

東備地区広域漁場整備事業における順応的管理 手法を導入したアマモ場再生の実践

EELGRASS BED RESTORATION PLAN WITH ADAPTIVE MANAGEMENT FOR TOUBI FISHING GROUND DEVELOPMENT PROJECT

鳥井正也¹・山田勝美²・佐伯信哉³・前野仁⁴・平原渉⁵

Masaya TORII, Katsumi YAMADA, Shinya SAEKI, Jin MAENO and Wataru HIRAHARA

¹非会員 岡山県農林水産部水産課 (〒700-8570 岡山市内山下二丁目4-6)

²非会員 工修 (株)荒谷建設コンサルタント (〒730-0831 広島市中区江波西一丁目25-5)

³正会員 (株)荒谷建設コンサルタント (〒790-0045 松山市余戸中二丁目1-2)

⁴正会員 (株)荒谷建設コンサルタント (〒730-0831 広島市中区江波西一丁目25-5)

⁵正会員 (株)荒谷建設コンサルタント (〒700-0976 岡山市辰巳20-19)

In latter half of 1900's, Eelgrass (*Zostera marina* L.) beds were ever distributed over the approximately 590 ha of near-shore waters in Hinase-cho Bizen-city Okayama. However, one of the results of increased pressure such as recent landfill and water pollution has been the destruction of most of the coastal eelgrass habitat. Therefore, eelgrass bed restoration has been ongoing since latter half of 1980's, and Marino forum 21 Public Corporation and the agencies of the Okayama Prefectural Government have developed restoration technology for eelgrass beds from 1998. The project, which involved restoring eelgrass beds and creating habitats for each life stages of fishery products, had been planned by using technologies based on these results and the field studies in this development. First, in this study, based on the research in these sites, restoration policy considered with growth distribution of the natural eelgrass beds was set up. Second, some limit factors in eelgrass beds were detected quantitatively and this information was used to plan a design, a project execution and adaptive management.

Key Words : *Zostera marina, adaptive management, limit factors in eelgrass bed, restoration technology*

1. はじめに

岡山県備前市日生町周辺海域では、かつて沿岸域一帯に広大なアマモ場(約590ha)が分布していた。しかし、近年の埋立て等による沿岸開発や流域からの汚濁負荷の増加に伴う水質悪化などの影響により、多くのアマモ場が消滅した。漁業関係者の間でも、アマモ場の衰退と漁業生産量の低下が密接に関わることが広く認識されるようになり、昭和60年代前半よりアマモ場再生の取り組みが行われてきた。さらに、平成10年度から(社)マリノフォーラム21と岡山県によるアマモ場再生技術の開発を行っており、これらの成果や現地調査結果をもとに、アマモ場の再生と魚介類の生態や成長段階に応じた生育場の創出を目的とした事業計画が策定されてきた。

本事例では、まず当該海域における既往の研究成果¹⁾を基に、現存する天然アマモ場の生育分布を考慮した整備方針を設定した。つぎに、アマモ場造成基盤における生育制限要因を定量的に明らかにすると

ともに、それらを反映した設計、施工計画を示し、順応的管理の考え方を導入した維持管理計画を紹介する。

2. アマモ場再生の整備方針

(1) 周辺の天然アマモ場の現存量調査

造成するアマモ場の目標設定の基礎資料を得ることを目的として、図-1に示す大多府島および現寺湾の天然アマモ場におけるアマモ現存量調査を平成17年の繁茂期および衰退期に実施した。繁茂期(5月・7月)においては、現寺湾と大多府島では平均被度にさほど差は見られなかったものの、衰退期(10月・11月)で比較すると現寺湾の平均被度6~9%(最大被度20%)に対し大多府島では19~31%(最大被度85%)と高い値となった。平均株密度は、現寺湾では5月に最大の215株/㎡を示したが、衰退期の10月には花枝が全て消失し、27株/㎡と大幅に減少した。

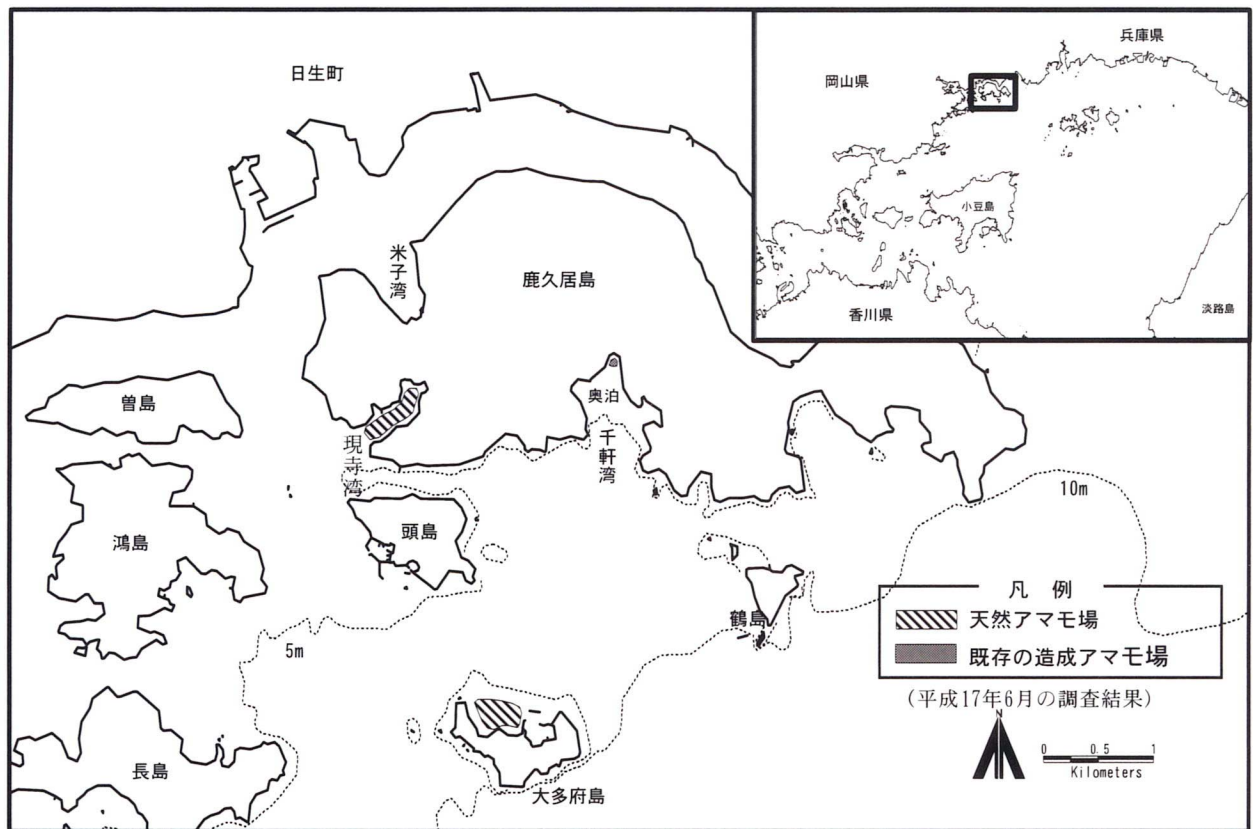


図-1 対象海域の周辺の位置図

大多府島では、5月に最大の121株/㎡を示し、衰退期の10月でも46株/㎡と比較的高い密度が保たれていた。

(2) 造成目標の設定

造成するアマモ場は、維持管理が不要な天然アマモ場に匹敵するアマモ場が最終的な目標である。しかしながら、造成アマモ場の地形や生態系の安定には最低10年以上かかることが予想される。そこで、アマモ生育状況を継続的に評価し、施設の補修等の要否を判定するための維持管理基準を明確なものとするための生育目標を設定する。

設定する目標は、図-1に示す天然アマモ場（大多府島北湾、現寺湾）を対象として、①質的目標（平均株密度で評価）および②量的目標（アマモ分布の広がり）とした。これらは、既往の研究成果や試験施工による結果²⁾を勘案し、①質的目標を周辺天然アマモ場の平均株密度の1/2以上、②量的目標を各造成工区において造成面積の80%以上の分布を目安とした。但し、これらの目標設定は、アマモ生育状況や海象条件及び海洋環境の変化によりその妥当性を検証、見直しを行うことができるものとした。

(3) 物理環境要因からみたアマモ生育条件の設定

アマモの生育に影響を与える環境要因のうち、技術的・経済的に改善可能な環境条件に着目する。光環境による生育条件は、既往の調査研究¹⁾よりD.L-1.4m以浅であることが明らかであった。しかしなが

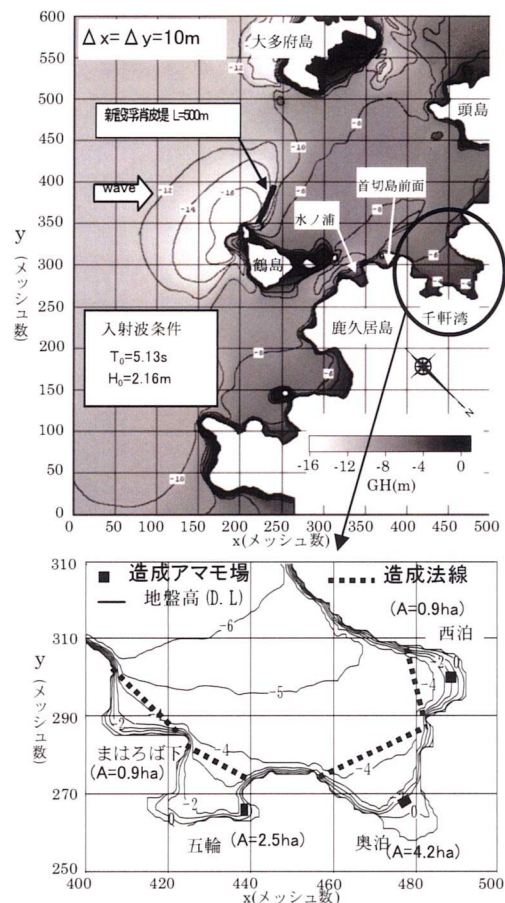


図-2 計画位置図および計算条件

ら、波浪環境に対する定量的な生育条件は不明である。そこで、図-2に示す千軒湾内に現存するアマモ生育場とシールズ数 ψ および海底面の地形変化特性の数値計算結果を重ね合わせて評価することにより、アマモ生育条件を明らかにした。

図-2は、数値計算に用いた計算条件を示したものである。図中には入射波（5年確率波）、地形（水深）、計算格子条件が示してある。計算に用いた潮位は、平均潮位 $M.S.L=D.L+1.0m$ とした。

図-3は、奥泊工区における造成アマモ場のシールズ数 ψ と地形変化特性の計算結果を重ね合わせたものである。図中には、田中ら³⁾による波流れ共存場における摩擦則を用いて算定したシールズ数 ψ および渡辺によるパワーモデル⁴⁾を用いて算定した地形変化量を示した。図より、造成アマモ場の生育条件はシールズ数 $\psi=0.2\sim0.4$ 程度であり、生育水深帯は地形変化特性がやや堆積～変化無しの傾向となる $D.L-0.5m$ 以深であることが確認できる。造成計画高は、現地観測結果と計算結果を踏まえ、シールズ数 $\psi\leq0.4$ かつ $D.L-1.4m$ （光環境）～ $D.L-0.5m$ （波浪環境）とした。

(4) アマモ場造成における平面計画

a) 造成工区の設定

アマモ場造成法線は、各地先における汀線付近の地磯（自然岩礁）をできる限り残すことを基本とし、地磯と各地先の造成アマモ場で構成される多様な生物生息環境を創出できる計画とした。図-2に示す全6工区（西泊・奥泊・五輪・まほろば下・首切島前面・水ノ浦）を計画した。

b) 潮流による千軒湾の海水交換特性

図-4は、海底地盤の嵩上げに伴う千軒湾における海水交換に及ぼす影響を検討したものである。計算対象期間は、アマモ繁茂期であり当海域において最も水質が悪化する夏季における小潮および大潮期とし、平面2次元多層モデル⁵⁾により千軒湾の海水交換率を算定した。図より、造成による千軒湾全体の海水交換に及ぼす影響はほとんど無いことがわかる。元来千軒湾は、潮汐による海水交換能力が低いため、

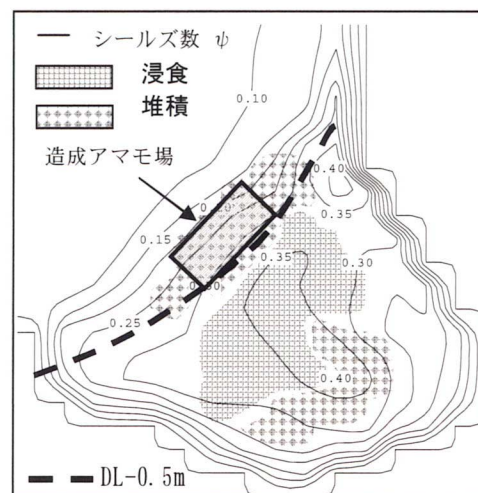


図-3 シールズ数 ψ と海底面の地形変化特性の計算結果（奥泊工区）

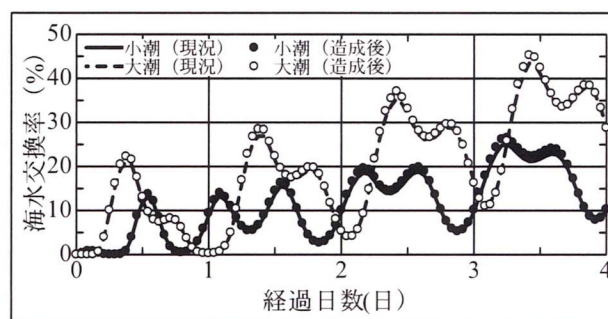


図-4 千軒湾における海水交換率の計算結果

波浪による影響が小さい「五輪・まほろば下工区」では、浮泥の堆積による生育阻害に対して、今後注視する必要がある。

(5) 施設設計・施工計画

アマモ生育条件を踏まえた施設設計を行うと伴に、造成に使用する材料、施工手順、施工管理基準を検討した。

a) 潜堤の構造

潜堤断面（図-5）は、土質特性（圧密沈下および強度特性）および周辺環境への影響の有無、経済性

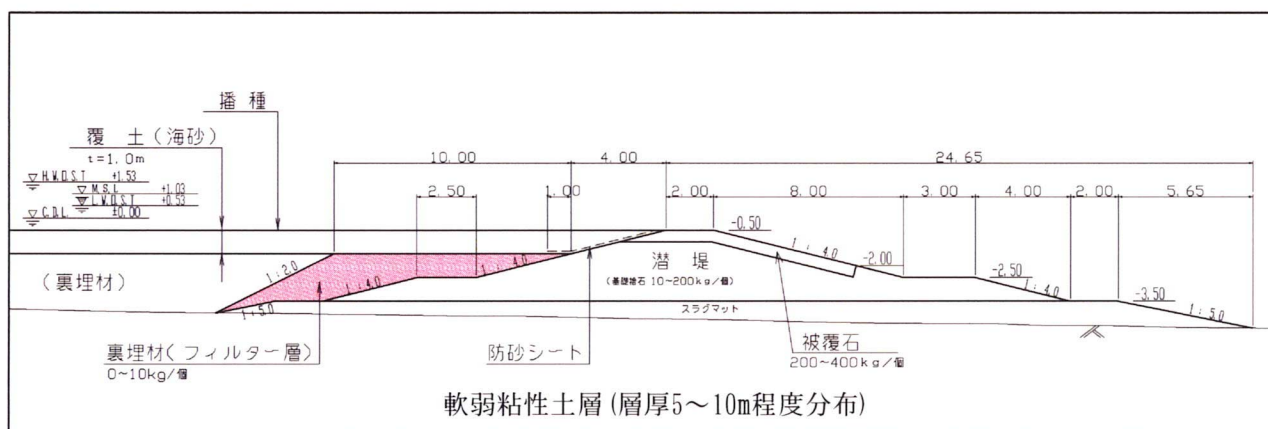


図-5 軟弱地盤上に構築するアマモ造成基盤（水ノ浦工区）

を考慮し、残土発生がなく低廉な工法として、水砕スラグ敷設後に捨石で潜堤を構築する設計とした。この際、潜堤の堤体部の材料は、可能な限り近隣で発生する廉価な再利用材（捨石）を使用した。

b) 裏埋材の構造

潜堤背後の裏埋材は、極端な沈下や移動がないことや材料自体の圧縮・圧密特性にバラツキが少ないこと、アマモ造成基盤の安定性に必要な土質定数を確保することを条件とした。また、圧密沈下や波浪の影響による、覆土や裏埋材の潜堤（捨石）空隙からの吸い出し防止として、フィルター層を設けた。

c) 覆土基面高

覆土の基面高は、圧密沈下等を考慮し目標評価年（種苗供給10年後）で生育制限水深帯（D.L-1.4～-0.5m）を確保できる設計とした。今後、当海域におけるモニタリング結果を踏まえ、光環境制限要因の評価および見直しを行う。

d) 覆土材の設定

表-1は、アマモ場造成基面におけるシールズ数 ψ の算定結果を示したものである。計算に用いる覆土材の粒径は、千軒湾内に現存するアマモ生育地点における底質材料（中央粒径 $d_{50}=0.2\sim0.5\text{mm}$ ）とした。

表-1より、覆土材の中央粒径 $d_{50}\geq0.2\text{mm}$ とした場合、アマモの生育条件は満足されるものの、覆土材の安定性から見れば、中央粒径が大きくシールズ数 ψ が小さいほど好ましい。しかしながら、島谷ら⁶⁾によるとアマモの種子が発芽するには海底面下に種子が埋没することが必要であり、移動限界シールズ数に近い場合は、種子の埋没率が極端に小さくなると報告している。そのため、覆土材の中央粒径 d_{50} は、千軒湾内に現存する天然アマモ場および既存造成アマモ場の底質材料が、 $d_{50}=0.2\sim0.5\text{mm}$ であることや、維持管理が不要な安定したアマモ場の造成を考えると、粒度幅が広い材料による覆土が望ましい。さらに、容易に入手可能な材料であることを勘案し、 $0.2\text{mm}\leq d_{50}\leq0.5\text{mm}$ とした。それらの粒径による造成後の海底面の地形変化特性は、アマモ生育水深帯において、概ね移動無し～やや堆積状況であることを数値計算により確認している。

「五輪・まほろば下工区」については、シールズ数 $\psi\leq0.1$ であることや現地調査および海水交換特性より、造成後も浮泥が堆積する環境にあるものと考えられている。泥質な基盤ではカキ殻等を敷設すればアマモ草体の支持力が増加し、掃流され難くなるという知見がある。今後、造成後における造成基面の状況やアマモ生育状況のモニタリング結果によっては、カキ殻を覆土材の一部として使用することとした。

(6) 種苗供給

a) 種苗の供給方法

種苗の供給は、対象海域周辺に大規模な天然アマ

表-1 シールズ数 ψ の算定結果

工区	覆土粒径 $d_{50}(\text{mm})$	造成後 ψ	覆土粒径 $d_{50}(\text{mm})$	造成後 ψ	現存する天然アマモ場における 限界シールズ数 ψ
西泊	0.5	0.1～0.2	0.2	0.2～0.4	0.4
奥泊		0.1～0.2		0.4	
五輪		0.1以下		0.1以下	
まほろば下		0.1以下		0.1以下	
首切島前面		0.1～0.2		0.1～0.2	
水ノ浦		0.1～0.2		0.2～0.3	

表-2 周辺天然アマモ場の種子数

	種子数 (個/ m^2)	分布面積 (m^2)	備 考
大多府島	424	131,800	漁協による 継続採取有
現寺湾	3,516	138,600	—

モ場が存在せず、移植に用いる苗の確保が困難であるため、比較的小規模ではあるが周辺に位置する天然アマモ場から採取した種子を播種する方法を採用することとした。

b) 播種方法

当地区では、昭和60年以降20年以上にわたり、日生町漁協による直接播種を継続しており、一定の成果がみられる。また、アマモ播種作業は大多府島の天然アマモ場から種子を継続的に採取しており、種子の健全性が確認されるとともに、作業工程も確立している。そのため、本事業における播種方法は、地元漁協による直接播種が最も妥当であるものと判断された。

今後、直接播種法およびこれまでの試験施工において最も効果的であった土のう式播種法²⁾による現地試験を実施し、この結果をもって両者の生育状況と経済性を勘案し、随時播種方法を改善していく。

c) 周辺アマモ場で産出される種子数の試算

周辺の天然アマモ場で産出される種子数を把握するため、繁茂期における天然アマモ場（大多府島および現寺湾）内の数地点において、花枝株数を測定するとともに、花枝株から種子を採取し、その数を計測した。それに併せ、両天然アマモ場の生育分布面積を測定した。

表-2は、各天然アマモ場における単位面積あたりの種子数および分布面積を示したものである。種子数は、エリア内の繁茂状況が濃淡区分の淡に相当する数（個/ m^2 ）を示している。

大多府島の天然アマモ場における確保可能な種子数は、 5.59×10^7 個（=種子数 $\times$ 分布面積）と試算される。土のう式播種法では、必要種子数 $=1.06\times10^7$ 個であり、大多府島の天然アマモ場からの種子供給で十分である。一方、直接播種ではロスを考慮した場合、現寺湾での種子採取の併用が必要と考えている。

3. 順応的管理手法による維持管理計画

維持管理は、図-6に示す順応的管理手法を導入したフィードバックシステムに基づき進めて行くものとする。

(1) モニタリング内容

造成するアマモ場の目標達成状況を評価し、適切な維持管理を実施するため、モニタリング計画を検討した。また、造成目標に対して種苗供給5年後および10年後をアマモ生育評価年の大きな節目とし、造成基面高・覆土構成・播種方法等をモニタリング

結果からのフィードバックで適宜見直すことにより順応的管理手法の導入を行うものとした。

a) 分布状況 (質的目標)

造成工区および天然アマモ場において、繁茂期(5月)、衰退期(10月)で調査定点を設定し、定点内のアマモの株密度、栄養株と花枝株数を測定する。調査定点毎の測定結果は、造成アマモ場毎、天然アマモ場毎に平均し、アマモ分布状況の調査結果とする。さらに、潜水目視時には、草丈(最大)や栄養株の分枝状況、地下茎の伸張状況等を確認する。

b) 分布範囲 (量的目標)

繁茂期および衰退期に造成アマモ場を含む周辺海域において、音響測深機を搭載した調査船を走航し、

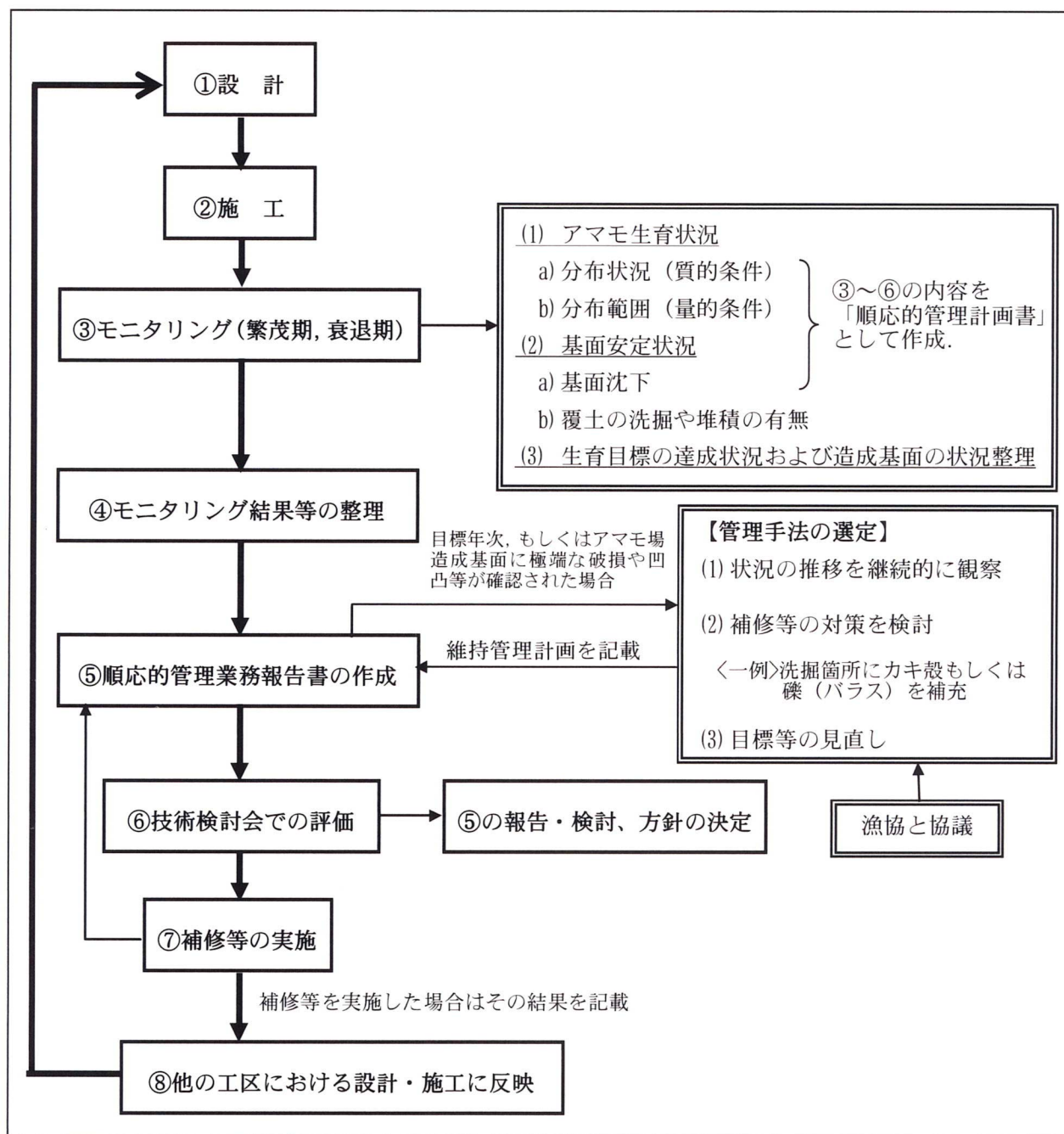


図-6 順応的管理の進め方

音響反応とDGPS (ディファレンシャル全地球測位システム) より得られた位置情報からアマモ場の分布状況を推定する。

c) 水域環境条件調査

岡山県水産試験場が実施する水域環境条件調査結果 (水温・塩分・光量・D0・底質) により、アマモ生育状況を左右する環境条件について整理するとともに、造成目標を下回った場合における要因特定の基礎資料とする。

d) 基面安定状況の確認

分布状況、分布範囲、水域環境条件の調査実施に併せて、潜水および音響測深探査による測量、造成工事の際に設置した沈下板の動態観測等により、造成後の基面沈下や極端な不陸の有無を調査する。また潜水時には、覆土の掃流・堆積の有無を併せて調査する。

(2) モニタリング結果の評価と整理

モニタリングにより得られたアマモ生育状況や生育基盤の状況を整理する。目標年次 (播種後5年後および10年後) においては、図-7に示す維持管理基準により、調査結果と既に定めた造成目標とを比較し、その達成状況を評価する。質的および量的目標の双方が造成目標を下回った場合、図-8に示す手順により、原因解析および改善対策を実施する。

(3) 維持管理計画書の作成

通常年には、順応的管理業務報告書を作成する。目標年次 (5・10年後) には、維持管理計画を作成し、管理手法の選択方針や必要に応じて補修方法や補修箇所等を明記するとともに、これに要する経費の試算等を盛り込む。なお、造成目標を達成している場合においても、モニタリング調査内容の照査を行い、完了も含めたモニタリング計画の見直しを行う。

4. まとめ

本事業は、「東備地区広域漁場整備事業アマモ場造成技術検討会」での課題討議の結果を基にして詳細な目標設定や造成手法の検討、造成アマモ場の維持管理計画を行ったものである。現在、首切島前面工区において、アマモ場造成基盤の一部 (潜堤) が概成している段階にある。

今後、本事業の推進により、当地区における順応的管理手法が確立し、全国での同様な試みの先駆けとなることを期待している。

謝辞: 本事業の紹介に当たり、奥田節夫座長 (京都大学名誉教授) を始めとする技術検討会委員および助言者の皆様方の御指導ならびに本田和士組合長 (日生町漁業協同組合) の御協力に深く感謝いたします。

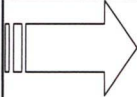
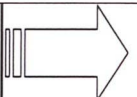
(1)質的目標 天然アマモ場の平均株密度との比較				
0	0~1/2	 1/2 以上	双方目標を下回った場合改善策を実施	
(2)量的目標 分布面積と目標面積との比較				
0	0~80%	 80%以上		
改善対策必要			改善対策不要	
改善措置	原因の究明	モニタリング継続		

図-7 維持管理基準

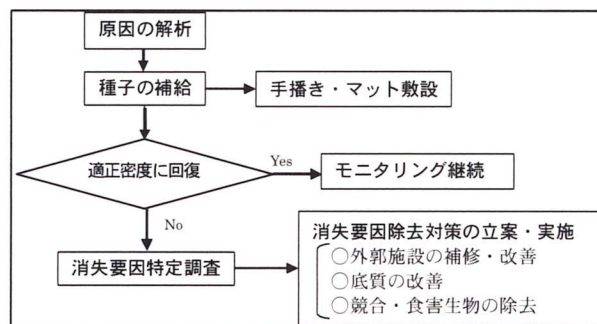


図-8 維持管理計画に基づく改善対策のフローチャート

す。

参考文献

- 1) 社団法人 マリノフォーラム21, 海洋環境保全研究会, 浅海域緑化開発グループ: 平成12年度 浅海域緑化技術の開発に関する報告書, p23, 2001.
- 2) 東備地区広域漁場整備事業アマモ造成技術検討会, 岡山県: 東備地区広域漁場整備事業アマモ場造成技術検討会報告書, pp. 3-18, pp. 47-49, 2007.
- 3) 田中仁, Aung Thu: 全てのflow regimeに適用可能な波・流れ共存場抵抗則, 土木学会論文集, 第467/II-23, pp. 93-102, 1993.
- 4) 渡辺晃: 数値シミュレーションによる海浜変形予測手法の開発研究報告書, 国土開発技術センター, pp. 156-172, 1984.
- 5) 山本潤, 時吉学, 佐伯信哉, 上野成三: 閉鎖性内湾における秋期の水止まり現象に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 941-945, 2003.
- 6) 島谷学, 谷口亨, 岩本裕之: 底質諸元および入射波浪の相違がアマモ種子の埋没条件に与える影響について, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1036-1040, 2004.