

河床における粗大空隙層内の流速場の特性

名古屋大学大学院

○ 奥田 卓

名古屋大学助教授 正員

松林宇一郎

名古屋大学 教授 正員

高木 不折

1 はじめに

近年、河川にその本来の姿である自然を求め、親水性、景観、あるいは魚類を始めとする生物の生息環境を向上させようとする動きが活発化してきた。魚は産卵場所や洪水時の避難場所として、瀬や淵、河床の岩陰などを利用して生活している。また、魚のエサとなる水棲生物の生息場所としてもこうした河床付近の流れは重要である。

従来から、河床付近の流れを取り扱った研究は数多く行われており、それらは河床として砂や砂利などの浸透層を想定し、モデルとしては、粒径の比較的小さな球を用いている。そこで本研究では、前述したように、魚の生息場所となるような河床の粗礫や岩場を想定し、粗な空隙をもつモデルを考えることにする。

本研究の目的は、粗な空隙層内の流速場の特性を明らかにし、これまでに行われている浸透層内の流れの研究と比較し考察を加えることである。

2 理論的考察

図2.1は浸透層を有する流れの概念図を山田ら¹⁾に従って示したものである。浸透層内の流れに関して山田らは流速分布式として、圧力勾配を i 、浸透層内の代表的スケールを B 、浸透流の抵抗係数を f_p とすれば、次式を用いて良いことを実験により確認している。

$$U_A(z) = \lambda \left[\sqrt{2g \cdot B \cdot i / f_p} + U_0 \exp(\alpha z) \right], \quad \alpha = \frac{1}{B} \left(\frac{f}{4K^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

$U_A(z)$: 空隙層内のみかけの流速分布, λ : 空隙層の空隙率

ここに、 K は実験的に決定される係数である。

式(2.1)は圧力勾配に起因する流れと境界面でのスリップ速度に起因する乱流クエット流との和になっている。また、中川ら²⁾は、疎な構造をもつ浸透層内の流量評価に与える表面流の存在の影響についての研究を行い、表面流と浸透層の境界面を通じて、浸透層内へ活発な運動量輸送が行われている可能性を示唆し、その原因として表面流のもつ境界面圧力変動の浸透層内への伝播を考えた。それによって浸透層内に流速変動が誘起され、見かけのレイノルズ応力に相当する鉛直方向の運動量輸送が出現し、表面流に引きずられた浸透層内流速分布が形成されるとの考えに基づいた検討を進めた。本研究では、式(2.1)を用いて疎な空隙層内での流れの特性を検討する。

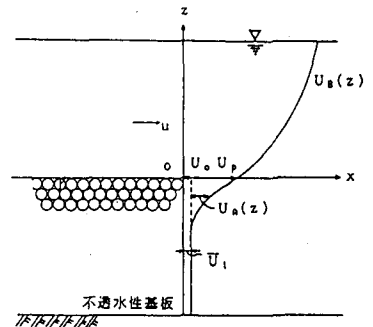


図2.1 浸透層を有する流れの概念図

3 実験方法

実験は透明アクリル樹脂製の開水路(長さ200cm, 断面積40×6cm)に空隙層を設置して行った。空隙層のモデルとしては、従来の研究では球を用いているものが多い。本研究では特性を明確に知るために直径4.8cm, 長さ6cmの塩化ビニルパイプを用いて単純化した。図3.1にその配列を示す。ただし、たて型配列については半径2.5cm, 長さ20cmの発泡スチロール製半円柱を用いている。この配列は、正方配列と比較して空隙率は同じであるが、中央部に流れ方向にスリットがあるので空隙層上の流れと空隙層内の流れとの間で運動量輸

送が起こりやすいものと思われる。なお、空隙率はすべて0.476である。

空隙層内の流速分布は、前述のパイプ群のすきまで測定した。測定には、なるべく流れを乱さず適切に設置できるピトー管を新たに考案して用いた。

初めに、正分配列とちどり配列について流速を測定したが、流速分布には式(2.1)の形で表されるような分布は見られなかった。また、両配列の違いによる流速分布の差も明瞭ではなかった。そこで、運動量輸送が活発に行われるであろうと予想される、たて型配列について同様にパイプ群のすきまでの流速を測定した。

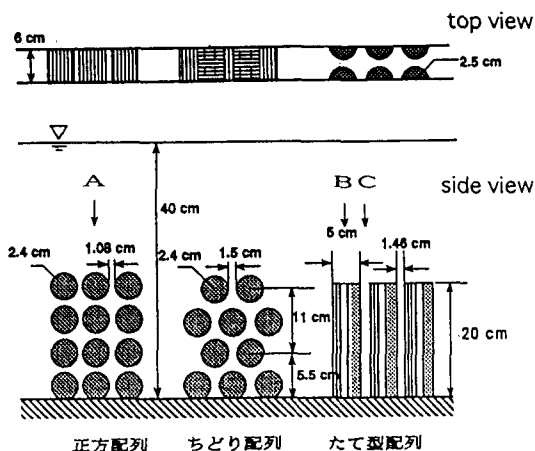


図3.1 空隙層の配列方法

4 実験結果

図4.1と図4.2はそれぞれ、正分配列とたて型配列の空隙層内A、B、C断面の間隙の流速分布を示したものである。先程も述べたように、正分配列の場合は空隙層内の流速が鉛直方向に一樣である。一方、たて型配列の場合は深部では流速は一樣であるものの、空隙層表面では流速が速くなっている。このことから、通常の砂などに見られる乱流クエット流が正分配列の場合には認められず、たて型配列の場合にのみ認められることが分かる。また、正分配列において金粉を投入し、縦のすき間をどのように落下して行くかを調べたが、自然な落下であり運動量輸送による乱れは見られなかった。これらから、空隙層上の流れと空隙層内の流れとの間で運動量の輸送が行われるためには、流れ方向に連続したスリットのようなものが必要であることがわかる。

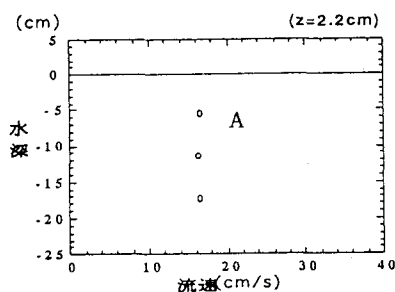


図4.1 空隙層内の流速分布（正分配列）

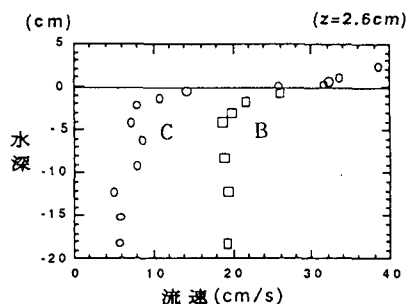


図4.2 空隙層内の流速分布（たて型配列）

5 結論

本研究により得られた結論は以下のとおりである。

空隙層内の流れの流速分布は、正分配列やちどり配列では圧力勾配のみに起因する一様な分布となるが、たて型配列では圧力勾配に起因する流れと境界面でのスリップ速度に起因する乱流クエット流れの和で表される。つまり、空隙層上の流れと空隙層内の流れとの間で運動量の輸送が存在し、乱流クエット流れが発生するためには空隙の流下方向の連続性が重要である。なお、2節で示した山田らが行った、球による浸透層内の実験では今回のたて型配列ほどではないにしろ、流れ方向に連続した運動量輸送の通路が存在したためと考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 山田ら：浸透層上の流れの抵抗則に関する理論的研究，土木学会論文報告集 第325号，1982，pp. 69-80
- 2) 中川ら：疎な構造をもつ浸透層内の流量評価に与える……，第30回水理講演会論文集，1986，pp. 91-96