

1. はじめに.

底面が浸透性を有する流れ場において、主流と浸透流の相互作用 — 境界面上で有限の速度 (スリップ速度) を持つ事、両者間に運動量輸送がある事 — により、主流流れ場の構造が変化し、流れの蛇行や、流砂機構に大きく影響するものと推測される。しかし、粒子の移動現象に関して浸透流を考慮した研究はあまり行われていない。そこで、今回は移動限界に関する実験を行ったのでここに報告する。

2. 実験装置、及び方法

実験に用いた水路を図1に示す。水路は全長20m、幅80cm、高さ50cm、の鋼性側面ガラス張りの水路に、上流端より6mの地点から長さ9m、幅20cm、高さ45cmにベッキ塗装をしたベニヤ板でせばめて計測水路とした。流量を上流側のValveで、水位を下流端のSluce Gateで調節する。

水路床には、計測水路の上流端から2mの地点より、5.5mの区間に表1に示すアルミ球を最密に敷き詰めた。構成の諸元を表2に示す。

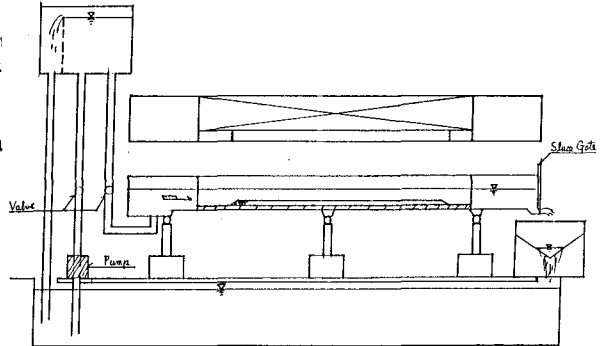


図1 水路図

表1. 使用球.

材料	Case 1, 2		Case 3, 4		備考
	粒径 d (cm)	比重 ρ_s (g/cm ³)	粒径 d (cm)	比重 ρ_s (g/cm ³)	
アルミ	1.051	3.557	2.094	3.557	構成材
ビニル	0.955	1.143	2.225	1.125	移動限界
ガラス	1.037	2.483	1.933	2.524	移動限界

各水理量の計測は、計測水路の上端より5mの地点で行なった。圧力勾配の計測は、4m、6mの2地点の側壁に圧力タップを設け、これをキシレンを用いた差動マノメータに連結した物を用いた。主流流速は、径3mmの超小型プロペラ流速計を、水深はポイントゲージで計測した。浸透流速は球1個分の穴をあけ、これに塩分濃度計を2地点に同じ高さで設置し、上流の同じ高さから塩分を注入して計測した濃度分布の移動時間より求めた。又プロペラ流速計も併用した。

表2. 実験Case

Case	粒径 d (cm)	層数	層厚 h (cm)	空隙率 n	透水係数 K (cm ²)	定数 C
1	1.051	1	1.051			
2	—	4	3.650	0.3047	6.663×10^{-4}	2.8642
3	2.094	1	2.094			
4	—	4	7.450	0.4000	1.904×10^{-4}	1.2067

移動限界は、表1に示すビニル球とガラス球の露出度 (* / d : 露出高さ、d: 粒径) を、各5段階 (約. 0.6, 0.5, 0.4, 0.2, 0) と2段階 (約. 0.6, 0.5) 変化させて行なった。この7つの水理条件をRun1~7と呼ぶ。説明図が図2である。

3. 結果、及び考察.

1) 予備実験.

Case 2.4 について 非線型 Darcy 則.

$$-\frac{dP}{dx} = \frac{\rho \nu}{K} q + \frac{\rho}{2K} q^2 \quad (1)$$

(P: 圧力 q: みかけの平均流速
 ν : 水の粘度、 ν : 水の動粘性係数、

より、透水係数K、定数C、を決定するために、浸透層の下流側2.6mにセルロイド板でふたをし、その下流を集水

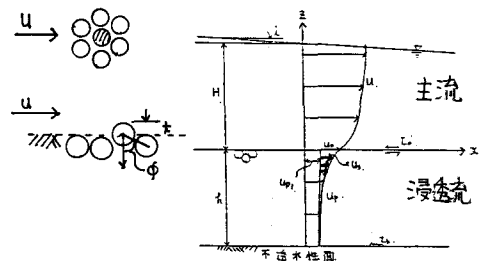


図2 説明図

パイプに接続し流量を、側壁に圧力タップを設けてエネルギー勾配 I_e を計測した。結果は、図3に示す様に(1)式の表現は良好であり、得られた値を表2に示す。

ii) 全体の流速分布

Case 1, 2 について図4. に示す。図4の様に主流と浸透流は滑らかに接続する。

iii) 浸透流速分布

図2に示す様に流速 u を圧力勾配の寄与 u_{p1} と剪断力の寄与 u_{s2} に分ける。

$$u_p = u_{p1} + u_{s2} \quad (2)$$

浸透層内の力の釣り合いは、圧力勾配と主流より輸送される剪断力と粒子の存在による抵抗力による。乱流を仮定し、抵抗を(1)式の右2項で表現すると、

$$-\frac{dp}{dz} - \frac{\rho V}{K} u_{p1}^2 + \frac{dI_e}{dz} - \frac{\rho}{cK} u_{s2}^2 = 0 \quad (3)$$

圧力勾配の寄与 剪断力の寄与

となる。従って u_{p1} は、

$$u_{p1} = \sqrt{\frac{cK}{\rho} \left(-\frac{dp}{dz} \right)} \quad (4)$$

と得られる。剪断力の寄与分は、Prandtl の仮定を用い混合距離を $l = \alpha \sqrt{K}$ と仮定すると、

$$\rho \alpha^2 K \left(\frac{du_{s2}}{dz} \right)^2 - \frac{\rho}{cK} u_{s2}^2 = 0 \quad (5)$$

となり、 $z=0$ で $u_s = u_{s0}$ のもとに解くと、

$$u_s = u_{s0} \exp \left\{ \frac{1}{\sqrt{2} c \alpha^2 K} z \right\} \quad (6)$$

と得る。図5に示す様に、(6)式の指数型分布となっており、 α の値は、

Case 2 で $\alpha = 4 \sim 6$, Case 4 で $\alpha = 17 \sim 22$ であった。

iv) 主流流速分布

浸透層の影響が大きい、表面付近 ($z \geq z_{rs}$) の分布を図6に示す。

v) 移動限界

図7に結果を示す。実験は浸透層の効果を除いては、

露出度、つまり $\tan \phi$ と粒子レイノルズ数 $u_0 d/\nu$ の効果

のみであり、図の Case 1, 3 と Case 2, 4 の差は浸透層の効果を表わしている。又、粗面上の岩垣の理論解析で遮蔽効果を考慮しない場合の限界シールズ数は、 $Re_s \geq 2 \times 10^2$ では 2.08×10^{-2} であり、Case 1, 3 はこれをよく示していると思われる。

3. あわりに

移動限界は浸透層の存在により影響を受ける事がわかった。今後は、流れの構造など内部機構の検討が必要である。

謝辞 本研究をすすめるにあたり、東北大学工学部首藤伸天教授に御指導を賜った。ここに記して厚く謝意を表する。

(参考文献) i) J.C.Ward, A.S.C.E., HY5, 1964 ii) 岩垣, 土木学会論集 vol 41, 1956.

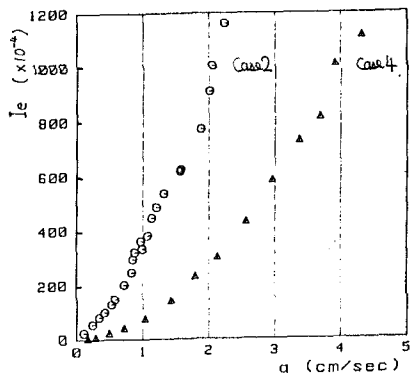


図3

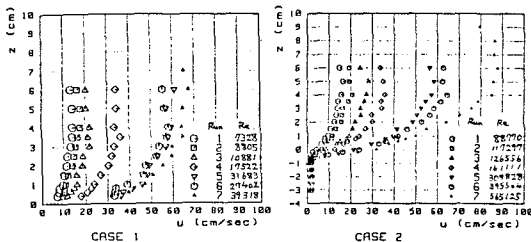


図4. 流速分布

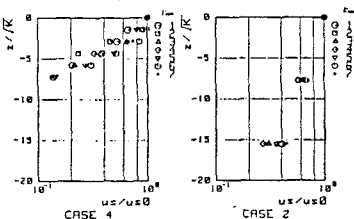


図5. 浸透流速分布

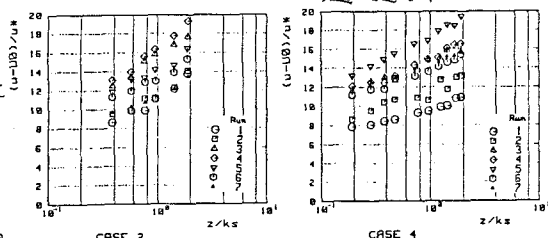


図6 主流流速分布

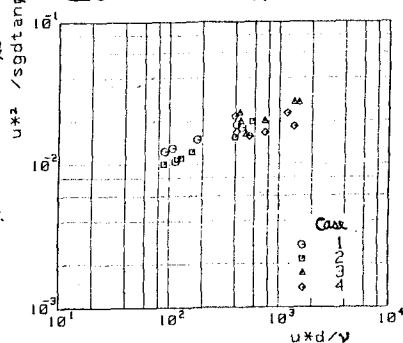


図7. 移動限界