

船舶航跡波影響下のアマモ分布条件

中瀬浩太*・島谷 学**・関本恒浩**

1. はじめに

近年沿岸浅海域に分布し、生態系の重要な要素であるアマモ場の重要性は広く認識されるようになってきた。このため、アマモ場が埋立や港湾建設等によって失われる場合には移植が求められることがある。

アマモの移植は各地で試みられているが、アマモ場の成立条件、特に波や流れによる物理的外力の影響に関しては未だに情報の蓄積が少ない。これらについては、丸山ら(1987)はアマモ場の成立は底質の安定が重要な要素の一つであることを示し、中瀬ら(1992, 1993)は年間に発生する比較的大きな波浪条件を用いた数値計算によりこれを確認し、アマモ場は底質の移動状況がシートフロー状態にならない範囲(シールズ数 $\phi < 0.50$)に分布していることを明らかにしている。

年間に発生する大きな波浪による外力が小さい瀬戸内海等の内海においては、アマモ場に関する外力には風波と潮流に加えて、船舶による航跡波が考えられ、発生頻度を考慮すると航跡波の影響がより支配的であることが推察される。しかし、航跡波を波浪条件としてアマモ分布条件を検討した例は少ない。

本研究では三原市沼田川河口部周辺に分布するアマモ場付近の船舶航跡波を測定し、これを波浪条件として数値計算を行うことにより、航跡波の存在下におけるアマモ分布条件の把握を試みた。

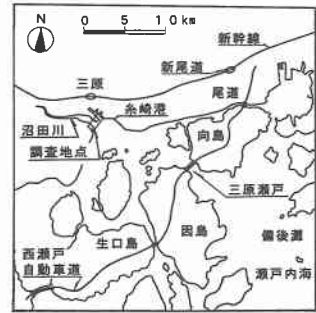


図-1 調査地点位置図

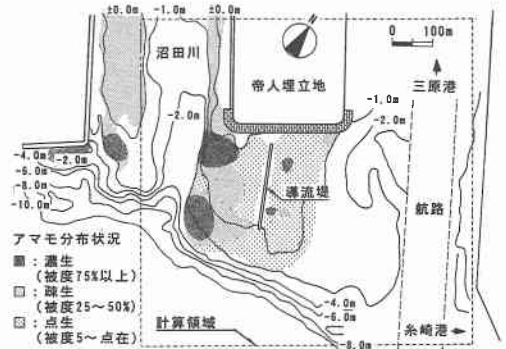


図-2 調査地点詳細図

2. 検討対象地点

広島県三原市沼田川河口部は瀬戸内海の図-1に示す場所に位置する。この場所は島に囲まれており、十分な吹送距離が得られないために大きな風波は発生しがたい。

沼田川の河口付近には図-2に示すように埋立地前面および河口部分の浅場に約22,000 m²のアマモ場が分布している。しかし、このアマモ場の大部分は被度の低い「点生」といわれる状況であり、外観的にもアマモが明確に分布している状態の「疎生」や「濃生」の範囲は沼田

川河道と帝王埋立地地先にある導流堤河口部の内側にほとんど限定されている。

この場所に作用する外力は潮流が最大0.2 m/s程度、1年確率波が波向SSE, $H_0=0.35$ m, $T_0=2.0$ s, $L_0=6.2$ mと推定されている。この他にアマモ場周辺には三原港へ向かう航路を通過する船舶が作り出す航跡波が外力として作用している。なお、沼田川は河口部より約6,000 m上流に潮止め堰があり、常時の流量は非常に少ない。

3. 現地調査

(1) 調査方法

① 波浪潮流調査

当該地点の1年確率波は0.35 mと推定されたが、こ

* 正会員 五洋建設(株)技術研究所
** 正会員 工修 五洋建設(株)技術研究所

れよりも大きな波浪が船舶により発生していることが予測された。この実態を把握するために、1998年3月23日から同年3月30日にかけて、図-3に示す船舶航跡波を受ける部分3地点に水圧センサー付電磁流速計を設置し、測定間隔0.5秒で水位と流速の連続測定を行った。この調査期間は春の大潮に相当する。

また、1998年3月24日の9:00~13:00にかけて船舶の運行状況の目視観測を行い、船舶が図-3に示す航路パイの中間点を通過した時刻、船種、船名を記録した。

② 底質調査

1998年3月30日に図-3に示す調査地点で、潜水士が海底表層の底質を口径0.12m²の広口瓶にて採取し、ふるい分けによる粒度組成分析および底生生物分析を行った。

(2) データ処理

① 流速および波浪データ解析

観測した波浪および潮流のデータは1時間毎に解析処理を行った。通常、水圧データはフーリエ変換により各成分波毎に分解し、伝達関数を用いて水位データに変換するが、今回観測された波浪は非定常性が強く、フーリエ変換を用いることが適切ではなかった。このため、水圧データは水位に変換せずに水圧のまま評価した。ただし、波高、周期など統計値の算出については、観測されたデータから潮位とノイズを除去した後、ゼロアップクロス法により統計処理を行ない、波高については伝達関数を用いて水圧波高を水位波高に変換した。

流速データは、流速のx, y方向の観測データを定常成分と非定常成分に分離し、それぞれのx, y方向成分を合成して定常流速および非定常流速を求めた。

波向は、非定常流速データから最大流速変動を求めることで算定した。ただし、波向算定の対象を比較的波高の大きい航跡波に限定するため、波高が0.20m以下の波については除去した。

② シールズ数の計算

波・流れ共存場として田中・SANA (1996) の理論に基づいて底面せん断力を求め、(1)式によりシールズ数を算出した。なお、波動流速は非定常流の最大流速を用

い、底質はアマモ分布場所の平均的底質条件である中央粒径0.180mm、比重2.499の底質を用いて計算することとした。

$$\psi = \frac{\tau}{\rho g d} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ψ :シールズ数、 τ :底面せん断力、 ρ :底質の水中共重、 d :底質の粒径である。

(3) 観測結果の評価

① 波浪・潮流観測結果

それぞれの調査地点におけるデータの時系列変動を検討した。このうち、Point-1における観測結果を図-4に示す。潮位変動を除去した水圧データの1時間毎の時系列変動では、深夜(A:3月25日0:00)の波高は小さく、船舶が繁雑に航行する昼間(B:3月25日14:00)では、相対的に大きい波群が観測された。また、観測期間中の最大波高の時系列変動でも、深夜の波高は小さく、昼間の波高が大きいという規則的変動が見られた。

これらの観測結果は、目視観測によって記録された船舶の通行状況および航跡波の来襲時間と整合していた。このことから、観測された波高0.2~0.5m程度の波群は航跡波であると判断された。また航跡波は航路側と沖側から来襲することが観測された。

非定常流の最大流速は0.3~0.4m/sであり、その時系列変動は最大波高に関係していることから、これは航跡波による波動流速であることが確認できた。その大きさは、潮流を含む平均流速である0.1~0.3m/sよりも相対的に大きかった。

波・流れ共存場として算出したシールズ数の時系列変

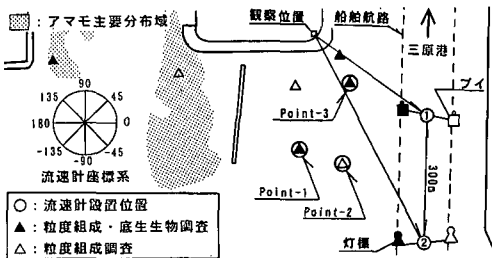


図-3 サンプルング地点図

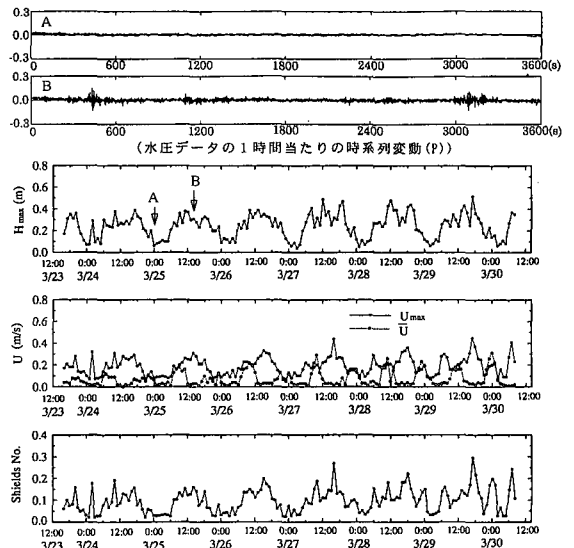


図-4 Point-1におけるデータの時系列変動

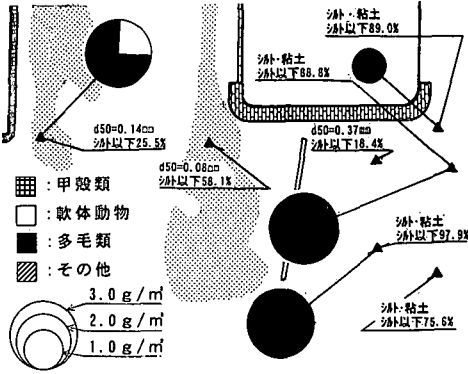


図-5 底質および底生生物分析結果

動は、最大流速（波動流速）と平均流速（潮流）の両方に関係しており、ほとんどの時間帯で $0.0 < \psi < 0.3$ であった。Point-2, 3 においても同様な結果が得られており、観測地点における底質の移動形態は掃流移動～浮遊移動であることが認められた。

② 底質および底生生物分析結果

底質調査地点の大部分はアマモ分布が「点生」の範囲に相当している。この範囲の底質は図-5 に示すようにシルトと粘土であり、表面より 3~5 cm 以深はかなり硬いことが採集時に確認された。またアマモが「疎生」以上の密度で分布している場所は $d_{50} = 0.1 \sim 0.2$ mm 程度のシルト混じり細砂であった。底生生物は図-5 に示すように、多毛類がほとんどであったが、アマモが分布する場所では、この他に甲殻類や貝類が出現していた。

底質・底生生物調査範囲の導流堤航路側の部分は、以前は砂州の下にあり粘土が砂によって被覆されていたが、1927 年に導流堤が建設されて以来、砂の供給が無くなり、70 年以上経過する間に表面の砂が流出して形成された地形であると推定された。

4. 数値計算

観測地点の底質安定性だけでは面的に分布するアマモ場の外力を評価する上では不十分であり、アマモ場を含む広領域の外力の把握を行う必要がある。そこで、アマモ分布場所と分布していない場所を含む範囲の外力分布を数値計算により求め、アマモ分布と比較した。

なお、この比較に当たっては導流堤を挟んで沼田川河口側と三原航路側で分ける必要がある。導流堤河口側は現在の底質条件よりシールズ数を算出するので、現状のアマモの分布特性を検討することになる。一方、航路側は現在は硬いシルト・粘土よりなる底質であり、計算に用いた底質条件とは異なるため、航路側部分においては、底質条件を仮定した場合のアマモ分布可能性の検討となる。

(1) エネルギー平衡方程式の評価

エネルギー平衡方程式にて算出した波浪場によるシールズ数と、実際に観測された流速データにより算出したシールズ数とを比較し、エネルギー平衡方程式を用いて航跡波作用下におけるシールズ数を評価することの妥当性を検討した。

観測データより、航跡波の波高、周期、波向、潮流流速、流向、及び潮位を算定し、この波浪条件を計算領域に入射し、観測地点 Point-1 での浅水係数及び屈折係数を求め、入射波の波高を換算した。この入射波を再び計算領域に入射し、計算領域内の波向、波高分布を求め、この波の場を用いてシールズ数の平面分布を計算した。

各ケースの検討に用いた計算諸元を図-6 に示す。計算条件は波高が比較的大きく、周期・波向が平均的である航跡波波群を用いた。

シールズ数は前述の (1) 式により算出した。また、ここでは計算領域全範囲に中央粒径 0.180 mm、比重 2.499 の底質が分布していると仮定して計算を行った。なお、計算格子の間隔は 10 m とした。

各ケース・地点別のシールズ数と観測データにより計算したシールズ数の関係を図-7 に示す。観測データと計算結果の数値と傾向には大きな差は見られず、多少の誤差を許容すればエネルギー平衡方程式を持ちて算出した航跡波によるシールズ数の計算は可能であることが確認できた。

(2) シールズ数分布の現況再現

それぞれの検討ケースにおけるシールズ数分布の現況再現結果を図-8 に示す。航跡波が沖側から入射する Case 1 および 3 では、埋立地前面のごく浅い部分を除いて $\psi = 0.10 \sim 0.40$ であった。なお、導流堤沼田川側の付け根付近で Case 3 において $\psi > 0.5$ となる範囲にはアマ

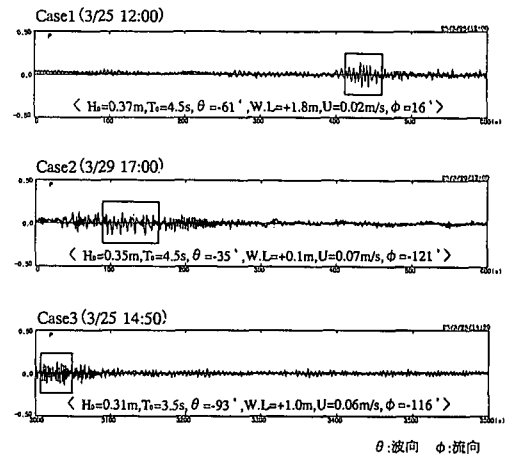


図-6 検討に用いた波浪および計算諸元

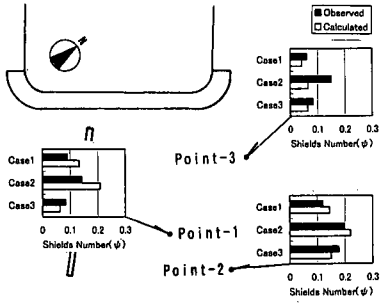


図-7 シールズ数の比較（観測値と数値計算結果）

モ分布が見られなかった。

航跡波が航路側より入射する Case 2 では導流堤の航路側前面のごく浅い部分で、 $\psi > 0.5$ の底質移動がシートフローとなりうる範囲が見られた。この範囲は、現状ではアマモはほとんど「点生」でしか見られない。また、導流堤河口側の現在アマモが「疎生」以上で分布している範囲は $\psi = 0.10 \sim 0.30$ の範囲であった。

波の入射方向を考えたとき、この導流堤は航路側から来る波を低減させ、これにより導流堤河口側のシールズ数が減少するので、導流堤の存在は現状のアマモ分布に適切に作用していることが推察された。

これらの検討ケースの波浪条件は常時発生しているものと考えられるが、この状態において、航跡波による底質の移動状況がシートフロー状態になりうる範囲にはアマモが分布していないことが確認された。

(3) 支配的なケースでのシールズ数分布の計算

現地におけるシールズ数の大きさは非常常流（波動による流れ）と定常流（潮流）の影響を受けていることが観測結果より明らかであった。

入射波の諸元が等しい場合、波動による流れで決定されるシールズ数は、水深が浅くなるほど底面波動流速が大きくなるので、潮位（水深）に支配される。一方、潮

流によるシールズ数は、大潮の引き潮、上げ潮時に大きな値を示す。このことから、観測期間中の最低潮位時（Case A）および最高潮流速時（Case B）におけるシールズ数の平面分布を計算した。なお、波高（0.20 m 以上の平均的状況）、周期・波向（平均的状況）、底質（現況再現と同一）は両ケースとも共通とした。

Case A でアマモが分布している場所は $\psi = 0.10 \sim 0.50$ 以上であった。特に、導流堤河口側の水深が -1.0 m より浅い場所は広い部分が $\psi > 0.5$ の範囲となっている。

Case B では、アマモが現存している場所は $\psi = 0.10 \sim 0.40$ で、シートフロー状態にはならない状況である。実測より潮流が約 0.3 m/s と大きな値が計測されたが、ここでは潮流が底質移動を引き起こしてアマモ分布に影響する可能性は少ないものと考えられる。

導流堤の航路側では、各ケースとも導流堤をはさんで河口側とほぼ対称のシールズ数分布傾向が見られ、Case A では水深 -1.0 m 以浅の大部分、Case B では導流堤付け根の一部が $\psi > 0.5$ と、シートフロー状態になりうる範囲が見られた。

通常 $\psi > 0.5$ を越え、シートフロー状態の激しい砂移動が生じる場所ではアマモは定着しないとされている。しかし、このケースは広い範囲が $\psi > 0.5$ となるのは、潮位が $+0.1$ m と非常に低い春期の大潮干潮時の状況という一時的なものである。Case A の状況では水深 -1.0 m より浅い部分が $\psi > 0.5$ となりうるが、春の大潮時に潮位が $+1.0$ m 以下になるのは 4 時間程度に過ぎない。また、航跡波は持続的に来襲するものではなく、図-4 に示したようにいくつかの波群が間隔を置いて来襲するので、この程度の時間では底質を大幅に攪乱するには至らないものと推察される。このため、 $\psi > 0.5$ となる部分でも、これが短時間ならばアマモが分布するものと推察される。

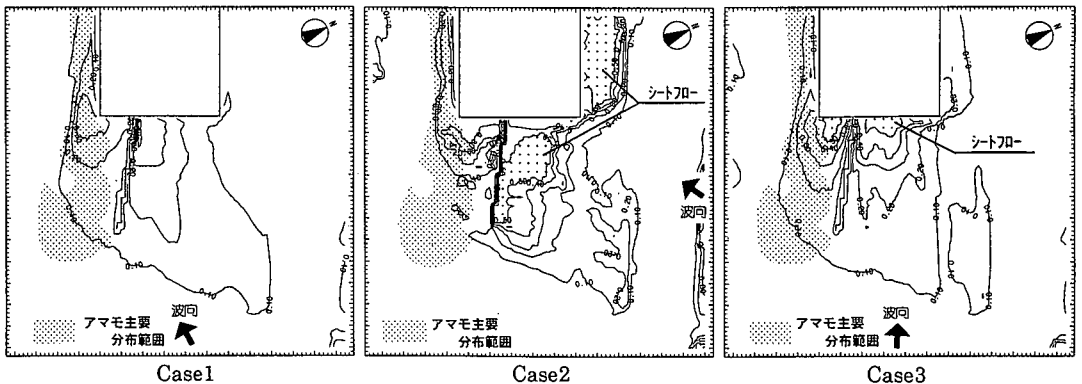


図-8 現状再現によるシールズ数分布

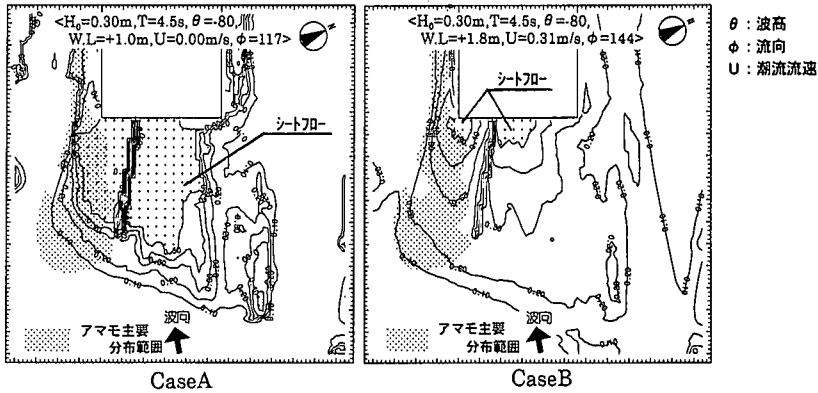


図-9 支配的ケースのシルズ数分布

(4) アマモ分布阻害要因

また、現状において導流堤の三原航路側に、シルズ数分布からはアマモ分布可能と考えられる範囲でも、アマモが見られない、あるいは「点生」群落が点在する範囲が広がっている。この要因の一つには、前述のように、導流堤航路側前面の底質は含水率が低い硬いシルトや粘土であるためアマモの生育には適していないことが考えられる。

この部分は今回現況再現を行った毎日見られるような通常の状態や、潮流が支配的な場合では底質安定性が確保されている。一方、潮位が支配的な場合には短時間 $\psi > 0.5$ となるが、この範囲は導流堤河口側においてアマモが分布している範囲と同等のシルズ数の条件である。

したがって、ここにアマモ生育に適した底質を配置すればアマモの分布が可能となるものと考えられる。

5. まとめ

船舶航跡波の影響する場において、エネルギー平衡方程式を用いて波の場を算出し、その後シルズ数の平面分布を求め、アマモ分布と比較することにより以下のことがわかった。

① 多少の誤差を許容すれば、エネルギー平衡方程式を用いて航跡波を対象としたシルズ数の計算を行うことが可能である。

② 現況の再現による航跡波作用下の状態では、 $\psi =$

0.0~0.5の底質の移動状況がシートフロー状態にならない範囲にアマモが分布していた。

③ 導流堤河口側では波浪が低減し、シルズ数も低下する。このため底質がより安定性になるのでアマモの分布に効果的である。

④ 大潮最干時に相当する、潮位が低く波浪が強く影響するケースでは、 $\psi > 0.5$ の底質移動がシートフロー状態となる場所にもアマモが分布している。しかし、この状態は長くても4時間程度しか継続しないため、アマモの分布が可能であると推定された。

⑤ 外的条件がアマモの定着、生育に適しているにもかかわらず、アマモが見られない範囲は、底質が硬いシルト・粘土であり、底質を改善することによりアマモの分布が期待できると考えられる。

参考文献

- 田中 仁・Ahmad SANA (1996): 交差する波と流れによる抵抗則の検討, 土木学会論文集, No. 533/II-34, pp. 273-277.
- 中瀬浩太・田中裕一・椛山博昭 (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.
- 中瀬浩太・田中裕一 (1993): 海浜変形予測手法によるアマモ場成立条件の現地への適用, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1061-1065.
- 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介 (1987): アマモ場適地選定手法, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 227-231.