

II-212

粘着性底質の浸食限界に及ぼす細砂含有率の影響

徳島大学工学部 正会員 中野 晋
(株)日本港湾コンサルタント 正会員 大川 晃由

1. はじめに 泥質の河口干潟の浸食・変形過程を調べる上で、粘着性底質の移動に関する基礎的な理解は欠かせない。特に河口干潟の底質はシルト以下の微細粒子と砂の混合体であり、微細粒子を用いた実験だけでは不十分であり、粒径範囲の広い底質を対象とした検討が必要である。なお、外力には巻き波砕波による干潟泥の浸食現象を単純化したものとして鉛直噴流を用いた。

2. 実験方法 底質の力学的基本特性として、液性限界とせん断強度を測定した。せん断強度は回転とデータ集録がパソコン制御できる外筒回転型ベーン試験装置で測定した。浸食実験は縦横 120×45cm、幅が10cmの両面ガラス張り鉛直噴流水槽を用いた。底面中央に深さ 3cm、長さ 40cm 底質層を設け、砂含有率が重量割合で 0~80%の粘着性底質を敷設した。底質表面から 13.5cm の高さに設置したノズル(幅 10mm)から2次元鉛直噴流を下方に噴出させた。噴出流速を段階的に変化させ、底質表面のひび割れが急激に拡大し始める浸食限界を測定した。底面に作用する流体力を測定するため、ノズル直下とその左 1.0cm の位置に圧力計(直径 1cm、三計エンジニアリング P310-01)を設置し、固定床で圧力測定を行った。底質試料にはカオリナイト(ASP600, $d_{50}: 4.2\mu\text{m}$, 比重 2.67)に、砂分として塩化ビニル樹脂粉末($d_{50}: 0.1\text{mm}$, 比重 1.25)または石川ライト($d_{50}: 0.218\text{mm}$, 比重 2.08)を混合して作成した。

3. 実験結果

(1) 砂混合による粘着性底質のせん断強度変化

著者ら¹⁾は粘着性底質の平均粒子間応力 $\bar{F}$ が各土粒子のかみ合せ効果が無視できる場合には底質を構成する土粒子 1 個あたりに付着する水膜の平均厚さ t を用いて、式(1)で表せることを提案している。

$$\bar{F}(t) = C_A (S_1/S_2) t^{-(n-1)}, \quad S_1 = \int_a^b \{p(\eta)/\eta\} \delta\eta, \quad S_2 = \int_a^b \{p(\eta)/\eta^2\} \delta\eta \quad (1)$$

ここに、 C_A (単位は Nm^2) は粘着性材料の種類による定数、 S_1, S_2 は粒度分布から求められる量、 $p(\eta)$ は粒度分布の確率密度関数である。粒子間力として van del Waals 力が支配的である時には $n=6$ である。なお、平均粒子間応力 $\bar{F}$ は底質のせん断強度(降伏値) τ_{yv} に対応する量である。一方、本実験のように粘土と細砂の2粒径の場合、全体重量に占める砂の重量の割合を m とすると平均付着水厚さ t は次式で求められる。

$$4\left(\frac{m}{d_s^3\gamma_s} + \frac{1-m}{d_c^3\gamma_c}\right)t^3 + 6\left(\frac{m}{d_s^2\gamma_s} + \frac{1-m}{d_c^2\gamma_c}\right)t^2 + 3\left(\frac{m}{d_s\gamma_s} + \frac{1-m}{d_c\gamma_c}\right)t - \frac{W}{2\gamma_w} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $d_s, d_c, \gamma_s, \gamma_c$ はそれぞれ砂、粘土の粒径および単位体積重量、 W は含水比である。石川ライト混合泥について式(2)から得られた t とベーンせん断強度 τ_{yv} の関係を図1に示す。図に示した直線は式(1)で $n=6$ で、液性限界に対するせん断強度と付着水厚さを τ_{yLL}, t_{LL} として変形したもので、 $m<60\%$ の石川ライト混合泥ではほぼ一致する。しかし、 $m>60\%$ では粒状体としての特性が強まり、この直線からずれており、かに $m<60\%$ の混合泥とは力学的性質が異なっていることがわかる。図2に示す液性限界と細砂含有率の関係を見ても、 $m<60\%$ では砂の割合が高くなると同一含水比では流動しやすくなり、液性限界が低下するのに対して、 $m>60\%$ では逆の傾向が現れており、この前後で性質が変化することがわかる。関根ら²⁾が流れによ

キーワード：粘着性底質、鉛直噴流、せん断強度、浸食限界

連絡先：〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 電話 088-656-7330 FAX 088-656-9042

る粘着性底質の浸食速度と粘土の含有量の関係を調べているが、この実験でも粘土含有率が60%前後で浸食速度が最小になることを報告している。この原因が液性限界にも見られる底質の力学的性質の変化に関連があると推察される。

(2)鉛直噴流による浸食限界

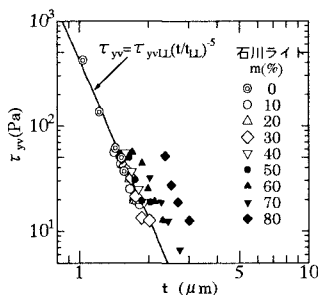


図1 セン断強度と付着水厚さ

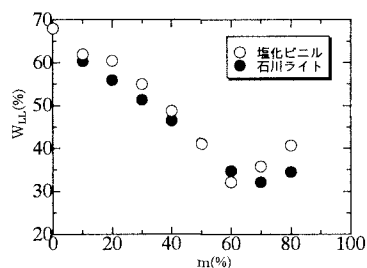


図2 液性限界と細砂含有率

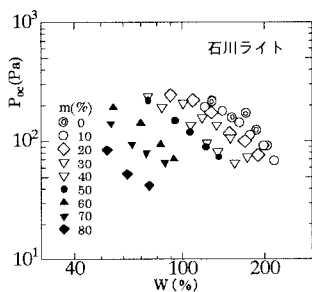


図3 $P_{0c} - W$ の関係

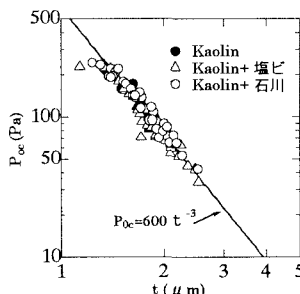


図4 $P_{0c} - t$ の関係

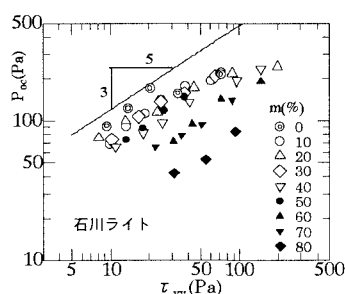


図5 $P_{0c} - \tau_{yv}$ の関係（石川ライト）

噴出口流速 u_0 と噴流直下の底面に作用する圧力とで $P_0 = 0.385 \rho u_0^2$ の関係が得られた。そこで、浸食限界流速より浸食限界底面圧力 P_{0c} を評価した。図3は石川ライト混合泥についての P_{0c} と含水比 W の関係である。含水比の低下または細砂含有率の減少に伴い、せん断強度が増し、浸食限界が大きくなる。次に平均付着水厚さと浸食限界圧力との関係を図4に示す。この図にはカオリナイト粘土、塩化ビニル混合泥（ $m=20 \sim 80\%$ ）、石川ライト混合泥（ $m=10 \sim 80\%$ ）の3種類をプロットしているが、概ね式(3)のような

$$P_{0c} = 600 t^{-3} \quad (P_{0c}; \text{Pa}, t; \mu\text{m}) \quad \cdots \cdots (3) \quad P_{0c} = P_{0cLL} \left(\tau_{yv} / \tau_{yvLL} \right)^{0.6} \quad \cdots \cdots (4)$$

関係がある。したがって図1と式(3)より、 P_{0c} と τ_{yv} の間には式(4)の関係があることが推察される。ここで、 P_{0cLL} （ $\equiv 600 t_{LL}^{-3}$ ）は液性限界の底質に対する浸食限界圧力で粒度構成や有機物量などによって異なる値となる。石川ライト混合泥についてこの関係が成り立っているかをみると図5のようになる。データはばらついてはいるが、砂含有率が同じデータをみると $P_{0c} \propto \tau_{yv}^{0.6}$ の関係がほぼ成立していることがわかる。また式(4)に示されるように粒度構成の違いにより浸食限界が異なっている状況が理解できる。

4. おわりに 土粒子の平均付着水厚さを用いることにより、粒度構成の違いが粘着性底質のせん断強度や浸食限界に及ぼす影響をうまく説明することができた。しかし、浸食現象の生じるメカニズムなどは触れておらず、さらに検討する必要がある。謝辞：本研究は科学研究費・基盤研究(c)(2)（代表・中野晋，課題番号 10650509）の補助を受けて実施された。ここに付記して謝意を表する。

参考文献：1)中野・喜田：底泥の降伏値・移動限界に及ぼす粒度分布の影響，水工学論文集，41，807-812，1997。2)関根・熊谷・尾藤：粘着性土の浸食機構に関する基礎的研究，水工学論文集，43，659-664.，1999