

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 1 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560519

研究課題名（和文）ラフネス・サブレイアに着目した清水流および高濃度土砂流の抵抗則と乱流構造の解明

研究課題名（英文）Turbulent Flow Structure and Flow Resistance of Hyper-concentrated Sediment Laden Flow with Artificial Roughness

研究代表者

大本 照憲 (OHMOTO TERUNORI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：30150494

研究成果の概要（和文）：本研究では、二次元粗度および三次元粗度における抵抗特性および流れ構造についてより厳密に比較するために粗度として角柱粗度を用いて流れの抵抗および PIV を用いて運動量輸送について明らかにした。更に、球状粗度、円柱粗度、角柱粗度さらには砂堆河床を境界条件における高濃度土砂流の抵抗特性およびその流動機構を明らかにするために、高濃度土砂流と類似の粘性特性を有するポリアクリル酸ソーダ (PSA) 溶液を用い、粒子画像流速計法を適用して、清水流との比較によってその特性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Effects of regularly arrayed square roughness on flow resistance and turbulent characteristics in an open channel have been investigated over a completely rough-bed with uniform stainless square ribs. Detailed spatial measurements of streamwise and vertical velocity fluctuations were conducted using Particle Image Velocimetry (PIV) in a vertical plane along the completely rough bed surface. Experimental results indicated that flow resistance with three-dimensional square roughness is higher than that with two-dimensional square roughness, the maximum value of flow resistance appeared in transverse spacing δ/k (transverse spacing/roughness height ratio) =1 and significant degrees of spatially regular variation in the time-averaged velocities were generated along the rough elements. Mud flows, debris flows or slurries, made up of a large amount of clay and/or silt particles suspended in water, often show non-Newtonian properties but remain poorly understood concerning the impacts of their rheological properties on fully developed turbulent structure. In this study, we experimentally investigated resistance and momentum transport of hyper-concentrated sediment laden-flow in an open channel with two-dimensional square ribs by using Particle Image Velocimetry (PIV). The results showed that rheological properties significantly dissipated the turbulent flow fluctuations over the dune bed and augmented the flow resistance by comparison with the clear water flow.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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：乱流・抵抗則・高濃度土砂流

1. 研究開始当初の背景

粗度に較べて相対的に水深が小さい流れは、山地部の砂礫河川、地表や路面上の流れ、急勾配水路流れおよび護岸上の流れ等において観察される。完全粗面上の清水流および高濃度土砂流は、水工学の分野では治水や利水上の観点から、抗力や抵抗則に関わる応用的研究および平均流特性や乱流構造の基礎的研究、近年では礫床河川の環境再生の視点からの研究も求められているが、境界近傍の流れが複雑なため、未解明な点が多い。本研究では、水深に対する河床粗度が相対的に大きい領域の完全粗面における清水流および高濃度土砂流の抵抗則およびその3次元流動機構を明らかにすることを目的としている。

1) 研究の学術的背景

本研究が対象とする、水深に較べて粗度の大きい流れについては中川等(1990)によって検討されており、球状粗度の河床近傍において平均流速分布や乱れ強度の一様化、Reynolds応力の欠損が観測され、その特性は粗度要素からの剥離・放出渦に依存することが指摘されている。禰津等(1998)は、レーザ流速計による計測結果から、粒径の大きな粗度が水面変動や水面近傍の乱流構造に及ぼす影響について検討し、粗面流れの水面変動特性、乱流構造および乱れエネルギーの収支関係の評価している。また、粗面乱流に対する直接数値シミュレーション（例えば、中山等(2003)、K.M.Singh etc.(2007)）は、境界条件の設定に工夫を凝らした研究も見られるが、一般に粗度境界近傍における空間格子の形成が極めて困難なことから滑面乱流に較べて研究事例も少なく、粗度近傍における流れの詳細については不明である。Nikora等(2002)は、球状粗度上に付着藻類が発生した開水路流れにおいて、超音波流速計を用いて流れの計測を行い、生物膜と粗度近傍の流れの相互作用について検討し、生物膜は粗度長さを16-21%増大させ、粗度近傍における平均流速、Reynolds応力、乱れの強さおよび乱れエネルギーの鉛直乱流フラックスを減少することを明らかにしている。また、生物膜は粗度上における速度変動のスペクトル分布を顕著に変化させず、全スペクトルエネルギーを減少させ、さらに組織的渦構造におけるSweep事象が付着藻類への栄養塩の供給に重要であることを指摘している。Cooper等(2004)は、均質な礫床上の流れにおける礫近傍において水平面内の時間平均流速の空間変動が、同一平面における空間平均流速の21%に達し、その変動は水深の増大に伴って大きくなることを指摘している。

上記の様に、礫近傍の流れは付着藻類を含めた底生生物の生息・生育環境にとって極めて

重要な場となる。しかし、既往の研究では熱線流速計やレーザドップラー流速計等の点計測を基にした実験的研究事例が多く、底生生物の生育環境として重要な粗度近傍における流れの空間変動特性については十分に把握されておらず、治水上重要な粗面乱流の抵抗則についても不明な点が多い。

一方、粘土やシルトを高濃度に含有する高濃度土砂流は、有明海湾奥部の感潮域や黄河流域の河川、泥流などで観察されている。土砂濃度の高い流れの動力学特性は、清水流とは大きく異なり、粘性や密度が増大すると同時に、乱れの強さ、土砂の濃度分布、流れの抵抗特性および土砂輸送能力が変質することが予想され、その流動機構については不明な点が多い。高濃度土砂流の解釈は研究者により異なる。Bradley&McCutcheon(1985)は、体積濃度が20%以下では密度や粘性への影響が小さい標準的な水流とし、20%以上でその特徴が現れ、特に、粘土やシルトの体積濃度が5%以上の土砂流では非ニュートン流体特性を示すことが指摘されている。

高濃度土砂流の抵抗について、滑面開水路流れでは、中央粒径 d_{50} が0.026mmのシルトを用いた実験では土砂濃度の増大に伴って抵抗が減少傾向を示す場合や、逆に粘土を用いたWangの実験(1993)では体積濃度が約9%で若干増大することが報告され、現在の所、粘土やシルトを高濃度に含む土砂流に関しては、体系的な実測データは得られておらず、開水路流れおよび管路流れの何れにおいても濃度の増大に伴って抵抗が増大するか否かについての統一的理解は得られていない。銭寧ら(1989)は高濃度土砂流をビンガム流体モデルで近似し、Coussot(1992)は降伏応力を持つ擬塑性流体モデルを用いて降伏応力や粘性係数が粒子濃度や粒度分布との関係を求めている。しかし、高濃度土砂流において微細土砂が粘度特性に与える影響は、ビンガム流体モデルでは説明できない。特に低せん断速度においては高濃度土砂流の非ニュートン流体特性が強く表れ、十分な検討が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、礫床流れを考える上で基本とも言える球状粗度および更に単純化した2次元粗度(円柱粗度、角柱粗度)の流れを、面計測が可能な粒子画像流速計法(PIV: Particle Image Velocimetry)を用いて系統的实验を行う。水深に対して相対的に大きな球状粗度上における流れにおいては、申請者によって粗度近傍に安定した規則性の高い上昇流および下降流の存在することが発見された。本研究では、粗度近傍の剥離渦とこの鉛直平均

流速成分が抵抗則、主流速および乱れ特性に与える影響に注目している。

次に、高濃度土砂流における非ニュートン流体特性に着目し、黄河下流域の済南市で採取した河床材料と市販の粘土を用いて高濃度土砂流を管路に発生させ、その抵抗特性を検討した。黄河土砂とカオリンの何れも土砂濃度の増大に伴って摩擦損失係数は増大し、体積濃度が 10%で清水に比べて黄河土砂で 1.30 倍、カオリンで 1.28 倍であり、若干黄河土砂の方で大きな値を示す。また、低せん断速度においては高濃度土砂流の粘性係数は清水に較べて 102~103 に達することが見出され滑面流れではこれが抵抗を支配していることが示された。現在、高濃度土砂を伴う非ニュートン流体の流れの構造は、実験では高濃度土砂流と類似の粘性特性を有する高分子剤のポリアクリル酸ソーダ (PSA : Poly Sodium Acrylic) 水溶液を用い、流速計に PIV 法を適用し、数値計算では直接数値シミュレーション (DNS) を基に検討している。本研究では、河床が完全粗面における清水流および高濃度土砂流の抵抗則およびその流動機構を明らかにするために以下の項目を検討する。

- 1 相対粗度の大きい清水流および高濃度土砂流の抵抗則の解明 (球状粗度, 円柱粗度および角柱粗度)
- 2 相対粗度の大きい清水流の流動機構
- 3 相対粗度の大きい高濃度土砂流の流動機構 (微細土砂を模擬した高分子剤を使用)

3. 研究の方法

実験に使用した水路は、長さ 10m, 幅 40cm, 高さ 20cm の可変勾配型の循環式直線水路である。水路床および側壁はアクリル樹脂製となっており、側壁からのカメラ撮影、レーザー光が照射可能となっている。

右手座標系を用い、流下方向を x 軸、水路横断方向を y 軸、鉛直上向きを z 軸とし、それぞれに対応した平均流速成分を 変動成分をとす。

座標系の詳細は図-1, 粗度の縦・横断配列を図-2 に示す。図中の XRE は、粗度後縁からの流下距離を示す。粗度材料は、ステンレス製から成る一辺 $k=a=10\text{mm}$ の正方形断面および $k=5\text{mm}$, $a=10\text{mm}$ の長方形断面の角柱粗度を使用した。水路床は、水路の上流端より 2m の位置から流下方向に 6m の長さに亘って配置した。なお、二次元粗度は $\delta=0\text{cm}$ 、三次元粗度は $\chi=4\text{cm}$ 、 δ は変数である。

流下方向の粗度間隔 λ 、横断方向の粗度間隔 δ を系統的に変化させ、流れの抵抗は粗度高 k で無次元化された相対粗度間隔 λ/k が 4~16, $\delta/k=0.5\sim 4$ の範囲で実験した。なお、 $b=\lambda-a$ は、角柱粗度の溝幅である。

粗度の抵抗則の実験条件を表-1 に示す。流れは所定の流量を通水し下流端の堰を調節することにより等流場を形成し、ポイントゲージを用いて等流水深を計測した。なお、粗度配置区間は 6m で、その上流端および下流端近傍では不等流となるが中央部の 3m~4m の区間では水深はほぼ一様であり等流場と判断した。

二次元粗度および三次元粗度を用いて粗面乱流を計測した実験条件を表-2 に示す。何れのケースも粗度レイノルズ数は 70 を超え完全粗面である。流速の計測には、非接触型の代表的な画像処理法である

PIV (Particle-Image Velocimetry) 法を用いた。

計測システムの概要を図-1 に示す。測定位置は、粗面先端より 4m 下流位置の等流場で行った。光源には空冷式の赤外線パルスレーザーを用い、シート光の厚さを 1mm, パルス間隔を $1000\mu\text{s}$ に設定し、水路上方から底面に垂直下向きに照射した。

レーザー光と CCD カメラを同期させて読み込まれた可視化画像は、100fps (frame per second), 960×1018 (pixel) のモノクロビデオ画像としてコンピューターのハードディスクに記録され、PIV 法によって処理された。レンズは焦点距離が 50mm のものを用い、1 pixel の最小サイズは、0.06mm である。流速のサンプリング周波数は 100Hz, 1 計測面での画像データは 2000 枚、計測時間は 20sec であった。なお、トレーサーとして粒径 $30\mu\text{m}$ 、比重 1.02 のナイロン粒子をアルコール液で十分に攪拌して水中に注入した。

土砂濃度が流れの抵抗に与える影響を検討した実験条件を表-1 に示す。本実験では、カオリンを用いた体積土砂濃度 ($C_v=0\sim 12\%$) およびポリアクリル酸ソーダ (PSA) 溶液の濃度 ($C_p=0\sim 800$) を変え、縦断方向の粗度間隔 λ は $k=5\text{mm}$ では $\lambda/k=8$, $k=10\text{mm}$ では $\lambda/k=10$ に設定した。上記 λ/k の値は、著者等 11) の実験によれば清水流における二次元角柱粗度の縦断間隔 λ の変化に対して抵抗係数が最大値を示したためである。

流れは所定の流量を通水し下流端の堰を調節することにより等流場を形成し、ポイントゲージを用いて等流水深を計測した。なお、粗度配置区間は 6m で、その上流端および下流端近傍では不等流となるが中央部の 3m~4m の区間では水深はほぼ一様であり等流場と判断出来た。

土砂濃度が運動量輸送に与える影響を検討した実験条件を表-4 に示す。後述する様に高濃度土砂流を模擬したポリアクリル酸ソーダ (PSA) 溶液の濃度 $C_p=300$ および 800 は、ほぼ同一の抵抗係数および粘性係数から試算すればそれぞれ、カオリンの体積土砂濃度 $C_v=6\%$ および 10% に相当する。なお、ポリアク

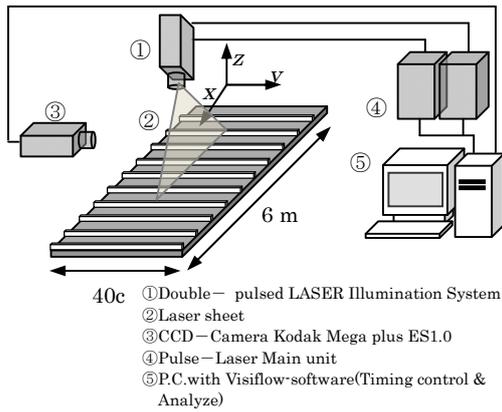


図-1 流れの計測システム

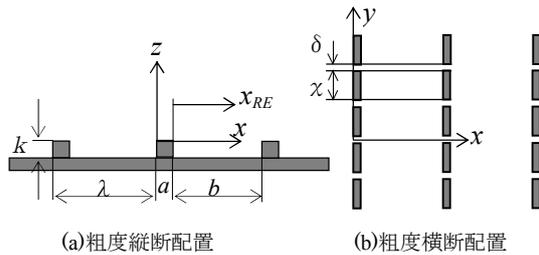


図-2 水路床境界条件

表-1 棧型粗度の実験条件 (抵抗則)

勾配 (I_0)	粗度高 k (mm)	流量 (l/s)
1/500	5	1~10
	10	

表-2 流速計測の実験条件

	Case1	Case2
平均流速 U_m (cm/s)	12.56	11.81
水深 H (cm)	7.96	8.47
水路勾配 I_0	1/500	1/500
アスペクト比 B/H	5.0	4.7
フルード数 $U_m/(gH)^{1/2}$	0.14	0.12
レイノルズ数 $U_m H/\nu$	10000	10000
相対粗度 k/H	0.126	0.118
粗度厚 k (mm)	10	10
摩擦速度 u_{*0} (cm/s)	3.95	4.07
流量 Q (l/s)	4.00	4.00
粗度配列	2 dim.	3 dim.

リ酸ソーダ (PSA) 溶液は、粘性特性においては高濃度土砂流を良好に再現することおよび無色透明であることから流れの計測にPIV計測が可能であるという利点を有する。流速の計測には、非接触型の代表的な画像処理法であるPIV (Particle-Image Velocimetry) 法を用いた。計測システムの概

表-1 流れの抵抗に関する実験条件

Case	Concentration	Discharge (l/s)	Channel slope (I_0)
Kaolin suspension	$k=5$ mm	$C_v = 0 \sim 12\%$	4
	$k=10$ mm		
PSA solution	$k=5$ mm	$C_w = 0 \sim 800$ mg/l	1/500
	$k=10$ mm		

表-2 流速計測の実験条件

	Case 1	Case 2	Case 3
PSA concentration C_w (mg/l)	0	300	800
Discharge Q (l/s)	4.0	4.0	4.0
Flow depth H (cm)	7.96	7.19	9.61
Roughness high k (mm)	10	10	10
Mean flow velocity U_m (cm/s)	12.56	13.91	10.41
Friction flow velocity U_* (cm/s)	3.95	3.75	4.34
Maximum flow velocity U_0 (cm/s)	16.24	19.45	19.18
Channel slope I_0	1/500	1/500	1/500
Froudenumber $U_m/(gH)^{1/2}$	0.14	0.17	0.11
Reynolds number $U_m H/\nu$	10000	-	-

要を図-1に示す。測定位置は、粗面先端より4m下流位置の等流場で行った。光源には空冷式の赤外線パルスレーザーを用い、シート光の厚さを1mm、パルス間隔を1000 μ sに設定し、水路上方から底面に垂直下向きに照射した。

レーザー光とCCDカメラを同期させて読み込まれた可視化画像は、100fps (frame per second), 960 \times 1018 (pixel) のモノクロビデオ画像としてコンピューターのハードディスクに記録され、PIV法により画像処理された。レンズは焦点距離が50mmのものを用い、1 pixelの最小サイズは0.06mmである。流速のサンプリング周波数は100Hz、1計測面での画像データは2000枚、計測時間は20secであった。なお、トレーサーとして粒径30 μ m、比重1.02のナイロン粒子をアルコール液で十分に攪拌して水中に注入した。

土砂濃度が流れの抵抗に与える影響を検討した実験条件を表-3に示す。本実験では、カオリンを用いた体積土砂濃度 ($C_v=0-12\%$) およびポリアクリル酸ソーダ (PSA) 溶液の

濃度($C_p=0-800\text{ mg/l}$)を変え、縦断方向の粗度間隔 λ は $k=5\text{mm}$ では $\lambda/k=8$, $k=10\text{mm}$ では $\lambda/k=10$ に設定した. 上記 λ/k の値は、著者等¹¹⁾の実験によれば清水流における二次元角柱粗度の縦断間隔 λ の変化に対して抵抗係数が最大値を示したためである.

流れは所定の流量を通水し下流端の堰を調節することにより等流場を形成し、ポイントゲージを用いて等流水深を計測した. なお、粗度配置区間は 6m で、その上流端および下流端近傍では不等流となるが中央部の $3\text{m}\sim 4\text{m}$ の区間では水深はほぼ一様であり等流場と判断出来た.

4. 研究成果

本研究では、二次元粗度および三次元粗度における抵抗特性および流れ構造についてより厳密に比較するために粗度として角柱粗度を用いて流れの抵抗およびPIVを用いて運動量輸送について検討した. 得られた知見は以下の通りである.

- 1) 相対粗度間隔 $\delta/k < 1.5$ では三次元粗度は二次元粗度に較べて等流水深が大きく、流れの抵抗が大きく、 $\delta/k > 2$ では等流水深が小さく、流れの抵抗が小さい.
- 2) 粗度高さ k と同程度に横断方向に隙間がある相対粗度間隔 $\delta/k=1$ において三次元粗度の抵抗は極大値を示し、三次元粗度の等流水深は二次元粗度に較べて $3\sim 8\%$ 程度大きくなる.
- 3) 三次元粗度が二次元粗度に較べて主流速は粗度キャビティー内では大きく、粗度上層では逆に小さくなる傾向がある.
- 4) 三次元粗度の $y/\delta=0$ を除いて全般的に鉛直流速成分 W は、粗度の直上流近傍で強い上昇流、直下流近傍で弱い上昇流、粗度キャビティー中央部で広い範囲に亘って下降流が発生する.
- 4) 乱れによる運動量輸送は、二次元粗度に較べて三次元粗度ではそれよりも上流側の $xRE/b=0.4$ 近傍で極大値を示し、その値は三次元粗度の方が大きい.

二次元角柱粗度を伴う高濃度土砂流の抵抗特性およびその流動機構を明らかにするために、高濃度土砂流と類似の粘性特性を有するポリアクリル酸ソーダ (PSA) 溶液を用い、粒子画像流速計法を適用して、清水流との比較によってその特性を検討した. 得られた結果を要約すれば以下の通りである.

- 1) 粗度高さ $k=5\text{mm}$ ($\lambda/k=8$) および $k=10\text{mm}$ ($\lambda/k=10$) の何れにおいても土砂流は清水流に較べて体積土砂濃度が $CV < 8.5\%$ では抵抗の小さく、逆に $CV > 8.5\%$ では抵抗の大きい.

- 2) 体積土砂濃度 $CV < 8.5\%$ において抵抗は粗度高さ $k=5\text{mm}$ では $CV=4-6\%$ で極小値を示し、 $\lambda/k=0.54$, $k=10\text{mm}$ では $CV=6\%$ で極小値を示し $\lambda/k=0.15$, $\lambda/k=0.66$ で有意な抵抗減となる.
- 3) 体積土砂濃度 $CV=10\%$ においては $k=5\text{mm}$ で $\lambda/k=0.15$, 抵抗係数は、 $k=5\text{mm}$ で 1.68 , $k=10\text{mm}$ で 1.63 であることから抵抗の増加が著しい.
- 4) PSA 溶液の濃度 $CW=300$ (カオリン土砂濃度 $CV=6\%$ に相当) および $CW=800$ (カオリン土砂濃度 $CV=10\%$ に相当) における時間平均流の主流速成分のカラー・コンターから顕著な剥離循環流は形成しない. このため高粘性の PSA 溶液においては、清水流に較べて相対的に形状抵抗は小さくなることが示唆される.
- 5) 乱れの強さは、清水流と較べて高粘性の PSA 溶液 $CW=300$ においては、粗度キャビティー近傍では類似の傾向を示すが、 $z/k > 3$ の領域では急減し、水面近傍では 50% 程度、 $CW=800$ においては、極大値は清水流の場合の 20% 程度まで低減し、水面付近では極めて小さいことが認められる.
- 6) PSA 溶液の濃度 $CW=300$ において、レイノルズ応力の極大値は $x/k < 4$ の領域では流下方向に増大傾向をしめすが、それより下流で減少傾向を示し、 $x/k > 7$ ではその大きさ清水流の 50% 程度である. 一方、PSA 溶液の濃度 $CW=800$ においては、レイノルズ応力 U_0^2 は、極めて小さく乱れによる運動量輸送は無視出来る.

5. 主な発表論文等(査読有)

(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 18 件)

1. Liany Hendratta and Terunori OHMOTO.: Flow Resistance and non-Newtonian characteristics of hyperconcentrated sediment laden flow in an open channel. Published in Proceeding paper: 12th International Symposium on River Sedimentation 2013, Kyoto, Japan (in press).
2. 大本照憲、Sukarno Tohirin, Liany Hendratta : 角柱粗度を有する開水路粗面乱流における抵抗則と運動量輸送, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 68, No. 4, I_901--I_906, 2013. 2
3. Liany Hendratta and Terunori OHMOTO: Non-Newtonian properties and flow structure in hyperconcentrated sediment laden flow. Published in Annals - International Journal of Engineering: Tome X- Fascicule 3, pp. 57-62, 2012, ISSN 1584-2673, Romania.

4. Terunori Ohmoto, Naoki Yamashita and Takayuki Tanaka: THREE- DIMENSIONAL TURBULENT STRUCTURE IN OPEN CHANNEL WITH SIDE-OVERFLOW, Proceedings of the 10th Intl. Conf. on Hydrosience & Engineering, Paper No. 39304363, Nov. 4-7, 2012, Orlando, Florida, U. S. A.
 5. Takayuki Tanaka, Terunori Ohmoto: Habitat Conditions on Vallisneria Higoensis as Endangered Species, CD-ROM Proceedings of the 9th International Symposium on Ecohydraulics (ISE 2012), Paper No. ID15494, the University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Vienna, Austria, September 17th-21th, 2012
 6. 平川隆一・渡邊訓甫・松本祥平・大本照憲：単一水制および連続水制の剥離域下流における流れ構造に関する研究 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 68, No. 2, I_565- I_572, 2012. 8
 7. Terunori Ohmoto and Tohirin Sukarno: Turbulent characteristics of shallow flow over rough surface with regularly arrayed spheres CD-ROM Proceedings of 3rd International Symposium on Shallow Flows, Paper No. 4 , IAHR, The University of Iowa, Iowa USA, 4-6 June, 2012
 - 8 Terunori Ohmoto and Liany Hendratta: Non-Newtonian properties and flow structure in hyperconcentrated sediment laden flow, CD-ROM Proceedings of 3rd International Symposium on Shallow Flows, Paper No. 3 . IAHR, The University of Iowa, Iowa USA, 4-6 June, 2012
 9. 田中貴幸・大本照憲：透過性および不透過性の側岸凹部流れにおける抵抗特性と流動機構, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 68, No. 4, I_805-I_810, 2012. 2
 10. 平川隆一, 渡邊訓甫, 大本照憲, 松本祥平 : 連続水制周辺の河床変動と流れ構造に及ぼす相対水深の影響, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 67, No. 2, I_565-I_572, 2011. 8
 11. T. Tanaka , T. Ohmoto: Flow Resistance and Momentum Transport in Open Channel with Longitudinally Discontinuous Vegetation, 34th IAHR World Congress: Balance and Uncertainty: Water in a Changing World., Brisbane, Australia, pp. 2947-2953, 2011. 5
 12. Terunori Ohmoto and Liany Hendratta: ON RHEOLOGY OF HYPER-CONCENTRATED SEDIMENT LADEN FLOW OVER DUNE TYPE BED IN OPEN CHANNEL, 34th IAHR World Congress: Balance and Uncertainty: Water in a Changing World., Brisbane, Australia, pp. 3690-3697, 2011. 5
 13. T. Ohmoto and T. Sukarno :EFFECTS OF REGULARLY ARRAYED ROUGHNESS ON FLOW RESISTANCE AND TURBULENT FLOW STRUCTURE IN AN OPEN HANNEL, 34th IAHR World Congress: Balance and Uncertainty: Water in a Changing World., Brisbane, Australia, pp. 2915-2922 ,2011. 5
 14. 大本照憲・田中貴幸・山下直樹：横越流を伴う開水路流れの三次元乱流構造, 水工学論文集, 第 55 巻 pp. 913-918, 2011. 2
 15. Terunori Ohmoto, Takayuki Tanaka Effects of Hydraulic Factors on Biomass Along Biofilm Formation in Gravel Bed River, Proceeding of 8th International Symposium on Ecohydraulics 2010, Seoul, Korea, pp. 2356-2362, 2010. 9
 16. Terunori Ohmoto, Ryuichi Hirakawa, Seiichi Sawada, Kunitoshi Watanabe Flow Pattern and Sediment Transport in the Tidal Estuary Proceeding of 8th International Symposium on Ecohydraulics 2010, Seoul, Korea, pp. 256-262, 2010. 9
 17. T. Ohmoto & T. Sukarno: Shallow turbulent flow over regularly arrayed sphere roughness in an open channel, Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, Athens, Greece, Environmental Hydraulics Vol. 1, pp. 99-104, 2010. 6
 18. T. Ohmoto R. Hirakawa & K. Watanabe Flow pattern and sediment transport in the Kikuchi River mouth, Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, Athens, Greece, Environmental Hydraulics Vol. 2, pp. 905-910, 2010. 6
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
大本 照憲 (OHMOTO TERUNORI)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：30150494