

中国の工業廃棄物石炭灰とボタに含まれる有害物質含有量の把握

九州大学大学院 学生会員 ○李 雪
九州大学大学院工学研究院 正会員 高橋 史武
九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

石炭を燃料とする火力発電所が排出する石炭灰と石炭の採掘に伴い発生するボタが、中国における固形産業廃棄物の中でも最多を占めている¹⁾。中国では多くの石炭灰とボタは密封保存処理されず、露天に積み上げられている。積み上げられた石炭灰とボタから出る有害物質は地下水と空気を汚染し、人々の健康を脅かしていると報告²⁾されているが、石炭灰やボタの物理的・化学的・鉱物学的性状や含まれている有害物質について情報が不足している。そこで本研究では、中国火力発電所から排出された石炭灰およびボタ集積場から採取したボタの中に含まれている有害物質含有量と物理化学的性状を把握することを目的とした。

2. 実験方法

2-1 実験試料

試験試料採取場所を図1に示す。石炭灰試料A、B、C、D、Eは中国山西省の5つの発電所から採取し、ボタ試料HB、HNは中国河南省と河北省の2つのボタ集積所から採取した。

2-2 溶出試験

石炭灰とボタが地下水に与える影響を検討するため、各試料の物理化学的基本性状を分析した。溶出試験は、環境省告示46号溶出試験(JLT46号試験)に準拠した。各試料に対して液固比10:1で振とう機(200回転/分)で6時間振とうした。振とう後10分以上静置し、上澄み液を0.45μmMFで吸引濾過し、検液とした。その検液のpH、EC、ORP、陰イオン濃度、重金属濃度を測定した。ボタの場合、自然燃焼する可能性があったため、溶出試験は常温と80℃の二種類の状態で行った。

2-3 鉱物組成分析

2mm篩下の各試料を振動ミルで微粉砕し、XRD装置を用いて各試料の鉱物組成を測定した。

2-4 元素含有量

2mm篩下の各試料を振動ミルで微粉砕し、XRF装置を用いて各試料中に含まれている元素を測定した。さらに、ボタ試料の自体燃

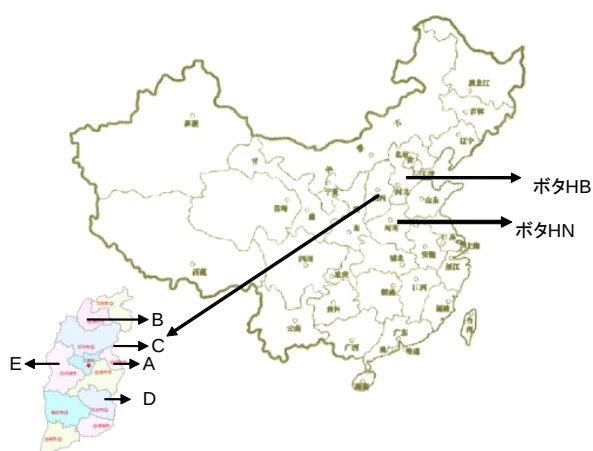


図1 試験試料採取場所

表1 各試料の性状

試料名	LOI	JLT46号試験					
		pH	EC	ORP	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻
		(-)	(mS/cm)	(mv)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
石炭灰A	1.93	10.8	0.69	101	1.89	3.91	274
石炭灰B	0.78	10.9	0.69	105	-	6.23	270
石炭灰C	5.99	12.4	1.67	16.8	-	2.31	208
石炭灰D	5.99	12.8	2.89	11.8	-	4.25	158
石炭灰E	0.38	12.1	1.28	37.7	2.72	8.09	203
ボタHB	2.71	3.33	0.6	189	38.3	1.33	232
ボタHB80°		3.51	0.49	181	4.51	1.45	225
ボタHN	2.87	3.54	0.93	177	6.25	1.12	493
ボタHN80°		3.55	0.91	176	2.03	1.27	503
中国Ⅱ類地下水標準		6.5~8.5			≤150	≤1	≤150

表2 各試料の重金属含有量

	Al	Cr	Fe	Cu	Zn	Ba	Ni	Sb	Mn	Pb
	mg/L									
石炭灰A	4.83	-	0.08	0.01	-	-	-	-	-	-
石炭灰B	4.18	-	-	0.01	0.06	-	-	-	-	-
石炭灰C	2.87	-	-	0.01	0.02	0.02	-	-	-	-
石炭灰D	0.51	0.01	0.02	0.01	0.05	0.08	-	-	-	-
石炭灰E	4.27	0.03	-	0.01	-	-	-	-	-	-
ボタHB	2.28	-	-	3.86	1.33	-	-	-	0.22	-
ボタHB80℃	2.26	-	-	3.60	1.31	-	-	-	0.19	-
ボタHN	2.30	-	-	3.89	1.24	-	-	-	0.17	-
ボタHN80℃	2.28	-	-	3.78	1.22	-	-	-	0.16	-
GB5749-2006	0.20	0.05	0.30	1.00	1.00	-	-	-	0.10	0.05

焼後の元素含有量についても測定するため、マッフル炉で 850℃で燃焼させたボタ試料を用いて同様の XRF 分析を行った。

3. 結果および考察

3-1 元素の溶出性 JLT46 号試験の結果を表 1 および表 2 に示す。各試料溶液中の pH およびイオン濃度について中国Ⅱ類地下水標準

と比較すると、石炭灰 A、B、C、D、E 溶出液の pH 値は高く、ボタおよび HN 溶出液の pH 値は低かった。さらに、各試料溶出液の F、SO₄²⁻の値は標準値を上回る濃度が検出された。次に、各試料中の重金属含有量について中国生活用水質量標準(GB5749-2006)と比較すると、各試料溶出液の Al 濃度は標準値の 2.5～

24 倍と高かったが、Ni、Sb、Pb といった有害重金属は検出されず、石炭灰 D、E 溶出液中には Cr が、石炭灰 C、D 溶出液中には Ba が含まれているものの、その量は非常に少なく標準値より低かった。ボタ HB、HN、HB80℃、HN80℃溶出液の Mn、Zn、Cu 濃度は標準値より高かった。常温と 80℃の温度状態で重金属濃度に大きな差がなかったことから、重金属の溶出特性に温度は関係ないことが分かった。

3-2 鉱物組成 各試料の分析結果を図 2 に示す。石炭灰 A、B、C、D、E 全てにおいて Mullite と Quartz 二種類の鉱物が同定され、ボタ HB、HN において Calcite 一種類の鉱物が同定された。

3-3 元素含有量 表 3 に示す XRF 分析結果より、全ての試料で Si、Al、Fe、Ca、K が主要元素となっており、特に Si の含有量が一番高かった。また、燃焼前後のボタ試料中の元素はほぼ同程度の含有量であった。

4. まとめ

本研究では、中国火力発電所から排出された石炭灰およびボタ集積場から採取したボタの中に含まれている有害物質含有量を測定することにより、以下のことを明らかにした。

- (1) 五種類の石炭灰溶出液の pH 値は中国Ⅱ類地下水標準値より高い。
- (2) 五種類の石炭灰と二種類のボタともに F、SO₄²⁻の溶出量が中国Ⅱ類地下水標準値より大きい。
- (3) 五種類の石炭灰溶出液中の Al の濃度は中国生活用水質量標準より高い。
- (4) 四種類のボタ溶出液中の Zn、Mn、Cu の濃度は中国生活用水質量標準より高い。
- (5) 石炭灰の鉱物組成は Mullite と Quartz 二種類であり、ボタの鉱物組成は Calcite 一種類である。
- (6) 石炭灰とボタの主要元素は Si、Al、Fe、Ca、K であり、元素 Si の含有量が一番高い。

今回の実験では石炭灰およびボタ試料中に地下水汚染を引き起こすような有害重金属は高濃度に含まれていなかったが、溶出液の pH 値が大幅に標準値からはずれるなど、地下水汚染の観点からは解決すべき問題が見付かった。今後は、さらに多くの試料を用いて、石炭灰およびボタが土壌と地下水環境へ与える影響について検討する予定である。

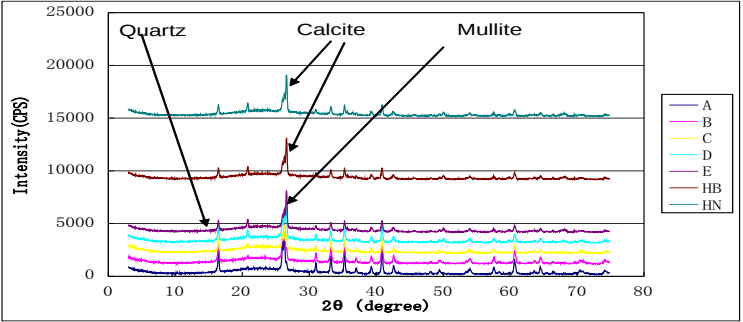


図 2 各試料 XRD 分析ピーク図

表 3 各試料の主要元素含有量 (%)

	Si	Al	Fe	Ca	Ti	K	S
石炭灰A	47.5	37.7	5.52	3.94	2.55	1.41	0.40
石炭灰B	46.0	36.2	8.04	4.09	2.86	1.48	0.35
石炭灰C	48.9	48.9	11.8	3.97	1.74	2.63	0.77
石炭灰D	50.7	30.4	6.85	5.26	2.12	3.48	0.58
石炭灰E	50.8	26.2	10.3	5.10	1.85	4.45	0.48
ボタHB	56.3	22.5	7.51	3.02	1.65	7.90	0.79
ボタHB850℃	56.9	23.6	6.50	2.61	1.55	7.23	0.67
ボタHN	52.9	22.1	11.3	4.72	1.61	5.05	1.36
ボタHN850℃	54.6	22.9	10.2	4.26	1.40	4.92	1.28

[参考文献] 1)国際環境保護組織グリーンピース：石炭の本当の代償 2)wang xinyi et al:study on heavy metals in soil contaminated by coal waste rock pile、JOURNAL OF CHINA COAL SOCIETY3)Yu yunbo et al:The influence of coal-mining waste piles on hydro-environment in shandong province、Earth Science Frontiers(China University of Geosciences、Beijing)