

水平管路における浮遊流れに関する実験的研究

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
(株)熊谷組	正 員	池辺 健作
今治市	正 員	○渡部 俊次

1. はじめに

砂粒子が水平円管内を浮遊しながら流れる浮遊流れでは、微小量の砂粒子でも流れの構造が変化するが、その変化を理論的に求めることは困難である。ここでは水平管路での土砂浮遊流れの構造を実験的に検討する。すなわち、2種類の粒径砂を用いて水平管路底に堆積層を生じないような土砂浮遊流れについての実験を行い、流水の抵抗および土砂濃度分布等について考察を加えている。

2. 実験装置と実験方法

実験に用いた管路は、肉厚 5 mm、内径が 4 cm、長さが 100 cm の透明アクリル製の円形断面パイプを 5 本接続したもので水平に設置されている。実験には粒径が 0.064 cm、0.143 cm の 2 種類のほぼ均一粒径の砂を用いた。また実験管路には圧力センサーが 4 箇所取り付けられており、圧力水頭を測定して動水勾配を求めるようになっている。流量は最下端の三角堰の越流水深を測定して求め、流砂量は下流端から流れ出る砂の量から計測している。また、ビデオカメラによって浮遊流れの状況や移動速度を管側壁を通して観測している。

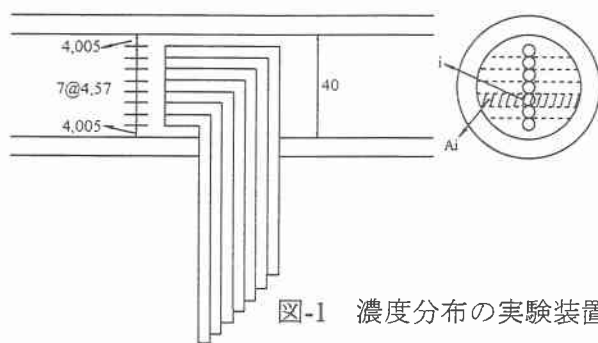


図-1 濃度分布の実験装置

濃度分布に関しては、図-1 に示すように内径が 0.401 cm、外径が 0.457 cm の鉄製の円形断面パイプを透明アクリル製の円形断面パイプに 7 本並べ、それぞれのパイプから出てくる水と土砂の流出量を測定している。ただ、粒径が 0.143 cm の土砂は粒径が大きすぎるためパイプに土砂が詰まり濃度分布の測定はできなかった。

3. 浮遊流れの抵抗則

図-2 は、浮遊流れにおけるエネルギー勾配と断面平均流速の関係を示したものである。実験より得られた下流端から流出する土砂量から計算したそれぞれの土砂濃度も示してある。粒径に関わらず土砂濃度の増加に伴いエネルギー勾配も増加していることが分かる。これは、流水中に土砂が増加し抵抗が大きくなったためであると考えられる。図-3 は、管底からの相対位置 y/D と土砂の濃度 C_0 の関係を示している。今回実験した浮遊流れは、流出濃度に関係なく管断面の鉛直下方において土砂濃度が大きくなっており非均質流れに近いものと考えられる。

従来の研究より流水中に土砂が浮遊して流れる場合には、土砂の混入により乱れの混合長が短くなり、その結果清水の場合よりも流水抵抗が減少し大きな流量が流れることが指摘されている。本実験では、従来行われていた浮遊流れの実験に比

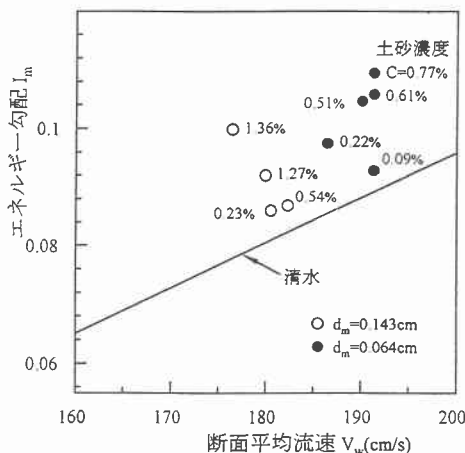


図-2 エネルギー勾配と断面平均流速

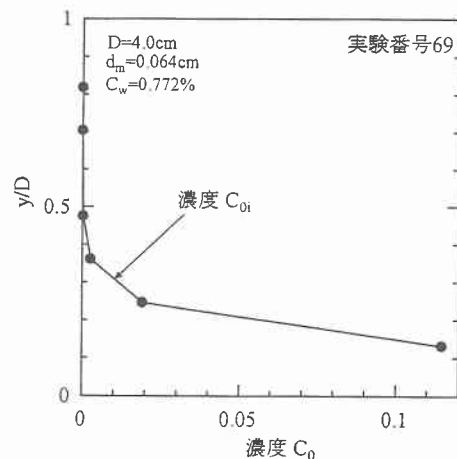


図-3 相対位置 y/D と土砂の濃度 C_0

べ粒径が大きいために土砂が浮遊を維持するのに必要とするエネルギーが大きくなることなどから、完全な浮遊流れとは言えないので上記のような結果にはならなかった。

4. 土砂の濃度分布

濃度には、 ΔL 区間内に存在する粒子の濃度を示した存在濃度 C_0 とある断面を通過する量によって表される通過濃度 C_w がある。今回実験した浮遊流れに関しては、図-1 示してある濃度分布の実験装置から測定した砂粒子と水の体積から求められる濃度が存在濃度 C_0 、ある時間内に下流端から流出する土砂の断面通過量が通過濃度 C_w として位置付けられ、それぞれ次式のように表される。

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^7 C_{0i} \cdot A_i}{A_0} \quad \left(C_{0i} = \frac{V_{si}}{V_{si} + V_{wi}} \right), \quad C_w = \frac{Q_s}{Q_s + Q_w} \quad (1)$$

ここに、 C_{0i} は各パイプからの砂粒子と水の体積から計算した濃度、 A_i は図-1 のように全断面積を各パイプごとに分割した面積、 A_0 は全断面積、 V_{si} 、 V_{wi} はそれぞれ各パイプごとの砂粒子と水の体積である。なお A_i の面積域の存在濃度が C_{0i} で表されることについては、小川ら(1953)¹⁾により水平方向の濃度分布に大きな差がないことが報告されていることを参考にした。

浮遊流れの実験結果をもとに開水路流れにおいて比較的良く用いられている Rouse(1937)²⁾式が管路にも適用できるかどうか検討していく。Rouse 式から求めた結果の一例を図-4 のように、相対位置 y/D と濃度 C_0 の関係で示している。基準濃度 C_a は、 $y = 0.5 \text{ cm}$ の点における実験値で、今回実験した浮遊流れの濃度分布はこれを Rouse 式に代入して求めた。Rouse 式の適用結果は、実線で示しており、実験値と比較的よく一致していることが分かる。図-5 は、今回実験した浮遊流れについて、式(1)より求められる存在濃度 C_0 と式(1)の C_{0i} に円管内の水平方向に濃度変化はないと仮定している Rouse 式を代入して求めた存在濃度 C_{0cal} を比較したものである。これより、存在濃度 C_0 と計算値の存在濃度 C_{0cal} はよく一致していることが分かる。しかし、開水路における濃度分布式である Rouse 式と管路流れの渦動粘性係数 ε の分布は、実際には同じではない。このことに関して、小川は浮遊砂の渦動拡散係数 ε_z は、必ずしも運動量の渦動粘性係数 ε と一致せず、Ismail(1952)³⁾は $\varepsilon_z/\varepsilon$ が 1 より少し大きい値をとることを示している。

今回の実験では、管水路流れでありながら開水路の Rouse 式をそのまま用いても図-4 や図-5 のように比較的高い適合性が見受けられる。この理由として、用いた土砂の粒径がかなり大きく、重力により下方へ移動する量も大きくなるとともに、土砂のスケールが水の乱れスケールよりも大きいことが考えられる。すなわち、砂粒子が水の乱れの影響をあまり受けていない結果として流速や、エネルギー勾配が大きくなり通過濃度自体が小さな値となっているためであると考えられる。

- 参考文献1)小川 元：管内における浮遊流砂の流砂量について，土木学会誌，第38巻，第8号，pp.15-18，1953.
 2)Rouse, H. : Modern conceptions of the mechanics of fluid turbulence, Trans.ASCE, Vol.102, pp.463-543, 1937.
 3)Ismail, H.M. : Turbulent Transfer Mechanism and Suspended Sediment in Closed Channnel, Trans.A.S.C.E, Vol.117, pp.409-446, 1952.

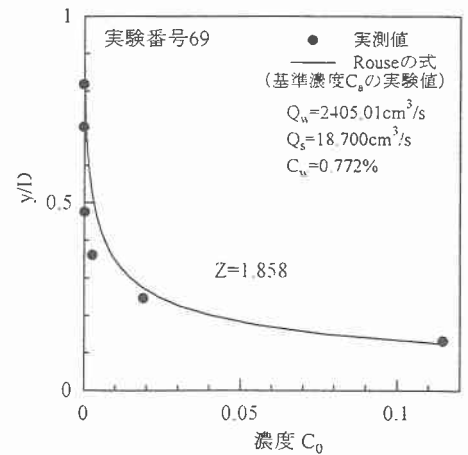


図-4 相対位置 y/D と土砂の濃度 C_0

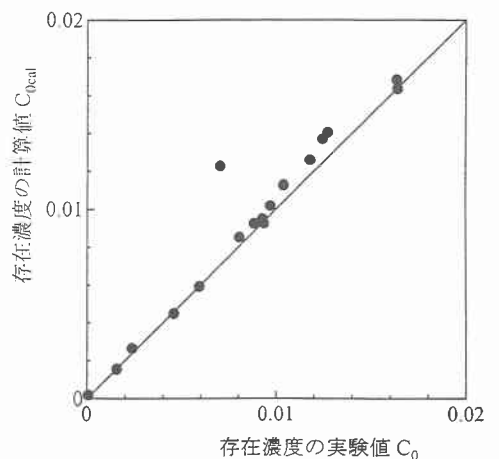


図-5 存在濃度の計算値と実験値