食害防止に有効である。植食性魚類については、不明な点が多い。  |
| 附着生物との競合   | カキ、イガイなどの貝類、雑海藻などが基質を優占し、目的とする藻場の形成が阻害される場合がある。特に、群落形成が遅い場合は、対象種の孢子、幼胚の放出期をねらって着定基質を投入し、群落形成を確実にする必要がある。  |
| 光量不足       | 光量不足が藻場形成の制限要因と考えられる場合は、透明度を改善することは通常難しいが、基質面を浅くすることで対処することができる。  |
| 底質の移動と堆積   | 砂の堆積・洗掘による基質の埋没、砂礫の衝突が、藻場形成の制限要因になる。漂砂の影響がある岩礁では、砂面からの高さに応じて海藻の植生が異なり、これを参考に基盤の高さを決める。しかし、砂の堆積が逆にウニ等の生息を制限し、砂に耐性のある海藻種の維持に寄与することもあり、その場合は造成適地として波が適度に遮蔽された平坦な冠砂域を選定するとよい。                                     |
| 孢子または幼胚の供給 | コンブ、アラメ、カジメなどのコンブ科植物は、大量の孢子を放出し、拡散範囲が広いが、その後の配偶体期の受精の制約から、母藻から数 m 位までしか孢子体の幼体としては広がらないことが多い <sup>13)</sup> 。ホンダワラ類の幼胚は、数が少なく重いため、母藻近くの比較的平坦な面にしか着底できないことが多い。このようなことから、孢子や幼胚の供給源が近傍にない場合は、基質の投入後に母藻の移植等が必要になる。 |
| 浮泥の堆積      | 内湾や河口域で、陸からの濁水の影響がある場合は、浮泥が基質に堆積し海藻孢子の着底を妨げたり、葉面に付着し枯死させたりすることがある。水深を浅くし流動を増加させ浮泥を払拭することが有効と考えられる。  |

### (3) 構造形式の設定

代表的な藻場造成工法としては、以下の二種類があり、構造形式を設定する際には、それらの留意事項を参考にして検討するとよい。

#### ① 砂礫底での藻場造成

海底が砂、れき等の不安定な堆積物に薄く被われている場では、海藻が着生できないだけでなく、ウニ等の底生植食動物のほかに植食性魚類も少ない。このため、安定な基質を投入するだけで藻場を形成できる可能性が比較的高い<sup>14)</sup>。しかし、砂層厚が厚い場合は、海藻の着定基質として設置された石材や施設が沈下、埋没する可能性が高いため、砂層厚の変動を予め調べて沈下量を予測しておくのが望ましい。藻場礁に用いる基質の高さは、少なくともその変動厚以上にするを原則とするが、波浪の強い場では施設の洗掘や動揺による沈下もあるため、基質が砂層下の礫または岩盤等の基盤に達するまで沈下すると考えて最大砂層厚以上にするか、もしくは試験

礁の設置によって実測される沈下量以上にするとよい。しかし逆に、基質の砂面からの高さがあまり高くなると、基質面上で砂の影響が及ばなくなって、付着動物や食害動物が繁殖して海藻生育が阻害されやすくなるので、むしろ上面まで砂に薄く被われる程度に高さが低くて平らな基質の方がよい場合<sup>345)</sup>もある。事前調査では、これらのことにも留意して、試験礁の利用<sup>8)</sup>等により藻場の形成に適した基質の高さや形状を調べておくことが望ましい。また、石材を密着して敷き詰めたり積み上げたりすると、石材間にできる隙間がウニ等の植食動物の隠れ場になって海藻の生育が阻害されることがある。このような場合は、石材を、例えば1個ずつ間隔を空けて設置するなど、留意することが望ましい。

## ② 波動流の強化による藻場造成

ウニによる植食圧が高い海域において波動流の強い場をつくり、植食圧を低減させることで藻場を安定的に形成できる可能性がある<sup>789)</sup>。波動流を強化する方法には、投石等による海底の嵩上げや潜堤の設置がある。ウニの摂餌活動は波動流によって制限されやすく、その摂餌限界流速 $U_{mc}$ は高くとも0.4 m/sほどである<sup>8)</sup>。このことから、波動流速 $U_m$ がその摂餌限界を下回る確率 $\Pr[U_m < U_{mc}]$ で、ウニの被食に対する藻場形成限界を考えるとよい。この限界確率については、既往知見<sup>8)10)</sup>を参照して設定することができる。藻場礁の安全性の照査では、換算沖波波高の累積確率 $P$ がその限界確率となる波高を設計波高に設定し<sup>8)</sup>、その設計波高に対して藻場礁上での流速が $U_{mc}$ を超えるよう、天端高などの藻場礁の諸元を決定することができる。その際に、海藻種によっては波動流が強くなり過ぎると、生育に適さなくなったり、水産的な有用性の低い別の海藻種が優占したりすることがある<sup>11)</sup>。照査では、海藻の新規加入時期、ウニの摂餌活動、波浪などの季節変化も考慮した総合的な検討を行い、好ましい海藻群落が維持される流動条件<sup>11)</sup>になるよう、藻場礁の天端高、規模、形状等を決定することが望ましい。

## (4) 藻場形成に必要な作業

藻場造成予定地の近傍に海藻の孢子または幼胚を供給する海藻群落がない場合に早期に安定した藻場を形成させるためには、母藻の移植等による播種を検討することが望ましい。また、藻場形成のための着定基質の設置と併せて実施する食害生物の駆除、食害防止に必要な構造物の設置、海藻の播種・移植、及び施工後のモニタリング等については、磯焼け対策ガイドライン<sup>12)</sup>を参照することができる。

### 2.2.3 設計条件

波浪、流れによる作用流体力に対する施設の安定に必要な重量を検討するため、最大の流体力が発生する条件の潮位、波浪及び流れを設計条件として決定するものとする。潮位と波浪については、それぞれ「第2編第2章 潮位」と「第2編第3章 波」を参照する。流れについては、「第2編第6章 流れ」及び「第15編」を参照する。

### 2.2.4 藻場礁の安定質量

藻場礁の安定質量については、波、流れによる流体力に対する施設の安定性を考慮して適切に算定することを原則とする。

藻場礁に用いる着定基質の材料は、主に石材やコンクリートブロックである。その安定質量につい

では、石材を積み上げて水深を浅くする場合は、「第 2 編 4.4 波力に対するブロック等の安定質量」を参照し、石材等を積み上げずに設置する場合は、以下の方法で算定することができる。

なお、水理現象が複雑な箇所に設置する着定基質の安定質量の決定にあたっては、必要に応じて水理模型実験を行うことが望ましい。

(1) 設計に用いる最大流速波形の算定

藻場礁の安全性の照査で想定する波動流は、「第 15 編 2.4.2 (2) ② 流体力の算定」に記載される、設計条件下で最大流体力が生じる最大流速波形とすることを標準とする。

(2) 安定質量の算定

① 既定形状の藻場礁の場合

コンクリートブロックなどの既定形状の藻場礁の安定質量は、「第 15 編 2.4.2 (2) 構造物全体の安全性の照査」に基づき算定するものとする。

② 石材の場合

石材の安定質量は、底面との摩擦、石材の形状と大きさ、石材の敷詰め密度の影響のほか、波の影響する場では波の不規則性と非対称性を考慮して適切に定めることを原則とする。これらの要因による影響を適切に評価し、石材の安定質量を算定する式として、式 16-2-1<sup>14)</sup>を用いることができる。

なお、式 16-2-1 は波と流れが同じ向きの場合に適用できる式であり、波と流れが共存する場合は交差角  $\theta$  を  $\theta = 0^\circ$  とおくことで安全側の設計値を与える式として用いることができる。波と流れの共存する条件に式 16-2-1 を適用する場合は、波による最大流速波形 (図 15-2-6) と流れの速度  $U_c$  との合成流速を設計に用いる流速波形とする。

$$M_{50} = \alpha \rho_s D_{n50}^3 \cdots \cdots \cdots \text{(式 16-2-1)}$$

ここに、

$\alpha$  : 設置方法の効果を表す係数 (以下の値)

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{: 単体で設置} \\ 0.2 & \text{: 敷き詰め密度 75\%以上の群で設置} \\ 0.04 & \text{: 囲い礁を設けて敷き詰め密度 75\%以上の群で設置} \end{cases}$$

$\rho_s$  : 石材の密度 ( $t/m^3$ )

$D_{n50}$  : 単体で設置する石材の安定質量の立方体相当径で、波が卓越する領域と流れが卓越する領域で異なり、以下により求められる。

a) 波が卓越する領域 ( $u_{\min} < 0 \text{ m/s}$  の場合)

$D_{n50}$  はニュートン法などの数値計算により式 16-2-2<sup>15)</sup>の解として得られる。

$$\left(7.28 - \ln \frac{u_{\max} T_{zp}}{D_{n50}}\right) \frac{U_a^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)gD_{n50}} = \phi_{cr} \cdots \cdots \cdots \text{(式 16-2-2)}$$

ここに、

$u_{\max}$  : 底面における最大流速波形の最大値 (m/s)

$T_p$  : 最大流速波形のゼロ・クロス点から最大値までの時間 (s)

$U_a$  : 式 15-2-13 より求められる、底面 ( $z_A = 0$  m) における最大流速波形の流速  
振幅 (m/s)

$\mu$  : 石材と設置基盤との摩擦係数。海底の表層に砂礫が堆積する場合は、砂礫が  
波浪により消失することを想定して砂礫層の下層を設置基盤とする。「第 3 編  
5.1 静止摩擦係数」を参考として決めることができるが、設置基盤が大礫・巨  
礫から成る場合は、文献<sup>15)</sup>に基づき礫の径から求めることもできる。

$\rho_s$  : 石材の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : 海水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$\phi_{cr}$  : 被害率 10%における被災限界係数 (= 2.8)

$u_{max}$  と  $T_p$  については、特に浅海域では長周期波の影響により大きく変化するため、精度のよ  
い算定は難しいが、式 16-2-3 を仮定して式 16-2-4 より算出される  $T_p$  を用いることができる<sup>16)</sup>。

$$u_{max} = \frac{\pi H_{ref}}{T \sinh(2\pi h/L)} \dots\dots\dots \text{(式 16-2-3)}$$

$$T_{zp} = \left\{ 1 - 0.967 \tanh \left[ 0.855 \left( \frac{H_{ref}}{h} \right)^{0.883} \right] \right\} \frac{T}{4} \dots\dots\dots \text{(式 16-2-4)}$$

ここに、

$H_{ref}$  : 参照波高 (m) (第 15 編 2.4.2 (2) ② 「a) 参照波高  $H_{ref}$  の算定」を参照する)

$T = T_{1/3} = T_0$  : 設計対象地点における有義波周期 (s)

$h$  : 水深 (m)

$L$  : 設計対象地点における微小振幅波の波長 (m)

b) 流れが卓越する領域 ( $u_{min} \geq 0$  m/s の場合)

$D_{n50}$  は式 16-2-5<sup>14)</sup>により求めることができる。

$$D_{n50} = \frac{K_m U_{rms}^2}{\mu(\rho_s/\rho - 1)g} \dots\dots\dots \text{(式 16-2-5)}$$

ここに、

$K_m = 2.3$

$U_{rms}$  : 流速の鉛直分布を考慮した底面から石材の天端までの二乗平均平方根流  
速 (m/s)

$\mu$  : 石材と設置基盤との摩擦係数 (式 16-2-2 の場合と同じ)

$\rho_s$  : 石材の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : 海水の密度 (t/m<sup>3</sup>)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$U_{rms}$  は、流速の鉛直分布にべき乗則を仮定して式 16-2-6 により算出してもよい。

$$U_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2n+1}} \left( \frac{b}{z_0} \right)^n U_c \dots\dots\dots \text{(式 16-2-6)}$$

ここに、

$n$  : べき乗流速分布のべき数 (= 1/7)

$b$  : 石材の比高 (m)

$U_c$  : 流れの速度 (m/s)

$z_0$  :  $U_c$ を与える底面からの高さ (m)

## 2.3 保護育成礁

### 2.3.1 保護育成礁の性能規定

保護育成礁の性能規定は、構造形式に応じて「沈設魚礁」又は「藻場礁」の規定を準用するほか、対象生物を漁獲から保護するための施設にあつては、以下に定めるとおりとする。

1. 増殖場の区域内において対象生物の漁獲を制御できるよう適切に配置され、かつ、所要の諸元を有すること。
2. 保護育成礁の位置を容易に特定できるよう、魚群探知機等で視認できる諸元を有すること。
3. 漁具によるけん引等の作用に対して、移動しない構造であること。

#### (1) 増殖基質として設置する保護育成礁の性能照査

産卵場、保育場、隠れ場等として設置する保護育成礁は、構造形式により、コンクリート製または鋼製の部材から成る一体型の人工構造物、いわゆる増殖礁と自然石から成る投石礁に大別される。前者の性能照査は、「第15編第2章 沈設魚礁」を準用し、後者の性能照査は「本編 2.2 藻場礁」を準用することができる。

増殖礁は、産卵場、隠れ場、餌場などの機能を具備するため、機能部材を組み込んだものが多く、その機能を発現するために施設の形状が重要な要素となる。

産卵場として設置される保護育成礁では、種によって特定の部位や形状の基質に産卵する習性があることに着目して考案された産卵基質が取り付けられる<sup>17)</sup>。

隠れ場として設置される保護育成礁では、種の生態に応じた隠れ場となる構造が維持されなければならない。基質によって形成される空隙は、アワビ、イセエビなどの夜行性の動物では特に重要である。隠れ場に適した空隙の大きさや形状は、種や成長段階によって異なることを考慮して適切なものとなるよう決定する。たとえば、イセエビの若齢個体は、成長段階毎に利用する穴の大きさが変化する<sup>18)</sup>。その際に、付着生物等によって穴が閉塞することにも配慮することを標準とする。また、単調な表面形状のコンクリートブロックでは、表面に溝を設けるだけで、サザエの生息密度が格段に増加することが報告されている<sup>19)</sup>。したがって、それらの動物の餌料海藻を増やしたい場合は、逆に、それらの摂食圧が過度にならないよう、隠れ場となる空隙をつくらないようにすることにも考慮することを原則とする。

餌場として設置される保護育成礁では、細かい空隙の多い基質が魚類の餌となる小型の甲殻類、ゴカイ類等の好適な生息場になる<sup>20)</sup>ことから、一般に貝殻や石材などを籠や金網に詰めたものを組み込んだ基質が使われる。

以上の機能部材には、その特性上、径が細い、肉厚が薄い、隙間が細かい、という特徴があるため、強度と耐久性の不足、付着生物による機能低下の問題が生じやすく、それらに対処した照査を行うことを原則とする。

## (2) 対象区域の保全を目的とした保護育成礁の性能照査

未成熟個体と成熟個体が同一海域に分布している水産生物では、成熟個体の漁獲の際に未成熟個体が混獲され、資源が減少することがある。そのような場合に資源を保護し、回復させるためには、漁期、漁獲サイズ、漁獲量等の制限だけでは不十分であり、漁獲から対象種の生息および繁殖に適した場を確実に保護することが必要である。保護育成礁は、そのための手法としても用いられる。

保護育成礁の性能照査は、「第 15 編第 2 章 沈設魚礁」を準用するとともに、①魚群探知機により認識され易い大きさや高さを有すること、②底引き網等の漁具によるけん引力に対して破損、移動のない強度と質量を有すること、③底引き網を引網しにくい間隔で配置されていること、④砂質底では沈下に対する対策がとられていること、を総合的に判断して礁の構造と配置を決定する。

保護育成礁の代表的な事例として、ズワイガニ・アカガレイを対象にした保護育成礁がある。これらの照査については、直轄漁場整備マニュアル（案）<sup>20</sup>を参照することができる。

## 2.4 干潟・浅場

### 2.4.1 干潟・浅場の性能規定

干潟・浅場の性能規定は、「藻場礁」の性能規定を準用するほか、以下に定めるとおりとする。

1. 対象生物の生息に適した地盤高の諸元（水深、海底勾配等）が確保されること。
2. 対象生物の生息に適した底質の性状（粒径、化学的性質等）が確保されること。
3. 対象生物の生息に適した海水交流が確保されること。
4. 波、流れ、漂砂等の作用に対して、干潟・浅場等の底質材料が漁場機能に影響を及ぼさない程度で安定していること。

内湾及び内湾の砂泥域に適用される増殖場造成工法には、地盤高調整、底質改善、作れい、消波施設及び砂止堤がある。ここでは、主として地盤高調整、底質改良について述べる。作れいによる砂泥域増殖場造成の照査については、「本編 5.3 作れい」を参照することができる。

### 2.4.2 干潟・浅場の性能照査

干潟・浅場の性能照査は次の手順によることが望ましい。

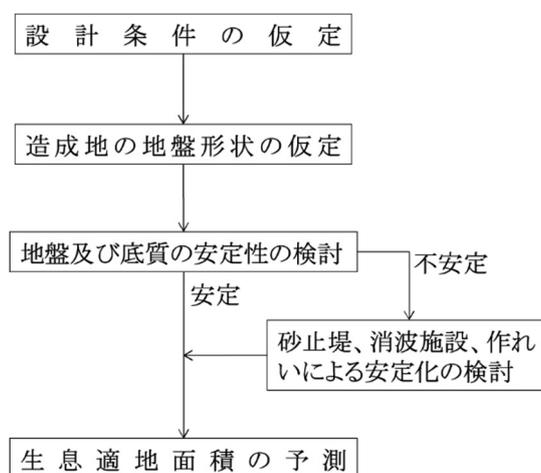


図 16-2-4 干潟・浅場の照査の手順

### 2.4.3 砂泥域に適用される増殖場造成工法

#### (1) 地盤高調整

干潟などの内海及び内湾の浅い砂泥域の地盤高は、干出時間、底質、溶存酸素、地温、流速、光量などに密接に関係する重要な環境因子である。地盤高調整は、干潟の発達、沈下などによって二枚貝、海草の生息に不適當な地盤高になった場合に、地盤をしゅんせつにより掘り下げたり盛砂により高くしたりして生息に適する水深、海底勾配を確保するために行われる。

#### (2) 底質改良

底質改良は、底質が増殖対象生物の生息に不適である場合に、底質環境を改善するために行われる。一般には、対象生物の生息に適した粒径の底質を、既存地盤を被うように投入（覆土）して、地盤高調整を併せて行うことが多い。対象生物の生息に適した粒径の底質の厚さは対象生物の潜砂能力に応じて決定することが望ましい。

#### (3) 消波施設

消波施設は、流動と底質移動を制御して幼生着底の促進、稚貝流失の防止を図るために設置される。

#### (4) 砂止堤

砂止堤は、地盤高調整のため盛砂を行った場合に、その中への流出を防止するために造成地盤の沖側端部に設置される。

### 2.4.4 性能照査の基本

干潟・浅場における増殖場の設計では、施工方法、経済性を考慮して、造成地の地盤高と底質が安定化し、長期間にわたり増殖対象種の好適な生息環境が維持されるよう、波浪、潮位、底質等の自然条件を定めることを原則とする。

干潟などの内湾砂泥域に生息する生物の分布を規定する環境要因には、地盤高のほかに底質粒径、海水流動、水温、塩分、光、栄養塩、溶存酸素、競合生物、食害生物などが挙げられるが、これらの要因は相互に関係し合っているために、海域によって異なると考えられる。したがって、増殖対象種の生息環境条件の判定にあたっては既往知見だけでなく、造成予定地区周辺の調査の結果に基づき、その場固有の地盤高、底質粒径などの条件を検討することが望ましい。

干潟・浅場の地盤は波浪、潮流などの条件に応じた動的平衡状態にあるので、人工的に造成、改変した地形はその海域の波・流れの条件に平衡する形状に変形する可能性が高い。地盤の平衡形状と波・流れの条件との関係については汎用的な公式がないので、近隣地での現況、類似事例等を十分に検討して、平衡地盤を規定する波、潮流、潮位などの自然条件を定めることを標準とする。波浪による投入砂の流亡が問題となる場合には、経験的に年数回発生する高波を対象として設計を行うとよいとされ、設計波高に1年確率波高をとることが多い。

砂を搬入する場合には、砂の採取による自然環境への影響、施工方法、経済性などを考慮して対象生物の生息に適した粒径を選定することが望ましい。

#### 2.4.5 地盤形状の仮定の留意点

平衡地形の推定に基づき、安定性の高い形状になるように造成地盤の形状を決定することが望ましい。目標とする地盤高または底質を維持するために、必要に応じて砂止堤、消波施設の設置、作れいなどを併せて検討するとよい。

干潟・浅場の地盤高と底質粒径は、底質の移動、土砂の堆積などに伴い絶えず変化しているが、汀線の長期的前進または後退傾向がみられない限り、底質移動の原因となる波浪と流れの条件によって規定される動的平衡状態があると考えてよい。設計では波・流れの条件に対してできるだけ変化の少ない安定性の高い形状とするためにその平衡地形を推定し、その推定に基づき造成地盤の形状を決定することが望ましい。

#### 2.4.6 消波施設・砂止堤等の検討

単に地盤の切り下げまたは砂の投入だけでは、目標とする地盤高または底質が維持されず、砂止堤、消波施設、作れいなどの設置が必要となる場合が少なくない。

砂止堤は、盛砂の沖への流出を防いだり、増殖場として無効となる造成地盤法面の砂量を削減したりすることを目的として、造成地区沖側端部に設置される。砂止堤は捨石で造成する 경우가多く、設計方法として潜堤部は「第5編 2.2.6 傾斜堤」に準じることができる。

消波施設は、波浪により必要な面積の造成地盤の安定化が図れない場合に、入射波高の低減を目的として造成地盤の沖合に設置される。原則として透過構造物による消波施設が望ましく、設計方法は「第5編 2.2.6 傾斜堤」に準じることができる。

シルトなどの細粒分の堆積が問題となる場合には、造成地盤上の流速を大きくし、細粒分の排出を図ることを目的として、造成地盤に沿って作れいを設ける。作れいの設計は「本編 5.3 作れい」を参照することができる。

#### 2.4.7 地盤及び底質の安定性の検討

干潟・浅場の平衡地形の地盤高及び勾配を、造成地区またはその隣接地における実測値に基づいて予測するものとする。外力条件、底質条件が造成によって変化する場合には、類似事例の結果、諸公式による計算、水理模型実験、数値解析の結果に基づき十分な検討を行ったうえで予測を行うことが望ましい。

造成地区における平衡地形の地盤高及び勾配を推定する最も信頼性の高い方法は、当該地区の外力、底質などの条件下で維持されている現地盤の実測値に基づいて予測することである。しかし、砂泥域増殖場造成では粒径の異なる砂の投入または砂止堤、消波施設などの設置により、平衡地形の底質または外力条件自体が変わる場合が少なくない。このような場合には、類似事例の結果、諸公式による計算<sup>22)</sup>、水理模型実験、数値解析<sup>23)</sup>、の結果等を参考にして十分な検討を行ったうえで、推定を行うことが望ましい。また、実験公式または計算手法の採用に際しては、適用条件が明確でないものがあるので、造成予定地区または周辺域での実測値を用いて、適用性を十分に検討したうえで予測に用いることが望ましい。

アサリの増殖場やアサリの好適な底質条件等については、増殖場造成計画指針（ヒラメ・アサリ編）<sup>24)</sup>を参照するとよい。

(参考文献)

- 1) M. Ohno, S. Arai, and M. Watanabe: Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata. *J. Appl. Phycol.* 2 (1990), pp.327–332
- 2) T. Terawaki, H. Hasegawa, S. Arai, and M. Ohno: Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.* 13 (2001), pp.13–17
- 3) L.E. Deysher, T.A. Dean, R.S. Grove, and A. Jahn: Design considerations for an artificial reef to grow giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) in Southern California. *ICES J. Mar. Sci.* 59 (2002), pp.5201–5207
- 4) 川俣 茂・吉満 敏・徳永成光・久保 満・田中敏博: 鹿児島県笠沙町崎ノ山の造成藻場の維持・拡大における薄層被覆の役割, *水産工学* 50(2013), pp.93–102
- 5) S. Kawamata, S. Yoshimitsu, T. Tanaka, and T. Igari: Importance of sedimentation for survival of canopy-forming furoid algae in urchin barrens. *J. Sea Res.* 66 (2011), pp.76–86
- 6) T. Terawaki, K. Yoshikawa, G. Yoshida, M. Uchimura, and K. Iseki: Ecology and restoration techniques for *Sargassum* beds in the Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Poll. Bull.* 4 (2003), pp.198–201
- 7) 川俣 茂: 磯根漁場造成における物理的攪乱の重要性, *水産工学* 31(1994), pp.103–110
- 8) 川俣 茂: 北日本沿岸におけるウニおよびアワビの摂食に及ぼす波浪の影響とその評価, *水産総合研究センター研究報告* 1(2001), pp.59–107
- 9) 桑原久実: 磯焼け海域の藻場造成礁におけるホソメコンブ群落を維持するために必要な流動条件, *水産工学* 39(2002), pp.47–53
- 10) 川俣 茂・村岡大祐: 浅所における波動流速の長期測定手法の提案と暗礁への適用, *日本水産工学会学術講演会講演論文集* 23(2011), pp.7–8
- 11) 桑原久実・川井唯史・金田友紀: 北海道南西部磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成機構, *水産工学* 38(2001), pp.159–165
- 12) 磯焼け対策ガイドライン, 水産庁 (2007), 208p.
- 13) T. A. Norton: Dispersal by macroalgae. *Br. Phycol. J.* 27 (1992), pp.293–301
- 14) 川俣 茂・森口朗彦・杉松宏一・ほか 12 名: 漁場施設の設計手法の高度化検討, 平成 28 年度水産基盤整備調査委託事業 漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査事業報告書, 2017.
- 15) S. Kawamata, M. Kobayashi, and N. Tanada: Empirical model for probabilistic rock stability on flat beds under waves with or without currents. *Coastal Engineering*, 140 (2018), pp.257–271
- 16) S. Kawamata and M. Kobayashi: Empirical formulas for near-bed wave orbital velocity parameters involved in maximum wave load in random wave trains. *Ocean Engineering* 267 (2023), 114133, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114133>
- 17) 上田幸男・北角至: アオリイカの卵塊付着構造物の形状, *水産増殖* 44(1996), pp.67–72
- 18) 吉村 拓・高木儀昌・福島順也: 新型イセエビ増殖礁の開発, *日本水産工学会学術講演会講演論文集* 19(2007), pp.57–58
- 19) 道家章生・宗清正廣・辻 秀二・井谷匡志: サザエ漁獲礁の効果, *水産工学* 35(1998), pp.145–152
- 20) 野田幹雄・田原実・片山貴之・片山敬一・柿元 皓: 内部空隙をもつ管状基質が無脊椎動物, 特に魚類餌料動物の加入に与える効果, *水産増殖* 50(2002), pp.37–46
- 21) 直轄漁場整備マニュアル (案), ズワイガニ・アカガレイ増殖場編, 水産庁漁港漁場整備部

(2008), 59p.

22) ビーチ計画・設計マニュアル, (社) 日本マリーナ・ビーチ協会 (1992), 229p.

23) 本間 仁監修・堀川清司編: 海岸環境工学, 東京大学出版会 (1985), 582p.

24) 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編, 全国沿岸漁業振興開発協会 (1997), 316p.

## 第 3 章 消波施設

### 3.1 消波施設の要求性能

増殖場に設置する消波施設の要求性能は、養殖場の「消波施設」の規定を準用する。

増殖場の消波施設については、「第 1 7 編第 2 章 消波施設」を参照することができる。

### 3.2 消波施設の性能規定

増殖場に設置する消波施設の性能規定は、養殖場の「消波施設」の規定を準用する。

増殖場の消波施設の設計にあたっては、「第 1 7 編第 2 章 消波施設」を参照することができる。

## 第 4 章 防氷堤

### 4.1 防氷堤の要求性能

増殖場に設置する防氷堤の要求性能は、養殖場の「防氷堤」の規定を準用する。

増殖場の防氷堤については、「第 1 7 編第 3 章 防氷堤」を参照することができる。

### 4.2 防氷堤の性能規定

増殖場に設置する防氷堤の性能規定は、養殖場の「防氷堤」の規定を準用する。

増殖場の防氷堤の設計にあたっては、「第 1 7 編第 3 章 防氷堤」を参照することができる。

## 第 5 章 海水交流施設

### 5.1 海水交流施設の要求性能

海水交流施設の要求性能は、構造形式に応じて、以下の要件を満たしていること。

1. 漁場内の水域環境の改良・保全することができるよう、適切なものとする。
2. 自重、波及び地震動等の作用に対して構造上安全なものとする。

海水交流施設は、養殖場となる水域を対象として、漁場機能を発揮できるよう水域環境の改良・保全を図ることを目的に行われる。そのため、海水交流施設・工法の選定に際しては、地形的条件、水質・底質への影響、生態系に与える影響や漁業操業への影響を考慮して、漁場機能の適切な改良・保全が図られるよう性能照査することを原則とする。海水交流を促進する施設の設置として、湾内の作れい、湾口・湖口部の導流堤の設置、水路の設置等が行われている。

### 5.2 海水交流施設の性能規定

海水交流施設の性能規定は、以下に定めるとおりとする。

1. 対象水域の水質を維持又は向上させるために必要な海水が交換されるよう適切な規模、かつ所要の諸元を有すること。
2. 自重、波及び流れ等の作用に対して、施設の機能性に影響を及ぼさないよう、構造形式に応じて適切な安定性及び構造強度を有すること。

海水交流施設の性能照査にあたっては、保全・創造すべき漁場の機能を明確にし、十分な事前調査を行った上で、以下の事項に考慮して、適切な工法を選定することを原則とする。

- (1) 流体力等の作用に対して、構造上安全であること。
- (2) 造成漁場の安全かつ円滑な利用や的確な管理を行えること。
- (3) 洗掘、埋没又は沈下により設計対象施設の機能が低下しないこと。
- (4) 船舶の航行に及ぼす影響。

長期間にわたり増殖対象種の好適な生息環境が維持又は向上させるための環境条件を明確にし、そのために必要な海水交換量を数値計算等により算定し、適切な施設規模、諸元を設定することを原則とする。増殖場の対象魚貝類の環境条件は、「資料 2.13 水産生物の環境条件」、「資料 2.14 増養殖水域の水温」を参照することができる。

### 5.3 作れい

作れいは、浅瀬、干潟に局部的なみお筋をつくることにより、みお筋部分の流速や流量を増加させ、一様な平面流を破壊して、海水交換の増加を図る工法である<sup>1)</sup>。

作れいによるみお筋が流線に沿わない場合、流れに対する抵抗となったり土砂の堆積が促進される原因となるので、作れいの配置はできるだけ現状流線に沿うようにする。また、海水交換を促進するには、流入時と流出時との流線を異なるようにし、大きな循環流を作るとよい。みお筋の本数はなる

べく少なくし、必要最小限にとどめる。そのため、広い水域を改善する場合には図 16-5-1 に示すように葉脈状にみお筋を配置することが望ましい。



図 16-5-1 みお筋の配置

作れいによる流況や海水交換の変化を調べるためには数値計算が利用できる。

みお筋の深さについては、少なくとも波による底質の移動限界水深以深とするのがよい。みお筋でのシルト分の堆積を防ぐために必要な流速については、砂の限界掃流力で検討する。限界掃流力  $\tau_c$  (kN/m<sup>2</sup>) は限界摩擦速度  $u_{*c}^2$  ((m/s)<sup>2</sup>) と

$$u_{*c}^2 = \frac{\tau_c}{\rho} = \frac{n^2 g}{d^{1/3}} u^2 \dots\dots\dots (式 16-5-1)$$

ここに、

- $\rho$  : 海水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $n$  : マニングの粗度係数 (m<sup>-1/3</sup>s)
- $g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)
- $d$  : 水深 (m)
- $u$  : 通水断面における平均流速 (m/s)

の関係にある。 $u_{*c}^2$  から岩垣<sup>2)</sup>の式によって底質の移動限界粒径を推定できるので、それに基づき、増殖対象種の生息に不適な粒径を排出するのに必要な流速を決めることができる。

#### 5.4 導流堤

湾口や湖口に導流堤を設置することで湾口・湖口を改良し、湾内、湖内の海水交換の増加を図る工法である<sup>3)</sup>。海水交換量の算定には、「資料 17.4 閉鎖性湾の海水交流・交換」を参照することができる。

海水交流施設に付属する導流堤は、「第5編第11章 導流堤」の項目を参照することができる。

#### 5.5 水路

湖奥の滞留水域付近に新たな水路(湖口)を開削し外海の海水を導入することにより、湖内の海水交換の増加を図る工法である<sup>4)</sup>。数値計算あるいは水理模型実験により必要となる海水交換量を検討し、適切な施設規模、諸元を設定する必要がある。

海水交流施設に付属する水路は、「土地改良事業計画設計基準<sup>5)</sup>」の関連する項目やその他関連する図書を参照することができる。

(参考文献)

- 1) 中村充：水産土木学－生態系海洋環境エンジニアリング，工業時事通信社（1991），pp.340-342
- 2) 岩垣雄一：限界掃流力に関する基礎的研究，土木学会論文集，41（1956），pp.1-21
- 3) 中村充：水産土木学－生態系海洋環境エンジニアリング，工業時事通信社（1991），pp.332-336
- 4) 中村充：水産土木学－生態系海洋環境エンジニアリング，工業時事通信社（1991），pp.336-340
- 5) 農業土木学会：農林水産省農村振興局監修 土地改良事業計画設計基準 設計「水路トンネル」基準書・技術書（1996），620p.

## 第 6 章 中間育成施設

### 6.1 中間育成施設の要求性能

中間育成施設の要求性能は、構造形式に応じて、以下の要件を満たしていること。

1. 漁場内の良好な環境の整備に資するとともに、設計対象施設の利用者の安全を確保できるような適切なものとする。
2. 波、流れ等の作用に対して構造上安全なものとする。

中間育成施設は、栽培漁業の一環として種苗生産後、種苗放流サイズまで育てる中間育成するための施設であり、育成対象となる魚種、貝類の種類により施設の位置、規模が適切に図られるよう性能照査することを原則とする。

中間育成施設の対象としている魚介種はマダイ、ヒラメ、クルマエビ等、貝類はアワビ、アカガイから多く、中間育成施設として、内海（漁港港内・港外周辺）では築堤式施設、築堤池、コンクリート・FRP 水槽、外海では小割筏、垂下カゴの設置が行われている。

### 6.2 中間育成施設の性能規定

中間育成施設の性能規定は、以下に定めるとおりとする。

1. 対象生物の生態や生息環境に応じて、適切な育成環境が維持できるよう適切な規模及び所要の諸元を有すること。
2. 波、流れ等の作用に対して、施設の機能性に影響を及ぼさないよう構造形式に応じて適切な安定性及び構造強度を有すること。

中間育成施設の性能照査にあたっては、対象生物の生態や生息環境に応じて、適切な育成環境条件を明確にし、十分な事前調査を行った上で、以下の事項に考慮して、適切な工法を選定することを原則とする。

- (1) 流体力等の作用に対して、構造上安全であること。
- (2) 施設の安全かつ円滑な利用や的確な管理を行えること。
- (3) 洗掘、埋没又は沈下により設計対象施設の機能が低下しないこと。
- (4) 船舶の航行に影響を及ぼさないこと。

中間育成の対象とする魚貝類の育成環境条件は、「資料 2.13 水産生物の環境条件」、「資料 2.14 増養殖水域の水温」を参照することができる。

中間育成施設に付属する施設は、その構造形式に合わせて適切な性能規定を行うことを原則とするが、例えば、小割筏は、「資料 17.6 区画施設」、「資料 17.8 垂下養殖施設」を参照することができる。

## 第 7 章 湧昇流発生構造物

### 7.1 湧昇流発生構造物の要求性能

湧昇流発生構造物の要求性能は、構造形式に応じて、以下の要件を満たしていることとする。

1. 貧栄養となっている有光層に栄養塩を補給できるよう適切なものとする。
2. 自重、波、流れ等の作用に対して構造上安全なものとする。

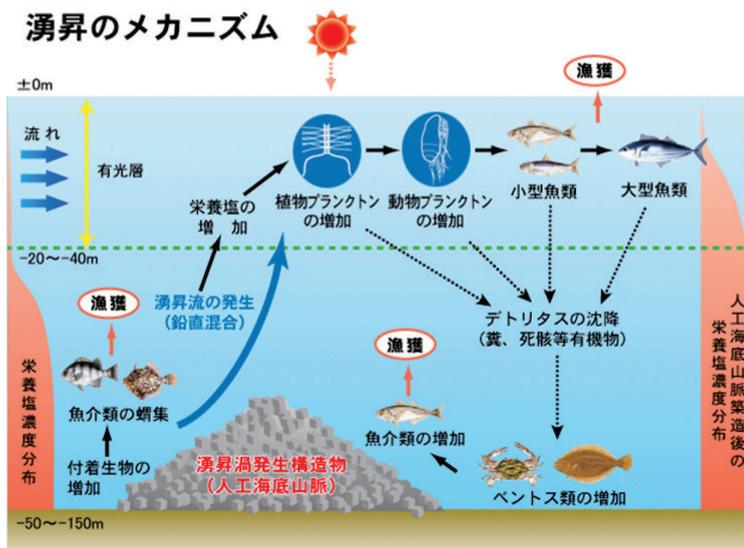
湧昇流発生構造物は、貧栄養となっている有光層に、栄養塩豊富な底層水を補給できる構造物を設置することにより、海域の基礎生産力の嵩上げを図るとともに、魚介類の保護培養や蛸集を促し、漁業生産の増大を図る施設である。

#### 7.1.1 人工湧昇流漁場

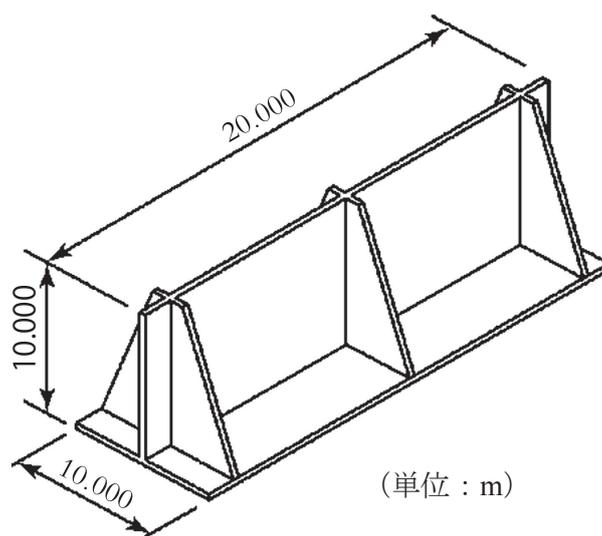
湧昇流海域は、底層の栄養塩豊富な水塊が有光層まで湧昇することで、植物プランクトンの増殖を促し、動物プランクトン、プランクトン食性魚介類、肉食性魚介類へ至る食物連鎖が形成されるため、生物生産の高い海域であることがよく知られている。また、海山、海丘、海谷、礁、堆などの周辺では、海底地形に起因する地形性湧昇流が形成される場合が多く、一般に好漁場であることから、天然湧昇域の漁場形成機能を人工的に創出する技術開発が進められてきた。

人工湧昇流漁場は、栄養塩豊富な底層水を有光層まで人工的に湧昇させ、海域の基礎生産（植物プランクトン）の増大を図り、魚介類の保護培養や蛸集を促すことを目的とした湧昇流発生構造物を計画的に配置して造成した漁場である。そのため、人工湧昇流漁場は、未利用な状態にある栄養塩豊富な底層水を湧昇させ、海域の基礎生産の増加、魚介類の保護培養や蛸集を図ろうとするものであるから、既存の環境調査結果などを活用し、その効果が期待できるとともに、対象地区漁業者による有効活用が期待できる海域を選定することが望ましい。

湧昇流発生構造物として、図 16-7-1 に示すマウンド型構造物<sup>1)-12)</sup>、衝立型構造物<sup>13)-16)</sup>などが開発されている。湧昇流発生構造物が設置された海域では、①栄養塩供給の増加、基礎生産力の増大、②底層水と表層水の混合促進、③複雑な流れ場（場の多様性創出）、④幅広い栄養段階の魚介類の蛸集促進、などが期待されるため、従来の魚礁漁場より広範囲に影響を及ぼすことから、広域漁場造成技術として位置付けられている。また、湧昇流発生構造物は施設自体が付着生物の着生基盤としての機能も有しており、岩礁性漁場機能を提供する施設でもある。



マウンド型構造物



衝立型構造物

図 16-7-1 湧昇流発生構造物の事例

### 7.1.2 適地選定、設置水深の基本的な考え方

湧昇流発生構造物は、海域特性や漁場特性を踏まえた適地に設置し、人工湧昇流漁場の効果を効率的に発揮できる規模と構造を有することが望ましく、湧昇流発生構造物の機能、周辺海域環境との調和、施工の容易さ、経済性などを考慮した適切な設計を行うことを原則とする。

湧昇流発生構造物の適地選定は、①堆、海脚、海嶺など地形が変化に富み、流動環境が多様な場所に近接し、設置位置として起伏のない平坦な海底面のある海域であること、②波・流れにより洗掘、埋没、転倒、移動が生じない地盤であること、③湧昇効果が期待できる程度の流れがあること、④密度成層が比較的弱いことなどを考慮して定めることが望ましい。

湧昇流発生構造物の設置水深は、期待される機能、施工性、経済性を考慮して定めることが望ましく、対象海域の成層深度、有光層、栄養塩鉛直分布を十分に検討したうえで、湧昇流発生構造物が効

果的に機能する水深とすることが望ましい。

### 7.1.3 湧昇流量、効果範囲の基本的な考え方

人工湧昇流により有光層まで到達した栄養塩は、植物プランクトン（基礎生産）を増大させ、順次、動物プランクトンから魚介類に至る高次消費者の生産へと転換される。それぞれの段階の転換効率はおおよそ 1/5～1/10 であることから、転換効率は、植物プランクトンが直接魚介類に捕食される場合は 1/5～1/10、動物プランクトンを経て魚介類に捕食される場合は 1/25～1/100 となる。そこで、湧昇流量を補償深度以深から補償深度以浅（有光層）へ湧昇し、補償深度以浅に滞留する栄養塩フラックス量と定義すると、漁獲増加量を確保するために必要な人工湧昇流漁場の湧昇流量（栄養塩類添加量）は、転換効率を考慮して、海域特性を踏まえた水理模型実験や流動・生態系モデルなどの数値解析から算定することが望ましい。

マウンド型構造物に起因する内部波などによる鉛直混合が有光層まで伝播していくことで、貧栄養となっている有光層に海底面付近の栄養塩を供給していることが明らかにされつつあり<sup>12)</sup>、海域が成層化する春～秋季に、マウンド型構造物に起因する鉛直混合の促進が、栄養塩の供給、海域の基礎生産の増大、多様な魚介類の蛸集に繋がることが期待されている。そこで、湧昇流発生構造物の効果範囲は、①湧昇流に含まれる栄養塩類の有光層内の拡散範囲、②湧昇した栄養塩から始まる食物連鎖の及ぶ範囲とされるが、海域の流況特性を考慮した流動・生態系モデルなどの数値解析を行い算定することが望ましい。

## 7.2 湧昇流発生構造物の性能規定

湧昇流発生構造物の性能規定は、以下に定めるとおりとする。

1. 海域特性及び漁場特性を踏まえた適切な海域で、成層深度、有光層、栄養塩の鉛直分布等を考慮した効果的な水深に設置すること。
2. 貧栄養となっている有光層に必要な栄養塩を海底付近から供給できるよう、適切に配置され、かつ所要の諸元を有すること。
3. マウンド型構造物にあっては、自重、波、流れ等の作用に対して、マウンドに用いる材料が所要の質量を満足し、かつ、基礎の支持力が許容値を満足すること。
4. 衝立型構造物にあっては、自重、波、流れ等の作用に対して、堤体の滑動及び転倒、基礎の支持力等、構造の安定性が満足していること。

### 7.2.1 性能照査の手順

一般的な性能照査の手順を図 16-7-2 に示す。

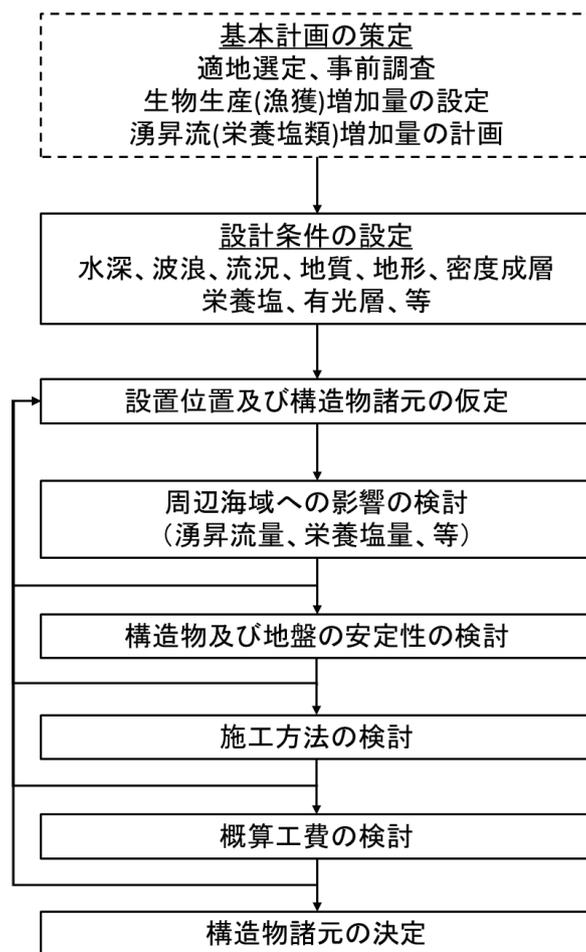


図 16-7-2 一般的な性能照査の手順

## 7.2.2 設計条件

湧昇流発生構造物の設計照査に際して、海域の環境条件に応じて、湧昇効果、海域環境への影響などを十分に考慮したうえで、所要の機能を効果的に発揮するように設計条件を定めることを原則とする。

### (1) 潮位

設計潮位は、「第2編第2章 潮位」を参照し定める。

### (2) 波浪

設計波は、湧昇流発生構造物の設置位置における波浪の有義波諸元から、構造物の機能を考慮して、「第2編第3章 波」を参照し定める。

### (3) 流れ

設計流速は、当該海域の流れの特性を十分に把握したうえで、「第2編第6章 流れ」、「第15編第2章 沈設魚礁」を参照し定める。

#### (4) 土質

海底地盤は不均一であることが多いため、地盤に関する設計条件は慎重に調査し、総合的に判断する必要がある。所要の土質調査を行い、「第2編第9章 土の性質」、「第2編第10章 土圧及び水圧」を参照し、設計に必要な土質条件（土のせん断強度特性、圧密特性など）を定める。なお、湧昇流発生構造物の設置水深が深く、設置範囲が広範囲であることから、標準貫入試験などの直接的地盤調査が困難であるため、音波探査、音響探査などの間接的地盤調査、採泥による底質の物理試験結果を用いて、土質条件を定めることを原則とする。

#### (5) 静水圧と浮力

静水圧と浮力は、「第2編第4章 波力」、「第2編第10章 土圧及び水圧」を参照し定める。

#### (6) 自重と上載荷重

自重と上載荷重は、「第2編第13章 荷重」を参照し定める。マウンド型構造物はブロックなどの乱積み構造となることから、海底面に接するブロックの強度を検討する際に上載荷重を考慮する。

### 7.2.3 材料

湧昇流発生構造物に使用する材料は、経済性に優れ、所要の強度、耐久性、環境に対する安全性が確保でき、品質のバラツキの少ないものであることを原則とする。

湧昇流発生構造物は、従来の漁場の施設と比較すると非常に大規模となることから、使用する材料は、所要の品質、耐久性、環境に対する安全性の確保だけでなく、安価で安定供給が可能なものを選定することが望ましい。材料の諸係数は、「第3編 材料及び諸係数」を参照し定める。

### 7.2.4 安全性に関する性能照査

湧昇流発生構造物の構造設計は、所要の作用により行うことを原則とする。

#### (1) 作用

湧昇流発生構造物の作用は、自重、衝撃力、流体力、地盤反力とし、製作、運搬、設置時及び設置後に起こり得る諸条件について検討することを原則とする。

- ① 自重の算定にあたっては、「第2編第13章 荷重」を参照する。
- ② 着底時の衝撃力の算定にあたっては、「第15編第2章 沈設魚礁」を参照する。
- ③ 流体力は、波、流れによる力とする。湧昇流発生構造物に作用する波力は、波浪条件、潮位、設置水深、海底地形、構造物形状などを考慮して、適切な算定式あるいは水理模型実験により算出することが望ましく、流体力の算定にあたっては、「第2編第4章 波力」「第2編第6章 流れ」「第15編第2章 沈設魚礁」を参照する。
- ④ 地盤反力は、湧昇流発生構造物の底面において、構造物の形状に応じて、流体力及び構造物自重などの荷重の水平・鉛直合力により生じるものであり、部材の設計、地盤支持力の検討に用いる。地盤反力の算定にあたっては、「第4編第2章 平面基礎の支持力」を参照する。

## (2) 部材の安全性に関する性能照査

運搬時、仮置時、沈設時に異型ブロックに発生する曲げモーメント、軸力、せん断力などを計算し、これより発生する断面応力が材料の許容応力度以下であることを原則とする。

- ① 運搬時の作用は、ブロック自重と運搬方法の関係から検討することを原則とする。
- ② 仮置時の作用は、検討する必要はない。ただし、ブロックを複数個積み上げて仮置きする場合、対象ブロックの上部に積み上げられるブロックの自重を、上載荷重として作用させたときに、下部のブロックの圧縮強度に十分な余裕を持たせることが望ましい。
- ③ 沈設時の作用として、ブロックが海底に着底する際の衝撃力を考慮することが望ましい。衝立型構造物の場合の算定方法は、「第15編第2章 沈設魚礁」を参照する。マウンド型構造物の場合の算定方法は、ブロックが自由落下で積み重なることとなるので、適切な方法で安全性を確認することが望ましい。

## (3) 構造物全体の安全性に関する性能照査

湧昇流発生構造物は、基礎の支持力が安定した構造であることを原則とする。また、湧昇流発生構造物を構成するブロックは作用に対する所要質量を満足していること、波や流れによって滑動、転倒が生じないことを原則とする。

湧昇流発生構造物は、基礎の支持力が安定した構造であることを原則とし、基礎の支持力の算定にあたっては、「第4編第2章 平面基礎の支持力」を参照する。

マウンド型構造物は、自重、浮力、波及び流れなどの作用に対して、マウンド材料の所要質量を満足していること、並びに基礎の支持力が安定した構造であることを原則とし、所要質量の算定にあたっては、参考文献<sup>1)</sup>を参照する。

衝立型構造物は、自重、浮力、波及び流れなどの作用に対して、堤体の滑動、転倒を生じないこと、並びに基礎の支持力など、構造の安定性が満足していることを原則とし、性能照査にあたっては、「第15編第2章 沈設魚礁」、参考文献<sup>13)</sup>を参照する。また、構造物の周辺は波や流れにより洗掘を受ける場合があるので、その程度を把握し、場合によっては対策工を施すことが望ましい。

## (参考文献)

(マウンド型構造物)

- 1) (社) マリノフォーラム 21 : マウンド漁場造成事業に係わる技術資料, MF21 技術資料, No.41 (2001), 61p.
- 2) 渡邊浩二・中川良文・武田真典 : 湧昇マウンド礁の機能と効果について, 海洋開発論文集, Vol. 24 (2008) , pp.31-36
- 3) 中山哲巖・八木宏・藤井良昭・佐野朝昭・武田真典・岡野崇裕 : 湧昇マウンド礁による低次生産効果把握のための数値計算, 土木学会論文集 B2, Vol.66 (2010), pp.1131-1135
- 4) 岡野崇裕・八木宏・中山哲巖・足立久美子・武田真典・松村繁徳・高城隆昌・伊藤純一・小川浩史 : 湧昇マウンド礁周辺における懸濁態有機物に関する現地観測, 土木学会論文集 B2, Vol.66 (2010), pp.1401-1405

- 5) 熊谷隆宏・山本省吾・平山達也・真鍋匠・清水英久・川口毅・平田賢治・小宮一成・小林一美：  
ブロック直投方式を用いた人工海底山脈築造に関するブロックの落下挙動および拡散特性に関する研究，海岸工学論文集，Vol.51（2004），pp.801-805
- 6) 琴浦毅・佐貫宏・熊谷隆宏：材料の拡散・堆積特性を踏まえた人工マウンド礁の最適築造方法に関する研究，海岸工学論文集，Vol.55（2008），pp.1351-1355
- 7) 松見吉晴・青野利夫・長田慶一・片上智之・原洋平・関根信寛・高瀬和彦：人工海底山脈築造における石材投入管理システムの現地適用性に関する研究，土木学会論文集 B3, Vol.67（2011），pp.445-450
- 8) 本田陽一・間木道政・鈴木達雄：人工マウンド構造物による鉛直混合現象の観測と混合量の試算，海岸工学論文集，Vol.51（2004），pp.1151-1155
- 9) 武田真典・吉塚靖浩・岡野崇裕・高野聖之・岡野隆行・本田陽一・鈴木達雄：人工海底山脈による鉛直混合現象の実態把握，土木学会論文集 B3, Vol.70（2014），pp.169-174
- 10) 中川良文・前川浩二・五明美智男・平山達也：人工マウンド礁の高精度造成に関する統合施工管理技術，水産工学，Vol.47 No.2（2010），pp.101-112
- 11) 本田陽一・岡安章夫：保存型 B 型 CIP 法を用いた湧昇マウンド礁による鉛直混合の数値解析，土木学会論文集 B2, Vol.68（2012），pp.1151-1155
- 12) 間辺本文・浅見能章・本田耕一・澤田竜美・菅原吉浩・塚本邦芳・伊藤靖・吉野真史：マウンド礁（五島西方沖地区）の効果の発現状況と今後の課題，平成 26 年度日本水産工学会学術講演会学術講演論文集（2014），pp.66-70

(衝立型構造物)

- 13) (社) マリノフォーラム 21：人工湧昇流漁場造成事業に係わる技術資料，MF21 技術資料，No.19（1995）
- 14) 柳哲雄・中嶋昌紀：人工湧昇流発生構造物による海況変化，水産海洋研究，第 54 巻第 1 号（1990），pp.1-8
- 15) 柳哲雄・中嶋昌紀：人工湧昇流構造物の魚礁効果，水産海洋研究，第 54 巻第 3 号（1990），pp.249-254
- 16) 今村均・友田啓二郎・鈴木達雄・細野成一：人工湧昇流発生漁場造成の研究，海岸工学論文集，Vol.42（1995），pp.1131-1135

## 第 8 章 循環流発生構造物

### 8.1 循環流発生構造物の要求性能

循環流発生構造物の要求性能は、構造形式に応じて、以下の要件を満たしていることとする。

- 1.対象生物の滞留に適した循環流を発生することができるよう適切なものとする。
- 2.自重、波、流れ等の作用に対して構造上安全なものとする。

開放性の高い海域では、卵、孢子、遊泳力の小さい浮遊幼生あるいは粒状有機物等は、流れによって他の海域に運ばれ、逸散する可能性が高い。しかし、波浪、流れが構造物によって遮られ、その周辺に循環流が形成されると、それらの物体が比較的長時間滞留し、一般流の支配的領域と異なる環境になる可能性がある。循環流発生構造物とは、そのような環境を人工的に作り出すもので、対象生物の生態、対象海域の流動特性、周辺地形・底質への影響を考慮して、卵や浮遊幼生などの分散を効率よく抑止できることを原則とする。

### 8.2 循環流発生構造物の性能規定

循環流発生構造物の性能規定は、構造形式に応じて、漁港の施設「外郭施設」(離岸堤等)の規定を準用するほか、海水中に含まれる浮遊幼生、懸濁物質及び溶存物質の拡散を抑止できる循環流を発生させられるよう適切に配置され、かつ所要の諸元を有することとする。

構造物によって発生する循環流は、海流などの恒流とは異なり、限られた領域に滞留時間が比較的長い半孤立水塊を形成する。したがって、循環流内で発生した、又は外部から循環流内に捕捉された水産動物の卵・浮遊幼生、海藻の孢子や卵あるいは流れ藻などが他海域へ運び去られるのを抑制される<sup>1)2)</sup>。

循環流発生構造物には、波から循環流を発生する構造物と、流れから循環流を発生する構造物の二種類がある。

波を利用した循環流発生構造物は、越流部のある離岸潜堤をある間隔をおいて配置し、潜堤上を波が越流するとき波浪のエネルギーが向岸流となることを利用し、潜堤と潜堤の間から離岸流を起こして平面的循環を起こすものであり、その構造・配置は、効率よく波浪から流れをつくり、循環流を発生させることを原則とする。

流れを利用した鉛直循環流構造物は、天端が静水面より低い構造物を流れに直角に設置して、その下流側に鉛直循環流をつくり、物質分散を抑止するものであり、その構造・配置は、対象生物の生態、対象海域の流動特性を考慮して、効率よく分散抑止機能が発揮できることを原則とする。

循環流を発生させるための工法には数多くのものが考えられるが、ここでは潜堤を中心として、波による水平循環流、及び流れによる鉛直循環流の発生構造物について述べる。それぞれの工法選択は、対象海域で卓越するエネルギー源と対象水産生物の生態学的知見に基づいて行うことを原則とする。

#### 8.2.1 波を利用した循環流発生構造物

進行波下では、水が岸へ輸送される正味の移動(波の質量輸送)があり、その量は砕波によ

って増加する。その結果、潜堤背後の水位は上昇し、隣接構造物との間の水深の大きい区間から沖へ流出する。一方、潜堤沖側前面では、ウェーブセットダウンによって水位が低下し、ここに他所から海水が補給される。このようにして水平循環流が形成される。

循環流の発生には数多くの因子が影響するが、潜堤上での砕波が最も大きい要因であり、対象とする波、潮位を考慮して、砕波の確率が最も高くなるよう、潜堤の諸元を決定する。この循環流は、透過堤よりも不透過式傾斜堤で強化することができる。

潮位差が大きい場合、例えば天端上水深を数段階にして、潮位に応じて砕波させるなどの工夫が必要である（図 16-8-1）。潜堤上での砕波については「第 2 編第 3 章 波」を参照することができる。循環流を安定的に発生させるためには潜堤と非越流堤の組み合わせが望ましいが、非越流堤がなく潜堤のみを設置した場合にも循環流は生じる。

なお、地形に基づく循環流は、現地海岸にはもともと存在することが多いので、それを助長するように循環流発生構造物を配置することが望ましい。

### (1) 循環流の平均流速

循環流には、波、一般流、水深、地形などの対象海域の特性、あるいは潜堤の配置、潜堤の構造などが影響する。各因子が組み合わさった場合の循環流の計算法は明らかにされていない。以下には、潜堤上で波が浅水変形する場合の循環流の基本的な計算法を示す<sup>4)5)</sup>。

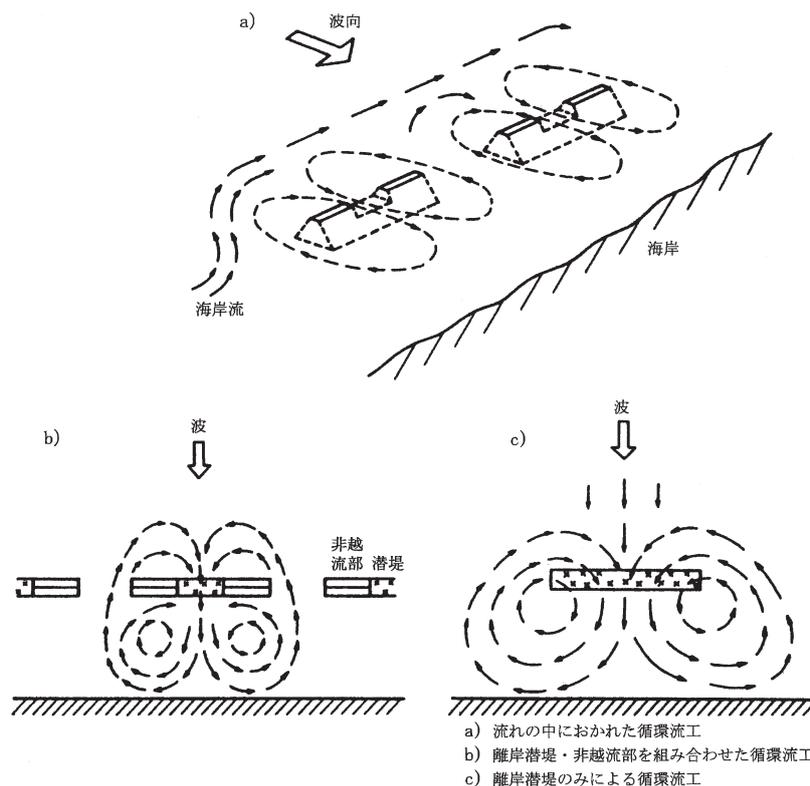


図 16-8-1 波による循環流の模式図

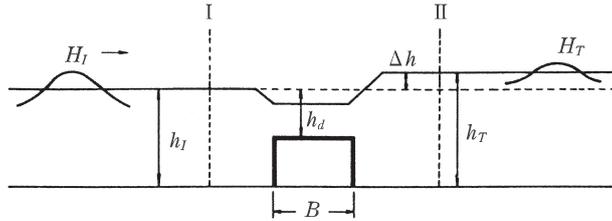


図 16-8-2 離岸潜堤前後の水位の模式図及び記号の説明

図 16-8-2 において潜堤前後に検査面 I、II を設け、両検査面における波によるラジエーション・ストレス（運動量の流れ）を  $S_I$ 、 $S_T$  とする。これらは検査面における波高の 2 乗に比例するが、波のエネルギーが流れに変換されるため、検査面 II の値は I に比べて小さくなる。その差 ( $S_I - S_T$ ) によって水位上昇量  $\Delta h$  が生ずることから、潜堤前後の水位差  $\Delta h$  は式 16-8-1 で求められる。

$$\Delta h = \frac{1}{w_0 h_d} (S_I - S_T) \dots\dots\dots (式 16-8-1)$$

ラジエーション・ストレスは、潜堤上部の値を用いて式 16-8-2 で求められる。

$$\left. \begin{aligned} S_I &= \frac{w_0 H_I^2}{8} \left( \frac{1}{2} + \frac{2k_I h_d}{\sinh 2k_I h_I} \right) \\ S_T &= \frac{w_0 H_T^2}{8} \left( \frac{1}{2} + \frac{2k_T h_d}{\sinh 2k_T h_T} \right) \\ k_I &= \frac{2\pi}{L_I}, k_T = \frac{2\pi}{L_T} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (式 16-8-2)$$

ここに

- $H_I$ 、 $H_T$ ：潜堤前後の進行波としての波高（m）
- $L_I$ 、 $L_T$ ：潜堤前後の波長（m）
- $h_I$ 、 $h_T$ ：潜堤前後の水深（m）
- $w_0$ ：海水の単位体積重量（kN/m<sup>3</sup>）

$H_I$ 、 $L_I$ 、 $L_T$  は  $h_I$ 、 $h_T$  及び入射の条件より求められる（「第 2 編第 3 章 波」参照）。また透過波高  $H_T$  は、潜堤の諸元より求められる（「第 2 編 3.7.3 伝達波高」参照）。この水位差  $\Delta h$  によって循環流が生じる。循環流の流線長  $l$ （m）から循環流の流速  $u$ （m/s）は式 16-8-3 で求められる。

$$u = \frac{1}{n} h^{2/3} \left( \frac{\Delta h}{l} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (式 16-8-3)$$

ここに、

- $n$ ：マンニングの粗度係数
- $h$ ：流線  $l$  に沿った平均水深（m）（ $\div (h_I + h_T)/2$ ）

循環流発生構造物が一般流  $U$  のなかに置かれたときに一般流から独立し得る水塊の大きさの目安として  $u \geq U$  の範囲をとれば

$$l = \frac{h^{4/3} \Delta h}{n^2 U^2} \dots\dots\dots (式 16-8-4)$$

となり、循環流を半径  $r$  の円形と仮定すれば

$$r = \frac{h^{4/3} \Delta h}{2\pi n^2 U^2} \dots\dots\dots (式 16-8-5)$$

を得る。

マニングの粗度係数  $n$  は、定常流の場合は定数であるが、波・流れ共存場では、波運動の影響を受ける。その場合は、式 16-8-6 で算定できる。

$$\left. \begin{aligned} n &= a \left( \frac{H}{T \sinh kh} \right)^{0.4} \\ a &\doteq 0.4 \sim 0.8 \text{ (m, s 単位で計算)} \\ k &\doteq (k_I + k_T) / 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (式 16-8-6)$$

この値は、対象海域の底質、起伏により変化すると考えられる。式 16-8-6 中の係数  $a$  は、水槽実験では 0.4、激しい起伏の多い岩礁帯に設置された循環流発生構造物周辺での観測では、0.8 程度とされる<sup>6)</sup>。現地における観測例は数少ないため、 $a$  の値の決定にはさらに検討が必要である。

波を利用した循環流発生構造物の設計の手順の例を図 16-8-3 に示す。

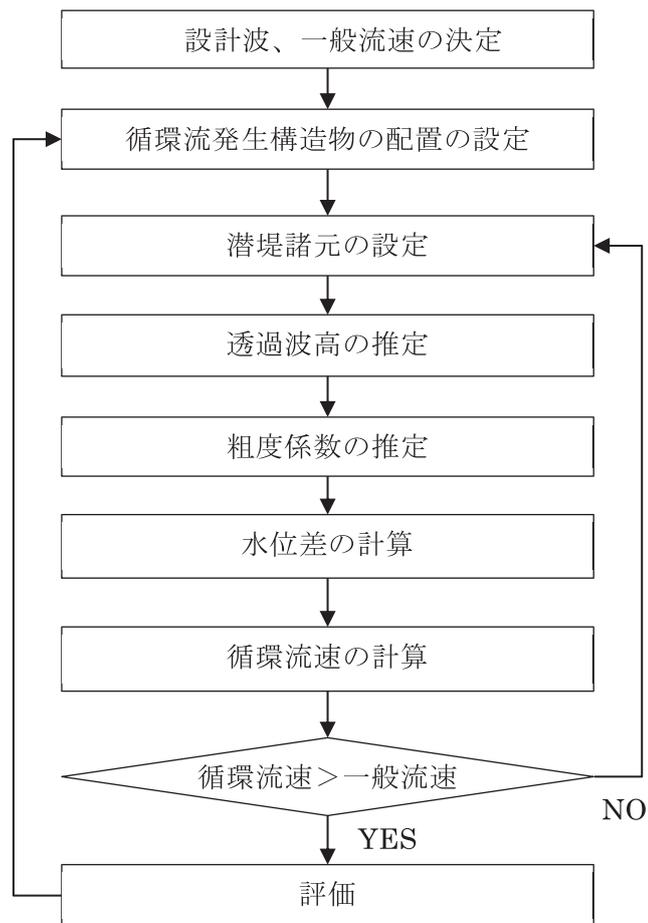


図 16-8-3 波を利用した循環流発生構造物の設計の手順の例

### 8.2.2 流れによる鉛直循環流の発生

流れの中に設置された構造物の背後には、境界層の剥離の影響を受けた循環域（後流域）が生じる（図 16-8-4）。この領域内の物質は流れによって一度に運び去られてしまうことなく、徐々に主流域との水塊の交換を行う。したがってこの領域内の卵、浮遊幼生などは、他の海域のものに比べて滞留時間が長くなり、着定の機会が増加し、着定又は沈着稚仔が結果として集積される。

鉛直循環流の流況は、主流流速、構造物の形状・規模、設置水深、海底形状によって影響される。ここでは構造物を長方形とした場合の循環流発生構造物の設計の考え方を示す。

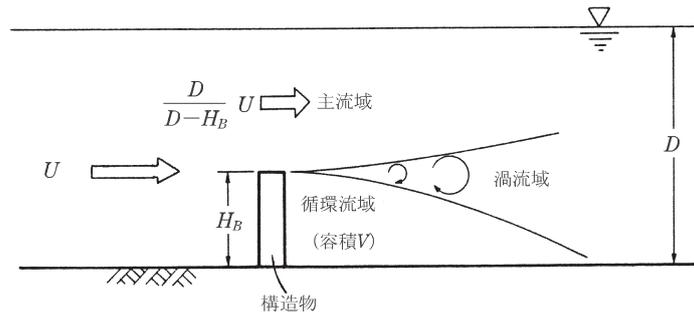


図 16-8-4 鉛直循環流の模式図

(1) 鉛直循環流発生構造物の影響範囲

鉛直循環流の影響範囲は相対的なもので、対象海域の流動特性、対象生物の物理的特性（比重、大きさ）によって異なる。ここでは流体力学的影响（平均流速が負となる範囲、又は流量ゼロの流線の範囲）をその影響範囲と定義する。影響範囲は、構造物高さが水深の 12~30% の場合、7 倍程度である<sup>7)</sup>。

(2) 滞留時間の算定

滞留時間は一度、循環流域内に入った物質濃度が主流域と海水交換によって時間の経過に伴いどのように減少するかによって知ることができる。濃度の時間的变化は式 16-8-7 で示される。

$$C/C_0 = e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (式 16-8-7)$$

ここに、 $\alpha$  は主流域と循環流域との海水交換を表わす交換速度係数（海水交換量/循環流域容積）で、式 16-8-8 により求められる。

$$\alpha = 0.027 \frac{U}{H_B} \frac{2k^2}{1+k} \dots\dots\dots (式 16-8-8)$$

ここに、

- $U$  : 主流流速 (m/s)
- $H_B$  : 構造物高さ (m)
- $k = D/(D-H_B)$
- $D$  : 水深 (m)

循環流内の物質の平均滞留時間  $T$  (s) は、濃度が元の濃度の  $1/e$  ( $e$  は自然対数の底) に低下するのに要する時間で定義すれば、式 16-8-9 で表される。

$$T = 1/\alpha \dots\dots\dots (式 16-8-9)$$

式 16-8-9 により求められる滞留時間を対象生物の浮遊時間、産卵場からの到達時間などと組み合わせることにより、構造物規模・配置などの目安にすることができる。

8.2.3 循環流発生構造物による地形・底質の変化

波を利用した循環流発生構造物では、潜堤上での砕波により、背後水域へ伝達する波浪エネ

ルギーが減少する。また、鉛直循環流発生構造物においても波や流れのエネルギーの変化が起こる。循環流発生構造物の設置による波や流れの変化は他種の海岸構造物におけるのと同様に、海岸線の地形や循環流域内の底質などに変化をもたらすので留意することが望ましい。

流れによる循環流発生構造物の場合、水より比重の重い物質は、後流域内に集積する傾向があるので、対象海域の浮泥、砂、他生物の浮遊幼生の分布状況をよく把握し、これらの集積によって対象生物の生息に不適な条件をつくり出さないよう、注意することが望ましい。

(参考文献)

- 1) 堺 茂樹・小野 敏行・小林 貴史・平山 健一・佐伯 浩：漁場造成を目的とする消波循環流工の水理学的効果，海岸工学論文集 38 (1991)，pp.846-850
- 2) 杜多 哲：浮遊幼生の分散におよぼす流動環境の影響とその制御，養殖研報告 16(1989)，pp.1-82
- 3) 杜多 哲：消波循環流工周辺の流れの実験と現地観測，水産土木，20(1) (1983)，pp.65-74
- 4) 中村 充：水産土木学，生態系海洋環境エンジニアリング，工業時事通信社 (1991)，pp.308-313
- 5) 杜多 哲・中村 充：波による循環流工に関する実験的研究，水産工学研究所報告 2(1981)，pp.1-11
- 6) 杜多 哲・乃万俊文・中村 充：田老海岸の流動についての現地観測，水工研技報 水産土木 3 (1982)，pp.1-14
- 7) 杜多 哲：魚礁後流の海水交換に関する研究，海岸工学講演会論文集 30 (1983)，pp.623-627

## 第 9 章 藻留施設

### 9.1 藻留施設の要求性能

藻留施設の要求性能は、構造形式に応じて、以下の要件を満たしていることとする。

- 1.対象生物に適した流動を発生することができるよう適切なものとする。
- 2.波、流れ等の作用に対して構造上安全なものとする。

コンブ、アラメ・カジメ等の大型海藻はアワビ、ウニ等の重要な餌料である。しかし、それらの磯根動物は着生した藻体に登って食べるよりも脱落した藻体（流れ藻）を捕捉していることが多い。また生長した大型海藻は、激浪時に流れ藻となって漁場外へ大量に流出することも多い。藻留施設はこのような流れ藻をアワビ、ウニ等の餌として有効利用するため、漁場内に滞留させることを目的として設置される<sup>1)</sup>。

### 9.2 藻留施設の性能規定

藻留施設の性能規定は、以下に定めるとおりとする。

- 1.貝類等の餌となる流れ藻を漁場内に滞留させられるよう適切に配置され、かつ、所要の諸元を有すること。
- 2.波、流れ等の作用に対して、設計対象施設の機能に影響を及ぼさないよう所要の強度と安定性を有すること。

藻留施設の照査にあたっては、流動によって容易に移動、分散する流れ藻の特性を十分に考慮し、施設の構造と設置場所を適正に決定することを原則とする。

#### 9.2.1 設置場所の選定

藻留施設の設置場所については、藻場からの流出経路、施設の設置効果、増殖対象種の生息環境、漁獲水深等を考慮して決定するものとする。流れ藻の流出経路は、流況と海底地形、または刺し網等を用いた調査から推定することができる。一般に流れ藻の分散は大きいですが、流れ藻の通過量が多い道筋があり、その位置を把握することが望ましい。また、藻留施設の効果及び設置の容易さからはできるだけ平坦な海底を適地として選定することを原則とする。起伏のある海底では、流れ藻が海底の凹凸で発生する渦（乱れ）によって海底から巻き上げられやすくなったり、藻留施設を隙間なく設置することが難しくなったりするので、海底の地ならしを行うことが望ましい。

#### 9.2.2 施設の構造一般

従来、一般に利用される藻留施設の構造には、流れをあまり変化させずに流れ藻の移動を止める格子状構造から成るスクリーン型と、流れを制御して流れ藻を滞留させるブロック型がある<sup>12)</sup>。しかし、海水中の流れ藻は非常に軽く、沿岸での複雑な流動により容易に移動、分散するために、それらの施設で十分に高い流れ藻滞留効果が得られた事例はない<sup>3)</sup>。これら従来型の施設を利用する場合には以下の適用限界を十分に検討したうえで利用することが望ましい。

スクリーン型施設の効果は、一方向の流れの中では非常に高いが、流れ藻は網目に絡みつ়くことはほとんどないので、一般に複雑な流動によって施設から離れたり乗り越えたりして長時間滞留することはない。スクリーン型で流れ藻を滞留させるためには、流れ藻がすり抜け

目合の選定と隙間のない施設の設置を行うだけでなく、施設の高さを高波浪時の流れ藻の浮遊高さより高くすることを標準とする<sup>4)5)</sup>。流れ藻がすり抜けない目合については、単葉藻体であれば、網目の対角線の長さが葉幅以下になるようにする。

ブロック型施設は、一般に異形ブロックまたは石材を直線状に連設して構築される。定常流の場では施設の高さに最適高さが存在する。この最適高さは、平坦な海底に不透過施設を設置する場合で 0.5m 程度である<sup>2)</sup>。定常流の場にブロック型施設が設置されている場合、流れ藻は低流速のときにはブロックの前面に滞留するが、流速がある限界を超えるとブロックを飛び越え始め、その背後に滞留する。流速がさらに増加してある限界値を超えると、流れ藻は全く滞留しなくなる<sup>2)</sup>。定常流中のブロック型の適用範囲は、この限界値で検討することができる。一方、波の場では、ブロック型が波動流を妨げて渦が発生する。この渦により流速の振幅がある限界値を超えると、流れ藻は巻き上げられて逸散する<sup>6)</sup>。波動流中のブロック型の適用範囲はこの限界値で検討するとよい。この限界値の算定式として式 16-9-1<sup>6)</sup>を用いることができる。

$$\frac{U_m}{w} = 18.85 + 3.3 \ln \frac{B}{L} \dots\dots\dots \text{(式 16-9-1)}$$

ここに、

- $U_m$  : 波による最大水粒子速度 (m/s)
- $w$  : 流れ藻の沈降速度 (m/s)
- $B$  : ブロックの高さ (m)
- $L$  : 波長 (m)

### 9.2.3 扉付流れ藻捕捉装置

波動下で複雑に運動する流れ藻を効率的に捕捉し、捕捉した流れ藻を激浪時にも流失させずに保持できる構造物として扉付流れ藻捕捉装置<sup>7)</sup>が開発されている。本装置は流れ藻がすり抜けない網目構造の本体と、その側面には波動によって内側に開くが、外側にはストッパーによって開かないようにした扉から構成される (図 16-9-1)。ストッパーはゴムやばねなどの弾性体で形成する。扉の高さは、0.5m より高くしても流れ藻の捕捉効果はほとんど変わらず、むしろ衝撃力が大きくなり、安全上の支障となる。実験により最適高さは 0.4~0.5m ほどとされる。

本装置に作用する外力では、扉が閉じるときに発生する衝撃力が卓越している。照査に用いる流体力ではその衝撃力のみを考慮する。衝撃力  $F$  (kN) は式 16-9-2 により算定することができる。

$$F = \frac{2U_m}{h_s} \sqrt{k(I + 0.315\rho b h_s^4)} \dots\dots\dots \text{(式 16-9-2)}$$

ここに、

- $U_m$  : 波動流速 (m/s)
- $h_s$  : 扉の高さ (m)
- $k$  : ストッパー全体の弾性係数 (ばね定数) (kN/m)
- $I$  : 扉の慣性モーメント ( $t \cdot m^2$ )
- $\rho$  : 海水の密度 ( $t/m^3$ )
- $b$  : 扉の幅 (m)

扉付流れ藻捕捉装置が、流れ藻捕捉効果を十分に発揮するためには、扉の周辺に流れ藻の海底からの巻き上げ要因となる遮蔽物をできるだけ設けないことが望ましい。そのため、本装置

の設置では、高比重の鋼製ブロックを装置内部奥側に設置したり、アンカーボルトで岩盤に固定したりすることが望ましい。前者のブロックを用いる場合の安全性の照査では、「第15編第2章 沈設魚礁」の「2.4.2 (2) 構造物全体の安全性の照査」における「① 滑動に対する検討」を準用することができる。

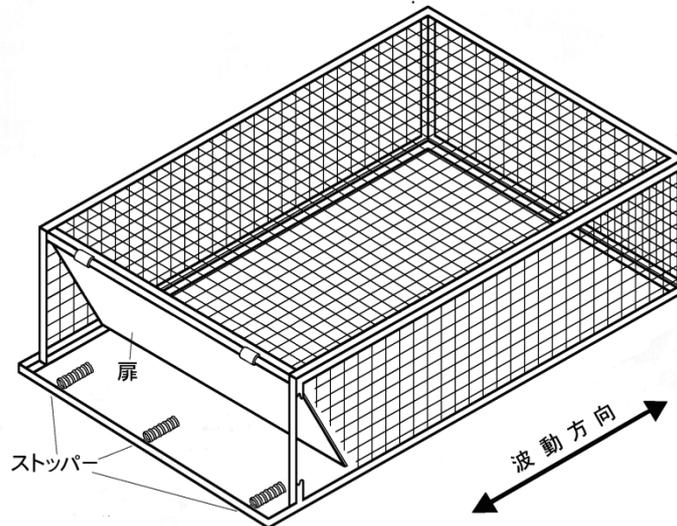


図 16-9-1 扉付流れ藻捕捉装置

(参考文献)

- 1) 川俣 茂：餌料としての流出海藻とその滞留施設，月刊海洋科学 20 (1988)，pp.369-376
- 2) 川俣 茂・萩野静也：二次元一様流中における平板型流れ藻滞留施設について，水産土木 23(2) (1987)，pp.1-11
- 3) 川俣 茂：流出海藻の滞留施設，水産土木 24(1) (1987)，pp.53-60
- 4) 川俣 茂：磯根漁場における流れ藻の挙動とその捕捉装置の開発，海岸工学論文集 39 (1992)，pp.891-895
- 5) 川俣 茂・佐々木良：実海域における骨組構造物による海藻流出防止効果，水産工学 36 (1999)，pp.175-182
- 6) 川俣 茂・磯上孝太郎：波動下におけるブロック型藻留施設の適用限界，水産工学 36 (1999)，pp.11-19
- 7) S. Kawamata and H. Suzuki: Development of a drift-algal trap for nearshore rocky aquaculture, Proceedings of International Conference on Ecological System Enhancement Technology for Aquatic Environments, Japan International Marine Science and Technology Federation (1995), pp.628-633