

第Ⅲ部門

鉍滓の流動特性に対する含水比と粒度分布の影響

関西大学 学生会員 古川佑一

関西大学 正会員 飛田哲男

1. はじめに

本研究は、鉍滓（スラグ）を対象として、その流動特性に対する含水比と粒度特性の影響を実験的に考察するものである。鉍滓の流動性は、鉍滓ダムの安定性、鉍滓処分地の敷地確保などに大きく影響し、最終的な貴金属の価格にも影響する。本研究では、チリのある銅山で問題となっている高い流動性を示す鉍滓である。本研究では、このスラグを「流動性スラグ」と呼ぶ。これを、流動化しにくいスラグ（ここでは、「非流動性スラグ」と呼ぶ）と比較し、主に土質力学的側面から流動化が生じる要因と解決策を解明することを試みる。

2. スラグの流動特性を検討するための試験方法

供試体として、チリの A 銅山で採取された「非流動性スラグ」と「流動性スラグ」を用いる。スラグの基本的物理特性を調べるため密度試験¹⁾、粒度試験¹⁾、液性限界・塑性限界試験¹⁾に加え、偏光顕微鏡による観察を行った。両者の基本的性質の違いを把握することは、本研究を進める上で重要である。また、流動化を判断する試験として、テーブルフロー試験²⁾を実施した。テーブルフロー試験により、振動時の流動化に影響する含水比を特定することができる。テーブルフロー試験の規格は落下速さ毎秒 1 回、落下回数 15 回である。

3. 実験結果

本研究で使用した「非流動性スラグ」と「流動性スラグ」の物理的性質を表 1 に示す。「流動性スラグ」は粘り気が強く、粘土やシルト分などの細粒分が多く含まれているように感じたが、スラグの粒径加積曲線(図 1)から細粒分含有率が約 30%程度であることがわかる。

425 μ m ふるいを通過したスラグの液性限界・塑性限界試験より得られた流動曲線を図 1 に示す。本試験は、試験者による違いが生じやすい試験なので試験は 2 回行った。同図より、液性限界は「非流動性スラグ」の

表 1 「非流動性スラグ」と「流動性スラグ」の諸性質

試料	初期含水比 %	スラグの密度 g/cm ³	均等係数	曲率係数	液性限界 %	塑性限界 %	塑性指数
非流動性スラグ	16.27	2.860	350	0.040	41.58	28.5	13.08
流動性スラグ	14.74	2.741	235	2.353	30.88	22.67	8.21

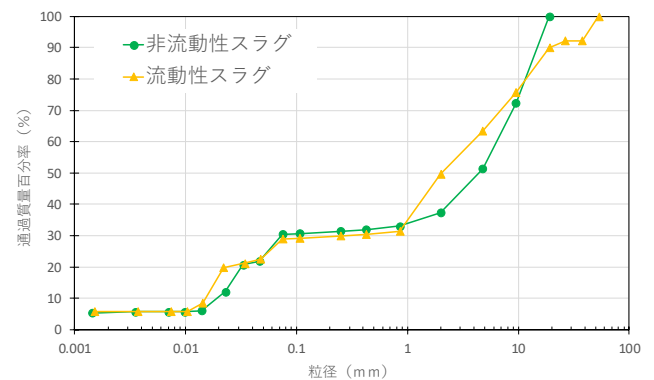


図 1 試料の粒度分布

方が大きく (約 $w_L=41\%$)、「流動性スラグ」の方が小さい (約 $w_L=31\%$) ことが分かる。また、塑性図(図 3)より、両供試体共に粘土とシルトの境界付近に位置することがわかる。

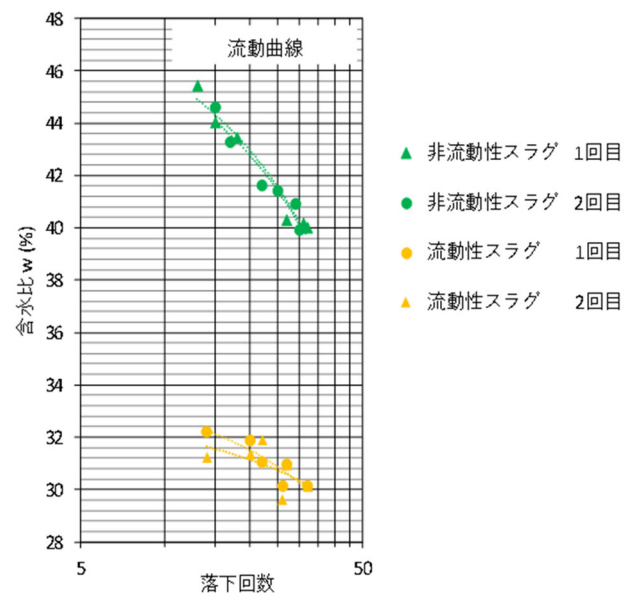


図 2 流動曲線

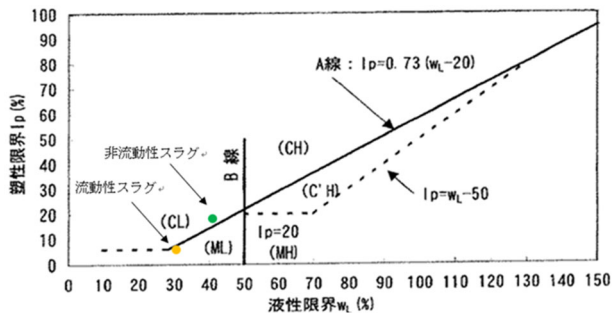


図3 塑性図

テーブルフロー試験の「振動後フロー値」の実験結果 (図4) より、「非流動性スラグ」、「流動性スラグ」の最小平均径を与える最適含水比は、それぞれ約 10%、約 12%となった。平均径の極小値付近では「非流動性スラグ」の方が含水比に対する感度が高く下に凸の曲線がとがっているのに対し、「流動性スラグ」は、下に凸の曲線の形状が平坦である。図5に、「非流動性スラグ」の最適含水比付近の振動前後の供試体を示す。同様に、図6には「流動性スラグ」の最適含水比相当 (湿潤側) の状態を示す。図5より非流動性スラグでは振動後も土粒子の形状が保たれているように見える。一方、図6に示すように振動後の流動性スラグはスラリー状の塊なるものの、流動化していないことがわかる。

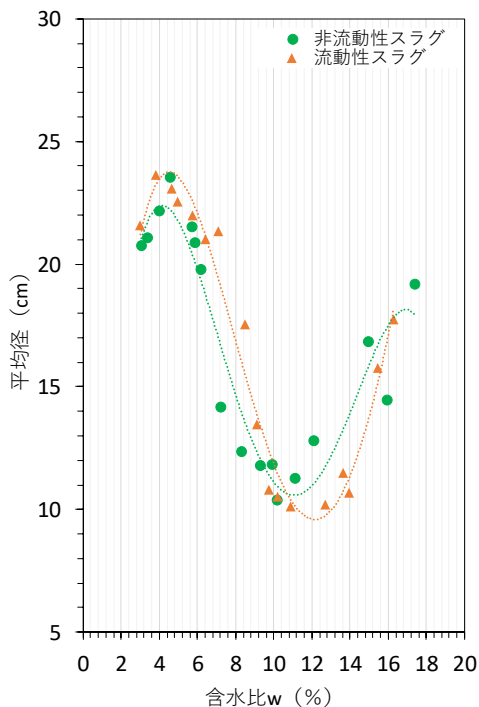


図4 スラグの「振動後フロー値」

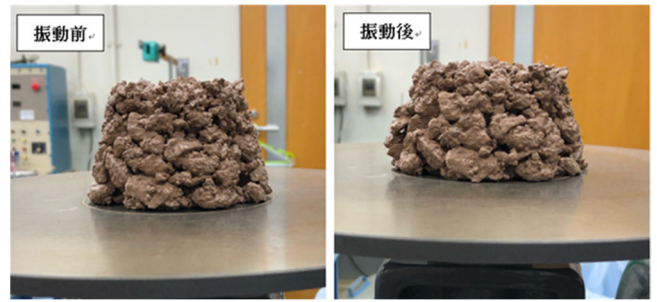


図5 「非流動性スラグ」テーブルフロー試験 最適含水比相当の状態

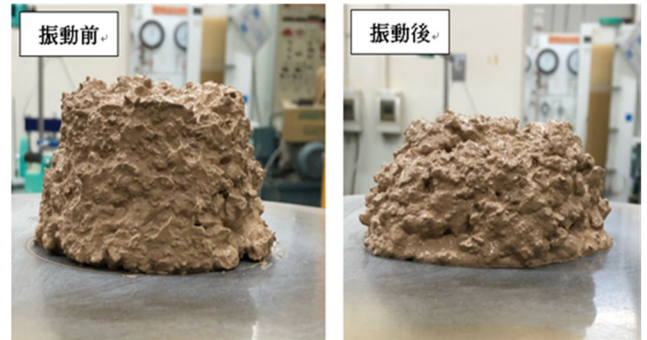


図6 「流動性スラグ」テーブルフロー試験 最適含水比相当 (湿潤側)

4. まとめ

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 塑性指数は、「非流動性スラグ」では 13.08 に対し、「流動性スラグ」では 8.21 であることから、「流動性スラグ」の保水性が低い。
- 粒径加積曲線により、0.01~0.03mm の間において、「流動性スラグ」の方に多くの細粒分が含まれている。
- テーブルフロー試験により、「非流動性スラグ」、「流動性スラグ」の最小平均径を与える最適含水比は、それぞれ約 10%、約 12%である。平均径の極小値付近では「非流動性スラグ」の方が含水比に対する感度が高く下に凸の曲線がとがっているのに対し、「流動性スラグ」は、下に凸の曲線の形状が平坦である。
- 細粒分を取り除くことができれば流動化を防ぐことができると推察される。

参考文献：1) 公益社団法人地盤工学会：土質試験－基本と手引き－ (第二回改訂版) 2016, 丸善出版株式会社, pp19-21, p27-48. 2) 一般社団法人 日本規格協会：2013 年制定 コンクリート標準示方書 [規準編] JIS 規格集, 公益財団法人 土木学会, pp64-66, 2013.