

【報 文】

アマモの固着力に及ぼす礫・カキ殻のアンカー材としての効果

梶田 淳^{1*}・新村 陽子²・大本 茂之³
谷本 照巳⁴・寺脇 利信⁵・吉田 吾郎^{5,6}

Function as Anchoring Material of Pebbles and Oyster Shells for Enhancing the Adhering Strength of *Zostera marina* Plants

Atsushi KAJITA^{1*}, Yoko NIMURA², Shigeyuki OHMOTO³, Terumi TANIMOTO⁴
Toshinobu TERAWAKI⁵ and Goro YOSHIDA^{5,6}

Abstract

The effective function as anchoring materials of pebbles (mean diameter 30mm) or oyster shells (mean diameter 30mm) for enhancing the adhering strength of *Zostera marina* plants was clarified. The *Z. marina* plants collected at Mitsukuchi Bay, Hiroshima Prefecture, Seto Inland Sea, Japan were set for our experiments on the bottom of an outdoor 20 ton capacity concrete water tank, by using commercial pebbles (mean diameter 30mm) or coarsely ground oyster shells (mean diameter 30mm) as anchoring material at a volume ratio 10%, 20%, 50% and 100% with sand or mud as the substrate. Test of the adhering strength by pulling out the rhizome of *Z. marina* plants was examined after the tank cultivation during periods of 3 months and 1.5 years. Maximum values of adhering strength in *Z. marina* plants were observed in the cases of mixing rate 20% of pebbles or oyster shells. On the other hand, the minimum values were confirmed for the cases of 100% pebbles or 100% oyster shells. These quantitative results on effective anchoring materials for artificial sandy bottoms for *Zostera* beds, indicate that improved design of actual sandy shallow bottom restoration for artificial sea coasts would be useful to enhance *Z. marina* beds.

1. はじめに

漁業は海洋生態系を構成する生物を利用する産業である。干潟・藻場を含む沿岸域の自然環境を保全すること

は、水産資源の持続的な利用の観点から、きわめて重要である。近年、我が国各地の沿岸で藻場の衰退が起こり、漁業生産に大きな影響を及ぼしている。藻場の衰退要因は、ウニ・魚類等の過剰な食圧、海底への浮泥の堆積に

2009年12月8日受付, 2010年10月28日受理

キーワード: アマモ, アンカー材, 固着力, 効果, 礫・カキ殻

Key words: *Zostera marina*, anchoring material, adhering strength, effective function, pebble and oyster shell

¹ Aquatic Research Inc. Senda, 3-11-7, Naka, Hiroshima 730-0052, Japan (水圏リサーチ(株) 〒730-0052 広島県広島市中区千田町3-11-7)

² Oceanic Planning Corporation 2-10-11, Hama, Minato, Nagoya, Aichi, 455-0036, Japan (海洋プランニング(株) 〒455-0036 愛知県名古屋市中区浜2-10-11)

³ Eight-Japan Engineering Consultants Inc. 3-1-21, Tsushima-kyomachi, Kita, Okayama 700-8617, Japan (株式会社エイト日本技術開発 〒700-8617 岡山市北区津島京町3-1-21)

⁴ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Chugoku, 3-11-32, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-0046, Japan (独立行政法人産業技術総合研究所中国センター 〒739-0046 東広島市鏡山3-11-32)

⁵ National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, Maruishi, 2-17-5, Hatsuka-ichi, Hiroshima 739-0452, Japan (独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5)

⁶ Hiroshima University, 1-4-4 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528, Japan (広島大学大学院生物圏科学研究科 〒739-8528 東広島市鏡山1-4-4)

* Tel: 082-240-0844, Fax: 082-240-0844, kajita@suiiken-research.jp

よる海草・藻体への砂泥の被覆，砂泥移動に伴う砂面変動による海草・藻体の流失等が挙げられる¹⁾。

藻場の機能と回復に関する各種のレビューやガイドラインなどでは，潮間帯から始まる勾配の緩やかな砂泥海底の造成によって，過去に失われたアマモの好適な生育基盤を回復させることの重要性が強調されている^{2)~3)}。湾口部などの外海に面し波浪の影響を強く受ける場所では，底質中の礫およびアマモ自らの古く枯死した地下茎などに根束が絡んでいることが多く，アマモは，根掛かりの強まったアンカー的な部分に支えられ⁴⁾，流動や砂泥移動に抗し，多年的に維持される核となる株密度の高い小パッチを形成している⁵⁾。さらに，これらの核となる株密度の高いアマモ群落では，アマモの草体を支持する礫やカキ殻などの混合物が一定の底質構造で存在することが確認されている⁶⁾。

著者らは，アマモの草体を支持する礫やカキ殻などの混合物に，アマモの地下茎が絡み合っただけのような効果を発現すると仮定し，本稿ではそれら礫やカキ殻などの混合物を「アンカー材」と称することとした。これまで，アンカー材の存在については報告されているが，アンカー材の定量的な効果については物理的外力条件との関連性ととも今後解明すべき課題となっている⁶⁾。しかし，自然環境下のアマモ場では，株密度などの群落特性や底質などの環境特性が極めて多様であり，アンカー材の効果を客観的に評価することは極めて困難である。そこで，本研究では，自然の海底における堆積物組成を模倣した水槽実験を行い，アマモの草体の引き抜きに抗する固着力に及ぼすアンカー材の効果を定量的に把握し，アマモの生育にとって，より好適な底質条件を検討することとした。この研究は，浅場の新規の造成や底質改善等の事業の際に利用可能な堆積物組成の設計に資する。

2. 方 法

市販の粗礫（平均長径30mm）および粗粉碎のカキ殻（平均長径30mm）をアンカー材として用い，基質としての砂（購入砂；中央粒径 0.4883mm）または泥（広島県三津口湾産；中央粒径0.0087mm）の中に，それぞれを容積比率10%，20%および50%に配合し，直径30cm，高さ15cmの円形容器に，実験用の底質として敷き詰めた。

広島県三津口湾で採取したアマモ各10株を，根の支持

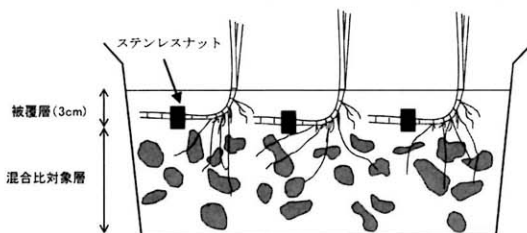


Fig. 1 Schematic illustration of the experiments.

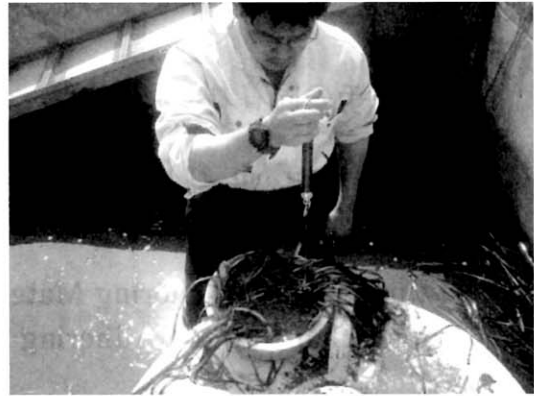


Fig.2 The adhering strength test by measuring the force required to pull out the rhizome of a *Z. marina* plant.

補完具として地下茎にステンレスナットを装着した状態で固定後，その上層に基質として使用した砂もしくは泥を3cm厚となるよう被覆した（Fig.1）。

これらの実験区を構成する円形容器を（独）水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所に設置されている屋外20tコンクリート製水槽底に設置した。水槽内へは，ろ過海水を1回転/24時間となるように，注水した。

2005年12月15日に栽培実験を開始し，ヒゲ根によってアマモが底質中に定着すると考えられる3ヶ月後の2006年3月7日，および栽培実験開始から十分な期間を経た1年6ヶ月後の2007年5月31日に，アマモの引き抜き実験を実施した。アマモの引き抜き実験では，アマモ地下茎が底質表面下数cmの深さの砂泥中に匍匐して生長し続けている健全な株を選定した。選定した株は，葉条長を計測後，ステンレスナットの影響を除去するため，葉の生長点に近い地下茎第1節を起点とした第4節部分で地下茎を切断した。次に，地下茎をクリップで挟んで固定し，バネ秤を用い上方（鉛直方向）に引っ張り，地下茎ごと底質から浮き上がる際の最大の値を読み取った。この値を，アマモの草体の引き抜きに抗する固着力と見なし，各条件での固着力の相対的な比較を行った（Fig.2）。

3. 結 果

1) アマモの栽培経過

アマモの栽培経過の概要をTable 1に示した。アマモの株数は，栽培実験開始時（2005年12月）の各10株から，ヒゲ根によってアマモが底質中に定着すると考えられる3ヶ月後の引き抜き実験の実施時期（2006年3月）まで，実験区による差異は認められるが，それぞれ20株程度に増加した。アマモの株数は，実験開始から1年6ヶ月後の2007年5月には，カキ殻混入区で多く，粗礫混入区で少なく，特に粗礫混入区の混入率50%および100%での減少が顕著であった。

Table 1 Cultivation process of *Z. marina* plants. (本)

基質	アンカー材		栽培株数	(計測株数)/栽培株数	
	材質	含有率	2005/12/15	2006/3/7	2007/5/31
砂	カキ殻	0%	10	(7)/21	(7)/17
		10%	10	(8)/23	(11)/16
		20%	10	(6)/23	(14)/32
		50%	10	(11)/22	(10)/32
		100%	10	(9)/25	(9)/21
	粗礫	0%	10	(7)/21	(7)/17
		10%	10	(1)/25	(10)/17
		20%	10	(10)/22	(14)/31
		50%	10	(12)/23	(8)/14
		100%	10	(9)/18	(4)/4
泥	カキ殻	0%	10	(8)/26	(5)/6
		10%	10	(11)/29	(9)/30
		20%	10	(11)/24	(10)/23
		50%	10	(10)/22	(9)/31
		100%	10	(9)/25	(9)/21
	粗礫	0%	10	(8)/26	(5)/6
		10%	10	(16)/24	(13)/17
		20%	10	(12)/19	(10)/10
		50%	10	(11)/20	(5)/5
		100%	10	(9)/18	(4)/4

Table 2 Analysis of variance (ANOVA) on shoot length of *Z. marina* plants used in the adhering strength test by pulling out the rhizome (May, 2007).

要因	平方和	自由度	平均平方	F値
実験区間	3944.72	15	262.98	F=1.86
実験区内	18638.28	132	141.20	
全体	22583.00	147		

したがって、引き抜き実験に供したアマモの試料は、同質とみなされた。

基質が泥の場合、アマモの草体の引き抜きに対する固着力は高くなる傾向が確認された。アマモの草体の引き抜きに対する固着力は、混入率10%から20%で最大となり、50%では減少することが確認された (Fig.3, 4)。分散分析の結果、混入率0%と混入率10および20%のアマモの草体の引き抜きに対する固着力には有意な差が検出された (有意水準 $P < 0.01$; Table 3, 4)。

また、粗礫100%およびカキ殻100%の場合に、アマモの草体の引き抜きに対する固着力が最も低下することが確認された。さらに、実験終了時のアマモの草体の引き抜きに対する固着力は、栽培実験開始3ヶ月後の固着力に対し、すべての実験条件で高い値となった。

基質が砂の場合、アマモの草体の引き抜きに対する固着力に大きな違いは無かった (Fig.3, 4)。混入率0%と混入率10, 20, 50%のアマモの草体の引き抜きに対する

2) アマモの引き抜きに対する固着力

引き抜き実験実施時の2007年5月におけるアマモの試料の葉条長を分散分析で比較したところ、実験区間で有意な差は認められなかった (有意水準 $P > 0.01$; Table 2)。

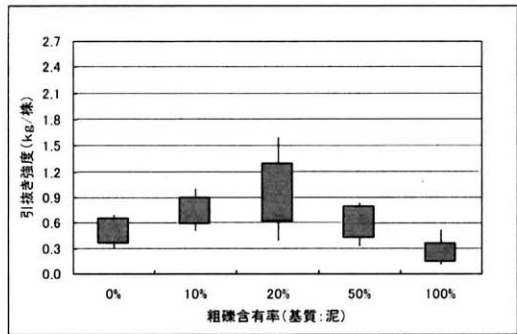
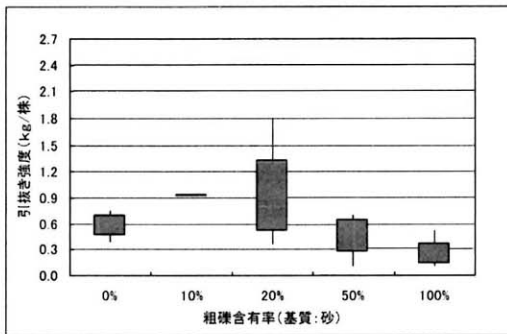
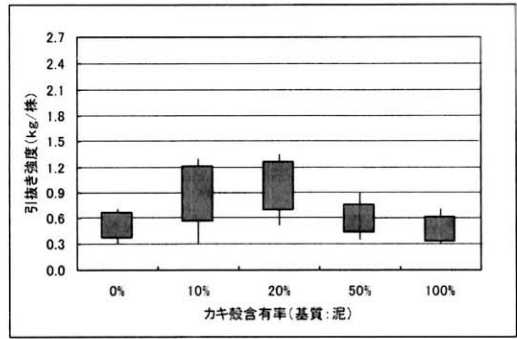
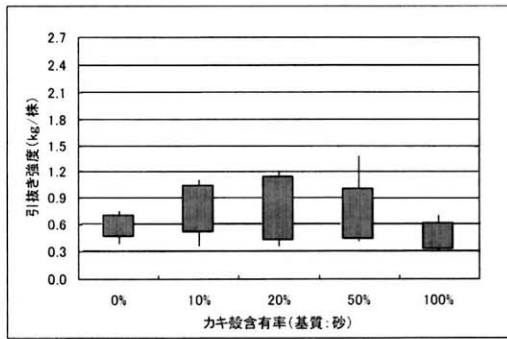


Fig.3 Values of adhering strength in *Z. marina* plants after three months from the start of the experiments (Mar, 2006).

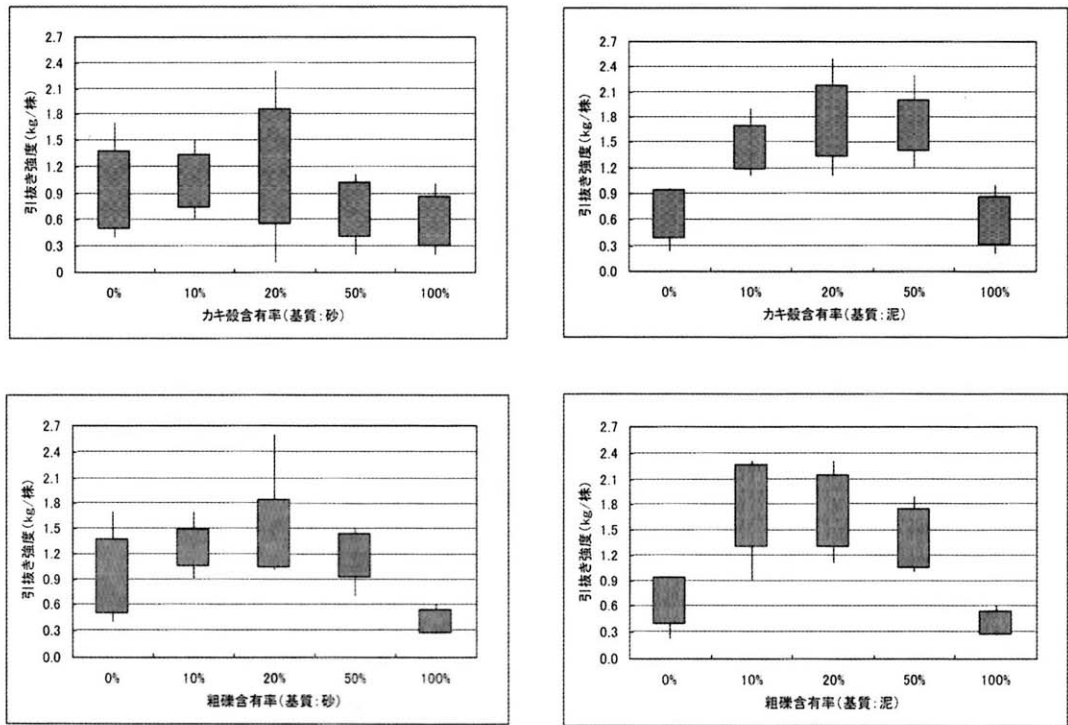


Fig.4 The values of adhering strength in *Z. marina* plants at the end of the experiments (May, 2007).

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) on the values of adhering strength in *Z. marina* plants in the cases of mixing rate of pebbles or oyster shells at 0% to 10, 20, 50 and 100% (Mar, 2006).

基質	粗礫混入率 10%	粗礫混入率 20%	粗礫混入率 50%	粗 礫 100%
砂 100%	—	4.52	2.27	30.84**
泥 100%	11.98**	11.18**	1.41	15.31**

* P<0.05, ** P<0.01にて有意差あり

基質	カキ殻混入率 10%	カキ殻混入率 20%	カキ殻混入率 50%	カキ殻 100%
砂 100%	2.99	1.98	1.30	2.76
泥 100%	8.37*	16.58**	1.02	0.33

* P<0.05, ** P<0.01にて有意差あり

Table 4 Analysis of variance (ANOVA) on the values of adhering strength in *Z. marina* plants in the cases of mixing rate of pebbles or oyster shells at 0% to 10, 20, 50 and 100% (May, 2007).

基質	カキ殻混入率 10%	カキ殻混入率 20%	カキ殻混入率 50%	カキ殻 100%
砂 100%	0.32	1.79	1.54	3.79
泥 100%	26.83**	26.01**	38.19**	0.25

* P<0.05, ** P<0.01にて有意差あり

基質	粗礫混入率 10%	粗礫混入率 20%	粗礫混入率 50%	粗 礫 100%
砂 100%	4.25	6.77*	1.79	5.27*
泥 100%	22.94**	25.23**	13.69**	2.77

* P<0.05, ** P<0.01にて有意差あり

固着力にほとんどの実験条件で有意な差は検出されなかった (有意水準P<0.01; Table 3, 4)。

また、基質が泥の場合、粗礫100%およびカキ殻100%の場合がアマモの草体の引き抜きに対する固着力が最も低下することが確認された。

4. 考 察

引き抜き実験時には、アマモ試料は統計的に同質とみなされた。その上で、アマモの草体の引き抜きに抗する固着力については、基質が泥の実験区においてアンカー材の混入率10%から20%で最大となり、50%以上では減少した。アンカー材が無い場合 (混入率0%) と、混入

率10%から20%の場合のアマモの固着力には統計的にも有意な差が認められ、1年6ヶ月後に効果はより顕著となった。材質的には、粗礫であってもカキ殻であっても、同様の効果が認められた。一方、粗礫100%およびカキ殻100%の場合には、アマモの草体の引き抜きに抗する固着力が低下する傾向が確認された。

実海域における計測が困難な礫層やカキ殻層のアンカー材としての効果について、水槽で栽培したアマモの草体の引き抜きに抗する固着力の実測によって定量化し、砂礫またはカキ殻20%程度の混入率で効果が高いことが明らかになった。しかし、砂礫またはカキ殻の混入率が高すぎると、アマモの固着力が極端に低下するとともに、

アマモの株数が減少することも確認された。これらの結果によって、自然海域の局所的かつ小規模な多年的に維持されるアマモ群落においては、底質を構成する堆積物中に粗礫やカキ殻が存在し、その表面に砂や泥が3cm程度被覆している場合が多いという観察⁶⁾と符合する現象が、水槽内において再現されたと考えられる。

また、アマモの草体の引き抜きに抗する固着力は、3ヶ月後から1年6ヶ月後までのアマモの栽培中に明らかに増大した。これは、移植による栽培開始から3ヶ月後では実験に用いたアンカー材のみの効果であったものが、栽培時間の経過とともに、アンカー材に容器内に残る自身の古い地下茎等が加わったことで、固着力のより一層の強化につながったものと推察された。

今回の実験では、基質が砂の場合にはアンカー材の有意な効果が確認されなかったが、今回使用した購入砂の粒径等の物理条件（中央粒径0.4883mm）等に起因するものかどうか、今後さらに検証が必要である。

本研究によって、実海域においてアマモ生育基盤を造成する際に、使用する底質素材の配合・調整について定量的に検討する上で、数値データの一端が把握できた。特に、流動や砂泥移動など物理的条件の厳しい環境下において多年的に維持されるアマモ場の成立要件の一つとしてのアンカー材の存在と性状が定量的に解明されたことにより、アマモの生育基盤に限らず、いわゆる人工海岸の地先での浅場造成における設計の高度化にも資することが示唆された。

ただし、自然環境中のアマモ場において、海水流動が大きい場合には、粒径の小さい砂泥が海底に留まりにくく、本研究で明らかにされた基質とアンカー材の組成が必ずしも維持されるとは限らない。礫やカキ殻が海底表面に露出する状態は、アマモの生育を逆に阻害する。したがって、人工的な砂泥性基盤の設計に際しては、物理的外力条件とアンカー材との関係などについてさらなるデータの蓄積が必要である。特に、本稿で検討した「固着力」については、アマモ地下部（地下茎およびヒゲ根）のみが示す固着力と底質（土質）が示す固着力（せん断力）等との合成された力であると考えられるので、力学的な精査が進められ、土木工学的な知見としての活用性が高まることが期待される。

5. おわりに

人工干潟等の潮間帯から始まる勾配の緩やかな砂泥海底の造成による自然環境の回復に際し、使用する底質素材の配合・調整について定量的に検討することを経た砂層内構造の多様性の確保が重要である。今後、使用する

底質素材の配合・調整による砂層内構造の多様性の確保については、自然模倣による再現を目指すことが望ましい。具体的には、人工構造物等を用いた、対象域における適度に静穏な波浪・流動環境への制御により、アマモ場の自然成立に好適な海底条件への変化を促す技術のより一層の高度化が必要と考えられる。

6. 要 約

アマモの草体の引き抜きに抗する固着力に及ぼすアンカー材の効果を定量的に把握するため、市販の粗礫および粗砕カキ殻を基質（砂または泥）との容積比率10%、20%、50%および100%に配合し、広島県三津口湾で採取したアマモを、屋外20tコンクリート製水槽底に設置し、栽培開始3ヶ月後および1年6ヶ月後に引き抜き実験を行った。アマモの草体の引き抜きに抗する固着力については、粗礫またはカキ殻20%程度の混入率で最大となり、一方、粗礫100%およびカキ殻100%の場合に最も低下することが確認された。アマモ生育基盤を造成する際に使用する底質素材の配合・調整について定量的に検討する上で数値データが把握されたことから、アマモの生育基盤に限らず、いわゆる人工海岸の地先での浅場造成における設計の高度化にも資することが示唆された。

謝 辞

本稿の取りまとめに際し有益なご教示をいただいた(財)電力中央研究所の川崎 保夫氏および(財)広島県環境保健協会の平岡喜代典博士に心より感謝する。

引用文献

- 1) 寺脇利信・新井章吾・川崎保夫：藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法。水産工学，32：145-154，1995。
- 2) 水産庁中央水産研究所：藻場の機能。水産業関係試験研究推進会議 資源増殖部会「テーマ別研究のレビュー」Ser.4：1-110，1997。
- 3) マリノフォーラム21：アマモ場造成技術指針。pp.1-78，2001。
- 4) den Hartog, C. : *The seagrasses of the world*. Amsterdam, North Holland Publishing Co. pp.1-275, 1970.
- 5) Short, F. T : *The seagrass, Zostera marina L. : Plant morphology and bed structure in relation to sediment ammonium in Izembek Lagoon, Alaska. Aquatic Botany*, 16 : 149-161, 1983.
- 6) 梶田 淳・新井章吾・相田 聡・谷本照巳・森口朗彦・新村陽子・寺脇利信：瀬戸内海の局所的で小規模な多年的に維持されるアマモ群落における堆積物組成の観察。水産工学，45：49-53，2008。