

アマモ場による波浪減衰効果を考慮した適地選定手法に関する研究

Proper Field Selection Model of Zostera Habitat Considering Wave Attenuation Effect

有田 守¹・出口一郎²・芝崎拓弥³

Mamoru ARITA, Ichiro DEGUCHI, and Takuya SHIBASAKI

The method of forecasting the proper land in the Zostera beds by considering the physical limitation element has not been established. This paper propose the method of the proper land selection that considers an effect of the waves attenuation and a physical condition in this theory, and to clarify which factor becomes the obstruction factor of the Zostera growth.

1. はじめに

アマモ場は沿岸に生息し海洋生物の産卵, 稚魚の育成, 餌場として重要な役割を担っていることが認識され, アマモ場を造成する取り組みが行われている. アマモ場の造成を行う際には, 様々な造成技術が研究開発されている. 造成方法は一般的に種子をシートに埋め込んだ手法が多く用いられており, 設置する際の適地選定を誤るとシートが波浪による流れにより流失してしまう問題がある. また, 発芽したアマモの定着には波浪による砂の動きやすさを決定するシールズ数によりアマモの生息条件を決定する適地選定手法が有効であると考えられる.

アマモ場は根を張って群落を形成していることから底質の安定, 葉による波浪減衰効果があることが指摘されている. アマモ場による波浪や流れの減衰効果に関しては, 人工海藻を用いた様々な実験が行われている.

辻本(1992)は, 人工海藻を用いてそれが波動場において流れや砂移動に及ぼす影響を実験的, 理論的に検討している. その中でアマモ内部及び外部においては冲向きの定常流が, また藻の先端部分では岸向きの定常流がそれぞれ発生していることを示した. また k-ε 乱流モデルを用いてこの定常流を表すことができると結論付けている. 加藤ら(2005)は現地実測と天然アマモを用いた水路実験によりアマモ群落内部の底質輸送機構, 地下茎や根の存在による底質の安定性向上効果の評価を試みている. 林ら(2002)は様々な植生に作用する波力計測値により, 植生部での損失エネ

ルギーを算定し, 水辺植生群による透過率の評価を試みた. この中で, 周期を一定とした場合, 植生に作用する波の損失エネルギーは入射波高の約2~2.5乗に比例すると指摘している. またこの損失エネルギーと波高の関係を利用し, 近似した式を使い透過率を計算した場合, 植生幅が70m程度あれば株密度が200株/m²でも透過率0.5程度の効果があるととしている.

アマモ場による波浪の減衰効果は, 周辺における底質の安定をもたらすことが指摘されている. 底質が安定することで, 波浪によるアマモの流出や埋没枯死等による直接的な被害も抑制されることが考えられるため, 特に詳しく検討する必要がある. 既存の研究では, アマモ場の存在による波高減衰効果は室内実験を対象とするものが多く報告されている. しかし, このような実験的研究では, 模擬的なアマモを使用したものや定常流により簡略化されたものが多く, またそもそも実海域において実際にアマモによる減衰効果が確かめられたものは筆者の知るかぎりでは無い.

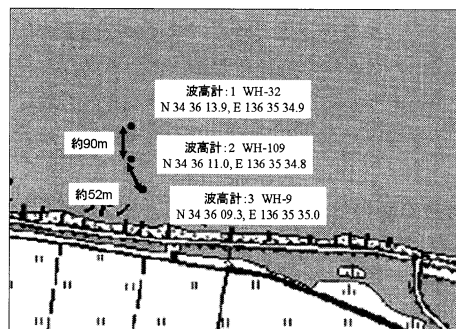


図-1 波浪計測器の設置位置

1 正 会 員 博士(工) 大阪大学大学院工学研究科助教

2 正 会 員 工博 大阪大学大学院工学研究科教授

3 工博 西日本電信電話株式会社

そこで実海域においてどの程度の波浪減衰効果があるのか、現地実測により調べることとした。また、現地実測より得られた減衰効果について既存の水理実験結果と比較する。また、アマモ場適地選定モデルに波浪減衰効果を考慮してアマモ場の適地選定を行うことを本研究の目的とする。

2. 実測による波浪減衰効果

(1) 実測概要

アマモ場による波浪減衰効果を調べるために現存するアマモ場の沖側とアマモ場の岸側の波高を計測することで波浪の減衰効果について現地実測を行った。調査対象となるアマモ場は三重県松坂市に位置する、松名瀬海岸のアマモ場とした。図-1に松名瀬海岸のアマモ場の模式図と波高計の設置位置を示す。松名瀬海岸は伊勢湾内に位置し、対象地域に発生する風の吹送距離が短いため大きな波浪が起りにくいことが考えられ、静穏な波浪状況がアマモの生息に適していると考えられる。阿部ら(2004)によると松名瀬海岸には海岸線に沿ってアマモ場が水深約1.5～3.0m、幅約50～200mの帯状の形で沿岸方向に約4kmにわたって存在していると報告されている。この帯状に密生したアマモ場により十分な減衰効果が期待できると考え対象地域とした。

波浪観測は2007年8月27日から同年9月1日までの4日間において、アレック電子社製の圧力式波高計(compact WH)を用いて計測を行った。波浪の計測条件は、測定インターバル0.25s、毎正時から2400個のデータを計測した。また、砂の移動による機器の埋没を回避するため、高さ15cmのブロック上に機器を設置した。

設置する機器の位置関係は図-1の通りである。沖側から(32番)、中央(109番)、岸側(9番)である。8月の各点におけるアマモの状況であるが、主に沖から中央(32番と109番の間)にかけてアマモ場がみられ岸に近い9番周辺でのアマモは見られなかった。

(2) 実測結果

計測データは、圧力式波高計を用いて計測しているために毎正時ごとのデータに関して潮位変動成分を取り除いている。潮位変動成分を取り除いたデータを用いてゼロアップクロス法によって波浪解析を行った結果を以下に示す。このデータにより、沖側からアマモ場を通り中央での波高が減衰している様子がわかる。特に8月28日の12時において岸側で観測された波高は0.18mであるが、中央では0.12mほどと大きな減少をみせている。各地点共に周期1.5～5.0sほどの値をしめす。波高と比較してみると比較的大きな波高の周期は約4s程度であることがわかる。通常伝播する波浪のエネルギー逸散がない場合は進行方向に対して伝達エネルギーが保存される。波浪がアマモ場を通過する際、外側の淵部分における反射の影響や、アマモ場内部に

おいて発生する乱れにより波高が減衰するものと考えられる。このうち淵部分における反射の影響に関しては、林ら(1998)により入射波浪の条件に関わらず小さく、反射率にして0.1以下とされているので、淵部分における反射はほとんどないと考えられる。しかし、波高は沖側の波高計32番とアマモ場を通過した後の109番では波高の減衰がみられるが9番の波高計で再度波高が大きくなっているケースが見られる。本研究では、アマモ場の波浪減衰効果に着目していることから32番の波高計と109番の波高計を用いて以降のデータ解析を行うことにした。

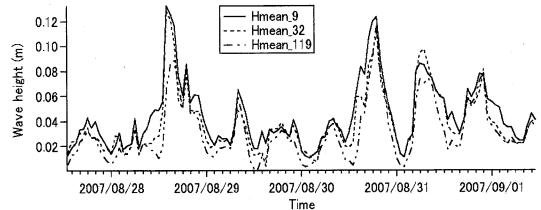


図-2 各計測地点における有義波高、平均波高の時系列

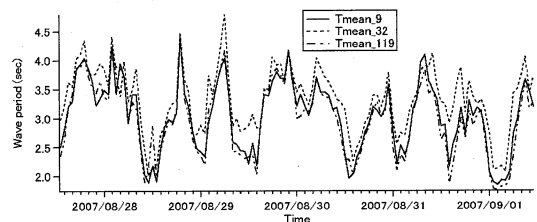


図-3 各計測地点における有義波周期、平均周期の時系列

(3) 波浪逸散率

アマモ場における波浪の逸散は、波エネルギーが群速度で輸送される際の損失に注目し、伝達エネルギーによる損失の値の算出を行った。なお損失する伝達エネルギーは波浪が入射する際にもつエネルギーに比例するとして式(1)のように表すことが出来る。 E は波の全エネルギー、 C_g は群速度、 α は単位アマモ幅における入射エネルギーに対する減衰エネルギーの逸散率、 B はアマモ群の幅である。添え字0は、アマモ場を微小区間に分割した際における沖側からの流入条件を、添え字1は、岸側の流出条件をそれぞれ表す。

$$\frac{d}{dx}(\overline{EC}_g) \cong \frac{\overline{E_0C_{g0}} - \overline{E_1C_{g1}}}{\Delta B} = \alpha \overline{E_0C_{g0}} \quad (1)$$

また、式(1)よりアマモ場における入射エネルギーに対する減衰エネルギーの逸散率 A は式(2)で表すことが出来る。

$$\left(1 - \frac{\overline{E_1C_{g1}}}{\overline{E_0C_{g0}}}\right) = \alpha \Delta B = A \quad (2)$$

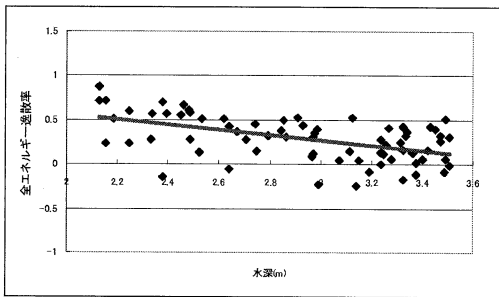


図-4 水深に対するエネルギー逸散率

図-2, 3より解析した平均波高・周期を用いて、式(2)から算出した逸散率を図-4に示す。

図-4より水深が増加するにつれて、逸散率は減少していく様子が読み取れる。これは潮位により水深が浅い時間に、水深に対するアマモの葉長の割合が大きいことに依存すると考えられる。

また全逸散率がマイナスの値を取るなど異常値を取る点は計測された波高が波高計の精度に対して小さいことから信頼性が低いものと考えられ、波高が0.03m以上の波高に対してのみ検討した。

またこの現地実測の結果、計測機器設置地点は約2.2m程度の水深であり、エネルギーは約50%に減衰することがわかる。また水深が潮位の影響で3.3m程度に増加した場合、入射波浪のエネルギーの15%が損失することがわかった。

また葉長と水深の比に対する、全エネルギー減衰率の様子を図-5に示す。なお全エネルギー逸散率は図-4の結果を受け、近似式から求めた値を使用した。Sは葉長でありアマモ場幅は90mで一定とする。全エネルギー逸散率が0.3以上となる領域においては、葉長水深比の増加に伴って増加していることが分る。また0.3を境にして逸散率は急激に低い値をとり、およそ葉長水深比が0.14の値をとる地点では逸散率が0になることが考えられる。これによりアマモ場幅を一定として季節に応じた葉長の季節ごとのデータ

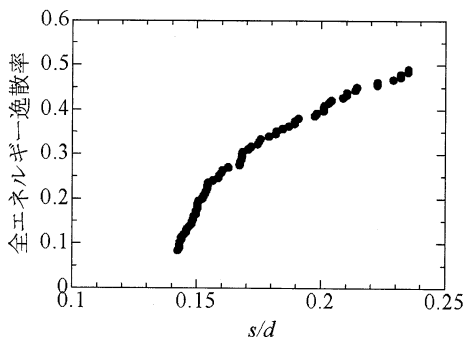


図-5 葉長水深比に対するエネルギー逸散率

と水深データがあれば、およそのエネルギー逸散率が求められると考える。

3. 実測から算定された波浪逸散率の妥当性

アマモ場を初めとした水辺植生による波のエネルギー消失に関する評価法は水産分野や海岸工学分野で数多く行われている。林ら(1998)は波長に比べて有限幅員が極めて小さい均質な透過性物体からなる直立堤の透過率 K_t の評価式を用いて、アマモ場の波高減衰効果を表現している。

本論文では最終的に実海域における波浪減衰効果を考慮するため、大小様々なアマモ場を考慮する必要がある。またアマモ場内部における動粘性係数はアマモの密度や波浪により揺動することで変化を起こすことが考えられ、取り扱いが難しく、実海域において実際にアマモ株に働く応力に関してのデータも無いのが現状である。そこで林ら(1998)の理論式を用いて近似的に入射波条件に対する波高減衰効果を算出し、現地実測によるデータとの整合性を確認することとした。

林ら(1998)によれば、波長 L に比べて有限幅員 B が極めて小さい直立堤の透過率 K_t の評価式を用いて入射波浪条件によるアマモ場の透過率は式(3)によって表すことが出来る。ここで、直立堤の有限幅員の代わりにアマモ場幅を B に用いることとする。 λ は透水層の空隙率、 f は透水層の抵抗係数で、透水層の透水係数 K_p と作用波の各周波数 σ より式(4)で与えられる。

$$K_t = \frac{1}{\left(1 + 2\pi \frac{B}{L} \times \frac{f}{2\lambda}\right)} \quad (3)$$

$$f = \lambda \frac{g}{(K_p \sigma)} \quad (4)$$

式(3)より算定した、透過率と実測によって計測された波浪解析結果より算定した透過率を比較した結果を図-6, 7に示す。図-6にはアマモ場の幅と波長比に関して透過率を図-7には、アマモの葉長と水深比に関して整理した透過率を示す。両者とも実測値から得られた透過率と式(3)によって算定された計算値がある程度のばらつきがあるものの良好な一致を示している。

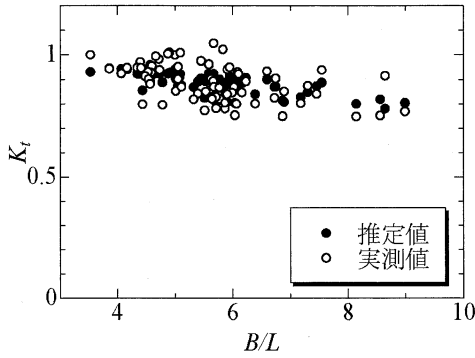


図-6 波長とアマモ場の幅の比に対する透過率

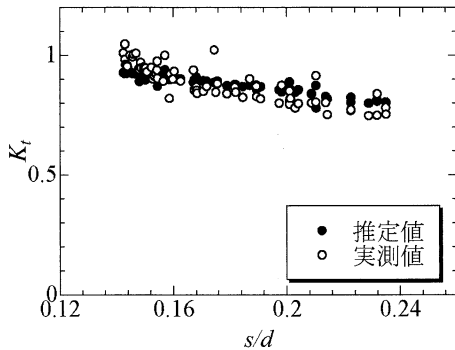


図-7 水深とアマモの葉長の比に対する透過率

実測データは8月のものであり、その時期における葉長は平均0.5mと短い(阿部ら2002)。また葉長水深比にして0.14~0.24程度以外のデータがないため本研究では、得られたデータより最小二乗法によって近似式を求め範囲外の値を推算することにした。また、アマモの葉長は6月ごろには最大に達し、葉長水深比にして1.5程度までの透過率を推算する必要がある。

式(3)より葉長水深比1.5程度の透過率を算定する場合透水層の抵抗係数 f の推定が重要となる。 f は透水係数 K_p の関数となっており、透水係数を水深葉長比によって推定することにより水深葉長比1.5までのエネルギー逸散率を推定することにした。

林ら(1998)の実験では、一株あたり径0.15cm、葉が48本の擬似植生を用いている。アマモは一般的に一株あたり径が約0.8cm、葉が3本程度で構成されており、実際の透水係数には違いがあると考えられるため、透水係数は林ら(1998)の実験値を参考に実際のアマモの透水係数に変換する係数 $= (48 \times 0.15) / (3 \times 0.8)$ を用いて換算した。図-8に葉長水深比に対する透水係数を示す。この値に対してカーブフィッティングを行い透水係数を推算した。

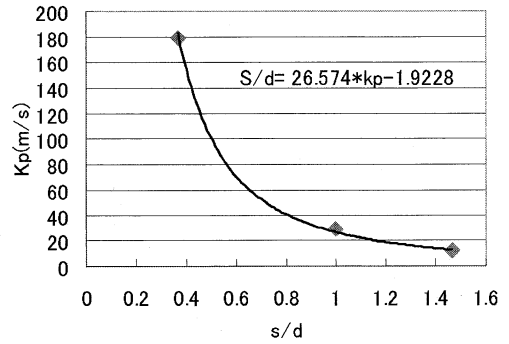


図-8 葉長水深比に対する透水係数

図-9に図-8より推定した透水係数を用いて推定した透過率を示す。透過率は、葉長水深比が大きくなると透過率が小さくなる傾向を示している。

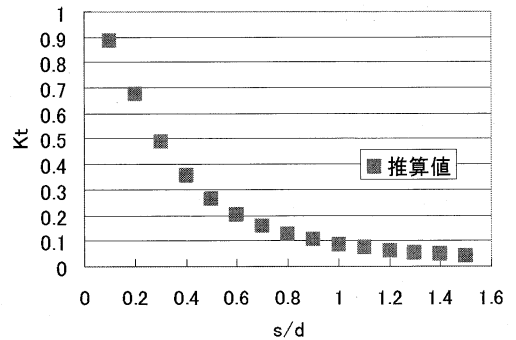


図-9 葉長水深比に対する透過率

4. 波浪減衰効果を考慮した適地選定結果

3によって得られた葉長水深比に対するエネルギー逸散率を筆者ら(2007)が提案したアマモ場適地選定モデルに考慮してアマモ場適地選定を行い、波浪減衰効果を考慮することによるアマモ場適地選定の違いについて考察する。適地選定モデルでは、エネルギー平衡方程式を基本式として波浪場の計算を行っている。その際にアマモ場によるエネルギー逸散を考慮することで、対象地域における波高・波浪場の計算を行いアマモ場による波浪減衰効果を考慮することとした。計算に使用した波浪、日射量等の外力条件は対象海域で通常起こりうる条件を設定している。

図-11~13に適地選定結果を示す。図-11が生態系モデルのみで算出した結果、図-12は生態系と地形変化モデルによる適地選定結果、図-13は生態系と地形変化に波浪減衰結果を考慮した結果である、なお図の縦軸横軸はメッシュ数であり、1メッシュあたり 2.5×2.5 mである。アマモ適地と選定された場所を黒く示した。比較対象用に図-10に対象海岸で自生しているアマモ場の航空写真より解析したアマモ場の分布域を示す。

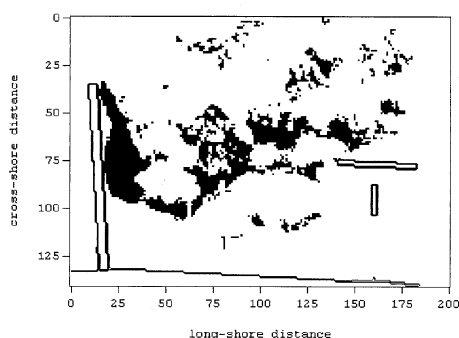


図-10 航空写真より抽出したアマモ場

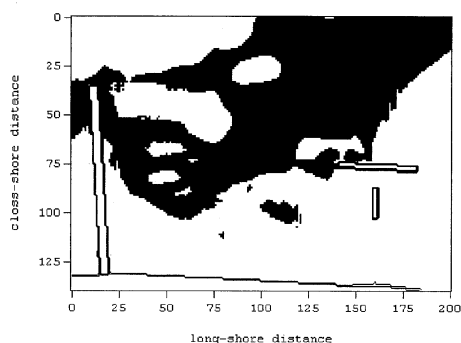


図-11 生態系モデルのみで適地選定を行った結果

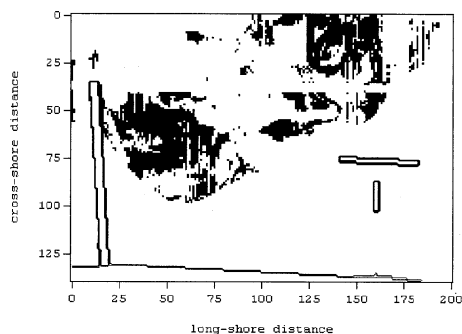


図-12 波浪減衰を考慮しない適地選定結果

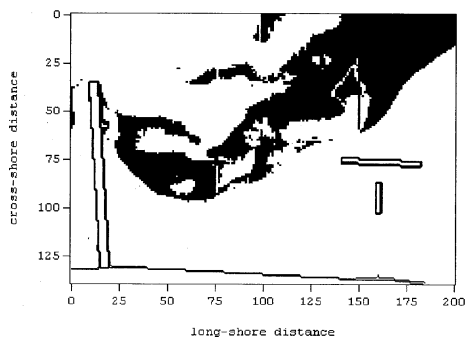


図-13 波浪減衰を考慮した適地選定結果

図-11 より生態系のみで算出した場合、比較的適地と選定される海域が多いことがわかる。また図-12 では波浪減

衰効果を考慮せず地形変化のみを計算した結果であり、ほとんどの海域が不適地と変わる。しかし図-13のように、アマモ自体の波浪減衰効果により底質が安定することで、適地が増加することが確認できた。今回は計算対象地域の全面にアマモを植える条件で計算をしたことで、新たなアマモ場の可能性として本領域が適地と判定されたと考えられる。

5. まとめ

本研究によって得られた結論を以下にまとめる。

1. 実測によるアマモ場の波浪減衰結果は、水槽実験によって得られた透過率の減衰結果と良好な一致を確認できた。2. 波浪減衰効果を考慮し適地の選定をすることで、減衰を考慮しないモデルと比べ広範囲の適地結果を算出することができた。3. 波浪減衰効果を考慮することでアマモ場による底質の安定効果を数値計算により示すことができた。本研究では、短期間の波浪計測結果によってアマモ場の波浪減衰効果の評価を行っている。アマモは成長の段階に応じて葉長や密度の変化があるため、成長段階に伴った波浪計測データがアマモ場の波浪減衰効果を評価する上で必要であると考えられる。また、波浪計測と同時に周辺地形の計測も底質安定を議論する上で重要であるため、今後詳細な計測が必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 有田守・出口一郎・岩田公司・芳田利春：地形変化と生息過程を考慮したアマモ場適地選定手法に関する研究，海岸工学論文集，第54巻，pp.1086-1090，2007
- 辻元剛三：藻場が存在する場における流れと浮遊砂濃度，海岸工学論文集，第39巻，pp.276-280，1992
- 林健二郎・萩原運弘・上原正一・藤間功司・重村利幸：水辺植生の水理特性について，海岸工学論文集，第45巻，pp.1121-1125，1998
- 金澤剛・芳田利春・川崎和俊：波浪減衰および地形変化抑制効果を期待した人工海藻設置法に関する研究，海岸工学論文集，第49巻，pp.1316-1320，2002
- 加藤大・島谷学・柴山知也：アマモ群落における底質輸送気候と底質安定向上効果について，海岸工学論文集，第52巻，pp.1001-1005，2005
- 林健二郎・今野政則・服部健一：藻場や水辺植生・樹林帯の消波特性評価，海岸工学論文集，第52巻，pp.686-690，2005
- 阿部真比古・橋本奈央子・倉島彰・前川行幸：三重県松名瀬沿岸におけるアマモ群落の構造と季節変化，日本水産論文集，第70巻，pp.523-529，2004
- Price, W.A., K.W. Tomlinson and J.N. Hunt: The effect of artificial seaweed in promoting the build up of beaches, Proc. of 11th Conf. on Coastal Engg., pp.570-578, 1968
- 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎：海藻が繁茂する場の波高減衰の特性，海岸工学論文集，第53巻，pp.138-142，1988
- L.C. van Rijn: Sediment Transport, Delft Hydraulics Laboratory, Publication, No.334, Feb, 1985