

流動材料の解析用物性値の設定のための粘性測定に関する検討

大成建設 正会員 ○池上 浩樹
 正会員 藤原 斉郁
 正会員 松井 秀岳

1. はじめに

著者らは、泥土圧シールドチャンバー内における掘削土の塑性流動状態の評価手法として、カッターヘッドの回転に伴ってカッターヘッドの背面の攪拌翼とバルクヘッドの前面の固定翼に作用する土圧を測定する方法を検討している。本手法に関して、これまで攪拌翼の移動に伴って測定される土圧の傾向把握を目的とした模型実験¹⁾を実施し、加泥材混合土のスランプ値と攪拌翼模型の移動過程における平均土圧の関係を確認した。引き続き検討では、粒子法を用いて模型実験を対象とした再現解析を実施し、攪拌翼模型の移動に伴う土砂挙動の把握を試みている²⁾。本報では、解析において必要となる加泥材混合土の粘度の算出に向けたせん断速度とせん断応力関係の把握を目的とした粘性測定を行い、レオメータにより得られた回転速度とトルクの関係について報告する。

2. 試料と実験条件

表 1 に本測定に用いた試料の条件を示す。試料はトククレーと珪砂 5,6,7 号のブレンドにより図 1 に示す粒度としたものを母材として、これまで実施した模型実験¹⁾での条件を参考に、15%濃度の加泥材を加えたものと、水のみを加えたものとした。測定にはレオメータ (HAAKE Viscometer iQ Air, 写真 1) を用い、回転体の回転速度とトルクの関係を確認した。なお、本装置における測定用の回転体は円筒型と羽根型があるが、今回の測定は低粘性の懸濁材を扱うため円筒形では試料との境界面で滑りが発生し正確な測定が出来ない恐れがあったため、写真 1 に示す羽根型 (2 枚羽根) の回転体を用いることとした。また、円筒形回転体の場合、懸濁材料により回転体が損傷する恐れがあることも、羽根型を選択した理由の一つとして挙げられる。

測定は、試料を直径 95mm、高さ 90mm の円筒形容器に投入し、レオメータに設置後、回転体を挿入して行った。測定時の容器と回転体の関係を図 2 に示す。回転体の回転速度は、0.001rps から 4.167rps まで 0.463rps ずつ段階的に変化させ、回転のパターンとしては、① 0.001rps から 4.167rps まで段階的に増加させた後、同様に段階的に 0.001rps まで減少させる、② 一気に 4.167rps まで回転させた後、0.001rps まで段階的に減少させる、の 2 種類とした。測定は、各回転速度において 30 秒間のトルクの平均値を記録した。また、回転体の挿入長さとして、本測定装置で通常行われる 50mm に加え、試行的に 25mm の場合の 2 水準とした。挿入長さが 25mm の場合は、試料の高さを容器上端から 25mm 低い位置とし、回転体と容器の底面の距離が変わらないようにした。今回測定したケースを表 2 に示す。

表 1 測定対象試料

試料	加泥材	
	濃度 [%]	添加量 [l/m ³]
A	15	540
B	15	540
A	0 (水)	285

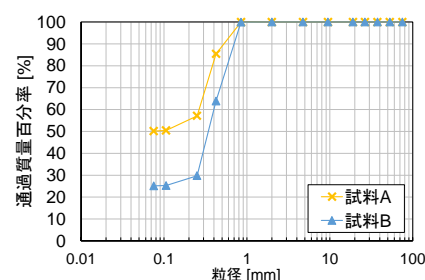


図 1 粒度分布



写真 1 レオメータ

左：装置，右：回転体

キーワード 粘性測定，流動材料，再現解析

連絡先 〒245-0003 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 技術センター TEL045-814-7221

3. 試験結果

A+15%に対する結果を図3に、B+15%に対する結果を図4に、A+水に対する結果を図5に示す。

挿入長さ50mmの場合、どちらの試料も0.001rpsにおけるトルクが0.436rpsにおけるトルクより大きい。A+15%では、0.464rpsから2.778rpsの範囲で回転速度が速いほどトルクが大きく、2.778rps以上でトルクはほとんど変化しなかった。B+15%では、0.464rps以上で回転速度が速いほどトルクが大きく線形に近い関係であった。懸濁材料であるコンクリートやモルタルの粘性挙動は一般的にビンガムモデルで表現され³⁾、降伏後のせん断速度とせん断応力が線形関係となるとされている。これに対し、B+15%では降伏後に線形関係が見られたものの、それ以外についてはビンガムモデルとは異なる挙動となった。このうち、静止状態付近でトルクが大きくなる点については布谷ら⁴⁾による測定においても同様の結果が得られており、降伏値として測定値をそのまま適用する方法や流動曲線を外挿する方法など、適切な降伏値設定法の検討が必要と考えている。また、A+15%で降伏後に線形関係が見られなかった点についても母材の違いによる細粒分含有率の違い等の影響が考えられるが、要因の特定には至っていない。なお、A+水ケースについては、抵抗が大きく装置の回転力不足により測定することが出来なかった。

挿入深さ25mmの場合、A+15%及びB+15%とも50mmの場合に対しトルクが半減するものの、低回転時及び回転速度の増加に伴う傾向は同様であった。また、A+水ケースについては、他ケースに対し増加・低回転時の結果が異なり、不安定な挙動であったことが伺われた。

4. おわりに

本試験では、解析による塑性流動状態の挙動再現のためのパラメータ取得を目的としてレオメータによる粘性測定を試みた。その結果、当初想定したビンガムモデルとは異なる測定結果となった。今後の検討の方向性としては、本結果の解釈に関する考察と共に、試験法の再検討が必要と思われる。前者については、低回転時の測定値や外挿による降伏値での試解析の実施、後者については、低粘性の懸濁系材料に対応した回転体の羽根形状や容器とのクリアランス、測定時間など、検討の余地があると考えている。

参考文献

1)池上ら：双対式土圧測定による泥土圧シールド掘削土の性状判定に関する室内模型実験，トンネル工学報告集，第31巻，II-6，2021。2)椎名ら：塑性流動状態の土砂挙動に関する数値シミュレーション，第57回地盤工学研究発表会，2022。（投稿中）3)H. SOUALHI, et al.: A vane rheometer for fresh mortar: development and validation, Appl. Rheol., 24, 2014。4)布谷ら：回転粘度計における回転体の形状が測定値に及ぼす影響，地盤工学会北海道支部 技術報告集，第54号，2014。

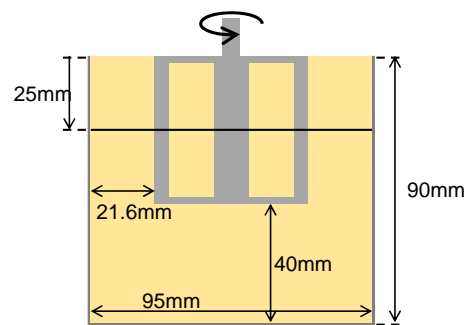


図2 測定容器と回転体との関係

表2 測定ケース

挿入長さ h	50mm		25mm
回転パターン	①	②	①
A+15%	○	○	○
B+15%	○	○	○
A+水	×	×	○

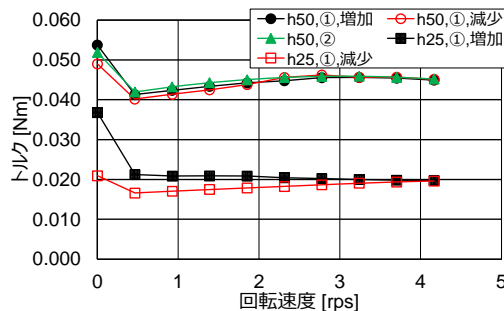


図3 トルクと回転速度の関係(A+15%)

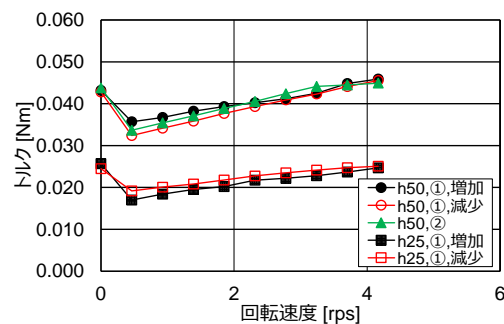


図4 トルクと回転速度の関係(B+15%)

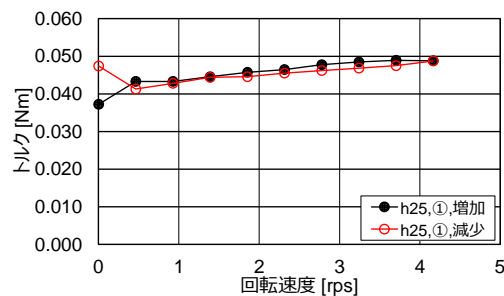


図5 トルクと回転速度の関係(A+水)