

## 流れ限界の評価に対する Kaolinite-Bentonite 混合率の影響

東北工業大学 学生会員 ○石崎蒼良  
非会員 嶋原 玄  
非会員 今野達哉  
正会員 権 永哲

### 1. はじめに

粘土は土粒子、空気、水で構成され、含水比により個体、半固体、塑性体、液体と形状を変化させる。ここで塑性体から液体に移る含水比は液性限界と言われ、液性限界試験によって求められるが液性限界試験を実施した際液状の性質は見られなかった。そこで本研究では液性限界値が過小評価されていると仮定し、有効応力の観点から CRS 試験を実施、高い液性限界値を確認し「流れ限界」と名付けた。これまで本研究では流れ限界についての研究として CRS 試験を用いた塩釜粘土での流れ限界検討、カオリナイト、ベントナイトを用いた粘土試料での CRS 試験による流れ限界検討、CRS 試験の代替とした流れ限界の簡易測定試験、流れ限界における CRS 圧密試験の载荷する速度の影響について研究してきた。本研究においては粘土試料である Kaolinite-Bentonite 混合率(以下 KB 混合率とする)を変更し、圧縮率の異なる流れ限界を CRS 圧密試験と簡易測定試験で評価した。これまでの研究により粘度の観点による流れ限界の評価方法は CRS 圧密試験の代替試験と提案できるとしていた<sup>1)</sup>。しかし、提案できるとしたのはあくまで KB 混合率が 7:3 の条件下においてのみであり他の条件下においても提案できるとは言い切れない。

そこで、粘度の観点による流れ限界の評価方法の活用範囲を広げるべく他の条件下にて同試験方法を実施しようと考えた。また、粘度の観点による代替試験も CRS 圧密試験と同様の供試体を用いて実施した。他条件として、KB 混合を従来は 3:7 だったのに対し、1:9、5:5、7:3、9:1 と変更し試験を実施した。1:9 は圧縮性が高く、吸水性が低い粘土。逆に 9:1 は圧縮性が低く、吸水性が高い粘土を想定している。

### 2. 試験方法

CRS 圧密試験の方法は、有効応力の増減から流れ限界を評価する。試験の本来の目的は圧密特性を連続的に得られる事で超軟弱粘土の低応力域での圧密特性、硬質粘土の圧密降伏応力付近の圧密特性を詳細に得られる試験である。流れ限界を表す含水比をデータとして得られる試験方法ではないが、連続的に一定の速度で粘土供試体の圧密を行え、得られる载荷時間と有効応力のデータ、圧密後の粘土供試体から初期粘土質量、他容器で試料の乾燥前、乾燥後の質量から初期含水比の算出等を行い、有効応力-含水比のグラフを作成する事で流れ限界を算出できるため本研究では载荷装置として採用した。試験は CRS 圧密試験において流れ限界には载荷速度

は影響を及ぼさないと結論づけられた<sup>3)</sup>。そのため、本年度における試験の载荷速度は载荷する速度を 0.025mm/分 に設定する。また有効応力の目標値は昨年度と同様、1500kN/m<sup>2</sup> に設定する。

粘度の簡易測定試験は、粘度カップから粘度が排出される時間を測定する。測定した時間を粘度に換算することで粘度と含水比のグラフを作成し、流れ限界を評価している。上記 5 つの KB 混合率において作成した粘土を粘度カップの下部の穴を通過し時間を測定することが可能になる含水比から 10% ずつ計 10 回の 100% 程度含水比を上昇させ実験を実施した。粘度の換算は粘度カップを制作した会社の提示する図 1 のような粘度換算表に基づいて行った<sup>3)</sup>。

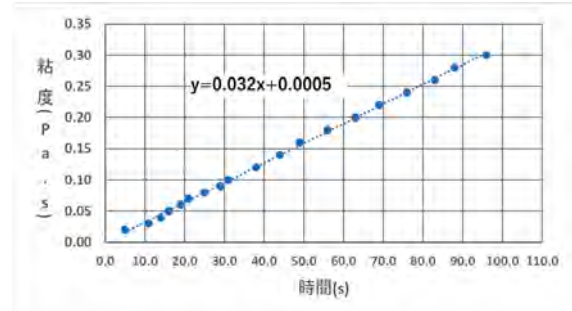


図1 粘度と時間の関係

### 4. 試験結果

排水した水の体積と初期含水比、粘土質量を用いて含水比を計算し、有効応力-含水比のグラフを作成し有効応力が急激に増加する含水比を流れ限界とする。初めに KB 混合率が 9:1 となるようカオリナイト 54.0g、6.0g に 180.0g の水道水を混合した粘土試料での試験結果として図 2 が求められ、流れ限界の上昇に合わせ、急激に有効応力が上昇した値から流れ限界を確認できる。有効応力が急激な上昇を始める前でも有効応力値に併せた直線を引くことで急激な上昇を始める始点を判断すると、KB 混合率 9:1 での流れ限界値は 185% である。

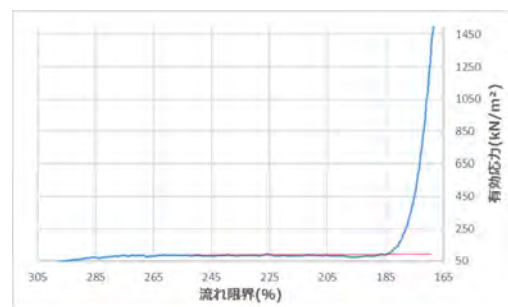


図2 KB 混合率 9:1 での流れ限界-有効応力図  
同様の計算、判定方法より他混合率での流れ限界を判定す

る。カオリナイト 30.0g に対しベントナイト 30.0g の粘土試料に水道水 180.0g を混合した KB 混合率 5:5 の粘土試料では流れ限界は 248%と評価した。また、カオリナイト 18.0g に対しベントナイト 42.0g の粘土試料に対し水道水を 180.0g で混合した KB 混合率 3:7 の粘土試料では流れ限界は 241%と評価した。カオリナイト 6.0g に対しベントナイト 54.0g の粘土試料に水道水 180.0 を混合した KB 混合率 1:9 の粘土試料では流れ限界は 255%と評価した。なおカオリナイト 42.0g に対してベントナイト 18.0g の粘土試料に水道水 180.0g を混合し作成した KB 混合率 7:3 の粘土試料での流れ限界は今野(2021)より引用し、235%であった<sup>1)</sup>。

### 5. 簡易測定試験結果

KB 混合率 9 : 1 では供試体をカオリナイト 90g、ベントナイト 10g の 100g で作成した。初期含水比は 200%に設定し、そこから 100%程上昇させた。しかし、含水比 200~300%間では粘度が下がりきっており一定の値を維持していた。つまり、含水比 200~300%ではすでに流れ限界を通過しているということだ。そこで、流れ限界を再評価するべく、含水比を 100~200%間に下げて実験を行った。変更後の実験結果が図3である。以下、7 : 3~1 : 9 の実験結果も下図のようにまとめた結果をもとに述べている。

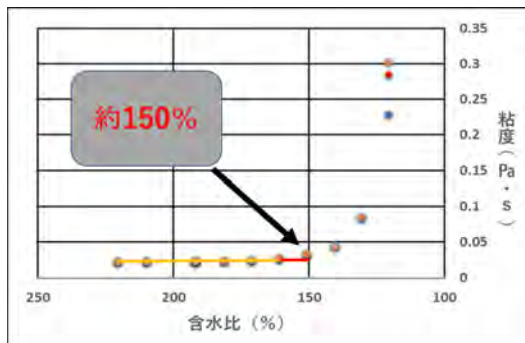


図3 KB 混合率 9 : 1 における粘土と含水比の関係

含水比は、220~140%までは粘度の動向は見られず 150%から上昇し始めていることがわかる。よって、KB 混合率 9 : 1 における流れ限界は約 150%と評価できる。

KB 混合率 7 : 3 において含水比は、300%~240%までは一定の粘度であるが 230%から上昇し始めていることがわかる。よって、KB 混合率 7:3 の流れ限界は約 230%と評価できる。

KB 混合率 5 : 5 では供試体をカオリナイト 50g、ベントナイト 50g の 100g で作成した。KB 混合率 5 : 5 の供試体における攪拌の初期含水比は 200%に設定し、そこから 100%程上昇させた。含水比 250~300%までは一定の粘度であるが 240%から粘度が上昇し始めている。このことから KB 混合率 5 : 5 の供試体における流れ限界は約 240%と評価できる。

KB 混合率 3 : 7 では供試体をカオリナイト 30g、ベントナイト 70g の 100g で作成した。390~320%までは一定の粘度であるが 310%から上昇し始めている。よって、流れ限界は約 310%と評価できる。

KB 混合率 1 : 9 では供試体をカオリナイト 10g、ベントナ

イト 90g の 100g で作成した。410~360%までは一定の粘度であるが 355%付近から上昇し始めている。よって、流れ限界は約 355%と評価できる。

表4は、KB 混合率の実験の際に設定した質量と流れ限界をまとめたものである。質量は、人為的ミスを減らすために合計を 100g となるようにした。

表4 KB 混合率ごとの質量と流れ限界

KB 混合	1:9	3:7	5:5	7:3	9:1
質量(g)	90:10	30:70	50:50	70:30	10:90
流れ限界 (%)	150	230	240	310	355

下図は、CRS 圧密試験と粘度簡易測定試験の結果を比較したものである。

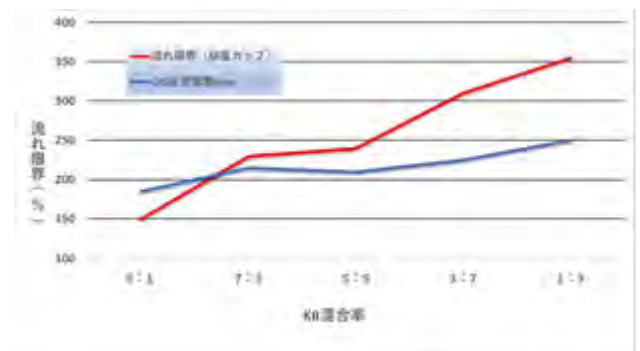


図5 KB 混合率 9 : 1 における粘土と含水比の関係

CRS 圧密試験と比較して、膨張性・圧縮性が中間点である KB 混合率 5 : 5 までは同じ増加傾向を示していることが図5より読み取れる。しかし、KB 混合率 3 : 7 以降は粘度の簡易測定試験の結果が大きく増加していることがわかる。その点から、粘度の簡易測定試験では圧縮性・膨張性が大きくなった粘度供試体では流れ限界が過大評価されてしまう恐れがあると考えられる。

### 6. まとめ

本研究では粘土の性質を変化させた流れ限界の評価を CRS 圧密試験と簡易測定試験で試験し、試験別々に得られた流れ限界の値には近似な特徴が見られた。結果、流れ限界において粘土試料の圧縮率が上昇すると流れ限界の値も上昇する。

### 参考文献

- 1) 今野 旭：有効応力の増加に基づく新しい液性限界の提案，東北工業大学工学部都市マネジメント学科卒業研修論文，22-23, 2020.
- 2) 菅原 彪悟：CRS 圧密試験による流れ限界の評価における載荷速度の影響，東北工業大学都市マネジメント学科卒業研修論文，No. I-26, 2021.
- 3) 野呂航平：粘度に着目した流れ限界の簡易的評価方法の提案，東北工業大学工学部都市マネジメント学科卒業研修論文，5-17, 2021.