

分級処理したばたの工学的特性とその有効利用法に関する一提案

九州大学大学院 学○小野 裕介 九州大学大学院 F 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

ばたとは石炭の採掘に伴って地中から掘り出される碎屑物の総称であり、これらはばた山として集積され、現在九州地方に集積量にして約 3 億 m³ も存在する。これまでもばたの地盤材料としての利用に関する研究が進められてきたが、問題点として降雨による細粒化やばたの含有物である硫酸塩の溶出によるコンクリート劣化崩壊などが報告されており、実際に地盤材料として利用されたのは焼ばたなどの良質な材料特性をもったものごく一部に限られ、多くのばたは放置されたままとなっている。その一方で、近年、環境保全に対する社会意識の高まりを背景に、ばた山周辺の地下水汚染などのばたによる環境被害がとりざたされ、廃棄物処理の観点からばたの有効かつ大量な利用が望まれている。本研究はばたを利用する方法として分級処理を考え、それぞれの工学的特性を実験的に明らかにし、その物理化学特性および力学特性を考慮した有効利用法について検討する。

2. 試料の物理特性

実験は志免炭鉱ばた山の表面付近から採取した試料

表-1 ばたの物理特性

土粒子比重 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	コンシステンシー			石炭分 含有率 (%)
		液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数	
2.295	20.8	49.8	24.5	25.3	17.5

を用いて行った。その物理特性を表-1 に示す。問題とされる細粒化については非水浸試料と一日水浸試料について粒度試験を行い検討した。実験結果を図-1 に示す。一日水浸した試料は非水浸試料に比べて著しく細粒分が多く、水浸後直ちに団粒化した粘土がほぐれる様子が確認されたことから、ばたは水浸すれば容易に細粒化することが明らかとなった。一方、水浸後においても、礫分が質量比で 40%含まれており、また、粘土分を約 20%も含むことから、礫分を分級しそれぞれを利用することが有効と考えられる。

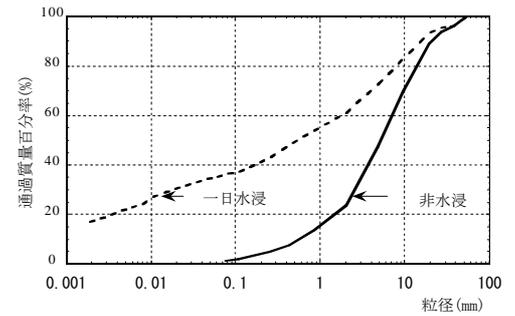


図-1 ばたの水浸による粒度変化

3. 溶出特性

JGS 0241-2000「土の水溶性成分試験方法」に準じて溶出試験を行った。実験は、a.原状（粒径 10mm 以下）、b.砂分+細粒分（2mm ふるい通過分）、c.水洗いにより細粒分をカットした礫分（粒径 2mm~10mm）の同一質量の 3 試料について行った。実験結果を表-2 に示す。試料採取場所付近の原状試料（深さ 40m）の既往のデータと比べて 1 オーダーほど小さな値となっているが、今回の実験においては表層近くで採取した影響も考えられる。また、c 試料において他の 2 試料と比較して硫酸イオン、ナトリウムイオンの溶出が少量である。特にコンクリートの腐食や水質汚染で問題となる硫酸イオンについては溶出がみられなかった。この結果より、これらのイオンは主にばた中の粘土鉱物に吸着された形で存在しており、細粒分をカットすることで溶出が制御できることが分かる。また、Pb²⁺、Cd²⁺といった重金属イオンについて溶出は確認されなかった。以上の結果より、分級させることにより粗粒分の礫材としての利用が期待できる。

表-2 ばたの溶出成分

	原状	細粒分	礫分 (水洗い)	原状 (既往データ)
pH	9.0	9.0	8.0	9.3
EC (μ S/cm)	289	330	195	541
T-N (ppm)	12	14	16	未測定
TOC (ppm)	27	24	18	未測定
HCO ₃ ⁻ (ppm)	21	17	19	590
Cl ⁻ (ppm)	N.D	N.D	N.D	N.D
SO ₄ ²⁻ (ppm)	35	56	N.D	720
Na ⁺ (ppm)	116	92	55	1250
Mg ²⁺ (ppm)	0.25	0.25	0.21	397
Ca ²⁺ (ppm)	N.D	N.D	0.28	90
K ⁺ (ppm)	17	7.4	7.6	69
Pb ²⁺ (ppm)	N.D	N.D	N.D	未測定
Cd ²⁺ (ppm)	N.D	N.D	N.D	未測定

キーワード：ばた、分級処理、細粒化、溶出、粘土バリアー 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 Tel.(092)642-8286 Fax.(092)642-3285

4. 礫分の強度特性

三軸 (CD) 試験を行い、礫分の強度特性について検討した。試料は 2mm ふるいに残留したものを一日水浸させて細粒分を除去したものをを用いた。実験結果を図-2 に示す。得られたせん断抵抗角は $\phi_d = 35^\circ$ であり、強度特性の面から路盤材料や SCP 材としての利用が考えられる。

5. 細粒分の透水性

標準圧密試験を行い透水性について検討した。試料は 2mm ふるい通過分のぼたと有明粘土を用い、供試体は液性限界の 1.3 倍程度に含水比調整したものを圧密リングに詰め込んだものを使用した。結果を図-3 に示す。透水係数は $10^{-8} \sim 10^{-9}(\text{cm}/\text{s})$ のオーダーであり、同程度の圧密圧力において有明粘土とベントナイトの中間値で不透水性であることが確認された。

6. 汚染物質の吸着特性

汚染物質を吸着する土の能力について物理的指標を得るために細粒分についてバッチ平衡試験を行った。汚染物質には PbO 標準液を用い、試験はぼた (2mm ふるい通過分)、有明粘土、ベントナイト、カオリンの 4 試料について行った。実験は乾燥質量 4 g に相当する試料土に試料含水比を考慮して所定の濃度 (100、300、600、800ppm) となるように PbO 水溶液を添加して全体を 40ml とし、振とう機で 2 時間、150rpm の攪拌効果を与え、恒温室に 24 時間静置後、上澄み液を試験管に採取し、遠心分離機で 20 分間、5000rpm で遠心分離させ、上澄みを $0.45 \mu\text{m}$ のろ紙でろ過した。以上のようにして得られた供試液の Pb 濃度を原子吸光分析装置により測定した。測定結果を図-4 に示す Freundlich 型吸着等温線により整理した。なお、土粒子 1 g あたりの吸着量 q (mg/g) は次式で求められる。

$$q = (C_0 - C) V / M \dots (1)$$

ここで C : 平衡濃度 (ppm) C_0 : 初期濃度 (100、300、600、800ppm) M : 試料土の乾燥重量 (4 g) V : 試料溶液の体積 (40ml)

図-4 より、吸着量と平衡濃度の関係を Freundlich 式 $q = K_d C^b$ (K_d : 分配係数、 b : 定数) で近似した吸着等温線は自然粘性土の中でも高い吸着能力が認められている有明粘土と類似する。また、 K_d の値は粘土バリアーとして有効とされているベントナイトと同等の値であり、高い吸着能力が認められる。以上よりぼたの細粒分は粘土バリアーとして有効な土粒子性質を有していることが分かる。

7. まとめ

- 1) ぼたは水浸すると著しく細粒化するが、その場合でも礫分の割合が質量比で約 40% である。また、粘土分を約 20% も含有している。よって礫分と細粒分に分級しそれぞれを利用することが有効と考えられる。
- 2) ぼたからの溶出による水質汚染は主としてその細粒分に起因し、溶出成分で特に問題とされる硫酸イオンについては細粒分カットによる溶出量の低減が確認された。また、三軸試験より得られたぼた礫分は $\phi_d = 35^\circ$ であり、溶出特性、強度特性の面で路盤材料や SCP の中詰め材としての利用が期待される。
- 3) 圧密試験により求めたぼたの細粒分の透水係数は $10^{-8} \sim 10^{-9}(\text{cm}/\text{s})$ のオーダーであり、十分な遮水効果が期待され、バッチ平衡試験の結果よりぼたは高い吸着能力を有していることが確認された。以上よりぼたの細粒分は廃棄物埋立処分場などに用いる粘土バリアーとして有効であるといえる。

【参考文献】1) 新舎他「ぼたの海面埋立材としての利用について」第 15 回土質工学研究発表会(1980)pp.153~pp.156 2) ぼた山調査委員会「国鉄志免炭鉱ぼた山性状調査報告書」1992 3) Yong et al「地盤と地下水汚染の原理」福江他訳 東海大学出版会 pp.201~pp.203

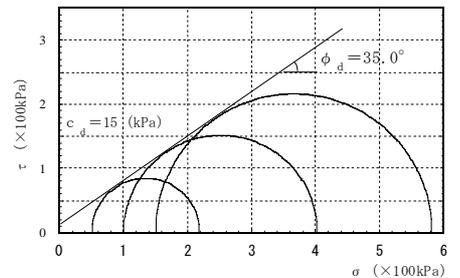


図-2 三軸 (CD) 試験結果

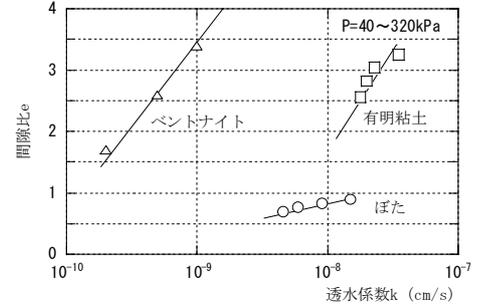


図-3 透水係数と間隙比

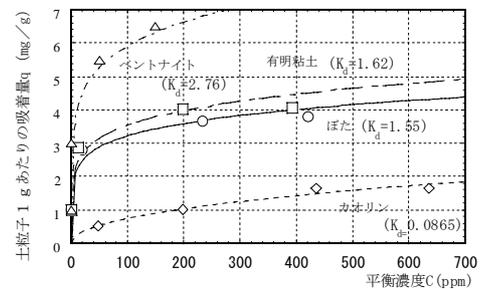


図-4 吸着等温線