

自然調和型防波堤の藻場分布と水理環境との関係について

安 藤 亘*・村岡芳郎**・石田和敬***・小 畠 洋 一****

大分県臼杵市にある泊ヶ内漁港では、藻場マウンドをもつ自然調和型防波堤を建設した。筆者らはこの藻場マウンドの検証を目的として、継続的にモニタリング調査を実施してきた。そして、その結果、藻場マウンドはクロメ場を形成させるために天端水深を-4~-7 m に調整するように設計したが、実際にはクロメとホンダワラが混生する藻場が形成されたことがわかった。そこで、この原因を解明するために、藻場マウンドおよび周辺の天然藻場の分布と四季別の底面波浪流速の数値計算結果を重ね合わせたところ、藻場の種類や場所の違いには、水理環境が関係していることが確認された。

1. はじめに

海岸構造物の建設が沿岸生態系に与える影響を緩和するために、自然と調和することを目指した自然調和型構造物の設計手法が求められている。大分県では、最近、海水温の上昇による海藻の立ち枯れや藻食性魚類であるアイゴ、ブダイの食害などにより藻場の減少兆候が県内南部でみられ、水産資源の減少を危惧する漁業者からは、藻場の保護や造成を要望する声が高まってきた。

こうしたことから、大分県では臼杵市の臼津半島先端部に位置する泊ヶ内漁港(図-1 参照)の防波堤建設に際して、埋立により消失する藻場を再生するために、防波堤の前面に藻場形成を有する自然調和型防波堤(図-2 参照)を建設した。筆者らは、この防波堤の藻場形成について検証することを目的に、1999 年 11 月から継続的にモニタリング調査を実施してきた。

藻場マウンドは、事前調査時で把握した漁港周辺における濃密なクロメ場(水深帯:-4~-7 m)を模倣して、基盤の天端を同一水深帯に調整した。現在までのところ藻場マウンドは、竣工年度の早い場所から順調に海藻が

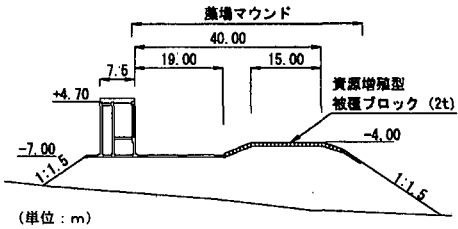


図-2 自然調和型防波堤標準断面図

繁茂し、現在までに復元目標 4,200 m²のうち 63%にあたる 2,646 m²まで復元した。

しかし、これまでのモニタリング調査結果によると、藻場マウンドは当初予想したクロメ場ではなく、天然のクロメ場と同じ水深帯と水質であるにも係わらず、ガラモ場が混生する藻場が形成されていた。

海藻草類と水理環境の関係については、中瀬ら(1992)や島谷ら(2001)はアマモ場を形成するために必要な波浪・流れを示し、中山ら(2001)は波浪・流れと海藻分布の関係には相関があることを示すなど水理環境が藻場の形成に重要な役割を果たしていることを報告している。

そこで、筆者らは、藻場マウンドと周辺の多様な藻場(クロメ場、ガラモ場、アマモ場)に対して、四季別に底面波浪流速の数値計算を実施し、これと藻場分布を重ね合わせることで、なぜ藻場マウンドが当初予想したクロメ場にならなかったのか評価した。

2. 現地調査の内容

(1) 藻場分布調査

調査位置図を図-3に示す。これまでに藻場分布調査は春・夏・秋季の計 7 回実施した。調査方法は、ダイバーによる各測線および補助測線の目視観察とともに、写真および VTR 撮影を行った。また、同時に船上から多項目水質計を用いて水質を観測した。

(2) 波浪観測

2001 年 9 月 6 日~10 月 8 日の期間中、藻場マウンド水深 4 m に超音波式波高計 (St.1) を設置した。この観測

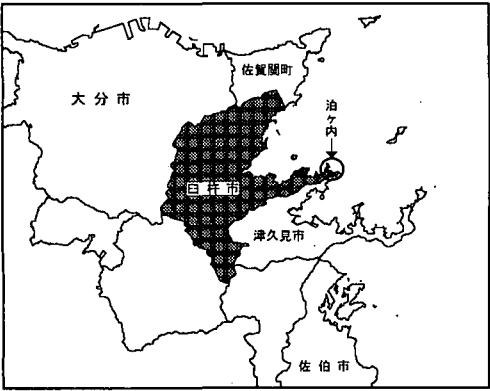


図-1 大分県泊ヶ内漁港位置図

* 正会員 (社)水産土木建設技術センター
** 国際航業(株)九州支社総合技術部
*** 国際航業(株)九州支社総合技術部
**** 大分県林業水産部漁港課

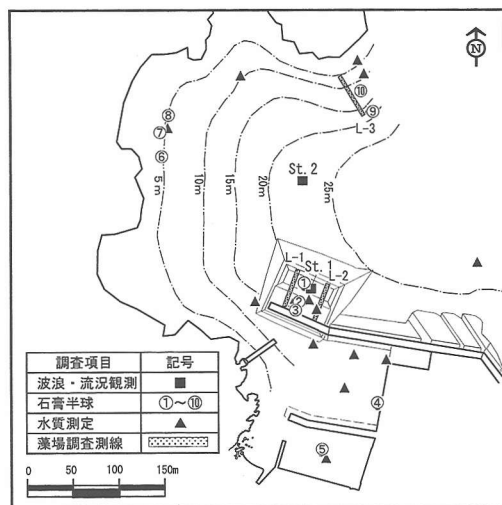


図-3 調査位置図

期間は、台風通過が多く、年間で最も波高が増大する時期に相当する。また、Kawamata (2001)が開発した石膏半球を用いて周辺の各藻場の相対的な期間中平均流速を求め流動の強さ確認した。石膏半球は、波高計 (St.1) の隣に1個 (①)、その他地点に9個 (②～⑩) の計10個を概ね2週間毎に回収し、波高観測中の計2回実施した。

また、この他にも1996年6月1日～2日の1昼夜、水深25m地点 (St.2) の海面下2mにアーンダー流速計を設置しており、この観測データも含めてこの後に説明する数値計算を行った。

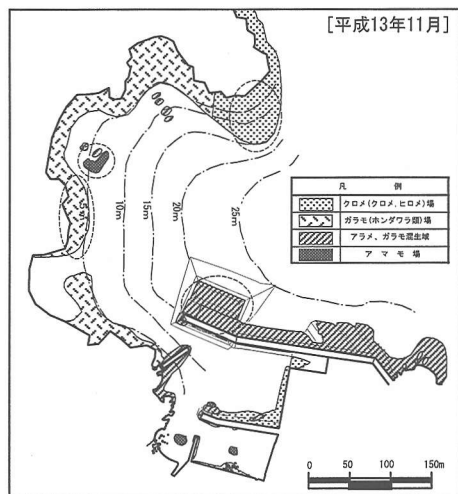
3. 調査結果と考察

(1) 藻場分布調査

2001年11月に実施した泊ヶ内漁港周辺の藻場分布を図-4に示す。また、この時の藻場マウンドの藻場分布を図-5に示す。

藻場の分布は、防波堤の建設により港内側では、クロメ、ヒロメ場の減少に代わってアマモが出現するなど変化がみられた。この原因については、防波堤の延伸による港内の流動環境の鈍化および後背地の砂防ダム工事や埋立地などからの降雨時の濁水流入によって、土砂・浮泥がクロメの葉体や基質に堆積したため生育が阻害されたと考え、さらには、この流動の変化がアマモの生育環境に適したと推察している。(村岡ら 2001)。

次に、港外側では大きな変化はなく、概略的に分ければ、飛潮鼻の周辺、水深0～15m付近までがクロメ場、これより内側の水深5m以浅の岩礁にはガラモ場、そして、岩礁まわりの水深5mの砂地盤にはアマモ場が存在していた。ガラモ場を構成する主要なホンダワラ類は、浅い方からホンダワラ、アカモク、ヤツマタモク、ヨレ



○印は、図-7で抽出した代表的藻場の位置

図-4 泊ヶ内漁港周辺の藻場分布図

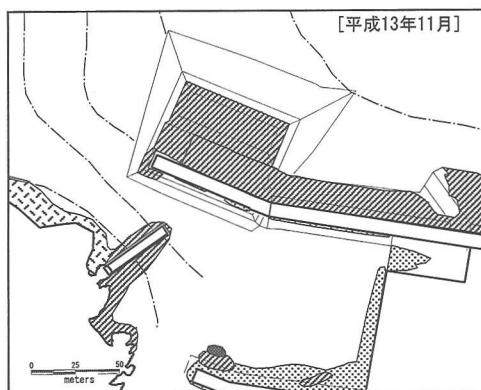


図-5 藻場マウンドの藻場分布図

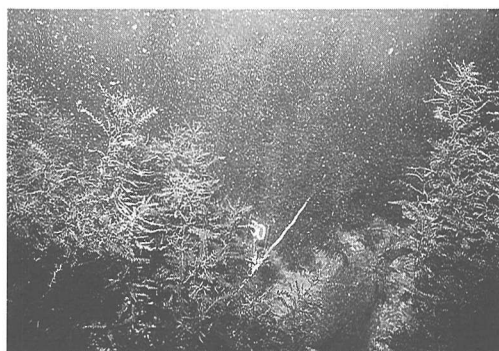


写真-1 藻場マウンドのガラモ場

モク、オオバモク、ノコギリモクであった。

藻場マウンドは、ケーソン垂直壁の真下に近いところからクロメが密生し、沖側に移るにしたがってノコギリ

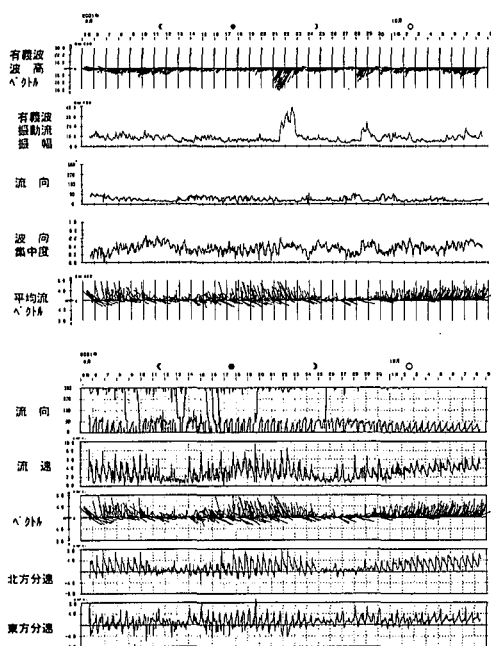
モクの入植が目立ち始め、平面的にはクロメとノコギリモクの混生域が広がっていた。潜堤の被覆ブロックは写真—1に示すとおりアカモクやマメタワラを主体とするガラモ場が形成され、クロメは被覆ブロックの角部や側面の隙間で確認された。

(2) 波浪観測

藻場マウンドの地点 St. 2 の観測結果 (波高・周期・波向・流況) を図—6 に示す。今回は台風が通過しなかったため、観測初めと中旬の低気圧通過による高波浪時が観測されたのみである。観測期間中の有義波 (1/3 最大波) は、0.5 m 未満が 88.7% を占め、平均波高は 0.33 m であった。またこの周期は、3～4 秒が 57.1% を占め、平均周期は 3.9 秒であった。波向については、北東方向が卓越していた。

石膏半球は、川俣 (2001) による石膏の溶解速度と浸漬時間から期間平均絶対流速を算出し、St. 1 を基準に相対的な流れの強さを比較した。これによると周辺の天然藻場は、ガラモ場 (St. 8) の流れが最も強く、次にアマモ場 (St. 7)、さらにクロメ場 (St. 10) とつづいた。クロメ場の流れが弱い結果となった理由は、観測期間中のホンダワラ類は群落の状態であり、アマモは葉体長が短くなっていたのに対して、クロメは密生に繁茂していたことから、クロメ場内は流れが弱くなっていたと推察している。

また、藻場マウンドは、ケーソン下 (St. 3) が最も流れが強く、次に潜堤天端 (St. 1)、遊水部中央 (St. 2) とつ



図—6 波浪・流況観測結果

づいた。ケーソン下 (St. 3) の流れが強い理由は、ケーソンの構造がスリットケーソンであったため、ケーソン内からの戻り流れが発生したためと推察している。

4. 藻場分布と波浪・流れの関係

(1) 計算条件

計算条件を表—1 に示す。

表—1 計算条件

水深	深浅測量図及び海図		
沖波	(財) 日本気象協会の局所波浪データ		
波浪条件	季節	波高	周期
	春季	1.58 m	4.5 s
	夏季	1.76 m	5.5 s
	秋季	1.44 m	4.5 s
潮位	冬季	1.54 m	4.5 s
	M. W. L. (+26.8 cm)		
解析条件	基礎式		エネルギー平衡方程式
	砕波		合田の砕波式
	底面波浪流速		微小振幅波理論

検討に用いた沖波の諸元を決めるにあたっては、周辺海域に波浪観測所がないこと、当海域が豊後水道によるうねりの影響が予想されることから、(財) 日本気象協会作成の局所波浪データ (臼杵市) と波浪観測結果 (St. 1 および St. 2) を検討した上で決定した。

そして、代表波には直接的に海藻草類の着生や成長のストレスとなる高波浪を用いた。ただし、海藻草類は種類によって影響される時期や外力が異なること、泊ヶ内周辺の海域は通年波が小さいことから、ここでは各季節に数回来襲する波の波高上位 1% を抽出し代表波とした。

また、解析方法にはエネルギー平衡方程式を用いて、調査海域における四季別の平面波浪場の計算を行った後、微小振幅波理論により底面波浪流速を求め、計算された結果に藻場分布を重ね合わせることで、藻場分布と底面波浪流速の関係について評価した。

(2) 計算結果

各季節の底面波浪流速場を図—7 に示す。また、代表的な藻場の位置における、四季別の底面波浪流速の変化を図—8 に示す。

この結果から、底面波浪流速の速い順に、クロメ場、ガラモ場、アマモ場が形成されていることが示唆される。ただし、クロメ場は、底面流速の広い範囲に分布していることがわかる。各藻場の底面波浪流速の範囲は、クロメ場が 7.9～100.2 cm/S、ガラモ場が 18.7～92.3 cm/S、アマモ場が 20.8～90.6 cm/S である。

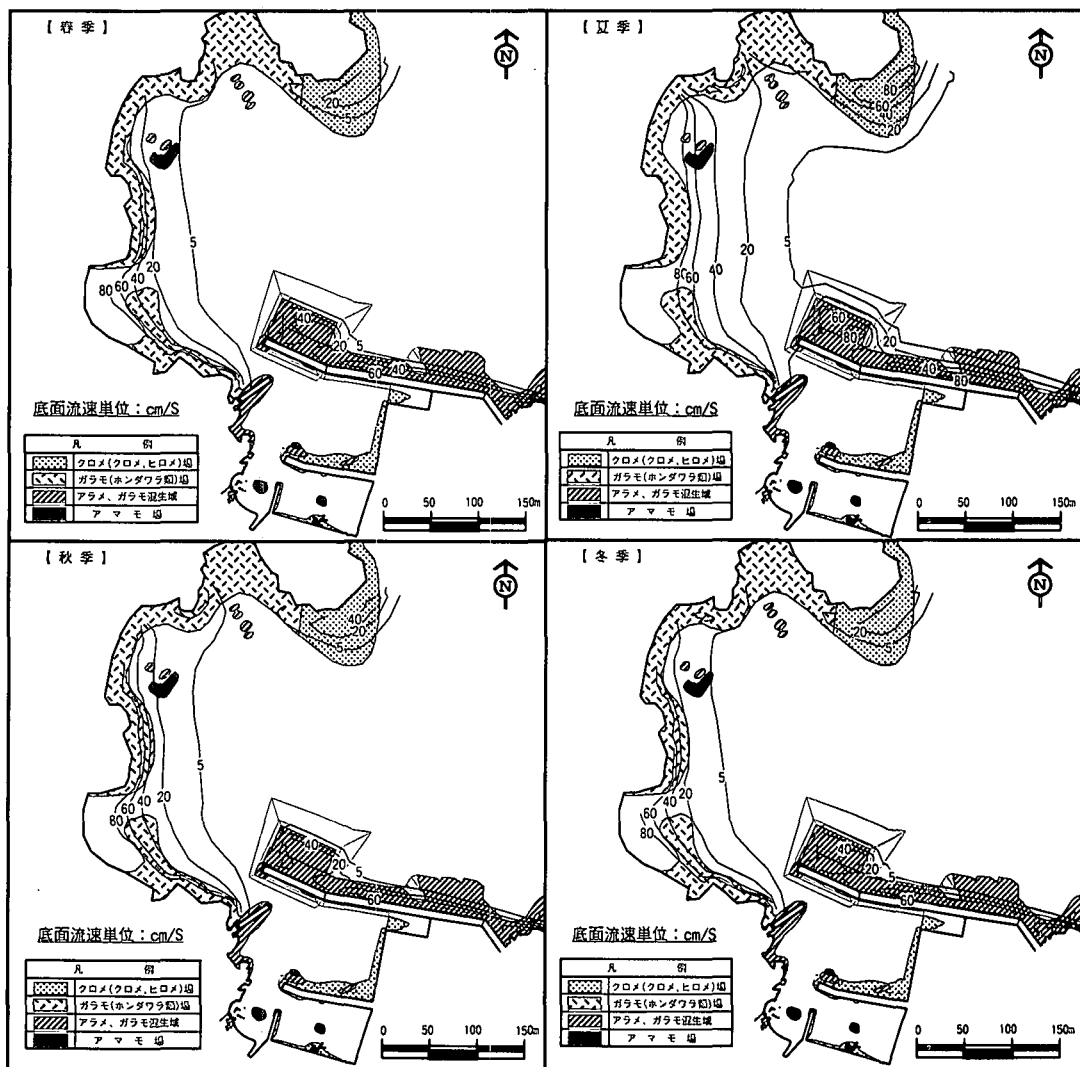


図-7 季節別の底面波浪流速と藻場分布図

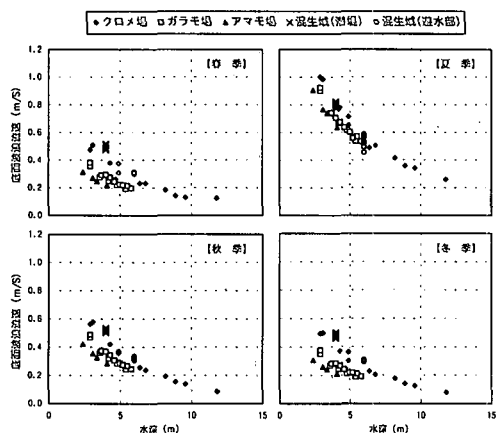


図-8 四季別底面波浪流速変化図

日本沿岸の海藻草類は、夏が衰退期で冬春が繁茂期である(新崎 1978)。泊ヶ内漁港周辺に出現する海藻草類についても同様の傾向がみられ、特にガラモ場を構成するホンダワラ類は、水温の上昇する冬～春にかけて葉体長は伸長(約 1~3 m)し、春～夏の成熟期に主枝を流出させて葉体長(約 0.5~1 m)を小さくする明瞭な形態変化がみられた。また、アマモもこれと同様で 3 月頃から葉体が伸長し始め 5~6 月の種子放出後、葉体は衰退し 9 月頃最も短くなる。さらにアマモは夏までに地下茎を四方に伸ばして底質を安定させている。このような季節的な形態変化は、底面波浪流速の変動に対応し、底面波浪流速が小さい冬～春には葉体長が伸長し、底面波浪流速が大きい夏に葉体長が小さくなる、あるいは流れ藻となって流失している。

このことから、一般的に流れに弱い種でも季節的な形態変異がうまく波浪・流れに順応すれば、継続的に藻場を形成することができると示唆された。これに対して、クロメは夏季に側葉が未枯れる程度で茎が短くなることはないことから、葉体自身が流れに対して強く耐えられる構造になっていると推察される。なお、ガラモ場は比較的複数種によって藻場が形成されていることから、厳密には種によって流れに対する耐性能力が違うであろう。

藻場マウンドについては、クロメ場とガラモ場の底面流速範囲がオーバーラップする流速範囲を示し、藻場マウンドの潜堤部(-4.0 m)が45.9~82.4 cm/S、遊水部(-6.0 m)が29.6~58.7 cm/Sの範囲を示した。このような流動環境が、クロメとガラモの混生した藻場になった一つの要因であると考えられる。ただし、藻場マウンドを詳細にみると、ケーソン下はクロメが優占し、潜堤や遊水部はクロメとホンダワラ類が混生するなど、狭い範囲でも細かく「すみ別け」が起きており、これは石膏半球より得られた流れの強さ順にほぼ対応していた。

5. おわりに

以上、自然調和型防波堤および周辺の天然藻場に対して現地調査と数値計算を実施し、藻場の分布と水理環境の関係についての検討したところ次の結果を得ることができた。

- (1) 泊ヶ内漁港では、底面波浪流速の強い順にガラモ場、クロメ場、アマモ場が形成され、その底面波浪流速の範囲は、クロメ場が7.9~100.2 cm/S、ガラモ場が18.7~92.3 cm/S、アマモ場が20.8~90.6 cm/Sであることが確認された。
- (2) 藻場マウンドの底面波浪流速は、年間通してクロメ場とガラモ場の両方が適応する流れの場であったために、当初想定したクロメ場の藻場ではなく、ホンダワラ類が混生する藻場となったと考えられる。このことは、従来型の藻場造成で行ってきた基盤調整と経験則による判断では、藻場のゾーニングが難しいことと示唆し、設計段階でのゾー

ングには水理環境を切り離して考えるわけにはいかないことを明らかにした。

- (3) ホンダワラ類やアマモは、季節的な形態変化によって流れに順応する特徴がみられた。

以上のことは、今後さらに地理的違いのある様々なデータを収集することで、種別の限界流速や形態変化の機構を明らかにすることが必要である。そして、このような知見が、藻場の形成を考慮した数値計算の情報として役立つものと期待している。特に、時期による植生状況は数値計算で扱えるよう定量的な指標(例えば、被度、現存量、葉体長など)を決めておくべきであり、また、微地形の流速についても石膏半球などの流速観測の適応性と精度向上に努めて行く必要がある。

最後に、本調査を行なうにあたって、地元漁業者には、終始、調査にご協力頂きました。また、石膏半球を用いた流動観測にあたっては、(独法)水産工学研究所川俣主任研究官に石膏半球の提供と解析のご指導をして頂きました。ここに記して感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 川俣 茂 (2001): 石膏半球を用いた波動流速測定, 水産工学論文集, pp. 53-56.
- 島谷 学・中瀬浩太・中山哲蔵・太田雅隆・月館真理雄・星野高士・内山雄介・灘岡和夫 (2001): 人工リーフ設置による外力場の変化とアマモ分布条件との関係, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1156-1160.
- 新崎盛敏・新崎輝子 (1978): 海藻のはなし, pp. 37-38, 東海大学出版会.
- 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭 (1992): 海浜変形予測手法を用いたアマモ場成立条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1006-1010.
- 中山哲蔵・横本一徳・灘岡和夫・内山雄介・中瀬浩太・島谷 学・星野高士・月館真理雄 (2001): 興津湾における広域海藻分布と水理環境に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1161-1165.
- 村岡芳郎・石田和敏・安藤 亘・中村哲則 (2001): 大分県泊ヶ内漁港における漁港整備に伴う藻場分布の変化とその影響要因 (第1報), 水産工学論文集, pp. 41-42.
- Kawamata, S (2001): Adaptive mechanical tolerance and dislodgement velocity of the kelp *Laminaria japonica* in wave-induced water motion. Mar. Ecol. Prog. Ser. 211, pp. 89-104.