

水理学的変化を利用した礫間浄化実験

Experimental Study on Filtration through Stones

by Change of Hydraulic Condition

尾島 勝[☆]・梅田 眞三郎^{☆☆}

by Masaru OJIMA and Shinzaburo UMEDA

Basic experiments are performed to disclose the wake and the functions for attachment and removal of organic bubbles around spherical particles using flow visualization. It is found that their functions correlate Re number in which the particle length immersed in the liquid is used as the relative length. Furthermore, the effect for purifying water by means of filtration through stones is verified in the experiment by change of hydraulic condition.

Keywords: Filtration through stones, Flow visualization, Wake, Purifying water

1. まえがき

河川の水質を改善するには、浄化槽や下水道の整備などを徹底させていくことも必要だが、それぞれの水域内で衰えた自然界の浄化作用を、増強、促進させるような手段も並行して講じていく必要がある。既に現地河川内で礫間浄化などの接触酸化方式での浄化が試みられている。このような接触酸化方式では、表面積が大きく、吸着機能の優れた接触材が用いられている。一方、河川での礫間浄化が用いられる理由のもう一つは、増水時にフラッシング効果を利用できる維持管理上の利点によるものと思われる。すなわち、既に浄化効果を上げて目づまりになりつつある付着物をいっきに海へ流すことを可能にしている点にあると思われる。したがって礫間浄化による接触酸化方式では吸着しやすく、かつ同様に除去もしやすい方式である方が、浄化効果に加えて維持管理も容易となり、経済性が向上すると思われる。

礫間接触酸化法に関する研究状況^{1), 2), 3)}では、基本的には、接触材として接触面積が大きいものの方が浄化効果がよいのは明らかとなっている。しかしながら、いずれの研究も浄化の機能については十分な機構解明には至っていないと思われる。この原因には浄化機構における生物学的及び水理学的な条件が複雑に関係しているためと思われる。

最近、流れの可視化技術も徐々に進歩し、種々の流れの計測や解析が可能となりつつある。その可視化研究手法を礫間接触酸化法での水理学的研究⁴⁾へ応用することによって浄化機構の基礎的な解明が期待できるとと思われる。

本研究では、礫間浄化の機構を解明するために流体工学的なアプローチによる基礎的実験を試みた。さらにその応用として、水理学的変化を利用した礫間浄化模型実験を行なった。

2. 礫間まわりの可視化実験

2. 1 実験方法

浄化機構を解明するために礫間まわりの流れの可視化を試みた。今回は、その流れのモデ

☆ 正会員 工博 福山大学教授 工学部土木工学科

☆☆ 正会員 学博 福山大学教授 工学部土木工学科

(〒729-02 福山市学園町1番地三蔵)

ル化として、千鳥及び直列に配置した球形粒子まわりの流れを選んだ基礎的実験を行なった。

図-1に示すような長さ4 m、幅20 cmの矩形断面の循環水路に、長さ約75 cmの試験区間を設けて実験を行なった。試験区間には、図-2に示すような卓球による球形粒子を千鳥型あるいは直列型に配列したボードを設置した。この場合の水深は、球がすべて浸ってしまうと水面上を泡が流れてしまうので、球の直径Dに対して表-1に示すような4段階の水深hを設定した。この表には、粒子の配列の横間隔と縦間隔を同じ間隔にしたアスペクト比 L/D を示し、以下の図の表示に用いる各ケースの記号も示している。粒子間内の流れを配列や水深によって種々に変化させるために、上流側からの流れが遅い場合と、約その倍の速度の速い場合とで実験を試みた。結局、それぞれの2種類の流れに対しての実験ケースとしては、アスペクト比、配列及び水深が異なる合計24ケースとなっている。それぞれの速度については、レーザー・ドップラー流速計(LDV)により測定を行なった。図-2に示すように、粒子配列に対する流入前の流速 V_1 、第1列へ流入したときの粒子間の流速 V_2 及び第2列との間の粒子間流速 V_3 の測定を行なった。

LDVによる流速測定結果から、千鳥及び直列の配列の違いにより流速がかなり変化することがわかった。さらに、粒子まわりの流況を明確に把握するためにアルミ粉末を流し、粒子背後に生じる後流の変化をビデオ撮影による可視化実験でとらえる試みを行なった。

次に、循環水路上流側より有機洗剤による泡を一様に供給し、粒子配列まわりの付着及び除去の状況をビデオにより撮影した。今回は、水路の両側壁側の配列構成を考えて、第1列の中央粒子背後の泡の変化に着目した。

2. 2 実験結果と考察

(1) 球形粒子背後の後流特性

アルミ粉末による可視化実験で得られた粒子背後の後流領域の面積の変化を比較すると、各ケースとも水深が小さくなるにつれて後流領域に存在する渦の大きさが変化し、その領域の面積が小さくなっていく。図-3に示すように、第1列目の粒子背後にアルミ粉末で示される後流の面積を SW_1 とし、供給されたアルミ粉末のほとんどが試験区間を通過した時点でのその粉末で示される後流の面積を SW_2 として以下の解析に用いた。水深が大きい場合や直列配列の場合には、後流の面積の時間的変化が小さいが、千鳥配列で水深が小さくなった場合には、その面積の変化は大きくなっている。逆に、粒子の抗力係数で考えると、その係数と面積の時間的変化は比例していると思われる。

このような場合、水中での粒子の抗力に関する水理量 h_b は、粒子の水中での断面積 A_p を水中での最大周長 L_p で割った値をとるのが適している⁵⁾と思われる。この h_b は、喫水深だけでなく粒子の水中での幅も考慮されていると思われる。そこで、それぞれの面積 SW_1 と SW_2 の変化を調べるために、 $h_b = A_p / L_p$ を代表長さとし、粒子間の流速 V_3 を代表流速にそれぞれ選び、 $Re = V_3 \cdot h_b / \nu$ に対する SW_2 / S

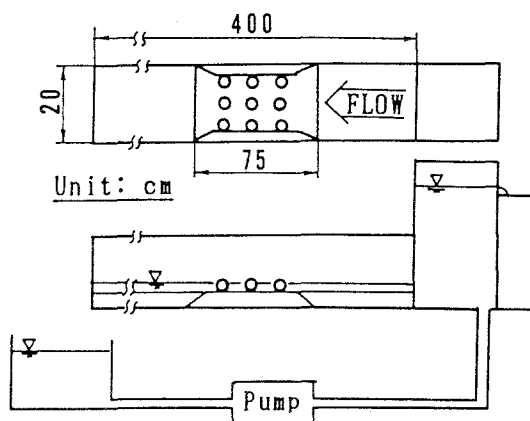
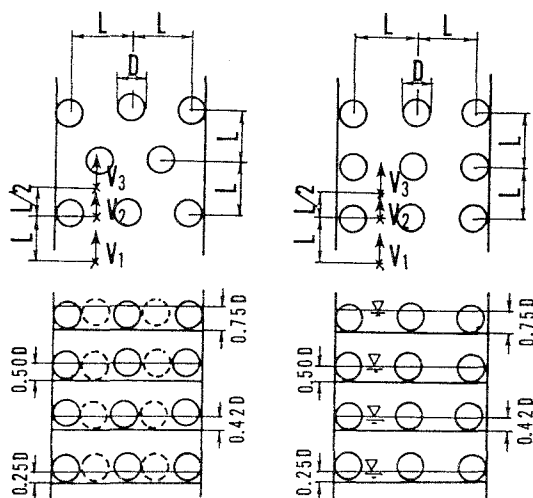


図-1 実験装置と試験区間



(a) 千鳥型

(b) 直列型

図-2 球形粒子配列

このような泡の時間的減衰と前述の粒子背後の後流との変化は、何らかの関係があるように思われる。そこで渦の面積が変化していく時間を考慮して、泡の時間的減衰率 $\Delta((S_{b_i} - S_{b_{i+1}})/S_{w_1})/\Delta t$ の平均を求め、それを渦の時間的減衰率 $(S_{w_2}/S_{w_1})/t_{12}$ で割った値に対して Re 数との関係を調べた。その結果、図-6(a)及び(b)のようになった。ここでの泡の時間的減衰率は、その値が大きいと最初に付着した泡が急激に形を変えて小さくなっていることを意味している。

これらの結果から、 Re 数の減少とともに渦の変化が大きくなり、泡の変化も同様に大きくなっていると思われる。言い換えると、水深が小さくなっていくと泡の除去についての時間的変化率が大きくなっていると思われる。

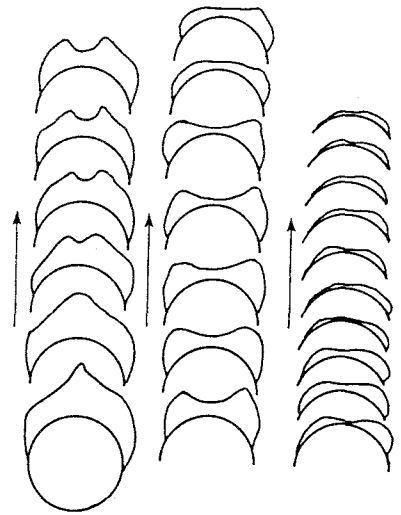


図-5 粒子背後の泡の時間的变化
($V_1=2.45\text{cm/s}$, $L/D=1.5$,
 $h=0.75D$, 千鳥型の場合)

3. 礫間浄化模型実験

3. 1 実験方法

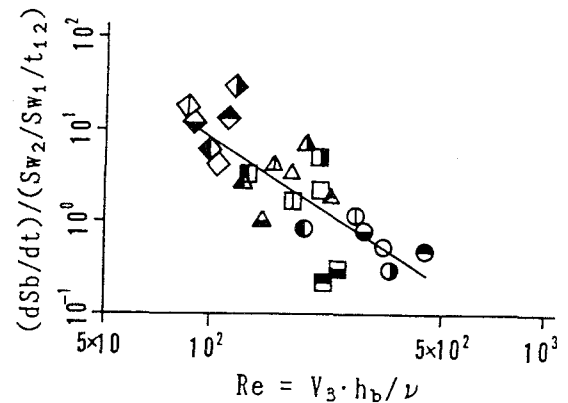
球形粒子を使った礫間まわりの可視化実験により、有機洗剤による泡の粒子への付着・除去の定量的特性を把握することができた。その応用として、水位や水の供給の仕方などを変化させた礫間浄化模型実験を試みた。

福山大学構内にある青池への排水路の上に、幅0.3m、高さ0.25m、全長16.0mの合成樹脂板による実験用循環水路を2本平行に設置した。それぞれの下流端に 1m^3 の大きさの2つの貯水槽があり、これらの水槽へ青池の水を約 $Q_0=1.8\text{m}^3$ 投入し、ポンプによりそれぞれの平行水路を循環させた。適当な時間間隔で採水し、水質の汚濁指標としてSS、濁度、COD、DO、全窒素、全リン及びpHを測定した。

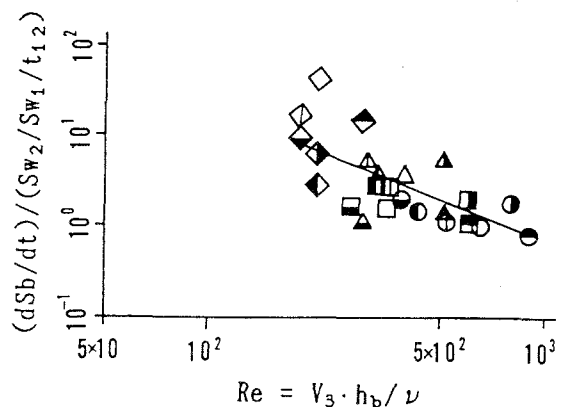
それぞれの水路には、ゼオライトと石炭及び同じ石炭同志の各種接触材を敷設し、浄化効果の比較を試みた。同一接触材に対しては、礫間周辺の水理学的条件などを変化させるための工夫も試みた。各Caseでの水理断面と流れの状況を簡単に示すと以下のとおりである。なお水の循環にあたっては、実験開始から終了までポンプを連続稼働させた。

前回の実験結果³⁾も考慮してCase-1では、水路Aに石炭と水路Bにゼオライトを投入し、それぞれの接触材が水に水没するように、下流に砂袋を置き堰上げ背水の形とした。接触材以外はほとんど同じ条件下で実験を行なった。

Case-2では、Case-1のゼオライトのシルト状の粒子を取り除いて、水路D



(a) $V_1=2.45\text{cm/s}$ の場合



(b) $V_1=5.08\text{cm/s}$ の場合

図-6 Re 数と後流の面積の時間的減衰率で割った泡の時間的変化率との関係

に投入した。水路Cの石炭では、接触材の間隔を約20cm程度の隙間を作り、酸素を取り入れやすくした。さらに、なるべく表面流を少なくし、接触材の石炭を濾過する形で水が流れるように接触材の下にドレーン材を配置した。

Case-3以下では、Case-1、2の結果から石炭の方が浄化効果が高いことがわかったため、接触材としては石炭のみを用いた。以下での水路EからCase-5の水路Iまでの水理条件は、水路Aと同じとした。それに対してCase-3の水路FやCase-4の水路Hでは、堰上げ背水とはせずに塩ビパイプに穴を開け、散水方式とした。

Case-5での水路Jでは、前回の水路Hの散水方式に加え、水路Cでの堰上げによる水理条件にて実験を行なった。前回までの各Caseとも時間経過とともに藻などの繁殖により浄化効果が低下していたので、この水路Jでは、途中で水位の低下と上昇を繰り返す試みを行なった。

3. 2 実験結果と考察

まずゼオライトと石炭を比較すると、CODや全窒素の変化では、石炭の方がよい浄化効果を示している。その一例として、図-7にCase-2のCODの結果を示す。以下の図も同じであるが、横軸はそれぞれの水路で循環させた流量の累積量 Q と浄化対象流量 Q_0 との比で示している。一方、縦軸は測定結果の最大値でそれぞれの指標値を割った比で示している。またいずれのCaseでも、粒径が小さく、吸着効果の大きい接触材を選んだことにより、SSや濁度については80%以上の浄化効果を上げることができた。さらに、全リンについての結果もよい浄化効果が得られている。例えば、Case-5の場合を図-8に示す。このCase-5では、下流側の堰上げによる水位上昇効果も加わり、ほとんどのリンが除去された形で浄化効果が明らかとなっている。

Case-3やCase-4で行なった散水による浄化効果の比較をすると、CODの結果は、水路Hの散水の場合より水路Gの堰上げによる方がわずかながらよい浄化効果を示している。また全窒素についての結果では、いずれもそれほど差がなく、散水の効果は期待したほどは得られていないと思われる。

散水方式と堰上げの水位上昇による方式の両方を試みたCase-5での水路Jについては、図-8や図-9及び10に示す結果からも明らかなように、単なる堰上げによる水路Iに比べ浄化効果を上げることができていると思われる。

いずれのCaseでも、雨などの自然条件の影響を受けて途中値の変動がみられる。また循環累積流量が増えるとともに藻などが発生し、浄化効果が落ちている場合もみられる。そこでCase-5の水路Jでは、日中に約2時間ごとに下流側の堰の調節により水位の低下と上昇を繰り返す試みを行なった。図-8から10での Q/Q_0 が300を過ぎた付近のそれぞれの指標値の変化がその結果の現れと思われる。これは、自然河川での増水時のフラッシング効果を期待したもので、その結果が示されていると思われる。

4. 結論

アルミ粉末を用いた粒子背後の後流の可視化実験とレーザー・ドップラー流速計を用いた可視化計測をもとに、球形粒子に対する有機洗剤による泡の付着及び除去に関する実験を行ってきた。その結果次のような結論を得ることができた。

流入流速や球形粒子の配列とその間隔を変化させることにより、粒子間内での流速が変化し、粒子背後の後流の形成が異なってくる。これに

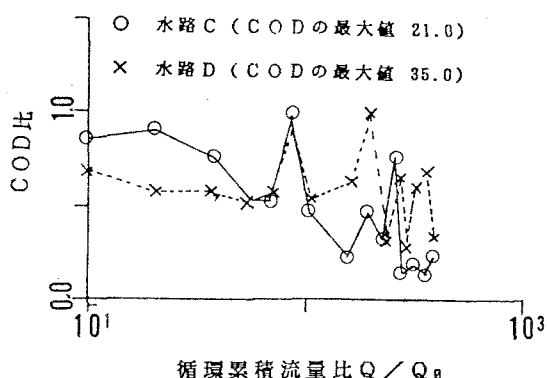


図-7 循環累積流量比に対するCOD比の変化 (Case-2の場合)

は、間隔以外に粒子の水中での形状も大きく関係していると思われる。このような流れのもとに投入された有機洗剤による泡は、球形粒子に対して付着及び除去される状況が異なっている。それらの変化を粒子の水中での形状長さを代表長さとした Re 数によって説明することができた。この結果、礫間浄化法による水質浄化を検討するにあたっては、流体力学的には粒子の水中での形状及び粒子間の流速の検討を、すなわち粒子の抗力を考慮した Re 数による検討を十分に行なえば、汚濁物の付着・除去機能の議論を行なうことができるとと思われる。

さらに、散水や水位の変化による礫間浄化実験を行ってきた結果、吸着効果のある粒径の小さな接触材を用い、水理学的変化を適用すれば、SSや濁度などについてはもちろん、リンや窒素までもかなり除去することができ、浄化効果を上げることが可能であることがわかった。

最後に、本研究を進めるにあたって建設省中国地方建設局福山工事事務所に協力を得たことを記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 中村栄一、落修一： 礫を用いた接触酸化による排水処理、土木技術資料、28-2、pp.44-48、1986.
- 2) 中村栄一、酒井憲司： 礫間浄化法による汚濁水の浄化、土木技術資料、29-10、pp.26-31、1987.
- 3) 尾島勝、梅田眞三郎： 各種の礫間浄化材の比較、第44回土木学会中・四国支部講演概要集、pp.116-117、1992.
- 4) 梅田眞三郎、尾島勝、佐藤公彦： 球形粒子まわりへの有機洗剤の吸着機能に関する一考察、第43回土木学会中・四国支部講演概要集、pp.118-119、1991.
- 5) Umeda S. and Yang W-J : Dynamics of particles floating on liquids flowing in a semicircular open channel, Experiments in Fluids, Vol. 12, No. 1/2, pp.106-112, 1991.

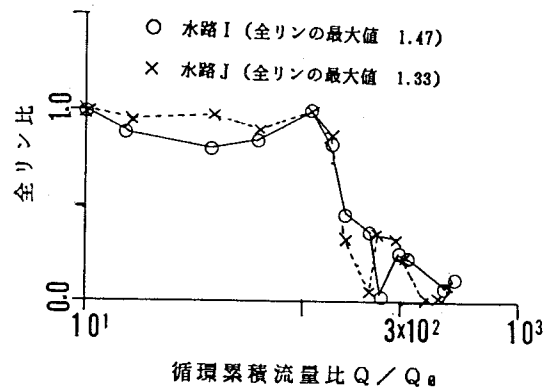


図-8 循環累積流量比に対する全リン比の変化 (Case-5の場合)

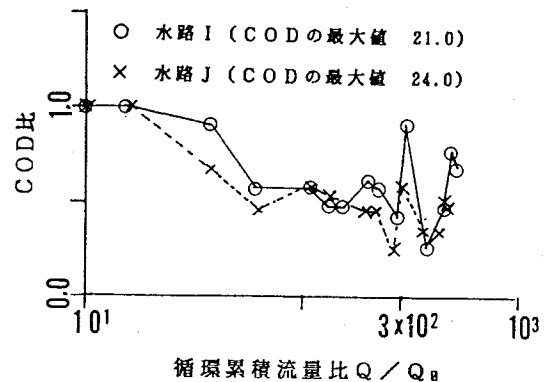


図-9 循環累積流量比に対するCOD比の変化 (Case-5の場合)

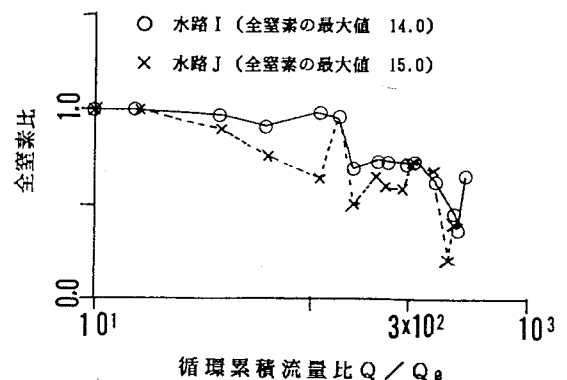


図-10 循環累積流量比に対する全窒素比の変化 (Case-5の場合)