

非対称振動流場での地形侵食速度に関する 実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON THE LOCAL EROSION VELOCITY DUE TO ASYMMETRY OSCILLATORY FLOW

山下 俊彦¹ ・金子 寛次² ・新山 雅紀³ ・永田 晋一郎⁴

Toshihiko YAMASHITA, Hiroto KANEKO, Masaki NIYAMA, Shinichiro NAGATA

¹正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 工修 北海道 (〒060-8588 札幌市中央区北3条西7丁目)

³学生会員 工学 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴農学 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Burrowing bivalves such as surf clams (*Pseudocardium sybilla*) that inhabit open sandy beaches are an important fishery resource. The main reason for the decrease in the number of bivalves is due to high waves, and the release of bivalves from the seabed into the water is thought to be the first phase in the mortality process of bivalves. Local erosion and accumulation velocities during sand ripple formation caused by the asymmetry oscillatory flow are experimentally studied. The intensity of bed deformation speed and maximum erosion velocity due to asymmetry oscillatory flow are estimated from the results due to oscillatory flow, taking into account the effect of asymmetry on Shields number.

Key words : Asymmetry flow, sand ripple, bed deformation speed, erosion velocity

1. 研究目的

北日本沿岸の開放性砂浜域には、ウバガイ、エゾバカガイ等の潜砂性二枚貝が生息している。これらはホタテガイに次ぐ重要な貝類の水産資源であるが、稚貝段階での著しい減耗が増殖の障害となっている。この原因として冬季の高波浪が指摘されている。また、港の建設後にその静穏域に稚貝の増加例が報告されるなど、海岸構造物と関係の深い生物でもある。ウバガイ等の潜砂性二枚貝は、高波浪により砂中から水中に放出され、流れにより振動させられたり、生存不可能な場所へ運ばれたりして減耗へ至ることが知られている。著者らの研究により、ウバガイの放出限界(貝が砂中から水中へと放出される限界の地形侵食速度)は、地形侵食速度 V_e と貝の潜砂速度 V_b の比で決定され、 V_e/V_b は約1.0であること、また貝の潜砂速度は殻長が小さいほど、水温が低いほど小さくなることが定量的に明らかにされている。一方、放出限界に関する波による瞬間的に大きな地形侵食速度については、松岡・山下(1995)¹⁾、山下・木下(1996)²⁾、山下ら(1997)

³⁾の振動流場での研究しか行われておらず、有限振幅波を対象とした研究はなされていない。そこで本研究では、任意波形振動流装置を用い、非対称振動流場での砂漣形成時の地形侵食速度を系統的实验より把握し、地形侵食速度への流れの非対称性の効果を明らかにする。

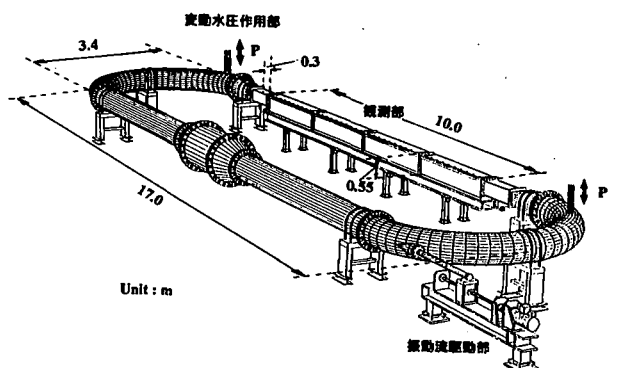


図-1 任意波形振動流装置

2. 研究内容

実験は、図-1に示す任意波形振動流装置を用いて、非対称振動流速 u として図-2に示す $u = U_m(\sin 2\pi t/T - A \cos 4\pi t/T)$ で行なった。実験条件は、周期 $T = 3.5, 6, 10$ 秒、 $U_m = 40 \text{ cm/s}$ 、水温 15°C 、非対称振動流の効果を調べるため、 $A = 0, 0.1, 0.2$ とした。底面には粒径 $d = 0.3 \text{ mm}$ の珪砂を敷いた。実験 I は、対称振動流 ($A = 0$) で砂漣を形成した後、次に非対称振動流として $A = 0.1, 0.2$ をそれぞれ 1 時間作用させる (以下 Up と表示) もので、実験 II は非対称振動流 ($A = 0.2$) で平坦床から砂漣をつくり、 $A = 0.1, 0$ と振動流を作用させた (Down) ものである。最大侵食速度 V_{em} として、砂漣一波長内での各地点における砂漣形成過程での最大侵食速度を求めた。地形変化強度 V は一定時間平均の各地点での地形変化速度である。地形変化強度 V は常時の生物への地形変化の影響度、最大侵食速度 V_{em} は激浪時の生物の減耗 (生物は V_{em} が生物自身の潜砂速度を越えると砂中から水中へと放出され減耗の第一段階になる) の指標と考えられる。また貝は殻長の半分程度が砂上に出されると貝全体が砂上に出されやすくなることから、貝の放出に影響する侵食速度として、殻長の半分の距離の侵食に対する平均侵食速度をとった。すなわち殻長 L が $10 \text{ mm}, 20 \text{ mm}, 30 \text{ mm}$ の 3 種類の貝を想定した場合、各々侵食深さは、 $5 \text{ mm}, 10 \text{ mm}, 15 \text{ mm}$ となり、これらの距離の侵食に対する平均侵食速度の砂漣形成過程の最大の地形侵食速度を各場所ごとに求めた。

3. 主要な結論

(1) 地形の時系列変化

図-3に平坦床から $A = 0.2$ の非対称振動流を作用

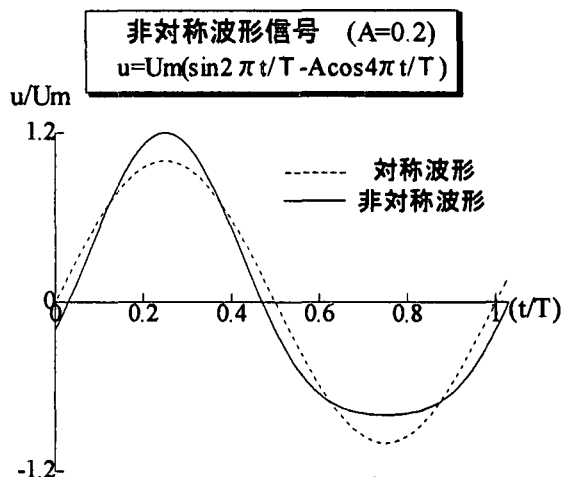


図-2 非対称波形信号 ($A = 0.2$)

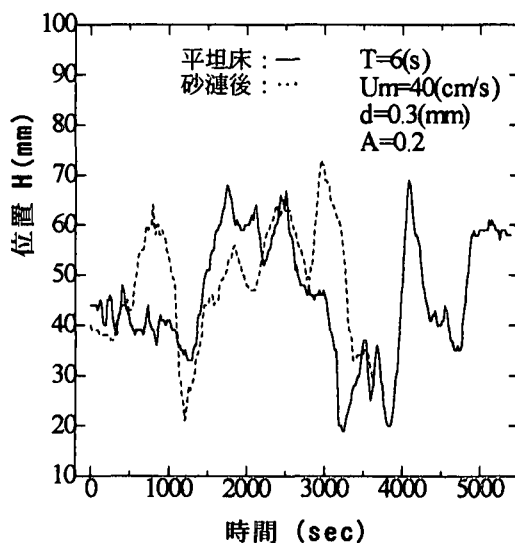


図-3 地形の時系列変化

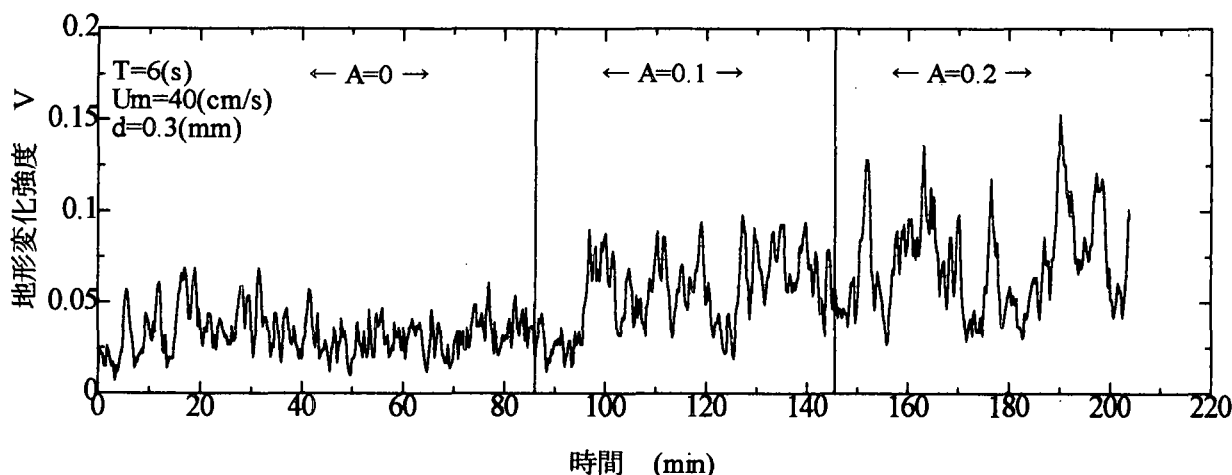


図-4 地形変化強度 V の時系列変化 ($A = 0$ から)

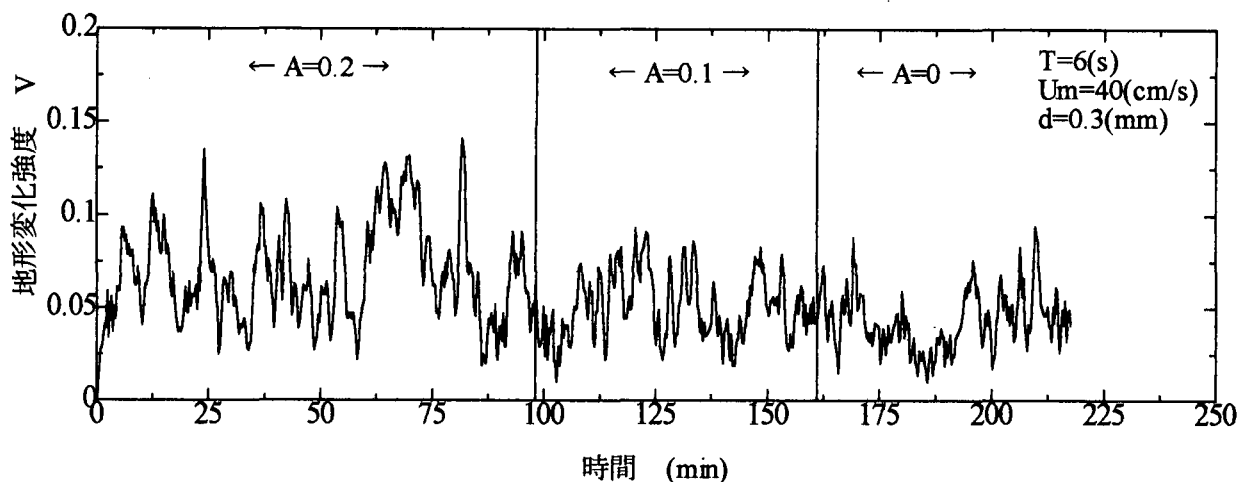


図-5 地形変化強度Vの時系列変化 (A=0.2から)

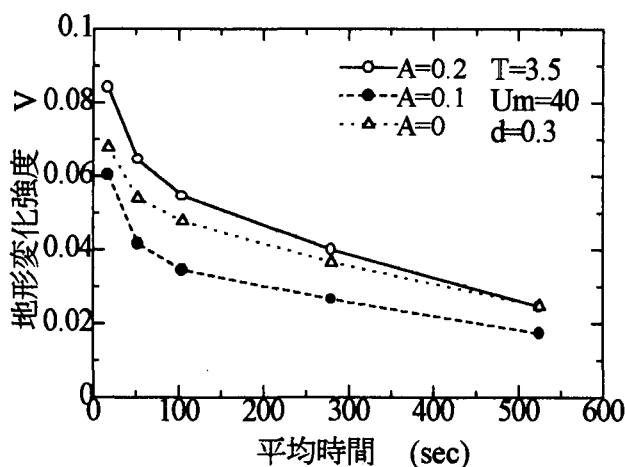


図-6 地形変化強度と平均時間 (T=3.5)

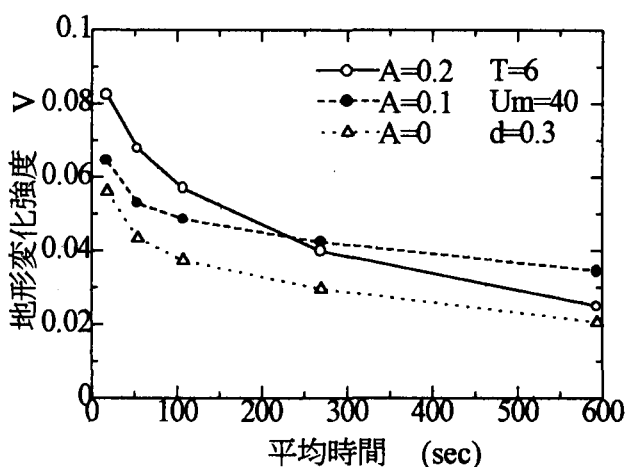


図-7 地形変化強度と平均時間 (T=6)

させた場合と、一度A=0.1の振動流で砂漣を形成した後A=0.2の振動流を作用させた場合の地形変化の時系列の一例を示す。この図よりどちらの場合も、10～2000秒程度の広い範囲の周期を持った地形変動がみられ、砂漣が安定するまでは、砂漣の合体、消滅を複雑に繰り返していることが分かる。

(2) 地形変化強度の時系列変化

図-4, 5に一分平均の地形変化強度Vの時系列変化を示す。これより、Vは実験開始初期の段階で少し小さいが、その後も変動はあるものの、どちらの図においてもA=0.2で大きく、A=0では小さめの値となっており、その値はほぼ一定していることがわかる。地形変化強度Vは20秒、1分、2分、5分の時間平均地形変化速さを砂漣一波長分平均して求めた。この時の地形変化強度の変化を図-6, 7, 8に示す。これより雨量強度と同様、平均時間間隔の増加とともに地形変化強度が減少していくことが定量的にわかる。

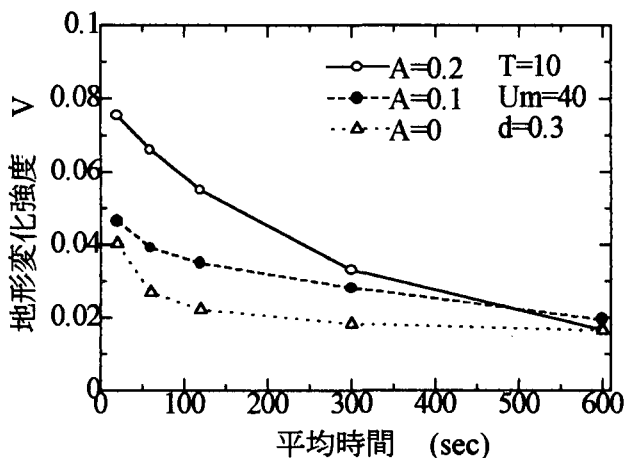


図-8 地形変化強度と平均時間 (T=10)

(3) 地形変化強度VとΨ

図-9は地形変化強度Vとシールズ数Ψの関係を示したものである。本実験の非対称振動流の場合、半周

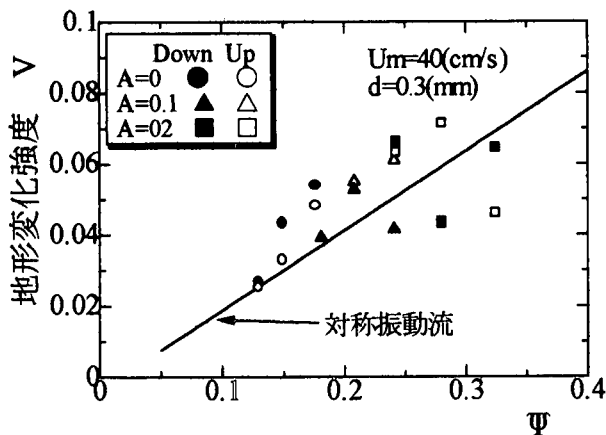


図-9 地形変化強度Vと Ψ

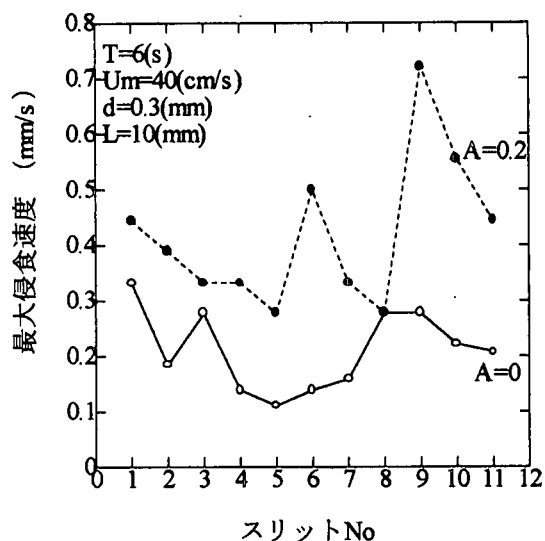


図-11 各地点での最大侵食速度 (T=6)

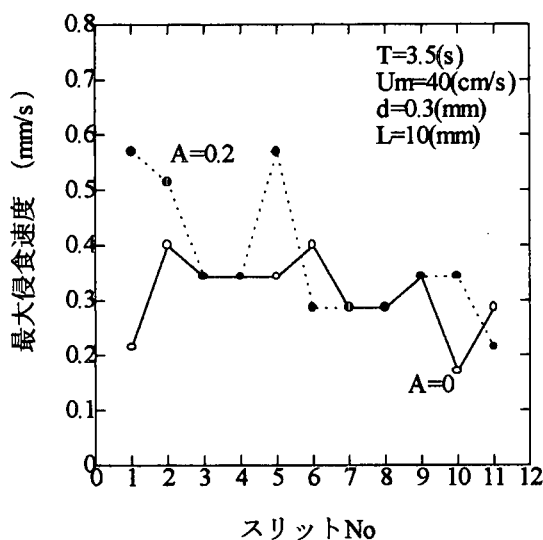


図-10 各地点での最大侵食速度 (T=3.5)

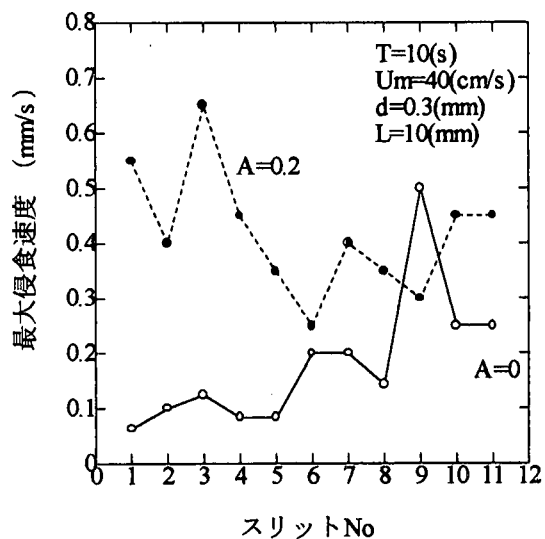


図-12 各地点での最大侵食速度 (T=10)

期移動距離は変わらないため底面摩擦抵抗は変わらないと考え、最大流速 $U_{max} = (1+A)U_m$ として求めた。また、図中の直線は対称振動流で得られた値である。Up と Down では大きな違いはみられず、前述の様なシールズ数を採用することで、対称振動流の結果とほぼ一致することが確かめられた。

(4) 平坦床からの各地点での最大侵食速度

図-10、11、12は平坦床から対称振動流 (A=0) を作用させた場合と非対称振動流 (A=0.2) を作用させた場合について、それぞれ図-10は周期T=3.5秒、図-11は6秒、図-12は10秒で各条件についてまとめたものである。図中スリット1~11が約砂漣一波長に相当する。これらの図より、それぞれの周期で同じ流速、珪砂粒径でも平坦床から砂漣を形成させる場合にはA=0より0.2の方がより大きな地形侵食速度が発生していることが分かった。

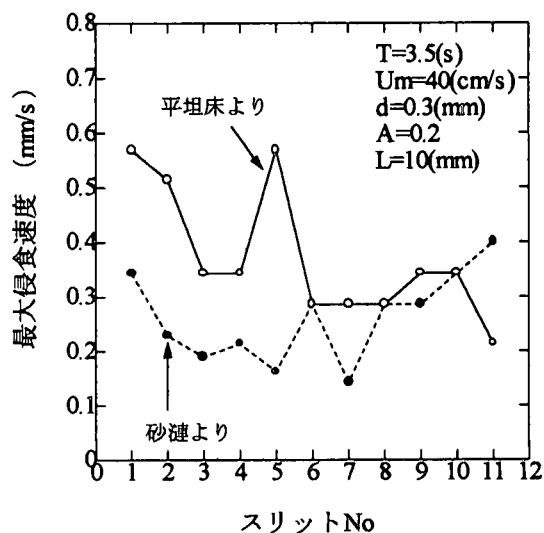


図-13 各地点での最大侵食速度 (T=3.5)

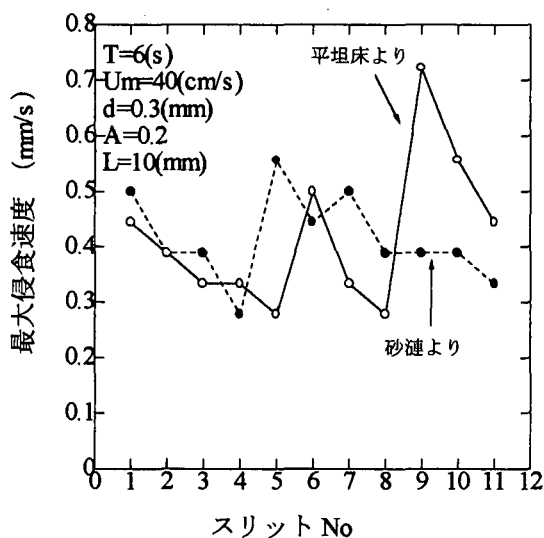


図-14 各地点での最大侵食速度 (T=6)

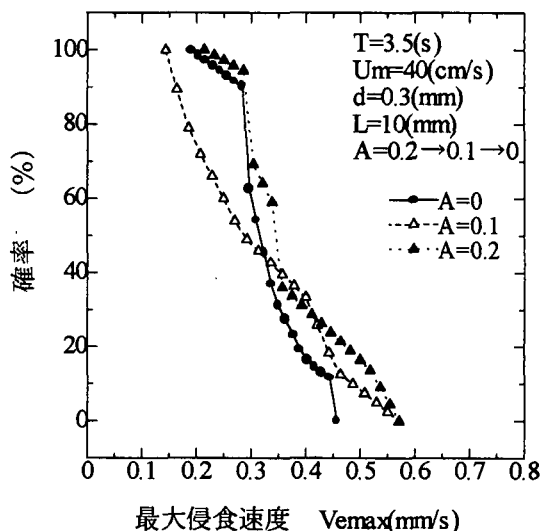


図-16 最大侵食速度の発生確率 (T=3.5)

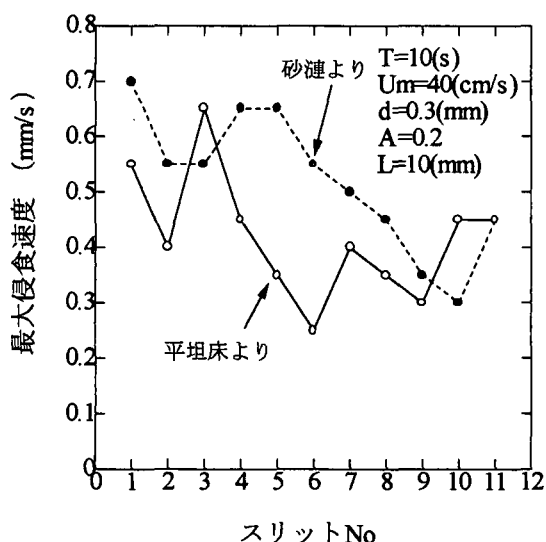


図-15 各地点での最大侵食速度 (T=10)

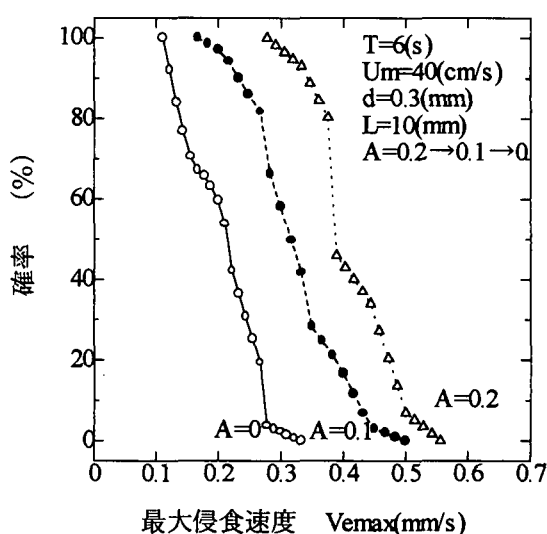


図-17 最大侵食速度の発生確率 (T=6)

(5) 砂漣形成後の各地点での最大侵食速度

図-13、14、15に平坦床から非対称振動流($A=0.2$)を作用させた場合と、一度 $A=0.1$ の振動流で砂漣を形成した後、非対称振動流($A=0.2$)を作用させた場合の各地点での最大侵食速度の一例を示す。図-13は周期 $T=3.5$ 秒、 $A=0.2$ の場合で、図-14は $T=6$ 秒、図-15は $T=10$ 秒について各々の条件についてまとめたものである。これらより、どの条件でも平坦床から振動流を作用させた場合と砂漣形成後に振動流を作用させた場合とでそれほど大きな違いはみられなかった。これは、砂漣が形成される際の大きな地形侵食速度は砂漣の合体、消滅等で発生するため、初期地形はあまり影響がないものと考えられる。

(6) 最大侵食速度の発生確率

図-16、17、18は図-10、11、12等を基に砂漣一

波長内での最大侵食速度の場所的発生確率をもとめたものである。図-16は $T=3.5$ 秒、図-17は $T=6$ 秒、図-18は $T=10$ 秒についてそれぞれの条件でまとめたものである。これらの図より、非対称性が強いほど、大きな地形侵食速度が発生する確率が高くなること($T=6$ 、 $U_m=40$ cm/s、 $d=0.3$ mm、 $A=0.2$ の場合の最大侵食速度は $A=0$ の同条件の約2倍)が定量的にわかる。これは、 $A=0.2$ の方が最大流速が大きいことと、砂漣が移動することによるものと考えられる。

(7) $Ve50$ とシルズ数

図-18中の直線、点線はそれぞれのデータを直線近似したものである。最大侵食速度の発生確率を50%発生確率の地形侵食速度 $Ve50$ とその傾き K で代表させる。 $Ve50$ と(3)で用いた各非対称振動流のシルズ数

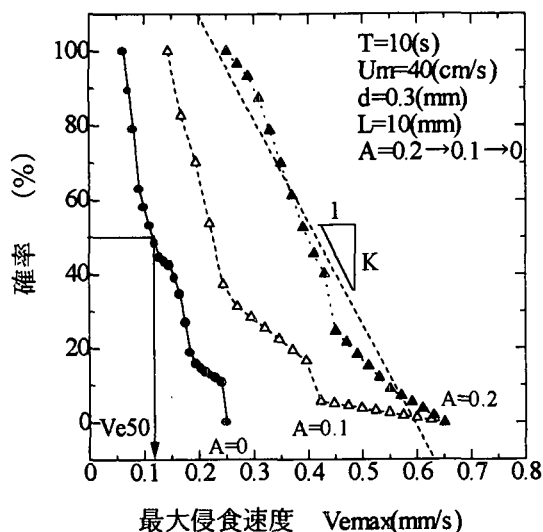


図-18 最大侵食速度の発生確率 (T=10)

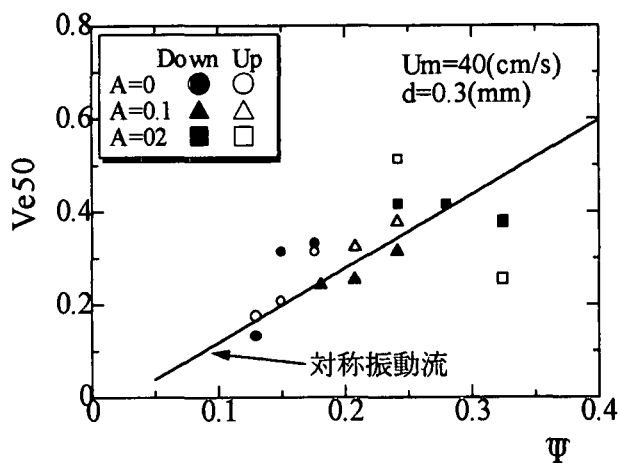


図-19 Ve50とΨ

との関係を示したものが図-19である。これより若干のばらつきはあるものの、非対称性の増加(シールズ数の増加)に伴ってVe50も直線的に増加していることが定量的にわかる。図中の直線は(3)と同様、対称振動流での値である。ここでもUpとDownでは大きな違いはみられず、非対称性を考慮したシールズ数を採用することで、Ve50も対称振動流の結果とほぼ一致することが確かめられた。

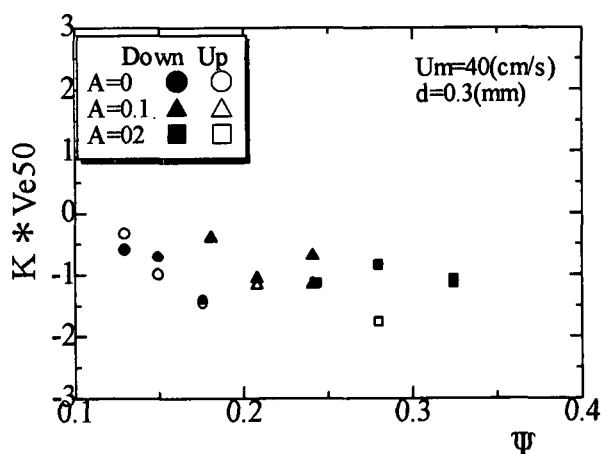


図-20 K * Ve50とΨ

(8) 最大侵食速度の傾き $K * Ve50$

$K * Ve50$ とシールズ数の関係を示したものが図-20である。この図より $K * Ve50$ の値は、Up, Downで大きな違いはみられず、対称振動流での値-1.0にほぼ一致することが確かめられた。

参考文献

1) 山下俊彦・和田 彰・松岡 学・谷野賢二・明田定満: 振動流場での二枚貝の挙動に関する実験的研究、海岸工学論文集、第42巻(1)、pp. 506-510, 1995

2) 山下俊彦・木下大也・和田彰・明田定満・谷野賢二: 振動流場での二枚貝の放出限界と潜砂限界、海洋開発論文集、Vol. 12、pp. 467-472, 1996

3) 山下俊彦・金子寛次・和田彰・山本明・北原繁志・谷野賢二: 砂漣形成時の地形侵食速度と潜砂性二枚貝の放出確率、海岸工学論文集、第44巻(1)、pp. 701-705, 1997

(1999. 4. 19受付)