

地すべり粘土の粘塑性パラメータ評価とそのリングせん断試験装置を用いた方法の検討

日本大学工学部 学生員 ○岡部 泰知・正員 梅村 順

1. はじめに

塑性変形状態にある地すべり面に挟在する粘土（以下、地すべり粘土という）が発揮するせん断抵抗力（残留せん断抵抗力）について、古くから Bingham モデルをはじめとする粘塑性モデルでの評価が行われている¹⁾。それらの評価では実際の地すべり挙動からモデルパラメータを逆算して評価しようとするものが散見される²⁾が、試験として実測された例は、土石流を対象とした水理学分野で数例あるだけでほとんど見当たらない。そこで本文では、地すべり粘土の残留せん断抵抗力評価に Bingham モデルを適用し、そのモデルパラメータをリングせん断試験装置で実測する方法を検討した結果について報告する。

2. 適用したモデルと対象試料・試験方法

Bingham モデルはスライダとダッシュポットを組み合わせた力学モデルで、次式で表される。

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{d\gamma}{dt} \cdots (1)$$

ここに、 τ : せん断抵抗力、 $\frac{d\gamma}{dt}$: せん断ひずみ速度で、 η : 粘性係数、 τ_0 : Bingham 降伏値がモデルパラメータである³⁾。このモデルでは、せん断抵抗力がせん断ひずみ速度に依存する。そこで、せん断ひずみ速度を変化させてせん断抵抗力を調べ、その結果を図-1 に示す横軸にせん断ひずみ速度、縦軸にせん断抵抗力としたグラフで整理すれば、切片から Bingham 降伏値、傾きから粘性係数を求めることができる。

試料には地すべり粘土とほぼ同じ鉱物組成の工業用ベントナイトから、地すべり粘土とほぼ同じ、かつ、せん断前の圧密過程での時間を塑性指数に基づいて検討し、商品名「榛名」（クニミネ工業（株）製）を使用した。試料の物理的性質を図-2 に示した。

使用したリングせん断試験装置は、供試体箱が外径 350mm、内径 200mm、高さ 150mm のドーナツ状のものである。試験ではまず、試料を液性限界以上の含水比でスラリー状に調整して装置にセットして段階的に垂直圧を増加し、300 kN/m² で圧密した。圧密終了は、 $\sqrt{t}$ 法で確認した。次いで垂直圧をそのままではせん断箱間隔を 0.5mm とし、0.05mm/min の一定せん断速度でせん断し、300mm 以上せん断変位を与えて塑性変形状態にした。その後時間を空けずに、PC でせん断ひずみ速度を制御しながらせん断力を作用させた。

せん断ひずみ速度はモデルパラメータを求める方法を検討するために、菅原⁶⁾が示したクリープ型地すべりの最大移動速度約 200mm/day (0.1389mm/min) を参考に、せん断速度で 0.002mm/min – 0.008mm/min、

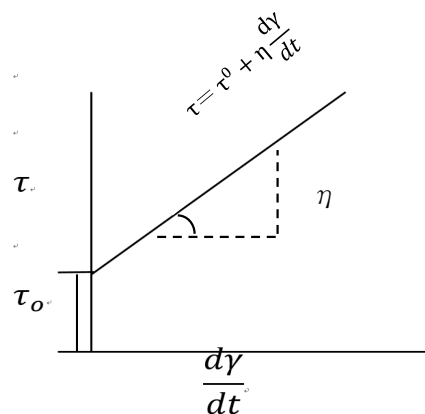


図-1 Bingham モデル標準線

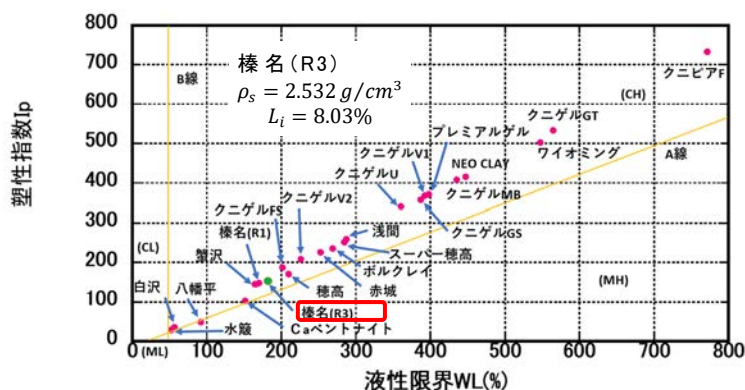


図-2 対象試料の物理的性質

キーワード：地すべり粘土・Bingham モデル・Casson Plot・リングせん断試験

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原一番地 日本大学工学部 TEL024-956-8709

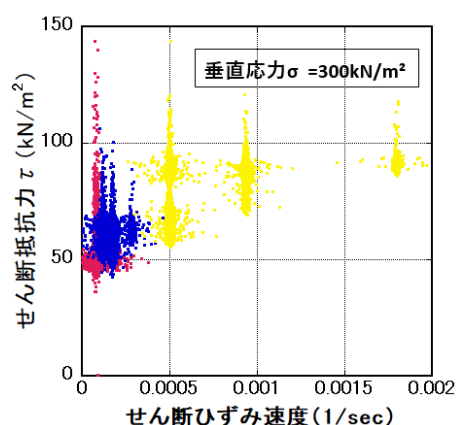


図-3 Phase1 の試験結果例

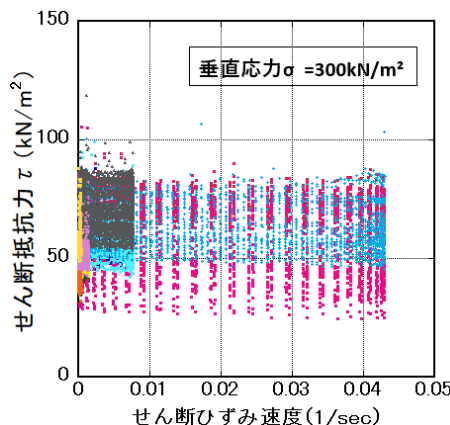


図-4 Phase2 の試験結果例

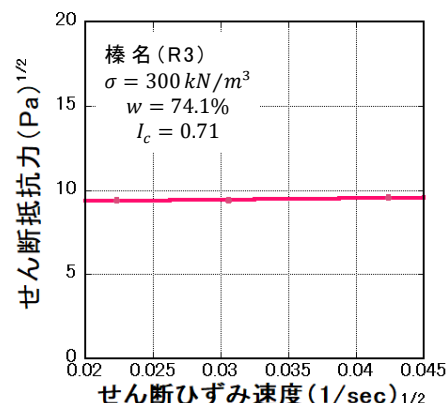


図-5 Phase1 での Casson Plot

0.0160mm/min – 0.064mm/min , 0.1280mm/min – 0.5120mm/min の 3 つの速度範囲で段階的にせん断速度を増減させた Phase1, これらせん断速度範囲でせん断速度の振幅を変化させて周期的に与えた Phase2 の 2 ケースを設定し, それらのせん断速度に対するせん断抵抗力を測定した. なお, せん断抵抗力は供試体中央線上で代表させた.

3. 試験結果

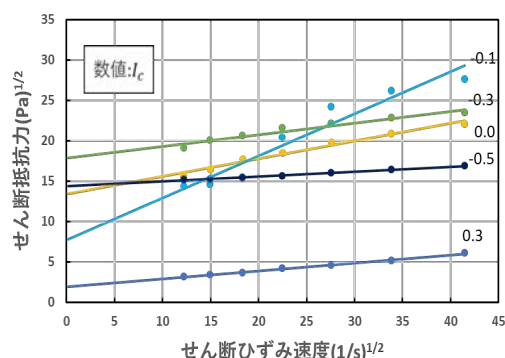
図-3 には Phase1 の結果を示した. せん断ひずみ速度の増加に伴い, せん断抵抗力が増加する傾向を示した. また, 図-4 には Phase2 の結果を示した. Phase1 で見られたせん断抵抗力のせん断ひずみ速度依存性は不明瞭であったが, 振幅・周期に依存していることが示唆された.

4. 粘塑性モデルパラメータを求めるための試験方法の検討

Casson⁴⁾は, 粒子の分散する液相を対象とした実験結果からBinghamモデルパラメータを求める方法としてCasson Plotと呼ばれる方法を提案し, 著者らは高塑性粘性土の場合はこの方法が優れていることを示した⁷⁾. Casson Plotでは, 横軸にひずみ速度, 縦軸にせん断抵抗力の各平方根を取って整理し, 得られるそれらの直線関係から η^∞ : Casson粘性係数, τ_0 : Bingham降伏値を求める方法である.

図-5は, Phase1の試験結果から各せん断速度での後半に呈したせん断抵抗力の平均値を対象に, Casson Plotを適用した結果を示した. また, 図-6は, 著者らがレオメータ試験で得た同じ「榛名」粘土の試験結果である⁷⁾. 図-5に示したリングせん断試験の結果では $I_c = 0.710$ であったので外挿になるが, 図-6と η^∞ , τ_0 ともほぼ同じ傾向, 値を示した. これらの結果からリングせん断試験装置を利用しPhase1の方法で, Binghamモデルパラメータを実測, 評価できた. 但し, 異なる試料への適用性やレオメータとリングせん断試験装置の寸法効果の影響など, 今後検討する必要性が残されている. さらに, 実務との関連性について地すべり地ではしばしば実施される地下水位低下を目的にした対策工では, 地すべり粘土に作用する有効上載圧が増加するので圧密, 脱水される. 図-6に示すようにBinghamモデルパラメータは含水比に依存して変化するので, 今後, このような視点からの検討も課題と考えている. 一方, Phase2について, せん断抵抗力のせん断ひずみ速度周波数, 振幅依存性ではチキソトロピー性の定量的評価を目指した. しかし, 結論に至らず, これも今後の課題としたい.

参考文献 1)駒村(1964): 地すべり粘土の可塑性粘性係数について, 地すべり学会誌 2)Ter-Stepanian, G.(1965): In-Situ Determination of Rheological Characteristics of Soil on Slope, ISSMGE. 3)Bingham, E. C.(1917): An Investigation of The Laws of Plastic Flow, Bulletin of the Bureau of Standards, v. 13, no. 2. 4)Casson, N.(1959): A Flow Equation for Pigment-oil Suspensions of Printing Ink Type, Rheology of Disperse Systems (Ed. Mill, C. C.). 5)上田(2012): 測定から読み解くレオロジーの基礎知識. 6)菅原(2003): クリープ性粘土すべり斜面の安全率と地表の移動速度, 地すべり学会誌. 7)梅村(2020): 地すべり粘土のような高塑性粘土への粘性モデル適用の試み, 第 58 回日本地すべり学会研究発表会.

図-6 レオメータでの同試料試験結果⁷⁾