

## 高濃度固液混相流におよぼす粒径の効果

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男  
 (財)防災研究協会 正員 ○山野 稔明  
 京都大学大学院 学生員 神田 昌幸

1. はじめに 土石流・高濃度流(高濃度ガスペンドショル)・泥流等、土砂を高濃度に含む流れの運動機構を、固液混相流として統一的に説明することを試みる。一般に、このような流れにおいてその流れの物理量は、粒子濃度・粒径・およびその他の粒子の材料特性を表すパラメータの関数として表現ができます。そして、土砂を高濃度に含む流れが与えられ、その流れを説明すると次のようないくつかの問題が生じてくるのである。すなわち、1)高濃度とはどういう状態を示すのか、又は、どのような流れを定義するパラメータ-1)何か、2)濃度による運動機構の相違は、無論高濃度な流れにおいても本質的な問題であるか、さらに粒径によつては、どのような相違があるのか、3)土砂は一般に広い粒度分布を持つてゐるが、混合粒径からなる流れにおけるか、といった問題がある。ここでは、こういった問題を取り扱う第一歩として従来の研究をもとに、主に、粒径加工砂を高濃度に含む流れに及ぼす影響について考察を加えてみたい。

### 2. 固液混相流の現象論的概念図と高濃度固液混相流

一般に、開水路を流下する土砂を含む流れにおいては、勾配、流量(水)、粒径が決まれば、粒子密度がほど等しい値をもつたため、流況があつて一定の性質を示すようになる。それらの境界の条件等、詳細な情報については未だ十分には得られていないようであるが、現象論的には、図1に示すような「概念図」を作ることが可能であろう。図1は、(i, Q, D)空間で、3つの要因のうち1つを典型的な状態に固定して、その平面内での土砂の輸送形態がどのように重なるかを模式的に表わしたものである。ここで問題としている領域は、(ii)面で示される領域である。(ii)面は、流れに含まれる土砂濃度が高くほど一様な濃度分布を持っていて、連続体としての取り扱いが可能な領域を示している。実際、この領域においては、具体的な運動現象の説明とともに、連続体としての構成則の評価に力点がおかれて研究されてきた。いわゆるオロジーモデルを決定しようとする研究であるが、従来、個々の流れについて個別に求められており、統一的な形にはなっていなければない。こういう観点にて、高濃度固液混相流における粒径の役割を構成則の面から考えてみる。

3. 高濃度固液混相流の構成則と粒径の効果 構成則は、応力と歪速度の関係を表したものであり、この応力の成す仕事は外力の成す仕事に等しくなければならぬ。こういう

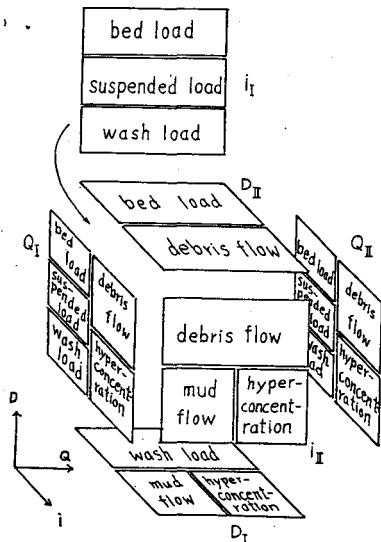


図1 固液混相流の現象論的概念図

KOZUO ASHIDA, Kuniaki YAMANO, Masayuki Kanda

観点から従来の高濃度固液混相流に関する研究を整理すると、二次元せん断流に対して、せん断応力ですが、 $\tau = \tau_y + (\eta_e + \eta_s)(du/dz) + \rho l^2 (du/dz)^2 \dots (1)''$  と表われされ。ここで、 $\tau_y$ :せん断降伏値、 $\eta_e$ :液体相のエネルギー散逸に相当するみかけの粘性係数、 $\eta_s$ :粒子の衝突によるエネルギー散逸に相当する粘性係数、 $\rho$ :みかけの密度、 $l$ :混合距離で、右辺オ2項はいわゆる粘性項であり、オ3項は内部運動量によるレイルズ応力の項である。 $\eta_e$ は一般に、 $\eta_e = f_e(c) \eta_0 \dots (2)$  と粒子濃度の関数で表われされる。ここで、 $\eta_e$ は液体の真の粘性係数である。 $f_e(c)$ の粒径への依存性を見るために、図2に従来からの提案された相対粘度式を比較する。図2より、粒径と粒子濃度によりその関数形がかなり異なるのがわかる。又、 $\eta_s$ は粒子流の構成則に関する研究から、 $\eta_s = f_s(c) \rho D^2 |\frac{du}{dz}| \dots (3)''$  と表われされる。ここで、 $D$ :粒径、 $\rho$ :粒子密度である。オ3項の混合距離とのスケールオーダーは、散逸力に対応するスケールが粒子の粒径オーダーであることがから、流れの中で混合する粒子群のそれとなる。その構造そのものについては、粒子と液体の相対運動の有無によって変化することが考えられ、たとえば、 $l = Kz$ 、 $K = K(D, \eta_0)$  による関数で表現することができる程度は可能である。相互作用の粒径への依存性については、たとえば道上<sup>2)</sup>によると粒子濃度が低く粒子が自由に運動できる条件のもとで砂粒の粒径が  $100\mu$  を境にして、より小さなほどこどろく粒子の流体への追随性は良いが、大きくなると悪くなることが示されている。このように、流れに及ぼす粒径の効果は、(1)式のすべての物理定数の項における、多様な形で存在することがわかる。

4. 流れの無次元量と粒径の効果：2次元等流を考えに場合、流れを支配するパラメーターとして、まず Reynolds 数  $Re = \rho U_m h / (\eta_e + \eta_s)$ 、 $Re_* = \rho U_* z / (\eta_e + \eta_s)$  があげられる。 $\eta_e$ と $\eta_s$ の支配要因が異なるために、その大小関係により限界 Re 数、 $Re_*$ が異なることが予想され、 $\eta_s / \eta_e < 1$  のときには、流れは Newton 流体、又は Bingham 流体と同様の性質を持ち、限界 Re 数についても同様の議論が立てられることが予想され、 $\eta_s / \eta_e > 1$  のときには、エネルギーの散逸機構が異なり粒子流体間の相互作用が顕著なため、乱れの構造が異なることが予想される。この点については新たに考察を加える必要がある。

5. おまけ：以上、簡単に、高濃度固液混相流における粒径の影響について考察してきた。その結果、粒径による粒子・流体間の相互作用の相違により、流れに多様な影響を与えたこと。しかしながら、流れを決定するパラメーターとしては、結局、 $\eta_s / \eta_e$  が重要であることを述べた。今後、特に、 $\eta_e$ の構造、及ぶ  $\eta_s / \eta_e > 1$  の場合の乱れの構造についてさらに考察を続けてゆきたい。

参考文献：1) 山野・大同・三輪・西本：工学会39回年譲 pp.367~368. 2) 道工：学位論文.

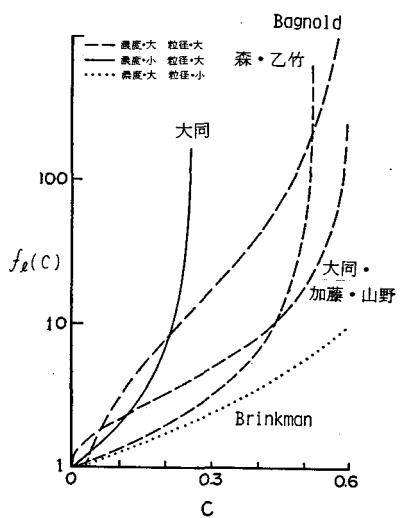


図2 種々の相対粘度式