

河川堆積底泥の洗掘強度に及ぼす影響因子についての実験的検討

九州大学工学部 学生会員○並河 洋一 正会員 山西 博幸
九州大学大学院 学生会員 東 修 フェロー 楠田 哲也

1.はじめに 河道内に堆積した底泥を波により効率よく除去するための影響因子についての詳細な検討は未だなされていない。本研究では佐賀県六角川河道内に堆積している底泥の現地及び室内実験を通じて、現地底泥の物理・化学・生物学的状態を明らかにするとともに、底泥の洗掘強度に及ぼす影響因子について実験的に検討した。

2.現地底泥の土質力学的特性 実験試料には河道側面に堆積した不攪乱底泥を用いた。底泥採取地点を河道傾斜面に沿って岸側から3m間隔でA、B、C地点と定め、各地点でカラムにより底泥を採取した。

図-1は底泥の含水比分布を、河道横断面上に描いたものである。どの地点でも表層付近で含水比がやや高いのは、底泥採取時に底泥表面に浮泥が沈積していたためである。また、深さ方向の平均含水比を各地点で比較してみると、B、C地点に比べ、A地点で高くなっている。一般に、岸側は流心側に比べ、水流が遅く、流れによる底泥の巻き上げの影響を受けにくく、浮泥が堆積しやすい。一方、流心側では比較的水流が速いため浮泥が沈積しづらく、また、巻き上げ限界強度よりも大きい強度を有する底泥のみが残存する。巻き上げ限界せん断応力は空隙率の関数として表されるので、結果的に含水比が低くなる(海田ら、1988)。

図-2はせん断強度の鉛直分布を、図-1同様、横断面上に表したものである。例えば、図-1で含水比150%の等値線上のせん断強度を見ると、図-2ではA地点で $\tau_s \approx 4\text{kPa}$ 、B、C地点で $\tau_s \approx 2\text{kPa}$ と同一含水比にもかかわらず、その強度に大きな差が生じている。これは、A地点でのこの点が、多少なりとも圧密を受けるとともに、粒子間構造に何らかの変化が生じている下層部分の値であるのに対し、B、C地点でのこの点が、表層付近、つまり未だ圧密の影響を強く受けていない攪乱状態ともいえる浮泥部分の値であるからである。図-3はせん断強度の鉛直分布と含水比分布をもとに両者の関係をプロットしたものである。なお、図中には山西ら(1998)が六角川ガタ土を用いて得た含水比 W とせん断強度 τ_s との関係

$$\text{不攪乱試料: } \tau_{s,1} = 1.42 \times 10^{10} W^{-4.47} \quad (\text{kPa}) \quad (1), \quad \text{攪乱試料: } \tau_{s,2} = 4.49 \times 10^9 W^{-4.47} \quad (\text{kPa}) \quad (2)$$

を同時に示している。不攪乱状態の経験曲線(式(1))からずれて、攪乱状態の経験曲線(式(2))寄りのデータは、各地点の上層部分、つまり攪乱状態に近い浮泥部分の値である。図-4に含水比 W と一軸圧縮試験により求めた変形係数 E_{50} の関係を示す。便宜上、 E_{50} を W の関数として表せば、次のようになる。

$$E_{50} = 1.27 \times 10^8 W^{-2.92} \quad (\text{kPa}) \quad (3)$$

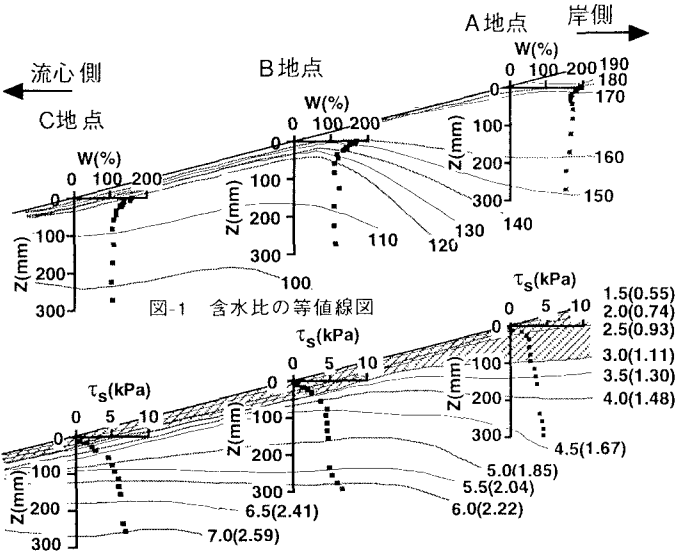


図-1 含水比の等値線図

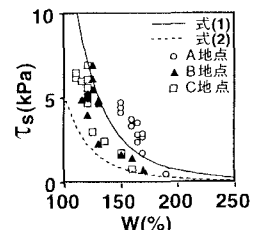


図-3 W と τ_s の関係

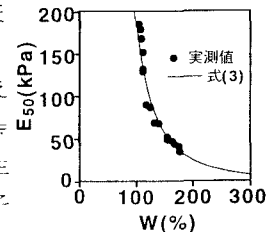


図-4 W と E_{50} の関係

3. 現地底泥の化学的・生物学的特性 図-5は各地点底泥の強熱減量の鉛直分布である。図より、強熱減量は表層付近でやや高く、深さ5cm以深では地点A、B、Cの順で低下した。この結果は、表層付近に浮泥が沈積することや岸側で浮泥が堆積しやすいことなどを考え合わせると、浮泥中では有機物量が多く、したがって生物活性も高いことが推測される。

図-6に酸化還元電位の遷移状況を示す。流心側(C地点)では水没時間が長い、酸化状態にある底泥層は薄く、A地点では大気と接する時間が長いとともに高含水比の浮泥が堆積しやすい、深層まで酸化状態になりやすい。また、酸化還元電位が急激に減少する部分と底泥の色が赤茶色から黒色に変色する遷移部分は一致していた。さらに、底泥中の酸化還元状態が乱されるバイオターベーションの影響と思われる電位の極大値を示す部分が見られた。しかしながら、強熱減量(有機物量)や酸化還元電位と底泥のせん断強度との明瞭な相関は今回の調査範囲では見られなかった。

4. 天日乾燥による底泥のせん断強度に及ぼす影響 天日乾燥による底泥のせん断強度の経日変化を調べるために、不攪乱のまま持ち帰った現地底泥を屋外、室内、水槽内にそれぞれ設置し、各条件下の底泥の含水比測定、ペーンせん断試験を定期的に行った。なお、ここで算出されるせん断強度は底泥層厚5cm平均の値である。水槽内設置分底泥については、攪拌水槽内でSS濃度 10kg/m^3 の懸濁液内に常時水没させた。図-7にせん断強度の経日変化を示す。屋外設置分の底泥と室内設置分の底泥のせん断強度は、日々増大する。一方、常時水没状態にある底泥のせん断強度は、日々減少している。図より、それぞれの初期硬化あるいは初期脆弱化速度は 0.27kPa/day (屋外)、 0.23kPa/day (室内)、 -0.27kPa/day (水槽内)であった。ここでもし大潮時に岸側で底泥が堆積するならば、次の大潮時までの2週間程度で天日乾燥した底泥のせん断強度はおよそ2倍となることが推測される。

5. 室内洗掘実験 図-8はA地点で採取した底泥を用いた場合の洗掘断面の経時変化である。このとき、同様の洗掘が水路幅方向に生じているものとして底泥の洗掘量 W_s を算出する。図-9は波の数 N が500波の時点での無次元洗掘速度 $(W_s/A_s)/\tau_s/N$ と無次元衝撃圧 p_m/τ_s との関係を示したものである。なお、図中には山西ら(1998)が提案する最大衝撃碎波圧 p_m と底泥洗掘量 W_s との関係式

$$(W_s/A_s)/\tau_s/N = m [(p_m/\tau_s) - (p_m/\tau_s)_c] \quad (4)$$

を示している。 A_s は底泥の洗掘面積、 $(p_m/\tau_s)_c$ は無次元洗掘限界値($=0.37$)、 m は係数($=1.4$)である。最大衝撃圧 p_m は入射波形勾配との関係図(山西ら、1998)より求めた。今、 $p_m/\tau_s > 0.37$ で洗掘が生じるものとし、図-2中の括弧内に表示した換算洗掘限界衝撃圧 p_{mc} とし、今回の実験での衝撃圧 p_m が $1.25(\text{kPa})$ であることを考慮すれば、波により図-2中の斜線部分の洗掘が可能であるということがわかる。

6. おわりに 河岸堆積底泥の洗掘強度に及ぼす影響因子として、含水比、土のせん断強度、有機物量、酸化還元状態、そして天日乾燥を挙げ、これらについて実験的に検討を行った結果、定性的な傾向を知ることができた。今後はこれらの結果をもとに、堆積底泥の効率的除去のための一資料として供したい。なお本研究の一部は、文部省奨励研究(A)[山西]及び河川環境管理財団「感潮域の水環境研究会」により援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】海田ら(1988):土木学会論文集No.39/Ⅱ-9、pp33-42、山西ら(1998):土木学会論文集No.607/Ⅱ-45、pp55-67

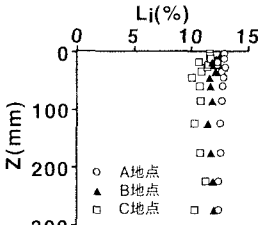


図-5 強熱減量の分布

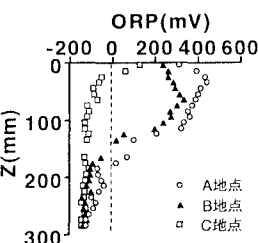


図-6 酸化還元電位遷移状況

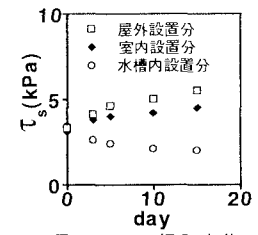


図-7 τ_s の経日変化

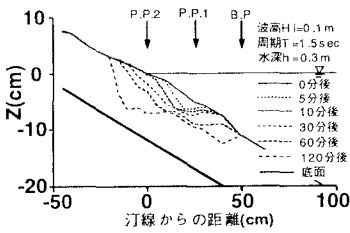


図-8 A地点底泥洗掘状況

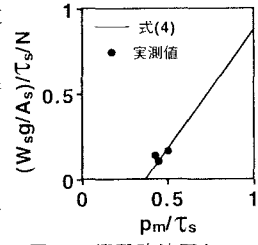


図-9 衝撃碎波圧と底泥洗掘量との関係