

VI-246

泥水粘度測定システムの開発

戸田建設(株) 正会員 野地 次男

阿部 史郎

旭建設(株) 樋口 忠

後藤 次靖

旭建設(株) 荒谷 孝之

1. はじめに

本技術は泥水輸送管内の圧力損失を測定することによって、泥水の粘性をリアルタイムに推定するものである。一般に、泥水輸送管内の流れは乱流である。乱流では管内で発生する圧力損失は主として慣性力によるものと考えられている。しかし、境界層が十分な厚さで存在するならば圧力損失は粘性力の影響を受けるので、乱流であってもハーゲン・ポアズイユの流れと同じように扱うことができる¹⁾。本報では、泥水の管内流動がハーゲン・ポアズイユの流れであることを確認するとともに、流速の変化によりその流れがどのように変わるかを調べた結果について報告する。また、システムの適用結果についても併せて報告する。

2. 泥水の管内流動

図-1はファンネル粘度(FV)の異なる5種類の泥水に対して、バイパス運転により流量を変化させたときの流速と圧力損失の関係である。圧力損失は10mスパンで配管（送泥=6B, 排泥=4B）に1組ずつ設置した精密な圧力計により求めている。流速は平均流速で流量から算出している。図でTは温度である。ほとんど水に近い粘度のFV=19.71secについては2次の多項式で、残りのFV=21.98sec～FV=31.88secについては1次式で近似される。FV=21.98sec～FV=31.88secの流れは明らかにハーゲン・ポアズイユの流れである。すなわち、圧力損失は泥水の粘性により発生している。逆に、FV=19.71secでは、圧力損失はほとんど慣性力によるものである。

層流から乱流へ移り変わる臨界レイノルズ数は、泥しょうにおいては $Re=1100\sim1200$ 程度である²⁾。つぎのダルシー・ワイズバッハの式

$$h = (\Delta p / \rho \cdot g) \\ = \lambda \cdot (l/d) \cdot (v^2/2g)$$

h: 圧力損失 d: 管内径

 λ : 摩擦損失係数 v: 流速

l: 管長

とニコラゼの式

$$\lambda = 0.0032 + 0.221 Re^{-0.237}$$

を用いて臨界レイノルズ数になる流速を調べると、図-1で臨界 Re とある直線で結ばれる。降伏値が大きいくほど臨界レイノルズ数は低レイノルズ数へと移動するので、実際の臨界 Re 線はもっと傾斜が急なものとなる。

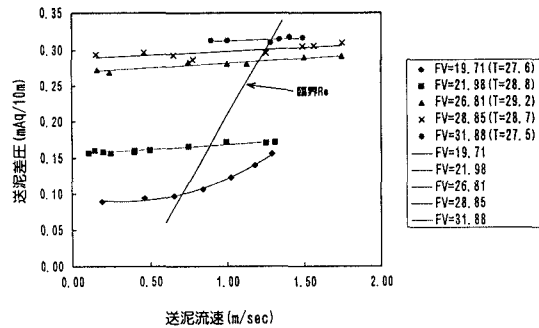


図-1 送泥流速による差圧の変化

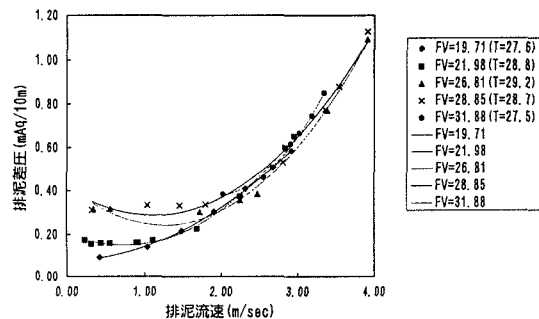


図-2 排泥流速による差圧の変化

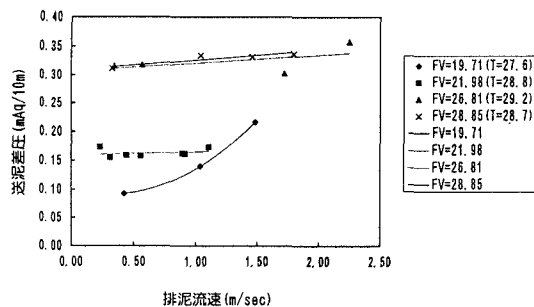


図-3 排泥低流速域での差圧の変化

ところで、 $FV=21.98\text{sec}$ 以上では乱流域であってもある流速（限界流速）になるまでは流速を増しても1次式の関係が維持されている。そして粘度が高いほどこの限界流速は大きくなっている。これは高粘度の泥水ほど流速が上がっても慣性力の影響を受けないだけの境界層が維持され、あたかも層流のようにみえるからである。

図-2は排泥側における圧力損失と流速の関係である。測定方法は送泥の時と同じで、測定も同じ条件で行っている。いずれのFVにおいても2次式で近似される。流速 $1.5\text{m/sec} \sim 2.5\text{m/sec}$ までを拡大すると図-3のようになり図-1とほぼ一致した関係が得られる。このことから、この範囲の流速までは6B（ $\phi 150$ ；送泥管）、4B（ $\phi 100$ ；排泥管）といった管サイズにかかわらず、管内流れはハーゲン・ポアズイユの流れとして扱うことができる。したがって、管内圧力損失から泥水の粘性を推定することが可能となる。

3. システムの適用結果

図-4にシステムのモニタ画面を示す。画面表示はトレンドグラフとデータ値を用いて行っている。送泥FVは送泥差圧から推定したファンネル粘度である。現在の送泥流速と基準流速との差から差圧の補正量を算出し、[圧力損失（差圧）]－[ファンネル粘度]テーブルに基づいて出力している。送泥Re、排泥Reはダルシー・ワイズバッハの式とニクラゼの式から算出した送泥側および排泥側のレイノルズ数である。臨界レイノルズ数の目安を $Re=1100 \sim 1200$ とすると、流れが層流なのか乱流なのか判断できる。

図-5はシステムが出力したファンネル粘度とファンネル粘度計で測定したファンネル粘度の関係である。実際のファンネル粘度との誤差は1sec前後にとどまっており、実用上十分な精度が得られている。

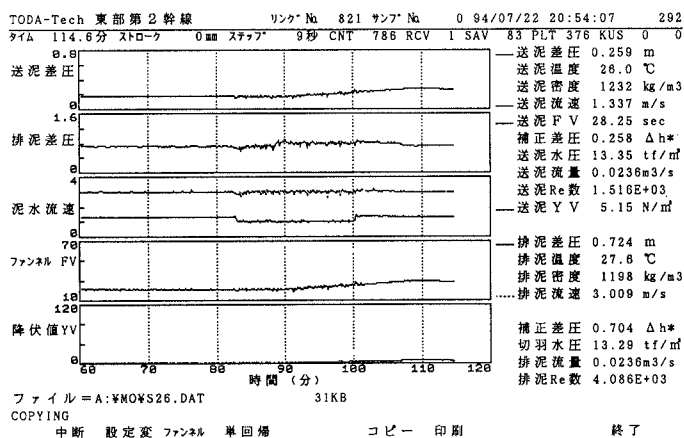


図-4 粘度測定システムのモニタ画面

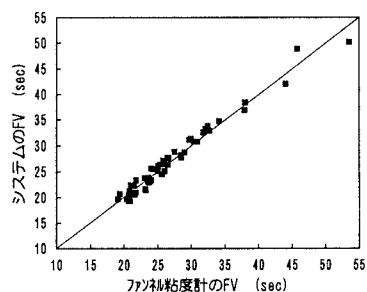


図-5 システムのFVと
ファンネル粘度計のFV

4. おわりに

境界層の発達が十分であれば、乱流であっても管壁近くではハーゲン・ポアズイユの流れとして扱うことができるので、管内の圧力損失を測ることで泥水の粘度を知ることができる。比較的管内流速の遅い送泥側に本システムを適用した結果、十分な精度でファンネル粘度を推定できることが確認された。さらに、排泥側でも圧力計測部位の流速を工夫さえすれば、泥水の粘度を精度よく推定することができることがわかった。排泥側の粘性情報は切り羽の状態を知る上で是非ともほしいものである。今後は排泥ラインでの本システムの適用法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 野地ほか, 管内圧力降下による泥水粘土の測定方法, 第49回土木学会年次学術講演会概要集VI, 1994
- 2) 伊藤四郎, 化学技術者のための流体力学, 科学技術社, 1983