

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760347

研究課題名（和文） 砕波に伴う渦を考慮した底質移動の細部構造に関する研究

研究課題名（英文） STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN BOTTOM SHEAR FORCE AND SUSPENDED SEDIMENT CONCENTRATION AROUND SURF ZONE

研究代表者

鷺見 浩一 (SUMI HIROKAZU)

金沢工業大学・環境・建築学部・准教授

研究者番号：10314048

研究成果の概要：本研究課題は、自然環境に与える負荷を軽減した新たな漂砂制御方法を構築するための基礎的研究の第一段階としての位置づけであり、砕波に伴う渦や流れの乱れのように、砕波水深よりも小さな空間スケールのミクロ的な現象をも考慮して、浮遊・移流・拡散・沈降する海底砂の移動機構を解明するものである。砕波時の波内部での流れと底質の浮遊・移流・拡散・沈降という物理現象との関連に焦点を絞って研究を行った。そして、固液 2 相流での可視化水理実験と MARS 法による数値計算を駆使して、底質の移動機構を検討した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19 年度	2,100,000	0	2,100,000
20 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	120,000	2,620,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：海岸

1. 研究開始当初の背景

海岸侵食の機構解明は、海岸背後に集中している人命や資産を防護し、自然環境と調和を図った海岸環境を創出するために重要である。現在では、海浜の安定性を確保するために、入射波を離岸堤の回折効果や人工リーフの強制砕波により減衰させて、海浜流と漂砂を制御する方策が多くとられている。しかし、これらの海岸構造物は高い堆砂機能を有している一方で、海岸線に沿って数 km も設置されている海域もあり、沿岸漂砂の阻止など、自然環境へ甚大な負担を与えている場合もある。価値観が多様化し、災害に対する安

全性の向上と環境に配慮した海岸整備が必要とされる社会においては、今後、自然環境に与える負荷を軽減した漂砂制御方法の開発が望まれ、海底砂の移動機構について先進的な研究による解明が必要となる。

2. 研究の目的

自然環境に与える負荷を軽減した新たな漂砂制御方法を構築するための基礎的研究の第一段階としての位置づけであり、砕波に伴う渦や流れの乱れのように、砕波水深よりも小さな空間スケールのミクロ的な現象をも考慮して、浮遊・移流・拡散・沈降する海

底砂の移動機構を解明するものである。さらに、砕波に伴う波内部の流速分布と渦構造、砕波形式の相違による浮遊砂の移動速度特性、および平衡断面の相違による浮遊砂濃度の時空間分布特性などを関連づけて考究する。

3. 研究の方法

固液 2 相流において、主として海浜の平衡断面の相違による砂の移動速度を検討する実験 I と水粒子速度を考究する実験 II、および底面せん断力を計測する実験 III を行った。実験の大部分は金沢工業大学環境土木工学科の片面ガラス張りの 2 次元造波水槽(長さ 18.0 m, 幅 0.7 m, 高さ 1.0 m)を用いて行った。水深は $h=40$ cm とし、水槽内には外枠をアクリル板で作成した一様海底勾配を設置した。

(1) 砂の移動速度を検討する実験 I

実験 I では、水路上方からレーザーシート光(カトウ光研: Green Laser Sheet 50mG)を水槽内に向けて照射し、砕波点周辺でのケイ砂の浮遊状況を可視化させ、水路側方に設置した高速度カメラより、可視化画像を撮影した。可視化粒子の濃淡画像に相互相関法を適用する PIV 装置より、砂粒子の移動速度を求めた。なお、PIV により測定した浮遊砂の移動速度の妥当性の検証は、2 枚の画像から、目視により砂の移動距離を計測し、その距離を時間間隔で除して求めた流速との比較により行った。

(2) 固液 2 相流における水粒子速度を考究する実験 II

実験 II では固液 2 相流での水粒子速度を、実験 I と同じ PIV 装置を用いて計測した。PIV のトレーサは水中に投入したナイロン 12 とした。この実験では、固液 2 相流における水粒子速度を計測するので、可視化画像に砂が撮影されないように、ケイ砂を黒色に塗装し、ナイロン 12 のみが撮影されるように工夫した。

(3) 底面せん断力を計測する実験 III

外枠をアクリル板で作成した一様勾配斜面を水槽内に設置した。ケイ砂をアクリル製の海底勾配模型の内部全域に敷き詰めた。海浜の平衡断面形状を分類する無次元係数 C は、中間型の $C=5.9$ と堆積型の $C=3.8$ である。底面せん断力と浮遊砂濃度の測定は、一様斜面に実験波を 24 時間造波し、海浜形状が平衡断面に漸近した後に行った。せん断力と浮遊砂濃度の計測には、それぞれ、小型円柱型の水用せん断力計(SSK 製: S10W-01)と光ファイバー径が 2mm の光学式濁度計を用いた。計測対象波は、造波機の始動から第 7 波目~第 11 波目の波とした。測定範囲は、水深 16cm の静水面を原点として、水平方向は原点から岸側に 95cm、鉛直方向は波谷レベル以深から砂

面の 1cm 上方とした。計測点の総数は、約 170 点となる。底面せん断力は、砂面からせん断力計の計測面まで間隔を約 2mm とし、岸沖方向に濃度と同じ計測点で測定した。底面せん断力の測定と同時に、容量式水位計で水面変動も計測した。せん断力、浮遊砂濃度および水位の値は、造波開始後の第 7 波目~第 11 波目までの 5 波による位相平均値を採用した。(4) 砕波の数値シミュレーション

砕波帯での波内部の流速分布を検討するにあたっては、数値計算を行った。MARS 法は、VOF 法を応用した自由界面の解法である。MARS 法は流体体積率の輸送方程式を N-S 方程式と連立させて解く VOF 法の Donor-Acceptor 法に基づく厳密な界面の体積保存に加えて、計算格子内の界面勾配を 1 次関数として近似する line-segment 関数の導入により、界面形状の正確な捕獲と輸送、および格子界面内での流体率の連続性が考慮可能となった多相流の直接解析手法である。この MARS 法を自由界面の解法として $k-\epsilon$ モデルによる砕波の数値計算を実施した。

4. 研究成果

本研究により得られた主要な成果を示す。

- (1) 波 1 周期間の目視による砂の移動速度ベクトルと PIV 法による砂の移動方向と速度は、中間型と侵食型でほぼ一致した(図 1a~4c)。
- (2) 砂の移動速度と波内部の速度場を関連づけて考察することにより、砂の移動速度の時空間分布が判明した。先行波により浮遊した砂は、中間型と侵食型の両平衡断面において戻り流れ(図 5a)と同方向に移流し、その速度は中間型で約 31cm/s、侵食型で約 50cm/s である(図 2a, 4a)。両平衡断面のバー周辺では、砂は水粒子よりも大きい速度で沖側の斜め下方向に移動する(図 2a, 4a)。そして、波が伝播し岸向きの流れが強まると、砂が水粒子速度よりも速く斜め下方向に移動する領域は岸方向に縮小する。その後、入射波が砕波点に接近すると、両平衡断面においてバー沖側斜面に沿う斜め上方向の流れが卓越し(図 5b)、バー沖側上端部では新たに砂が中間型で 16.2cm/s、侵食型で 27.2cm/s の速度で浮遊する(図 1b, 3b)。この新たな砂の浮遊には、バー沖側斜面に沿う流れの底面からの剥離によって生じた渦が寄与していると考えられる(図 6)。さらに、波が進行すると新たに浮遊した砂は、両平衡断面において先行波により浮遊した砂と合一し、波峰前面へ向けて浮遊領域を拡大し浮遊砂雲を形成する。砕波後、浮遊砂は波内部の流れと同方向に海底へ沈降する。
- (3) 浮遊砂の移動速度は水粒子速度と比較すると、その大きさが砂の移動方向によって異なることが判明した。図 4a に示す戻り流れと同方向の砂の移動速度は、同領域の水粒

子速度(図 5a)と比較して大きい. これは, 砂が沈降しようとする下向き流速と斜め下方向の戻り流れが強めあうためであると推察

できる. 一方, 図 4b の斜め上方向の砂の移動速度は, 同領域の水粒子速度(図 5b)と比較して小さい. これは, 波動運動に伴う斜め上

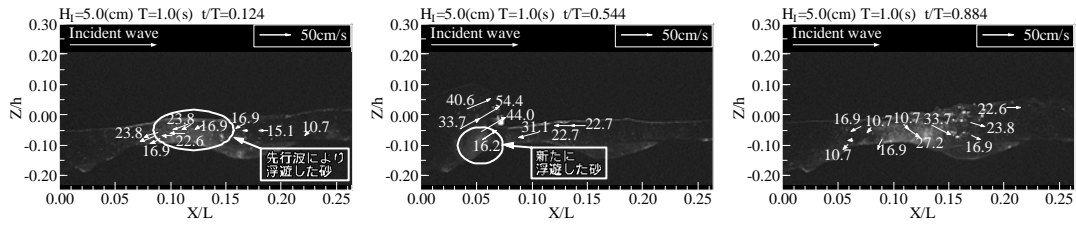


図 1a 目視の砂の速度(中間型) 図 1b 目視の砂の速度(中間型) 図 1c 目視の砂の速度(中間型)

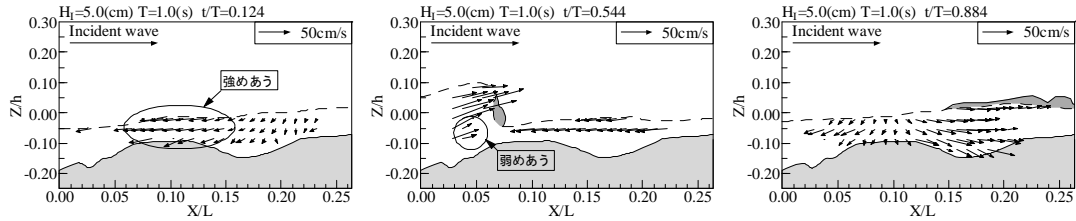


図 2a PIV の砂の速度(中間型) 図 2b PIV の砂の速度(中間型) 図 2c PIV の砂の速度(中間型)

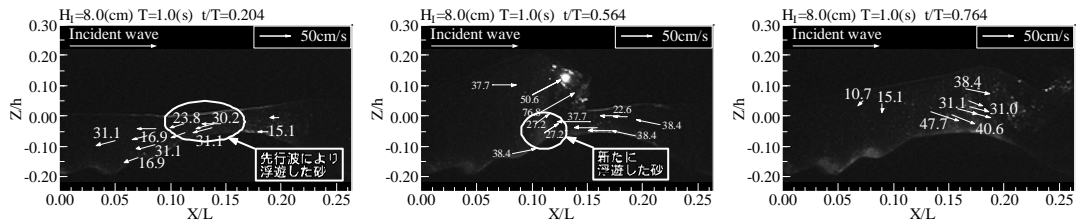


図 3a 目視の砂の速度(侵食型) 図 3b 目視の砂の速度(侵食型) 図 3c 目視の砂の速度(侵食型)

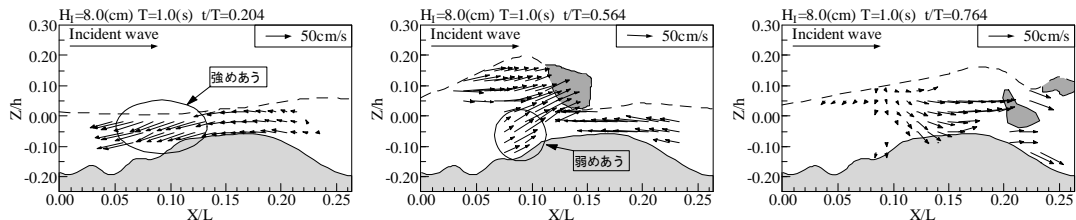


図 4a PIV の砂の速度(侵食型) 図 4b PIV の砂の速度(侵食型) 図 4c PIV の砂の速度(侵食型)

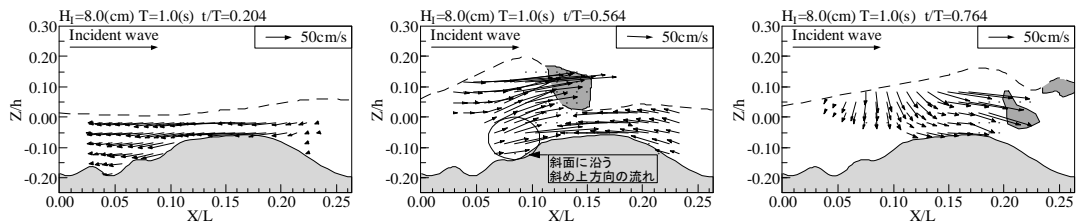


図 5a PIV の水の水の速度(侵食型) 図 5b PIV の水の水の速度(侵食型) 図 5c PIV の水の水の速度(侵食型)

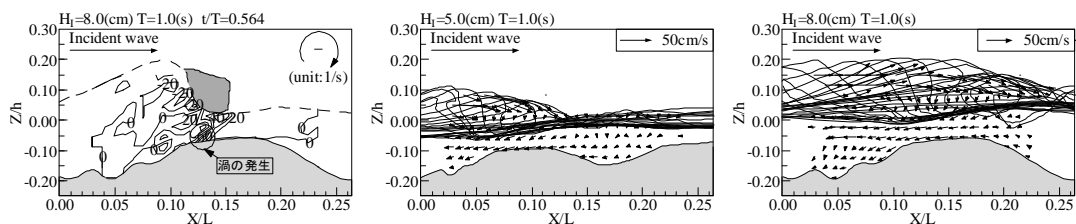


図 6 渦度(侵食型:砕波時) 図 7 平均した砂の速度(中間型) 図 8 平均した砂の速度(侵食型)

方向の流速と砂が沈降しようとする下向きの流速が弱めあうためであると考えられる。
 (4) 1 周期平均した砂の移動速度は中間型と侵食型で差異があり、侵食型は中間型よりもほぼ全域で速度が大きく、波頂部ではその傾向が顕著となる(図 7, 8)。砂の移動方向は、両平衡断面において波頂部周辺では岸方向、波谷レベル以深では沖方向となることが判った。

(5) 砕波瞬時の浮遊砂濃度の分布は、両ケースにおいて、砕波点から約 0.15 波長沖側にわたる領域で高濃度の砂が浮遊した(図-9、

10 図中の○:水位, ●:せん断力)。ケース 1 では、高濃度域での底面せん断力が、他の領域と比較して大きい傾向が顕著である。

(6) 底面せん断力と浮遊砂濃度の時間変化は、水位変動に同調するように変化し、せん断力を水の密度で除した摩擦速度の 2 乗の物理量のピークと浮遊砂濃度のピークは、水位のピークよりも、それぞれ、位相差 $t/T=0.06, 0.1$ の遅れで現れることが判った。これより、水位変動に伴いせん断力が発生し、せん断力の発生が砂の浮遊に影響するという一連の過程が判る。

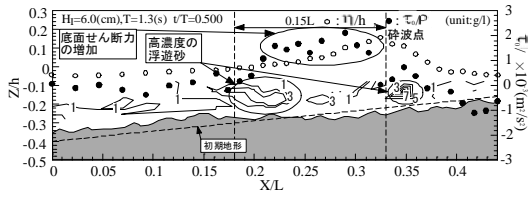


図-9 砕波時のせん断力と濃度

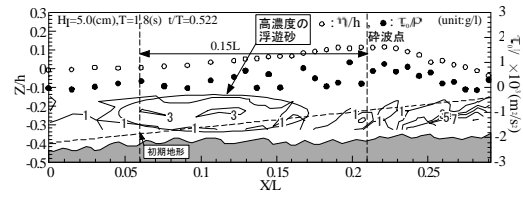


図-10 砕波時のせん断力と濃度

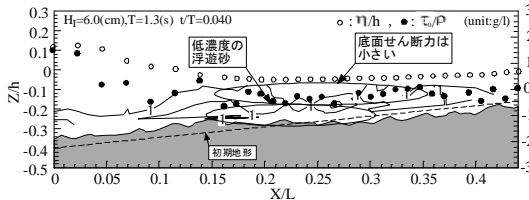


図-11 戻り流れ発生時のせん断力と濃度

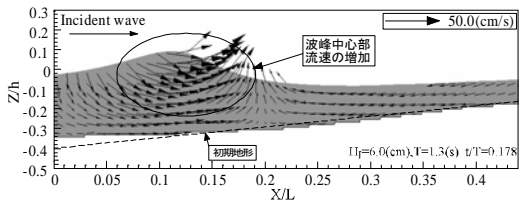


図-12 波峰中心部の流速の増加

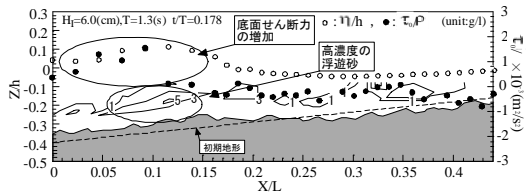


図-13 せん断力の増加と高濃度域

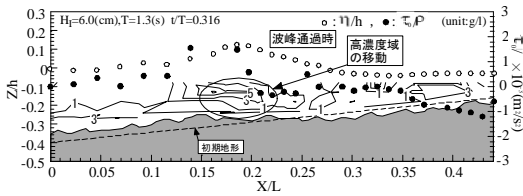


図-14 せん断力の増加と高濃度域の移動

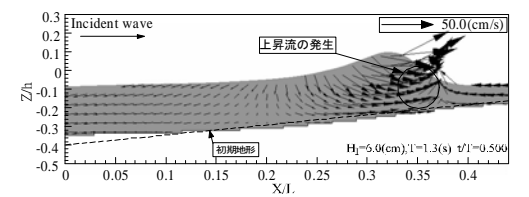


図-15 砕波時の波内部の流速分布

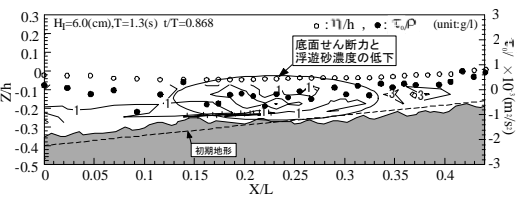


図-16 砕波後のせん断力と濃度の低下

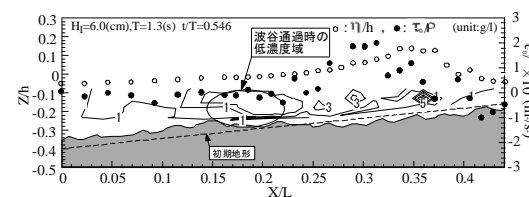


図-17 波谷通過時のせん断力と濃度

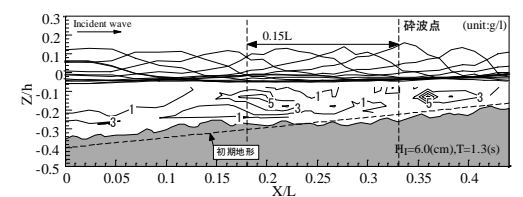


図-18 1 周期平均した浮遊砂濃度

(7) 浮遊砂濃度の時空間分布は、底面せん断力と波内部の流れに依存することが判明した。すなわち、波前脚部より岸側で戻り流れが生じている時刻では、浮遊砂濃度も低濃度である(図-11)。波が伝播し、波峰中心部での流速の増加に伴い(図-12)、同領域の底面せん断力が増加し、高濃度の砂が浮遊する(図-13)。この高濃度域は、波峰中心部での流速場と同方向に浮遊砂雲を形成しながら、移流・拡大する(図-14)。その後、碎波時には流速が増加し(図-15)、底面せん断力も最大となり、波前脚部で生じる上昇流により浮遊砂の高濃度域が出現する。碎波後、底面せん断力は小さくなり浮遊砂濃度も低下する(図-16)。また、浮遊砂濃度は、波峰通過時のせん断力の増加に伴い高濃度となるが(図-16)、波谷通過時にはせん断力が低下し低濃度となる(図-17)。

(8) 1周期平均した浮遊砂濃度の分布は、両ケースにおいて底質流動層の存在が確認できた(図-18)。この底質流動層は碎波点から約0.15波長沖側の領域で高濃度となる。高濃度の底質流動層の出現範囲には入射波長が支配的であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

(1) 鷺見浩一・高江俊之(2008)：碎波帯周辺での浮遊砂の濃度分布に関する研究，土木学会 海洋開発論文集，査読有，Vol.24，pp.1213-1218.

(2) 鷺見浩一・高江俊之(2008)：碎波帯周辺域での底面せん断力と浮遊砂濃度の関係に関する研究，土木学会 海岸工学論文集，査読有，第55巻，pp.616-620.

(3) 鷺見浩一・野崎猛盛・高江俊之(2007)：海浜の平衡断面の相違による底質の移動速度に関する研究，土木学会 海洋開発論文集，査読有，Vol.23，pp.1189-1193.

(4) 鷺見浩一・植松達也・板垣健吾(2007)：碎波形式の相違による気体の圧力分布に関する研究，土木学会 海岸工学論文集，査読有，第54巻，pp.61-65.

(5) 鷺見浩一・高江俊之・野崎猛盛(2007)：海浜の平衡断面の相違による浮遊砂の移動速度と水粒子速度の関係，土木学会 海岸工学論文集，査読有，第54巻，pp.441-445.

[学会発表] (計4件)

(1) 高江俊之・鷺見浩一(2008)：碎波帯周辺

域での底面せん断力と浮遊砂濃度の関係に関する研究，土木学会第63回年次学術講演会(平成20年9月10日，宮城県：東北大学)，pp.317-318.

(2) 板垣健吾・鷺見浩一(2007)：碎波に伴う気相域の圧力変動に関する研究，土木学会第62回年次学術講演会(平成19年9月13日，広島県：広島大学)，pp.519-520.

(3) 高江俊之・鷺見浩一(2007)：固液二相流における碎波時の水粒子速度の時空間分布，土木学会第62回年次学術講演会(平成19年9月13日，広島県：広島大学)，pp.521-522.

(4) 野崎猛盛・鷺見浩一(2007)：碎波形式の相違による底質の移動速度に関する研究，土木学会第62回年次学術講演会(平成19年9月13日，広島県：広島大学)，pp.523-524.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鷺見浩一 (SUMI HIROKAZU)

金沢工業大学 環境・建築学部 准教授

研究者番号：10314048

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し