

汚泥の流動特性について

大阪工業大学 正員 高田 巖
学正員 〇波多野宏和
山崎 芳道

1. はじめに

下水汚泥の流動に関する研究は従来より行つて来たが、その組成の複雑さ、流動特性の特異性、非再現性などのため困難なものとしてされている。

われわれは毛細管粘度計の原理を利用し、かつ粗大な汚泥の流動測定にも利用できるように試作した加圧輸送実験装置を用いて、下水汚泥の流動特性の測定を行った。この加圧輸送実験装置には、汚泥中に空気を圧入できる装置を附加し、加圧空気の混入による流動特性の変化についても合わせて実験できるようにした。

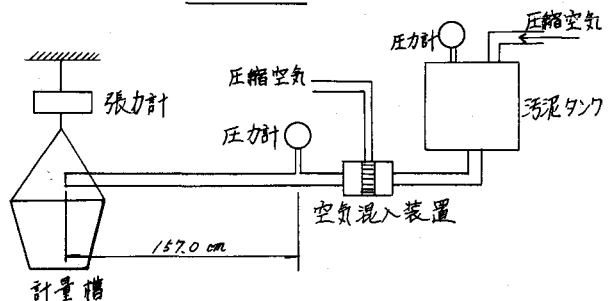
この加圧輸送実験から圧力と流量の関係を求め、流動特性の測定を行った。その際、同一含水率汚泥を用いて、加圧による輸送と加圧と汚泥中への空気混入 ($P = 1 \text{ kg/cm}^2$ 一定) による輸送の実験を行った。この実験結果から空気混入の有無による流動特性の変化について比較検討した。

2. 実験装置と実験方法

加圧輸送実験に用いた装置は構成図に示した様に、管路 (内径 2.0 cm、長さ 223 cm) 加圧タンク (内容量 15 l、耐圧 20.0 kg/cm^2)、計量槽 (内容量 15 l)、空気混入装置から成っている。管路末端より 157 cm の所に圧力計を取り付け輸送圧力の調整を行った。流量の測定は、管路末端に取り付けた計量槽に流入する汚泥の重量を張力計を用いて測定することとした。また空気混入装置としては、ボラスストーンを用いて輸送のための加圧用コンプレッサーとは別のものより、直接 $P = 1 \text{ kg/cm}^2$ 一定の圧力で空気を混入した。

実験は汚泥タンク内に汚泥を挿入し、コンプレッサーで加圧して流送する。その際の流送圧力は管路の途中に取り付けた圧力計によって一定に保った。また空気混入加圧輸送の場合は、同時に空気混入口より $P = 1 \text{ kg/cm}^2$ 一定の空気を圧入した。空気混入は2回、非混入は3回以上同一圧力について実験をくり返した。

構成図



3. 試料

試料としては、大阪市放出下水処理場の生汚泥を使用した。採取後ホルマリンで固定し使用時には2mmのふるいにかけて実験可能な含水率にまで自然乾燥、濃縮した。

表-1 各含水率における単位体積重量

含水率 (%)	単位体積重量 (g/cm^3)	含水率 (%)	単位体積重量 (g/cm^3)
84.5	1.109	88.9	1.078
85.2	1.105	89.7	1.073
85.9	1.100	91.0	1.064
87.5	1.088	91.7	1.059
88.3	1.083		

有機物含有率 54.0 %

4. 実験結果と考察

各々の含水率について行った輸送実験より得た圧力と流量の関係を Fig 1, 2, 3 に示した。Fig 1, 2, 3 は両対数でプロットしたものであり明らかに空気混入・非混入によって変化が現われた。

同一含水率において圧力が増加するにつれ流量が増加する傾向は、空気混入・非混入ともにみられた。また同一圧力における流量は、空気混入の方が非混入よりも大きく、例えば含水率 85.2% の汚泥で圧力 $0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のもとで空気混入で $728.2 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、非混入で $306.5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ となり、含水率 87.5% の同一圧力で空気混入で $1618.4 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、非混入で $1318.4 \text{ cm}^3/\text{sec}$ となった。同一含水率において流れ始める圧力は、空気混入の方が非混入よりも低く、例をあげれば含水率 85.2% の汚泥で空気混入で $0.2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、非混入で $0.4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、含水率 87.5% で空気混入で $0.2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、非混入で $0.3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ となった。

グラフに示されるように直線に変化点が現われ、空気混入・非混入

ともに含水率の増加に伴い低圧力へ移動していることがわかった。そして同一含水率においては、空気混入の方が非混入よりも低い圧力で変化点が現われた。また直線の変化点は、空気混入と非混入とでは全く逆の傾向が現われた。

それぞれの実験においては空気混入圧力を $P = 1.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 一定としたため、空気混入による流量の増加は $P = 0.4 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以下において大きく現われた。そして含水率の増加に伴い、空気混入

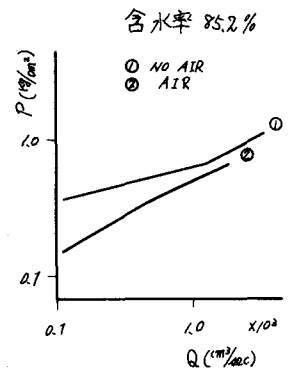


Fig 1

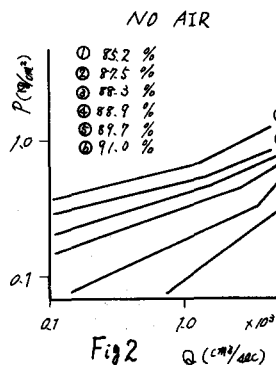


Fig 2

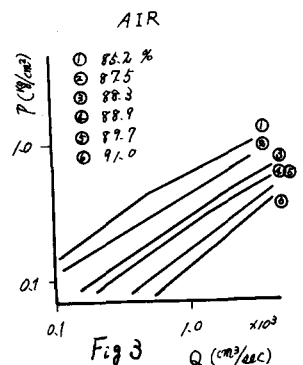


Fig 3

による影響は小さくなった。含水率89.7%においては流量差は殆んどなくなり、91%以上になると逆に空気混入よりも非混入の方が流量が大きくなる傾向がみられた。

以上の結果、空気混入による流量の増加は低含水率、低圧力において、より大きくなることわかった。

表-2

含水率 (%)	K 値		n 値	
	NO AIR	AIR	NO AIR	AIR
86.6	542	74	0.181	0.476
88.2	310	33	0.249	0.548
88.9	319	29	0.219	0.535
89.5	140	25	0.312	0.571
88.3	131	25	0.291	0.492
88.9	79	28	0.326	0.463
89.7	13	8	0.510	0.571
91.0	5	22	0.759	0.413
91.7	2	3	0.882	0.680

次に、以上測定した圧力と流量をもとに計算によって流動特性係数 K , n を求めた。その結果を表-2、Fig 4, 5に示した。

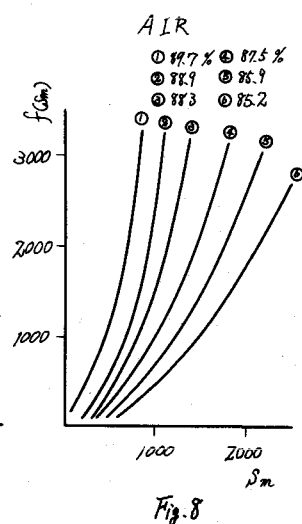
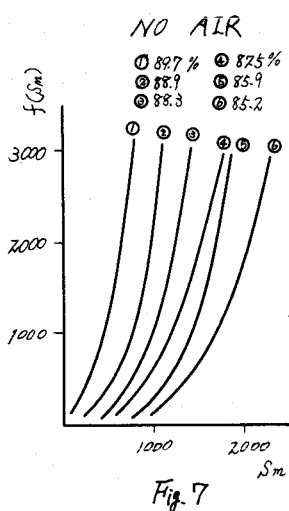
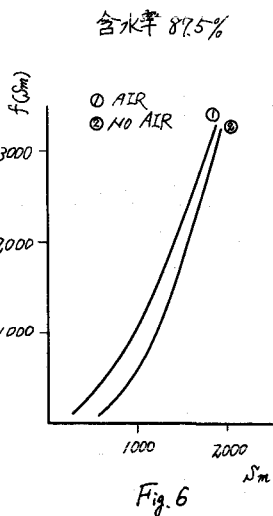
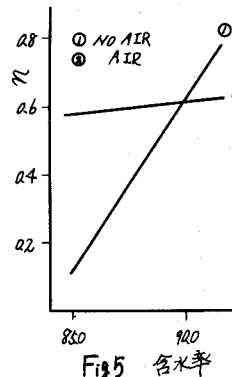
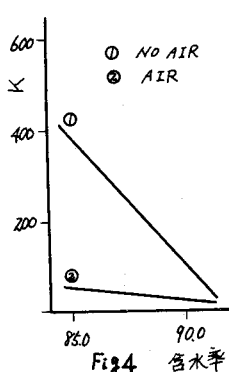
K 値は空気混入、非混入ともに含水率の増加に伴い減少する傾向がみられた。そして同一含水率においては、空気混入の方が非混入よりも小さい値を示した。一例をあげれば含水率85.9%で空気混入で310、非混入で33、含水率88.3%で空気混入で131、非混入で25であった。また含水率による K 値の変化は空気混入の方が小さくなっていった。

n 値は空気混入、非混入ともに含水率の増加に伴い増加する傾向がみられた。しかし空気混入の場合は表-2、Fig 5で示すように、殆んど変化がないように思われた。そして同一含水率においては空気混入の方が大きな値を示した。

K , n 値を用いてセー断応力 S_m とセー断速度 $f(S_m)$ の関係、すなわち流動曲線を求め Fig 6, 7, 8 に示した。

グラフがわかるように、空気混入、非混入ともに同一セー断力において含水率が增加するにつれてセー断速度は増加した。

また、同一セー断力におけるセー断速度は、空気混入の方が非混入よりも大きな値を示した。言い換えれば空気混入によ



り汚泥の流動特性が小さくなることを示している。

同じく K , n 値を用いて摩擦損失係数 f とレイノルズ数 Re を求めた。その値は圧力、含水率、その他によってさまざまであった。しかしその殆んどにおけるレイノルズ数は、層流域を示した。

流量 $Q = 10 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{sec}$ においては、空気混入、非混入ともに含水率の増加に伴い摩擦損失係数は減少し、レイノルズ数は増加する傾向がみられた。また空気混入の方が非混入よりも摩擦損失係数は小さく、レイノルズ数は大きな値を示した。

最後に圧力とレイノルズ数の関係を Fig. 9, 10, 11 に示した。Fig. 9, 10, 11 は両対数プロットしたものである。

非混入の場合はほぼ直線の関係がみられた。空気混入、非混入ともに同一圧力においては含水率が増加するにつれてレイノルズ数は増加する傾向がみられた。また空気混入の方が非混入よりもレイノルズ数が大きい傾向がみられた。

4. 結 論

以上の実験の結果、わかれわかれは次のような結論を得た。

1). 加圧輸送、空気混入加圧輸送ともに含水率の増加に伴い汚泥が流動しはじめる圧力は低くなる傾向がみられ、その圧力は空気混入の方が低かった。また空気混入、非混入ともに含水率の増加に伴い、同一圧力で流れる流量は増加し、同一含水率、同一圧力での汚泥流量は空気混入の方が多かった。

2). 加圧輸送、空気混入加圧輸送より求めた圧力と流量の対数をとると、ともに変化点をもつ直線関係がみられ、両者は全く逆の傾向が現われた。また変化点の位置は空気混入、非混入ともに含水率の増加に伴い圧力の低い方へ移動する傾向がみられた。

3). 加圧輸送、空気混入加圧輸送で求めた K 値は、ともに含水率の増加に伴い減少し、同一含水率での K 値は空気混入の方が小さな値を示した。また含水率の増加に対する減少の割合は、空気混入加圧輸送から求めた K 値の方が小さかった。

4). 加圧輸送、空気混入加圧輸送で求めた n 値は、ともに含水率の増加に伴い増加し、同一含水率での n 値は含水率 90% 程度までは空気混入の方が大きく、それ以上の含水率では非混入の方が大きな値を示した。

