

魚礁背後の水平渦流による地形変動機構について

榎 木 亨*・松 見 吉 晴**

1. ま え が き

一般に魚礁が設置計画されている水域は底質が砂質であることから、たとえ底質が通常の波あるいは流れによる移動限界流速に対して移動しない条件であったとしても魚礁周辺に発生する渦流・縮流によって誘起される流速変動により魚礁周辺部に局所洗掘が発生する場合がある。この局所洗掘は魚礁の滑動・転倒を誘発させながらついには魚礁を沈下埋没させ、魚礁としての機能を消失せしめる恐れが十分にある。この一連の現象については工藤ら¹⁾によって行われた日向灘中部沿岸における潜水調査においても観測されており、また佐藤²⁾、斎藤ら³⁾および若者の一人⁴⁾が先に行った実験においても確認されている。

このように、水産関係者の間では魚礁機能の維持という面から上述したような魚礁周辺地形の局所洗掘が重要な問題となっているが、洗掘に伴う魚礁周辺地形の変形機構および変動範囲が十分に明らかにされていないことから、着底式魚礁の設計においては洗掘に対して適切な防止工法が取り入れられるまでにいたっていない。そこでその防止工法ならびに砂質層に適応した魚礁の開発が望まれているが、そのためにはまず洗掘発生の限界条件および洗掘の発生領域の明確化を図る必要がある。ついで、このような魚礁設置に伴う地形変動と魚礁の変動状況すなわち埋没、散乱について研究を進めてゆかねばならない。従って、本研究ではまず波浪流によって魚礁背後に形成される水平渦流に起因する局所洗掘の発生領域を明確にし、ついで洗掘防止工法の開発の面から洗掘機構についてすでに著者ら^{5),6)}が発表した魚礁背後の流況特性と洗掘形態との関連性および魚礁の有孔性が洗掘範囲にどのような影響をもたらすものであるかを実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 局所洗掘の発生領域

2.1 実験方法および解析方法

実験は大阪大学工学部土木工学科の正弦的な流速時間

変化を示す振動流発生装置（U字管水槽）を用いて行った。魚礁モデルとしては現在人工魚礁において数多く使用されている立方体型魚礁を二次元化した角柱モデル⁵⁾を用い、その有孔性については単位体積空隙率 $\gamma=0, 43, 49, 56, 63, 80.6\%$ を示す6種類の魚礁モデルについて実験を行った。なお、本研究で論じている洗掘の発生領域とは魚礁周辺の砂粒が1個でも移動する条件と定義していることから、U字管水槽の底部には対象とする砂粒を一樣にニス付けして粗度を与え、その上に一樣に砂を敷きならした。この敷きならした砂の粒径 d は 0.033 cm 、比重 ρ_s は 2.65 の1種類だけである。実験は、魚礁モデルを設置しない場合と各魚礁モデルを設置した場合についてそれぞれU字管水槽のピストン長を一定にし、その周期を短かくしてゆき、粗度底部上に一樣に敷きならした砂粒が局所的にでも動き始める時の周期を測定した。なお、U字管水槽のピストン長 l については $l=7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60\text{ cm}$ と8種類変化せしめた。

本研究において、魚礁周辺に生じる洗掘の発生限界を明らかにするために、以下に述べるように魚礁モデルを設置した場合の魚礁周辺の砂の移動限界時における主流流速 u_{0f} と、魚礁モデルを設置しない場合の砂の移動限界時における主流流速 u_{0f} との比でもって論じることとした。そのための各実験ケースにおける u_{0f} および u_{0f} については、実験より得られた砂の移動限界時におけるU字管水槽のピストン長 l とその周期 T および水槽内の流体の連続条件より算定することとした。その際、U字管水槽の計測区間における振動流は鉛直方向に一樣な分布を示すものと仮定すると、 u_{0f} および u_{0f} はそれぞれ本実験では次式で求められる。

$$\frac{\pi Al}{BT}$$

ここに、 A および B はU字管水槽のピストン区間および計測区間の断面積である。

2.2 実験結果とその考察

砂の動きに対する判定には、多分に個人的な観測誤差が入り易いため、本研究ではまず本実験で採用する砂の移動限界について従来の砂の初期移動限界式と無次元掃

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 鳥取大学助手 工学部海洋土木工学科

流力でもって比較検証した。その結果、魚礁を設置しない場合の結果と従来の砂の初期移動限界式との間にはそれほど顕著な差異が認められなかった。一方、魚礁を設置した場合については、砂の移動限界時の無次元掃流力は魚礁を設置しない場合と同様に水粒子の移動距離の増加に伴って増大する傾向を示すが、その値は魚礁を設置しない場合に比較してかなり小さい。このような結果より u_{0f} と $u_{0f'}$ との間には、 $u_{0f'} = K \cdot u_{0f}$ のような関係式が成立するものと推定される。上式の K は u_{0f} の $u_{0f'}$ に対する低下率を表わすもので、魚礁モデルの空隙率 γ と水粒子の移動距離に依存するものと推定される。以下にこの K の特性について検討を加えることとする。

魚礁のような有孔性構造物周辺に発生する洗掘については周辺に発生する渦流および渦流の大きさに影響する構造物の空隙率に密接に関係すると推定されることから魚礁の各空隙率における K と渦流の表示に対して有効なパラメーターである K-C 数 (UT/D , $D=2a$, a : 魚礁モデルの一辺の長さ) について示したのが 図—1 である。図中の各空隙率 γ における K の曲線は最小二乗法より求めたもので、各曲線より上側の K の値では洗掘の発生が見られる。この図より魚礁設置に伴って洗掘を発生さす主流流速 u_{0f} は、空隙率に関係なく K-C 数の小さい領域では急速に K が低下し、K-C 数の増大とともに K が徐々に減少していつている。特に $\gamma=0\%$ の無孔モデルの場合においてその傾向は顕著に現われる。このことは著者らの先の研究において明らかにした K-C 数の増大に伴って魚礁で形成される渦流の発生頻度が高くなることと一致し、後流渦の発生発達が生洗掘と密接な関係にあることを示しているものと言えよう。また、同図において無孔モデルと有孔モデルの間に明確な相異が認められるが、この相異については有孔モデルにおけるモデル孔口部より流出する流れによって形成される渦流が影響することによるものと考えられるがまだ十分に明らかになっていない。

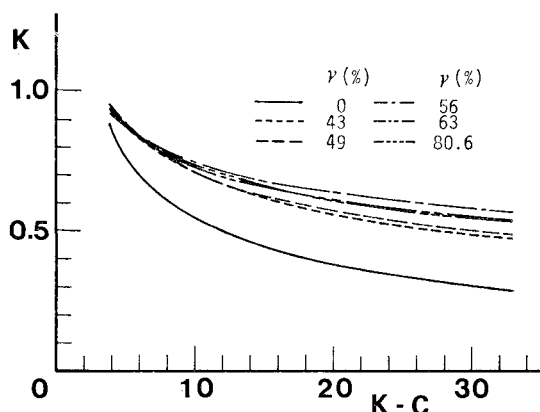
3. 洗掘形態および洗掘領域

3.1 水理実験

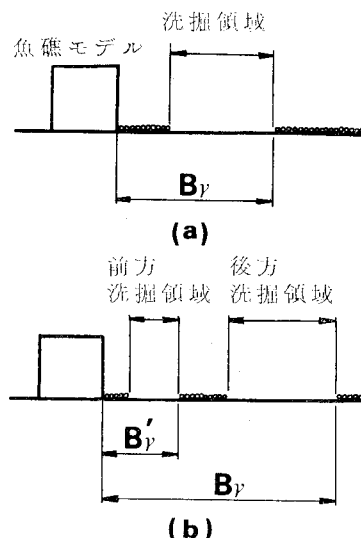
実験装置および砂粒については 2.1 で記述したものと同一である。U字管水槽の底部には洗掘に伴う魚礁の滑動転倒といった複雑な現象を避けるために 2.1 で記述した粗度板を使用し、その上に一様に砂を敷きならした。従って、本論において洗掘領域と称しているものは、一様に敷きならした砂の移動に伴って粗面の一部が露出した領域のことを意味するものである。実験流速は砂の移動限界より小さい K-C 数 $=10 \sim 20$, Reynolds 数 $=10^4 \sim 2 \times 10^4$ の範囲において 3 種類の場合について行い、振動流の作用時間は洗掘領域の幅に変動が認められなくなるまでとした。一方、先に述べたように魚礁周辺の砂移動は魚礁背後の各渦流と密接な関係にあることおよび先に著者らが行った魚礁周辺の流況実験において魚礁背後の各渦流が形成されるまでに時間差が認められ、この時間差が砂の移動に対しても影響すると考えられることから、洗掘形態と各渦流との結び付けにあたっては洗掘領域内の砂の動き出す時間位相を測定し検討することとした。

3.2 洗掘形態

魚礁背後の洗掘領域の形態は、一般に 図—2 に示すように魚礁モデルの空隙率および K-C 数の変化に伴って 2 種類のパターンに分類される。すなわち、 $\gamma=0\%$ および $\gamma \geq 56\%$ における洗掘形態は同図 (a) に示すように洗掘領域が一領域だけであるが、 $\gamma=43\%$ のように空隙率の比較的小さい場合には (b) のような 2 領域に分離する洗掘パターンを示す。なお、 $\gamma=49\%$ においては K-C 数によって左右され、K-C 数の増大に伴って (a) から



図—1 移動限界流速低下率と K-C 数の関係



図—2 魚礁背後の洗掘パターン

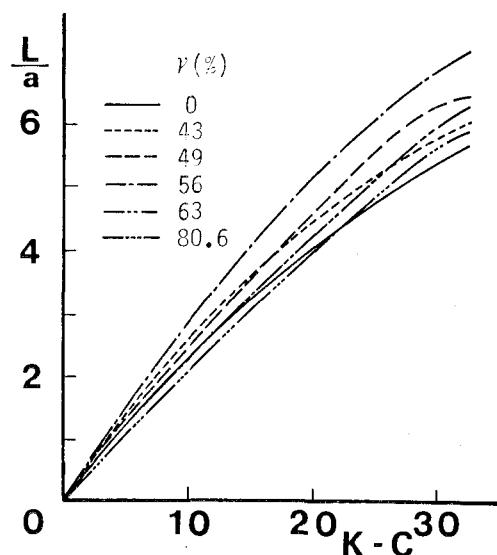


図-6 後流長の K-C 数に伴う変化

より、 $\gamma=0$, 43% の洗掘領域は K-C 数の増加に伴って高い増加率で拡がることがわかる。さらに、その洗掘領域の増加傾向は 図-6 に示す著者らが求めた後流長 L (魚礁モデル後端から後流渦領域後端までの距離) の K-C 数変化とほぼ同様の傾向を示し、両者の間に強い相関関係が認められる。なお、 $\gamma=49\%$ の場合は 3.2 で記述したように洗掘形態が K-C 数によって相異することから、図-5 において B_f/a の値が K-C 数の増加に伴って急激に増大を示す傾向となる。一方、 $\gamma \geq 56\%$ における洗掘領域は 図-5 から明らかのように $\gamma=0$, 43, 49% に比較して K-C 数変化に伴う変動がそれほど顕著でなく、図-6 における後流長の変化傾向と大きな相異が認められる。この相異に関しては、上述したように $\gamma \geq 56\%$ の後流渦領域が上下二層に分離することによる卓越渦の洗掘に対する影響がなくなることによるものと考えられるが、まだ十分な結論を得るまでに至っていない。

上述したように洗掘領域は魚礁の空隙率によっても変化するから、洗掘領域 B_f の空隙率変化に伴う変動を示したのが 図-7 であり、図中 B_0 は $\gamma=0\%$ における洗掘領域を表す。同図には先に著者ら⁶⁾ が求めた卓越渦の循環の空隙率変化 (F_f/F_0) も併記してある。この図より、K-C 数は約 11, 16 における B_f/B_0 の値は $\gamma=43\%$ から急激に減少し、それ以上の空隙率に対してはほぼ一定値を示すようになる。このことは同程度の K-C 数における卓越渦の循環の変化とほぼ一致し、両者の間に強い相関関係が認められる。一方、K-C 数は約 21 における B_f/B_0 の値は $\gamma=49\%$ の洗掘領域が 2 領域に分離することから、 $\gamma=49\%$ から急激な減少を示すようになる。以上のことより、後流渦領域が上下二層に分離す

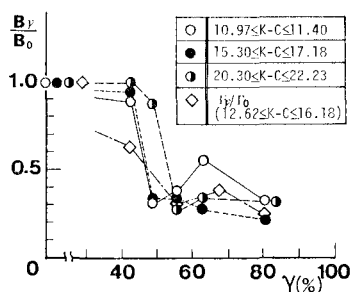


図-7 洗掘領域に及ぼす空隙率変化の影響

る $\gamma \geq 56\%$ の魚礁モデルにおける洗掘領域に関しては K-C 数の変化および空隙率変化に伴う顕著な変動が認められず、洗掘防止工法の開発に際しては同一の手法で取扱うことができるであろう。

4. あとがき

以上、魚礁設置に伴う周辺地形の変動過程において、大きな影響をもつ局所洗掘についてその発生領域を明確にし、ついで洗掘機構に関して魚礁背後の流況特性および洗掘領域内の砂の移動開始の時間位相における時間差より定性的に考察した結果、魚礁背後の各水平渦流と砂移動との関連性が明らかになった。しかしながら、今回は水平渦流のみによる洗掘を対象とし鉛直渦流および縮流の影響を考慮していないので、今後この事項も含めて魚礁周辺の地形変動機構を検討していくとともに、洗掘限界流速、洗掘限界水深、埋戻し効果等に関する定量的な影響について研究を進めていかねばならない。また、洗掘防止工法として本論において述べたような捨石による Armouring の効果についても河川で求められている研究成果を参照してさらに検討していきたいと考えている。最後に本実験に協力していただいた現在大阪大学大学院北口雅章君、松山 章君に謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 工藤基善・内田為彦：日向灘中部沿岸の人工魚礁潜水調査結果，水産土木，Vol. 17, No. 2, pp. 9~16, 1981.
- 2) 佐藤 修：人工魚礁に関する若干の問題点，水産増殖，臨時号 7, 1968.
- 3) 斉藤 晃・煙山政夫・川畑広紀：魚礁模型の安定性に関する水理実験，第 35 回土木学会年次学術講演会講演概要集 (II)，pp. 69~70, 1980.
- 4) 榎木 亨・出口一郎：魚礁周辺の局所洗掘に伴う沈下について，昭和 54 年度土木学会関西支部年次学術講演概要集，II-69, 1979.
- 5) 榎木 亨・松見吉晴：魚礁周辺の形状及び空隙率変化に伴う流況変化，第 35 回土木学会年次学術講演会講演概要集 (II)，pp. 67~68, 1980.
- 6) 榎木 亨・松見吉晴：魚礁背後の流況特性，第 28 回海岸工学講演会論文集，pp. 387~391, 1981.
- 7) 例えば，Komar, P. D. and M. C. Miller: Sediment Threshold under Oscillatory Wave, 14th Conf. Coastal Eng., pp. 756~775, 1974.