

神戸大学都市安全研究センター 正会員 ○ 藤田 一郎
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 丸山 達弥
 神戸大学工学部建設学科 太田 周彰

1. はじめに

段落ち部（あるいはバックステップ）は基本的な流れの乱流特性を検討する上で基本的・典型的な流れのひとつであり、従来数多くの研究が行われてきているが、その大部分は滑面乱流を対象としたものである。本研究では、粗面を有する乱流場における段落ち部の乱流特性を、高速度ビデオカメラを用いた画像計測によって調べた。

2. 実験概要

実験には、水路長 6.0m、水路幅 0.15m のアクリル製循環式直線開水路を用いた。画像計測システムの概略を図-1 に示す。流れの可視化には平均粒径が約 $20\mu\text{m}$ 、比重 1.02 のナイロン破碎粒子をトレーサとして用い、あらかじめアルコールと混合させ、均等に水中に分散するようにした。水冷式アルゴンイオンレーザー光(最大出力 7.3W)は、光ファイバケーブルを介してビームイクスパンダーに導き、光膜化したレーザー光を水路鉛直上方から照射した。可視化された断面は水路の側壁方向から高速ビデオカメラ(DALSA 製, CA-D6-256W)を用いて撮影した。画像のサンプリングは 400fps で行い、約 30 秒間(11904 枚)の 8 ビット連続画像 ($260\times 260\text{pixel}$)を得た。本研究では 2 セットで約 1 分の画像を PIV 解析した。水理条件を表-1 に示す。粗面は幅 15cm、長さ 100cm、厚さ 5mm のアルミ板の片面に強力な両面テープを貼り、そこに平均粒径 3.5mm の砂粒を超密に接着させたものを水路底面に敷き並べることによって作成した。なお、水面の揺動はわずかだったので、水路上方から照射した光膜の揺れはほとんど見られなかった。計測範囲は段落ち部下流 20cm 程度としたが、ビデオカメラの解像度や計測精度を考慮し、約 5cm 四方の撮影アングルを互いに重複させながら水平に平行移動させて 5 回に分けて撮影範囲をカバーした。

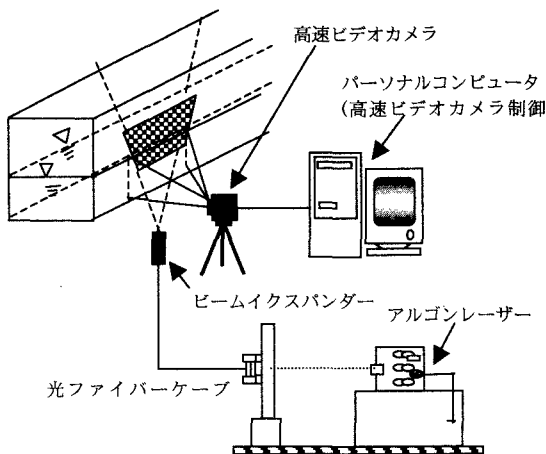


図-1 画像計測システム

表-1 水理条件

流量: $Q (\text{m}^3/\text{s})$	7.13×10^{-4}
勾配: I	1/1000
上流水深: $h_1 (\text{cm})$	2.2
下流水深: $h_2 (\text{cm})$	3.4
段落ち高さ: $h_s (\text{cm})$	1.0
相当粗度: $k_s (\text{m})$	3.50×10^{-3}
流入平均流速: $U_1 (\text{m/s})$	21.6
フルード数: Fr_1	0.465
Reynolds 数: Re	4750

3. 実験結果および考察

(1) 平均流速分布

図-2 および図-3 に等間隔の鉛直測線上の値に補間した平均流速ベクトルを示した。段落ち部では上流側の主流が剥離して自由せん断流が生じ、それが下流側の底面に再付着して剥離循環領域（剥離泡）が形成されるが、粗面と滑面では明らかな差異が生じていることがわかる。すなわち、滑面においては従来の知見どお

り¹⁾ステップ高さの約6倍の地点に再付着点が現れるが、粗面の場合の再付着点はステップ高さの3倍強の位置に移った。その結果、粗面における再循環流のサイズは滑面の場合の半分以下に収縮した。本研究の場合、流入流れの粗度レイノルズ数 Re_k は 57.7 であり、完全粗面状態($Re_k > 70$)ではなかったが、流入流れの乱流状態によって再付着距離が大きく影響されることがわかった。また、粗面の場合、再付着後は比較的短い流下距離で滑面と同様の分布形状に回復した。

(2) 乱れ強度分布

図-4 および図-5 に主流方向乱れ強度の分布を示す。相対的な乱れ強度の値は、流入部も含めて全体的に粗面の方が大きくなっている。特徴的な点は、滑面の場合はせん断層に沿ってほぼ対称に分布形が発達するのに対し、粗面では段落ち直下で底面に向かって分布形が歪み、非対称性が強くなっている点である。これは、粗面における主流域の乱流拡散が相対的に大きく、鉛直方向の運動量交換がより活発に生じていることが要因と思われる。図-6 にレイノルズ応力分布を比較した。ステップ高さの10倍程度までは分布形に相違があるが、それよりも下流においてはほぼ同じ分布に戻っていることがわかる。

4. 終わりに

粗面によって生じる乱流場が剥離流の特性に与える影響を調べたところ、再付着距離の著しい減少という興味深い結果を得た。今後は、粗度サイズによる影響あるいは粗度を考慮したシミュレーションモデルの検証等を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 礪津・中川・天野：開水路段落ちによる剥離流の乱流構造に関する研究，第30回水理講演会論文集，pp.601-606，1986。

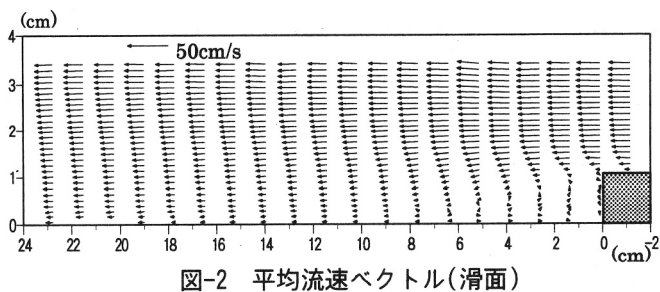


図-2 平均流速ベクトル(滑面)

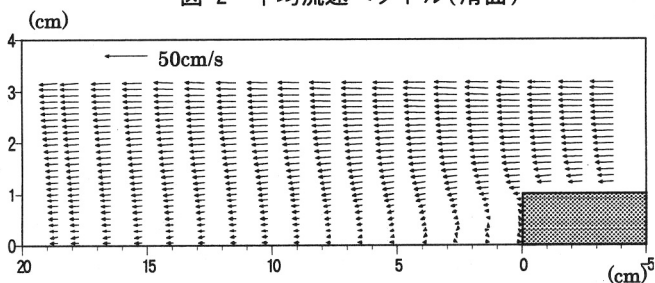


図-3 平均流速ベクトル(粗面)

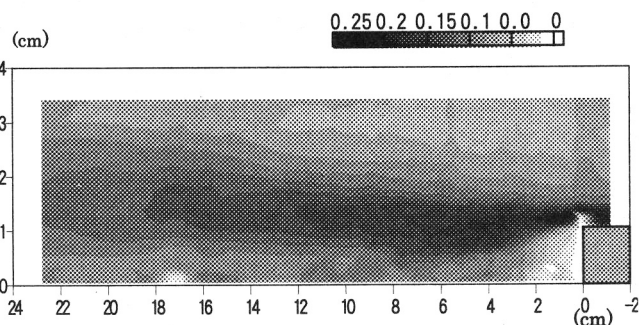


図-4 乱れ強度分布(滑面): u_{rms}/U_1

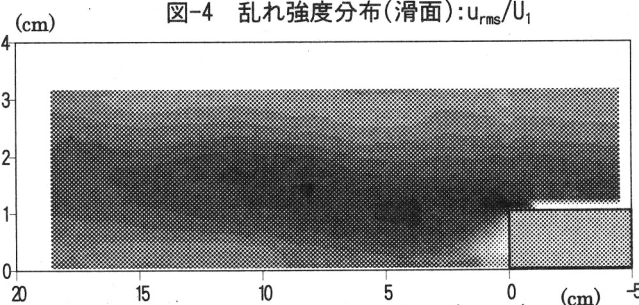


図-5 乱れ強度分布(粗面): u_{rms}/U_1

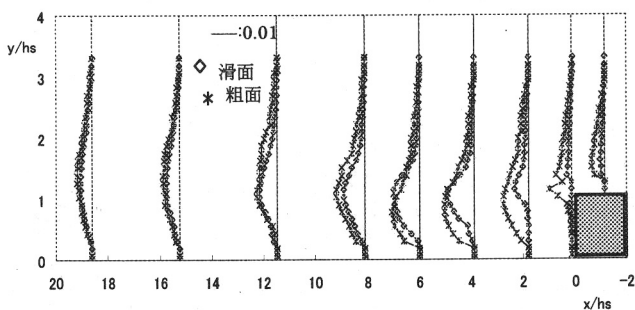


図-6 レイノルズ応力分布