

管路における土砂摺動層流れに関する検討

愛媛大学工学部 正員 鈴木幸一
 復建調査設計(株) 正員 栗原 崇
 愛媛大学大学院 学生員 ○池辺健作

1. はじめに

管内を流送される土砂の輸送形態は、管内流速が大きくなるに伴い「堆積層流れ」、「部分堆積層流れ」、「摺動層流れ」、「浮遊流れ」と変化することが知られている。本研究では、これら形態のうち摺動層流れについて、実験的検討を行った結果について述べる。

2. 土砂摺動層流れ

堆積層を有する管路内の流れが、流水部分と堆積層部分とに分割できるものとして取り扱う。摺動層流れを対象とした場合、流量 Q_w と流砂量 Q_s の連続式は図1の記号を用いると次のようになる。

$$Q_w = A_w v_w + (1 - C_s) A_s v_s \quad (1)$$

$$Q_s = q_{sb} S_b + C_s A_s v_s$$

ここに、 C_s : 摺動層の土砂濃度(=0.60)である。

流水部においては、管壁と堆積砂面それぞれに作用するせん断応力の算定に、式(2)で表される径深分割法¹⁾などが適用でき、掃流砂量 q_{sb} の算定には式(3)を用いることができるものとする。

$$\frac{v_w}{u_{*p}} = 3.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{u_{*p} R_{wp}}{\nu} \right), \quad \frac{v_w - v_s}{u_{*b}} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{R_{wb}}{k_s} \right) \quad (2)$$

$$q_{sb} = \sqrt{s g d_m^3} 8 (\tau_{*b} - \tau_{*c})^{3/2}, \quad k_s = d_m (n + \alpha \tau_{*b}) \quad (3)$$

ここに、 s : 砂の水中比重 ($=\sigma/\rho-1$, σ : 砂礫の密度, ρ : 水の密度), d_m : 砂粒子径, u_* : 摩擦速度 ($=\sqrt{g R_w I}$), R_w : 径深, $\tau_{*b} = u_{*b}^2 / s g d_m$, $\tau_{*c} = 0.04 \sim 0.06$, g : 重力加速度, I : エネルギー勾配, n , α : 定数, 添字のpおよびbはそれぞれ管壁および堆積砂面を表す。

摺動層においては、管壁と砂礫粒子間に作用しているせん断力と外力の釣り合いから次式が成り立つ。

$$\tau_b S_b - \frac{\partial p}{\partial x} A_s = \mu_p \gamma (\sigma - \rho) g (C_b A_b + C_s A_s) \quad (4)$$

$$C_b A_b = \frac{\tau_b - \tau_c}{(\sigma - \rho) g \mu_t} S_b$$

ここに、 μ_p : 管壁と砂礫間の動摩擦係数, γ : 補正係数, $-\partial p / \partial x = \rho g I$, $C_b A_b$: 掃流砂濃度とその面積, μ_t : 定数(=0.5)である。

3. 摺動層流れに関する実験

実験には、内径4cm、延長5mの亚克力パイプと平均粒径0.143~0.405mmの均一砂を用いた。図2は、エネルギー勾配と断面平均流速との関係を示したものである。これらを見ると、部分堆積層流れにおいては、土砂濃度はエネルギー勾配とともに増加し、摺動層流れにおいては、エネルギー勾配がほとんど変わらなくても土砂濃度は大きく増加することが分かる。

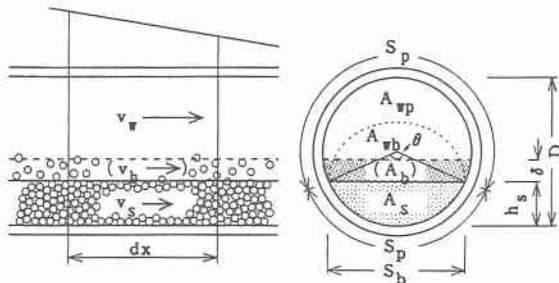


図1 摺動層流れ

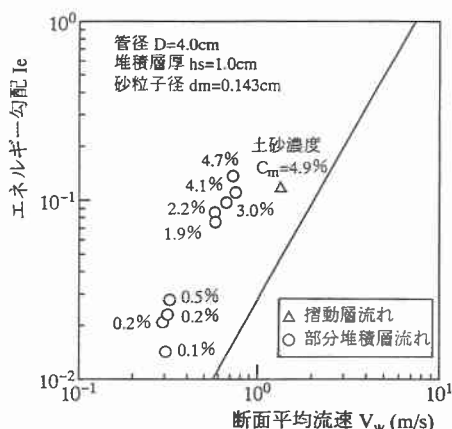


図2 エネルギー勾配と断面平均流速

図3は、エネルギー勾配と堆積層厚の無次元量との関係を示している。各流送形態の発生領域は、この図により比較的是っきりと区別でき、同じエネルギー勾配でも堆積層厚が小さくなるほど摺動層流れが発生し易くなるようである。

4. 摺動層流れに関する検討

(1) 掃流砂量と摺動砂量について：図4は、移動速度をもとに、摺動層流れの土砂輸送量を、掃流砂量と摺動量とに分けた結果を示している。摺動層流れでは、全土砂輸送量に占める摺動量の割合は全体の20%程度でごく僅かであり、堆積層厚や粒径による差は殆どないことが分かる。また、図5は堆積層が観測された速度にて等速運動しているとした場合の掃流砂量の実験値を計算値と比較したものである。これによると、今回実験を行った範囲では、堆積層表層に作用するせん断応力の算定に径深分割法を用いることができること、および式(3)で示される開水路流れの流砂量式が適用できることが確かめられた。

(2) 摺動層流れの開始限界について：図6は、式(4)により求められる摺動層流れの開始限界線を記載した結果を示している（摩擦係数0.35）。実験には、摺動層が間欠的に移動する境界状態から平衡状態までのものが含まれているが、摺動層流れの開始限界は実験結果と良く一致しているようである。

5. おわりに

本研究では、管路における摺動層流れを対象に力学的モデルを考え、実験結果をもとに摺動層流れの流送状況や開始限界に関して考察を行った。今後は、流砂濃度が大きくなった場合のモデルの適合性の向上をはかる予定である。

参考文献 1) 芦田・江頭・中島：水平管路における土砂輸送形態と流砂機構，京都大学防災研究所年報，pp. 489-505, 1988.

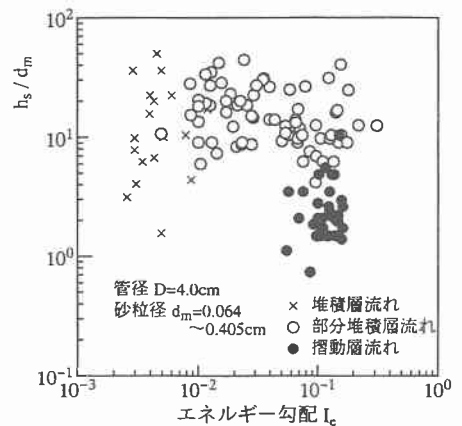


図3 エネルギー勾配と層厚 h_s の関係

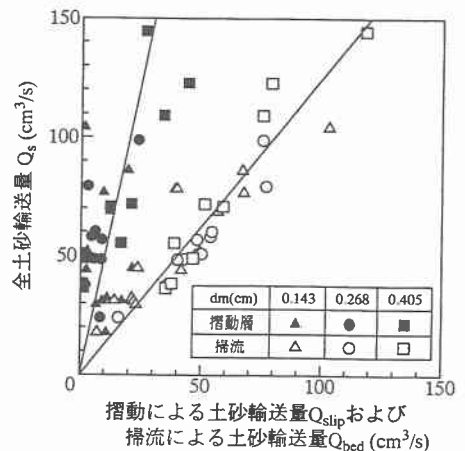


図4 全流砂量に占める摺動砂量および掃流砂量の割合

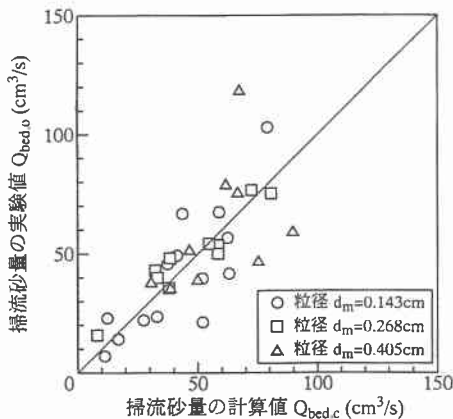


図5 掃流砂量の比較

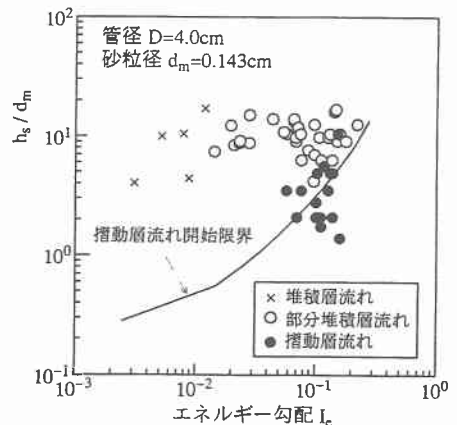


図6 摺動層の開始限界