

早稲田大学理工学部

遠藤郁夫

国士館大学工学部

○金成英夫

2. はじめに.

下水汚泥の管路輸送における摩擦損失水頭の算定法には Hazen-Williams の式を用いる方法, Abwassertechnik による方法および遠藤・金成式 (1) を用いる方法などがある。本報告は, 下水汚泥の摩擦損失水頭とこれらの方法を用いて算定し, 判定値と比較検討したものである。

2. 摩擦損失水頭の算定法.

下水汚泥の摩擦損失水頭の算定法について, その概要を示す。

(1) Hazen-Williams の式を用いる方法 (H.W法).

この方法は式 (1) の係数 C_H を汚泥濃度により図-1 のように変化させて, 摩擦損失水頭を算定するものである。

$$h_f = 6.82 \frac{L}{D^{4.75}} \left(\frac{V}{C_H} \right)^{1.85} \quad (1)$$

ただし, h_f : 摩擦損失水頭 (m), L : 管長 (m), V : 流速 (m/s), D : 管径 (m).

(2) Abwassertechnik の方法 (A.T法).

この方法は下水汚泥の流動特性を擬塑性流体とし, 摩擦損失係数 λ を層流領域および乱流領域でそれぞれ次の式で求め, 摩擦損失水頭を算定するものである。

$$\text{層流領域} \quad \lambda = 8 \left(\frac{6n+2}{n} \right)^2 \frac{1}{Re_n} \quad (2)$$

$$\text{乱流領域} \quad \frac{1}{\lambda} = 2.0 \left(\frac{1}{n} \right)^{0.70} \log (Re_n \lambda^{1-\frac{n}{2}}) - 0.8n \quad (3)$$

ただし, n : 構造粘度指数 (-), Re : 流体粘度指数 ($\text{dyn} \cdot \text{sec}^n / \text{cm}^2$).

$$Re_n = \frac{D^n V^{2-n} \rho}{A} \quad (4)$$

この場合, 下水汚泥の n と A は回転粘度計を用いて, 速度勾配 (dy/dy) とせん断応力 (τ) とを求め, これらの関係 ($\tau = A (dy/dy)^n$) から算定する。

(3) 遠藤・金成式 (1) の方法 (E.K法).

この方法は下水汚泥の流動特性を擬塑性流体とし, 下水汚泥の物性と汚泥濃度との関係, さらに, 摩擦損失係数と広義レイノルズ数との関係を用いて摩擦損失水頭を算定するものである。

$$Re = \frac{D^{n'} V^{2-n'} \rho}{K_p} \quad (5)$$

$$\text{ただし, } n' = 10.35 C^{-0.029} \quad (6)$$

$$K_p = 1.76 \times 10^{-15} C^{1.75} \exp \left(\frac{4850}{T} \right) \quad (7)$$

$$\rho = \frac{1.9038 \times 10^3 \rho_w}{C \rho_w (1.01 + 1.57 B_n) + 0.9038 (10^3 - C)} \quad (8)$$

摩擦損失係数は次の式で求めることができる。

$$\text{層流領域; } Re \leq 2,000 \quad \lambda = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

遷移領域; 若干精度は悪くなるが, 乱流領域の関係式を適用することかできる。

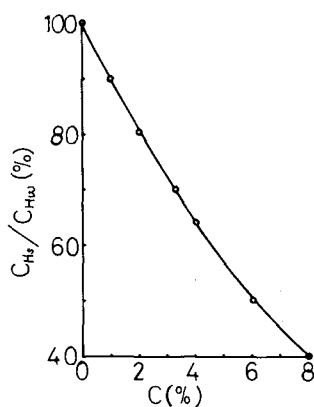


図-1. 汚泥濃度と Hazen-Williams の係数の補正値.

表-1. 実験管路の諸元.

項目	管の材料	管壁の粗度	C_H
管径 (cm)			
7.66	塩化ビニル	滑	152
15.0	銅管	粗	112

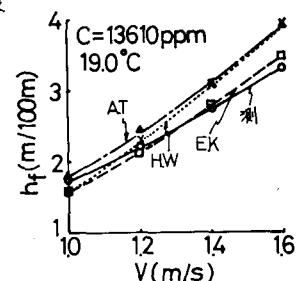
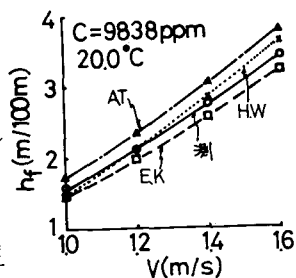


図-2 流速と摩擦損失水頭との関係 ($D = 7.66 \text{ cm}$, 滑管)

長流領域; 滑管 $Re \geq 5000$ $\lambda = 0.134 Re^{-0.197}$ (10)

粗管 $Re \geq 10,000$ $\lambda = 0.0383 Re^{-0.0171}$ (11)

(粗管は $\phi/D = 0.005$, $D = 15.0$ cm).

摩擦損失水頭は Darcy-Weisbach の式で算定できる。

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

D : 管径 (cm), V : 流速 (cm/sec), ρ : 汚泥の密度 (g/cm³), η' : 構造粘度指数 (-), K' : 流体粘度指数に相当する指数 (dyn·secⁿ/cm²), T : 絶対温度 (°K), ρ_w : 水の密度 (g/cm³), R_p : 揮発性物質含有率 (wt%, %)

3. 摩擦損失水頭の計算値と測定値の比較。

管径 7.66 cm および 15.0 cm の実験管路と、さらに、管径 33.8 cm, 長さ 10600 m の汚泥輸送管路において、摩擦損失水頭の測定値と計算値について比較検討を加えた。表-1 はこれらの管路に水を流して (1) 式の係数 C_H を求めたものである。

図-2 および 図-3 はそれぞれ管径 7.66 cm の滑らかな管と 15.0 cm の粗い管の場合の流速と摩擦損失水頭の計算値および測定値を示したものである。図-2 から、管壁が滑らかな場合、摩擦損失水頭の計算値はいずれの場合にも測定値にかなり近い値を示していることが認められる。一方、粗い管の場合、図-3 に見られるように、H.W 法による計算値は汚泥濃度が高くなるにしたがつて、かなり大きくなり、また、A.T 法による計算値は全般的に小さな値を示している。これに対して、E.K 法すなわち、遠藤・金成の式 (1) による計算値は、ほぼ測定値に近い値を示していることが認められる。

図-4 は汚泥輸送管路において、各計算法による計算値と測定値の比と汚泥濃度との関係を示したものである。この場合、輸送管はモルタルライニングされており、 $C_H = 130$ とし、遠藤・金成の式 (1) においては滑らかな関係式を用いて算定した。H.W 法による計算値は測定値に比べてかなり大きな値を示しており、A.T 法は反対に小さな値を示しているのに対して、遠藤・金成の式 (1) は測定値に最も近い値を示していることが認められる。

4. まとめ。

下水汚泥の管路輸送における摩擦損失水頭について、Hazen-Williams の式を用いた方法、Abwassertechnik の方法および遠藤・金成の式 (1) の方法を用いて算定し、測定値と比較検討を加え、次の結果を得た。

(1) 滑らかな管では、いずれの計算法の場合にも、ほぼ測定値に近い計算値となる。

(2) 粗い管の場合、Hazen-Williams の式を用いた場合、汚泥濃度が高くなるにしたがつて計算値も大きくなり、Abwassertechnik の方法では小さな値を示すのに対して、遠藤・金成の式 (1) はほぼ測定値に近い計算値となる。

(3) 実際の汚泥輸送管路では、遠藤・金成の式 (1) が測定値に最も近い計算値となる。

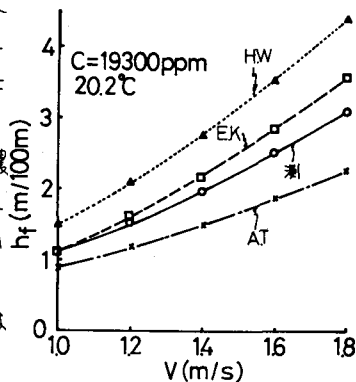
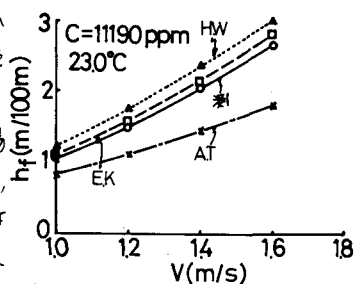
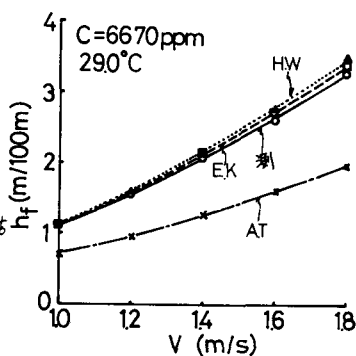


図-3. 流速と摩擦損失水頭との関係 ($D=15.0$ cm, 粗い).

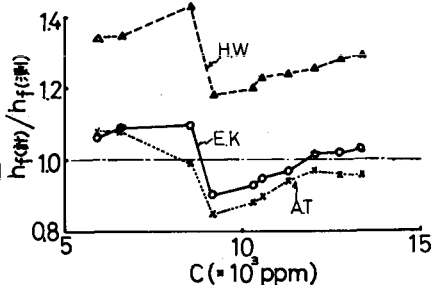


図-4. 汚泥輸送管路の摩擦損失水頭の計算値と測定値の比 ($D=33.8$ cm, 温度 $9 \sim 23^\circ\text{C}$).