

粒子を含有する高粘性流体の流動に関する実験的検討

名城大学大学院 学生会員 ○尾国 紀章
名城大学理工学部 正会員 新井 宗之
名城大学大学院 学生会員 大谷 哲司

1. はじめに

流体中に浮遊する固体粒子を高濃度に含む固液混相流がせん断を受けた場合の流動構造は、固体粒子の拡散が見かけの粘性係数や拡散係数に影響することが報告されている^{1),2)}。その報告での実験では水と同じオーダーの粘度の流体で、粘性が卓越するような領域の実験である。また、せん断を受ける垂直方向の長さスケールを固有な値として仮定し、拡散の関数であろうとしているが、あまり明らかなになっていない。

ところで、中国の蒋家溝で観測される粘性土石流と呼ばれているタイプの流れがあり、それは微細粒子と粗粒子を容積濃度 70%程度含む高濃度であり、また 3° から 5° という緩勾配の河道を流下するものである。この固体粒子の中で粘土粒子程度の粒子は水と一体になって一種の高粘性スラリーに化すものと見なすことができる。このような流れの中での粒子拡散がどのようなのかを明らかにするため、高粘性流体に粒子を含有した流れでの拡散について実験的に検討した。

2. 実験条件、実験方法

実験水路は図-1 に示すように、長さ 2.07m、幅 10cm、深さ 9.6cm の透明アクリル製のもので、水路勾配 30°、水路上端より高粘性流体に粒子 (d=1.0mm) を投入し、水路に供給した。実験に用いた液体は、高分子増粘剤(東亜合成製、T-40)で温度 20℃において粘性係数 1200 (mPa・s)、動粘性係数 1.2×10^{-5} (m²/s) (図-2) であり通常の水の約 10³ 倍程度である。また比重は温度 20℃で約 1.32 である。実験に用いた増粘剤 1 に対して水 0.4 から 3 の割合で希釈して用い、粘度を変化させて実験に用いている。この流れの測定は、流速が小さい場合には水路下流端より上流約 10cm の位置、高速流れの場合には水路下流端

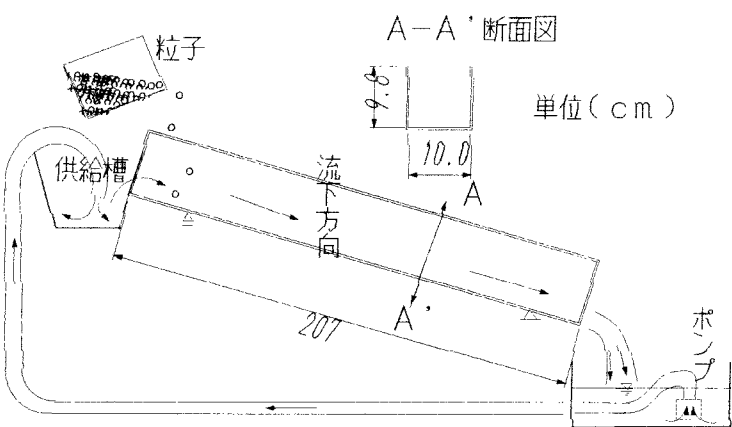


図-1 実験水路

T-40 粘度-温度

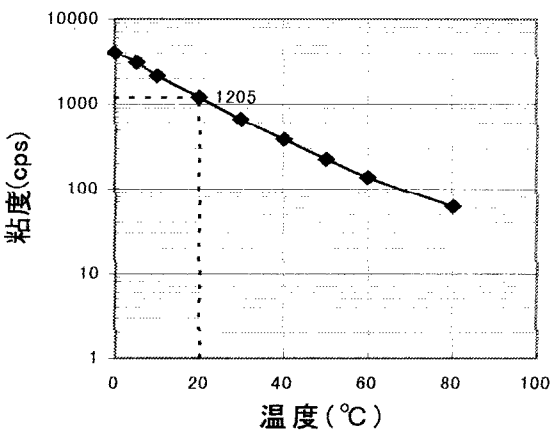


図-2 流体 (T-40) の粘度

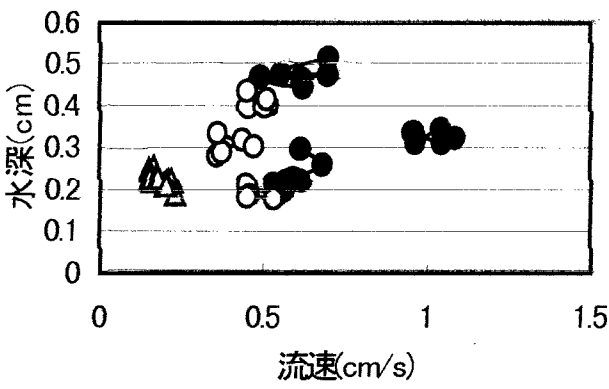


図-3 移動座標系での粒子移動軌跡
(希釈割合 40%, 先端から 2 秒後)

より上流約 80cm の位置で撮影し、解析に供した。高速な流れでは、5000fps (1/5000 秒) の高速 CCD カメラ (フォトン製) を用いた。

3. 実験結果及び考察

図-3 は実験結果の一例で溶液 1:水 0.4 の割合で流れの先端から 2 秒後の流体中の粒子の移動軌跡を示した図である。図中の実線および、実線上のマークは、 $\Delta t=1/30(\text{sec})$ 毎の平均移動速度からの相対移動軌跡である。横軸は移動位置、縦軸は水路床からの位置を示して、この結果から、粒子の水深方向の移動はかなり小さなものである。レイノルズ数は、実験結果から代表長さ (水深) が約 1 cm、代表流速として、平均流速 30cm/sec ~ 80cm/sec であり 80cm/sec とし、動粘性係数は $0.78\text{mP}\cdot\text{s}$ であり、レイノルズ数は 101、約 100 程度の流れである。このような低レイノルズ数での流れでは、含有粒子の水深方向の移動 (混合) は小さく、レイノルズ応力に相当するものは非常に小さいことが確認でき、見かけの粘性力や粘着力が卓越するものと考えられる。また、高レイノルズ数の流動の挙動を検討するため 1/5000sec/フレームの高速 CCD カメラで撮影した画像より粒子の変動を解析した。希釈割合が、溶液 1:水 3 (動粘性係数 約 0.05

cm^2/sec) のものを用いレイノルズ数は約 9000 である。測定方法は、撮影した画像から粒子の 2 フレーム間の移動距離から解析したものである。水路床から $z=2.1\text{mm}$ の位置の流速成分の例を図-4、図-5 に示す。いずれも大きく変動する事が示されている。また、図-6 は横軸に相対水深、縦軸に流下方向、鉛直方向成分の乱れ強度を u', w' で示したものである。 u' は水面方向に若干小さくなる傾向を示している。いずれも大きな乱流成分があり、高粘性の流れでも高レイノルズ数の流れではレイノルズ応力に相当するものが無視できないものであることを示しているものと考えられる。

参考文献

- 1) David leighton, Amdens Acibos; The shear-induced migration of particles in concentrated suspensions, J. fluid Mech. vol. 181. pp. 415-439, 1987
- 2) Ronald. J. Phillips, Robert C, Armstrong, robert A. Brown; A constitutive equation for Concentrated suspensions that accounts for shear-induced particles migration, phys. fluids A, vol. 1, 1992, pp30-40

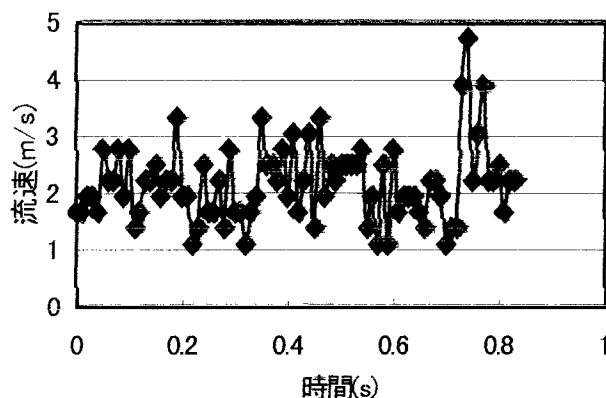


図-4 粒子を含有する高粘性流体の流下方向流速変動 (u) ($z=2.1\text{mm}$)

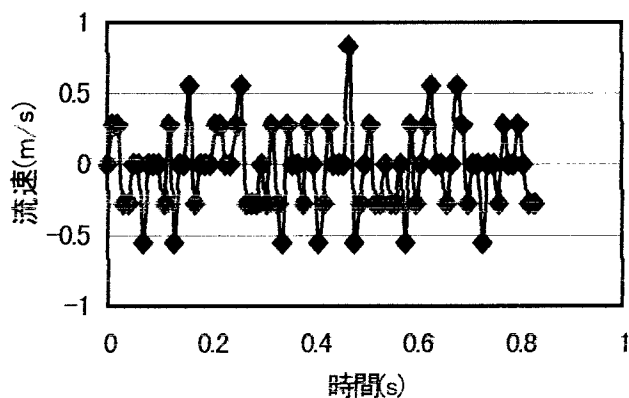


図-5 粒子を含有する高粘性流体の水深方向流速変動 (w) ($z=2.1\text{mm}$)

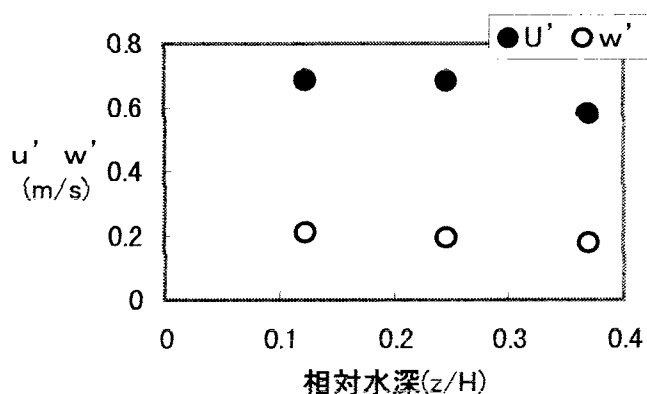


図-6 乱れ強度 (u', w')