

アスベスト廃棄物の溶融処理処分に関する基礎的検討

京都大学環境保全センター ○酒井 伸一, 高月 紘
 京都大学工学部 平岡 正勝
 大阪ガス開発研究所 常深 武志

1. はじめに

アスベストの人体影響に関して、アスベスト肺、肺がん、悪性中皮腫が労働環境で確認されるところとなり、一般環境においてもアスベスト暴露の危険性に対しては閾値は存在しないとする医学的見解から、アスベストの存在を可能な限り抑制すべきであるという社会的合意が徐々ににはかれつつある。このような背景から吹付けアスベストの撤去をはじめ、種々の環境汚染対策が実施されつつある^{1)~3)}。しかも過去に使用されたアスベストが徐々に劣化し、廃棄物として排出されてくることを考えると、アスベスト廃棄物の処理処分問題が大きな問題となつてこよう。すでに我が国では吹付けアスベストの除去工事等にもなつて発生する廃棄物をはじめとするアスベストを含む廃棄物について、アスベスト廃棄物の湿潤化などによる飛散防止、運搬処分時の対策として十分な強度のプラスチック袋(二重)、堅牢な容器使用の他、水硬性セメント等による固化などの実施、埋立処分場所が表面から深さ2m以上となることと埋立数量と位置の確認書類の保存などを求めている⁴⁾。西独でも同様の指針が出されている模様であるが、埋立て処分には十分な留意が必要であり、安全な貯留を原則とすべきである、とする意見もある⁵⁾。アスベスト使用量は全世界の総生産量として1970年以降は400~600万トン/年、我が国の輸入量として20~30万トン/年のレベルで推移している⁶⁾。その使用目的は約7割が建築材料であり、石綿スレート等の石綿セメント製品の利用がその大半である。吹付けアスベストは1975年以降は事実上、労働者保護の観点から使用規制されたため、現在では使用されていないが、1975年以前では約2万トン/年が使用されていたものと推定されている。このような過去のアスベスト多量消費、昨今のアスベスト除去対策に加え、最終処分埋立地の再利用といった状況が加味されてくれば、現在のアスベスト廃棄物指針では不十分な状況が生ずるものと考えられる。これらに深い示唆を与える知見として、神山は日本列島を遠く離れた小笠原島でも低濃度のアスベストを検出し、父島が安山岩質、ラテライト土壌であることから地質学的にはアスベスト飛散が考えられにくい状況であることを考えあわせ、汎地球規模でのアスベスト飛散の可能性を指摘している⁷⁾。

本研究ではアスベスト廃棄物の処理処分方法として、溶融固化処理を念頭においてアスベストの溶融にともなう諸特性を基礎的に検討した。数種の吹付けアスベストの基礎物性、高温溶融による物理的、化学的変化に関する知見を入手したので報告する。

2. 実験方法

溶融処理の検討対象としては建築物内のアスベスト対策が当面は飛散可能性が高い吹付けアスベストを中心に実施されることから吹付けアスベストを取り上げた。吹付け剤として多く使用されているのはクリソタイルが大半であるが、クロシドライト、アモサイトが用いられているケースも多いため、今回の実験試料としては、京都大学において撤去対策を行った吹付けアスベストである⁸⁾ ①クリソタイル系、②クロシドライト系、③アモサイト系-の各吹付けアスベスト廃棄物を対象とした。ここで吹付けアスベスト廃棄物には各アスベストに加えて、カルサイトなどの固着材料や除去作業前処理として加えた薬剤(アクリルビニル共重合体主体の薬液)も含まれていることに注意を要する。

基礎実験には試料高温加熱装置を設置した粉末X線回折装置とともに、最高温度1700℃のスーパーカンタル炉を用いた。アスベスト廃棄物の無機物組成についてエネルギー分散型蛍光X線分析(リガク製System3370型)、有機分組成のうち炭素、水素、窒素はCHN分析計(柳本製MT-3型)、硫黄はC-S自動分析計(LECO社型)をそれぞれ用いた。アスベスト廃棄物、および溶融スラグの同定は粉末X線回折法(マックスイエンス社製MXP³型)により、繊維性形状の確認はSEM(走査型電子顕微鏡、日本電子製JSM-25S)とエネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDAX9100/60型)によった。さらにアスベスト廃棄物の溶融温度特性としてJISK2151(コークス類の試験方法)を準用して軟化点、融点、溶流点を求めた。

3. 結果と考察

3. 1 アスベスト廃棄物の基礎物性

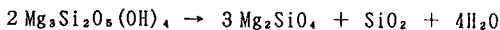
各アスベスト廃棄物の無機成分組成をはじめとする基礎物性測定結果を表1に示す。クリソタイル系はMg, Siを主成分とし、固着剤由来のCaが10%弱含まれている。クロシドライト系はFe, Siを主成分とし同じく、Caが15%程度含まれている。アモサイト系はFe, Mg, Siを主成分として、他Ca 25%, Alが6%程度含有されていることが分かる。含水率はクリソタイル系11%、クロシドライト系34%と撤去作業時の飛散抑制剤の添加、湿潤化の影響が見られる一方、未噴霧状態をサンプリングしたアモサイト系では3.6%と低い値であった。強熱減量、発熱量、C, H, Oなどは噴霧薬剤が有機系であることの影響が見られる。クリソタイル系とクロシドライト系は同一場所の吹付け剤でクリソタイル系が表層を構成していたため、吹付け剤が多く浸透したことから、これら諸量がクリソタイル系>クロシドライト系>アモサイト系となったものと推察される。なお、強熱減量は815℃条件としたため、この温度域までの無機成分の分解等も減量に含まれて測定されるため、強熱減量=有機分とはならないことには注意を要する。同表には塩基度(CaO/SiO₂)を併記しているが、いずれも0.3~0.8と酸性スラグとして寄与することがわかる。吹付けアスベスト廃棄物の場合、固着剤としてのカルサイト等の使用が少ないほど塩基度は低いものと考えられるが、石綿スレート等のセメント製品の場合はアスベストが15~20%程度で他の主成分がケイ酸カルシウムであることから塩基度は高く、塩基性スラグとして寄与することとなる。

表1 アスベスト廃棄物の組成および基礎物性

		クリソタイル系 廃棄物①	クロシドライト系 廃棄物①	アモサイト系 廃棄物①
無機 物 組 成 %	Al ₂ O ₃	0.7	1.1	6.4
	CaO	8.0	14.4	25.2
	Cr ₂ O ₃	<0.1	<0.1	0.3
	Fe ₂ O ₃	2.9	27.6	12.8
	MgO	21.0	2.9	4.9
	MnO	<0.1	<0.1	0.9
	P ₂ O ₅	<0.1	<0.1	<0.1
	K ₂ O	<0.1	0.2	1.3
	SiO ₂	25.0	35.1	32.4
	Na ₂ O	<0.1	0.7	<0.1
	TiO ₂	2.5	0.7	0.8
	V ₂ O ₅	<0.1	<0.1	<0.1
	含水率 [%]	11.3	34.1	3.6
有機 分 組 成 %	発熱量[kcal/kg-DS]	1000	410	390
	強熱減量 [%]	27.5	12.8	9.5
	炭素C	10.3	3.5	3.0
無機 分 組 成 %	水素H	1.8	0.5	0.4
	窒素N	<0.1	<0.1	<0.1
	酸素O	<0.1	<0.1	<0.1
	硫黄S	<0.1	<0.1	<0.1
	塩素Cl	—	—	—
	酸素O	15.4	8.8	6.1
塩基度 [-]		0.32	0.41	0.77
軟 融 溶 流	軟化点 [°C]	1230	1050	1140
	融点 [°C]	1370	1160	1190
	流動点 [°C]	1520	1180	1200

3. 2 アスベスト溶融によるスラグの表面形状と結晶構造変化

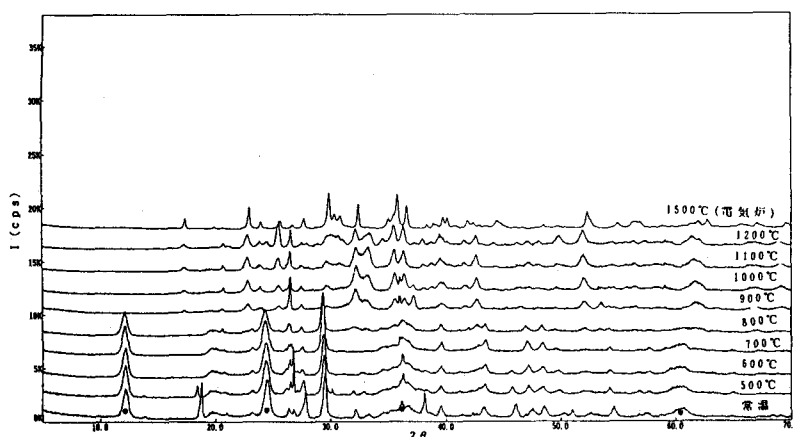
今回、アスベストの同定には、繊維状形態、EDXスペクトルの使用によることとし、繊維状形態の分析にはバルク試料であることから走査型電子顕微鏡SEMを用いた。その結果、溶融スラグ化することにより、アスベスト廃棄物に見られる繊維状形態が消失していることを確認した。また吹付けアスベスト廃棄物のX線回折スペクトルの温度挙動を調べた結果を図1に示す。装置の制約から1200℃までの加熱を行ったものであり、最上段のスペクトルは電気炉で加熱した1400~1500℃の溶融スラグのものである。常温の元試料と500℃の間には大きな変化のないことが分かる。そして、800℃あたりから明確にスペクトル変化が始まるのが読み取れる。クリソタイル特有の2θ=12°, 24°, 37°, 60°のピークに変化が生じるのもこの温度を境にしている。これは、



の変化により、クリソタイルの分解反応が生じているものと推測される。また一部固着剤に使用されたカルサイトの脱炭酸反応も生じていると考えられる。世界各地のクリソタイル製品のTG-EGA (Evolved Gas Analysis) 解析を行ったKhoramiらの研究⁸⁾では、その熱的挙動は①30～150℃の水分除去、②250～400℃の水酸化マグネシウムの脱水酸基反応、③450～550℃の炭酸マグネシウムの脱炭酸反応、と上述のクリソタイルの分解反応によることが報告されている。この熱的变化に応じたCO₂、H₂Oガスの検知がこれを証明するとしている。これらを総合的に考え合わせれば、500～800℃でクリソタイルの分解反応が進行し、ケイ酸マグネシウム、H₂Oガスが生成される。この結果、図のようなX線回折スペクトル変化が生じることとなるが、熔融スラグの回折スペクトルから無機化合物検索により定性分析した結果では上述のケイ酸マグネシウムが確認された。またケイ酸マグネシウムカルシウムも確認されたが、固着剤由来のカルシウムとの反応による生成物であるものと考えられる。

現在のところ、アスベストの人体影響、とくにその発癌機構への影響因子が繊維形状に由来するものか、繊維形状に加えて化学形態に由来するものか明確にはされていない。このため、単に熔融スラグ化による繊維形態の消失がアスベストの無害化に結びつくものではなく、最終的には多くの毒性試験に委ねられるものである。しかし、この結晶構造変化と熔融スラグが岩石状でかなり強い強度をもつことも事実であり、スラグが微粉碎されて飛散される可能性も小さいことから、熔融処理による非繊維形態化はアスベスト無害化を示唆する一つのデータであるといえよう。

図1 X線回折スペクトルの温度挙動変化(クリソタイル系廃棄物)



4. おわりに

アスベスト廃棄物溶融に関する基礎実験を中心に論じた。吹付けアスベスト廃棄物の熱的挙動はX線回折、等の結果から、クリソタイル系では800℃までに分解し、ケイ酸マグネシウムを中心とした熔融スラグが1500℃前後で得られる。熔融スラグ結晶構造はアスベストのそれとは明確に異なり、しかもSEM分析結果からアスベスト特有の繊維状形態が見られないことが確認された。これらの知見からアスベスト廃棄物が無害化されている可能性が示唆された。その後、コークスベッド方式の実験プラント(処理能力30kg/h)を用いたラボプラント実験により、熔融スラグの連続排出が確認されている。

参考文献

- 1) Sawyer, R. N., Env. Res., 13, 146, 1977, 2) US-EPA, 40 CFR Part 763, 1987, 3) 高月紘他, 大気汚染学会誌, 24, 1, 28, 1989, 4) 矢野一智, 産業公害, 24, 4, 280, 1988, 5) Kleiueberg, D. I. J., Contaminated Soil '88, Wolf, K. (eds.), 1079, 1988, 6) 環境庁大気保全局大気規制課監修: アスベスト排出抑制マニュアル, 1988, 7) 神山宣彦, 昭和58年環境保全研究成果集, 103-1, 1983, 8) Khorami, J. et. al., Thermochimica Acta., 76, 87, 1984, 9) Takeda, N. et. al., Wat. Sci. Tech., 21, 925, 1989