

九州大学 工学部 正 員 栗谷 陽一

同 正 員 楠田 哲也

同 正 員 海田 輝久

I. まえがき

底泥の巻き上げは、水質汚濁と密接に関りがある。水中工事の際、土砂の浚渫の際、河川における洪水時、あるいは沈殿池での流速が限界を越えた際等において汚泥の巻き上げが生ずる。砂粒のごとき非凝集性土については、限界掃流力、掃流量等についての研究成果がかなり得られているが、底泥のように凝集性を有するものについてこのような流体力学的特性に関する研究は、その物性の複雑さのためあって、重要であるにもかかわらず、ほとんどすすめられていない。底泥の巻き上げの実験を行なうにあたっての底泥の形成方式として、①水中における重力沈降を利用する方法、と②汚泥の含水比とある値に定め底泥として水路に敷く方法、とが考えられる。前者は自然状態での巻き上げ量を求めるような場合に用いるが、限界掃流力を求める場合には、後者の方が容易になる。本報告は、②の汚泥の敷き方による凝集性を有する混合粒径の汚泥の限界掃流力について実験的検討を加えたものである。

II. 実験装置およびその方法

実験に用いた水路は図-1に示すような全長13m、幅0.87mの可変勾配循環式水路で、上流側に3mの助走区間、中央部に7mの汚泥を敷く区間、下流端に1mの整流区間を設けたものである。底泥は4~5cmの厚さに敷くようにし、上流側助走区間と底泥区間の段差部には、巻き上げが生じないように約0.5mの傾斜板を取り付けている。水面勾配の測定には4メートルゲージ

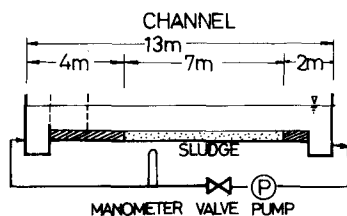


Fig-1 APPARATUS

を用いた。この際のピット管は底泥下端からほゞ1mと4mのところに設けた。また循環水量はオリフイスにより測定した。汚泥の降伏値および塑性粘度 μ_b はコンプレート型粘度計(コーン径81mm^φ, 頂角172.8°, 平均径0.71mm^φのガラス球をすべり止めに張り付けたもの)を用いて求めた。

実験に際しては、所定の含水比に調整した汚泥を水路床に敷きつめて水を流し、水面勾配および上下流端での濁度の時間変化を測定した。流量を一定に保ち水路内の水量を減ずるか、流量を増すかによって30~40分間隔で掃流力を増加させた。限界掃流力 C_{WL} は濁度の単位時間当りの変化量が急増するところを採用した。実験時のレイノルズ数は、ほゞ 1.5×10^4 であった。

実験に使用した汚泥は図-2 Aに示すような粒度分布を有し、その密度と強熱減量比は各々、 2.73 g/cm^3 、 5.1% であった。

III. 実験結果と考察

含水比を横軸にとって、汚泥の降伏値、限界掃流力、粗度係数を各々、図-3に示す。汚泥の降伏値は片対数紙上では直線になることが解る。限界掃流力は全体的には含水比の増加につれて減少するが、中間部に極小値が存在することが解る。流れを等流とみなして求めた粗度係数にも極小値が存在し、その後の含水比の増加により粗度係数が増加することが解る。

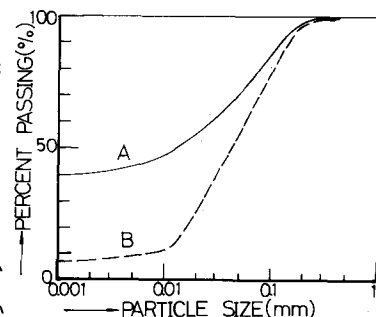


Fig-2 GRAIN SIZE DISTRIBUTION

しかもこの両者の極小値は同一含水比において生じていることが特徴的である。含水比にしたがって、汚泥の性状および巻き上げ状態を順次みてみると、先ず含水比60~70%においては、水路に汚泥を敷く際に自重では平らにならず、鍬を用いて均さなければならぬ。このため実験終了時にも鍬の跡が残っているのが見られる。

したがって、この区間での巻き上げは、表層部の突き出た部分や弱い部分が削られるように剥されていくと考えられる。粗度係数として鑊の跡形も効いていると考えられる。含水比が約80%の極小値のところでは降伏値が約1000 dyn/cm²である。この含水比では、汚泥を敷く際に自重でかなり平らになり均すために鑊を使用する必要はなくなる。このために、粗度係数限界掃流力は含水比の低いものに較べて低下することになる。含水比80%のところでの摩擦損失係数を実験時の u_{*b} と水深を用いて滑らかな壁面として $f = 2[3.0 + 5.75 \log u_{*b}/\nu]^2$ を用いて求めると $f = 0.0033$ 、一方、 $f = 2(u_{*b}/\nu)^2$ により求めた値は、 $f = 0.0032$ となり、実際の底泥には起伏があるにもかかわらず、滑らかな壁面はいはより滑らかとなっている。このことは、この汚泥は、降伏値以下の応力では壁面が flexible boundary として働き、主流部のエネルギーも消費する割合が少ない結果と考えられる。含水比が80~90%の間では、限界掃流力、粗度係数共に増加する。実験終了時のこの汚泥の表面は実験開始当初の汚泥とは粒度分布が異なり、微粒子が流され粗いもののみが留まった状態になっており、リップルの谷から谷までが一枚の板のようになっている。この表層部の粒度分布は図-2Bに極めて近い。つまり、armoringが生じている。この表層部を非凝集性粒子と見なし栗原の式を用いると $u_{*b}^2/(s-1)gd_{90} \approx 0.16$ (r: 粒子比重) となる。本実験では $u_{*b}^2/(s-1)gd_{90} = 21.5(u_{*b}^2/d_{90})^2$ の関係があり、 $\frac{u_{*b} d_{90}}{\nu}$ が0.25~0.30では左辺は1.4~2.0となり10倍異なることになる。したがって少なくとも凝集性が無視できなると考えられる。含水比が90%以上になると汚泥の流動性が極めて良くなり、実験終了時にはリップルの頂点付近のarmoring現象はなくなる代わりに、リップルの谷の部分に水流と直角の方向に汚泥中に沈んだ形で図-2Bの粒度分布に近い形の粒子群が蛇のように存在するようになる。これは汚泥の流動性が増したために粗い粒子を表面に支持しておくことができなくなり、リップルの谷の部分に輸送されて沈んだものと考えられる。このような含水比になると、汚泥界面には密度流で見られるような Instability にもとづく小波動が生じるようになり、性質も密度流に近くなる。密度流としての界面抵抗を較べると、本実験では、 $\Delta U \approx 40 \text{ cm/s}$, $\Delta Z \approx 1 \text{ cm}$, $R \approx 40 \text{ cm}$, $\varepsilon \approx 0.5$ と

して $f_i \approx 2 \times 10^{-2}$ 、密度流理論でもほぼ同一の値となり両者の現象が類似してくると考えられる。含水比が110%を越えると鉛直方向に粒度分布が生じ底部の粗い粒子は図-2Bの粒度分布を有する。図-4.5に考えうる無次元量でデータを整理している。これから底泥の巻き上げ現象は大きく三領域に分けられ、それぞれ異なった物理的現象が生じていることが解る。本研究は昭和52.53年度文部省科研費の補助によるものである。

参考文献 (1) 水理公式集、土木学会編 P200~201
(2) 研究科研究「成層密度流の界面現象に関する基礎的研究」報告書、代読者 島田 昭二 S47.9 P.14

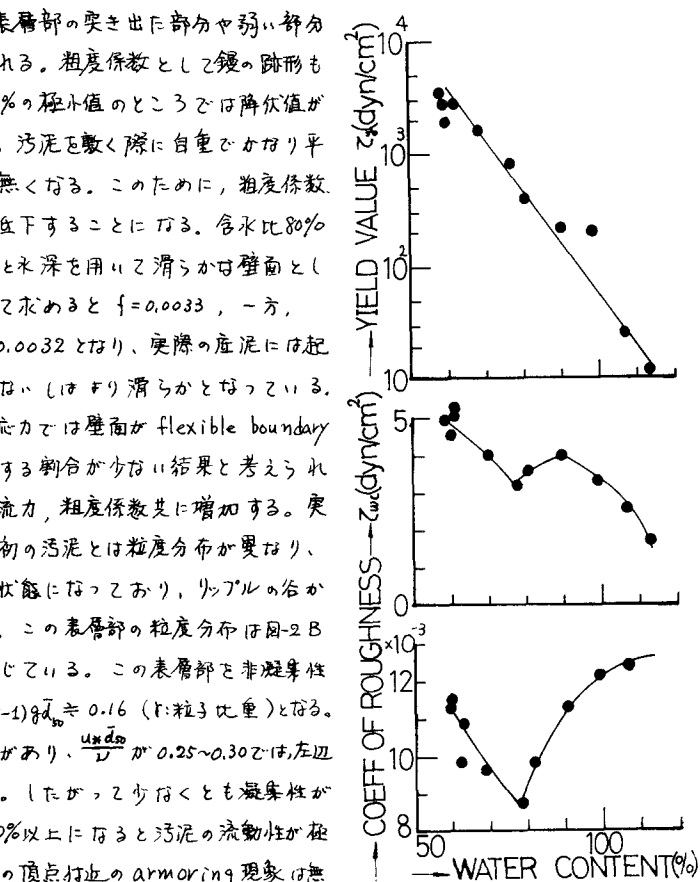


Fig-3 RELATIONS BETWEEN WATER CONTENT AND τ_y , τ_{wc} & τ_y .

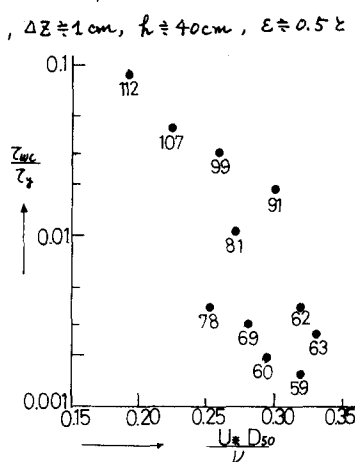


Fig-4 RELATION BETWEEN τ_{wc}/τ_y AND $u_{*b} d_{90}/\nu$. VALUES ARE WATER-CONTENT.

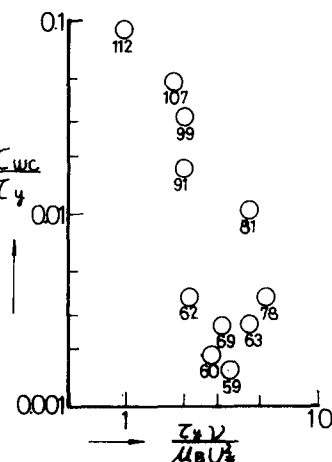


Fig-5 RELATION BETWEEN τ_{wc}/τ_y AND $\tau_y/\mu_b u_{*b}$. VALUES ARE WATER-CONTENT.