

高含水比底泥の降伏値と初期移動について

徳島大学大学院 学生員○藤平 依彦
徳島大学工学部 正 員 中野 晋
徳島大学工業短期大学部 正 員 細井 由彦

1. はじめに 湖沼や河口部での水環境問題と関係の深い高含水比底泥の再浮上現象を調べる上で、底泥のレオロジー特性量（特に降伏値）が限界掃流力とどのような関係があるかを知ることは重要である。そこで本研究では現場でも容易に測定のできるスランプ試験による底泥の降伏値の推定法を検討するとともに求められた降伏値と限界掃流力の関係について調べている。

2. スランプ試験による底泥の降伏値の推定

(1) 有限要素法による弾性応力解析

水口¹⁾はフレッシュコンクリートのスランプ試験終了時に、試料の内部のいかなる点においてもせん断応力度が試料のせん断強度以下となっていることに着目して、スランピング終了時のコンクリート形状について有限要素法による弾性応力解析を行い、スランプ値とせん断強度の関係を求めている。著者らもこの方法を底泥のスランプ試験に適用することにした。底泥のスランプ試験に用いたコーンは測定の容易さや試料量などの検討から選ばれた塩化ビニル製で内径と高さがともに10cmの円筒型コーンである。底泥試料はカオリナイト粉末粘土（ASP600，乾燥比重2.67）と水道水を混合したものを用いている。スランピング終了時の形状は側面からビデオ撮影して求めた。なおスランピング終了時の上端の円周部はコーンを持ち上げる際に引っ張られて少し冠状になる。これはコーン側壁との粘着によるもので、自重による流動変形の結果ではないため、上端円周部を少し修復した後に撮影している。このようにして得た個々のスランプ終了時形状を要素分割し、FEMによる弾性応力解析を実施した。図-1に計算のフローチャートを示す。スランプ後の形状は軸対称であるため、三角形断面のリング要素を用いて解析した。また計算に際し、ポアソン比は0.49とした。軸対称応力状態においては円周方向の応力度 σ_θ が発生するため3次元応力状態となり、3つの主応力度 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ が現れる。この時最大せん断応力度は主応力度の最大のもとの最小のものとの差の1/2で評価できる。図-2に解析により求められた最大せん断応力度分布を示す。上側の図は含水比が小さく、スランプ量が小さい場合であり、下側の図は比較的スランプ量が多い高含水比の場合である。両図からわかるように底面の中央部でせん断応力度は最大となっており、この値が底泥の降伏値の近似値となっていると考えられる。

(2) スランプ特性量による簡易推定法

谷川・森²⁾はフレッシュコンクリートの降伏値の簡易推定法としてスランプ後のフレッシュコンクリートの形状を円すい台と仮定して、次式を提案している。

$$\tau_v = \rho g V / (2 \pi r^2) \dots\dots\dots(1)$$

ここで ρ は試料の密度、 V は体積、 r は底面の半径である。図-3はFEM解析および式(1)から求めた降

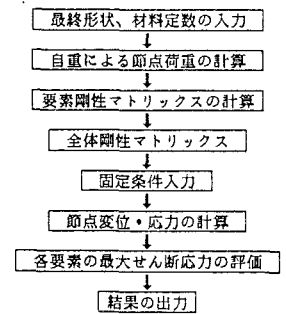


図-1 計算のフローチャート

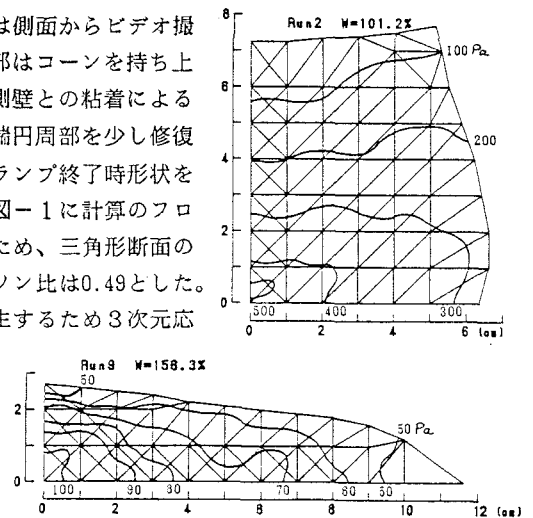


図-2 スランプ後の最大せん断応力度分布
(上側 W=101.2%，下側 W=156.3%)

伏値と含水比の関係を示す。また同時に鶴谷ほか³⁾が回転粘度計による測定から求めた降伏値と矢内ほか⁴⁾がペーン試験装置により求めた降伏値も同時に示す。これよりFEM解析と簡易推定法で求めた降伏値はほとんど一致すること、回転粘度計やペーン試験装置で得られた降伏値は1オーダー以上小さいことがわかる。

3. 底泥の降伏値と限界掃流力の関係

全長3.9m、幅25cm、高さ10cmの透明塩化ビニル製矩形管水路を用いて、高含水比底泥の限界掃流力を調べる実験を行った。底泥試料はスランプ試験に使用したカオリナイトを用い、含水比200、250、300、350%のそれぞれについて流量を12段階に変化させ、各段階の底泥の舞上がり状況を観察した。大坪⁵⁾の定義を参考に底泥の小さな塊が所々ではがれる状況を流送限界と想着て、限界掃流力を評価した。図-4は限界掃流力 τ_c を含水比に対しプロットしたものである。また同時に大坪のカオリナイトについての実験値(流送限界)も示した。今回の実験は大坪の結果に比べ、含水比による変化の割合が小さく、高含水比の底泥でも移動限界が大きめとなっている。これは実験水路が小型であり、乱れが小さかったことも原因の一つであろう。図-5はこのようにして求めた τ_c と降伏値 τ_y の関係を示したものである。なおスランプ試験では210%程度までしか測定していないため、それ以上の含水比の降伏値は式(1)を用いる簡易推定法から求められた $\tau_y = 2390 \exp(-0.0175W)$ の関係をj用いて求めている。図から底泥の降伏値は移動限界掃流力に比べて2オーダー以上大きいことがわかる。この理由として底泥表面のわずかなすきまなどから水が侵入し、局所的に高含水比になり、低強度の部分が生じることや平均的な底面せん断力よりはパースティングなどの乱れの効果が大きいことなどが考えられる。

4. おわりに 底泥の降伏値推定手法としてスランプ試験が極めて有効であることがわかった。しかし流れによる底泥の移動限界掃流力はこれに比べかなり小さくこの理由はさらに検討する必要がある。今後は現地試料を用いたスランプ試験および流送実験を行い、さらに検討を加える予定である。

謝辞：本研究の一部は文部省科学研究費補助金、奨励研究(A)「流れの中での波と底泥の相互干渉による底泥移動に関する研究」の補助のもとに実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 水口裕之：京大学位論文、1984.
- 2) 谷川・森：コンクリート工学、Vol.25-5、pp.4-16、1987.
- 3) 鶴谷・中野・鷹濱：港湾技研資料、No.566、pp.1-29、1986.
- 4) 矢内・五明：第43回年講概要集、第2部、pp.768-769、1988.
- 5) 大坪國順：京大学位論文、1985.

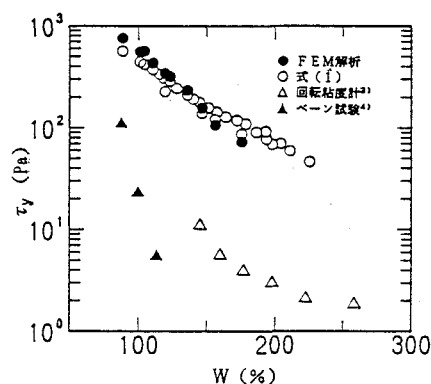


図-3 底泥の降伏値の含水比による変化

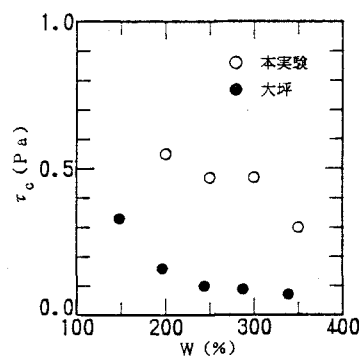


図-4 限界掃流力と含水比の関係

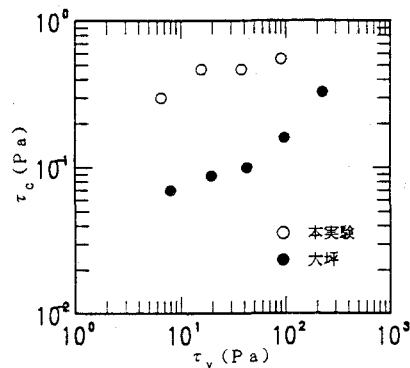


図-5 降伏値と限界掃流力の関係