

東京工業大学 工学部 正会員 吉川 秀夫
東京工業大学 大学院 学生員 河北 慶介
間 組 金沢 真一

1 まえがき

海浜における土砂輸送など、物質の輸送手段として、経済性と実用性を持つパイプラインが、近年重要な位置を占めつつある。管路における土砂輸送に関して、従来いろいろな研究が行なわれているが、その課題は、最適の輸送効率と偶発的事故による管路の開塞防止にあるといつてよい。土砂濃度が比較的低い場合、エネルギー損失が最小となる流速は、限界堆積流速にほぼ等しいことから、最初のステップとして、本研究では、堆積前の従来の研究と実験的に比較検討し、次に限界堆積状態に着目し、限界流速土砂量が、限界掃流力によって決定されることを示し、さらに開水路における Einstein の抵抗法則を管路に適用し、堆積後の抵抗法則を解明しようとするものである。

2 実験装置と方法

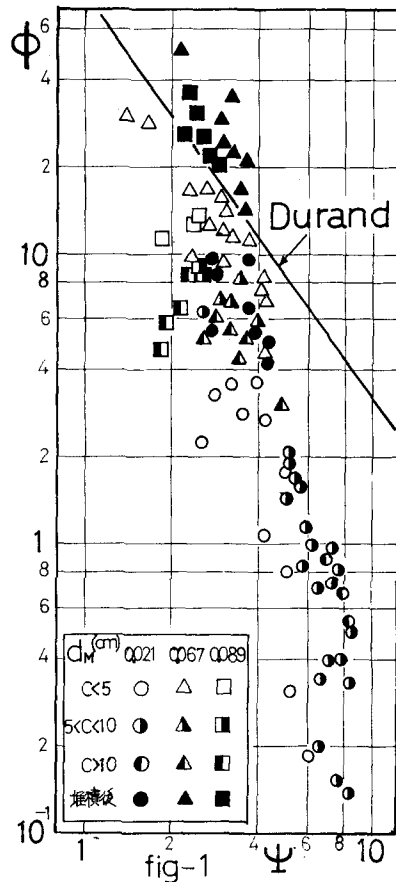
管路は、内径 8 cm, 測定区間長 9 m のアクリル透明管からなる可変勾配の循環水路である。損失水頭の測定は、1 m 毎に取りつけた静圧タップ 6 コから、3 m 間隔でマンローターに接続し、3 点の平均値をとった。流量は、ベンチューリ管を用い、濃度の測定は管路の吐出口から、貯水槽にもどる所で抽出し、重量比から求めた。堆積後は、アクリル側壁部から堆積厚さを測定し、断面を馬蹄形と仮定し、補正した。実験砂は、平均粒径、比重が、それぞれ (A) 0.021 (mm), 2.65 (B) 0.067, 2.60 (C) 0.089, 2.65 の 3 種である。なお平均流速は、100~240 (cm/s) の範囲である。

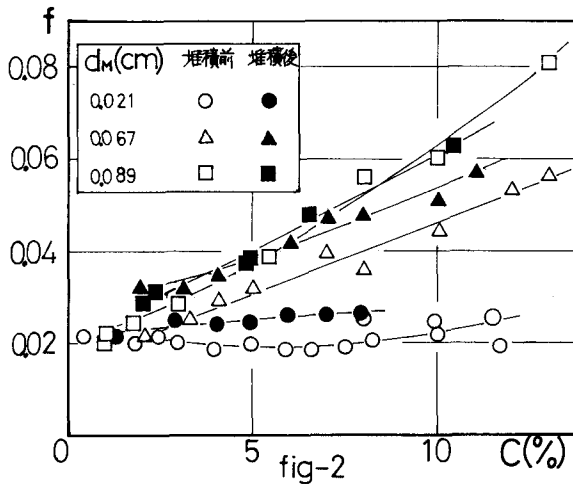
3. 管路の抵抗法則

従来、Durand 等の研究にみられるように、堆積前の解析は、かなり多い。heterogeneous な流れに対する Durand の無次元表示は、

$$\phi = K \cdot \psi^m, \quad \phi = \frac{J - J_w}{J_w C}, \quad \psi = \frac{V^2 \sqrt{C_D}}{g D (S_s - 1)} \quad (1)$$

ここに、 J は混合物のエネルギー勾配、 J_w は清水に対するエネルギー勾配、 C は断面平均濃度 (容積比 %), V は平均流速、 g は重力加速度、 D は管径、 S_s は砂粒子の比重、 C_D は沈降速度に対する抵抗係数、さらに、 K, m は粒子の性質に関係した値で、実験条件により変化することは、一般的事実となっている。Durand の場合、 $K=80, m=-1.5$ 。本実験の 3 種類の砂について、プロットしたのが、fig-1 である。図から明らかに、平均粒径 d_m が小さくなるにつれ、Durand の線からズレ、 ϕ が、 ψ 下側の関係数ではなくなってしまう。そこで、管壁の摩擦係数の変化を、Weisbach 式を適用してプロットしたのが、fig-2 である。図より、 d_m が小さくなるにつれ、流れの摩擦抵抗が減少することがわかる。





さらに、堆積後では、 f は増大する傾向にあり、単純に断面補正だけでは論じられず、砂粒子の運動、砂運の効果を考慮しなければならぬ。次に、エネルギー損失が最小となる流速を V_L (cm/s)、限界堆積流速を V_C (cm/s) とすると、fig-3 から明らかなように、濃度 $C \leq 5 \sim 10$ (%) に対し、 $V_L \leq V_C$ となり Robinson & Graf の結果と一致している。しかし、 V_L と V_C の相異は、 $C < 5 \sim 10$ (%) では、一般に明らかではなく、本研究においては、特に V_C に着目し、Robinson & Graf の次元解析による無次元表示、

$$F = f(C, d_m), \quad F = \frac{V_C}{\sqrt{2gD(S_s - 1)}} \quad (2)$$

が、物理的意味に乏しいことから、限界堆積状態においては限界の流砂量と限界掃流力とは、一義的関係を持つという仮定のもとに、次の関係式を導入した。ここで、限界堆積状態を砂粒子の運動が、slip を起こし始めた状態と定義している。

$$q_{Bk} = k \cdot \tau_*^n, \quad q_{Bk} = \frac{q_B}{U_{sc} d_m}, \quad \tau_* = \frac{U_{sc}^2}{(S_s - 1) g d_m} \quad (3)$$

ここで、 q_B は単位時間当りの限界流砂量 (cm³/s)、 U_{sc} は限界摩撓速度 (cm/s)。本実験についてプロットしたのが fig-4 である。なお、Durand の実験に対する限界値をプロットすると、

ほぼ一致していることがわかる。図から、 $k=374$, $n=3.21$ である。濃度 $C > 15$ (%) になると、 q_B の増加が構わず、 q_{Bk} は一定値に近づく傾向があり、限界流砂量は、限界掃流力だけでは、一義的に決定できず、もう一つのパラメーターが必要となってくる。さらに、土砂輸送形態も不安定を極め、slip の連続となり、本量測定も不可能となった。掃流力が、限界掃流力以下になると、底面に堆積を生じ、砂運、砂堆などの河床変動が顕著となる。なお、堆積後の河床変動に伴う抵抗の変化は、現在、検討中である。

参考文献

- 1) R. Durand ; Basic Relationship of the Transportation of Solids in Pipes Experimental Research, University of Minnesota, Sept. 1953
- 2) P. Robinson & H. Graf; Pipelining of low-concentration sand-water mixtures, PASC July. 1972

