高濃度流れの抵抗則に関する実験的研究

九州大学大学院 正会員 橋本晴行 九州大学大学院 正会員 池松伸也 九州大学大学院 学生員 高岡広樹 戸田建設(株) 豊田稔彦

1.はじめに

土砂を高濃度に含有する流れは、その粒径により、流動特性を大きく変化させる.粒径の大きな砂・ 礫の場合には、いわゆる砂礫型土石流となる.焼岳や桜島の野尻川で観測されている土石流がこれに相 当する.粒径が小さくなり、細砂になると、いわゆる泥流型土石流あるいは泥流と呼ばれる流れとなる. 雲仙普賢岳噴火災害時に水無川で観測された土石流はこれに近いものと考えられる.次に、シルトや粘 土を主に含有する流れとして、黄河中流域の高濃度洪水が知られている.これらのうち、土石流につい ては、その流動機構がかなり解明されてきたが、黄河のような高濃度流れおよび泥流型土石流から高濃 度流れへの遷移領域については、大同¹⁾、芦田ら^{2)、3)}の研究があるが、いまだ十分には明らかにされてい ない.

本研究は,開水路において細砂からシルトまでの材料を用いた高濃度流れを発生させる実験を行い, 高濃度流れの領域および泥流型土石流から高濃度流れへの遷移領域についてその抵抗則や土砂輸送濃度 の特性を調べたものである.

2.実験方法

実験に使用した水路は,全長7.0m,幅15cmの 両側アクリルライト製の水路である.水路勾配

は3°とした.水路底面にはベニヤ板を貼り滑 面固定床とした.水路から流出した流れが流入 するタンクは直径136cm,高さ80cmである.タ ンク中の土砂と水は撹拌機で攪拌し,ポンプで 水路上流端に送り循環させている.(図-1)

実験は2種類行った.ひとつは流速分布を調べ る実験であり、もうひとつは抵抗則と土砂の輸 送濃度C_Tを調べる実験である.表-1に循環水路 における実験の概要を示す.ここにC₀はポンプ を作動する前のタンク内における土砂の初期濃 度,vは平均流速である.まず前者の実験では, ピトー管を下流端から1.43mの地点に設置して 流速を測定した.また下流端から1.5mの地点に 設置したポイントゲージを用いて水深を測 定した.次に後者の実験では,タンク内の 土砂の初期濃度を種々設定し、ポンプを作 動し,高濃度流が水路下流端に到達してか ら所定の時間間隔で流れを採取し、単位幅 流量q,,流砂濃度C_Tを求めた.また水深h は下流端から1.5mの位置に設置したポイン トゲージを用いて測定し、水温はタンク内 の流れを温度計を用いてそれぞれ測定した. 3. 実験結果

(1) 流速分布

図-2は,材料としてシルトを用いた場合 の流速分布の実験結果である.C_T 0.312 の場合,清水流のそれとほぼ同じq_tを示す が,高濃度流れの流速は大きくなる.一方,

キーワード:高濃度流,泥流,黄河,抵抗則





図-1 循環水路

表-1 循環水路における実験の概要

	材料	粒径 d(mm)	密度 σ(g/cm ²)	タンク内濃度 C ₀	流砂濃度 CT	単位幅流量 q _t (cm ² /s)	水深 h(cm)	平均流速 v(cm/s)
	シルト	0.016	2.708	0.100~0.498	0.095~0.369	169~266	1.45~3.42	77.45~147.83
	微細砂	0.067	2.64	0.050	0.046~0.404	198~257	1.30~1.81	134.39~180.15
	細砂	0.17	2.62	0.049~0.301	0.059~0.296	229~296	1.74~2.11	125.59~146.24



50

40

30

20

10

0

10

C_T 0.369の場合,水深は大きくなり,ビ ンガム流体のような流速分布を示している. 図-3は,細砂を用いた場合の流速分布の実 験結果である.清水流の場合とほとんど流 速は変わらない.

図-4は,シルトを用いた場合の流速分布 の対数則への適合性を調べたものである. 図中には滑面の場合の流速分布の理論式

 $\frac{u}{u_{r}} = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{u * z}{v}$ (1)も示している.ここで, $v=\frac{\mu}{2}$ µ:流体の 粘性係数, ;:流れの密度である.ここで,

粘性係数は森,乙武らの式を用いて評価されている.C₁ 0.369の場合,明らかに対数則と異なっていることが分かる. 図-5は,細砂を用いた場合の無次元速度u/u_{*}と無次元高さ $\frac{z}{d} \sqrt{\frac{\rho_t}{\sigma F(C_T)}} \text{ の関係である . ここで , } F(C_T) = \left\{ (C_T/C_*)^2 \right\} / \left(1 - C_T/C_*\right) ,$ C_{*}は最密充填濃度でC_{*}=0.6である.図中には,泥流に対し て従来より提案されている理論式4)も示している.実験値は 理論式にほぼ一致しており、細砂の場合、従来の泥流の式が 適用できることが分かる.

(2)摩擦損失係数

図-6はレイノルズ数と摩擦損失係数の関係を表したもので ある.図中には対数分布式を積分して得られる摩擦損失係数 fの理論式

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = 3.0 + 5.75 \log_{10} \left(\frac{vh}{v} \sqrt{\frac{f}{8}} \right)$$
(2)

も示している.微細砂を用いたC_T 0.401の実験では式(2)の 値より小さく,それ以外の場合は式(2)の値より大きくなっ ていることが分かる.

図-7は流砂濃度と摩擦損失係数の関係を表したものである. $C_r = 0 \sim 0.3$ の範囲では,粒径に関わらず,ほぼ同程度のfの値 を示す.摩擦損失係数fは,C_Tが0.3をこえると,シルトの場 合,非常に大きくなり,微細砂の場合は,小さくなっている. 4.おわりに

本研究では、シルト・微細砂・細砂を含む高濃度流を水路 勾配 =3°の循環水路に発生・流下させて流動特性を調べ た.その結果,シルトを含む実験の場合,C_T 0.369におい て,清水流やC_T 0.312の場合に比べ無次元流速は小さくな



図-4 d=0.016mmでの流速分 布の対数則への適合性



図-5 d=0.17mmでの無次元

速度と無次元高さの関係

り,摩擦損失係数は著しく増加することが分かった.一方,微細砂を含む実験の場合,摩擦損失係数の 値は $C_r=0~0.3$ の範囲ではほぼ一定であるが, C_r 0.401において,抵抗減少が見られる.細砂を含む実 験の場合, C_r =0~0.3の範囲ではあるが,従来の泥流の式が適用できることが分かる.摩擦損失係数も ほぼ一定の値を示すが,C_T 0.3付近でfの値はやや増加している. 謝辞

本研究は、一部、科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」 (代表 楠田哲也 九州大学教授)の補助の下におこなわれたものである.ここに記して謝意を表します. 参考文献

1) 大同,京都大学学位論文,1970.2) 芦田・山野・神田:京大防災研究所年報,第28号B-2,1985.3) 芦田・山野・神田: 京大防災研究所年報,第29号B-2,1986.4) Haruyuki Hashimoto and Muneo Hirano: A FLOW MODEL OF HYPER-CONCENTRATED SAND-WATER MIXTURES, Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Predication, and Assessment, Proceedings of First International Conference Water Resources Engineering Division/ASCE, 1997.