

## 砕波乱流による漂砂輸送を考慮した高精度漂砂モデルの開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）  
 研究期間：平成 22 年度～平成 24 年度  
 担当チーム：寒地水圏研究グループ（寒冷沿岸域）  
 研究担当者：山本泰司、大塚淳一

### 【要旨】

二次元断面水路において移動床実験を行い、砕波帯の流速、乱れエネルギー、浮遊砂濃度、浮遊砂速度の時空間変動を計測した。波エネルギーフラックスの減衰率から浮遊砂巻き上げ係数を評価した場合、現地観測・大規模実験の結果をから得られた値よりも 100 倍以上大きな値となる。この結果は小規模実験と現地・大規模実験では底質の浮上可能な相対位置が異なること、つまり、巻き上げ過程のスケール効果が大いことを示唆する。

また、時間平均値で見た場合、底面近傍の乱れエネルギーの増加に伴い浮遊砂濃度も上昇することが明らかとなり、砕波帯における浮遊砂濃度の推定には乱れを陽的に与えた浮遊砂濃度の鉛直フラックスを求めることが必要となる。

キーワード：浮遊砂、砕波、乱れ、Ultrasonic Velocity Profiler (UVP)、Particle Image Velocimetry (PIV)

### 1. はじめに

波浪の砕波（図-1 参照）によって海底から大量に巻き上がる底質は波・流れによる輸送・拡散過程を経由して、沿岸域の地形変化に大きく影響を与えることが指摘されている。したがって、沿岸域の地形変化量を精度良く予測するためには、砕波帯における底質の浮遊・拡散特性を定量的に評価することが不可欠といえる。しかしながら、砕波帯では大量の気泡と底質が混在する極めて複雑な混相乱流場が形成されるため、流体・底質各相の物理量を計測することが難しく、いまだ砕波帯での底質の輸送特性に関しては不明な点が多いのが現状である。

本研究では、移動床を設置した造波水路において水理実験を行い、砕波帯における底質の輸送特性を定量的に評価した結果について報告する。

### 2. 砕波帯における底質巻き上げ率の評価

#### 2. 1 実験条件と実験方法

実験条件を表-1 に示す。本実験では Case1 から Case3 の砕波形式がそれぞれ Spilling (S)、Spilling-Plunging (S-P、spilling と plunging の中間形式)、Plunging (P)となるように波高、周期を設定した。

実験は長さ 24.0 m、幅 0.4 m、高さ 1.0 m の二次元造波水路の一端に勾配 1/20 の斜面を設置して行われた（図-2 参照）。汀線から沖側 3.0 m の区間に深さ 10 cm のサンドピットを設置し、細粒分を除去した中央粒径 0.20 mm の珪砂をピット内に敷き均した状態で造波した。計測項目は浮遊砂濃度、浮遊砂速度および水位変動量であり、それぞれ光学式濁度計、Ultrasonic Velocity Profiler (UVP)、容量式波高計を使用して計測した。本実験では波高計を



図-1 沿岸域で生じる波浪の砕波の様子

表-1 実験条件

実験 ケース	$T$	$H_0$	$H_b$	$h_b$	勾配 -	砕波 形式	Surf similarity parameter
	(s)	(cm)	(cm)	(cm)			
Case1	1.4	9.7	12.5	13.8	1/20	S	0.247
Case2	1.8	10.1	14.7	15.0	1/20	S-P	0.293
Case3	2.0	8.9	13.7	14.1	1/20	P	0.337

( $T$ : 周期,  $H_0$ : 沖波波高,  $H_b$ : 砕波波高,  $h_b$ : 砕波水深, S: 崩れ波砕波, S-P: 崩れ巻き波砕波, P: 巻き波砕波)

造波板前面から岸側に 5.8 m と 10.6 m 離れた位置および浮遊砂濃度と速度の計測点に設置した。計測点に設置した濁度計、UVP、波高計は造波板前面から岸側 10.6 m の位置に設置した波高計が 1 波目を検知した時に出力される TTL トリガー信号によって同時に起動した。浮遊砂の水平速度を計測する際には超音波トランスデューサーを水路内に水平に設置し、超音波パルスを沖側から計測点に向かって照射した。一方、鉛直速度を計測する際には超音波トランスデューサーを鉛直下向きに設置し、超音波パルスを水面方向から計測点に向かって照射した。

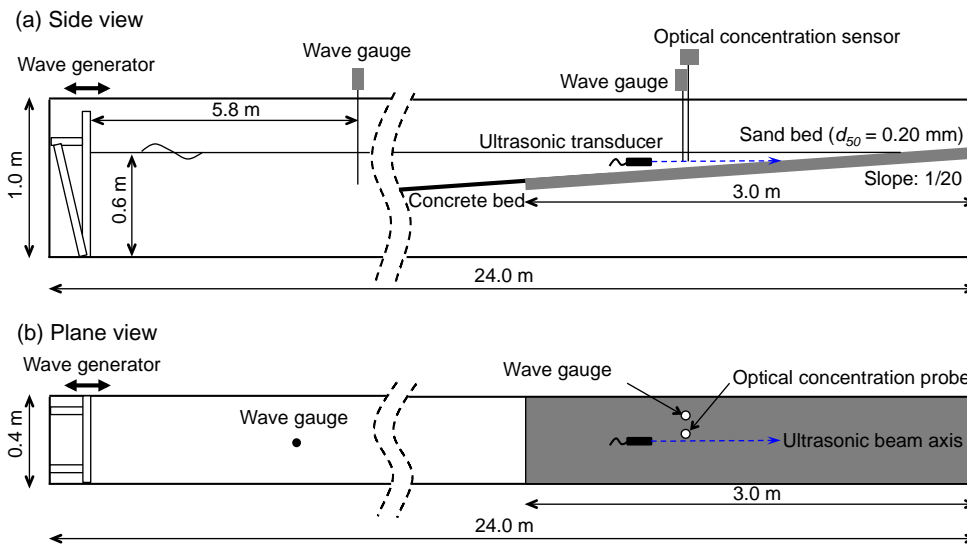


図-2 実験水路の(a)断面図と(b)平面図

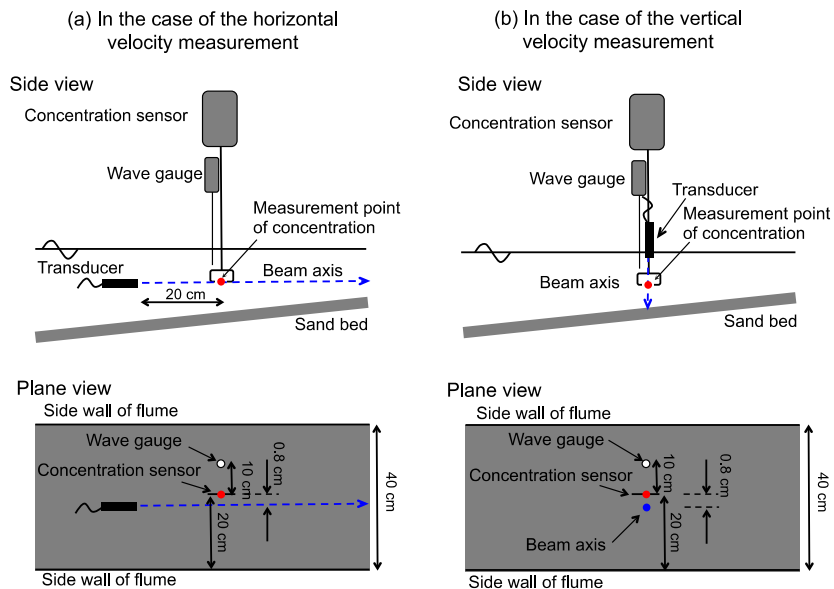


図-3 各計測器の配置図

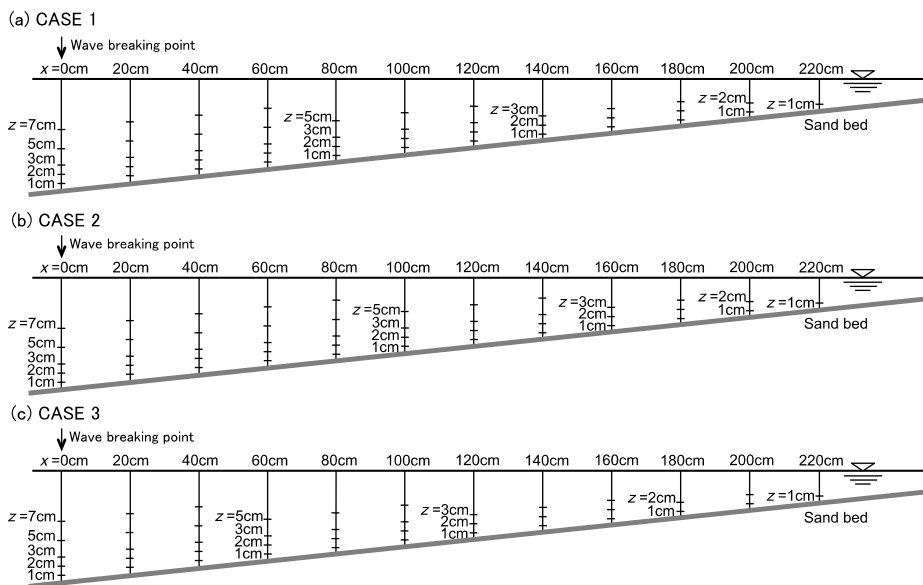


図-4 各ケースの計測点 (x; 砕波点からの距離, z; 底面からの距離)

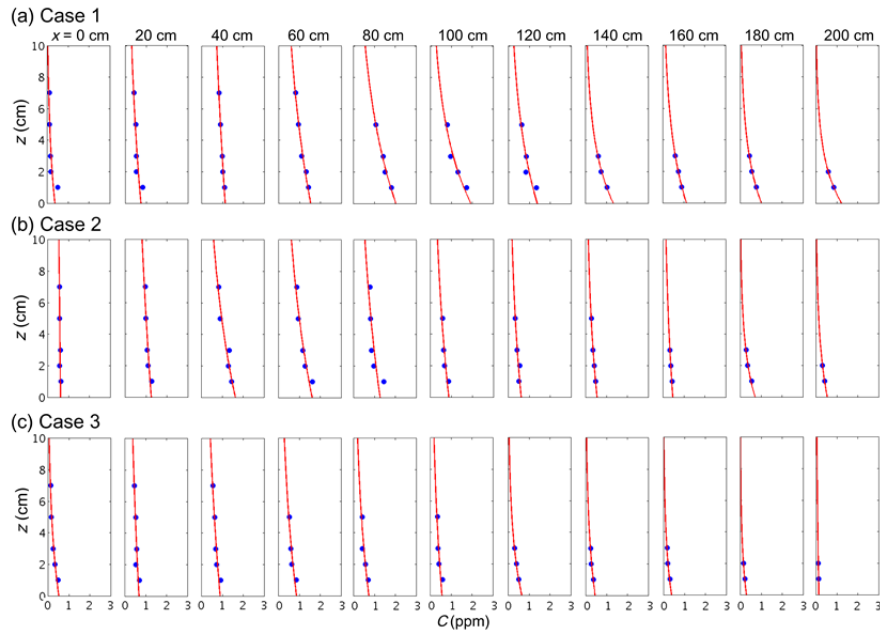


図5 各ケース、各計測点における浮遊砂濃度の時間平均値

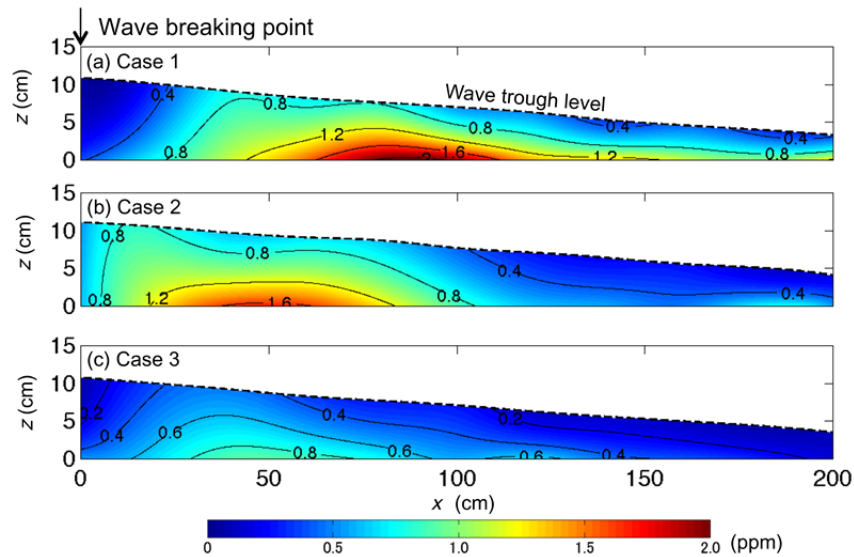


図6 スプライン関数で空間的に補間された浮遊砂濃度の時間平均値

図-3 に計測点における各計測器の配置図を示す。濁度計は水路中央に設置し、波高計は濁度計から水路横断方向に 10 cm 離れた位置に設置した。浮遊砂速度を計測する際には超音波パルスが濁度計と干渉するのを防ぐため、濁度計センサーと超音波放射軸中心の水平距離が 8 mm となるように超音波トランスデューサーを設置した。各計測器のサンプリング周波数は 100 Hz、UVP による速度計測の空間分解能は 1.48 mm に設定した。計測点は図-4 に示すように砕波帯の底面近傍からトラフレベルに設定し、各計測点において 10 回の試行計測を行った。

砕波に伴う混入気泡が濁度計センサー部および超音波

放射軸上を通過する際にはスパイク状の波形が出力される。このスパイク状波形の除去・補正については佐藤ら (1989) の方法を適用した。

## 2. 2 砕波帯の浮遊砂に関する時間平均諸量

図-5 は各ケース、各計測点における浮遊砂濃度の時間平均値を示している。なお、図中の実線は実験で得られた浮遊砂濃度の鉛直分布を以下の式で近似したものである。

$$c(z) = c_0 \exp(az) \quad (1)$$

ここで、 $z$  は底面からの距離、 $c_0$  は底面濃度、 $a$  は濃度減少率を表している。また、図-6 は図-5 の実線の値をさ

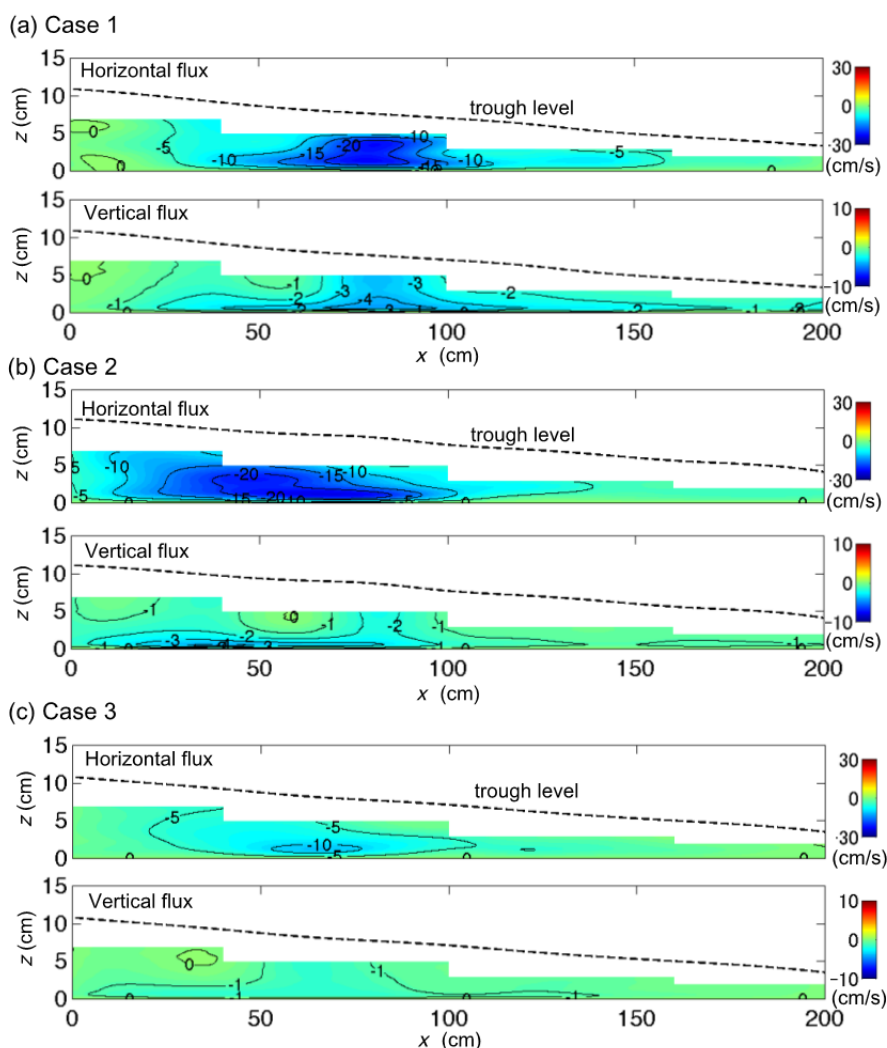


図-7 浮遊砂の水平・鉛直フラックスの時間平均値

らにスプライン関数を用いて水平方向 ( $x$  方向) に補間した結果を示している。砕波帯の浮遊砂濃度は砕波形式によって大きく異なることが確認できる。特に巻き波砕波 (Case1) の最大濃度は崩れ波砕波 (Case3) よりも倍以上の値を示している。また、各ケースとも最も高い濃度を示すのは、砕波点からやや岸側 ( $x = 50 \sim 100$  cm 程度) の乱れが最も卓越する遷移領域であることがわかる。ここで、遷移領域とは砕波ジェットが水面に突入した後、波浪が進行する過程において大規模渦が生成・発達する領域である。また、遷移領域より岸側で波浪が段波状に進行する領域をボア領域と呼ぶ。このボア領域では乱れのスケールの低下に伴い浮遊砂濃度も徐々に減少する様子が確認できる。なお、乱れと浮遊砂濃度との関係については、次章で詳細に説明する。

図-7 は浮遊砂の水平・鉛直フラックスの時間平均値を示している。なお、フラックスを求める際には、各計測点において UVP で計測された浮遊砂の水平・鉛直速

度の時間平均値を図-5、図-6 と同様な方法で近似、補間した値を用いている。各ケースとも、水平・鉛直フラックスは負の値となり、時間平均値で見た場合、浮遊砂は岸から沖方向、水面から底面方向に輸送されていることがわかる。特に浮遊砂濃度が高く、さらに、波峰通過後に沖向きに戻り流れが発達する遷移領域では、各ケースともその傾向が顕著となる。

### 2. 3 波エネルギーフラックス減衰率と巻き上げ係数の関係

合田 (2010) は現地観測と大規模実験データをもとに、浮遊砂の巻き上げ係数を全水深の時間平均濃度と波エネルギーフラックスの減衰率から評価している。ここでは、本実験結果をもとに、合田 (2010) が示す方法によって浮遊砂の巻き上げ係数を求め、現地観測・大規模実験で得られた値との比較を試みる。以下に合田 (2010) が示す巻き上げ係数の求め方について説明する。

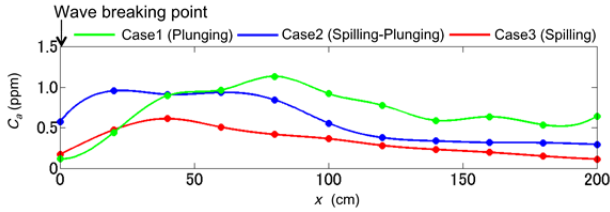


図-8 浮遊砂濃度の時間・水深平均値の岸沖分布 (スプライン関数により 1 mm 間隔で補間した結果)

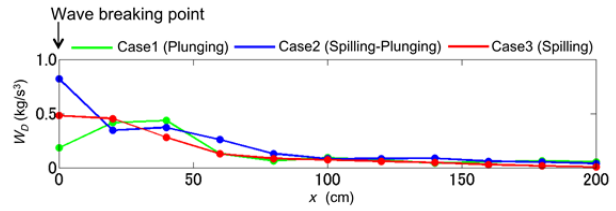


図-10 波エネルギーフラックス減衰率の岸沖分布

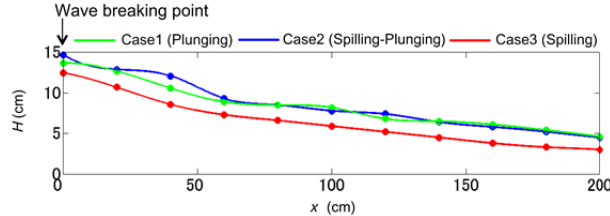


図-9 波高の岸沖分布 (スプライン関数により 1 mm 間隔で補間した結果)

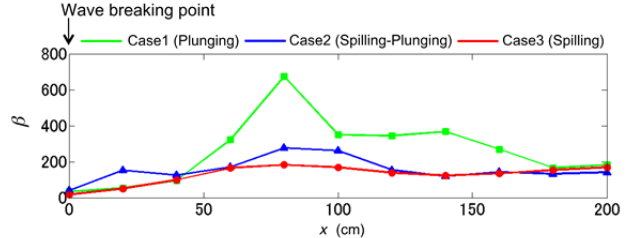


図-11 巻き上げ係数の岸沖分布

浮遊砂濃度を一定に保つための仕事量は以下の式で表すことができる。

$$dJ_s = \int_0^h (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot C_a \cdot w_f dt dz \quad (2)$$

ここで、 $h$  は水深、 $\rho_s$  は砂の密度、 $\rho_w$  は水の密度、 $g$  は重力加速度、 $C_a$  は全水深の時間平均濃度、 $w_f$  は砂の沈降速度を表している。一方、波のエネルギーフラックス減衰率  $W_D$  は以下の式で求められる。

$$W_D = \frac{1}{8} \cdot \rho_w \cdot g \cdot \frac{\partial}{\partial x} [H^2 \cdot c_g \cos \theta] \quad (3)$$

ここで、 $H$  は波高、 $c_g$  は波の群速度、 $\theta$  は波向きを表す。本研究では波の群速度  $c_g$  を  $\sqrt{gh}$  で与えている。波エネルギーフラックス減衰率  $W_D$  の一部が浮遊砂濃度を一定に保つために費やされると仮定した場合、以下の式が得られる。

$$\frac{dJ_s}{dt} = \beta \cdot W_D \quad (4)$$

ここで、 $\beta$  は浮遊砂巻き上げ係数を表す。この式に式(2)、式(3)を代入すると巻き上げ係数  $\beta$  は最終的に以下の式で求めることができる。

$$\beta = \frac{C_a \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot w_f \cdot h}{W_D} \quad (5)$$

本研究では、 $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ 、 $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$  とした。また、 $C_a$  は式(1)を底面から水面まで積分することにより以下の式で求めることができる。

$$C_a = \frac{c_0}{ah} (\exp(ah) - 1) \quad (6)$$

この式から得られた  $C_a$  をスプライン関数を用いて補間

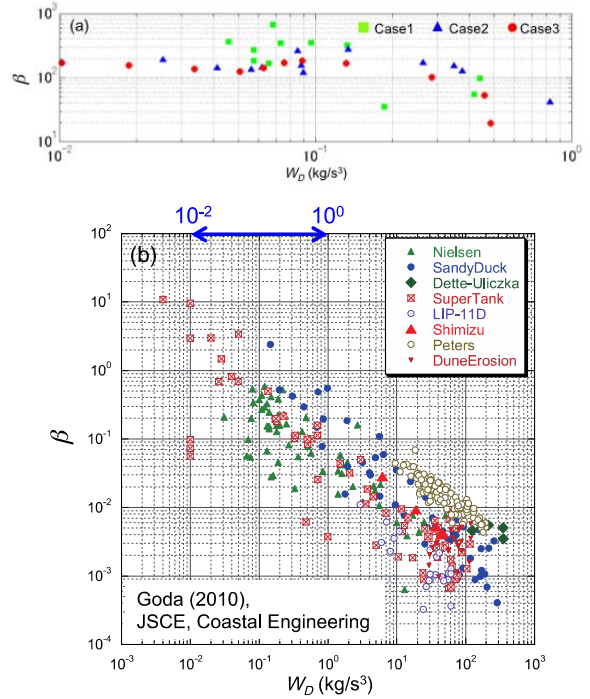


図-12  $W_D$  と  $\beta$  の関係 (a) : 本実験結果、(b) : 大規模実験、現地観測結果)

した結果を図-8 に示す。 $W_D$  については、図-9 に示す各計測点で得られた波高データから求めた。なお、高速度ビデオカメラで静水中の砂の沈降過程を撮影し画像を Particle Image Velocimetry (PIV) で解析した結果、沈降速度は  $2.48 \text{ cm/s}$  であった (水面から水深  $20 \text{ cm}$  までの平均値)。巻き上げ係数  $\beta$  を求める際にはこの値を適用した。

図-10 は波エネルギーフラックス減衰率  $W_D$  の岸沖分布を示している。 $W_D$  は各ケースとも砕波点付近で比較的大きな値を示す。また、砕波点からの距離の増加に伴



い値は徐々に低下し、砕波点から 100 cm より岸側のボア領域では各ケースとも値はほとんど変化しない。砕波点での値は砕波形式で大きく異なるが、遷移領域付近ではそれほど大きな差はみられない。

図-11 は浮遊砂巻き上げ係数 $\beta$ の岸沖分布を示している。 $\beta$ は各ケースとも砕波点からの距離の増加に伴って増加し、遷移領域で最大値を示す。また、砕波形式による差も大きい。遷移領域で最も強い乱れを生成する巻き波砕波 (Case1) では、他のケースよりも 3 倍程度高い値を示している。この結果と図-10 で示した結果より、砕波による砂の巻き上げは波エネルギーフラックスの減衰率のみでは適切に評価することが難しく、砕波による乱れの影響を考慮することが重要であるといえる。

図-12 は  $W_D$  と  $\beta$  の関係を示している (a) : 本実験結果、(b) : 大規模実験、現地観測データから得られた結果)。両図の  $10^2 \leq W_D \leq 10^3$  で比較した場合、本実験結果 (小規模実験) の  $\beta$  の範囲は約 20~700 であるのに対して、大規模データでは約 0.004~10 に分布している。この結果は小規模実験と現地・大規模実験では底質の浮上可能な相対位置が異なること、つまり、巻き上げ過程のスケール効果が大きいことを示唆している。

### 3. 砕波乱流と浮遊砂濃度の関係評価

#### 3. 1 実験条件と実験方法

本実験は前章図-2 で説明した造波水路で行い、実験条件も前章表-1 と同一とした。座標系については砕波点を原点に岸方向を  $x$ 、水路側壁の一端から水路横断方向を  $y$ 、静水面から鉛直上向きを  $z$  と定義した ( $z$  軸の定義が前章の実験と異なることに注意)。

各ケースの砕波点から汀線近傍までの流速場を高速ビデオカメラを用いて撮影した。撮影範囲は底面を含む水平方向 12 cm×鉛直方向 6 cm であり、この範囲を図-13 に示すように砕波点から岸方向へ 10 cm ずつ移動して撮影した。撮影条件はフレームレート 250 fps、シャッター速度  $1/1500$  frame、解像度  $1200 \times 600$  pixel に設定した。撮影を行う際には、赤色蛍光塗料で着色した比重 1.02 の中立粒子を造波水路内に投入し、撮影範囲中心から沖側に 30 cm 離れた位置から緑色レーザーシート (波長 532 nm) を照射した。レーザーシートが照射された範囲では中立粒子に着色された蛍光塗料が励起して赤色に光り (励起波長 630 以上)、浮遊砂と混入気泡は砂粒子表面と気泡界面からレーザー光を反射するため緑色に光る。本実験では高速ビデオカメラのレンズ前面に透過波長 630 nm 以上の光学フィルターを設置することにより、水粒子 (赤色中立粒子) を浮遊砂および混入気泡と

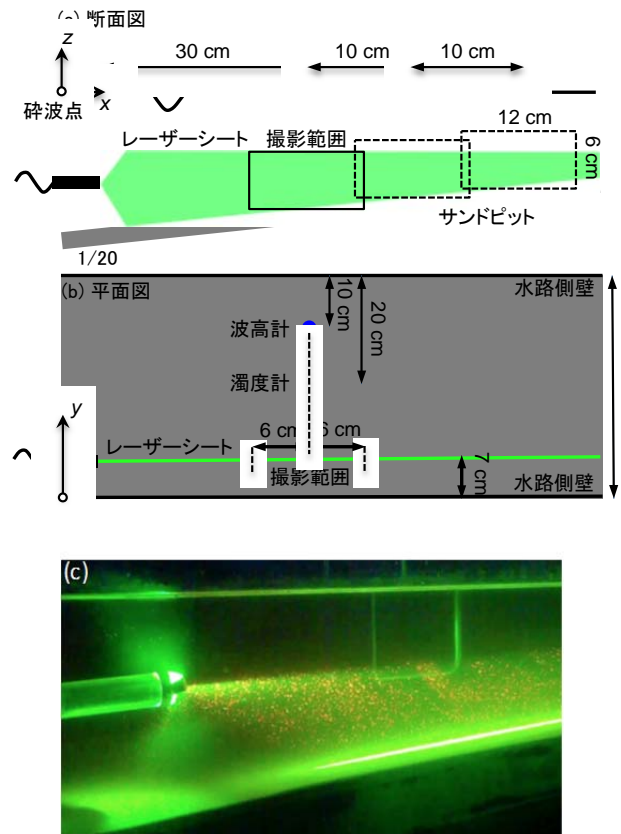


図-13 実験装置の配置図 (a) : 断面図、(b) : 平面図、(c) : レーザーシート照射の様子、赤い粒は蛍光中立粒子)

区別して撮影した。撮影後は各画像に対して FFT 相互相関法による PIV 解析を行った。本研究で使用した PIV プログラムでは、検査領域 31 pixel、探査領域 73 pixel、検査領域の移動距離 15 pixel と設定し、撮影範囲の瞬時流速ベクトルを空間分解能 1.5 mm で求めた。なお、レーザーシートと水路側壁の距離が増加するとシート前面を通過する浮遊砂量と混入気泡量が増加するため、高速度ビデオカメラでシート面上の水粒子を捉えることが困難となる。そこで予備実験を行い、シート面上の水粒子を撮影可能なシートと側壁間の最大距離を求め、その距離を 7 cm に設定した (図-13 参照)。撮影時に造波板前面から岸側 5.8 m (A 点) と 10.6 m (B 点) および撮影範囲の中心に容量式波高計を設置し、水位変動量をサンプリング周波数 100 Hz で計測した。高速度ビデオカメラと撮影位置に設置した波高計は B 点に設置した波高計が 1 波目を検知した時に出力される TTL トリガー信号によって同時に起動するよう設定した。

流速場と水位変動量の計測は各位置で 45 回行った。以下に示す実験結果では、これらの計測結果のアンサンブル平均値をベースに流速場の時空間変動特性と底質の浮遊・輸送特性およびこれらの関係について説明する。

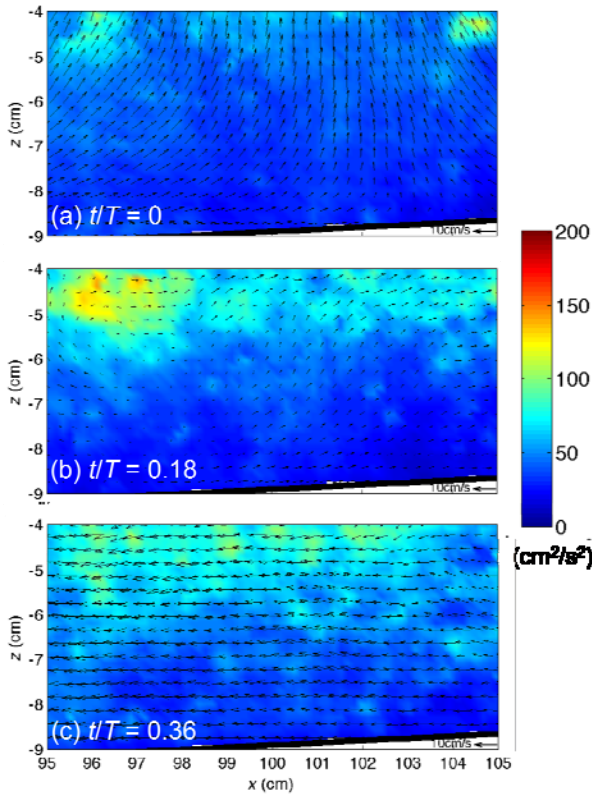


図-14 Case1,  $x = 100$  cm (遷移領域) における流速ベクトルと乱れエネルギーの空間分布の時間変化 (全ベクトルの  $1/3$  を表示)

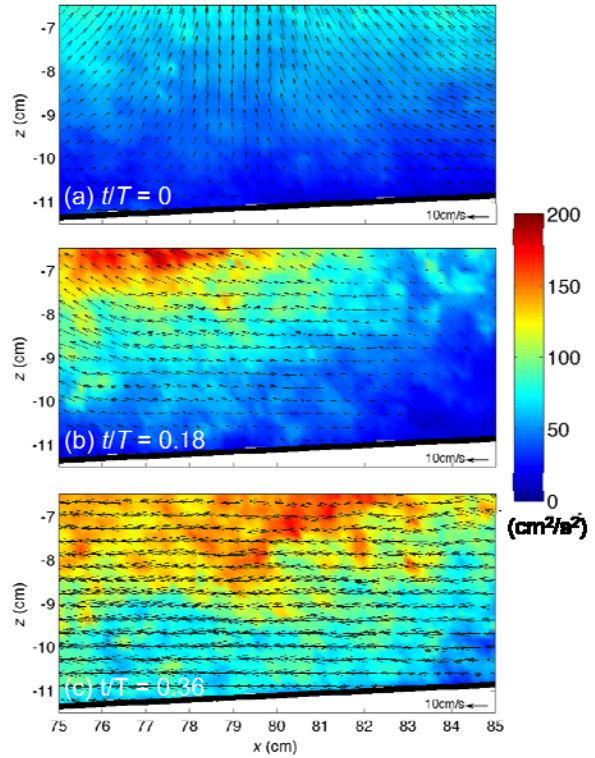


図-15 Case2,  $x = 80$  cm (遷移領域) における図-14 と同様の計測結果

### 3. 2 砕波帯の流速と乱れの時空間変動特性

図-14, 図-15, 図-16 は各ケースの遷移領域における砕波クレスト通過後の流速ベクトルと乱れエネルギーの空間分布の時間変化を示している。個々の流速ベクトルは PIV 解析で得られた全 80 個の流速データから異常値を除去し、残ったデータを有効データとしてアンサンブル平均したものである。本章で示す全ての流速は有効データ数 30 個以上でアンサンブル平均した値である。乱れエネルギー  $k$  は  $k = (\overline{u'^2} + \overline{v'^2})/2$ ,  $u' = u - \bar{u}$ ,  $v' = v - \bar{v}$  で求められ、 $u, v$ 、上部バーはそれぞれ瞬時水平流速、瞬時鉛直流速、アンサンブル平均を表している。各ケースの遷移領域では砕波クレスト通過後、水平ローラー渦と斜向渦の通過によって生じたと考えられる乱れエネルギーが水面から底面方向に分布する (各図の(b))。その後、戻り流れが発達する位相で比較的強い乱れエネルギーが岸側から輸送される (各図の(c))。この位相で現れる乱れは計測範囲よりも岸側で生じた乱れがその強さを比較的保ったまま戻り流れによって沖側へ輸送されたものと考えられる。その後、岸側からの乱れの輸送はその強さを徐々に弱めながら次の波が来襲する直前まで継続する。戻り流れによって輸送される乱れは底質の巻き上げに寄与する一方、岸側から継続的に輸

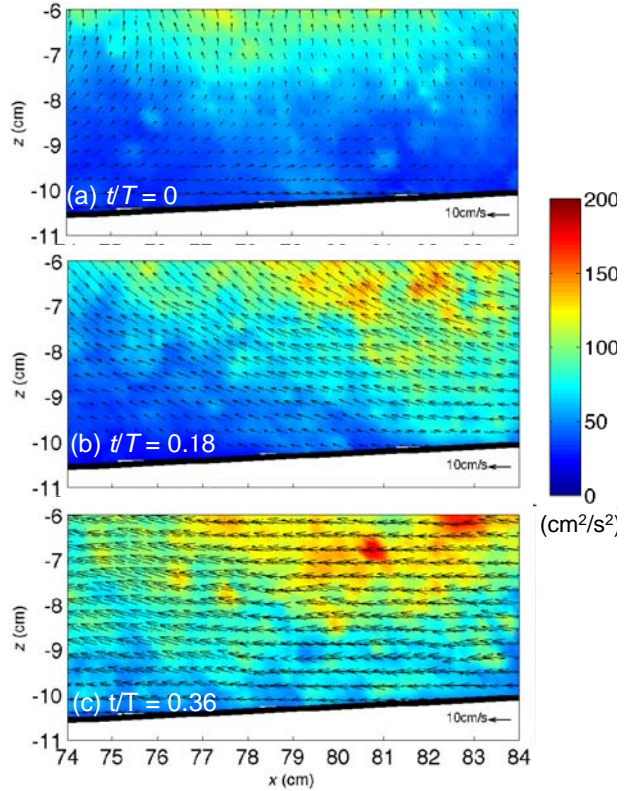


図-16 Case3,  $x = 80$  cm (遷移領域) における図-14 と同様の計測結果

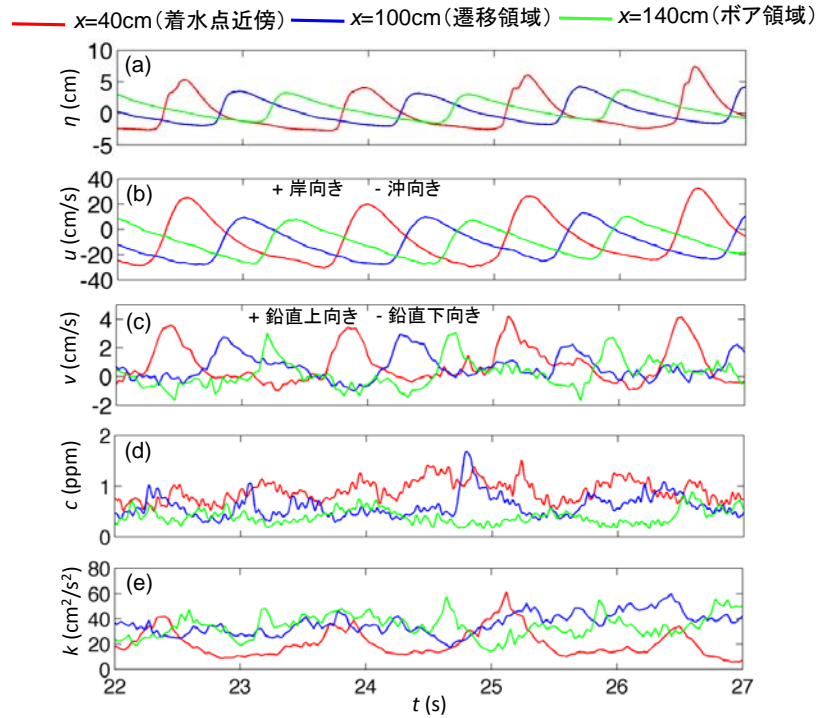


図-17 Case1 の(a)水位変動と底面上方 1 cm における(b)水平流速, (c)鉛直流速, (d)浮遊砂濃度, (e)乱れエネルギー, (f)レイノルズ応力の絶対値 (黒;  $x=40\text{cm}$ , 着水点近傍, 点線;  $x=100\text{cm}$ , 遷移領域, グレー;  $x=140\text{cm}$ , ポア領域)

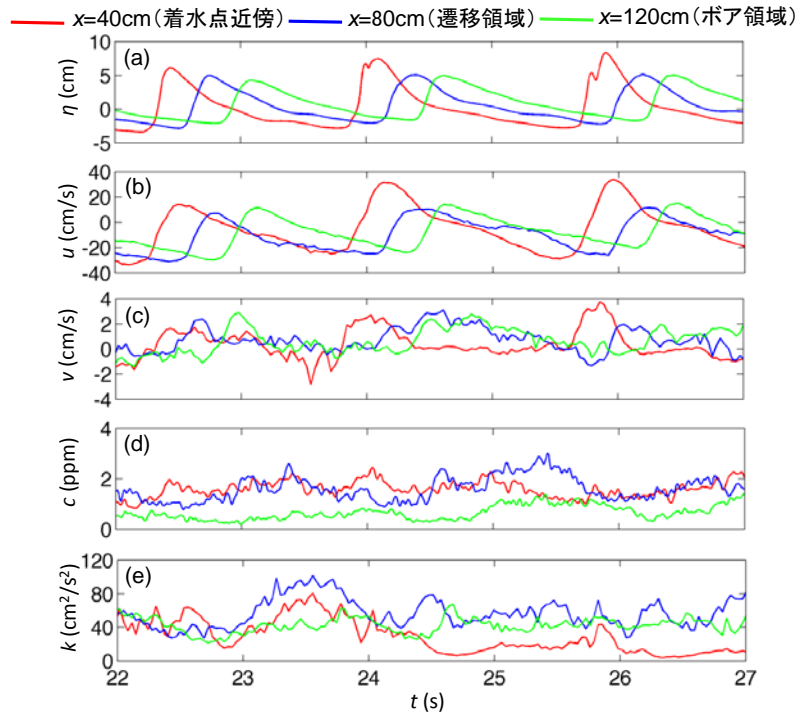


図-18 Case2,  $x=40\text{cm}$  (着水点近傍),  $x=80\text{cm}$  (遷移領域),  $x=120\text{cm}$  (ポア領域) における図-5 と同様の測定値

送される乱れは巻き上がった底質が容易に沈降するのを抑制し、底質を浮遊砂として広範囲に輸送する役割を担うと推察される。また、Case1 (Spilling)では水面近傍に比較的強い乱れが分布する傾向が強く、Case2 (Spilling-Plunging)と Case3 (Plunging)ではCase1 よりもさらに深い領

域まで強い乱れが到達する、なお、紙面の都合により図は示さないが、各ケースのポア領域についても同様な解析を行っている。ポア領域においても遷移領域で得られた結果と同様に、砕波クレスト通過後、乱れエネルギーが水面から底面方向に分布し、さらに、戻り流れが卓越



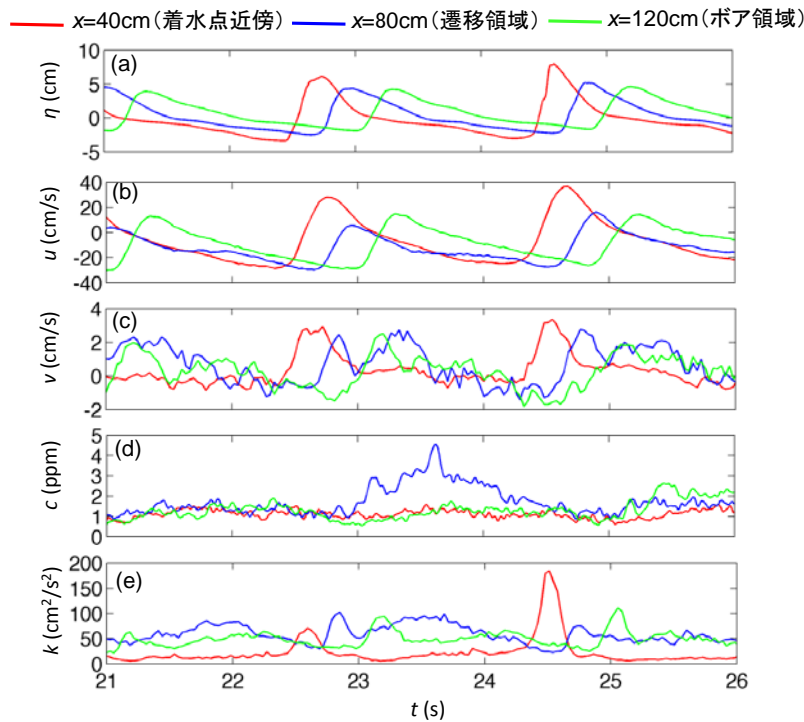


図-19 Case3,  $x=40\text{cm}$  (着水点近傍),  $x=80\text{cm}$  (遷移領域),  $x=120\text{cm}$  (ボア領域) における図-17と同様の測定値

する位相において計測範囲よりも岸側から乱れが輸送される。ただし、遷移領域からボア領域に波浪が進行する過程で渦のスケールが減少するため、ボア領域で確認される乱れエネルギーの強さは遷移領域よりも小さい値を示す。

### 3.3 底面近傍の乱れと浮遊砂濃度の時間変化

図-17, 図-18, 図-19 はそれぞれ、Case1、Case2、Case3 の(a)水位変動と底面上方 1 cm における(b)水平流速、(c)鉛直流速、(d)浮遊砂速度、(e)乱れエネルギーを示している。なお、(c)(d)(e)は各図において縦軸のスケールを変えて表示している。Case1 と Case2 の遷移領域 (青線) における浮遊砂濃度、乱れエネルギーをそれぞれ比較した場合、Case2は Case1 よりも 1.5 倍程度高い値を示している。一方、水平流速と鉛直流速を比較した場合、両ケースで大きな差は見られない。この結果は従来、実験や現地観測の様子から指摘されていたように、砕波帯における底質の巻き上げには乱れが重要な役割を果たしていること、また、乱れの強さには砕波形式が深く関与することを示唆している。各ケースにおける着水点近傍 (赤線) の乱れエネルギーは遷移領域とボア領域よりも小さい値を示すのに対して、浮遊砂濃度は遷移領域とボア領域と同等もしくはそれ以上の値を示している。着水点近傍では水深が深く砕波ジェット着水に伴い生成される渦は底面まで容易に到達できないため、渦によって生じる浮遊砂量は比較的少ないといえる。したがって着水点近傍で

は、戻り流れによって岸側から運ばれた浮遊砂が高い濃度を維持していると考えられる。

### 3.4 時間平均の乱れと浮遊砂濃度との関係

図-20、図-21、図-22 はそれぞれ、Case1、Case2、Case3 における(a)浮遊砂濃度、(b)水平・鉛直流速、(c)乱れエネルギーの時間平均値 (3 周期分の時間平均値) の空間分布を示している。なお、浮遊砂濃度の空間分布は各計測点における時間平均値を空間的にスプライン補間した結果を示している。ここでは底質の巻き上げに着目するため、流速と乱れエネルギーは底面近傍 ( $d=1\text{cm}$ ;  $d$ : 底面からの距離) の値で評価する。各ケースとも、底面近傍の浮遊砂濃度が高い位置で乱れエネルギーと冲向きの流速 (負の水平流速) が増加する傾向が確認できる。底面近傍の浮遊砂濃度の最大値は Case1 よりも Case2 と Case3 のほうが高い値を示す一方、最大濃度を示す位置の水平・鉛直流速に大きな差は見られない。また、乱れエネルギーは Case1 よりも Case2 と Case3 のほうが高い値を示している。この結果はこれまで説明したように、底質の巻き上げには乱れの影響が強く関与していること、さらに、砕波帯における浮遊砂濃度の推定には乱れエネルギーを陽的に与えた浮遊砂濃度の鉛直フラックスが必要であることを示している。

図-23 は各ケース、各計測位置における底面近傍 ( $d/h=0.05$ ;  $h$ : 水深) の乱れエネルギーと浮遊砂濃度を求め、両者の関係をプロットしたものである。ややバラツキが

あるものの、底面近傍では乱れエネルギーの増加に伴い浮遊砂濃度も増加する傾向が確認できる。なお、浮遊砂濃度は乱れエネルギーの増加とともに上昇を続けるのではなく、最終的に乱れエネルギーによる底質の巻き上げと浮遊砂の沈降が平衡する濃度となる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた主要な研究成果を以下に示す。

- 1) 断面水路内で移動床実験を行い、光学式濁度計とUVPを用いて砕波帯の浮遊砂濃度と浮遊砂速度の鉛直・岸沖分布を計測した。
- 2) 波峰通過時に水平・鉛直速度が上昇し、底面近傍では浮遊砂濃度が増加する。このとき、乱れエネルギーおよび速度と濃度の乱れ成分の相関値も上昇する。
- 3) 時間平均値で評価した場合、水平フラックスは戻り流れの影響によって沖向きとなり、鉛直フラックスは波動運動および乱れによる巻き上げ効果よりも自重による沈降の影響が大きいため鉛直下向きとなる。
- 4) 合田 (2010) が示す浮遊砂巻き上げ係数を計算した結果、現地観測・大規模実験から得られた値よりもかなり大きな値を示すことが確認された。
- 5) PIV と光学式濁度計を用いて砕波帯の流速場と浮遊砂濃度の計測を行い、計測結果のアンサンブル平均値をベースに砕波乱流場の浮遊砂の輸送過程を評価した。
- 6) 戻り流れの発達に伴い岸側から比較的強い乱れエネルギーが輸送される。戻り流れによって輸送される乱れエネルギーは底質の巻き上げに大きく寄与する。
- 7) クレスト通過後、乱れが発達する時間スケールは砕波形式と水深によって大きく異なる。また、底質の巻き上げは乱れの時間スケールで行われる。
- 8) 底質の巻き上げは乱れエネルギーが大きく影響するため、浮遊砂濃度の推定には乱れを陽的に与えた浮遊砂濃度の鉛直フラックスを求めることが必要である。
- 9) 本実験条件では時間平均値で見た場合、底面近傍の乱れエネルギーの増加に伴い浮遊砂濃度も上昇する。

#### 参考文献

- 佐藤慎司、本間基一、柴山知也：砕波による底質の巻き上げ量の評価に関する実験的研究、海岸工学論文集、第36巻、pp. 279-283、1989
- 合田良実 (2010)：大波高データに基づく砕波帯内の浮遊砂巻き上げ率の定量的評価、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 66, No. 1, pp. 421-425.

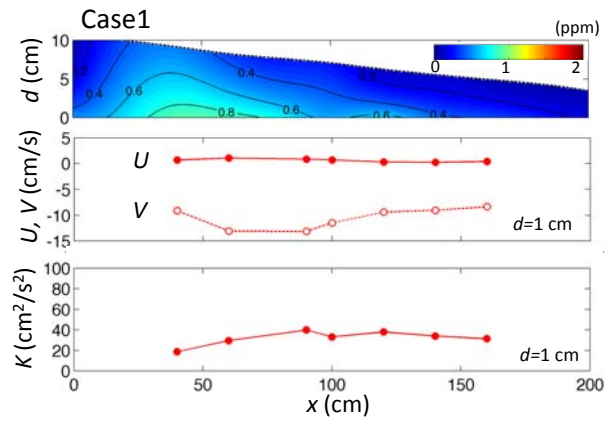


図-20 Case1における浮遊砂濃度，水平・鉛直速度，乱れエネルギーの時間平均値の空間分布

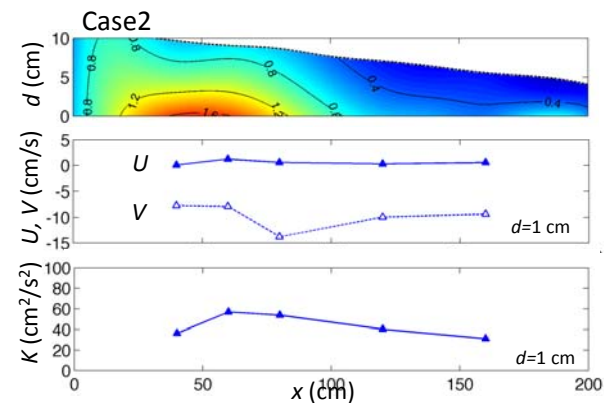


図-21 Case2における浮遊砂濃度，水平・鉛直速度，乱れエネルギーの時間平均値の空間分布

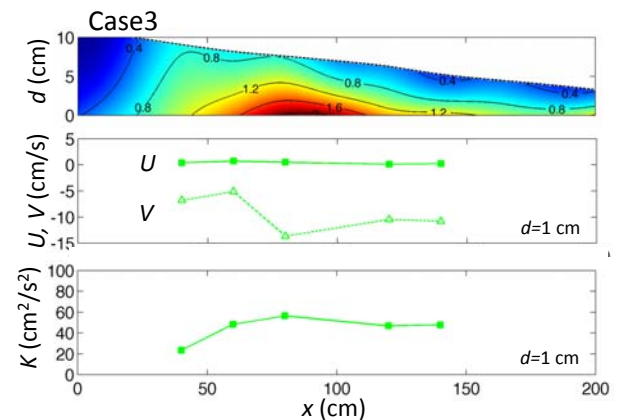


図-22 Case3における浮遊砂濃度，水平・鉛直速度，乱れエネルギーの時間平均値の空間分布

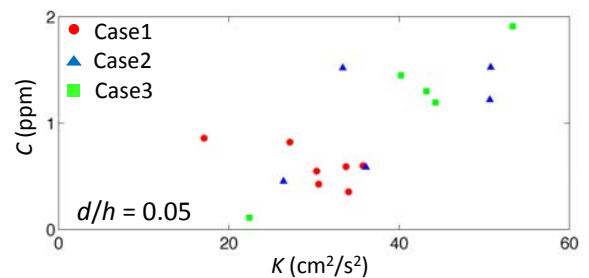


図-23 底面近傍 ( $d/h = 0.05$ ) の乱れエネルギーと浮遊砂濃度の関係 ( $d$ : 底面からの距離,  $h$ : 水深)

## SEDIMENT TRANSPORT MODEL IN WAVE BREAKING TURBULENT FLOWS

**Budgeted:** Grants for operating expenses  
General account

**Research Period:** FY2010-2012

**Research Team:** Cold-Region Hydraulic and Aquatic  
Environment Engineering Research  
Group (Port and Coast)

**Author:** YAMAMOTO Yasyji  
OTSUKA Junichi

**Abstract:** We measured the velocity field and suspended sediment concentration in laboratory surf zones using an Ultrasonic Velocity Profiler (UVP), a Particle Image Velocimetry (PIV) and an optical concentration probe to clarify the sediment transport process under breaking waves. The pick-up coefficient acquired in this small-scale experiment was much higher than that in the large-scale experiments and field observations. The sediments are immediately suspended when the turbulent energy is provided to the bed. The time scale of turbulence developing after a wave crest passed varies by breaker type and the water depth. Suspended sand concentrations near the bottom tend to increase with the turbulent energy.

**Key words:** suspended sediment, breaking wave, turbulent flow, ultrasonic velocity profiler (UVP), particle image velocimetry (PIV)