

ばたの地盤材料としての有効利用に関する基礎的研究
—アルカリ吸着能試験およびスレーキング試験—

九州大学大学院 学○小野 裕介 九州大学大学院 工○落合 英俊
九州大学大学院 正 安福 規之 九州大学大学院 正 大嶺 聖

1. はじめに

石炭採掘における余剰土であるばたは、現在ばた山として九州地方に大量に集積し、その処分が問題となっており、有効利用が求められている。本研究ではばたの物理化学特性及び力学特性を考慮した地盤材料としての有効利用法について検討しており、本報では問題とされる硫酸イオンの溶出について検討すると共に、ばたの細粒分のアルカリ吸着能及び、礫分のスレーキング特性を実験的に明らかにする。

2. 硫酸イオンの溶出特性

環境庁告示 46 号法に準拠して溶出試験を行った。試験は旧国鉄志免炭鉱ばた山で採取した下記 3 つの状態の試料について行った。

試料 A: 表土 試料 B: 表面に白色結晶が析出している場所の表土

試料 C: 地表 1m より採取した試料

実験結果を表-1 に示す。硫酸イオン(SO_4^{2-})濃度は 3 試料中試料 B が最も高く、またナトリウムイオン(Na^+)濃度が他の 2 試料に比べて高いことから、ばた山表面の白色結晶は硫酸ナトリウムであることが推察される。これは文献 2) によると冬場の表面が乾燥した状態で顕著であり、住宅基礎のコンクリート劣化崩壊の事例からも明らかのように降雨などによる地表面への水の供給が無い場合に問題となる。しかし、実際にコンクリート劣化崩壊など問題となるのは硫酸イオン濃度が 2000mg/l 以上の場合といわれており、白色結晶部を分析した場合でもそれと比較して 1 オーダー低い。

3. スレーキング特性

岩のスレーキング率試験方法(JHS110 - 1992)に準じてばた中の礫分のスレーキングについて検討した。表-2 に本研究で用いたばたの物性値を示す。表-2 より、ばたは粒度分布が広範に及んでいるため、今回の実験では一度水浸させて炉乾燥後の試料をふるい分けして粗粒分を分級した試料を用いた。スレーキング率は粒径 9.5mm 以上の岩石試料を 24 時間炉乾燥後、乾燥した試料をデシケーターの中で室温まで冷ました後、24 時間水浸させ、この過程を 5 サイクル行った試料より

$$\text{スレーキング率} = \frac{9.5\text{mmふるい通過土乾燥重量}}{\text{全乾燥土重量}} \times 100(\%)$$

で与えられる。今回の実験で得られたスレーキング率は 30.7% であり、スレーキングによる脆弱化が問題となる他の泥岩の既往値と比較して小さい。また、同時に測定した乾湿繰り返しによる吸水量の変化について図-1 に示す。ばた中の礫分の吸水量は、乾湿繰り返し 1 サイクル時に大きく増加後は、吸水量増加率は 1~2%/回であり、他の泥岩に比べて小さい。この結果より、最初の乾湿繰り返しで団粒化した粘土がほぐれた後、スレーキングはほとんど進行していないと推察される。また、表-2 に示すように、三軸(CD)試験より得られたばた礫分のせん断抵抗角は $\phi_d = 35^\circ$

表-1 ばたの溶出成分

	試料A	試料B	試料C
pH	9.5	8.5	8.5
EC (mS/m)	7.2	79	33
Cl^- (mg/l)	3.8	4.2	1.3
SO_4^{2-} (mg/l)	14	275	27
Na^+ (mg/l)	39	177	66
Mg^{2+} (mg/l)	0.28	0.41	0.42
Ca^{2+} (mg/l)	0.37	0.34	0.39
K^+ (mg/l)	5.5	8.6	3.2
総Fe(mg/l)	18	37	34

表-2 ばたの物性

主粒子の密度 ρ (g/cm ³)	2.30
粒 度	礫分(%) 38.9
分 布	砂分(%) 24.7
	シルト分(%) 14.4
	粘土分(%) 22.0
最大粒径(mm)	86
自然含水比 w (%)	20.8
液性限界 w_L (%)	49.8
塑性限界 w_p (%)	24.5
塑性指数 I_p	25.3
石炭含有率(%)	17.6
スレーキング率(%)	30.7
吸水量増加率(%/回)	1~2
せん断抵抗角 ϕ_d (°)	35
(粒径9.5mm~2mm)	
透水係数 k (cm/s)	$10^{-8} \sim 10^{-7}$
(標準圧密試験)	

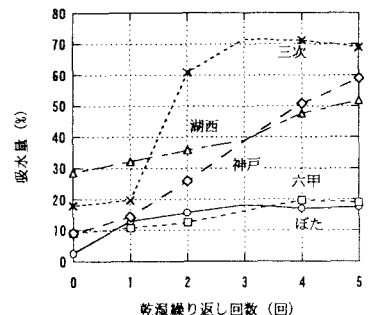


図-1 乾湿繰り返しによる吸水量の変化³⁾

であり、強度面と合わせてばたは比較的良好な礫を含有していることが確認された。

4. アルカリ吸着能

改良土を盛土や埋戻し等に利用する場合、改良土からの表流水および浸出水は強アルカリ性を示し、水域環境に悪影響を及ぼすことが懸念される。その対策として高いアルカリ吸着能を有する粘性土などで覆土を行うことは有効であると考えられる。今回の実験ではばたのアルカリ吸着能について他の地盤材料のアルカリ吸着能との比較を行った。実験内容を以下に示す。

pH=12.8に調整したCa(OH)₂100mlに粒径2mm以下の湿潤状態の試料土(ばた、有明粘土、博多粘土、豊浦砂、まさ土、カオリン、ベントナイト)を所定量添加し、振とう器で1時間攪拌し、2時間静置後のpHを測定し土の単位乾燥重量あたりの[OH⁻]イオンの減少量を土のアルカリ吸着量として各土試料に対して比較考察を行った。試料の湿潤重量は10,30,50,70,100gとした。またアルカリ吸着量の式は

$$C = \{10^{(pH-14)} - 10^{(pH'-14)}\} \times V/m_s$$

C：土のアルカリ吸着量(mol/g)

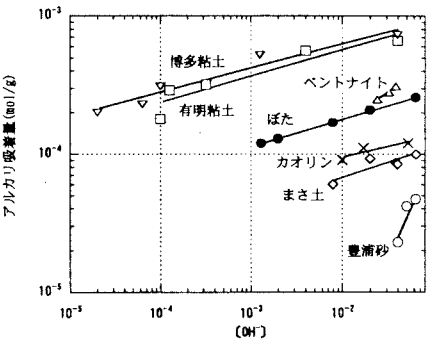
pH：初期の溶液 pH(=12.8) pH'：試験後上澄み水 pH

V：溶液の体積(=100ml) m_s：試料の乾燥重量(g)

で与えられる。実験結果を図・2に示す。今回の実験で得られたアルカリ吸着量は博多粘土が最も高く以下有明粘土、ベントナイト、ばた、カオリン、まさ土、豊浦砂の順となった。表・3に試料の諸特性を示す。アルカリ吸着量は石炭分を含有しているばたを除いて試料の強熱減量値と比較的良好な相関を示している。一方CEC(陽イオン交換容量)値とは特に良い一致は見られなかった。また、今回の実験より求められた近似直線を初期pH値まで延長して縦軸の交点より得られるアルカリ吸着量をアルカリ中和能力として文献値⁴⁾との比較を表・4にまとめた。この表より明かなように、ばたは他のシルト～粘土材と同等の高いアルカリ中和能力を有していることが分かる。

5. まとめ

- 1) 溶出試験の結果、今回採取したばたから溶出する硫酸イオンは多い場合でもコンクリート劣化崩壊など問題となる硫酸イオン濃度と比較して1オーダー小さい値であった。
- 2) ばたのスレーキング率はスレーキングによる脆弱化が問題とされている泥岩の既往値と比較して小さく強度試験結果と合わせて比較的良好な礫材としての利用が期待できる。
- 3) ばたの細粒分は他のシルト～粘土材と同様高い吸着能力を有しており、高いアルカリ中和能力を示す。



図・2 [OH⁻]イオンとアルカリ吸着量

表・3 試料土の諸特性

	ばた	博多粘土	有明粘土	まさ土	豊浦砂	ベントナイト	カオリン
ρ _s (g/cm ³)	2.30	2.75	2.54	2.64	2.64	2.58	2.70
液性限界 (%)	49.8	91.0	105.2	—	—	356.5	50.6
初期含水比 (%)	51.0	149.9	184.0	8.7	—	455.9	100.2
砂分 (%)	40.5	10.0	1.0	79.0	100.0	1.0	4.5
シルト分 (%)	23.5	45.0	31.5	21.0	—	13.0	43.0
粘土分 (%)	36.0	45.0	67.5	—	—	86.0	52.5
pH	8.5	8.0	8.5	6.8	6.7	9.5	4.1
強熱減量 (%)	15.7	13.2	9.5	2.5	0.3	4.2	4.1
CEC(meq/100g)	25.9	26.0	30.0	3.3	0.4	58.9	1.6

表・4 土のアルカリ中和能力

土の種類	アルカリ中和能力(mol/g)
関東ローム ⁴⁾	1~3×10 ⁻³
腐食土 ⁴⁾	1.0×10 ⁻³
博多粘土	9.1×10 ⁻⁴
有明粘土	8.3×10 ⁻⁴
ベントナイト	4.2×10 ⁻⁴
ばた	2.8×10 ⁻⁴
シルト ⁴⁾	1.3×10 ⁻⁴
カオリン	1.0×10 ⁻⁴
まさ土	1.0×10 ⁻⁴
豊浦砂	7.4×10 ⁻⁵
シラス ⁴⁾	2~4×10 ⁻⁵

[参考文献]

- 1) 小野他、「ばたの地盤工学的特性を考慮した有効利用法の検討」土木学会西部支部研究発表会講演概要集 pp.214~215,2001
- 2) ばた山調査委員会、国鉄志免炭鉱ばた山性状調査報告書,1992
- 3) 土質工学会編、岩の調査と試験 pp.415
- 4) 古性他、「土のアルカリ中和能力及び土中でのアルカリ浸透深さに関する試験」土木学会第49回年次学術講演会 pp.1534~1535,1994