

II-122

固液混相流の管内流動機構—比重が1に近い固体の場合—

八戸工業大学 正会員 佐々木 幹夫
 " " 川島 俊夫
 東北大学工学部 " 高橋 弘

1. はじめに

著者等は数年前より、流雪溝と管水路を結びつけた除排雪システムの研究を行ってきたが、ここでは、水の比重に近い固体粒子を用いた固液二相流の観測に基づき、固液二相流のエネルギー損失を中心にして、管内の流動機構をまとめてみる。

2. 実験条件

表1に実験条件を示した。 ν_w は水の動粘性係数である。雪塊の比重 $S = 0.934$ は湿潤状態の測定値である。実験は粒子混入前に、所定の流速になるようにポンプを調節し、清水時の動水勾配 i_w ($C_v = 0$) を測定した後、粒子を混入し、一定の濃度に達したときに、動水勾配 i を測定した。実験はすべて乱流域 ($C_v = 0$ の場合)で行っており、管内速度分布は再生録画より求めた¹⁻⁴⁾。

表1 実験条件

d:管径, d_s :等価直径, v :平均流速, C_v :吐出体積濃度, Re : vd/ν_w

d (mm)	用いた 固体名	S (-)	d_s (mm)	水温 (°C)	v (m/s)	C_v (%)	$Re \times 10^{-4}$ (-)
49.7	ポリスチレン	0.86	3.21	20	0.242 ~3.130	4.4 ~19.0	2.60 ~14.6
	"	1.04	3.09	20	0.517 ~2.924	11.4 ~30.0	1.36 ~17.7
	雪	0.934	-	1	0.303 ~2.694	10	0.90 ~8.02

3. 実験結果

管内流動観測箇所の管は水平になっているので、上流と下流の2点間の差圧 Δp はエネルギー損失水頭 h_f に相当する。すなわち、 $-\Delta p = \rho g h_f$ 、ここに、 $h_f = f \cdot (\Delta L / d) \cdot (v^2 / 2g)$ 、 ρ は混相流体の密度、 f は管壁摩擦係数である。したがって、圧力損失 Δp は流体の密度 ρ に比例しており、種々の流体密度の流れをみるには Δp だけでは不適切であり、ここでは流体の質量の違いによる差が出てこないように、動水勾配 $i = (-\Delta p / \rho g) / \Delta L = h_f / \Delta L$ を用いて混相流のエネルギー損失をみてみる。Fig. 1 は i と Re 数の関係を図示したもので、雪の場合にエネルギー損失が大きくなっている。これは、流雪実験が水温 1°C で、他は 20°C の水温で行っており、動粘性係数 ν_w の違いによる結果であるとも考えられる。Fig. 2 は修正フルード数 $Fr_m = v^2 / (gd |1 - S|)$ で、単位重量・単位長さ当たりのエネルギー損失量を見たもので、 i と Fr_m とは比例関係にあるが、固体粒子が $S = 1.04$ 、snow、 $S = 0.86$ の順にエネルギー損失が大きくなっている。しかし、この順は図の横軸の Fr_m の分母にある $|1 - S|$ の大きさと逆の順になっており、 $|1 - S|$ の影響とも考えられる。 $|1 - S|$ の値は水中比重を意味しており、浮力に関するパラメータとして用いられているものである。Fig. 3 は Fr_m から $1 - S$ を取り、フルード数 $Fr = v / (gd)^{1/2}$ の2乗で動

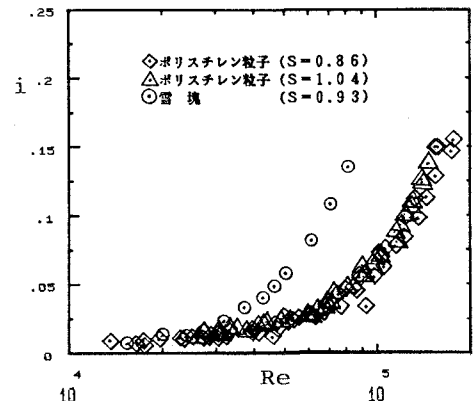


Fig. 1 $i - Re$ ($Re = vd/\nu_w$)

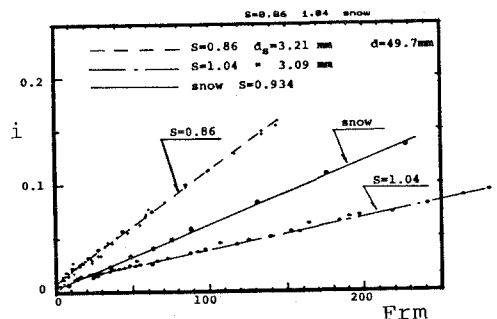


Fig. 2 $i - Fr_m$

水勾配 i を表わしたもので i と Fr^2 は比例関係にあり、 $S=0.86$ と $S=1.04$ の i はほぼ同一直線上にあり、雪の i が Fr^2 の値が3付近を境に、大きい場合には大き目に、小さい場合には小さ目にそれらの値から少しずれていることがわかる。ブラジウスの式 ($f=0.3164Re^{-1/4}$) によると i は $i=0.1582Re^{-1/4} \cdot Fr^2$ となり、前述の温度差による違いが直線の傾きに影響を及ぼし、大き目になるのはその影響とも考えられる。 $S=1.04$ の実験は混相流体の比重が1.003~1.010にあり、 $S=0.86$ の場合には0.970~0.994、 $S=0.86$ の場合が64Case、 $S=1.04$ が50Caseプロットされている。ポリスチレン粒子の実験には1Case毎に固体の吐出濃度 C_v を測定しているが、雪の場合には、途中2回の測定値をもって全体12Caseの雪塊混入率 C_v としている。したがって、流速が大きくなると、ミキサー部の雪塊混入能力が低下するために、実際の C_v は算定値よりも小さくなっていたのではないかと考えられる。すなわち、雪の場合、高速域では図示したデータよりも密度が大きくなっているために、 i の値が少し下に下がるものと思われる。したがって、 i と Fr^2 の関係は混入固体の密度に無関係に決まると考えられる。この場合、図の直線は $i=0.0144/2 \cdot Fr^2+0.008$ となり、切片が零とならないが、これは、 Fr^2 の小さい領域では流れの状態が質的に異なっていることを意味していよう。Fig. 4 は i と平均流速 v の関係を図示したもので、低速域になると $C_v=0$ の場合よりもエネルギー損失が大きくなることがわかる。これは、Fig. 5 に示すように、低速域になると浮力の影響が大きくなり、上層に固体粒子が集積 (S が1より大きい場合には下層に沈降集積) し、そのため、速度分布形が著しく変形し、固体と流体の速度差が大きくなるためである。高速になると固体粒子は管断面全体に広がって、流下するようになり、エネルギー損失は清流の場合と変わらなくなる。

4. おわりに

比重が1に近い固体粒子の混相流のエネルギー損失を観測した結果、(1) i と Fr^2 は比例関係にある、(2) 低速域では混相流のエネルギー損失が大きくなることがわかった。

- <参考文献> 1) 川島、佐々木、高橋、土木学会東北支部講演概要集、1988、pp109-110
2) 高橋、川島、佐々木：円管内雪水二相流の流動モデル、日本雪工学会誌、1989、pp2-17
3) 田沢、佐々木ら、土木学会東北支部講演概要集、1989、pp190-191
4) 菅原、佐々木ら、土木学会東北支部講演概要集、1989、192-193

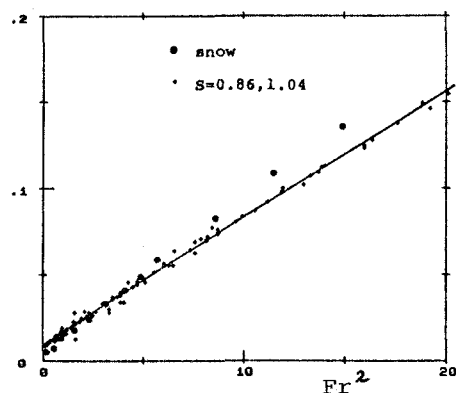


Fig. 3 $i - Fr^2$ ($Fr^2 = v^2 / g d$)

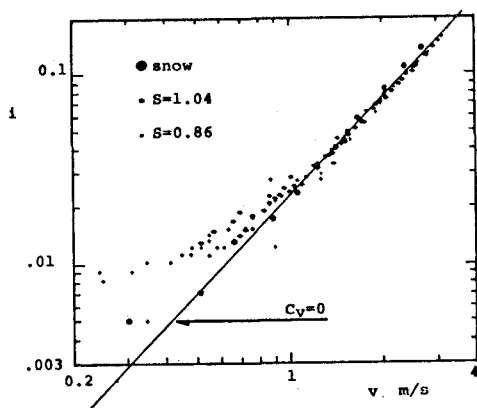


Fig. 4 $i - v$

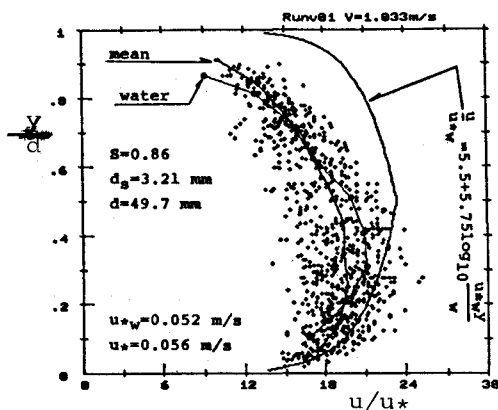


Fig. 5 速度分布形