

II-111 管路による土砂輸送に関する研究

東京工業大学教授 正会員 吉川 秀夫
千葉県庁 正会員 ○河北 慶介
日本機械化研究所 竹之内 博幸

§1. まえがき

管路による土砂輸送に関する研究は、従来から数多く見られるが、二相流体特有の複雑な性状を統一して解析するものは到っていないように思われる。本研究では、はじめに、土砂を含むことによる抵抗の変化を、砂粒子と流体との相対速度によるものと仮定し、解析を試みずものである。次に、 $1/4$ ピッチのうせんサン粗度と、ある間隔毎に管内に挿入し、らせん挿入による抵抗の変化を示し、らせん流のモデル化を試みたものである。

§2. 実験

詳細は、前回の講演集に述べてあるように、管径 5 cm、測定区間長 6 m、砂粒子平均粒径 $d_m = 0.021, 0.067, 0.089, 0.13$ cm の 4 種類、らせんサン粗度挿入は、図(1)に示すものである。

§3. 抵抗法則(1) — plain wall pipe

1. 圧力損失(I_m)を、a)、清水(I_w)、b)、土砂($I_m - I_w$)に分割
2. 粒子が定常運動するものと、仮定する。

さらに、流体と粒子との相対速度による推力は、粒子による圧力損失に等しいと、置かならば

$$\frac{U_s}{V} = 1 - \sqrt{\frac{4g d_m (1-C)^2 (I_m - I_w)}{3V^2 C \{1 + C(S-1)\} G_D}} \quad (1)$$

ここに、 U_s = 粒子平均速度、 V = 平均流速、 C = 平均濃度、 S = 粒子比重。

$$\text{また、} G_D = f Re; \quad Re = (U_w - U_s) d_m / \nu(C) \quad (2)$$

$$\nu(C) = \nu_w \{ 1 + 25C + 10.05 C^2 + \exp(16.6C) \} \quad (\text{Thomas 1965}) \quad (3)$$

ここに、 G_D = 抵抗係数、 U_w = 流体速度、 $\nu(C)$ = 見掛け動粘性係数、

3. 一方、浮遊砂における濃度分布を規定する量は、 U_s/U_w 或 $U_s/k U_w$ (U_s = 沈降速度、 U_w = 摩擦速度)

以上より、 U_s/V と U_s/U_w の関係をプロットしたのが、図(2) である。

§4. 抵抗法則(2) — rifled wall pipe

らせん流を、a) swirling flow による frictionless
b)、rifled rib と載える formless に分割すると、
Total の圧力損失は

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P(a) + \Delta P(b)$$

$$\text{よって、} \Delta P(a)/\rho_w = f \frac{\ell}{D} \frac{1}{2g} \left(\frac{V}{\cos \theta} \right)^2 \quad (4)$$

$$\Delta P(b)/\rho_w = C_D (a_0/A) (\pi \ell / 2g) \frac{V^2}{2} \quad (5)$$

4式で、 f = 摩擦係数、 ℓ = 測定長、 D = 管径、

θ = らせん流のねじれ角、 $V/\cos \theta$ = 見掛け上の速度

増加を意味する。5式で、 C_D = form loss 係数

a_0 = サン粗度の射影面積、 A = 管断面積、 n = 測定

長さのサン粗度数。一方、5式における C_D の平均値は、次の表に示すごとく、行。

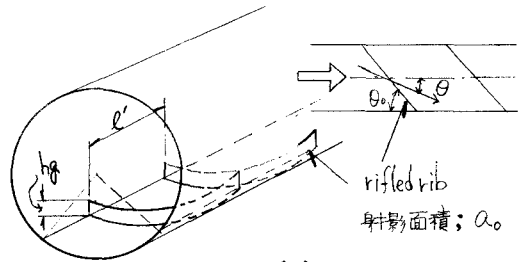


図-(1)

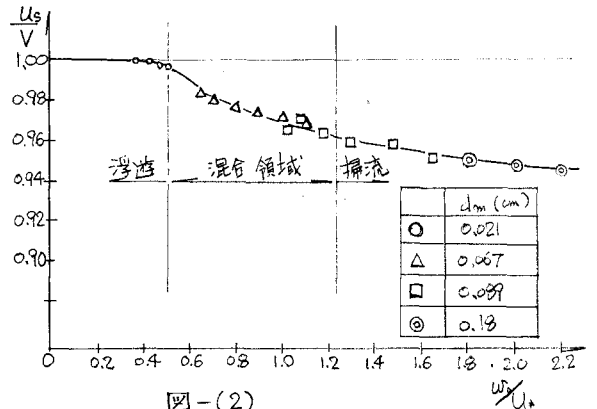
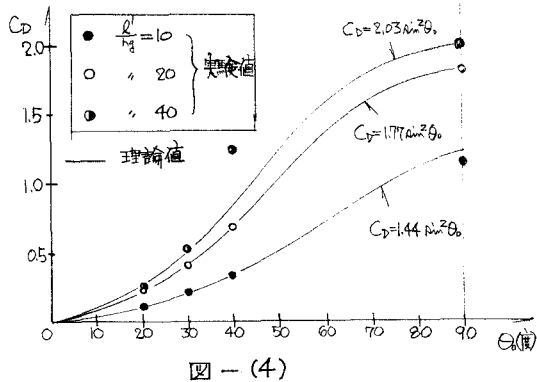
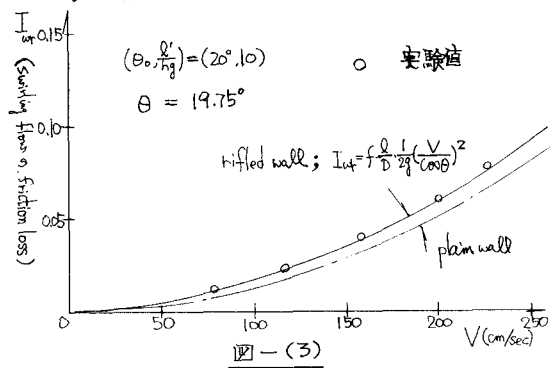


図-(2)

1. rifled rib の挿入角度 : θ .
2. " の管内断面積に対する比 $= a/A$ Goldstein⁽⁴⁾ を参考として, $C_D = 0.6 C_{Dn}$ (二次元から三次元へ)
3. " の間隔と高さの比 : l'/h_g 足立氏⁽²⁾ の sheltering effect を考慮し、有効高さの変化をみる。

以上より、清水時のらせん流の抵抗を求めたのが、図-(3)、(4) である。



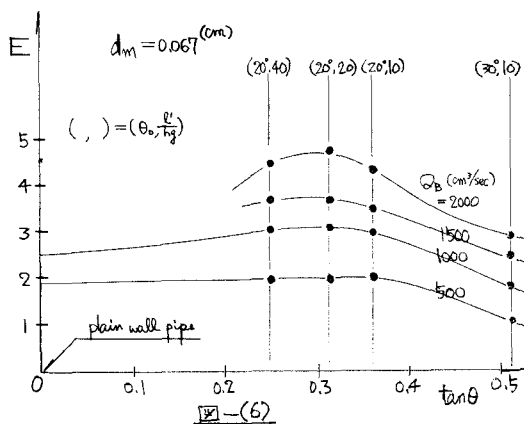
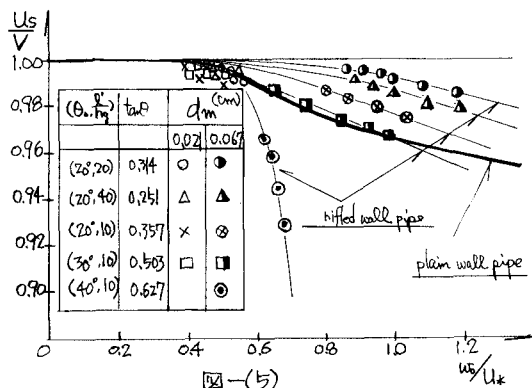
§5. 抵抗法則 (3)

土砂を含んだらせん流の抵抗の変化を、3) と同様に表示すると、図-5) である。これより、rifled wall pipe による土砂輸送を考えるに当り、粒子のらせん運動による抵抗の変化を考慮する必要がある。

§6. 輸送効率

輸送効率 (E) を、エネルギー消費量に対する土砂輸送量と、定義するならば、最大の輸送効率を得る条件は、管路に土砂が堆積する直前の限界堆積状態での輸送である。plain wall pipe と比較して、rifled wall pipe の場合堆積状況が異なる。すなわち、後者の場合、限界堆積速度は、小さくなる。また、本実験において、 $d_m = 0.021 \text{ cm}$ は、E (効率) 自体は増加するが、エネルギー消費量も増大し、rifled が、逆効果という結果が得られる。一方、 $d_m = 0.067 \text{ cm}$ 以上では、ある平均流速 (V_a) を境に、 $V < V_a$ では、rifled 有効、 $V > V_a$ では、plain 有効という結果を得た。さらに、Howard⁽³⁾ によれば、 $d_m > 0.2 \text{ cm}$ では、全般的に、rifled 有効という結果が得られている。

ここでは、らせん管の粗度の特性 $(\theta, l'/h_g)$ に対する最大の輸送効率 $E_{\max} (= SC/I_m)$ を求めると、図-(6) に示す如くである。ここに、横軸には、 $(\theta, l'/h_g)$ によって決定される流れの有効な傾角 (θ) を、parameter として、限界時流砂量 $Q_b (\text{cm}^3/\text{sec})$ を取っている。



- 参考文献 1. Goldstein, S. "Modern developments in fluid dynamics" Volume II, p. 439
2. Abaki, S. "Artificial roughness in open channel models Proceedings of the U.S.-Japan seminar on similitude in fluid mechanics Sep. 21-28 1967".
3. Howard, G.W. "Effects of rifling on four inch pipe transporting solids". RASCE, Vol 65(2) 1939