

日本大学工学部 正 員 高 橋 迪 夫
 日本大学工学部 正 員 木 村 喜代治
 日本大学工学部研究生 釜野井 智 広

1. ま え が き

著者らは、数年来、山地河川における粗度周辺の流れの特性を知る基礎的検討として、熱線流速計を用いた計測をもとに、単一半球粗度要素後流域における二、三の水理特性を調べてきた^{1), 2)}。しかしながら、点計測によって大粗度周辺の全体的な流況特性を把握するためには、かなり膨大な計測を要し、しかも、得られた特性量からだけでは流れの特性を十分に説明し難い場合が生ずる。本報は、可視化手法を用いて大粗度周辺の流況特性を全体的に把握しようと試みたものである。手始めとして、現象をできるだけ単純にするために、単一の半円柱体粗度要素を水路横断方向に全幅にわたって設置し、要素周辺、とくに後流域における流況をできるだけ詳細に観察することと試みた。同時に、剝離域の長さを目視観測し、水量との関係について一検討を加えた。さらに、粗度要素を種々の間隔で設置し、粗度間隔の相違による流況特性の変化について若干の観察を試みた。

2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は、幅22.9 cm、高さ20 cm、長さ4 mの亚克力製循環式開水路であり、路床勾配は $1/1000$ とした。粗度要素として、流況の可視化には、粗度高 $k = 1.63$ cmの塩化ビニール管製の半円柱体要素を、また、剝離長さの計測には、 $k = 2.35, 1.63, 1.13, 0.91$, および 0.65 cmの5種類の要素を用いた。主な記号はFig. 1に示されている。流況の可視化には、トレーサーとしてアルミ粉を洗剤でよく分散させて用いた。また、剝離長さの計測は、過マンガン酸カリウム溶液をトレーサーとして用い、これを注射器で路床近傍に静かに注入することによって目視観測をした。写真は、水路側壁および上方に固定したカメラにより、シャッタースピードを $1/30 \sim 1/4$ 秒の間で適宜変化させて撮影した。光源としては、スライドプロジェクターからのスリット光が用いられている。

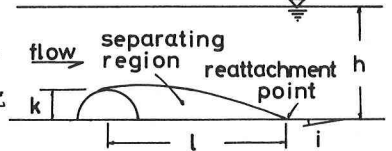


Fig. 1 流れの模式・記号

3. 実験結果および考察

(1) 単一要素の流況特性 ; Photo

1は単一粗度要素に対する流況特性の一例である。剝離域と主流域との境界では、要素頂面近傍で生成された渦が次々に発達しながら路床面方向に流下 (Photo 1-(a)),

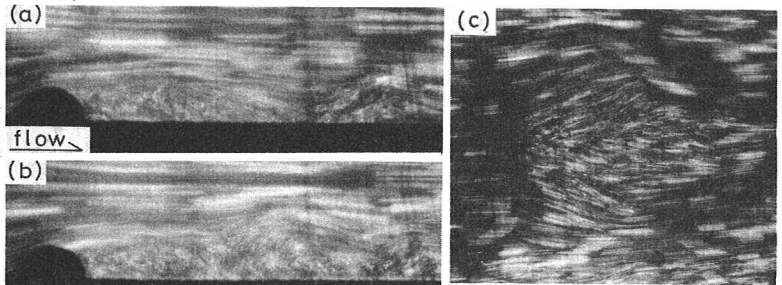


Photo. 1 単一要素の流況例 ($U = 21$ cm/s, $Re = 1.4 \times 10^4$, $Fr = 0.27$)

剝離域全体が不明瞭な一つの渦領域となる (1-(b)) 流れとが交互に繰り返されている。とくに、不明瞭な渦領域になる状態において、主流域上方との混合が活発に行われ、剝離域から主流域への渦の離脱が認められる。さらに、これと前後して再付着点近傍からかなり明瞭な渦が上昇していき、水面に達する (1-(c)) のが観察される。前者の渦は流れ方向に回転しながら発達、流下することが観察され、2次元性の強い渦ということが推測される。一方、これに対して後者の渦はいずれも3次元的な特性を有していることが推測される。この再付着域から発生して水面方向に上昇する渦の存在は、再付着域においては各方向の乱れ速度成分がほぼ等しくなるといふ半球粗度要素に対する乱れ計測結果²⁾に対応しているものと思われる。

(2) 種々の要素間隔における流況特性 ; 粗度要素を種々の間隔に設置した場合の流況特性の一例が Photo. 2 に示されている。これらの写真より、粗度間隔の相違により次のような流況特性の変化が認められる。ただし、 λ は要素中心間隔を表わしている。

(a) $\lambda/k > 12$ 程度では、流況は単一要素とほぼ類似の特性を示すことが観察される。これは、剝離域は要素間隔よりも小さく、渦の発達、混合および再付着域からの上昇等は要素間内では完了してしまうためと推測され、孤立粗度流的な流況特性と解釈される。

(b) $\lambda/k \approx (7 \sim 10)$ においては、剝離域と主流域との混合、拡散が全境界上にわたって非常に活発になり、とくに $\lambda/k = 10$ の流れでは渦がしばしば水面にまで達することが明瞭に観察される。一方、剝離域が後方の要素前面に当たるところでは、そこから渦が要素に沿って水面方向にかなり頻繁に上昇していくことが認められ、とくに $\lambda/k = 7$ の流れにおいて顕著であった。これらの流況の特性より、 $\lambda/k \approx (7 \sim 10)$ の間隔において粗度の影響が流れに大きく及んでいることがうかがえ、従来からの報告^{4), 5)}にみられる、流水抵抗が最大値を示す粗度間隔における流況特性を説明し得るようにも思われる。

(c) $\lambda/k \approx (4 \sim 5)$ になると、剝離域と後方の要素前面とが当たるところからの渦の上昇は依然として認められるが、剝離域と主流域との境界面全域を通じての混合、拡散はかなり不活発になり、渦が水面にまで及ぶことはほとんど認められなくなり、それに代って、ほぼ 2~3 cm のかなり明瞭な渦の層が境界上に形成されるようになる。一方、剝離域内には、 $\lambda/k = 5$ の流れでは数個のやや不明瞭な弱い渦が、また、 $\lambda/k = 4$ では 2 次元的なかなりはっきりとした 1 つの楕円形の渦が観察されるようになる。

(d) $\lambda/k \approx (2 \sim 3)$ になると、剝離域と主流域との境界を通じての渦の混合はほとんど認められなくなり、境界上では (c) と同様な 渦の層の形成と、要素上を滑るように流れる流れとが混在するようになることが観察される。一方、剝離域内には、ほぼ円形の 2 次元性の強い 1 つの渦が形成され、とくに $\lambda/k = 3$ の流れにおいては明瞭で、定常的にかなり活発に回転していることが認められる。これらの観察より、 $\lambda/k \approx (2 \sim 3)$ の粗度間隔においては、流れは擬似滑面流的な様相を示し、この結果、流れの抵抗は表面抵抗が卓越してくるものと推測される。

(3) 剝離域の長さ ; 要素中心から時間的な平均流速が 0、即ち、順流と逆流が同程度に生ずる位置までの長さを剝離域の長さ l と定義し、 l を目視観測した結果が Fig. 2 である。定性的には、 Re_k の増加と共に l/k はゆるやかに増大し、 $Re_k \approx (2 \sim 3) \times 10^3$ 程度ではほぼ一定値に漸近する傾向がうかがえる。しかしながら、実験ケースも少なく、また剝離域の境界は時間的に変動しており、時間平均流速が 0 となる境界を正確に捉えることはかなりの困難さを伴うために、定量的な検討については今後の課題であろう。

参 1) 高橋・木村・大江, 日大工部紀要 22 巻, 1981. 2) 高橋・木村, 36 周年誌, 1981.
考 3) Morris, Trans. ASCE, Vol. 120, 1955. 4) 足立, 土木学会論文, No. 104, 1962.
献 5) 今本・池野, 京大防災研年報, 17 号 B, 1974. 6) 芦田, 京大防災研年報, 5 号, 1962.

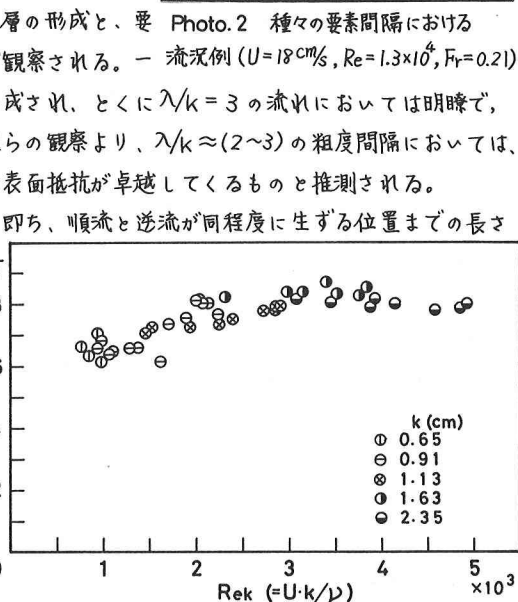
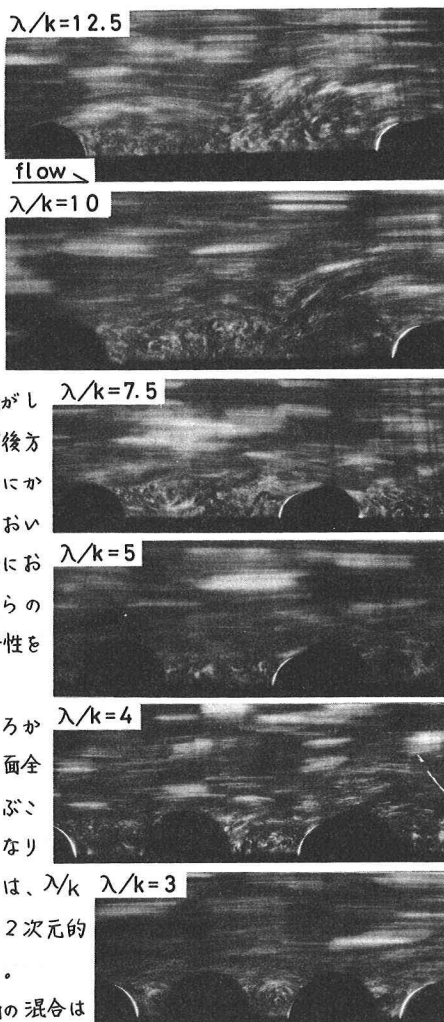


Fig. 2 剝離長と粗度レイノルズ数との関係