

泥土の塑性状態評価を目的としたピストン加圧式ベーンせん断抵抗測定装置の開発

大成建設 正会員 ○池上 浩樹 石井 裕泰

1. はじめに

チャンバー内の掘削土に圧力を作用させ、切羽の安定を図りながら掘削を行う泥土圧シールド機において、水や添加材を加えて適度な塑性流動状態をチャンバー内に確保することが不可欠となる。その適否の判断にあたっては、スクリーコンベアから排出された掘削土に対して、手触りやスランプ試験・テーブルフロー試験を行い、経験則や指標値に依存してきた。しかしながら、これらは力学的な根拠に乏しく、さらに実際の塑性状態が保持されるべき圧力条件を加味していないため、より確実な性状判定に向けては検討余地があると思われる。そこで、著者は塑性流動性を評価する指標として、ベーンせん断抵抗に着目し、測定対象試料を密閉・加圧状態で回転抵抗を測定できることを特徴とするベーンせん断試験装置を開発した。本報では、構造・機能等の詳細を解説するとともに、泥土圧シールド工事で発生した掘削土に対して行った試行測定結果を報告する。

2. 測定装置の詳細

図 1、図 2 に著者が考案した測定装置を示す。測定装置は、i)試料を入れる円筒形容器、ii)試料を加圧するピストン構造の内蓋、iii)ベーンシャフトが貫通できる穴を有した上蓋、iv)円筒形容器の下部を密閉する下蓋から構成される。加圧機構としては、円筒形容器側面より、空気圧あるいは水圧を作用させ、内蓋が上昇することで試料を加圧する。上蓋のベーンシャフトが貫通する穴の円周部には密閉用の O リングがあり、ベーンシャフト周辺からの圧漏れや、試料の流出を防いでいる。また、上蓋には圧力計が設置されており、試料に作用する圧力を直接計測することができる。

図 3 には、三軸応力状態でベーンせん断抵抗を測定できる既往の装置¹⁾を示す。この装置では、三軸セル内のペDESTAL 上に供試体を設置し、任意の圧力で圧密を行った上で、試料底部からベーンブレードを貫入し、せん断抵抗を測定する。鉛直圧と側圧を自由に制御して任意の応力状態を再現できることが利点であるが、三軸セルの下側にベーンブレードの貫入機構を有するため装置が大型化し、作業性も悪いことが短所に挙げられる。

3. ピストン加圧方式でのベーンせん断試験

まず始めに、上蓋に設置した密閉用 O リングの摩擦が圧力によって大きくなり、トルクへ影響することが懸念されたため、試料及び内蓋がない状態でトルクを計測した。シャフトにはシリコンオイルコンパウンド(信越シリコーン KS-63G)を塗布し、円筒形容器側面から空気圧で加圧し、上蓋で計測される圧力が 0kPa、100kPa、200kPa、500kPa となるようにした。図 4 に回転速度 0.002rad/s におけるトルクと回転角度の関係を示す。回転角度 35° 以下では、全てのケースにおいてトルクが 0.03[N・m]程度以下となっている。一方で、回転角度 35° 以上では、トルクの増加傾向が見られ、イ)再現性を確認した 0kPa-1 と 0kPa-2 とでトルクの発生状況は異なり最大値が約 2 倍となっている、ロ)200kPa と 500kPa ではトルクの増加傾向と最大値に大きな違いが見られない。従って、O リングの摩擦によるトルクの影響は圧力よりも、ベーンシャフトと O リングの接触状況など、設置

キーワード：室内ベーンせん断試験、泥土圧式シールド

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設㈱技術センター TEL045-814-7217 FAX045-814-7258

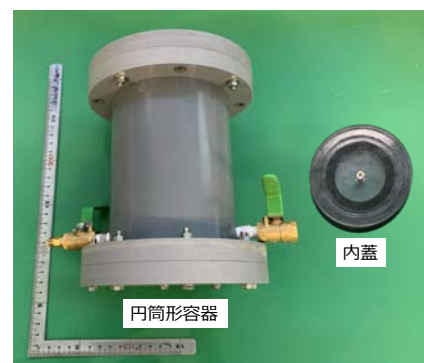


図 1 加圧式ベーンせん断試験装置

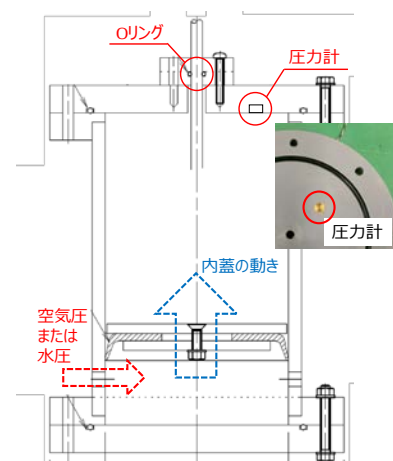


図 2 加圧機構

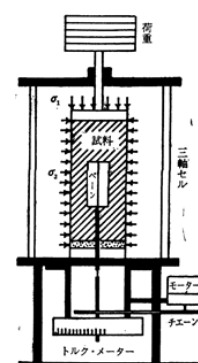


図 3 既往の装置

精度による影響が回転角度の増大に伴い卓越すると考えられる。

次に、泥土圧シールド工事で採取した掘削土を対象にベーンせん断試験を行った。ベーンの寸法は直径 20mm、高さ 40mm のものを使用し、回転速度の影響を考察するために、回転速度を 0.002rad/s、0.05rad/s、0.1rad/s とし、圧力は O リングの摩擦影響検討と同様の 4 水準を設定した。掘削土には礫分が含まれていたため、今回は 2mm ふるいで裏ごしして用いた。ふるい目の大きさは最大粒径がベーンブレードの半径の 1/5 以下となることを基準に選定した。上記の圧力条件に加えて、試料の状態がトルクに与える影響を把握するために、従来の判断指標であるテーブルフロー値の適正範囲(105mm~135mm)を参考にして加水調整した。調整後のテーブルフロー値は 106mm,114mm,136mm であることを確認し、以下の結果と考察では、各々TF106,TF114,TF136 と称する。

図 5 に TF106 に対して、回転速度 0.002rad/s で行った試験のトルクと回転角度の関係を示す。回転角度 35° までにトルクのピークを呈するケース(0kPa,500kPa)と、35° 以降でもトルクが緩慢に増加しているケース(100kPa,200kPa)に傾向が二分される。35° 以降になると O リングの摩擦影響が大きいと考えられることから、一連の結果で 35° までの範囲の最大値を最大トルクとして抽出して整理した。

図 6 に回転速度 0.002rad/s における最大トルクと圧力計の値の関係を示す。TF106 では圧力の増加に伴い、最大トルクが増加している。0kPa に対する 500kPa の最大トルク比は、TF106 で 1.42, TF114 で 1.22, TF136 で 1.10 となった。テーブルフロー値が小さいほど圧力の影響を受けやすいと考えられる。

図 7 に回転速度 0.1、0.05rad/s それぞれでの最大トルクと 0.002rad/s での最大トルクの関係を示す。いずれも 45° 線上付近に結果がランダムにプロットされていることは、テーブルフロー値、圧力に依らず回転速度が最大トルクへ与える影響は小さいことを意味する。既往の知見²⁾では、完全に練返した試料に対して回転速度の影響は見られないと報告されており、今回の試験では、より回転速度の速い条件であったが、同様の傾向が見られた。

4. おわりに

試料を密閉し加圧状態でベーンせん断抵抗を測定できる装置を開発し、その詳細について報告した。O リングの摩擦への圧力の影響については、回転角度 35° までの範囲が軽微で、この範囲から最大トルクを抽出し検討に供することが適切であるとの判断を得た。その上で、テーブルフロー値の小さい試料ほど圧力の増加に伴う最大トルクの増加傾向が顕著になること、テーブルフロー値、圧力に依らず回転速度が最大トルクに与える影響は小さいことを確認できた。本装置及び今回得られた結果を大深度、大断面シールド工事におけるチャンバー内の掘削土の塑性流動性評価に適用していきたい。

参考文献

- 1) 柴田徹：粘土のベーンせん断強度に関する研究，土木学会論文集，138 号，pp.39-48，1967
- 2) 平林弘ら：ベーンせん断試験結果に及ぼす回転速度の影響，地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設，Vol.33,No.1,2015

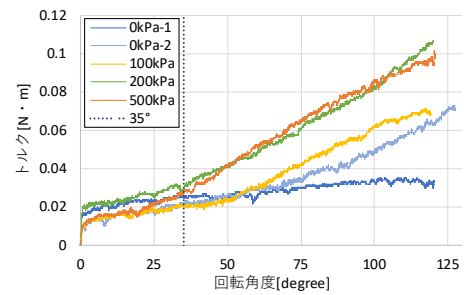


図 4 トルクと回転角度の関係
試料及び内蓋無し

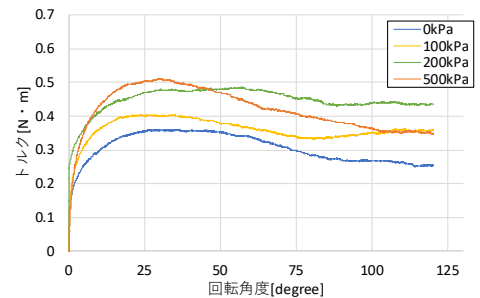


図 5 トルクと回転角度の関係
TF106 回転速度 0.002rad/s

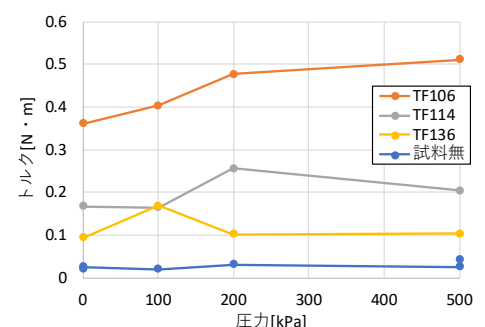


図 6 圧力と最大トルクの関係
回転速度 0.002rad/s

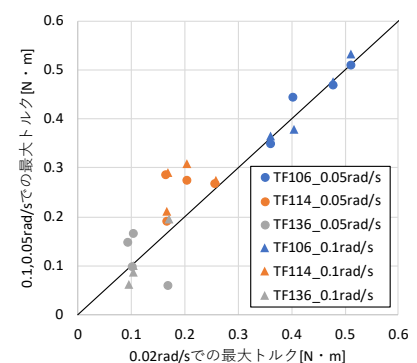


図 7 異なる回転速度における
最大トルクの関係