

京都大学工学部 正 員 岩佐義朗

京都大学大学院 学生員 富所五郎

京都大学大学院 学生員 葛山文治

1 まえがき

石油パイプラインや下水管などの管路では、管底に粒子が堆積する場合がある。また粒子の流体輸送でも、輸送はもっぱら粒子の堆積しない流速、いわゆる限界堆積速度以上で行なわれるが、不時のさいこの流速以下で輸送が行なわれ、粒子が管底に堆積する場合がある。この堆積物は、水理条件と bed の粒子の特性に応じて各種の bed 形態を形成し、摩擦損失を著しく変え、管路を閉塞させることもある。粒子を含む円管内の流れについては、従来限界堆積速度以上に対する研究が主で、この流速以下については、ほとんど研究されていない。そこで本研究は、限界堆積速度以下の円管路内の bed の形態について実験的に論じようとするものである。

2 管路の bed の形態

開水路の bed 形態には、ripple-dune, flat-bed, antidune などの形態があり、水理条件と bed の砂れきの特性に応じての形態をとるか、多くの実験結果と現地観測結果を用い、各種の無次元量で、その区分が行なわれ、また理論的な説明も行なわれている。管路を2次元として、bed の安定問題を林の方法¹⁾に準じてとくと²⁾

$$a(x) = a(0) \exp \left[4g\beta k^2 \bar{\Gamma} \left(\frac{\tanh kh}{kh} \frac{\alpha}{4g\beta} - Fr^2 \right) \right], \quad a(x) > 0 \text{ の時, } Fr^2 < \frac{\alpha}{4g\beta} \frac{\tanh kh}{kh},$$

$$U_b = k\bar{\Gamma} (\alpha R\delta + 4\cosh kh) > 0,$$

$a(x), R, U_b$: bed wave の振幅、波数、速度、 $\bar{\Gamma}$: 平均流砂量、 α, β, δ : 正の定数、 $Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}}$: 管内フルード数、 h : 水深、 U : 平均流速、 g : 重力の加速度である。したがって管路では、開水路における antidune の形態はなく、ripple-dune に相当する wave-bed と flat-bed の形態になると考えられる。また管路における bed は高さが限られ、その表面が流速の増加によりだんだんけずり取られ消滅する場合と、表面に作用する力が bed と管底の摩擦力を越え、かんけつ的に動き消滅する場合とある。前者は flat-bed の場合に、後者は wave-bed の場合におこる。したがって flat-bed の存在しない場合もある。開水路においても bed の形態に関する問題は、完全に解明されているわけではなく、さらに円管路における水と粒子の運動は3次元的で、その取扱いは非常にむずかしい。そこでここでは次元解析法を用いて、bed 形態を規定する関係を考えてみることにする。杉尾は bed の粗度を規定する無次元量の関係式として³⁾

$$u/u_* = \phi_1(R/d, Fr = u/\sqrt{gR}, \psi = u_*^2/sgd, u_*/w, u_d/v, \sigma/d)$$

U : 平均流速、 $u_* = \sqrt{gRS}$: 摩擦速度、 R : 径深、 Fr : フルード数、 d, s, w, σ : 粒子の径、比重から1を引いた値、沈降速度、混合程度をあらわす係数、 S : こう配、 g : 重力の加速度、 ψ : 掃流砂関数を得ている。円管路でも上の無次元量を用いる。ただし u_* は Einstein の方法により壁の影響を除いて求め、 S はエネルギーこう配 I に代える。これらの無次元量で、開水路で行なわれている ($u_*/w \sim u_d/v$) と ($Fr \sim \psi$) の関係に従い、wave の発生する区 (以下で WI という)、flat-bed になる区 (以下で FI という)、限界堆積速度の区 (以下で LDP という) について実験結果を整理して考察してみる。

3 実験

実験は、水平長約8m、直径約5cmの貯水タンクつきの循環水路で行なった。実験区間は取り替え可能で、内径5.21cmと3.24cmのアクリライト製の透明管を用いた。損失水頭の測定は、管壁に50cm間隔にとりつけた静圧タッポを使い、その値が小さいのでキシレンを用いたマノメーターで行なった。管内の粒子の体積濃度は、測定を終る後管の一部を取りはずし粒子の水中重量を測定し、比重から逆算して求めた。この濃度と粒子の間隙率から粒子の管内で占める面積を、またbed面は流れと直角の方向には水平として潤湿を求めた。平均流速は掃き出し流量より求めた。WIは、まず平なbed面をうるため粒子を洗滌させ、ポンプを止め粒子を堆積させ、その状態から流速を増して求めた。用いた粒子はガウスビーズ(比重2.50)、豊浦標準砂(比重2.63)の2種類である。濃度は約5~6%である。ただし $d=177\sim250\mu$ のガウスビーズについては、濃度の影響をみるために約2%, 5%, 10% の3段階に変化させた。

4 結果

図1はbedの形態の変化による抵抗の変化を示したものである。WIからFIはWave-bedで、FIからLDVはflat-bedで、bed厚が徐々に減少していく状態にある。図2においてWI、FIはほぼ1つの曲線にのり濃度や管径の影響を受けないことがわかる。点線は開水路の対応する形態の区分をあらかずすが、これより少し小さくになっている。LDVは濃度の影響でばらついてゐる。 $d=500\sim710\mu$ のガウスビーズでは、Wave-bedから直接bedの動く状態になりflat-bedは得られなかった。図3において点線の間は、開水路におけるflat-bedを示す区間である。Frの値は管径が同じであれば、FIに対してはほぼ同じである。LDVのFrの値は非岸にばらついてゐる。またWIの ψ の値は、開水路の ψ の値より少し大きい。以上から、円管路のbed形態は2で述べた形態をとることがわかった。しかしこの無次元量がbed形態の変化に最も強く関係しているかは、実験データも少なく、また管径、粒径の変化も限られていて結論づけられない。さらに大きな管径、粒径のものをもつた実験が必要である。

- 1) 林泰造 "河川蛇行の成因に関する" 2) 葛山文治 "掃流粒子を有する管路流" 3) 杉尾塔三郎 "移動床の流れる水路床" 4) 磯田孝 "砂の移動に関する実験的研究" 5) 京大論44期 状態に112 "土壌学論叢集" 471号、
 6) 土壌学論叢集 180号

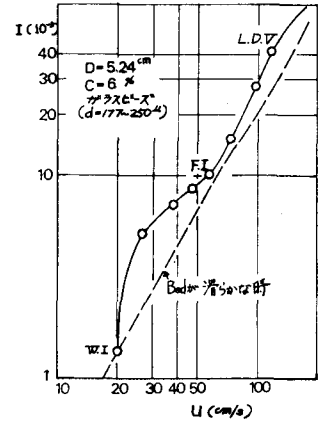


図-1

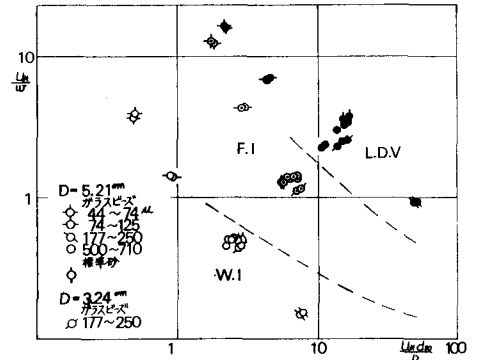


図-2

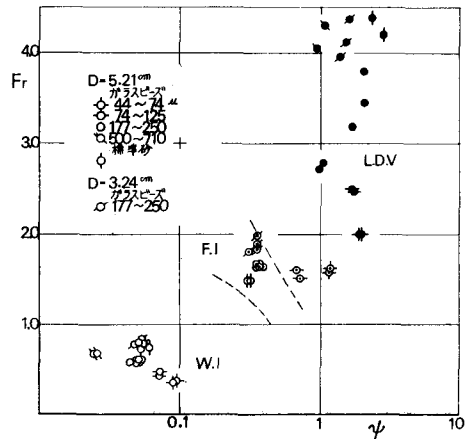


図-3