

エコー建設コンサルタント 正会員 喜田 将司
徳島大学工学部 正会員 中野 晋

1. はじめに

底泥の移動現象を調べる際に底泥の基本特性の1つとして粒度分布が調べられる。しかし、底泥移動が主に粘着力に支配され、連続体としての性格が強いことから、せん断強度や移動限界に及ぼす粒度の影響はあまり検討されていない。河口干潟などでは時空間的に粒度構成などの底泥の物理諸量が絶えず変化しており、こうした場での移動現象をシミュレートする上では、比較的測定の容易な粒度分布と底泥移動の関係を追求し、解明することがどうしても必要である。著者ら¹⁾はそうした観点から粘土に細砂が混合した場合、つまり2粒径底泥の降伏値や移動限界について実験により調べたが、本稿ではより一般的に、現地底泥を対象に連続的な粒度分布をもつ場合の降伏値・移動限界について検討した。

2. 粒度構成と平均付着水厚さ

底泥の粘着力は構成する土粒子間の相互干渉作用に起因しており、土粒子表面や間隙水のイオン活性度、表面積、土粒子間距離、含水量などに関係する。この内、粒度分布は表面積、土粒子間距離（言い換えれば付着水厚さ）に関係する。底泥を構成する土粒子を球形とし、粒径 d の確率密度が $p(d)$ で表されるとすると、単位体積当たりの粒径 d の個数の割合は式(1)で表される²⁾。次に、土粒子に付着する水膜の厚さ t が粒径に関わらず一定であると仮定し、単位体積当たりの付着水の総量が含水量に等しいこと、空隙がすべて間隙水で満たされた飽和状態を考えると、平均付着水厚さ t が式(2)の3次方程式を満たすこととなる。なお、式中の λ は空隙率である。Van del Waals 力などの土粒子間力は大局的には $t^{-\alpha}$ に比例すると考えられるため、式(2)から求められる t は降伏値や移動限界に関する重要な量である。

$$\bar{p}(d)dd = \frac{p(d)dd}{d^3} / \left[d^3 \int_a^b \frac{p(\eta)}{\eta^3} d\eta \right] (1) \quad \left[4 \int_a^b \frac{p(\eta)}{\eta^3} d\eta \right] t^3 + \left[6 \int_a^b \frac{p(\eta)}{\eta^2} d\eta \right] t^2 + \left[3 \int_a^b \frac{p(\eta)}{\eta} d\eta \right] t = \frac{\lambda}{2(1-\lambda)} (2)$$

3. 現地底泥の粒度分布

混合砂礫の粒度分布は対数正規分布で表されることが多い。図1は大坪・村岡³⁾など^{4),5)}底泥の粒度分布の報告例をカオリナイトなどの粘土試料も含めて整理し直したものである。図からわかるように、底泥の粒度分布は対数正規分布に従うものが多いことがわかる。なお、対数正規分布に従う粒度構成を持つ場合には、平均粒径 d_m 、中央粒径 d_{50} 、幾何標準偏差 $\sigma_g (= \sqrt{d_{84}/d_{16}})$ の関係がある²⁾。

$$\ln(d_m/d_{50}) = 0.5 \ln^2 \sigma_g \quad (3)$$

4. 粒度分布と平均付着水厚さの関係

図2及び図3は粒度分布の変化（図2は σ_g 、図3は d_{50} の変化）の、平均付着水厚さに及ぼす影響を示す。 σ_g の増加または d_{50} の減少は微細粒子数や総表面積を大きくするため、平均粒子間距離、つまり平均付着水厚さ t の減少をもたらす。

5. 平均付着水厚さと降伏値・移動限界の関係

土粒子間の最大付着力に相当する降伏値 τ_y は t に関して

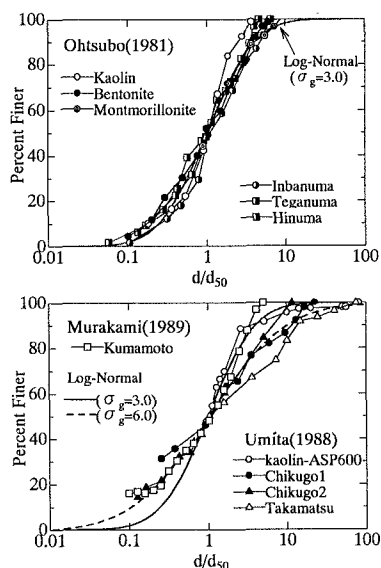


図1 底泥の粒度分布

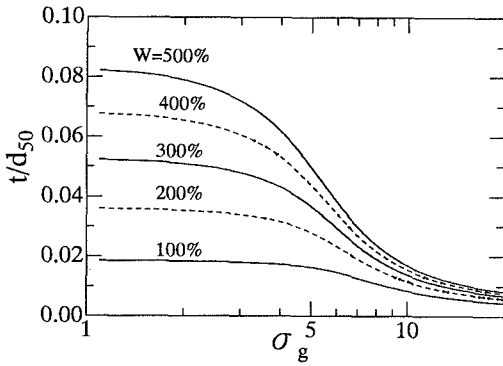


図2 粒度分布と平均付着水厚さ (σ_g の変化)

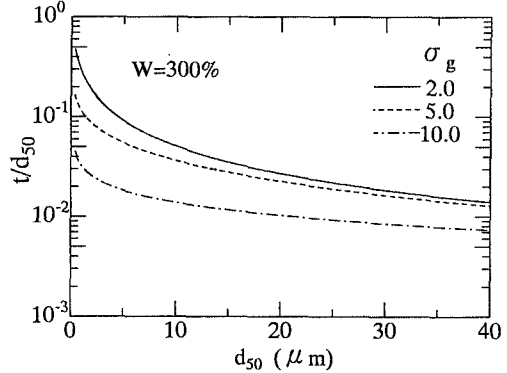


図3 粒度分布と平均付着水厚さ (d_{50} の変化)

$$\tau_y = Kt^{-\alpha} \quad (4) \quad \tau_{yLL} = K(t_{LL})^{-\alpha} \quad (5) \quad \tau_y = \tau_{yLL} (t/t_{LL})^{-\alpha} \quad (6)$$

式(4)のように表示されるであろう。ここで K 、 α は底泥の種類による係数である。瀧は底泥の粘度が相対含水比 W/W_{LL} (W_{LL} :液性限界)で整理するとまとまりやすいと述べている。液性限界時の付着水厚さを t_{LL} とすると、液性限界に対応する底泥の降伏値は式(5)で表される。これを式(4)に用いると、式(6)のように変形される。図4は大坪が測定した第1底泥グループについての降伏値と t/t_{LL} の関係を調べたもので、 t は文献中に記された粒度特性値、液性限界などから式(2),(3)を用いて計算された。kaolinとYunoko mudを除くと両者はよくまとまり、底泥の種類によらず、降伏値について概ね式(5)の関係が成立することがわかる。一方、移動限界についても式(5)と同様、 t/t_{LL} と関係が深いはずである。そこで流送限界 τ_{c1} との関係についても図5のように検討を加えた。移動限界では限界の定義の違いや実験装置などにより、多少異なるため、大坪のデータだけで整理した降伏値の場合ほどまとまっていなかったが、大坪のkaolinとbentonite、著者のkaolin(ASP600)以外は比較的よくまとまっている。

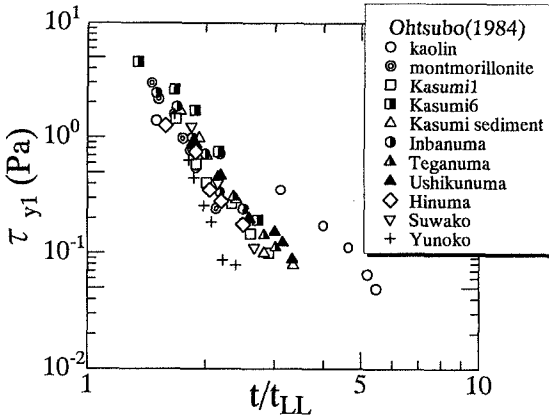


図4 降伏値と平均付着水厚さの関係

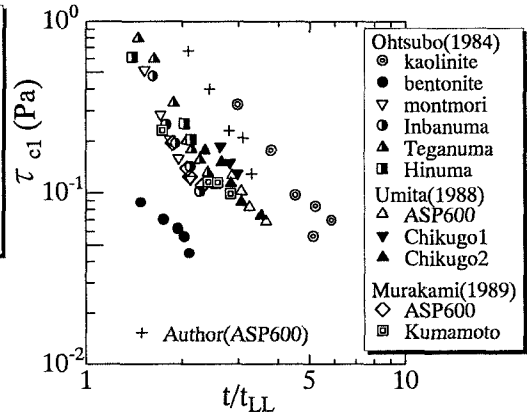


図5 流送限界と平均付着水厚さの関係

謝辞：本研究を行うにあたり、科学研究費（総合研究(A)代表・東北大学教授・澤本正樹氏、一般研究(C)代表・徳島大助教授・岡部健士氏）、徳島大学教育研究学内特別経費の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献 1)中野・喜田：水工論文集, Vol.40, pp.959-965, 1996 2)Nakagawa et al.: Bull. Disaster Pre Res Inst, Kyoto Univ. Vol.32-1, No.286, pp.1-32, 1982. 3)大坪・村岡：36 回年講, pp.3-4, 1981. 4)海田他：土木学会論文集, No.393/II-9, pp.33-42, 1988. 5)村上他：港研報告, Vol.28-1, pp.43-76, 1989. 6)瀧：中央大学学位論文, 1990. 7)大坪：京大学位論文, 1984.