

## アマモ場再生のための寒天材料の応用及び強度調整に関する研究

### Research on the Application of agar Materials and Strength Adjustment for Eelgrass Bed Restoration

○吉田至織\*, 戸森央貴\*

○Iori Yoshida, Hiroki Tomori\*

\*山形大学

\*Yamagata University

キーワード： アマモ(Eelgrass), ゲル(Gel), 生物刺激剤 (Bio-stimulant), 寒天 (Eelgrass)

連絡先： 〒992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 戸森研究室  
戸森央貴, Tel.: (0238)26-3217, E-mail: tomori@yz.yamagata-u.ac.jp

#### 1. 緒言

近年、沿岸域における環境悪化や開発の影響により、アマモ場の減少が深刻な問題となっている。アマモ場は水質浄化、底質の安定化、および多様な水生生物の生息場として重要な役割を担っており、近年では各地でアマモ場再生に関する取り組みが活発に行われている。

アマモ場の造成手法としては、株を移植する株移植法と種子を播いて増殖を図る播種法<sup>1)</sup>がある。株移植法は天然の苗を移植できるため短期的に効果を発揮できる一方で、移植元となるアマモ場に負荷を与えるという課題を有する。また、播種法においては、播種された種子の流失や発芽・定着率の低さが課題である。

これらの課題に対し、これまでに種子の流失防止を目的としたさまざまな造成手法<sup>2)</sup>が提案されてきたが、施工規模や作業性、材料の残存性などの面でそれぞれ課題を有しており、環境負荷が小さく、かつ実用性の高い造成手法がなかった。

このような背景を踏まえ、本研究では環境負荷が低く、生分解性を有する材料として「寒天」に着目し、苗床材料としての応用を

検討した。

さらに、本研究で用いるAlgae Powerは刺激を与え細胞の増殖を促進させる生物刺激剤である。しかし液体であるため、そのまま海中に投入した場合には拡散してしまう。

そこで寒天を用いてこれを保持し、アマモの初期生育環境の安定化を図る。

一方で、寒天を苗床材料として利用するためには、波浪に耐えうるしなやかさと、アマモの発芽根が貫入可能な適切な硬さの両立が不可欠である。

そこで本研究では、圧縮試験を行い硬さおよびしなやかさの関係を明らかにすることを目的とし、その結果および考察を行った。

#### 2. アマモとは

アマモとは海草の一種であり、日本沿岸の浅海域を中心に広く分布している。繁殖様式は春に繁茂し、初夏に再び開花し結実する生活環を繰り返す<sup>3)</sup>種子繁殖と地下茎による栄養繁殖の二つが存在する。アマモが密生して形成されるアマモ場は、沿岸生態系において極めて重要な役割を担っている。アマモ場は地下茎による底質の安定化機能のほか、多くの魚類・甲殻類・貝類にとっての産卵場、成育場、および隠れ場として機能している。そのため「海のゆりかご」<sup>3)</sup>

とも呼ばれている。近年では、炭素を長期的に固定するブルーカーボン生態系の一要素としても注目<sup>4)</sup>されている。

しかし、沿岸開発や埋め立ての影響により、アマモ場は長期的に減少傾向にある。このような背景から、各地でアマモ場の再生・保全に関する取り組みが進められている。

### 3. Algae Powerとは

Algae Power は、光合成細菌を原料とした Bio-stimulant (生物刺激剤) の一種であり、株式会社P&Aより提供いただいた資材である。Bio-stimulantとは、窒素やリンなどの栄養素を直接供給する肥料とは異なり、細胞の増殖促進や光合成活性の向上など、生理機能の活性化を目的<sup>5)</sup>とする資材である。

一方で、Algae Powerは液体であるため、そのまま海中へ投入した場合には速やかに拡散してしまい、局所的かつ持続的な効果の発現が困難であるという課題を有している。

そこで、本研究では、Algae Powerの効果を特定の場所において安定的に発揮させることを目的として、寒天材料に浸み込ませ保持する手法を検討した。

### 4. 寒天:カリコリカン

寒天は紅藻類を原料とする天然由来のゲル材料であり、加熱溶解後の冷却によってゲルを形成する特性を有する。無毒性で取り扱いが容易であることから、食品用途のみならず、生化学実験や材料研究など幅広い分野で利用されている。寒天は生分解性を有していることから、海中環境においても長期的に残存しにくい可能性があり、海洋利用時の環境への影響が比較的小さいと考える。

本研究では、寒天の硬さとしなやかさの関係を明らかにするため、寒天材料の中でも低濃度条件下でゲル化が可能であり、ゲル強度の調整が比較的容易な材料として、伊那食品工業株式会社より提供された寒天材料「伊那寒天カリコリカン」を苗床用ゲルとして選定した。

## 5. アマモの苗床として適切な

### 強度の寒天の作製

#### 5.1 組成比

寒天を苗床として利用するためには、波浪に

耐えうるしなやかさと、アマモの発芽根が貫入可能な硬さの両立させる必要であり、そのため強度特性の把握が必要である。

そこで本研究では試薬濃度を変化させた3種類の寒天Sample\_1-3を作成し、圧縮強度に及ぼす濃度影響を検討した。Sample\_1 については、伊那食品工業株式会社により推奨された試薬比であり、Sample\_2, 3では強度向上を目的として寒天濃度を増加させた。各試薬比を Table 1 に示す。

Table 1: Synthesis conditions for gels with different reagent concentrations

	Sample_1	Sample_2	Sample_3
kaeikoikan	0.1 [g]	0.25 [g]	0.5 [g]
Water	50 [ml]		

さらに、濃度以外に要因による強度改善を図るため、セルロースナノファイバー（スギノマシン Cellulose Nanofiber AFo-10002, CNF）を用いて繊維強化寒天を作成した。Sample\_4 および Sample\_5 に対して、添加量の異なるCNFを混入した。各試薬比を Table 2 に示す。

Table 2: Synthesis Conditions for CNF-Containing Gel

	Sample_4	Sample_5
kaeikoikan	0.25 [g]	
CNF	3.0 [g]	6.0 [g]
Water	50 [ml]	

#### 5.2 作成手順

以下に第一試作の作製手順を示す。

1. Water・karikorikan (Sample4, 5はCNF) を混合・攪拌
2. 沸騰させ2～3分加熱する。
3. 型に流し込み、冷蔵庫でゲル化させる。

## 6. 圧縮試験

寒天の強度特性および硬さとしなやかさの関係を明らかにすることを目的として、濃度の異なる3種類の寒天に対し圧縮試験を実施した。また、CNFを用いた繊維強化の効果についても検討する。

本章では、試験方法、試験結果および考察について述べる。

### 6.1 試験片の作製

圧縮試験では、Fig. 1, 2のような直径10mm、高さ10mmの試験片を用いて行った。

試験片の作製は、5.2節で述べた方法に沿って行い成形した。

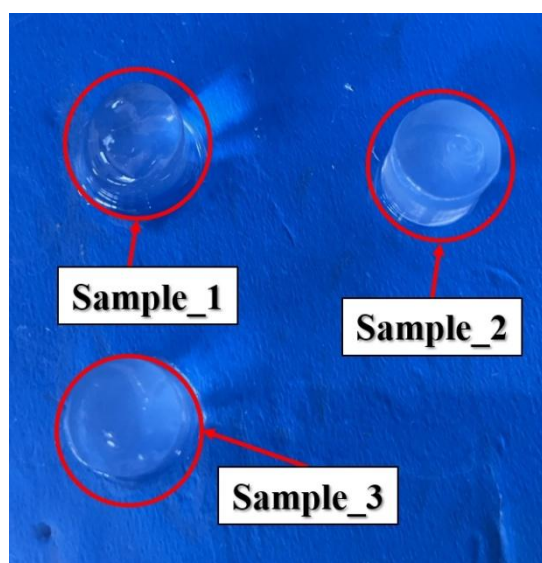


Fig1: Test sample

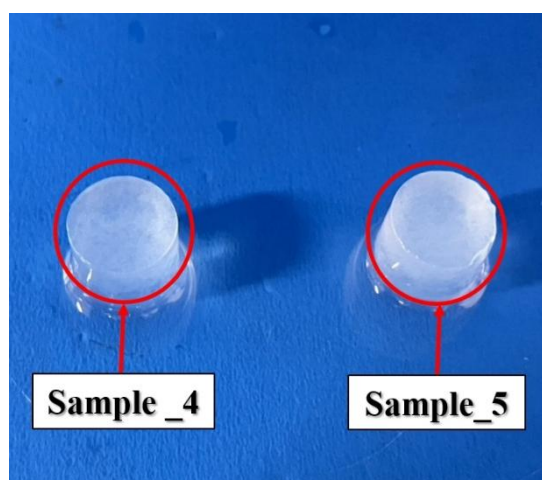


Fig2: CNF-included test sample

### 6.2 試験方法

圧縮試験は、卓上型引張試験機（エー・アン

ド・デイ MCT-2150）を用いて行った。Fig. 3のように圧縮試験用治具に試験片を設置する。試験機は圧縮荷重の上限値を100N、試験速度を10mm/minに設定し、寒天が破断するまで圧縮を継続する。これをSample\_1-5×4つ行った。

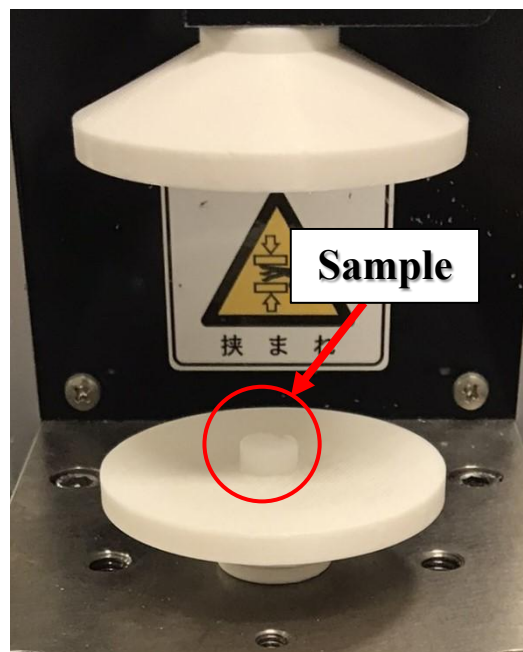


Fig3: Compression testing machine

### 6.3 結果・考察

#### 6.3.1 試薬濃度の違いによる強度特性に与える影響

圧縮試験により得られた結果をFig. 4, 5に示す。

Fig. 4は濃度の異なる3種類の寒天の破断点の箱ひげ図を示した。図よりSample\_3が最も高い圧縮強度を示し濃度増加に伴い圧縮強度が向上することが確認された。

Fig5は3種類のゲル1つの荷重-変位曲線図を示した。Sample\_1は変形量が大きく、ほかのSampleと比較し靱性が高いことが確認された。

以上の二つの結果から試薬濃度の違いでは硬さとしなやかさはトレードオフの関係があることが分かった。

試薬濃度の増加により圧縮強度が向上し、変形量が小さくなった理由として網目構造の高密度化が挙げられる。

濃度が高いとか架橋点が増加し三次元網目構造がより緻密になる。その結果ゲル内部の水分子の移動が制限され、変形時にエネルギー緩和が十分に行えなくなる。このため、圧縮荷重を受けた際にほとんど変形をせず脆性的に破断しやすくな

る。ことから変形量の低下につながったと考えられる。

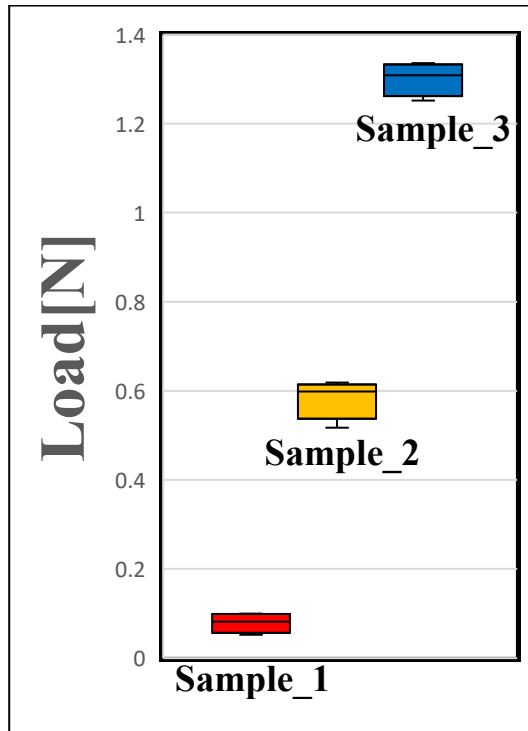


Fig.4 Sample 1-3 Break Points

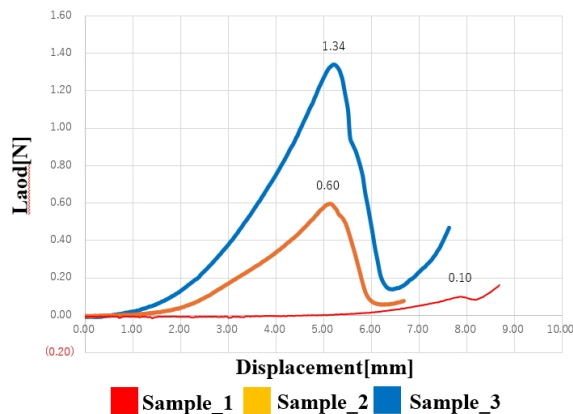


Fig.5 Deformation of Samples 1-3

### 6.3.2 繊維強化による強度特性に与える影響

CNF添加による繊維強化を評価するため、寒天濃度を 0.25gで統一したSample\_2, 4, 5 を比較対象とした。各Sampleの最大圧縮強度および荷重-変位曲線をそれぞれ Fig.6 および Fig.7 に示す。

Fig.6より、CNFを添加したSample 4, 5 は、

Sample\_2と比較して最大荷重が高く、繊維強化が圧縮強度向上に寄与することが確認された。一方で、添加量を3.0 g (Sample\_4) から6.0 g (Sample\_5) へ増加させても、最大荷重の増加は限定的であり、補強効果には飽和傾向がみられた。

またFig.7より、CNFを添加した Sample\_4 および Sample\_5は、最大荷重は向上した一方で、変形量は Sample\_2より低いことが確認できた。つまり繊維強化にも硬さとしなやかさはトレードオフの関係があることが分かった。

これはCNFが寒天内部に補強材として分散し、圧縮荷重を繊維が支えることで、圧縮強度が向上したと考えられる。しかし、寒天の三次元網目構造とCNFが多点で結びつくため寒天内部の可動域が制限され、変形量が低下したと考えられる。

また、多量の繊維材料により不均一になり、特定の部位に応力が集中してしまった可能性も考えられる。

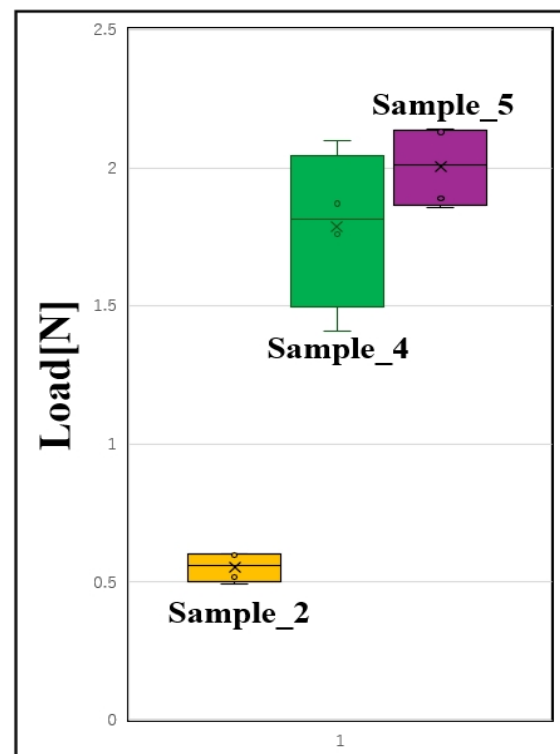


Fig.6 Sample\_2,4,5 Break Points

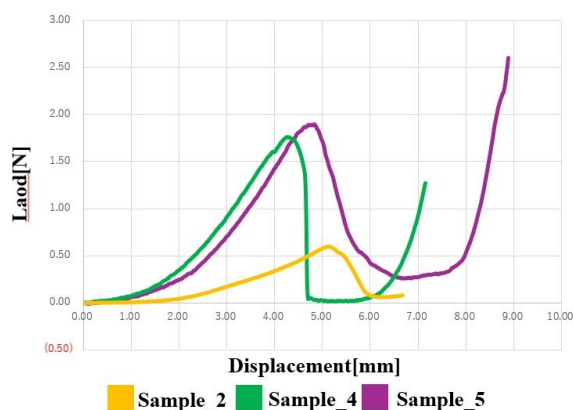


Fig.7 Deformation of Sample\_2,4,5

## 7. 結言

本研究では、寒天濃度およびCNF添加量が寒天の力学特性に及ぼす影響を評価した。その結果、濃度増加および繊維添加はいずれも圧縮強度を向上させた一方、変形量を低下させ、脆性的な破壊挙動を示すことが確認された。

アマモ苗床としては十分な強度に加え、波浪による外力に耐えるしなやかさも必要であるため、今後は、寒天にゼラチンなどの柔らかい高分子を混ぜる、二重ネットワーク構造により硬さとしなやかさの両立を図る。

## 8. 参考文献

- 1) 草加耕司:水温管理によるアマモ種子短期保存, 岡山水試報, **24**, 40/43 (2009)
- 2) 山口県: 山口県アマモ場造成指針, 42/46, 山口県 (2006)
- 3) 三重県水産研究所:アマモ場再生ハンドブック, 4/5, (2011)
- 4) 愛知県:三河湾ブルーカーボン推進事業 (2025)<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/mizutaiki/bluecarbon.html> (閲覧日: 2025年12月8日)
- 5) 株式会社東海テクノ:バイオスティミュラントとは? 農薬や肥料との違いも解説 (2025)  
<https://www.tokaitechno.co.jp/column/10166/> (閲覧日: 2025年12月8日),