

国内鉱さいたい積場における堆積土の粒度特性の鉱種別比較

長岡技術科学大学大学院 非会員 ○ 小林 純成 東京都立大学 正会員 志賀 正崇
東京大学生産技術研究所 正会員 清田 隆 長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

1. はじめに

鉱さいは、鉱石から有用鉱物を分離した後に残る細かく粉碎された岩石であり、スラリーとして鉱さいたい積場に貯留される。我が国の金属鉱山の多くはすでに閉山し、山間部に多数のたい積場が残されている。そのうち約 3 分の 1 は、鉱さい自体を嵩上げ材に用いる内盛式（上流式）で築造されたものである¹⁾。内盛式のたい積場は、1978 年の伊豆大島近海地震や 2011 年の東北地方太平洋沖地震において鉱さいの強度低下や液状化により決壊しており、2011 年の被害を受けて、内盛式のたい積場に対するレベル 2 地震動での照査が行われるようになった¹⁾。

こうした評価の前提となる堆積土の物理特性は、選鉱方法や築造年代によって施設ごとに異なると考えられるが、複数の施設を横断的に比較し、鉱種などの属性と対応づけた例は少ない。そこで本研究では、国内の休廃止鉱山 19 地点のたい積場の地盤調査資料を用い、堆積土の粒径加積曲線を層区分ごとに整理して金・銀鉱山と銅鉱山とで比較し、鉱種による粒度の違いを選鉱過程との関係から検討する。本研究は、地盤工学会 TC221 国内委員会の活動の一環として実施したものである。

2. 対象データ

用いた資料は、休廃止鉱山のたい積場で実施されたボーリングおよび土質試験の報告書²⁾である。鉱種が確定できた対象は 19 地点で、いずれも内盛式である。鉱種の内訳は金・銀 5 地点、銅 6 地点、複合鉱等 11 地点であり、選鉱方法が鉱種と一意に対応しない複合鉱は比較から外した。検討した粒径加積曲線の試料数は表-1 に示す。

層区分は、調査報告書の柱状図に記載された層名および記事と断面図とを照らし合わせて行い、鉱さい（報告書においてサンドとスライムに区別されているものを含む）と、かん止堤を含む人工の盛土とに分けた。

表-1 粒度特性値の群統計（中央値、括弧内は四分位範囲）

区分	n	D50 (mm)	Fc (%)
金・銀鉱山 鉱さい	110	0.028 (0.012~0.037)	82 (76~96)
金・銀鉱山 盛土	19	1.1 (0.10~3.5)	34 (24~51)
銅鉱山 鉱さい	124	0.069 (0.007~0.13)	52 (33~93)
銅鉱山 盛土	41	0.22 (0.14~4.3)	21 (14~38)

注) n は全試料数。D50 は 50%通過をまたぐ測定点のない試料を除く。

3. 粒径加積曲線の比較

金・銀鉱山の粒径加積曲線を層区分ごとに図-2(a)(b)に示す。各群の D50 と Fc (0.075 mm 以下の含有率)の中央値と四分位範囲は表-1 のとおりである。鉱さいの曲線は全体に細粒側に偏り、D50 の中央値は 0.028 mm、四分位範囲は 0.012~0.037 mm と 3 倍程度に収まる。Fc の中央値も 82%と高く、細かく揃った試料が大半を占める。盛土は D50 の中央値が 1.1 mm と鉱さいより 1 桁以上粗く、鉱さいとは明瞭に区別された。

銅鉱山の粒径加積曲線を図-2(c)(d)に示す。鉱さいの D50 の中央値は 0.069 mm で金・銀鉱山より粗いが、四分位範囲は 0.007~0.13 mm と 20 倍近くに広がり、Fc の四分位範囲も 33~93%と広い。図-2(c)の粗い曲線と細かい曲線への分かれが、この幅に対応する。盛土は、0.1~1 mm に集中するグループ、0.001~10 mm に

わたり一定勾配で増加するグループ、礫分主体で 3 mm 以下の通過率が 20%未満のグループの三つに分かれた。金・銀鉱山では最初のグループは認められたが、残る二つの境界は不明瞭であった。最初のグループのうち少なくとも一施設では、報告書にかん止堤へ鉱さいや細砂を用いた旨の記載があり、鉱さいの転用による盛土が含まれていると考えられる。盛土の D50 の中央値 0.22 mm もこれと整合する。

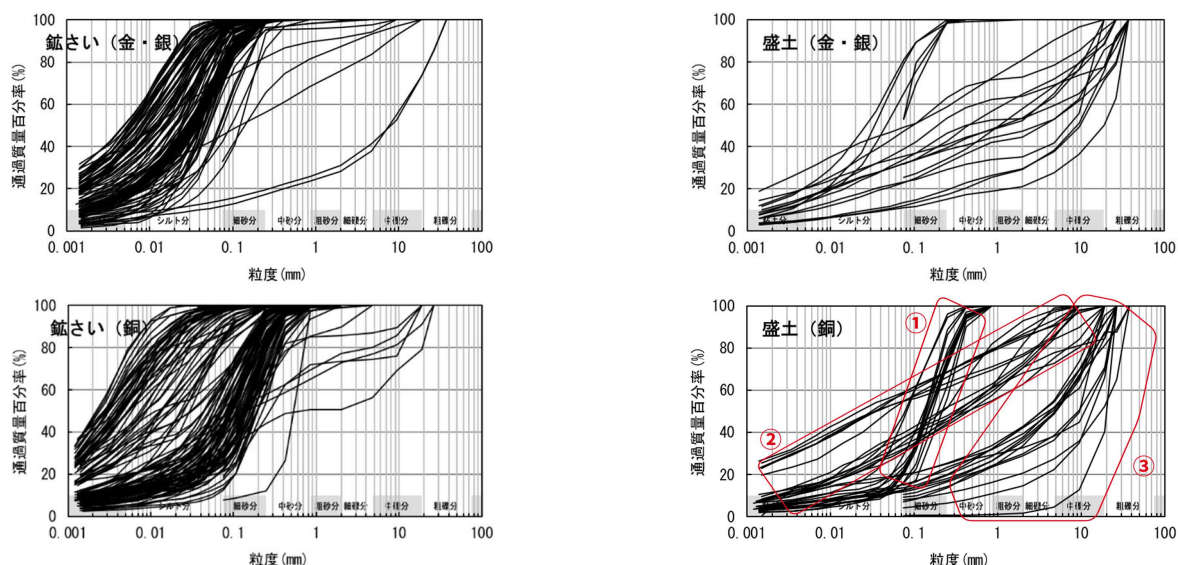


図-2 粒径加積曲線 (a) 金・銀鉱山の鉱さい (n=110), (b) 金・銀鉱山の盛土 (n=19),
(c) 銅鉱山の鉱さい (n=124), (d) 銅鉱山の盛土 (n=41)

金・銀鉱山の鉱さいが銅鉱山より細粒で粒径の範囲が狭いことは、鉱石の粉碎の細かさの違いから説明できると考えられる。米国 EPA の資料では、銅鉱石は 0.85~0.075 mm 程度まで粉碎されるのに対し³⁾、金鉱石は鉱石の種類に応じて約 0.2 mm から約 0.045 mm まで粉碎される⁴⁾。表-1 の銅鉱山の鉱さいの D50 の四分位範囲の上限 0.13 mm と金・銀鉱山の中央値 0.028 mm は、それぞれこの粉碎粒径の範囲と対応する。ただし、銅鉱山の鉱さいのうち細かい側の試料は D50 が金・銀鉱山と同程度かそれ以下であり、この部分は粉碎の細かさだけでは説明できない。細かく揃った粒子は沈降速度に差が付きにくく、排出口からの距離による粒度差も生じにくいと考えられるが、この点の検証は今後の課題である。

4. まとめ

粒径加積曲線を鉱種別に比較して得られた結果は以下のとおりである。金・銀鉱山の鉱さいは細粒側に偏り、D50 の中央値は 0.028 mm で粒径の範囲が狭い。銅鉱山の鉱さいは D50 の中央値が 0.069 mm とこれより粗粒側にあり、粒径の範囲が広い。この違いは、鉱種による鉱石の粉碎の細かさの違いと整合する。盛土はいずれの鉱種でも鉱さいより粗粒側にあり、明瞭に区別された。銅鉱山の盛土は三つのグループに分かれ、そのうち粒径が 0.1~1 mm に集中するグループには、かん止堤に転用された鉱さいが含まれると考えられる。

謝辞：本研究で利用した粒度試験結果は、経済産業省産業保安・安全グループよりご提供いただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) Yasuda, S. et al.: Proc. 16WCEE, Paper No.934, 2017. 2) 経済産業省：平成 23 年度休廃止鉱山鉱害防止技術等調査研究事業（集積場土質調査）報告書および平成 24・25 年度休廃止鉱山集積場鉱害防止技術等調査研究事業報告書、2012~2014. 3) U.S. EPA: Technical Resource Document, Vol.4, Copper, EPA 530-R-94-031, p.1-27, 1994. 4) U.S. EPA: Technical Resource Document, Vol.2, Gold, EPA 530-R-94-013, p.1-37, 1994.