

[1]序 急速ろ過池の操作における逆洗の過程において、最も重要な因子である最適逆洗速度および膨張率の決定は、ろ過池の効率的運用のために欠かせないものである。藤田⁽¹⁾は、逆洗によるろ材表面からの濁質粒子の分離は、ろ材粒子相互の衝突が原因であると考え、衝突回数最大の条件から最適膨張率を導いている。しかし、衝突回数導入の過程において物理的意味が明確にされておらず、その結果は必ずしも衝突回数最大という状態を表わしているとは考えられない。また、経験的には、ろ材表面から濁質粒子と分離するための最適膨張率は30~40%程度⁽²⁾であるといわれているが、その物理的な機構については何ら解明されていない。逆洗時においては砂層内は流動化し、粒子の干渉沈降による乱れが存在し、濁質の分離機構には粒子および洗浄水の乱れが大きく寄与すると考えられる。したがって濁質の分離機構の解明には、その乱れの特性を把握しておく必要がある。ここでは、ガラスビーズのろ材を用いて実験を行い、ホットフィルム流速計による乱れの計測および、16mm撮影機により粒子を追跡して粒子の分散を測定し乱れの特性を調べた。

[2]実験装置と方法 ホットフィルム流速計による乱れの計測は、内径10cm長さ2mのアクリル製円筒で行なった。円筒下部には高さ50cmの整流部を設置し、直径2mmの鉛玉をつめて整流を行った。ろ材としては平均粒径1.02mm比重2.48のガラスビーズを用いた。ろ層高さは約50cm、平均空ゲキ率43%であり、逆洗時の膨張率は約10%~100%（空ゲキ率で48%~72%）まで変化させた。乱れの計測において、流動層内にホットフィルムを挿入すると損傷のおそれがあり、また感部に粒子が衝突した場合の影響を推定できないので、流動層と上澄部との界面より5~5mmにホットフィルム感部を設置して計測し層内の乱れを推定する方法をとった。この場合、界面での乱れの減衰のため、乱れ強度やエネルギー逸散率はろ層内の乱れに比し、小さな測定値が得られると考えられるが乱れのスケールについては、この測定結果より推定できると考える。16mm撮影機による粒子追跡は、高さ80cm断面積1cm×10cmのアクリル製の装置に高さ10cmの鉛玉の整流部³を設置し、ろ材に混合した着色ガラスビーズを毎秒32コマ E_v で撮影し、その軌跡から分散を計算した。

[3]逆洗速度と空ゲキ率の関係 逆洗速度 u_0 と徐々に増加させると、急激にろ層上下間での損失水頭が増大し、 $u_0 = 0.75 \text{ cm/s}$ 付近で流動化が始まり、それ以後は損失水頭は増加せずほぼ一定値を保つ。 u_0 と E_v （空ゲキ率）との間には $E_v = (u_0 / u_c)^{0.35}$ の関係となる（図-1）。直線を延長して $E_v = 100\%$ での $u_0 (= u_c)$ を求めると13.0cm/sで、Allenの公式より計算した単粒子沈降速度 $u_s = 13.04 \text{ cm/s}$ とほぼ一致する。

[4]乱れ強さと空ゲキ率の関係 乱れ強さは平均流速 u_0 の20~30%程度である（表-1）。鉛直および水平方向の乱れ強度 $\sqrt{u_z^2}$ 、 $\sqrt{u_r^2}$ は、膨張率の増加とともに大きくなり、膨張率90%（空ゲキ率で70%）付近で極大値が存在している（図-2）。

[5]エネルギースペクトルの計算 F.F.T.法により計算したエネルギースペクトルの一例を図-3に示す。データのサンプリング間隔は1/100秒および1/50秒の2種を用い、データ数は4096個である。なお、図のスペクトルは三角フィルターを通して平滑化している。周波数スペクトルから液散スペク

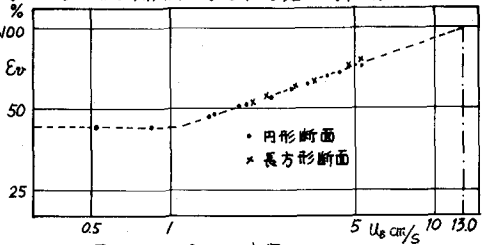
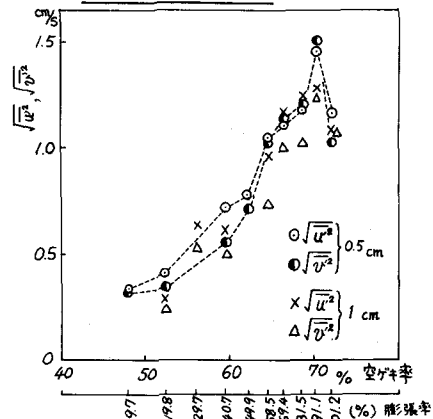
図-1 u_0 と E_v との関係

図-2 膨張率と乱れ強度との関係

トルへの変換は凍結乱流の仮定を用いて $\ell = 2\pi f / u_B$
 $F(\ell)d\ell = E(f)df$ (ℓ : 波数, f : 周波数) により変換した。エネルギースペクトルには明らかに $-5/3$ 乗と -4 乗の部分が存在し、局所等方向性が成立していると考えられる。図より $-5/3$ 乗および -4 乗の勾配の2つの直線の交点からミクロスケール ℓ_d を求めると、表 1 に示すように mm 程度である。粒子の平均粒径は $1.02mm$ であるから、ミクロスケールは粒子の $1.5 \sim 2$ 倍程度のオーダーである。エネルギースペクトルで波数 $2.5 \sim 3.5$ 付近にピークが存在し、また自己相関係数にも明確な間隔が認められ、波数に換算するとエネルギースペクトルのピークとよく一致する。これから energy containing eddy の大きさは $1.5 \sim 2.0cm$ 程度となる。
 $\epsilon_0 = 15 \nu \int_{\ell_d}^{\infty} \ell^2 F(\ell) d\ell$ (ϵ_0 : エネルギー逸散率, ν : 動粘性係数) によりエネルギー逸散率を計算した(表 1)。エネルギー逸散率も膨張率 90% 付近に極大値が存在する。

Data No.	膨張率	空乏率	u_B	$\sqrt{u^2}$	$\sqrt{u'^2}$	$\epsilon_0 (cm^2/sec^3)$	$\ell_d (cm)$
1	9.7 %	47.9 %	1.46 cm/s	0.34 cm/s	0.34 cm/s	1.46	
2	19.8	52.3	1.93	0.46	0.45		
3	29.7	55.9	2.38	0.63	0.54	3.36	0.41
4	40.7	59.4	2.86	0.72	0.55	3.04	
5	49.9	62.0	3.26	0.79	0.72	4.56	0.41
6	58.5	64.4	3.59	1.05	1.03	14.50	0.26
7	59.4	64.5	3.61	1.05	1.09	16.83	0.31
8	69.4	66.2	3.94	1.10	1.14	12.00	0.36
9	69.5	66.3	3.93	1.04	0.91		0.35
10	81.5	68.5	4.37	1.17	1.19	18.69	0.29
11	91.1	70.1	4.66	1.45	1.50	43.42	0.22
12	101.2	71.6	5.31	1.16	1.02	8.80	0.40

表 1 ϵ_0 : エネルギー逸散率
 ℓ_d : ミクロスケール

[6] 粒子の分散の測定 粒子の軌跡の例を図 4 に示す。ずらし時間による分散の変化は次式で求めた。

$$Y^2(n \cdot \Delta t) = \frac{1}{N-n} \sum_{i=0}^{N-n} [y(i+n) \cdot \Delta t - y(i \cdot \Delta t)]^2$$

(n : ずらし数, $\Delta t = 1/32 \text{ sec}$, N : データ数, $y(i \cdot \Delta t)$: 時刻 $i \cdot \Delta t$ の粒子の位置) ずらし時間を変化させて分散の最大値を求め、平均粒径を計算すると $0.5 \sim 1.0cm$ 程度となり、スペクトルより確定した間隔よりやや小さくなる。しかし、撮影できる粒子は壁面近くに限られること、膨張率を大きくすると粒子の動きが激しいことなどの理由で長時間にわたる 1 個の粒子の追跡が困難であり、膨張率と分散の間の関係などを求めることが出来ず、今後さらに検討が必要である。

[7] 結び 逆流による濁質粒子の分離機構を解明する

ために必要な層内の乱れについて調べ、乱れ強度は膨張率 90% 程度で最大となること、ミクロスケールは mm 程度であること、energy containing eddy のスケールは $1.5 \sim 2cm$ 程度であることなどを得た。今後は層内の乱れの測定についてさらに検討するとともに、ろ材粒子相互の衝突と乱れ強度の関係などについて、研究したい。

[参考文献]

- 1) 藤田賢二: 急流の逆池における流況に関する諸元の物理学的考察 水道協会誌 45 号
- 2) 藤原池: 急流の逆池の構造と逆池の乱れに関する基礎的研究 学位論文
- 3) 参考: 光秀: スペクトル計算法と有限フーリエ変換

土木学会年報 34 号 44 年

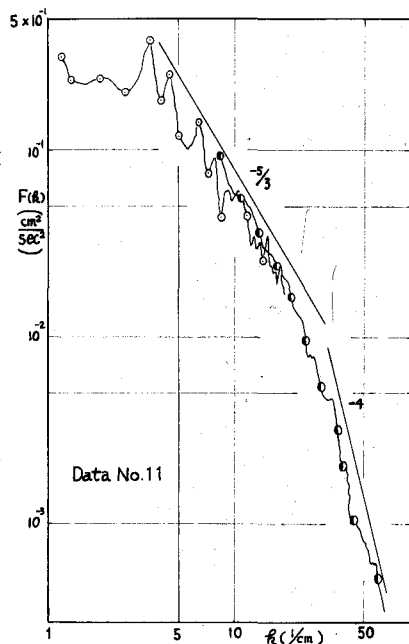


図 3 エネルギースペクトル

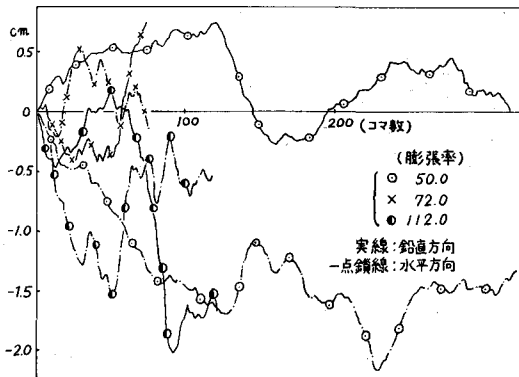


図 4 粒子の軌跡