

平成 25 年度
環境研究総合推進費補助金 研究事業
総合研究報告書

アスベスト含有建材の選別手法確立と
再生砕石の安全性評価に関する研究
(3K113024)

平成 26 年 3 月

埼玉県環境科学国際センター 渡辺 洋一

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業（平成 23 年度～平成 25 年度）

所管 環境省

国庫補助金 82,317,000 円（複数年度の総計）

研究課題名 アスベスト含有建材の選別手法確立と再生砕石の安全性評価に関する研究

研究期間 平成 23 年 6 月 1 日～平成 26 年 3 月 31 日

研究代表者名 渡辺洋一（埼玉県環境科学国際センター）

研究分担者 川寄 幹生（埼玉県環境科学国際センター）
磯部 友護（埼玉県環境科学国際センター）
鈴木 和将（埼玉県環境科学国際センター）
山田 正人（国立環境研究所）
遠藤 和人（国立環境研究所）
山本 貴士（国立環境研究所）
小野 雄策（日本工業大学）
朝倉 宏（長崎大学）

目次

総合研究報告書概要	1
本文	
1. 研究背景と目的	12
1.1 研究背景	12
1.2 研究目的	13
1.3 研究の全体計画	13
2. 再生砕石へのアスベスト含有建材の混入要因調査及びその対策	14
2.1 建築物解体現場調査	14
2.2 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握	18
2.3 アスベスト含有建材片の再生砕石への混入評価方法の検討	23
3. アスベスト含有建材の迅速判定法の確立	28
3.1 アスベスト含有建材目視判定法の確立	28
3.2 実体顕微鏡を用いたアスベスト含有建材の迅速判定法確立	37
3.3 市販のアスベストアナライザーによるスクリーニング	43
4. 迅速判定法の現場適用に関する検討	48
4.1 解体前建築物のスクリーニング調査	48
4.2 中間処理施設等におけるアスベスト建材選別の検討	51
4.3 アスベストの目視判定による選別の効率と精度	55
5. アスベスト含有建材からのアスベスト繊維飛散に関する検討	65
5.1 アスベスト含有建材等からの繊維飛散量の把握に関する検討	65
5.2 再生砕石からのアスベスト放出量の現場測定に関する検討	74
5.3 建設廃棄物処理、処分、再利用工程におけるアスベスト飛散量調査	77
5.4 アスベスト繊維の流出に関する検討	83
5.5 振動ふるい選別時におけるアスベスト飛散量調査	84
5.6 アスベスト建材由来のリスク評価	90
6. 結論	93
7. 研究発表	94
8. 研究概要図	96
9. 英文概要	97

環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書概要

研究課題名：アスベスト含有建材の選別手法確立と再生砕石の安全性評価に関する研究
研究番号：3K113024

国庫補助金清算所要額：82,317,000 円（複数年度の総計）

研究期間：平成23年6月1日～平成26年3月31日

研究代表者名：渡辺洋一（埼玉県環境科学国際センター）

研究分担者：川寄幹生、磯部友護、鈴木和将（埼玉県環境科学国際センター）、
山田正人、遠藤和人、山本貴士（国立環境研究所）、
小野雄策（日本工業大学）、朝倉 宏（長崎大学）

研究目的

過去に使用されたアスベスト含有建材が、建築物の老朽化に伴い解体、改築される際に廃棄物として排出されており、有効利用されている再生砕石への混入が問題となっている。本研究は、今後も排出量が増加すると予測されているアスベスト含有建材の再生砕石への混入防止手法を確立し、安全性を向上しようとするものである。そのために、①建築物解体、解体廃棄物等中間処理、再生砕石利用場所をそれぞれ調査してアスベスト含有建材の処理状況を把握し、②適正処理のための判定方法を確立する。また、③アスベスト含有建材の選別実験及びモデルによるシミュレーションを行い、混合廃棄物からの選別について検討する。さらに、④アスベスト含有建材からの飛散量と飛散防止対策による飛散防止効果を測定し、その結果から健康リスクを計算する。

研究方法

1. 再生砕石へのアスベスト含有建材の混入要因調査及びその対策

(1) 建築物解体現場における処理状況調査

建築物解体現場において、アスベスト含有建材の使用状況及びその処理状況を調査した。

(2) 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握

中間処理施設の搬入廃棄物及びその処理方法について現地調査を行うとともに混合廃棄物の組成調査を行うことにより、アスベスト含有建材の処理の現状及びアスベスト含有建材の混入形態・量を把握し、再生砕石への混入防止に向けた課題を抽出した。

- 1) 中間処理施設調査：建設廃棄物の中間処理施設の現地調査を行い、アスベスト含有建材の処理状況を確認した。
- 2) 再生砕石選別実験：建築物解体現場の廃棄物を含む原料から再生砕石を製造している施設において、製品である再生砕石をふるい分けと手選別により選別し、異物（木くず、廃プラ等）、アスベスト含有建材片、及び<10mmの量を測定した。
- 3) 混合廃棄物選別実験：建築物の改築、解体工事から排出された混合廃棄物をふるい分けと手選別により選別し、がれき類、木くず、プラ・紙、アスベスト含有建材片、その他（金属等）、及び<10mmの量を測定した。

(3) アスベスト含有建材片の再生砕石への混入評価方法の検討

再生砕石（RC-40）が敷設された道路において、JIS K0060「産業廃棄物のサンプリング方法」に準拠して試料を採取し、再生砕石中のアスベスト含有建材片の混入率調査を行った。また、同法において規定されて

いる一回の動作の採取量（インクリメント）と採取回数との関係を再生砕石におけるアスベスト含有建材片調査に適用する場合の条件を提案するため、再生砕石(RC-40)の篩の通過質量百分率が 100%となるふるい目の開き 53mm に近似する最大粒度が 50mm の時の JIS 法における基本的なインクリメント体積 1,600mL を基準に、最適な試料の採取方法を検討した。

2. アスベスト含有建材の迅速判定法の確立

(1) アスベスト含有建材目視判定法の確立

アスベスト講習会参加者（H23 年度 518 名、H24 年度 140 名）に対して、実際のアスベスト含有建材の目視判定テストを行い、判定の正答率をサンプル別、判定用器具の使用状況等により解析した。

(2) 実体顕微鏡を用いたアスベスト含有建材の迅速判定法確立

アスベスト含有建材の断面を USB 顕微鏡（ANMO Electronics Co.、Dino-Lite Pro AM-413ZT 及びスリーアールシステム(株)、3R-WM401PC）で観察するとともに、アスベスト含有量を X 線回折（リガク(株)、RINT ultimaPC）分析（XRD）で分析してその結果を比較検討した。画像の取り込みはそれぞれの付属ソフトで行い、多角形近似による面積測定を DinoCapture 2.0、色彩情報等による解析を IMT i-Solution Lite で行った。建材中のアスベスト含有率は JIS A1481(2008)¹⁾に準拠して測定した。

3. 迅速判定法による実現場におけるアスベスト建材選別の検討

(1) 解体前建築物のアスベスト含有建材スクリーニング

解体前の建築物 13 棟に使用されている建材について、目視判定法によりアスベスト含有建材のスクリーニング調査を行った。

(2) 目視判定法による混合廃棄物からのアスベスト含有建材のスクリーニング

実際の現場において、土砂等の混入したがれき類、及び建設混合廃棄物から目視判定によりアスベスト含有建材の選別作業を行い、選別速度等の検討を行った。

(3) アスベストの目視判定による選別の効率と精度

中間処理施設等におけるアスベスト建材選別法の検討を行うために、許容混入量の検討及びアスベスト含有建材の選別精度シミュレーションの構築を行った。次に、模擬試料を用いた混合廃棄物からのアスベスト含有建材の選別実験を行い、判定精度と必要時間の 2 つのパラメータを得た。以上の結果を用い、未選別のガレキの山を想定し、目視判定法でアスベスト含有/非含有を判定・選別後の各分画の濃度と必要時間を算出するモデルを構築した。

4. アスベスト含有建材からのアスベスト繊維飛散に関する検討

(1) 室内実験装置によるアスベスト含有建材の飛散実験

土壌からの飛散量測定方法である EPA Method 540/R97/028 の方法に記載のダスト発生装置を製作し、アスベスト含有建材からのダスト及びアスベスト繊維飛散量測定を実施した。

(2) 再生砕石からのアスベスト放出の量現場測定に関する検討

再生砕石やアスベスト含有建材の置き場跡等からのアスベスト飛散量を現場で測定するためのアスベストサンプリング装置を製作し、再生砕石敷設現場にて、アスベスト含有建材が視認できる 4 地点を対象にアスベスト飛散量を測定した。

(3) 建設廃棄物処理、処分、再利用工程におけるアスベスト飛散量調査

1) がれき類・混合廃棄物の手選別選別作業時の飛散量測定

がれき類及び解体系建設混合廃棄物のふるいと手選別による選別実験を行い、選別作業時のアスベスト飛散量測定を行った。

2) 破碎施設におけるアスベスト飛散量測定

廃コンクリート塊等を原料に再生砕石を製造している施設において、破碎機周辺のアスベスト繊維飛散量の測定を行った。ただし、当該施設で製造した再生砕石からはアスベスト含有建材片は確認されていない。

3) 最終処分場におけるアスベスト飛散量測定

建材片を含む混合廃棄物の埋立作業を行っている周辺の大気中アスベスト測定を行った。

4) 再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験

実際の再生砕石敷設現場において、歩行者、自転車、自動車による連続通行実験を行い、各通行条件におけるアスベスト繊維飛散量の測定を行った。

(4) アスベスト繊維の流出に関する検討

アスベスト繊維の土壌中の移動について簡易な室内実験を行った。

(5) 振動ふるいを用いた選別作業時のアスベスト挙動調査

仮置きされている災害混合廃棄物を可搬型の振動ふるいと手選別により選別した。迅速判定法によるアスベスト含有建材片の選別と選別作業時の大気中アスベスト繊維飛散量測定、現位置測定装置による土壌、選別細粒分からのアスベスト繊維飛散量の測定を行った。

(6) アスベスト建材由来のリスク評価

アスベストのリスク評価を行うため、環境中に放出されたアスベストの大気中での挙動をシミュレートするためのモデルを構築し、再生砕石敷設現場の周辺の建築物による風の流れと大気中アスベスト濃度の変化を数値シミュレーションにより調査した。

結果と考察

1. 再生砕石へのアスベスト含有建材の混入要因調査及びその対策

(1) 解体現場における処理状況調査

図書館の解体に伴いアスベストの調査を行い、7ヶ所から試料を採取した。ただし、配管保温材等については足場の関係上採取出来なかった。採取した試料をJIS A1481 (2008)のXRD分析を行ったところ、表1の結果を得た。特別管理産業廃棄物の廃石綿に該当するレベル2の煙突断熱材にはアモサイトが含有されていた。その他のレベル3の成形板にはクリソタイルが含有されていた。レベル2に対しては厳重に処理処分されていたが、レベル3になると極端に管理が甘くなるため、搬出時に Manifesto に記載するだけでなく、ロットごとにアスベスト含有廃棄物であることが分かる荷姿・荷札等の工夫が必要と考えられた。

表1 アスベストの種類と含有率

試料番号	建材名	石綿の種類	石綿含有率(%)
A	カポスタック	アモサイト	2.08
B	吸音板	クリソタイル	1.58
C	ビニル床シート	クリソタイル	1.82
D	吸音板	クリソタイル	1.69
E	吸音板	クリソタイル	1.82
F	吸音板	クリソタイル	1.69
G	Pタイル	クリソタイル	1.82

(2) 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握

5カ所の中間処理施設を調査した。関東地方で3カ所、九州地方、北海道で各1カ所である。これらのうち3カ所で混合廃棄物の組成調査を行った。

1) アスベスト含有建材の取り扱い

アスベスト含有建材はいずれも単独に取り扱われており、破碎選別処理のラインとは別に保管され、そのまま搬出されていた。最終処分場を併設している施設では、アスベスト建材埋立場所に埋立処分を行っていた。また、地域によって砕石利用の状況が異なることが確認された。すなわち、需要の多い地域では混合廃棄物の選別品も含めて再生砕石を製造していたが、需要の少ない地域では再生砕石の製造自体が行われていなかった。

2) 再生砕石への混入調査

再生砕石を製造している施設において、再生砕石へのアスベスト含有建材片の混入調査を実施したところ、混入は認められなかった。

3) 混合廃棄物組成調査

2)と同施設において、埋立処分に搬出されている混合廃棄物を調査したところ、アスベスト含有建材片が確認された。他の2カ所の埋立処

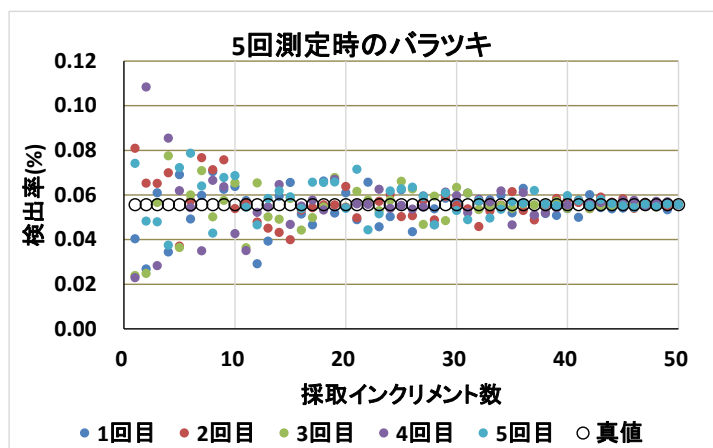


図1 アスベスト含有建材片の検出率平均値

分されている混合廃棄物組成調査においても少量のアスベスト含有建材の混入が確認された。このことから、再生砕石にアスベスト含有建材片が混入する原因として、混合廃棄物の取り扱い方法の影響が考えられた。その防止策として改築・解体現場において小片化したアスベスト含有建材片の管理を徹底するか、それらの混入が想定される混合廃棄物は破碎せずに埋め立てるなどの措置が有効と考えられた。

(3) アスベスト含有建材片の再生砕石への混入評価方法の検討

1) 道路における再生砕石の試料採取法について

車等の往来が多い道路でのサンプリングは、次のように試料を採取すると精度が上がり、この採取法は母集団の信頼区間内（信頼度 95%）に収まることが判明した。図 1 に 5 回採取時の検出率と検出率真値を示す。

- ①インクリメント体積：JIS 法体積の約 10 倍(17,000mL)
 - ②インクリメント数：JIS 法最小必要個数の 1.5 倍(15 個)
- 従って、体積換算では JIS 法の約 16 倍を採取する必要がある。

2) 単位面積を基準とした試料採取について

車や人の往来の少ない偏りのない砂利道の場合は、採取面積数を 10 として、面積：0.26m²（体積換算：7,300mL）で採取することでアスベスト含有建材片の検出率が安定した。一方、面積：0.026m²（体積換算：730mL）の場合は、アスベスト含有建材片が検出されないことが多かった。

3) アスベスト含有建材片に使用された建築資材の種類分けについて

再生砕石に混入していたアスベスト含有建材の種類は図 2 のような割合であった。解体現場や中間処理施設では、アスベストが含有していない確証がない限り、解体系廃棄物のスレート板やコロニアル板はアスベスト含有とみなし、再生砕石への混入を避けることが必要である。

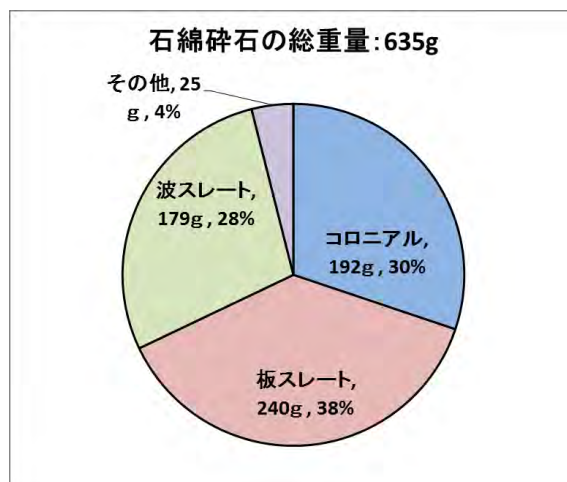


図 2 アスベスト含有建材片の種類別重量

2. アスベスト含有建材の迅速判定法の確立

(1) 目視判定法の確立

「アスベスト含有建材の目視判定法」として、目視、小型ルーペ、簡易バーナー等を用いた現場で迅速に判定する手法を確立し、関係者に講習会を行った。

アスベスト講習会では 1)アスベストについての基礎知識、2)アスベスト含有建材について、3)アスベスト吸引に関わる健康影響、4)非飛散性アスベスト含有建材からのアスベストの飛散について、5)アスベスト廃棄物の処理経路、6)アスベスト含有目視判定法について、7)解体現場及び再生砕石敷設現場において採取したアスベスト含有建材片について写真を用いた説明を行っている。講習会の後半は各講習会によって異なるが、アスベスト含有建材目視判定法（図 3）の概略を説明した後（15分～30分）、10名～20名に分かれて、多種のアスベスト含有成形板をルーペを用いて観察する時間をもうけている（15分～30分）。最後に 8 検体の建材片をいれたアスベスト目視判定テスト試料ケースを配布し、ルーペを用いてテストを実施した（15分

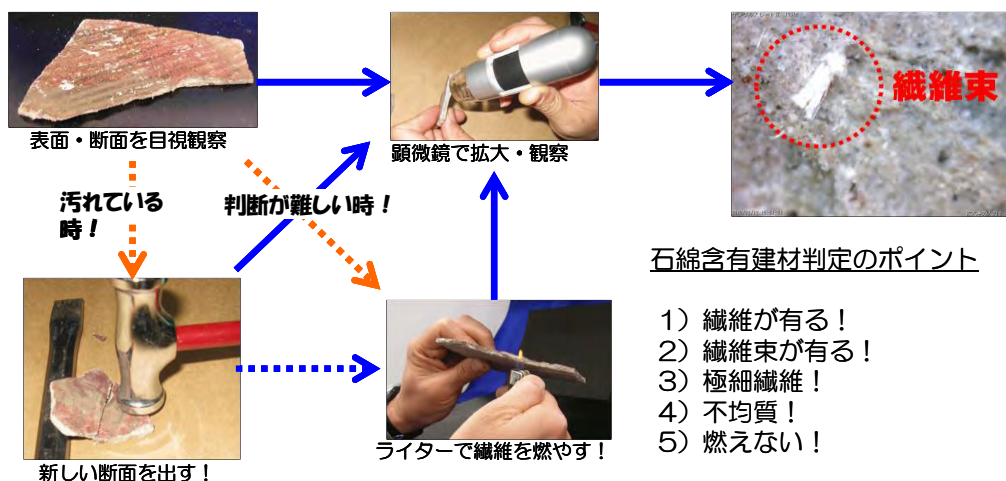


図 3 アスベスト含有建材の目視判定手法の流れ

～30分)。

目視判定テストを実施したアスベスト講習会は9回であり、テスト回答者数は518名である。

目視判定テストの結果を図4に示す。全問正解者(8/8)数は69名(14%)であった。また、4問(4/8)以上(半数)正解した人は463名(97%)であった。また、全問不正解の人は誰もいなく、少なくとも2検体の正答があった。この結果から、ある程度のアスベスト目視判定の経験を積むことによって、建材断面にアスベスト繊維束が存在しているならば、アスベスト含有の判定を行える可能性が有ることが示唆された。

また、判定結果を精査したところ、アスベスト目視判定法に適する建材と適さない建材があることがわかった。建材の特徴別にみた場合、正答率の低い建材はアスベスト以外の繊維が含まれる建材と繊維束の小さい建材であった。しかし、判定テスト時に簡易バーナーを使用したグループでは、アスベスト以外の繊維が混在する建材についても正答率が高かった。このことから、アスベスト以外の繊維を含む建材の判定には簡易バーナーの使用が有効なことが確認された。

この判定法はアスベスト含有の可能性が高い廃建材をアスベストを含有しているものと見なして安全サイドの処理を行う(みなし処理)ための手法であり、アスベストが多量に含まれる建材の適正処理を推進するために考案した手法である。アスベスト含有調査に適切に適用できれば、アスベスト含有建材の適正処理の推進に効果が期待できるものと思われる。

(2) 実体顕微鏡を用いたアスベスト含有建材の迅速判定法確立

USB顕微鏡によるアスベスト繊維の観察の結果、建材断面1視野(2.23mm×1.60mm)当たり観察できた繊維束は0～10であり、試料ごとに算出した単位面積当たりのアスベスト繊維束数は16束/cm²～140束/cm²であった。また、観察できた束の面積は、0.002mm²～0.722mm²であり、試料ごとに算出した単位面積当たりのアスベスト繊維束の面積の割合は、0.66%～8.48%であった。

建材断面中の単位面積当たりの繊維束数とアスベスト含有率とは、正の相関が認められた。

しかし、アスベスト含有率が少ない割に繊維束数が多いものや、逆にアスベスト含有率が多いのに繊維束数が少ない試料が見られた。束の大きさ(面積)が試料によって異なることが、ばらつきの原因と考えられた。次にアスベスト含有率と、建材断面のアスベスト繊維の占める面積率との関係を図5に示す。アスベスト含有率の高い建材ほど断面に観察されるアスベスト繊維の面積が大きい傾向があることが確認された。繊維束数よりもアスベスト含有率との相関が高く、実体顕微鏡により建材断面のアスベスト繊維束の面積を測定することにより、アスベスト含有量の推定ができる可能性が示唆された。

観察する倍率について検討したところ、200倍で撮影した建材断面画像のアスベスト繊維束を多角形近似して求めた繊維束面積率はXRDによるアスベスト含有率に近い値を示し、繊維束面積率とアスベスト含有率は強い正の相関が認められた。一方、画像60倍ではアスベスト含有率に対して断面の繊維束面積率が低い値を示す試料が多かった。こ

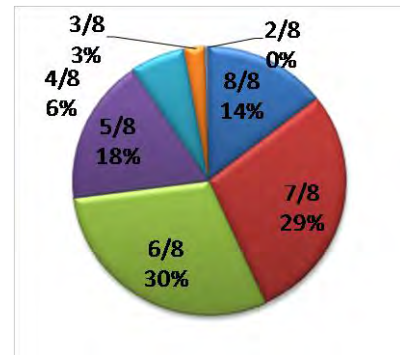


図4 正答数の割合

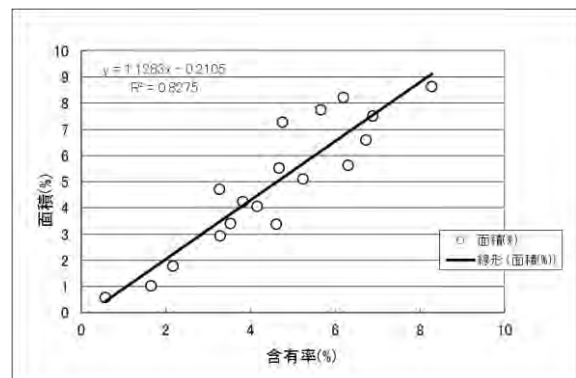


図5 アスベスト繊維束面積と含有量の関係(10視野測定時)

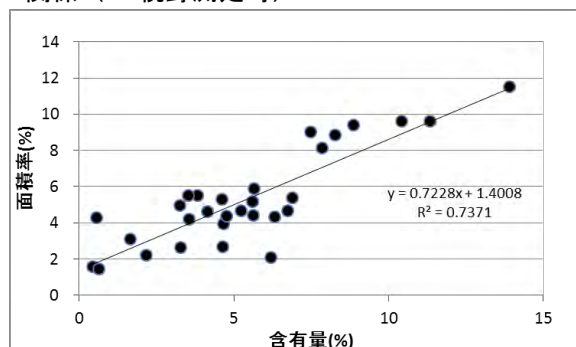


図6 明度を指標とした建材断面の石綿繊維束面積率(明度190以上の画素数比率)と石綿含有率の関係

の原因として、小さい繊維束を 60 倍では確認できていない可能性が考えられる。

また、アスベスト繊維と建材母材の色の違いに着目し、色彩指標による建材中アスベスト含有量の推定を行った。クリソタイル繊維の明度の範囲はおおむね 190 以上であったため、断面画像全体の画素数に占める明度 190 以上の画素数の割合を算出して、建材のアスベスト含有量との関係を調べた。200 倍では含有率と良好な相関関係が認められた (図 6)。

3. 迅速判定法による実現場におけるアスベスト建材選別の検討

(1) 解体前建築物のアスベスト含有建材スクリーニング

大学の建築物 13 棟を調査したところ、使用されていたアスベスト含有建材は、壁材として板スレート、屋根材として波スレートであった。目視による判定結果はX線回折による分析結果と一致した。

(2) 目視判定法による混合廃棄物からのアスベスト含有建材のスクリーニング

1) がれき類からの選別実験の結果

土砂等の細粒分や粗大物の混合したガレキ類 (産業廃棄物分類のがれき類として分類されたもの) からアスベスト含有建材を手選別した場合、短時間で選別できる粗大物の割合は 15~27%であった。ふるい分けにより細粒分を分離することにより、目視選別が容易になるが、3 名で選別した場合の 1 分間の処理量は 5~8kg であった。また、選別に要する時間には個人差があるものと考えられた。

2) 混合廃棄物の選別実験結果

混合廃棄物の手選別速度は 0.3~0.4kg/min・人 程度 (1 人 1 日 8 時間で 144kg~192kg) であり、ほぼ一定していた。図 7 に選別速度を連続的に測定した結果を示す。しかし、これは選別しきれなかった選別残差を含んだ結果であり、混入物の品目の多い廃棄物では、10mm 以下の割合が多く、手選別の作業性が著しく低下した。がれき類主体では 10mm、それ以外は 20mm のふるいを使用すると選別残差は発生しないが、20mm ふるいを使用するとふるい下残差の量は倍増した。

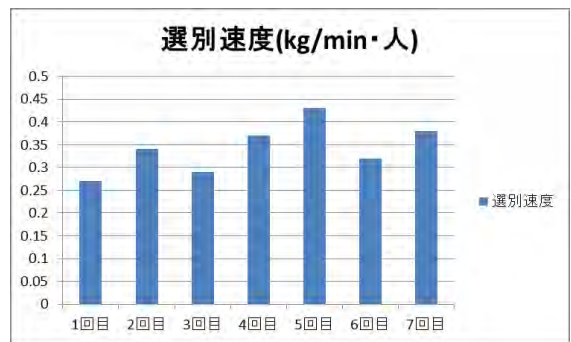


図 7 混合廃棄物の手選別速度

(3) アスベストの目視判定による選別の効率と精度

アスベスト含有建材の目視判定の精度と時間を把握し、アスベスト非含有建材を選別するモデルを構築し、未選別ガレキの山をアスベスト含有/非含有で選別したときの、選別後の濃度 (図 8) と必要時間をシミュレーションによって概算した。以下に主な知見を示す。

- 短時間のアスベスト判定の講習を実施することによって、全くの素人でも高精度にアスベスト含有建材が判定できるようになった。
- モデル構築により、未選別ガレキの個数とアスベスト濃度を与えれば、選別後の分画中の濃度と要する時間を計算するシミュレーションが可能となった。家屋解体の現場、破碎選別施設の受入時において、混入している石綿を排除するためのマニュアル作成と、予想される精度を見積もることができる。
- 選別後 0.1w%の基準は達成できていない。選別精度を支配する要因を考察中。
- 災害廃棄物の選別に要する時間を試算したが、現実的でない膨大な時間が必要であった。

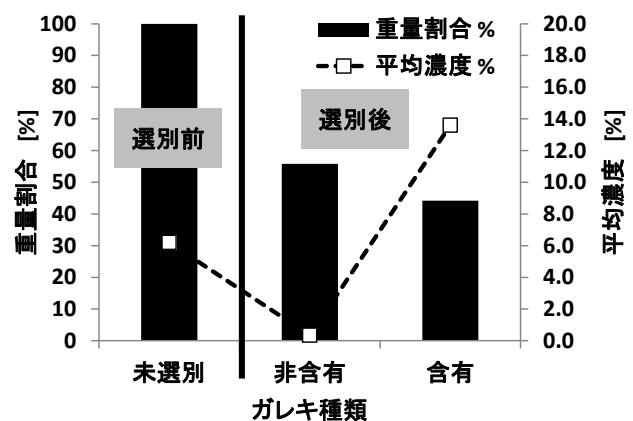


図 8 未選別がれきに対する選別後がれき中のアスベスト濃度のシミュレーション結果

今後は、全数チェック型（ベルトコンベアー式）では膨大な時間がかかるため、踏査型（ランダムウォーク式）の精度・時間に関する調査を行い、判定時間を短縮したい。

また本研究では、多数の建設廃棄物（CDW）片の表面を区割りし、その分面ごとに露出するアスベスト繊維束の密度を目視によって測定した。また、CDW 片のアスベスト含有量を測定し、各 CDW 片が実際にアスベスト含有廃棄物（ACM）か non-ACM であるか調べた。以上から、CDW 片の全表面もしくは一部の表面を目視し、ACM か non-ACM か判定したときの誤判定率をそれぞれ求めた。アスベスト含有量 0.05w%及び 7～20w%の範囲について、以下のことが分かった。

一個の CDW 片は、CDW 片がその由来である製品であったときの整形された表面（整形面）と、破砕処理を受けて新たに形成された表面（破断面）を持つ。non-ACM 及び ACM 両方において、整形面の目視を省略し破断面のみの目視によってアスベスト繊維の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であった。non-ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 2.2%であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 1.6%であった。ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 0%であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 0.16%であった。

4. アスベスト含有建材からのアスベスト繊維飛散に関する検討

(1) 室内実験装置によるアスベスト飛散実験

まず、アスベスト含有建材や土壌からの繊維飛散量の測定方法や事例を収集・整理した。本研究の目的を考慮した場合、土壌からの飛散量測定方法の援用、特にエルトリエーター法¹⁾の適用が適当であると考えた。

アスベスト含有建材からのダスト及びアスベスト繊維飛散量を実験的に把握するため、EPA 法¹⁾に記載のダスト発生装置を製作し、アスベスト含有建材(コロニアル屋根材、波形スレート板)を用いた実験を行った。この試料中の飛散性ダスト量(M_{tot})と試料重量に対する割合(%RD)は、コロニアル屋根材でそれぞれ 0.227 g と 0.303%、波形スレート板でそれぞれ 0.138 g と 0.184%であった。また、飛散性アスベスト繊維数濃度(C_{smpl})は、コロニアル屋根材で 5.9×10^6 本/g(長さ 5 μ m 以上)、波形スレート板で 2.2×10^6 本/g(長さ 5 μ m 以上)と計算された。これらの濃度は 10^6 リスクに関連づけられる値 3×10^7 本/g (長さ 5 μ m 以上)よりも小さく¹⁾、アスベスト含有建材破砕物からのアスベスト飛散量はこのレベルでの健康影響を及ぼすものではないと推測された。

土壌中に波形スレート板を 1～17%の濃度で混入した試料の飛散実験において、 M_{tot} は 0.161～0.169 g、%RD は 0.200～0.232%であった。 C_{smpl} は、混入率 1%の試料で 6.7×10^5 本/L (長さ 5 μ m 以上)、混入率 17%の試料で C_{smpl} は 4.9×10^5 本/L (長さ 5 μ m 以上)と計算され、アスベスト含有建材自体を供試試料とした飛散実験の結果よりも小さかった。

波形スレート板を湿潤化した飛散実験(含水率 15%)では飛散性ダストはフィルターに捕集されなかった。スクラバーに捕集した空气体積当たりのアスベスト繊維数濃度は、湿潤化しない場合の 1～2%程度に低減され、湿潤化がダストやアスベスト繊維の飛散制御方法として有効であることを示した。

(2) 再生砕石からのアスベスト放出量の現場測定に関する検討

土壌中含有アスベスト飛散量測定装置を試作した。幅 60cm、奥行き、高さ 30cm 程度のアルミニウム製ボックスに、片側から水平に送風し、ボックス内で楕形のロッドを移動させることで、土壌を攪拌して粉塵を発生させ、送風した側とは逆側でアスベストサンプリングフィルターによって試料を採取する方法である。

エネルギー分散型X線装置(EDS)(日本電子、JED-2300)の付いた走査型電子顕微鏡(SEM)(日本電子、JSM-7600F)によって測定した繊維数濃度を表 2 に示す。長さ 1 μ m 以上、幅 0.2 μ m 以上、アスペクト比(繊維の長さとの比)が 3 以上の総繊維数濃度は 4.7～10.1 本/L の範囲で検出された。EDS 分析の結果からクリソタイルと判断されるアスベストが 2.4 本検出された。

表 2 SEM / EDS によって分析されたアスベスト繊維数濃度 (本/L)

試料	長さ 1 μ m 以上、幅 0.2 μ m 以上		長さ 5 μ m 以上、幅 0.2 μ m 以上	
	総繊維数濃度	アスベスト繊維数濃度	総繊維数濃度	アスベスト繊維数濃度
A 地点	10.1	< 0.9	3.6	< 0.9

B 地点	4.7	< 0.9	3.6	< 0.9
C 地点	4.7	2.4	2.4	< 0.9
D 地点	10.1	< 0.9	5.9	< 0.9

(3) 建設廃棄物処理、処分、再利用工程におけるアスベスト飛散量調査

1) がれき類・混合廃棄物の手選別選別作業時の飛散量測定

がれき類及び混合廃棄物の手選別作業時の総繊維濃度は、0.26～1.6 本/L であり、アスベスト繊維数濃度は、最高で 0.65 本/L であった。総繊維数、アスベスト繊維数ともに土砂分の割合の多い実験-1 において最高値を示した (表 3)。

2) 破碎施設におけるアスベスト飛散量測定

がれき類から再生砕石を製造している破碎施設の周辺のアスベスト繊維飛散量を測定したところ検出されなかった。当該施設で製造した再生砕石を調査したところアスベスト含有建材は混入していなかったことから、投入原料となるがれき類の管理の徹底により、破碎処理時のアスベスト飛散のリスクを低減できると考えられる。

3) 最終処分場におけるアスベスト飛散量測定

最終処分場において、建材片を含む建設混合廃棄物の埋立作業中のアスベスト繊維飛散量を測定したところ、アスベスト繊維は検出されなかった。

4) 再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験

アスベスト含有建材片の含まれる再生砕石敷設道路において、歩行者、自転車、自動車がそれぞれ連続的に通行し、その直近で飛

散量を測定した結果を表 4 に示す。いずれの場合も総繊維数は 1 本/L を超過した。しかし、その多くはアスベスト以外の繊維状物質であった。アスベスト繊維は、歩行者、自転車が 30 分連続走行した場合にそれぞれ 4 地点中 1 地点で 1 本 (0.86 本/L)、自動車の場合最高で 2

本 (1.72 本/L) 確認された。検出された繊維はアモサイトとトレモライトであった。しかし、実験後に通路内の砕石を全て回収し、調査した結果、確認されたアスベストはクリソタイルとクロシドライトであり、大気中から検出されたアスベスト繊維の由来は確定できなかった。

(4) アスベスト繊維の流出に関する検討

表 3 混合廃棄物手選別作業時の大気調査結果

実験区分	サンプラー No.	吸引空気量 (L)	総繊維数 (本)	総繊維数濃度 (本/L)
手選別実験-1	No.1	1200	13.5	1.5
	No.2	1200	13.5	1.5
	No.3	1200	14.5	1.6
	No.4	1200	13	1.4
手選別実験3-1	No.1	2510	12.5	0.67
	No.2	2510	14.5	0.78
	No.3	2510	10.5	0.56
	No.4	2510	9	0.48
手選別実験3-2	No.1	2530	8	0.43
	No.2	2480	8	0.43
	No.3	2530	8.5	0.45
	No.4	2530	5	0.26

表 4 再生砕石敷設道路における飛散実験の大気中アスベスト濃度測定結果

	粉塵平均	総繊維数 (本/L)				アスベスト繊維数 (本/L)			
		大気1	大気2	大気3	大気4	大気1	大気2	大気3	大気4
歩行者通行時	10.6	1.8	1.8	1.3	1.3	0	0	0.86	0
放置時 (通行なし)	8.8								
自転車通行時	18.2	1.3	1.3	1.8	1.3	0	0	0	0.86
放置時 (通行なし)	11.6								
自動車通行時A	41.7	2.7	2.8	2.7	3.1	0.86	0	1.72	0
放置時 (通行なし)	9.6								
自動車通行時B	28.8	1.3	2.7	3.1	1.3	0.86	0.86	0	0.86
放置時 (通行なし)	28.2								
自動車通行時C	63.6	1.3	2.2	1.8	0.9	1.72	0	0	0.86
放置時 (通行なし)	9.3								

土壌層上部にクリソタイルを添加して、水による流出について検討したところ、アスベスト繊維が土壌の層を通過する可能性は極めて低いことが確認された。このことから、アスベスト繊維は土壌表面付近にとどまる可能性が高いため、土壌からの飛散に関する検討は重要と考えられた。

(5) 振動ふるいを用いた選別作業時のアスベスト挙動調査

- ・ 災害廃棄物由来の混合廃棄物処理施設（振動ふるい装置）にて、アスベストの飛散量ならびにアスベスト含有建材の存在量調査を実施した。その結果、アスベスト含有建材の存在比率は混合廃棄物量の 0.03～0.08% となった。また、混合廃棄物から大型の木材や鉄くずを重機選別し、振動ふるい装置に投入した廃棄物量に対しては 0.10～0.13% の存在比率であった。飛散量については、表 5 に示すように振動ふるい装置直上 1 m の高さ、ならびに振動ふるい装置からのコンベア吐き出し口下でのアスベスト飛散調査では、総繊維濃度が 4～6 本/L であったが、アスベスト繊維は検出下限（1.91 本/L）以下という結果であった。
- ・ 振動ふるい装置による処理物を手選別している作業場所の下土壌とふるい下残さに対して飛散模擬試験を実施したところ、アスベスト繊維の飛散量は検出下限値（2.4 本/L）以下であり、土壌とふるい下残さのアスベスト定量分析結果においてもアスベスト繊維は検出されなかった。
- ・ 目視判定でアスベスト含有判定が困難な建材 25 種について、定性分析を実施したところ、1 つのサンプルを除いて全ての建材でクリソタイル含有という定性分析結果となった。また、これら 24 種のサンプルから任意に抜き出した建材 5 種のクリソタイル濃度は 4.3～8.9% という結果であった。
- ・ 目視判定が困難な材料からもアスベスト繊維が確認されたことから、今後、目視判定する際には、より安全側な視点で判定を行っていくことが必要と感じられた。

表 5 振動ふるい装置近傍における飛散調査結果

測定場所	採取ガス量	総繊維濃度		繊維の種類						
		PCM 法	A-SEM 法	A-SEM 法						
				クリソタイル	アモサイト	クロシドライト	トレモライト	アクチノライト	アンソフイライト	その他の繊維
L	本/L									
ふるい上	65	4.74	3.83	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	3.83 (2)
コンベア落下点	65	6.32	5.75	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	5.75 (3)

※繊維の種類欄の（）は、計数された繊維の数を示す。

注) 表中の PCM は位相差顕微鏡、A-SEM は分析走査電子顕微鏡の略称

(6) アスベスト建材由来のリスク評価

アスベストのリスク評価を行うためには、環境中に排出されたアスベストの環境中濃度や曝露量を推定するモデルが必要になる。具体的事例として、再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験を取りあげ、質量保存則を高い精度で満たす 数値シミュレーションを行い、複雑な風の流れやアスベストの飛散分布を示すことができた。

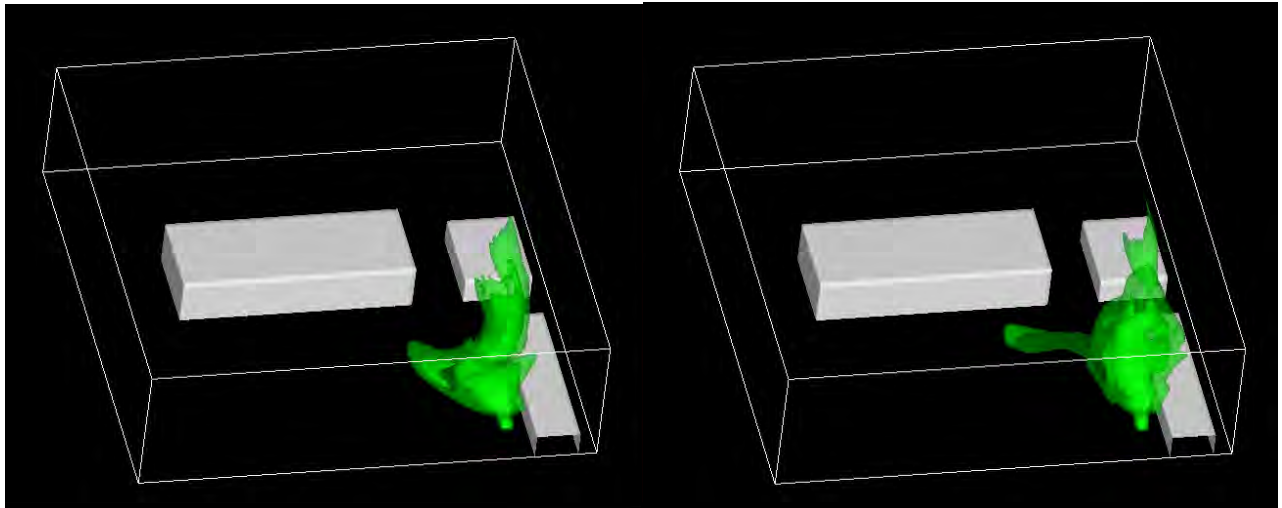


図9 アスベスト濃度の等値面

環境政策への貢献

アスベスト含有建材の適正処理推進には、建築物解体現場で分別を徹底するための正確な情報と作業者の知識、確認のための時間とコストに対する関係者の理解が必要である。本研究では、安価で迅速にアスベスト含有建材を判別する手法として目視判定法と画像解析による判定法を確立し、関係者への普及を図った。また、再生砕石製造ラインへのアスベスト含有建材の混入要因、再生砕石に混入している建材種類を明らかにした。これらにより、再生砕石へのアスベスト建材の混入防止対策立案、不適正な処理・処分の防止に貢献できる。

さらに、移動可能なアスベスト飛散量測定装置の開発により、再生砕石が表層利用された現場におけるアスベストが飛散するかどうかの判定が可能となった。また、室内実験により、アスベスト含有建材からアスベスト繊維の飛散・流出量及びその防止対策の効果を明らかにした。以上の結果はアスベスト含有建材の処理・処分、再利用の際の安全対策立案に貢献できる。特に、災害廃棄物処理に伴う飛散防止対策は、膨大ながれき類の処理を通じて復旧作業に携わる作業員の健康被害防止の観点から緊急の課題と考えられる。

再生砕石を敷き均した民地の道路や駐車場において、アスベスト含有建材片が検出され住民不安を与えている。このような場所で再生砕石の中にアスベスト含有建材片が混入しているかどうか各地で問題となっている。再生砕石敷設現場の詳細調査結果から再生砕石 RC-40 では JIS K0060 法の約 10 倍インクリメント体積が必要なこと、また 1.5 倍以上のサンプリングヵ所が必要なことを示した。

選別処理のシミュレーションによる研究成果を選別現場に適用すれば、必要な人的・時間的資材を見積もることができる。家屋解体の現場、破碎選別施設の受入時において、混入しているアスベストを排除するためのマニュアル作成と、予想される精度を見積もることができる。

研究成果の実現可能性

本研究では、アスベスト含有建材の迅速判定法として、目視判定法と実体顕微鏡法を確立した。判定精度の面では、建材の種類により難しいものもあるが、使用量の多いスレート板やコロニアルなどは判定が容易であり、排出される大部分のアスベスト建材を判定し得ると考えられる。本法は、大きな機材を必要とせず、判定時間も短い。一方、本研究で改良した飛散量測定装置は、既にアスベスト含有建材が混入している再生砕石について実飛散量を測定できることから、実用性は高いといえる。本研究成果である選別処理のシミュレーションを行うことにより、混合廃棄物からアスベスト含有建材を選別する処理速度(h・人/個) が推定できる。

結論

- ① 解体現場における分別後の表示等の必要性、混合廃棄物へのアスベスト含有建材の混入チェックと防止対策の必要性が明らかとなった。また、混入の可能性のある混合物からの再生砕石原料の製造中止により再

生砕石へのアスベスト建材混入防止が図れることが示唆された。さらに、アスベスト建材混入調査を行う際の適切なサンプリング方法の知見を得た。

- ② 解体現場等におけるアスベスト含有建材の迅速判定法として目視選別法を開発し、講習会でのテスト結果から大部分のアスベスト含有建材の判定に適用できること、判定の難しい建材の種類及びその改善方法も明らかになった。また、実体顕微鏡による建材断面の拡大画像を用いることで、迅速なアスベスト含有建材の判定法と含有率の推定法を確立した。
- ③ アスベスト含有建材の目視判定の精度と時間を把握し、アスベスト非含有建材を選別するモデルを構築した。モデルにより災害廃棄物の選別時間を概算したが、膨大な時間が必要である。また、現場におけるスクリーニング実験の結果から、混合廃棄物やがれき類からの選別処理速度を実測したが、処理速度は 0.3 kg/min・人（混合廃棄物）～2.6kg/min・人（がれき類）程度であった。
- ④ 室内実験装置、現場測定装置、大気サンプラーによる実測などとおして、アスベスト含有建材が存在している再生砕石から大気へのアスベストの飛散可能性は低いことが確認された。また、対策として湿潤化による飛散防止効果が顕著であることが確認された。

以上の成果から、今後さらに排出量が増加すると試算されているアスベスト含有建材の解体・改築現場においては判定一分別を徹底し、中間処理施設においては混入防止を考慮した再生砕石原料の選択や処理方法の選定が重要となる。時間とコストの削減には目視等によるスクリーニングの導入が効果的である。

1. 研究背景と目的

1.1 研究の背景

(1) アスベストの種類と特性

アスベスト（石綿）は天然の鉱物繊維で、大きく蛇紋石綿と角閃石綿の2種類に分類され、蛇紋石綿はクリソタイルと呼ばれる物質を指す。綿のように柔らかい性質を持ち、日本ではこのクリソタイルから作られるアスベストのことを白石綿や温石綿と言う。その加工しやすい柔軟性から最も利用されることの多いアスベストで、世界中で生産されるアスベストの90%がこのクリソタイルから作られたものである¹⁾。わが国では2004年10月に使用が禁止されたが、ごく限られた用途に限り2006年まで使用が認められ、その後2008年には全面禁止になっている。その他のアスベスト鉱物には、角閃石綿の中のクロシドライト（青石綿）、アモサイト（茶石綿）、トレモライト（透角閃石綿）、アンソフィライト（直閃石綿）、アクチノライト（陽起石綿）など5種類が知られている²⁾。これらの化学式及び融点を表1.1に示した。

表 1.1 アスベストの種類と化学組成

族名	名称	化学式	融点(°C)
蛇紋石族	クリソタイル(白石綿)	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$	1,521
角閃石族	クロシドライト(青石綿)	$Na_2Fe_9^{2+}Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(O,F)_2$	1,193
	アモサイト(茶石綿)	$(Mg,Fe^{2+})_7Si_8O_{22}(OH)_2$	1,399
	トレモライト(透角閃石綿)		1,316
	アンソフィライト(直閃石綿)	$(Mg,Fe^{2+})_7Si_8O_{22}(O,F)_2$	1,468
	アクチノライト(陽起石綿)	$Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(O,F)_2$	1,393

アスベストの毒性は、その成分ではなく、その形状によるものである。通常の状態では半永久的に分解や変質しないため、非常に細かいアスベストは、呼吸によって大気中から肺の一番奥の肺胞にまで入り込み、5～30年の潜伏期間を経て石綿肺・肺癌・悪性中皮腫などの重篤な疾病の危険性を高めることが知られている³⁾。

(2) アスベスト含有廃棄物排出に伴う問題

アスベスト含有建材は、アスベストが物理化学的に非常に優れた天然鉱物であるがゆえに建築物中の様々な部位で利用されてきた。現在は、アスベスト繊維に発がん性があることが明らかになり、労働安全衛生法によりアスベスト含有建材の製造・使用等は禁止されている。しかし、過去に使用されたアスベスト含有建材が、建築物の老朽化に伴い、解体・改築される際に廃棄物として排出されており、今後さらに排出量は増加すると予測されている。

建設リサイクル法により建築物の分別解体、及びコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊、建設廃木材の再利用が義務化され、コンクリート塊の有効利用方法として再生砕石が製造されている。

しかし、表面利用されている再生砕石へのアスベスト含有建材の混入が社会問題となり、一部でその利用の回避、敷設された砕石の撤去などが行われており、再生砕石へのアスベスト含有建材の混入防止が求められている。

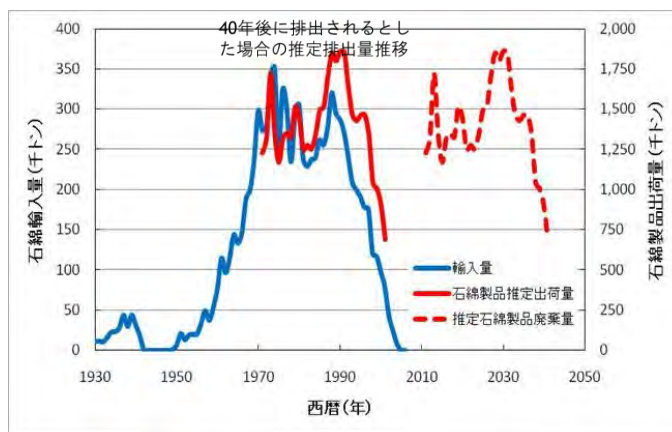


図 1.1 石綿輸入量と石綿含有建材廃棄物予測量
出典：(社)日本石綿協会

そのため、関係各省庁や自治体においてもアスベスト含有建材に関する情報と適正処理のためのマニュアル等、啓発用資料等を整備し公開しつつある。しかし、解体現場等における分別のために不可欠な事前調査は徹底されておらず、平成 24 年 2 月にも労働基準局から都道府県労働局あてに「建築物等の解体等の作業における事前調査の徹底等について」が通知されているところである。また、事前調査に係る留意事項が「建築物等の解体作業での労働者の石綿曝露防止に関する技術上の指針」(平成 24 年 5 月 9 日公表)に示されており、「建築物などの解体等作業の事前調査における留意事項」で事前調査の目視調査における見落としの注意を喚起している。

1.2 研究の目的

本研究では、アスベスト含有建材の判定・選別手法と作業時の飛散防止技術の確立及びその評価を行い、建築物の解体から再生利用に至る一連の工程の安全性を確保する判定—選別システムを構築し、リサイクルの推進と安全性の両立を図ることを目的とする。

1.3 研究の全体計画

①混入要因調査 —建築物解体、中間処理、碎石利用場所をそれぞれ調査してアスベスト含有建材の処理状況を把握—

アスベスト含有建材の再生碎石原料への混入防止については、現状でも石綿障害予防規則により、アスベスト含有建材の分別が規定されている。建築物解体工事前の事前調査で、書面、建材への表示を確認し、不明なものは分析を行ってアスベストの有無を確認することとされているが、実施が困難な場合やコスト・時間を惜しんで実施しないケースが見受けられる⁴⁾。中間処理施設においては、建設廃棄物の一部が混合廃棄物として搬入され、その選別処理品の一部が再生碎石原料として利用されてきた⁵⁾。本研究では、中間処理施設においてアスベスト含有建材及び混合廃棄物の処理状況を確認するとともに、混合廃棄物、再生碎石の品質についても調査を行い、再生碎石へのアスベスト含有建材の混入要因を調査する。

②適正処理推進のための判定方法確立

安価で迅速なアスベスト含有建材の判定法を確立し、行政機関等によるチェックに活用するとともに、迅速なスクリーニングによる「みなし処理」(アスベスト含有成型板(レベル 3 建材)を公定法による分析を省略してアスベストを含んでいるものとして処理をすること)を可能とする。判別する手法として目視判定法、及び実体顕微鏡を用いたアスベスト含有建材の判定法の適用範囲の明確化、操作の迅速化等を検討し、関係者への普及を行う。

③混合廃棄物からのアスベスト含有建材の選別 —アスベスト含有建材の選別実験及びモデルによるシミュレーション—

混合廃棄物に混入したアスベスト含有建材の選別作業を行うとともに、選別作業をモデル化し、選別に必要な人員、時間等をシミュレーションにより推定する方法を検討する。

④アスベスト含有建材等からの飛散量測定と飛散防止対策による飛散防止効果の検討

解体工事、中間処理等の作業において、アスベスト含有建材が破損した場合にはアスベスト繊維が飛散することが明らかであるが、再生碎石表面利用現場での車両の通行等を再現した飛散量測定データはなく、アスベスト含有建材混入を評価するための試料採取方法も確立していない。再生碎石敷設現場において、アスベスト含有建材片の混入を評価するための試料採取方法を検討し、実際の表面利用時を再現した飛散実験を行う。一方、アスベスト含有建材そのものからの飛散量を把握するための室内実験装置を構築し、実際のアスベスト含有建材を使用した飛散実験及び飛散防止対策の効果判定のための実験を行う。

1.4 参考文献

1), 2) 名古屋俊士：改定 JIS 法によるアスベスト含有建材の最新動向と測定法、財団法人日本規格協会、pp9-11(2008)

3) 独立行政法人環境再生保全機構ホームページ、
<http://www.erca.go.jp/asbestos/what/higai/mechanism.html>

4) 労働基準局安全衛生部化学物質対策課長通知：建築物等の解体等の作業における事前調査の徹底等について、基安化発 0213 第 1 号(2012. 2. 13)

2. 再生砕石へのアスベスト含有建材の混入要因調査及びその対策

2.1 建築物解体現場調査

日本工業大学 小野 雄策

2.1.1 目的

解体現場において建築資材に含まれるアスベストの所在を明らかにするには、一般に、解体工事前に石綿作業主任者などの有資格者により事前調査を実施する。簡単な調査内容は次の通りである。

- ① 設計図書による確認
- ② 目視判断
- ③ 検査などを通してアスベスト含有建材の確認

事前調査で疑わしいときはアスベスト含有建材として処理される場合が多い。

アスベスト含有建材の混入の恐れがあるケースでは設計図書による確認が最も重要であるが、聞き取り調査も大きな位置を占める。解体現場でアスベスト含有建材の確認ができないで見逃されたものは中間処理施設あるいは最終処分場に運ばれるが、ここでのチェック体制が確立されていないとそのまま普通物として処理処分されてしまう可能性がある。

本研究では、大学内の建築物の解体調査及びアスベスト含有建材が使用されている建築物のハザードマップ作りについて検討を行った。

2.1.2 解体現場調査（アスベスト含有建材の発生現場調査）

(1) A大学図書館の解体工事におけるアスベストの使用状況調査

A大学の図書館の施行年は昭和49年9月で、総面積は1762.36m²であり、設計図書等による調査結果を表2.1.1に示した。また、ヒアリングにより図書館解体工事に伴い再生砕石に含まれる可能性の高いアスベスト含有建材を表2.1.2に示した。

表 2.1.1 旧図書館 アスベスト採取場所と試料の形状

試料番号	建材名	名称及び用途	採取部位及び場所	形状	階層	施行年月日	採取試料の形状		
							縦(mm)	横(mm)	厚さ(mm)
A	カボスタック	断熱材	煙突	綿	2	S49.9.22	繊維状		
B	吸音板	吸音	書庫2付近の階段・天井	板	2	S49.9.22	600	300	12.5
C	ビニル床シート	防水	中央階段横・廊下	板	2	S49.9.22	205	140	2.1
D	吸音板	吸音	入口・天井	板	1	S49.9.22	460	300	12.5
E	吸音板	吸音	閲覧室・天井	板	1	S49.9.22	600	300	12.5
F	吸音板	吸音	書庫2付近の階段・天井	板	1	S49.9.22	440	300	12.5
G	Pタイル	吸音	階段横・ロビー	板	1	S49.9.22	300	210	2.0

表 2.1.2 再生砕石に混入しやすいアスベスト含有建材²⁾

建築資材	種類
屋根葺き材	波型スレート板、コロニアル材
外壁材	サイディング
天井材	ケイ酸カルシウム板等
内外装材	石綿吸音材、フレキシブル板等

(2) 試料の採取

再生砕石に含まれている可能性の高いアスベスト含有建材として、煙突・天井・Pタイルからそれぞれ試料を採取し、アスベスト含有の確認試験を行った。採取した試料を図2.1.1～7に示した。



図 2.1.1 煙突内壁のアスベスト
注) 赤丸内カポスタックの可能性



図 2.1.2 書庫 2 付近の階段上天井（吸音板）



図 2.1.3 中央階段横の廊下（ビニル床シート）



図 2.1.4 図書館入口の天井（吸音板）



図 2.1.5 閲覧室天井（吸音板）



図 2.1.6 図書館ロビーの天井（吸音板）



図 2.1.7 1階の階段横ロビー (P タイル)

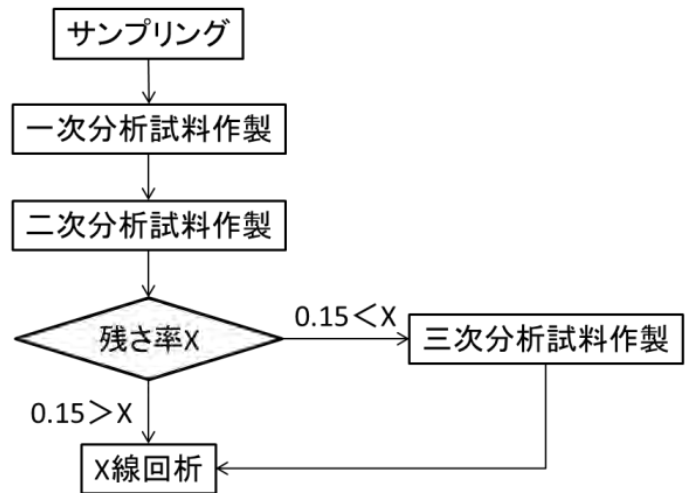


図 2.1.8 X線回析の調査手順

(3) アスベストの分析方法

JIS A 1481(2008)の「建材中のアスベスト含有率測定方法」により、アスベスト試料を図 2.1.8により一次、二次、あるいは三次分析用試料として調整し、X線回折装置((株)リガク、RINT-UltimaPC)により定性分析を行いアスベスト結晶の有無を調べた。また、クリソタイルを含有している試料は定量分析を行い、クリソタイルの含有率を求めた。

また、クリソタイルを含有している試料は定量分析を行い、クリソタイルの含有率を求めた。

(4) 調査結果及び考察

旧図書館の煙突(カポスタック)・天井(吸音板)・P タイル試料のアスベスト含有の有無について、X線回折定性分析あるいは定量分析を行った結果を表 2.1.3 に、また XRD のチャートを図 2.1.9~15 に示した。

表 2.1.3 建材の種類と石綿アスベスト含有率

試料番号	建材名	石綿の種類	石綿含有率(%)
A	カポスタック	アモサイト	
B	吸音板	クリソタイル	2.08
C	ビニル床シート		
D	吸音板	クリソタイル	1.58
E	吸音板	クリソタイル	1.82
F	吸音板	クリソタイル	1.69
G	Pタイル	クリソタイル	1.82

試料番号 A のカポスタックからはアモサイトが検出され、試料番号 B, D, E, F の吸音板からはクリソタイルが検出された。また、床材については、試料番号 G の P タイルからクリソタイルが検出された。また、試料番号 C のビニル床シートについてはアスベストが不検出であった。

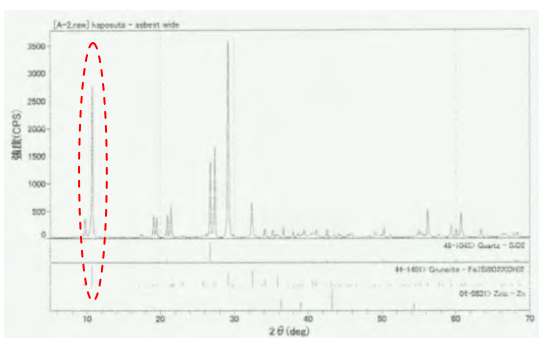


図 2.1.9 試料番号 A のカポスタック (アモサイト)

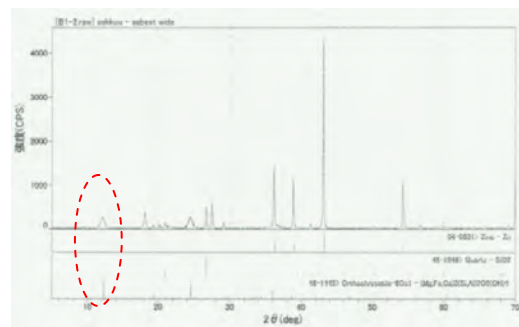


図 2.1.10 試料番号 B の吸音板 (クリソタイル)

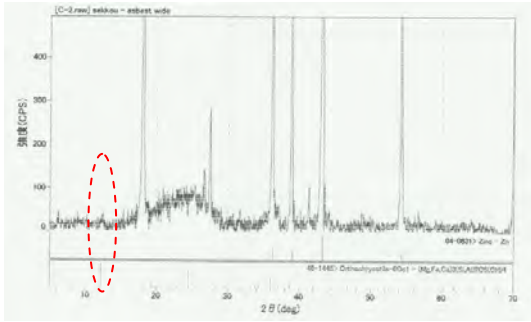


図 2.1.11 試料番号 C のビニル床 (アスベスト無)

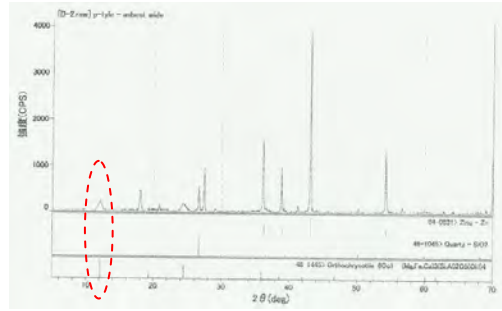


図 2.1.12 試料番号 D の吸音板 (クリタイル)

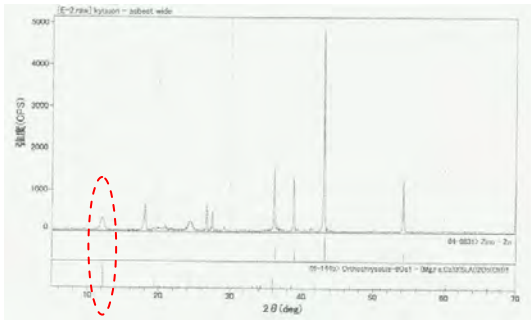


図 2.1.13 試料番号 E の吸音板 (クリタイル)

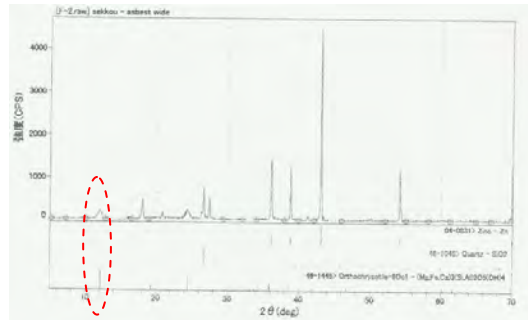


図 2.1.14 試料番号 F の吸音板 (クリタイル)

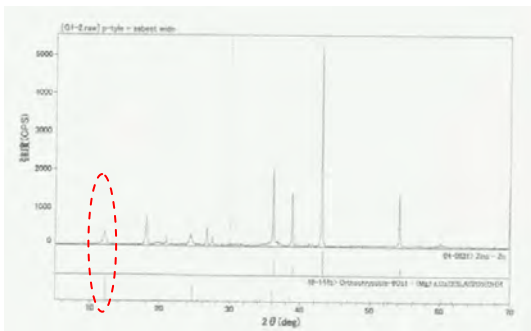


図 2.1.15 試料番号 G の P タイル (クリタイル)

昭和 40 年代の建築物、特に図書館のような建物には、多くのアスベスト含有建材が使われていることが判明した。これらの採取場所の写真は図 2.1.1~7 に示したように、かなりの部分にアスベストが使用されており、解体時においてアスベスト含有建材片の混入の危険性が高い建物であることが分かった。

調査結果を表 2.1.4 にまとめた。この表でも分かるように、昭和 40 年代の図書館には多岐にわたり石綿含有建材が使用されており、レベル 3 の建材が多数見つかった。図書館は特殊な建物のため、耐火性・断熱性が優れているレベル 2 や 3 の建材が多く使用されていたのではないかと推察される。今回の調査では、パイプ類等建物内部の隠れた部分については調査できなかったが、図書館には他の建材にもアスベストが幅広く使われている可能性があるものと推定された。

表 2.1.4 旧図書館の用途・形状

試料番号	建材名	名称及び用途	形状	レベル
A	カポスタック	断熱材	綿	2
B	吸音板	吸音	板	3
C	ビニル床シート	防水	板	3
D	吸音板	吸音	板	3
E	吸音板	吸音	板	3
F	吸音板	吸音	板	3
G	Pタイル	吸音	板	3

注)「レベル」は建材に含まれるアスベストの飛散しやすさの分類。

レベル1：吹きつけ材

レベル2：保温材、耐火被覆材、断熱材

レベル3：その他のアスベスト建材（成型板等）

(5) まとめ

今回の調査で、A大学の図書館解体に伴って、各種の建材にアスベストが使用されていることが確認された。レベル1のアスベストは検出されなかった。アスベストの種類では、試料番号Aの煙突(カポスタック)からはアモサイト、試料番号B～Gの天井(吸音板)からはクリソタイルが含有されていることが確認された。クリソタイルの含有率は、1.58～2.08%の範囲であった。

さらに、今回の検査は、X線解析のみによるものであったが、位相差・分散顕微鏡を用いる方法も同時に行わなくてはならないなど、検査法自体が複雑で時間がかかるのが大きな難点であった。このため検査にはスクリーニングメソッド（簡易検査法）の開発が必須である。

なお、レベル2の煙突（カポスタック）はアスベストの解体専門業者により解体され、搬出されており、厳重な処理処分が行われていた。他方、レベル3の建材は、通常のトラックに載せシートをかぶせる程度であった。これでは搬出先で他の廃棄物と見極めがつかなくなる可能性があり、他の廃棄物と見分けが出来るような荷姿で搬出されるような工夫が必要である。

今後は、荷姿チェックや他の廃棄物への混入チェック方法についてシステムを構築していく必要がある。

2.2 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握

埼玉県環境科学国際センター 渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将
日本工業大学 小野雄策、国立環境研究所 山本貴士、長崎大学 朝倉 宏

(1) 研究目的

中間処理施設への搬入廃棄物及びその処理方法について現地調査を行い、アスベスト含有建材の処理の現状と課題を整理する。

(2) 研究方法

1) 中間処理施設調査

建設廃棄物の中間処理施設4カ所の現地調査を行い、アスベスト含有建材の処理状況を確認する。

2) 再生砕石選別実験

建築物解体現場の廃棄物を含む原料から再生砕石を製造している施設において、製品である再生砕石をふるい分けと手選別により選別し、異物（木くず、廃プラ等）、アスベスト含有建材片、及び<10mmの量を測定した。

3) 混合廃棄物選別実験

建築物の改築、解体工事から排出された混合廃棄物をふるい分けと手選別により選別し、がれき類、木くず、プラ・紙、アスベスト含有建材片、その他（金属等）、及び<10mm（実験3では<20mm）の量を測定した。



図 2.2.1 選別実験の様子

(3) 結果

1) 中間処理施設調査

4カ所の中間処理施設を調査した。関東地方で3カ所、九州地方で1カ所である。

アスベスト含有建材はいずれも単独に取り扱われており、破碎選別処理のラインとは別に保管、搬出されていた。最終処分場を併設している施設では、アスベスト建材埋立場所に埋立を行っていた。また、地域によって碎石利用の状況が異なることが確認された。すなわち、需要の多い地域では混合廃棄物の選別品も含めて再生碎石を製造していたが、需要の少ない地域では再生碎石の製造自体が行われていなかった。

アスベスト含有建材として選別保管されていた建材片を採取し、確認したところ、アスベスト含有建材であることが確認された。

2) 再生碎石選別実験

再生碎石を製造している施設において、再生碎石へのアスベスト含有建材片の混入調査を実施したところ、混入は認められなかった。約400kgの再生碎石を採取し、選別した結果を表2.2.1に示す。

表 2.2.1 再生碎石選別実験結果

	採取量 (kg)	正味の 採取量 (kg)	RC 0-10 (kg)	対象碎石 RC 10-40 (kg)
1回目	27.22	25.88	11.42	14.46
2回目	26.64	25.3	8.08	17.22
3回目	24.54	23.2	6.8	16.4
4回目	25.58	24.24	4.46	19.78
5回目	23.12	21.78	2.4	19.38
6回目	27	25.66	7.96	17.7
7回目	26.22	24.88	5.58	19.3
8回目	27.48	26.14	9.04	17.1
9回目	27.54	26.2	9.28	16.92
10回目	27.6	26.26	8.22	18.04
11回目	23.6	22.26	5.36	16.9
12回目	25.64	24.3	5.02	19.28
13回目	28.04	26.7	11.68	15.02
14回目	25.04	23.7	3.84	19.86
15回目	23.78	22.44	3.38	19.06
16回目	24.86	23.52	4.56	18.96
合計	413.9	392.46	107.08	285.38

3) 混合廃棄物選別実験

① 混合廃棄物選別実験－1

再生碎石の選別実験を行った施設において、埋立処分場に搬出されている混合廃棄物の選別実験を行ったところ、アスベスト含有建材片が確認された（表2.2.2）。ただし、表に示した数量は目視判定による現場選別実験の数値であり、分析を行った結果ではない。このことから、今回調査した中間処理施設では混合廃棄物から選別したガレキ類を再生碎石製造ラインに投入していなかったことが確認された。再生碎石にはアスベスト含有建材は認められなかったからである。

表 2.2.2 混合廃棄物選別実験結果

回数	採取ごみ量 (kg)	<10mm (kg)	ガレキ (kg)	木 (kg)	プラ・紙(管理型物) (kg)	アスベスト含有建材 (kg)	その他(金属類) (kg)	その他(細粒分, loss等)
1	20.80	4.76	14.48	0.18	0.18	0.84	0.02	金属
2	23.04	8.54	14.70	0.10	0.12	0.68		
3	16.36	1.14	13.64	0.12	0.32	0.54	0.40	金属
4	18.98	3.52	13.00	0.16	0.24	0.44	0.04	金属
5	21.54	6.50	14.16	0.24	0.14	0.16	0.04	金属
6	11.86	3.64	6.76	0.16	0.54	0.22	0.42	石こう
7	18.26	7.02	10.36	0.40	0.24	0.44	0.80	金属
8	17.72	5.42	8.50	0.10	0.66	0.14	0.04	金属
計	148.56	40.54	95.80	1.46	2.44	3.46	1.76	3.30

この混合廃棄物は、主に下ごみと呼ばれる工事終了時に現場から掃き集めたゴミであった。組成としては、図 2.2.2 に示すようにがれき類と 10mm 以下(おもに土砂分)が非常に多いという特徴があり、8 ロット全てにおいて、これらが全体の 9 割以上を占めていた(図 2.2.3)。

再生砕石にアスベスト含有建材片が混入する原因の一つとして、下ゴミと呼ばれる改築・解体現場を最終的に掃き集めた混合物に建材を取り外す際に破片等がかけ落ちることが考えられる。目視判定によるアスベスト含有建材の混入率は約 2%であった。

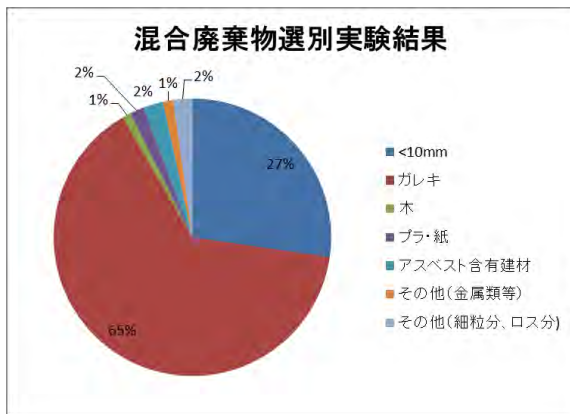


図 2.2.2 混合廃棄物選別結果 - 1

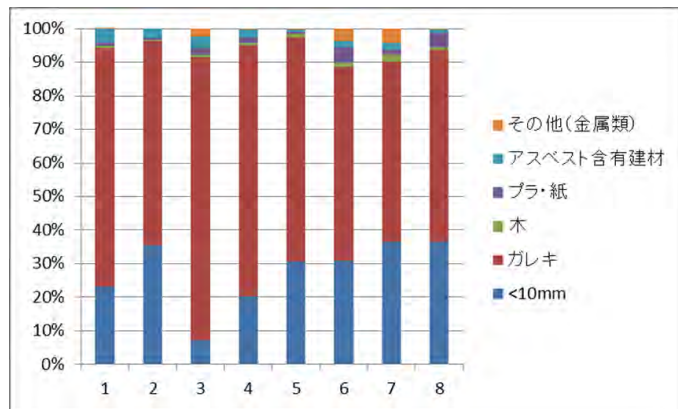


図 2.2.3 混合廃棄物選別結果(ロットごと)

アスベスト含有建材の重量と個数をロット別にみると図 2.2.4、2.2.5 のようにばらつきはあるものの、全てのロットからアスベスト含有建材が見つかった。図中の「有り」は目視判定でアスベスト有りのもので実際にありだったものを、「なし」は選別実験で有りと判定したが含まれていなかったものを示す。誤判定が多かった理由として、土砂分の多い試料であり、目視のみによる判定が困難なものが多かったことと、選別実験に初参加の者が複数いたためと考えられる。

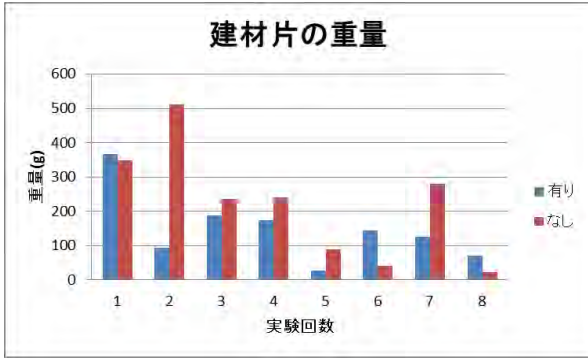


図 2.2.4 アスベスト含有建材片の重量

目視判定でアスベスト有りの建材片の分析結果
「有り」分析結果も有り
「なし」分析結果はなし



図 2.2.5 アスベスト含有建材片の個数

目視判定でアスベスト有りの建材片の分析結果
「有り」分析結果も有り
「なし」分析結果はなし

混入していたアスベスト建材の種類としてはスレート、コロニアル、ケイカル板等が多く(図 2.2.6)、この傾向は 2.1 解体現場調査におけるヒアリングの結果とも一致する。

以上のことから、再生砕石にアスベスト含有建材片が混入する原因として、混合廃棄物の取り扱い方法が考えられる。改築・解体現場において建材を取り外す際にかげ落ちた破片等の管理を徹底するか、それらの混入が想定される混合廃棄物は破砕せずに埋め立てるかの措置が有効と考えられた。

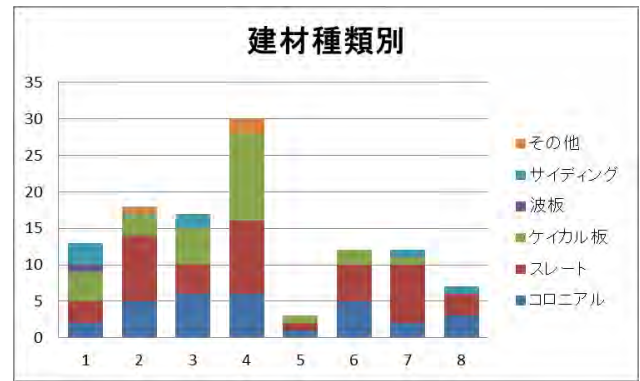


図 2.2.6 アスベスト含有建材片の個数

② 混合廃棄物選別実験-2

混合廃棄物の選別実験の様子を図 2.2.7 に示す。

今回目開き 9.5mm のふるいを使用したが、建材の微細な破片の混入が多く、短時間の手選別では選別困難な粒分(手選別残)が存在した。今後の課題としたい。

再生砕石の製造を行っている施設における混合廃棄物選別実験結果を図 2.2.8～2.2.11 に示す。当該施設においては、がれき類の破砕を行っていないことから、粗大物の割合が高い傾向があった。①の施設に比べて 10mm 以下のふるい下の割合は相対的に低かった。粗大物を除いた選別結果(図

選別実験



図 2.2.7 選別実験のようす

2.2.10～2.2.11) では、①の施設に比べてがれきの割合が低く、建材類の比率が高いという特徴があった。

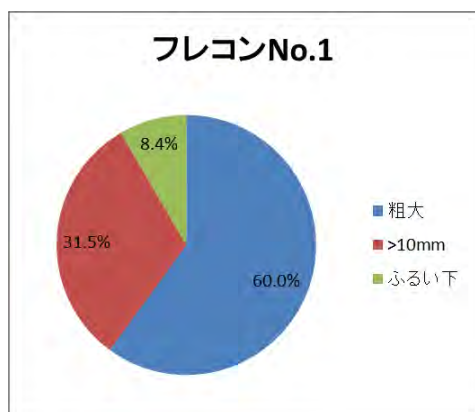


図 2.2.8 粗選別 1 回目結果

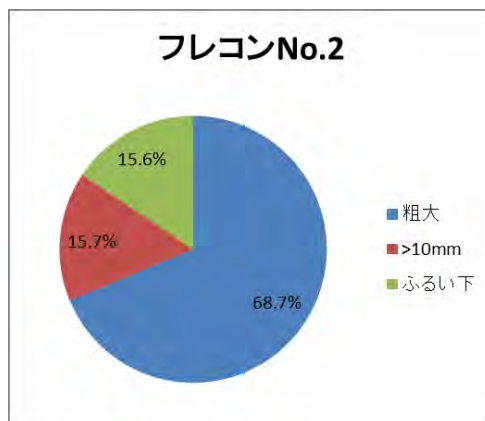


図 2.2.9 粗選別 2 回目結果

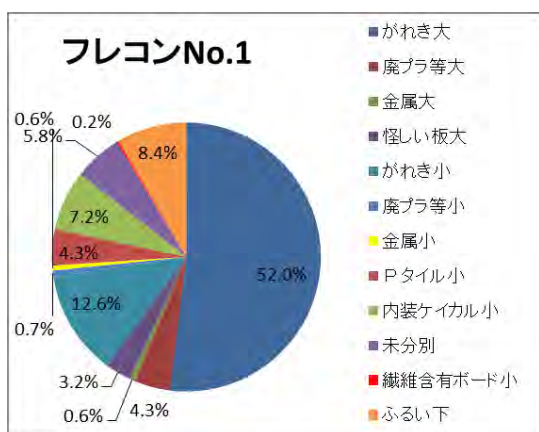


図 2.2.10 手選別実験 1 回目結果

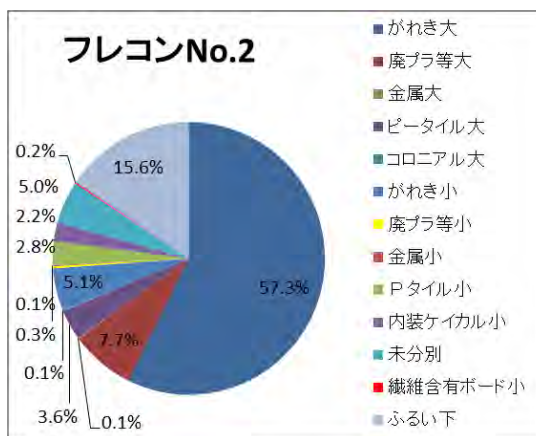


図 2.2.11 手選別実験 2 回目結果

③ 混合廃棄物選別実験－3

混入廃棄物種の多い廃棄物の選別実験結果を図 2.2.12 に示す。がれき類の割合はがれき類主体の①の廃棄物に比べて少なく、約 17%であった。特徴としてガラスくずを多量に含んでいた。これは、解体された建築物がガラス製品を多量に扱う商店であったため解体廃棄物に混入したものと考えられる。20mm のふるいを使用したため、選別残差はほとんど発生しなかったがふるい下の量が倍増した。

このように、混合廃棄物に占める細粒分の比率はかなり大きく、重量では 10mm 以下で 23～27%、20mm 以下では 56%であった。

混合廃棄物に含まれていたアスベスト含有建材は 0.1～2wt%で、選別後に再利用可能と考えられる金属くずは 1～2wt%程度で

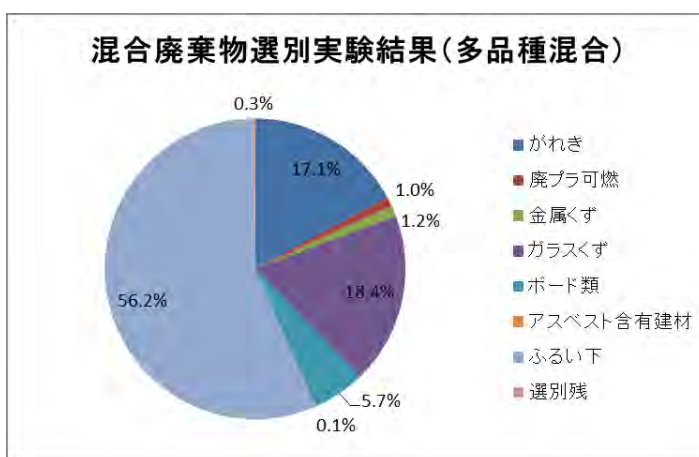


図 2.2.12 混入廃棄物種の多い混合廃棄物の組成

あった。

上流側での混入防止対策の徹底が重要なのは言うまでもないが、アスベスト含有建材片が混入している混合廃棄物は、混合物として破碎等の処理を行わず、粉塵飛散防止対策をしながら埋立処分するのが現状ではコスト的に有利な方法と考えられた。

2.3 アスベスト含有建材片の再生砕石への混入評価方法の検討

日本工業大学 小野 雄策

2.3.1 目的

道路や駐車場などに敷き均されている再生砕石中に石綿含有産業廃棄物（以後、アスベスト含有建材片と記す）が混入した事案が発覚し、厚生労働省、国土交通省及び環境省の三省において、再生砕石へのアスベスト含有建材片の混入防止の徹底等が諮られ通知等がなされた¹⁾。

これらの問題を解決するために、道路などに敷設された再生砕石中にアスベスト含有建材片が混入しているかどうか、精度よく測定することが求められている。砂利道にアスベスト含有建材片が混入しているかどうかを調査する手法は、JIS K0060「産業廃棄物のサンプリング方法」²⁾によることが多い。そこで、本調査ではこの JIS 法の精度を高める方法を検討した。

2.3.2 道路における轍（わだち）を考慮した再生砕石中のアスベスト含有建材片の混入率調査

(1) 実験方法

本研究は、図 2.3.1 に示した赤枠内の再生砕石が敷設された民地道路（以後、調査範囲と記す）で実施した。

調査範囲（ロット）について実測及び設計図書等の調査結果を表 2.3.1 に示した。調査範囲における再生砕石の総重量は、再生砕石の見かけ比重を 1 とすると、この表より体積が 2.7m³なので、2.7t をロットの大きさとした。



図 2.3.1 道路調査範囲

表 2.3.1 調査範囲の再生砕石

砕石規格	敷設年月日	縦(m)	幅(m)	深さ(m)	体積(m ³)
RC-40	2010年4月15日	31.2	3.4	0.025	2.7

1) 試料採取の条件設定

試料採取は JIS K0060 産業廃棄物のサンプリング方法（以後、JIS K0060 と記す）に準拠して実施した。インクリメントの最小必要個数及び平均体積は、表 2.3.2~3 に示した。これは JIS K0060 に規定される値を準用したものである。

また、インクリメントの必要最小個数は、表 2.3.3 よりロットの大きさ 2.7t に対応するインクリメント数なので、10 となった。

表 2.3.2 インクリメントの大きさ（重量）と必要最小個数

ロットの大きさ (t)	インクリメントの必要最小個数
1未満	6
1以上 5未満	10
5以上 30未満	14
30以上 100未満	20
100以上 500未満	30
500以上 1000未満	36
1000以上 5000未満	50
5000以上	60

表 2.3.3 インクリメントの最大粒度と大きさ（平均体積）（JIS K0060 から引用）

最大粒度 mm	1	5	10	16	22.4	31.5	40	50	71	100	125	150
インクリメントの平均体積 ml	16	70	120	180	270	380	730	1,600	3,700	11,000	21,000	35,000

調査範囲における再生砕石の規格（表 2.3.1）は RC-40 で、その粒度範囲は 53mm が最大粒度であり³⁾、この粒度の近似値である 50mm（表 2.3.3）を最大粒度に設定した。この場合の 1 インクリメントの平均体積は 1.60(1,600ml)となる。しかし、調査範囲は図 2.3.2 に示したように、中央部に凸部が、車両跡の両サイド付近に凹部が形成されており、再生砕石に偏りがあることから、図 2.3.3 に示したように道路の進行方向に対して垂直に長方形のインクリメントを設定することで偏りの消去を試みた。



図 2.3.2 調査地域の道路状況

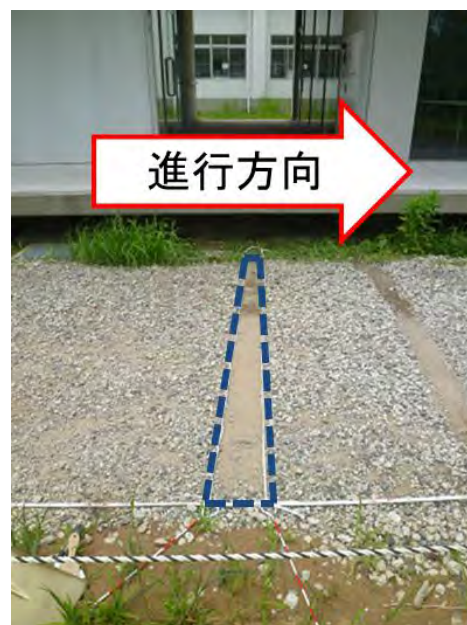


図 2.3.3 インクリメントの形状

その結果、JIS K0060 を準用した場合の 1 インクリメント体積 1.60 に対して、約 10 倍の 170 が 1 インクリメント体積（縦 0.2m×横 3.4m×深さ 0.025m）となった。このインクリメント体積に対する最小必要個数（インクリメント数）について検証した。検証するために、全ロット数である 50 インクリメントをすべて採取し、アスベスト含有建材片の混入率の真値を同時に調べた。また、アスベスト含有建材片の混入は、目視判定により行った。目視判定の方法は、5.6mm 以上の再生砕石について、形状的特徴等から判別した。

b) 再生砕石の篩別及び目視判定

採取した再生砕石を風乾した後、5mm のふるいで篩別し、5mm 以上の再生砕石は埼玉県環境科学国際センターによる方法「アスベスト含有建材適正処理推進のためのアスベスト講習会用テキスト（以後、アスベスト講習会テキストと記す）」⁴⁾に準拠し、目視によるアスベスト含有建材片の判定を行った。

目視判定によるアスベスト繊維の確認は、その砕石中に含まれるアスベスト繊維の形態に依存する部分が多い。また、砕石に土埃が付着している場合は目視判定が困難となる。アスベスト講習会用テキストでは、目視判定前処理の方法の一つとして、建材（アスベスト含有建

表 2.3.4 再生砕石等の重量比及び検出率

項目	重量(g)	石綿検出率(%)		
		>5mm	全体	
>5mm	再生砕石	1,080,730	99.7	83.9
	ガラス	310	0.029	0.024
	陶磁器	1,941	0.179	0.151
	塵ブラ	27	0.002	0.002
	塩ビ	73	0.007	0.006
	鉄くず	115	0.011	0.009
	石綿砕石	602	0.056	0.047
小計	1,083,797	100.0	84.1	
<5mm	204,690	-	15.9	
合計	1,288,487	-	100.0	

材片)の断面を観察する方法を紹介しているが、建材を破断した場合にアスベストが飛散する恐れがあることから、アスベスト含有建材片を超音波洗浄器にて約1分間洗浄を行い、付着している土埃を除去後風乾して再び目視判定を行った。

判定基準は、再生碎石の表面及び断面にある繊維束を目視により判定するもので、定性困難なものは再生碎石の断面を破断し、新たな断面を出して繊維束を確認し、あるいはバーナー等で繊維束をあぶり、繊維の熔融等を確認してアスベスト含有の判断を行った。アスベスト含有建材片の洗浄後、USB デジタルスコープを用いて、各アスベスト含有建材片を60倍率と200倍率で写真撮影した。

(2) 結果及び考察

170の再生碎石を1インクリメント体積として、調査道路全域(10m)の50インクリメントを採取した。全採取試料を5mm以上に篩別し、この5mm以上の碎石について目視判定及び組成分析を行った。ガラス、陶磁器、廃プラ、塩ビ、鉄くず及びアスベスト含有建材片の重量当たりの検出率を求め、表2.3.4に示した。

表2.3.4より、本調査では5mm以上の碎石中におけるアスベスト含有建材片の重量検出率を求めることにした。試料の5mm以上の総重量を100%とした場合、検出されたアスベスト含有建材片の重量比率(以後、検出率とする)は0.056%(真値)であり、目視判定により分類された不純物6種類(ガラス・陶磁器・廃プラ・塩ビ・鉄くず及びアスベスト含有建材片)のなかでは、陶磁器の次に高い値であった。

表 2.3.5 インクリメント数ごとの平均検出率

インクリメント数	石綿碎石の検出率(%)					最大値	最小値	変動幅	平均	標準偏差	変動係数	t分布 α:危険率5%
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目							
1	0.040	0.081	0.024	0.023	0.074	0.081	0.023	0.058	0.048	0.028	0.569	0.034
2	0.027	0.065	0.025	0.108	0.048	0.108	0.025	0.084	0.055	0.034	0.627	0.043
3	0.061	0.065	0.057	0.028	0.048	0.065	0.028	0.037	0.052	0.015	0.282	0.018
4	0.034	0.070	0.078	0.085	0.038	0.085	0.034	0.051	0.061	0.023	0.385	0.029
5	0.069	0.037	0.036	0.062	0.072	0.072	0.036	0.036	0.055	0.017	0.314	0.022
6	0.049	0.057	0.060	0.054	0.079	0.079	0.049	0.029	0.060	0.011	0.188	0.014
7	0.060	0.077	0.071	0.035	0.064	0.077	0.035	0.042	0.061	0.016	0.262	0.020
8	0.070	0.071	0.050	0.067	0.043	0.071	0.043	0.028	0.060	0.013	0.214	0.016
9	0.063	0.076	0.058	0.064	0.068	0.076	0.058	0.018	0.065	0.007	0.103	0.008
10	0.064	0.054	0.065	0.043	0.069	0.069	0.043	0.026	0.059	0.011	0.180	0.013
11	0.057	0.057	0.036	0.035	0.055	0.057	0.035	0.022	0.048	0.011	0.235	0.014
12	0.029	0.048	0.065	0.052	0.047	0.065	0.029	0.036	0.048	0.013	0.270	0.016
13	0.039	0.045	0.050	0.055	0.058	0.058	0.039	0.019	0.050	0.008	0.153	0.009
14	0.059	0.043	0.049	0.065	0.062	0.065	0.043	0.021	0.056	0.009	0.163	0.011
15	0.066	0.040	0.058	0.047	0.059	0.066	0.040	0.026	0.054	0.010	0.192	0.013
16	0.051	0.053	0.044	0.055	0.054	0.055	0.044	0.011	0.052	0.004	0.083	0.005
17	0.047	0.054	0.050	0.058	0.066	0.066	0.047	0.019	0.055	0.007	0.135	0.009
18	0.066	0.056	0.055	0.053	0.066	0.066	0.053	0.013	0.059	0.006	0.107	0.008
19	0.052	0.056	0.068	0.067	0.066	0.068	0.052	0.016	0.062	0.007	0.119	0.009
20	0.061	0.064	0.055	0.054	0.054	0.064	0.054	0.010	0.058	0.005	0.079	0.006
21	0.049	0.050	0.062	0.056	0.072	0.072	0.049	0.023	0.058	0.009	0.163	0.012
22	0.066	0.057	0.058	0.056	0.044	0.066	0.044	0.021	0.056	0.008	0.136	0.009
23	0.046	0.057	0.053	0.063	0.052	0.063	0.046	0.017	0.054	0.006	0.117	0.008
24	0.050	0.060	0.058	0.054	0.062	0.062	0.050	0.011	0.057	0.005	0.083	0.006
25	0.062	0.050	0.066	0.055	0.063	0.066	0.050	0.016	0.059	0.006	0.108	0.008
26	0.044	0.051	0.063	0.054	0.063	0.063	0.044	0.020	0.055	0.008	0.153	0.010
27	0.060	0.058	0.047	0.054	0.059	0.060	0.047	0.013	0.056	0.005	0.095	0.007
28	0.054	0.049	0.060	0.047	0.047	0.060	0.047	0.013	0.051	0.006	0.109	0.007
29	0.059	0.059	0.048	0.061	0.061	0.061	0.048	0.013	0.058	0.005	0.091	0.007
30	0.057	0.055	0.063	0.060	0.053	0.063	0.053	0.010	0.058	0.004	0.069	0.005
31	0.061	0.054	0.061	0.052	0.049	0.061	0.049	0.012	0.055	0.005	0.097	0.007
32	0.057	0.046	0.053	0.058	0.057	0.058	0.046	0.012	0.054	0.005	0.094	0.006
33	0.058	0.053	0.055	0.057	0.050	0.058	0.050	0.008	0.054	0.003	0.060	0.004
34	0.060	0.055	0.055	0.062	0.054	0.062	0.054	0.008	0.057	0.003	0.061	0.004
35	0.052	0.061	0.054	0.047	0.057	0.061	0.047	0.015	0.054	0.006	0.103	0.007
36	0.063	0.053	0.056	0.061	0.056	0.063	0.053	0.010	0.058	0.004	0.070	0.005
37	0.051	0.049	0.056	0.051	0.062	0.062	0.049	0.013	0.054	0.005	0.099	0.007
38	0.052	0.055	0.052	0.052	0.056	0.056	0.052	0.004	0.053	0.002	0.038	0.002
39	0.051	0.058	0.057	0.054	0.055	0.058	0.051	0.008	0.055	0.003	0.053	0.004
40	0.054	0.058	0.054	0.056	0.060	0.060	0.054	0.006	0.056	0.002	0.044	0.003
41	0.050	0.057	0.058	0.058	0.057	0.058	0.050	0.008	0.056	0.003	0.060	0.004
42	0.060	0.054	0.054	0.056	0.055	0.060	0.054	0.006	0.056	0.003	0.046	0.003
43	0.054	0.059	0.055	0.057	0.058	0.059	0.054	0.005	0.057	0.002	0.034	0.002
44	0.054	0.057	0.055	0.056	0.056	0.057	0.054	0.003	0.056	0.001	0.021	0.001
45	0.054	0.058	0.056	0.057	0.055	0.058	0.054	0.004	0.056	0.002	0.030	0.002
46	0.057	0.054	0.056	0.058	0.054	0.058	0.054	0.004	0.056	0.002	0.029	0.002
47	0.057	0.057	0.055	0.055	0.056	0.057	0.055	0.002	0.056	0.001	0.015	0.001
48	0.056	0.055	0.054	0.057	0.055	0.057	0.054	0.003	0.055	0.001	0.019	0.001
49	0.053	0.055	0.056	0.057	0.056	0.057	0.053	0.004	0.055	0.001	0.024	0.002
50	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000

このインクリメント数と再生碎石のアスベスト含有建材片検出率の真値との差を検証した。5mm以上の全碎石を調べたところ、アスベスト含有建材片が検出されなかったインクリメント数は、50インクリメント中1インクリメントしかなかった。従って、調査範囲に設定した1インクリメント体積170で2インクリメント以上を

採取することでアスベスト含有建材片が検出されることになる。

正規の1インクリメント体積1.6ℓで採取すると、本研究の1インクリメント体積17ℓは、1インクリメント体積1.6ℓの10倍に相当し、17ℓ体積の1インクリメントからアスベスト含有建材片が平均で3.4個検出されていた。従って、この体積17ℓのインクリメントは1インクリメント体積1.6ℓとした場合の10インクリメントに相当し、1.6ℓとした場合のアスベスト含有建材片の不検出となるインクリメント数は6~7インクリメント以上であると予想された。

次に、インクリメント体積が17ℓにおける採取インクリメントの個数を増やすことにより、アスベスト含有建材片の含有率がどのように変化するか検証した。検証にあたり、採取したインクリメント個数に応じて、すべてのインクリメントを混ぜ合わせ5mm以上の砕石中にアスベスト含有建材片が検出されるか調べた。また、5回の繰り返し試験におけるアスベスト含有建材片の平均検出率及び変動係数等を求めた。その結果を表2.3.5に示した。

インクリメント数1から採取試料の絶対数であるインクリメント数50(母集団)までの検出率を求めた。また、5回のランダムサンプリング時におけるアスベスト含有建材片の検出率及検出率真値を図2.3.4に示した。

標本平均値が95%信頼区間に入るためのインクリメント数は、母集団の検出率を0.06%とすると15インクリメントが必要となり、0.056%まで検出するには20インクリメント以上が必要であった。

また、JIS K0060によると調査範囲ではインクリメントの最小必要個数が10個だが、JIS K0060ではそのロットの予備知識がない場合は最小必要個数の2倍以上のインクリメントを採取することと規定される。今回の調査のように真値が0.056%の場合、95%信頼区間の幅が真値の1/2以下(0.028%)になるインクリメント数は、13インクリメント以上の試料採取が必要であった。さらに、1/3以下(0.019%)にするには27インクリメントの試料採取が必要であることが分かった。これらのことを考慮すると信頼区間が小さく安定した試料採取を行うには15インクリメント以上が必要かもしれない。

(3) まとめ

道路に敷設された再生砕石に含まれるアスベスト含有建材片の含有率を求めるため、JIS K0060「産業廃棄物のサンプリング方法」に準拠して試料を採取した。

JIS K0060によると、再生砕石RC-40の最大粒度53mmよりインクリメント体積は1.7ℓで、調査範囲のロッ

表 2.3.6 インクリメント数と95%信頼区間

インクリメント数	平均(%)	t分布	95%信頼区間		幅 上限-下限(%)
		α:危険率5%	下限(%)	上限(%)	
1	0.048	0.034	0.014	0.083	0.068
2	0.055	0.043	0.012	0.097	0.085
3	0.052	0.018	0.034	0.070	0.036
4	0.061	0.029	0.032	0.090	0.058
5	0.055	0.022	0.034	0.077	0.043
6	0.060	0.014	0.046	0.074	0.028
7	0.061	0.020	0.041	0.081	0.040
8	0.060	0.016	0.044	0.076	0.032
9	0.065	0.008	0.057	0.074	0.017
10	0.059	0.013	0.046	0.072	0.026
11	0.048	0.014	0.034	0.062	0.028
12	0.048	0.016	0.032	0.064	0.032
13	0.050	0.009	0.040	0.059	0.019
14	0.056	0.011	0.044	0.067	0.023
15	0.054	0.013	0.041	0.067	0.026
16	0.052	0.005	0.046	0.057	0.011
17	0.055	0.009	0.046	0.064	0.018
18	0.059	0.008	0.051	0.067	0.016
19	0.062	0.009	0.052	0.071	0.018
20	0.058	0.006	0.052	0.063	0.011
21	0.058	0.012	0.046	0.069	0.023
22	0.056	0.009	0.047	0.066	0.019
23	0.054	0.008	0.046	0.062	0.016
24	0.057	0.006	0.051	0.063	0.012
25	0.059	0.008	0.051	0.067	0.016
26	0.055	0.010	0.044	0.065	0.021
27	0.056	0.007	0.049	0.062	0.013
28	0.051	0.007	0.044	0.058	0.014
29	0.058	0.007	0.051	0.064	0.013
30	0.058	0.005	0.053	0.063	0.010
31	0.055	0.007	0.049	0.062	0.013
32	0.054	0.006	0.048	0.061	0.013
33	0.054	0.004	0.050	0.059	0.008
34	0.057	0.004	0.053	0.062	0.009
35	0.054	0.007	0.047	0.061	0.014
36	0.058	0.005	0.053	0.063	0.010
37	0.054	0.007	0.047	0.060	0.013
38	0.053	0.002	0.051	0.056	0.005
39	0.055	0.004	0.051	0.059	0.007
40	0.056	0.003	0.053	0.059	0.006
41	0.056	0.004	0.052	0.060	0.008
42	0.056	0.003	0.053	0.059	0.006
43	0.057	0.002	0.054	0.059	0.005
44	0.056	0.001	0.054	0.057	0.003
45	0.056	0.002	0.054	0.058	0.004
46	0.056	0.002	0.054	0.058	0.004
47	0.056	0.001	0.055	0.057	0.002
48	0.055	0.001	0.054	0.057	0.003
49	0.055	0.002	0.054	0.057	0.003
50	0.056	0.000	0.056	0.056	0.000

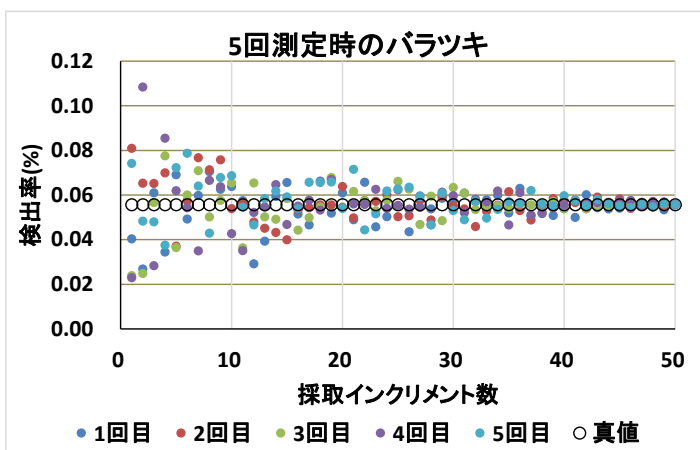


図 2.3.4 石綿砕石の検出率平均値

トの大きさは5t未満であるため、採取すべきインクリメント数10の試料採取が求められている。

しかし、道路での再生砕石の分布が車輪の轍により異なっていたので、道路の進行方向に垂直に道幅全部を1インクリメントとし、その体積は約10倍の17ℓを採取し、15インクリメント以上を採取すると、限りなく真値に近い検出率となった。これはJIS法の約16倍の試料を採取したことになる。

2.3.3 単位面積を基準とした試料採取による再生砕石中のアスベスト含有建材片の混入率調査

(1) 実験方法

再生砕石(RC-40)が敷設された車などの交通量が少ない前節とは別の道路において、単位面積を基準とした試料採取による再生砕石中のアスベスト含有建材片の混入率調査を実施した。

単位面積は区画割りにより設定した。単位面積(m²)は、区画長0.20m×区画幅0.13m=0.026m²とした。また、平均深さは約2.8cmであった。単位面積0.026m²を1倍(0.73ℓ)として、2倍(1.46ℓ)、5倍(3.64ℓ)、10倍(7.28ℓ)、20倍(14.6ℓ)の面積について、再生砕石をランダムに10か所から採取した。採取した再生砕石を5.6mmのふるいで篩別し、目視判定によりアスベスト含有建材片を検出した。

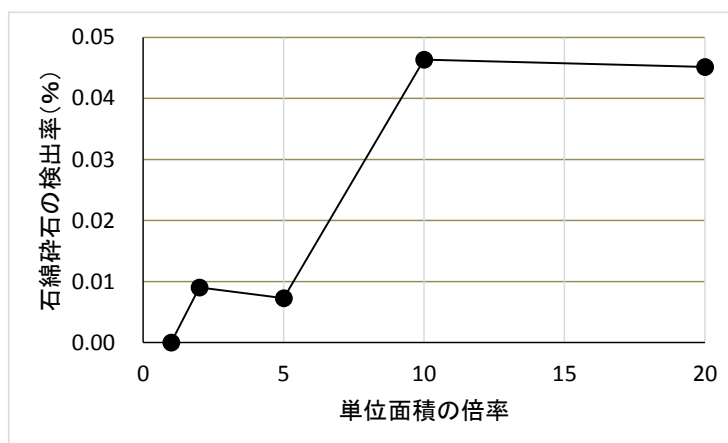


図 2.3.5 石綿砕石の検出率

(2) 結果及び考察

採取した再生砕石中の5.6mm以上のアスベスト含有建材片の平均混入率(CASM)を(式1)より求めた。

$$\text{CASM} = \text{ASM} / \text{RM} \times 100 \dots (\text{式1})$$

CASM : 5.6mm以上のアスベスト含有建材片の平均混入率(wt%)

ASM : 5.6mm以上のアスベスト含有建材片(g)

RM : 5.6mm以上の再生砕石(g)

採取した単位面積が1倍(0.026m²)以下のときは、5.6mm以上の再生砕石中のアスベスト含有建材片は不検出となることが多かった。

採取した面積が単位面積の10倍(0.26m²)以上のときに、5.6mm以上のアスベスト含有建材片の平均含有率が約0.045%で安定した(図2.3.4)。

また、5.6mm以上のアスベスト含有建材片の平均含有率が安定した単位面積の10倍(0.26m²)は、敷設された再生砕石の平均深さで体積換算すると約7.3ℓになった。

(3) まとめ

車や人の往来の少ない偏りのない砂利道において、単位面積を基準として試料を採取するには、採取数(インクリメント数)を10として、面積:0.26m²(0.5m×0.5m四方にするとよい。体積:約7.3ℓ)以上採取することでアスベスト含有建材片の検出率が安定した。一方、面積が0.026m²(体積換算:0.73ℓ)の場合は、アスベスト含有建材片が検出されないことが多かった。

2.3.4 再生砕石中から検出されたアスベスト含有建材片の建築材料の分類について

(1) 実験方法

本調査で検出されたアスベスト含有建材片をその形態的特徴から使用された建築資材の種類分けを行った。付着している土壌を超音波洗浄で洗い落としした後に、アスベスト含有建材片の形状及び塗装の有無などを観察することで建築資材の種類分けを行った。

(2) 結果及び考察

建築資材の種類分けを行った結果、アスベスト含有建材片は「1.コロニアル、2.板スレート、3.波スレート、

4. その他」の4種類に分類された。その他の建材としてけい酸カルシウム板などが確認された。

発見されたアスベスト含有建材片の重量ベースでは、その他を除くとコロニアル、板スレート、波スレートなどの仕上げ材が約96%(610g)を占めていた。また、個数ベースではこれらの仕上げ材が約98%(190個)を占めていた。

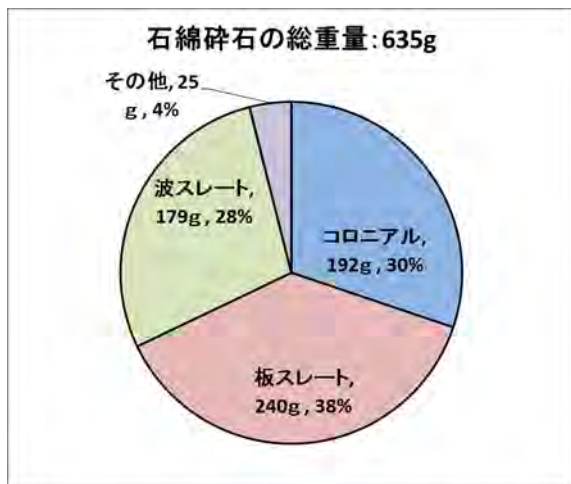


図2.3.6 アスベスト含有建材片の総重量

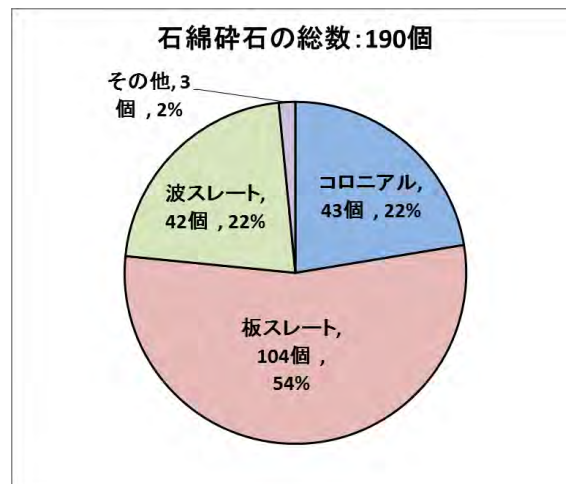


図 2.3.7 アスベスト含有建材片の総数

(3) まとめ

再生砕石中に混入してしまったアスベスト含有建材片を取り除くことは困難であり、解体や中間処理をはじめとした上流側で適切に処理処分することが望まれる。

したがって、コロニアルやスレートをはじめとした外装材は分別して処理し、他の建築資材と混ぜ合わせて処理を行わないことが、アスベスト含有建材片の混入防止につながるものと考えられる。

2.3.5 参考文献

- 1) 国土交通省, 環境省: “再生砕石への石綿含有産業廃棄物の混入防止等の徹底について”, <http://www.env.go.jp/hourei/add/k026.pdf> (2010)
- 2) 日本工業規格: JIS K0060 「産業廃棄物のサンプリング方法」(1992)
- 3) 国土交通省: 港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針のとりまとめ, <http://www.mlit.go.jp/kowan/recycle/2/04.pdf> (2004)
- 4) 埼玉県環境科学国際センター: 石綿含有建材適正処理推進のための石綿講習会用テキスト

3. アスベスト含有建材の迅速判定法の確立

3.1 アスベスト含有建材目視判定法の確立

埼玉県環境科学国際センター 川寄幹生、鈴木和将

3.1.1 目視判定方法の判定性能評価

(1) はじめに

建築物の解体や廃棄物処理に係わる石綿対策は石綿障害予防規則(石綿則)、廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃掃法)及びそれらをふまえたマニュアル、ガイドライン等で詳細な取り決めがなされている。規則

及び法律を遵守し、マニュアル等に従い、建物の分別解体及び廃棄物処理を行えば何も問題は生じないはずである。

しかし、実際の解体現場へ行くと、非飛散性アスベスト含有建材に係わる事前調査を実施していない事案が多く見られる。現場での作業員への聞き取り調査から、事前調査が行われない理由として、①解体費用が安い、②手ばらしには時間を要する、③非飛散性アスベスト含有建材は安全である、④アスベストの分析費用、石綿含有産業廃棄物の処理費用が高い、⑤石綿含有産業廃棄物の処分地が近隣にない、⑥アスベストに関する認識がない（特に若年作業員）等で有ることがわかった。また、建築廃棄物から有効利用されている再生砕石中からは、アスベスト含有建材片の混入が認められている。

このような現状は、建築物の解体において、非飛散性アスベスト含有建材の分別解体が行われていない現場が多数有ることを推測させるものである。解体時におけるアスベスト飛散による作業員の暴露、あるいは中間処理工場へ搬入された解体廃棄物の破碎時におけるアスベスト飛散による作業員の暴露、さらには再生砕石敷設時や最終処分場での埋立時における作業員の暴露及び周辺環境への飛散が危惧される。

一方、アスベスト含有建材の分析法は「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」JIS A1481:2008 に規定されている位相差分散顕微鏡及びX線回折装置を用いる手法である。顕微鏡法は専門性が高く、また、X線回折法は現場での迅速な測定に不向きな手法であるため、分析費用が高かつ現場での判定には不向きな手法である。

したがってアスベスト含有建材に係わる健康被害及び環境汚染を未然に防ぐためには、解体現場及び建設廃棄物中間処理現場において、現場作業員や現場検査を行う行政職員が時間をかけず、かつ、容易に建材中に含有されているアスベストを判定する手法の構築が必要不可欠である。

そこで我々は、アスベストの特性、“繊維束を形成する”、“耐火性”、“天然鉱物繊維（不均一）”、“非常に細く、先端が尖っている”に着目し、また、アスベスト分析におけるこれまでの経験（実体顕微鏡で繊維束が観察できる建材が多い）からアスベスト含有建材目視判定法について検討を行った。

本報告では、アスベスト含有建材の目視判定方法の構築の一環として実施した行政及び業界団体向けのアスベスト講習会の講習内容及びアスベスト含有建材目視判定テスト結果、及びアスベストの目視判定におけるアスベスト含有率評価法についても検討した。

(2) アスベスト関連行政職員及び関連業界団体向けアスベスト講習会の概要

アスベスト講習会では1)アスベストについての基礎知識、2)アスベスト含有建材について、3)アスベスト吸引に関わる健康影響、4)非飛散性アスベスト含有建材からのアスベストの飛散について、5)アスベスト含有廃棄物の処理経路、6)アスベスト含有目視判定法について、7)解体現場及び再生砕石敷設現場において採取したアスベスト含有建材片について写真を用いた説明を行った。

(3) アスベスト講習会

講習会は、①基礎知識習得のための講習、②目視判定法理解のための解説、③ルーペを使った目視判定トライアル（多種の石綿含有建材を試す）、そして④建材片による石綿目視判定テスト（8 検体）から構成されている。1 講習の時間は1～3時間である。

(4) アスベスト目視判定テスト試料

テスト試料は図 3.1.1 に示したように 8 検体の建材片及びルーペ（15 倍）を 1 ケースに入れている。各検体は家屋解体現場から採取した建材片や再生砕石敷設現場から採取した建材片である。各ケース全て同じ検体を準備したわけではないが、検体番号にあわせ、可能な限り同じ種類の検体を準備した。各検体の特徴を表 2.1.1 に示した。

40 ケースのアスベスト目視判定用テストを準備したため、特に再生砕石から採取した建材片については、アスベスト繊維束を確認しづらいものもある。これまでのアスベスト含有建材分析の経験から、外装材や屋根材



図 3.1.1 石綿含有建材判定テスト試料

のような比較的硬い建材は、断面のアスベスト繊維束を見つけやすい。一方、天井材、内装材や軒天のような比較的柔らかい建材は、断面のアスベスト繊維を見つけることが難しい(母材の色が白系であることが多く、アスベスト以外の繊維を含んでいることが多い)。そのため、テスト試料には判断しやすい外装材及び判断しづらい内装材双方を加えた。再生砕石から採取した検体は、建材片断面を見やすくするためにブラシを用いて泥を落とし、水洗した。

(5) 目視判定テスト参加者数

アスベスト講習会は9回行い、テスト回答者数は518名であった。各講習会における詳細を表2.1.2に示した。講習会を開催した順番に並べてあるため、開催を重ねるたびに、テスト検体以外の観察するための試料は種類等が豊富になった。3及び4の講習会は講習会の都合上、観察時間や目視判定についての説明は最低限に抑えた。

目視判定テストは表2.1に示したように2種類有り、回答者によってはどちらのテスト試料を用いたかの判断

表 3.1.1 各検体の特徴

検体番号	1	2	3	4
検体の特徴	[砕] スレート (有)	[砕] 波板 (有)	[砕] 板状 (無)	[砕] スレート (有)
検体番号	5	6	7	8
検体の特徴	[解] 天井板 (無)	[解] パイプ (有)	[砕] スレート (有)	[解] 波板 (有)
		[解] 内装板 (有)	[解] 目隠板 (有)	[解] 内装板 (無)

[砕] 再生砕石中から採取；[解] 解体現場から採取；(有) 石綿含有；(無) 石綿無し

表 3.1.2 各講習会の参加者及び回答者数

	主な参加者	参加者数	検体8回答数
1.	管理者・行政	59	59
2.	作業員	78	78
3.	管理者・作業員	83	59
4.	管理者・作業員	41	28
5.	行政職員	33	33
6.	行政職員	42	40
7.	行政職員	39	39
8.	行政職員	55	55
9.	管理・作業・行政	88	86
	合計	518	477

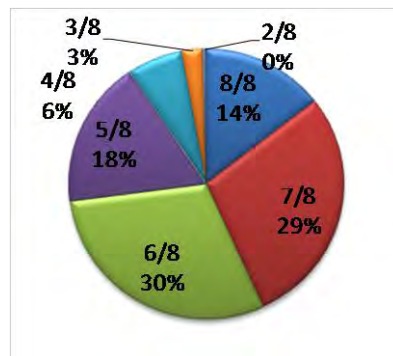


図 3.1.2 正答数の割合

ができなかったため、検体8については、判定ができる結果のみを有効回答とした。検体8の有効回答数は477(92%)であった。講習会参加者は、主に1.建設廃棄物中間処理業管理者及び行政職員、2.建設廃棄物中間処理作業員(現場指導者)、3及び4.建設業、解体業、廃棄物処理業等の管理者及び作業員、5、6及び7.環境行政職員、8.土木行政職員、9.解体業管理者及び作業員、環境行政職員であった。

(6) 目視判定テストの正答率

図3.1.2に全体の正答数の割合を示した。全問正解者数は69名(14%)であった。また、4問以上(半数)正解した人は463名(97%)であった。また、全問不正解の人は誰もいなく、少なくとも2検体の正答があった。この結果から、ある程度のアスベスト目視判定の経験を積むことによって、建材断面にアスベスト繊維束が存在しているならば、アスベスト含有の判定を行う可能性が有ることが示唆された。

(7) 各講習会における正答率

1~9の各講習会における正答数の割合を図2.3に示した。

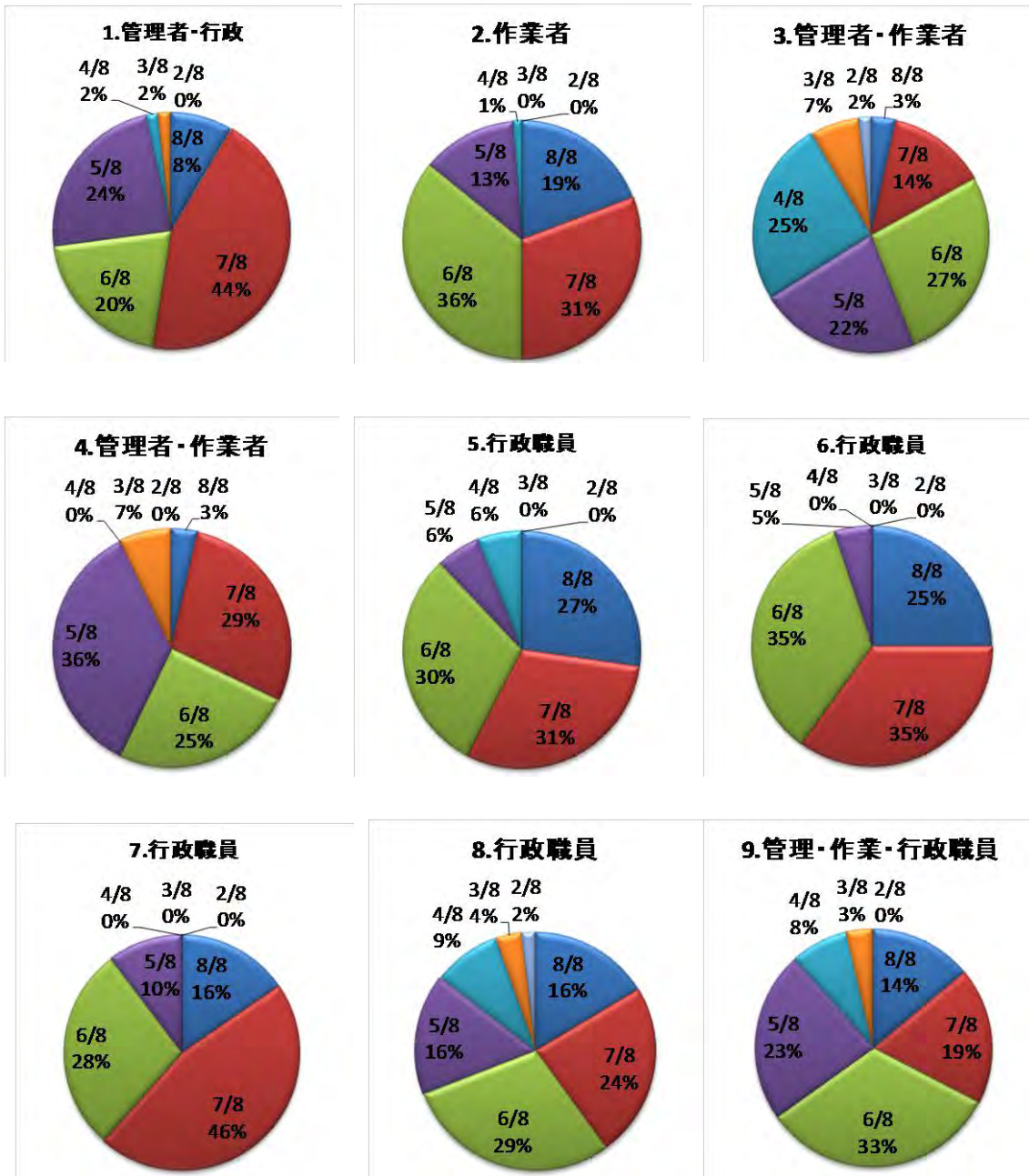


図 3.1.3 各講習会における正答数の割合

各講習会において正答数の割合に著しい違いは見られないが、目視判定法の説明や目視判定テスト前に時間を費やすことによって正答数が増える感がある。また、同じ行政職であっても、現在置かれている状況によって、講習会に取り組む姿勢が異なるためか（足下でアスベストに関する問題が生じているか否か）正答数がふえる傾向があった（6及び7の講習会に参加した職員）。

(8) 各検体における講習会別正答率

各検体、各講習会の正答率を図 3.1.4.1～図 3.1.4.X に示した。

図 2.4.1 に検体 1、再生砕石中から採取したアスベスト含有スレートの正答率（青）を示した。

講習会 3 をのぞき、全ての講習会において、60%以上の正答率であった。各講習会の結果から、再生砕石から採取したアスベスト含有片で有るため、検体によっては、アスベスト繊維束を確認しづらい検体が 20%~30%あると推測される。

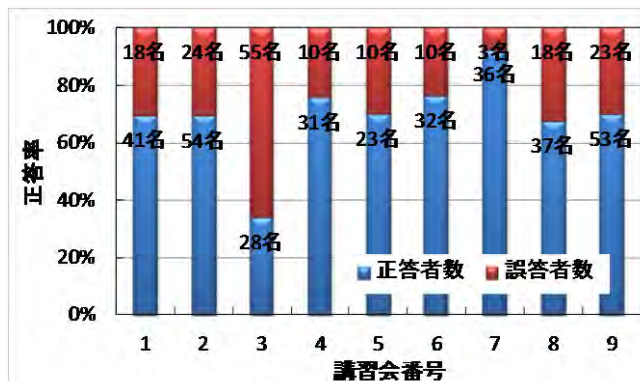


図 3.1.4.1 検体 1：砕石・石綿含有スレート

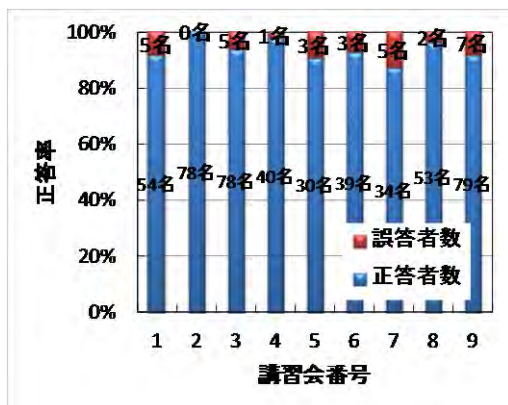


図 3.1.4.2 検体 2：砕石・石綿含有波板

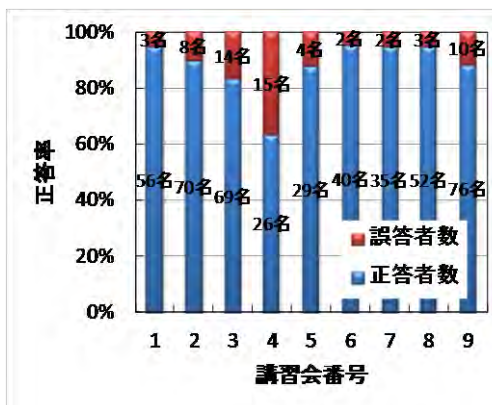


図 3.1.4.3 検体 3：砕石・板状（無）

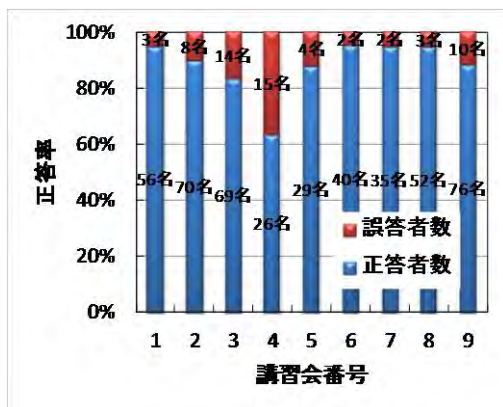


図 3.1.4.4 検体 4：砕石・石綿含有スレート

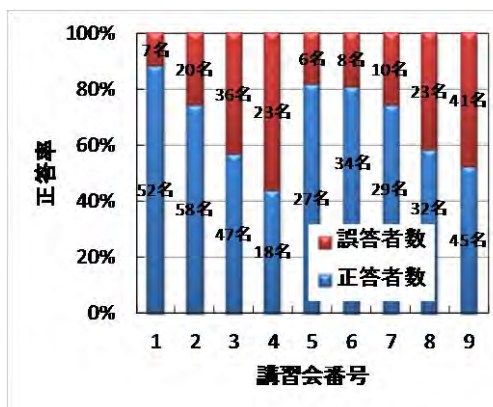


図 3.1.4.5 検体 5：解体・天井板（無）

検体 2 は波板片であり、曲面を持ちかつ断面や表面に繊維束を容易に観察できるため、検体の中でも特に高い正答率である。検体 3 はセメント板であるが、断面に繊維は観察できないため、良く断面を観察した場合、正答する確率が高くなると考えられる。検体 4 は砕石中から採取されたアスベスト含有スレート片である。ほとんどの検体は化粧屋根瓦（コロニアル）であり、断面に繊維束を容易に観察できるものが多い。また、片面の色や様相からコロニアルと推測して回答した人もいると考えられる。検体 5 は天井板、吸音板であり、繊維を多く含むため非常に判断が難しい建材である。アスベスト建材についてよく知っている監督者・作業者が多く出席した講習会 3 及び 4 において、正答率が低い安全サイドからの判断であったことが推測される。

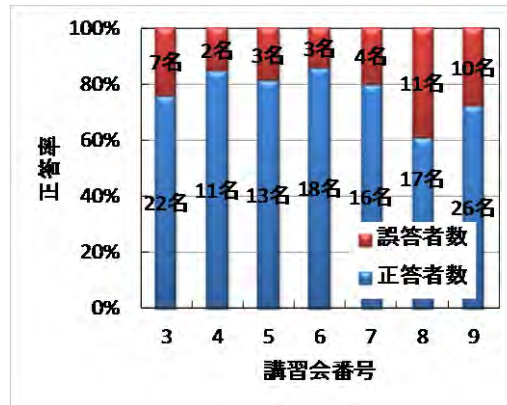
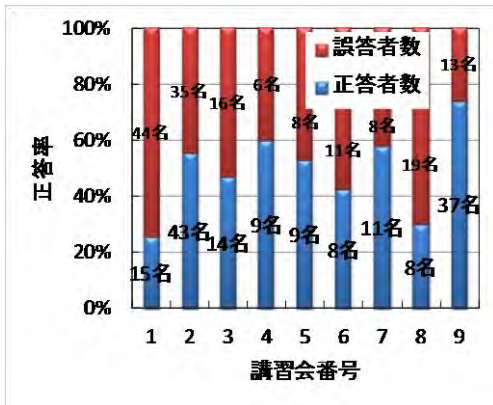


図 3.1.4.6a 検体 6：解体石綿含有パイプ

図 3.1.4.6b 検体 6：解体石綿含有内装壁板

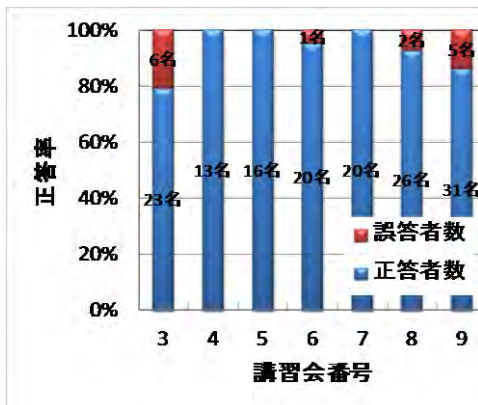
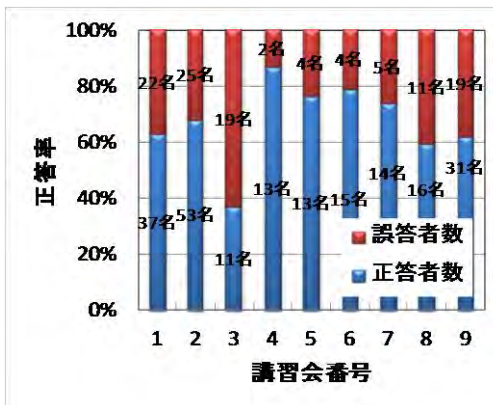


図 3.1.4.7a 検体 7：碎石・石綿含有スレート

図 3.1.4.7b 検体 7：解体石綿含有目隠板

検体 6a はアスベスト含有セメント管のジョイント部を破砕した建材である。断面に現れているアスベスト繊維束が非常に少なく、かつ、小さな束であるため見落としやすい建材である。検体 6b はケイ酸カルシウム板であり、アスベスト以外の繊維も多く含んでいるが、テスト前に行ったアスベスト含有建材の観察時において、大きさは異なるが同じ破片を用いていたため、正答率が高い結果であった。検体 7a は再生砕石敷設現場から採取したアスベスト含有スレート片であるため、検体によっては非常に見づらいものもある。検体 7b は一般家屋のベランダに設置されていた目隠し板である。断面からは非常に多くの繊維束が観察された。かなり、高い正答率である。誤回答した人は、あまりの繊維束の多さにアスベスト含有建材ではないと判断したのかもしれない。

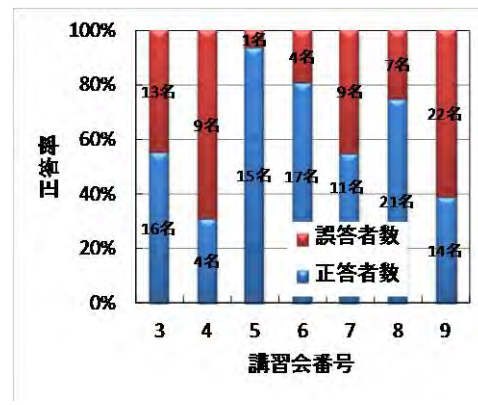
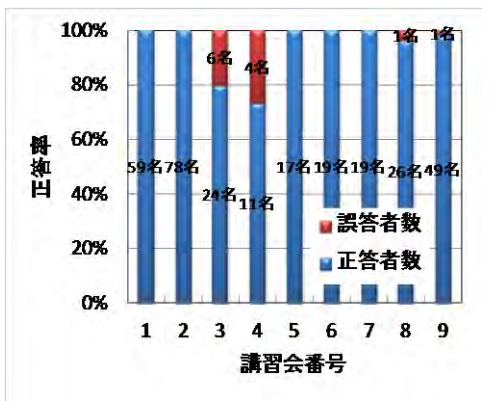


図 3.1.4.8a 検体 8：解体石綿含有波板

図 3.1.4.8b 検体 8：解体・内装壁板（無）

検体 8a は解体現場から採取したアスベスト含有波板片である。波板片の場合は形状及び断面の繊維束から、碎石、解体破片にかかわらず、容易に判定できることがわかった。検体 8b は白色有機繊維及び黒色鉱物繊維を含んでいる。トーチ等を用いて燃焼すると白色繊維はすぐに燃焼するので判別可能である。一方、黒色の鉱物繊維は熱に強く、かつ、ルーペや肉眼では細く見えるため判定が難しく、クロシドライトの繊維と混同したと考えられる。しかし、この黒色繊維は、全ての繊維が均一で、かつ、真っ直ぐであり尖っていないため、経験を積めば判別できると考えられる。

(9) アスベスト目視判定テストのまとめ

これらの結果からアスベスト目視判定法に適する建材と適さない建材があることがわかった。この判定法はアスベスト含有の可能性が高い廃建材をアスベストを含有しているものと見なして安全サイドの処理を行う（みなし処理）ための手法であり、アスベストが多量に含まれる建材の適正処理を推進するために適用を考案した手法であるため、適切にアスベスト含有調査に適用したならば、アスベスト含有建材の適正処理の推進に効果が期待できることがわかった。

3.1.2 目視判定方法の判定性能の改善

(1) はじめに

前述のとおり、アスベスト含有建材の除去・処分に関しては石綿則、大防法、廃掃法で規定され、さらに行政や関係団体から多くのガイドラインやマニュアルが提供されているが、特にレベル 3 と分類されている非飛散性アスベスト含有建材の処理・処分に対しては、アスベスト含有建材としての認識の甘さから適正処理されないケースがあり、作業に携わる解体業者や不適正な解体作業を取り締まる行政職員はアスベストに関する基礎知識、アスベスト含有建材に関する知識を習得するべきである。

3.1.1 においてレベル 3 アスベスト含有建材の目視判定法の判定性能の評価を行った結果を示したが、実際の現場での適用を目指して、さらなる判定精度向上のためのテストを行った。

(2) 講習会及び目視判定テスト

平成 24 年度は、アスベスト目視判定法講習会を行政機関向けに三回（加須市、さいたま市、岡山市）実施した。各会における参加人数を表 3.1.3 に示した。参加人数の合計は、140 名であった。

表 3.1.3 アスベスト目視判定法講習会参加者数

開催場所	対象部局	参加人数
加須市	環境、土木	39 名
さいたま市	環境、土木、保健、財政、消防	29 名
岡山市	環境、労働、保健	72 名

講習会の内容は、3.1.1 (2) 石綿アスベスト関連行政職員及び関連業界団体向け石綿アスベスト講習会の概要と同様である。

本年度は各講習会において、グループテスト及び個人テスト（昨年度も実施）を実施した。

<グループテスト>

グループテストは各グループ 4 人から 10 人一組で、袋に入った 10 検体（再生碎石調査において採取した試料であり、天然石、塩ビ管、セメント板等、非アスベスト含有建材も混ざっている。再生碎石中から採取した使用のため同じ検体は一つもない。8 組のテスト検体を準備した）について、回答時間は 15~20 分間としたしていただいた。

<個人テスト>

個人テストは 3.1.1 で使用した 8 個の検体及びルーペ入りのボックスを一人一つ、または、二人で一つ使い、約 15~20 分間でテストを行った。ボックスは検体の特徴により 2 種類、各 20 セット準備した。検体の特徴を表 3.1.4 に示した。表中の[碎]は再生碎石中から採取した検体、[解]は解体現場から採取した建材を適当な大き

さに切断した検体である。試料の特徴として碎石が多いボックスを英字 BOX、切断した建材の多いボックスを数字ボックスと区別した。

表 3.1.4 個人テスト用検体の特徴

	1	2	3	4	5	6	7	8
英字BOX	[碎] スレート(有)	[碎] 波板(有)	[碎] 板状(無)	[碎] スレート(有)	[解] 吸音板(無)	[解]パイプ(有)	[碎]スレート(有)	[解]波板(有)
数字BOX						[解]内装板(有)	[解]目隠板(有)	[解]内装板(無)

(3) 目視判定テスト結果

1) グループテスト

グループテストは 22 グループに対して実施した。結果を図 3.1.5 に示した。

各グループとも非常に出来がよく半数以上のグループが 100 点であった。

この中で、2 グループ以上が間違った検体は 2 つだけであった。一つの検体は、アスベスト含有建材ではないコロンアル屋根瓦。もう一つの建材はセメント板であった。断面の顕微鏡写真を図 3.1.6 に示した。左写真は 50 倍である。テストに用いているルーペは 15 倍なので、さらに小さく見えるため、アスベスト繊維束を観察しづらいことがわかる。一方、200 倍程度の倍率ならば、繊維束であることを明確に確認することができる。

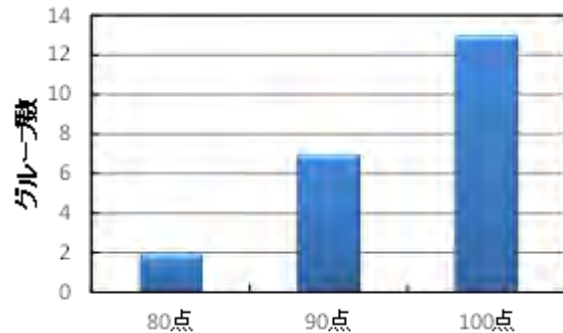


図 3.1.5 グループテスト結果の分布

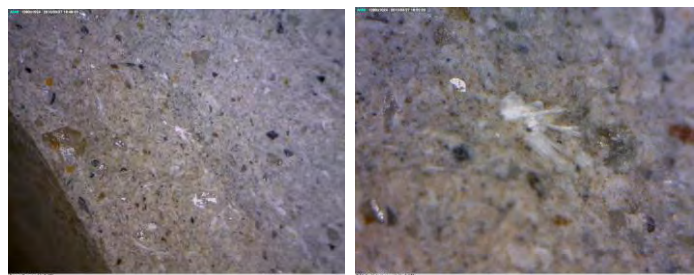


図 3.1.6 石綿繊維束 (左 : 50 倍、右 : 220 倍)

2) 個人テスト

〈BOX の評価〉表 3.1.4 に示したように、再生碎石から採取した建材も検体としているため、各 BOX はアスベスト繊維束の見易さにおいて、異なっている。また、数字 BOX は英字 BOX よりも解体現場から採取した建材(各 BOX が同じ建材)が多く入っている点が異なっている。

英字 BOX 及び数字 BOX の参加者はそれぞれ 47 人と 65 人である。各ボックスの平均点の分布を図 3.1.7 に示した。ただし、各 BOX はそれぞれ 20 セット要したが、BOX によって利用者数は異なっている。図からわかるように、数字 BOX に比べ、英字ボックスは平均点が低く、アスベスト繊維束を確認することが難しい検体が入っていることが示唆された。

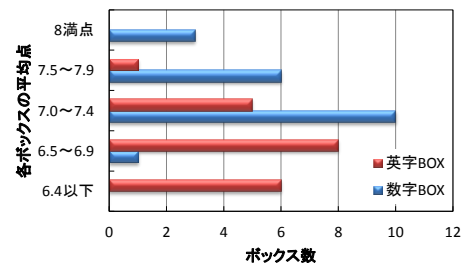


図 3.1.7 各ボックスの平均点の分布

〈検体の評価〉そこで、各検体の正答率を開催地別に表 3.1.5 に示した。

表 3.1.5 各検体の正答率

	1	2	3	4	5	6	7	8
英字BOX	91%	98%	62%	98%	38%	49%	89%	96%
加須(5)	80%	80%	60%	100%	40%	80%	100%	80%
さいたま(15)	93%	100%	67%	100%	40%	53%	87%	100%
岡山(27)	93%	100%	59%	96%	37%	41%	89%	96%
数字BOX	91%	98%	95%	95%	72%	88%	100%	80%
加須(20)	90%	95%	100%	95%	50%	80%	100%	85%
さいたま(9)	89%	100%	89%	100%	56%	100%	100%	89%
岡山(36)	92%	100%	94%	94%	92%	89%	100%	75%

結果から、正答率が低い検体について見てみると、No.5 は岩綿吸音板であり、たとえアスベスト含有建材であるとしても非常に判断しづらい建材である。また、両 BOX とも同じ検体を用いているが、検体の形状が判断に影響していると考えられる。英字 BOX の検体は破碎した破片を数字 BOX の検体は切断した破片である。また、岡山会場数字 BOX で正答率が高くなった要因は、簡易トーチで断面を炙った参加者が多くいたためである。英字 BOX-No.3 は再生砕石から採取した検体ではある。図 3.1.8 に検体を示した。厚さ 7mm のセメント板にも見えるが、何かに塗ってあったモルタルはぎ取ったもののようにも見える。この検体は、比較的新しく(角がある)、つるつるの表面とザラザラな表面がある。ルーペ程度の倍率では白い塊や、ガラス状のものが断面にあるため、繊維束がありと判定した人が多かったと考えられる。英字 BOX-No.6 検体は有機繊維が多く含まれ、かつ、アスベスト含有量が低いため検体によっては判断が非常に難しい。図 3.1.10 の左写真は見つけやすい繊維束を 50 倍の倍率で撮影した写真、右写真は見つけづらい繊維束を 230 倍の倍率で撮影した写真である。判定が易しい繊維束は肉眼でも繊維があることが明確にわかる。



図 3.1.8 No.5 検体(右英字、左数字)

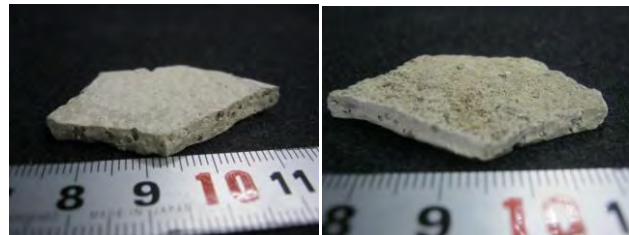


図 3.1.9 テスト検体 No. 3

(4) まとめ

目視判定テスト結果と検体を比較すると、次のようにまとめられる。

- 1) 肉眼で繊維束が見える検体は確実に判断することができる。一方、難しい繊維束は高倍率で確認したにもかかわらず、非常に小さな繊維束である。
- 2) アスベスト含有建材についての知識を習得すると見た目でも判断しやすくなる。特にコロニアルの場合、見た目に劣化していると十分な観察を行わず判断していると思われる。
- 3) アスベスト以外の繊維を多く含む建材の判断は難しい。アスベスト以外の繊維を多く含む建材はアスベスト繊維の含有量が低く、見つけづらい要因となる。トーチ等を用いて露出繊維束を炙ることにより判断しやすくなる(繊維が有機質の繊維であれば繊維が燃える)。



図 3.1.10 易しい繊維束(左)と難しい繊維束(右)

以上、これらの結論をまとめると、アスベスト含有建材の目視評価を行う場合、板の形状や材質に捉われず、ルーペや顕微鏡を用いてじっくりと観察するとともに、トーチで炙ることによりアスベストの特性を確認する必要がある。上記のことを踏まえアスベスト含有建材の目視判定を行えば、ある程度の濃度を含むアスベスト含有成形板ならば、かなり高い確率で判定可能となる。

3.2 実体顕微鏡を用いたアスベスト含有建材の迅速判定法確立

埼玉県環境科学国際センター 渡辺洋一、磯部友護

3.2.1 アスベスト含有成形板断面中のアスベスト繊維束数・繊維束面積とアスベスト含有量との関係

(1) はじめに

単繊維のアスベスト繊維は非常に細いため肉眼や実体顕微鏡等での観察はできないが、繊維束として存在しているものもある。そのため、アスベストを含む建材の断面に観察される束状の繊維は、ルーペや実体顕微鏡等を用いて観察できる。目視による判定法を補足するため、微細な繊維束の確認や人工繊維との違いなどをより確実に判定する方法として、実体顕微鏡を使用する方法も併用している。しかし、実体顕微鏡での含有量の判別は非常に難しい。そこで、アスベスト含有建材断面に観察できる繊維束数・繊維束面積とアスベスト含有建材のアスベスト含有量との関係について検討した。

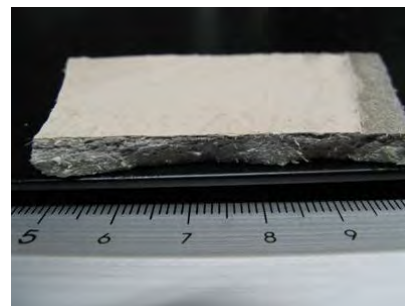


図 3.2.1 アスベスト含有建材例

(2) 方法

1) アスベスト含有建材試料

実験に用いたアスベスト含有建材は、平成 22 年から平成 23 年にかけて建築物解体現場から筆者らが採取したもので、現場での目視及びルーペによる観察でアスベスト繊維を含有していると判定したものである。試料の採取場所と特徴を表 3.2.1 に示す。

建材の種類は、外壁材 5 種、屋根材 4 種、内装材 7 種、軒天 2 種の 18 種であり、厚さは、4.0mm から 6.6mm である。

2) アスベスト繊維束の観察方法

アスベスト含有建材を切断し、その断面を USB 顕微鏡 (Dino-Lite Pro) を用いて 220 倍で観察した。

USB 顕微鏡から PC に取り込んだ画像から、目視により繊維束の数を係数するとともに、アスベスト繊維束の輪郭を多角形近似により指定し、その面積を計算した。なお、

表 3.2.1 アスベスト含有建材試料概要

試料No.	建築物	使用箇所	厚さ(mm)	バーナー使用	特徴
1	工場	外壁(スレート)	5.9	無し	表面グレー、内部グレー
2	職員寮	天井(大平板)	4.1	無し	表面白、内部グレー
3	一般住宅	内装(スレート)	5.0	無し	表面白、内部グレー
4	一般住宅	軒天	4.0	無し	表面白、内部白
5	居酒屋	内装	5.1	有り	表面薄黄、内部白、軽量、繊維多
6	共同住宅	軒天	5.9	無し	表面赤、内部グレー
7	一般住宅	台所の壁	3.1	無し	表面緑柄、内部茶褐色
8	一般住宅	内壁	5.2	有り	表面茶、内部白、軽量
9	一般住宅	内壁	6.6	有り	表面クリーム色、柔らかく手で層状に割れる。軽量
10	一般住宅	屋根(コロニアル)	4.8	無し	表面黒、内部グレー
11	一般住宅	内壁	5.0	有り	表面グリーン、内部白
12	一般住宅	屋根(コロニアル)	4.9	無し	表面エンジ、内部グレー
13	事務所	外壁(スレート)	5.5	無し	表面黒～グレー、内部ブルー
14	工場	屋根(波板スレート)	5.5	無し	表面グレー、内部グレー
15	一般住宅	屋根(コロニアル)	5.0	無し	表面黒、内部グレー
16	不明(住宅)	(外壁)	5.6	無し	表面黄、内部グレー
17	不明(住宅)	(外壁)	5.2	無し	表面木目(黄)、内部グレー
18	不明(住宅)	(外壁)	5.6	無し	表面木目(茶)、内部グレー



図 3.2.2 USB 顕微鏡による断面拡大画像例



図 3.2.3 面積の測定例

注) 図 3.2.2 とは異なる断面であり、見やすくするために断面の画像を消去してある。

繊維を多量に含む建材については、アスベスト繊維の判別が難しい場合にはバーナーで加熱した後、残った繊維束を対象とした(表 3.2.1)。今回使用した USB 顕微鏡では被写界深度が比較的浅いため、全面を観察するために 1 視野につき数回ピント調整を行った。

3) 建材中アスベスト含有率の分析方法

建材中のアスベスト含有率は JIS A1481(2008)¹⁾に準拠して測定した。建材試料を振動ポットミルにて微粉砕し、ギ酸処理を行ってその残渣を X線回折装置((株)リガク、RINT-UltimaPC)で分析した。X線回折分析では、最初に試料の定性分析を行い、アスベスト鉱物の回折線を確認した後、同規格の「付属書 4 (規定) アスベストに係る基底標準吸収補正法」により定量を行った。

(3) 結果

①建材中アスベスト含有率

X線回折分析法により、今回使用した試料には、いずれもクリソタイルが含有されていることが確認された。図 3.2.4 に定性分析結果の一例を示す。また、定量分析の結果、アスベスト含有率は 0.57%~8.28%であった。

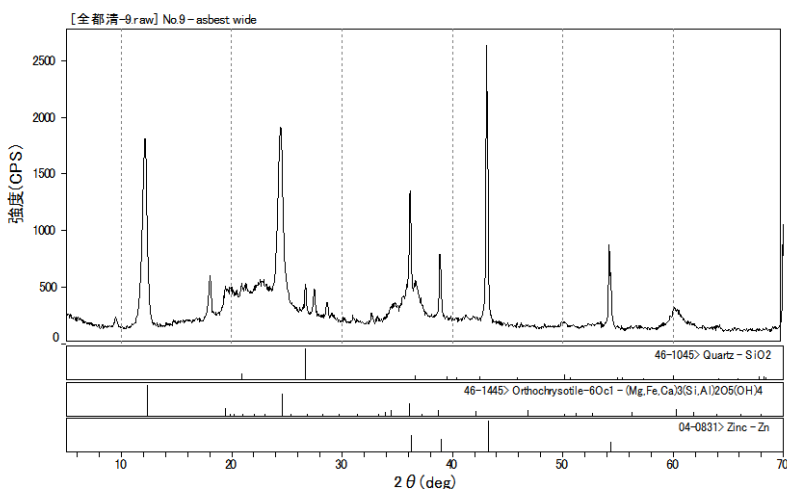


図 3.2.4 X線回折分析結果例

②USB 顕微鏡によるアスベスト繊維の観察

今回の試料では、断面 1 視野 (2.23mm×1.60mm) 当たり観察できた繊維束は 0~10 であり、試料ごとに算出した単位面積あたりのアスベスト繊維束数は 16 束/cm²~140 束/cm²であった。また、観察できた束の面積は、0.002mm²~0.722mm²であり、試料ごとに算出した単位面積あたりのアスベスト繊維束の面積の割合は、0.66%~8.48%であった。

観察した視野数と面積当たりの束数の関係を図 3.2.5 に、同様に視野数と繊維束の面積の関係を図 3.2.6 に

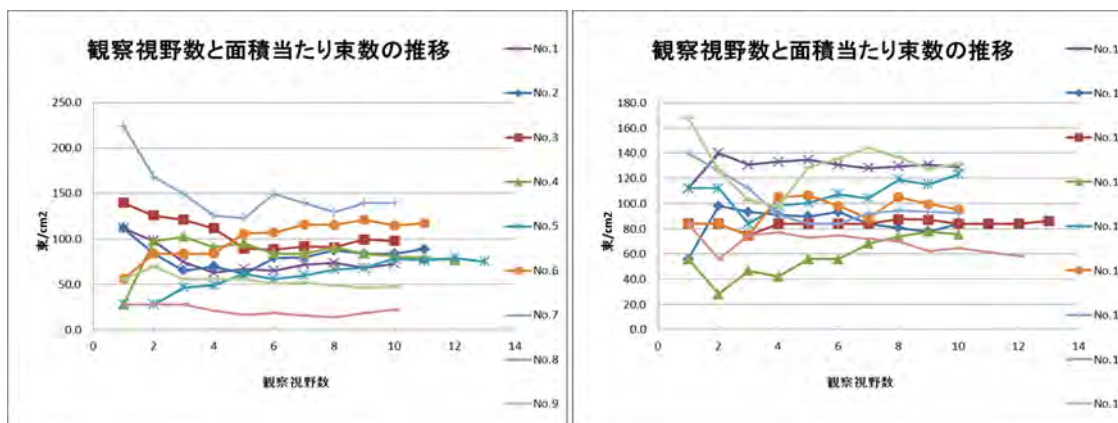


図3.2.5 アスベスト繊維束の計数結果

示した。

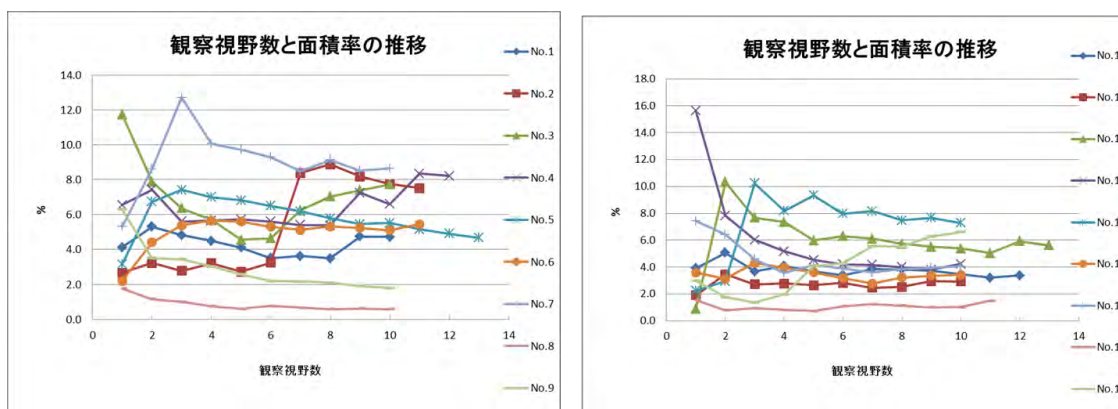


図 3.2.6 アスベスト繊維束の面積測定結果

220 倍で断面 1 視野に観察できる繊維束数を計数したところ、束数の片寄りの大きい試料もあり、5 視野目程度では変動の大きい場合もあった。観察視野数を増やすと繊維束数が安定することが確認された。

同様に 220 倍で断面 1 視野に観察できる繊維束の面積を多角形で近似して計測したところ、やはり観察視野数を増やすと安定する傾向はあるが、繊維束の大きい試料では変動が大きかった。

③ 建材断面中のアスベスト繊維束数とアスベスト含有量との関係

図 3.2.7 に X 線回折法によるアスベスト含有率測定結果と USB 顕微鏡によって確認した断面の単位面積あたりの繊維束数の関係を示す。

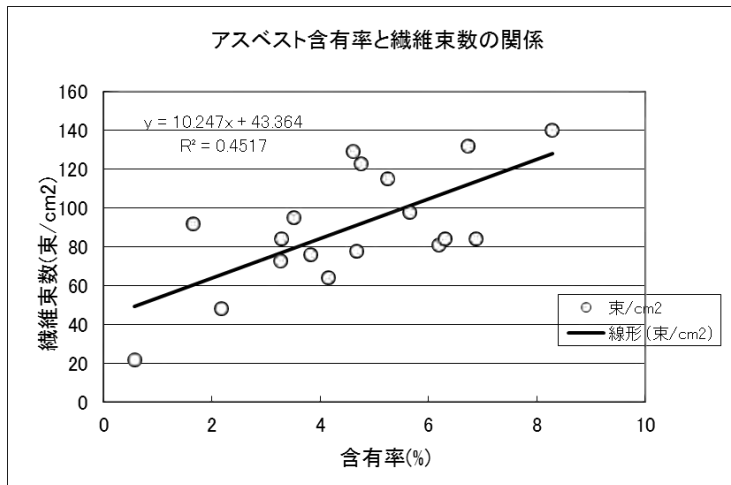


図 3.2.7 アスベスト繊維の束数と含有量の関係 (10 視野測定時)

単位面積あたりの繊維束数とアスベスト含有率とは、正の相関が認められた。しかし、他の試料と比較するとアスベスト含有率少ない割に繊維束数が多いものや、逆にアスベスト含有率が多いのに繊維束数が少ない試料が見られた。アスベスト含有率の多い割に繊維束数が少ない試料では、極端に大きな繊維束が断面に観察されるものが多く、このため、束数としては少なかったものと考えられた。以上のように束の大きさ（面積）が試料によって異なることが、ばらつきの原因と考えられた。そこで、アスベスト含有率と、建材断面のアスベスト繊維の占める面積率との関係を調べた（図 3.2.8）。

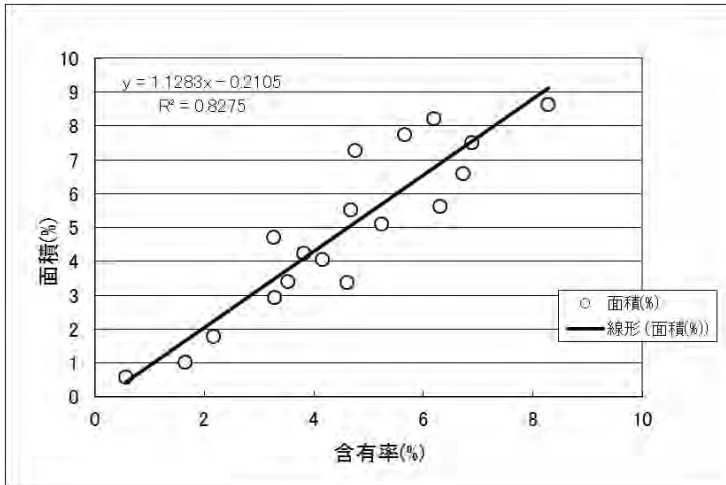


図 3.2.8 アスベスト繊維束面積と含有量の関係（10 視野測定時）

この結果から、アスベスト含有率の高い建材ほど断面に観察されるアスベスト繊維の面積が大きい傾向があることが確認された。繊維束数よりもアスベスト含有率との相関が高く、実態顕微鏡により建材断面のアスベスト繊維束の面積を測定することにより、アスベスト含有量の推定ができる可能性が示唆された。

4) 問題点と今後の予定

アスベスト以外の繊維質が共存する試料では、そのままの断面の顕微鏡観察ではアスベスト繊維束の面積測定は困難であり、バーナー等による前処理が必要であった。

今後は、さらに試料の種類と数を増やすとともに、異なる倍率での検討等を進め、精度向上と問題点の抽出を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会：JIS A 1481 建材製品中のアスベスト含有率測定方法（平成18年3月制定）

3.2.2 色彩指標（明度）によるクリソタイル繊維束の面積率測定

(1) はじめに

3.2.1において、実体顕微鏡の拡大画像を利用して建材断面のアスベスト繊維束の面積を測定することによるアスベスト含有率測定の可能性について検討した。本項では、アスベスト繊維と建材の母材の色彩の違いに着目し、色彩指標によるクリソタイル繊維束の面積率測定について検討した。

(2) 建材断面のアスベスト繊維束面積測定方法

建材断面の拡大画像を PC に取り込んで、建材断面全体に占める繊維束の面積の比率を測定する。測定方法としては、多角形近似による方法と色彩指標（明度）の値を用いる方法の2種類を使用した。

最近では、PC に接続することにより拡大画像を PC 画面上で観察できる安価な顕微鏡（デジタル顕微鏡）が

販売されており、実体顕微鏡にデジタルカメラを接続して拡大画像を撮影しても同様の操作が可能である。今回使用したデジタル顕微鏡は、Dino-Lite Pro と Anyty である。

多角形近似法は、繊維束部分の周囲を手動でなぞって面積を求めるものである。顕微鏡に付属のソフトや市販の画像解析ソフトで機能をもつものがある。DinoCapture 2.0、IMT i-Solution Lite で検討したところ、どちらのソフトでも、測定値を excel シートに出力できるため、その後の計算は比較的容易であった。図 3.2.9 に IMT iSolution Lite の excel シートへの出力例を示す。

色彩指標の明度を用いる方法は、建材断面拡大画像全体の明度の分布を調べた後、アスベスト繊維束の明度の範囲を調べて、繊維束に相当する明度の分布割合を求める。この割合が繊維束面積に近似することにより、個別の繊維束の測定を行わずに、簡単にアスベスト繊維束の面積割合を求めることができる。今回の解析は IMT iSolution Lite で行った。図 3.2.10 に色彩指標（明度）によるクリソタイル繊維束の面積率測定の流れを示す。

表 3.2.2 建材サンプルリスト

試料No.	建築物	使用箇所	厚さ(mm)	バーナー使用	特徴
1	工場	外壁(スレート)	5.9	無し	表面グレー、内部グレー
2	職員寮	天井(大平板)	4.1	無し	表面白、内部グレー
3	一般住宅	内装(スレート)	5.0	無し	表面白、内部グレー
4	一般住宅	軒天	4.0	無し	表面白、内部白
5	居酒屋	内装	5.1	有り	表面薄黄、内部白、軽量、繊維多
6	共同住宅	軒天	5.9	無し	表面赤、内部グレー
7	一般住宅	台所の壁	3.1	無し	表面緑柄、内部茶褐色
8	一般住宅	内壁	5.2	有り	表面茶、内部白、軽量
9	一般住宅	内壁	6.6	有り	表面クリーム色、柔らかく、手で層状に割れる。軽量
10	一般住宅	屋根(コロニアル)	4.8	無し	表面黒、内部グレー
11	一般住宅	内壁	5.0	有り	表面緑、内部白
12	一般住宅	屋根(コロニアル)	4.9	無し	表面エンジ、内部グレー
13	事務所	外壁(スレート)	5.5	無し	表面黒〜グレー、内部グレー
14	工場	屋根(波形スレート)	5.5	無し	表面グレー、内部グレー
15	一般住宅	屋根(コロニアル)	5.0	無し	表面黒、内部グレー
16	不明(住宅)	(外壁)	5.6	無し	表面黄、内部グレー
17	不明(住宅)	(外壁)	5.2	無し	表面黄色木目、内部グレー
18	不明(住宅)	(外壁)	5.6	無し	表面茶色木目、内部グレー
19	共同住宅	ベランダ目隠し	5.0	有り	表面白、繊維非常に多
20	幼稚園	内壁	3.4	無し	表面赤、内部茶褐色
21	不明(住宅)	(内壁、スレート)	8.5	無し	表面白、内部グレー
22	倉庫、車庫	(内壁、スレート)	5.0	無し	表面白、内部グレー
23	一般住宅	屋根(コロニアル)	5.0	無し	表面黒、内部グレー
24	一般住宅	屋根(コロニアル)	5.0	無し	表面黒、内部グレー
25	一般住宅	屋根(コロニアル)	5.3	無し	表面緑、内部グレー
26	不明(住宅)	屋根(コロニアル)	5.4	無し	表面黒、内部グレー
27	不明(住宅)	屋根(コロニアル)		無し	表面黒、内部グレー
28	不明(住宅)	屋根(コロニアル)	4.9	無し	表面赤、内部グレー
29	不明(住宅)	内装材		有り	表面緑、内部白
30	一般住宅	押し出し成型板	15.0	無し	表面グレー、内部グレー

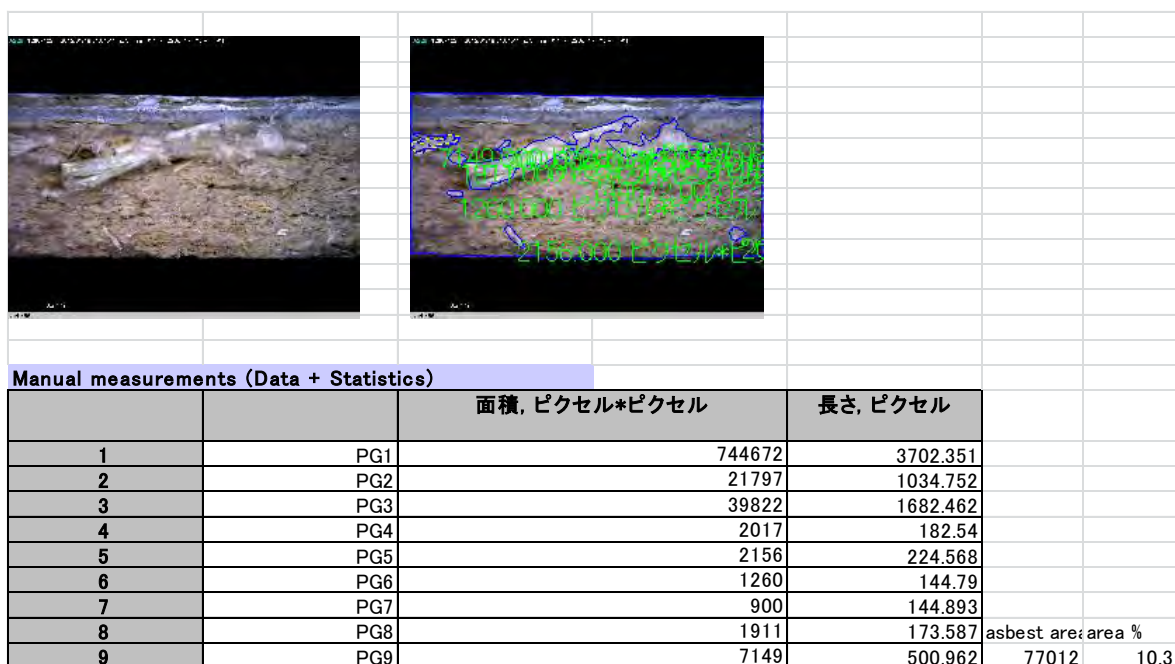


図 3.2.9 IMT iSolution Lite による多角形近似データの出力例

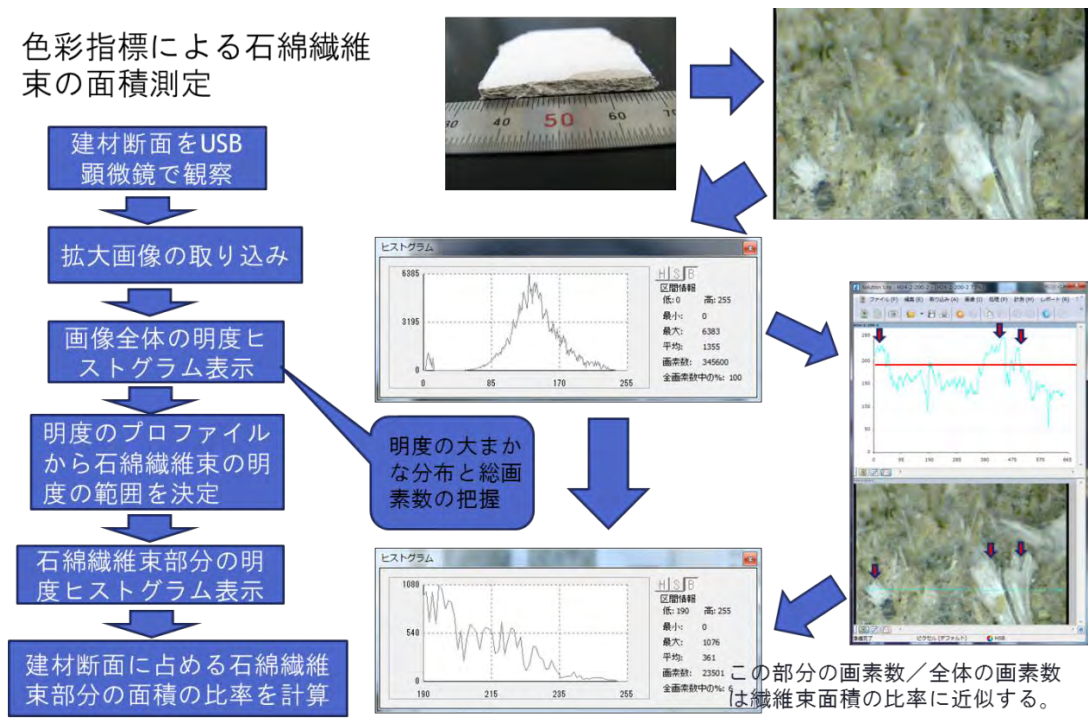


図 3.2.10 色彩指標（明度）を指標とした建材断面のクリソタイル繊維束面積率の測定方法

(3) アスベスト含有率と建材断面のアスベスト繊維束面積率の関係

今回使用したサンプルはいずれもクリソタイルを含有した建材である。特に明度を用いる方法はアスベストの種類により、その特性が大きく変わるため、あくまでもクリソタイル含有建材の事例であり、観察倍率によっても精度に影響があることがわかっているため、約 200 倍で観察した場合の事例である。いずれの方法で求めた繊維束面積率と含有率の間には強い正の相関が認められた。

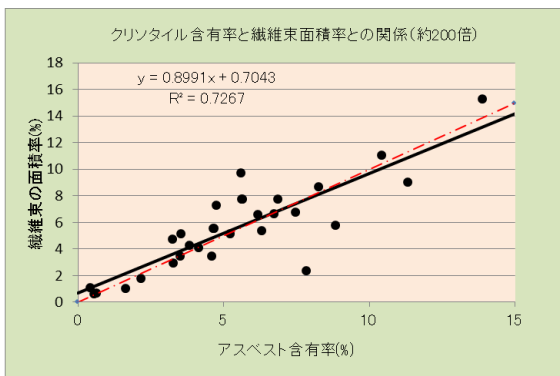


図 3.2.12 多角形近似による面積率と含有率

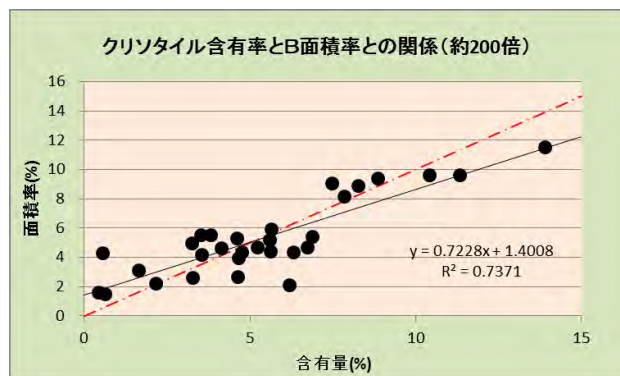


図 3.2.13 明度(B)による面積率と含有率

(4) 観察視野面積とアスベスト繊維束面積の関係

観察する面積を増やしていくと、建材断面のアスベスト繊維束面積の割合が一定になってくる。この一定になった値が、その建材のアスベスト含有率と高い相関を示しているため、その建材のアスベスト含有の判定をするには、一定値を得られた面積分以上を観察すれば、安定した判定ができると言える。

今回実験に用いたクリソタイル含有建材の場合は、約 200 倍の倍率で 10～15 視野の観察を行った場合に安定した繊維束面積率が確認された。

この観察視野の面積は、約 35～52mm²で、厚さ 5mm のボードの場合で長さ 7～10.4mm 分に相当する。しかし、束が大きく、視野ごとの面積のばらつきが大きい建材では観察面積を大きくする必要があり、実際には

建材の厚さに合わせて観察できるわけではなく、長さ方向に視野を増やして観察しているので、少し長めの断面を持つ試料を用いた方がよい。

(5) 結論

アスベスト含有建材の断面の実体顕微鏡を用いた観察により、アスベスト含有の有無を確認できるとともに、アスベスト繊維の束の面積を測定することにより、おおよその含有率を求められることが判明した。

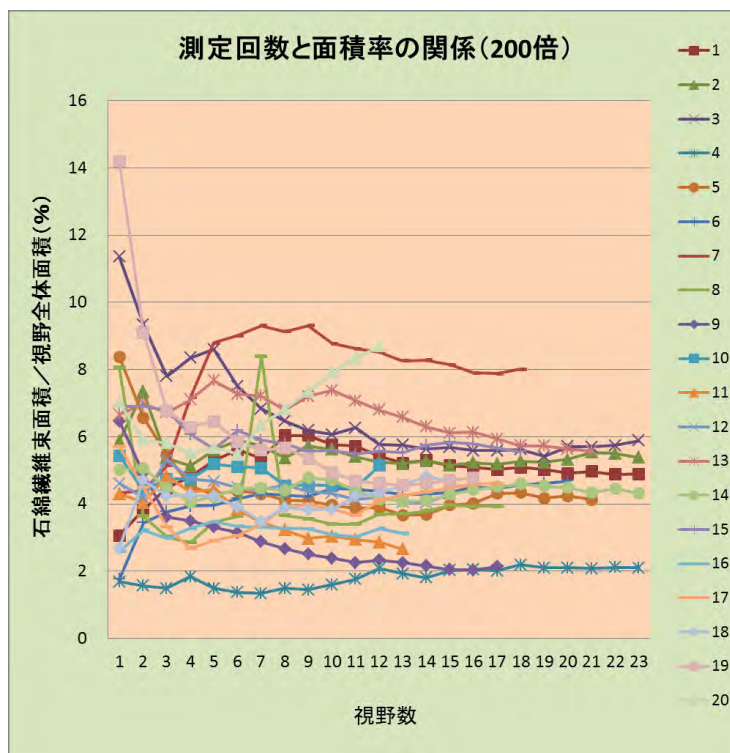


図 3.2.14 測定面積とアスベスト繊維束面積率の関係

3.3 市販のアスベストアナライザーによるアスベスト含有建材のスクリーニング

国立環境研究所 山本貴士、遠藤和人、山田正人
 埼玉県環境科学国際センター 川寄幹生、鈴木和将、渡辺洋一

3.3.1 はじめに

建材のアスベスト含有の有無を把握することは建築物解体時や建設廃棄物処理時の飛散防止や再生資材への混入防止等の観点から分別を徹底する上で重要であるが、日本の公定法である JIS 法は実験室での測定が必要であり、採取から結果を得るまでに 1 日程度の時間を要するため、現場での判定に適用することが困難である。最近、アスベストの近赤外部の吸収(波長 1400nm 付近、OH 基の振動による吸収の倍音)を元にアスベスト含有判定を行う可搬型の装置が開発され、建材中アスベスト含有の判定への適用が行われている(1, 2)。この種の装置の活用により、現場で迅速にアスベスト含有判定を行えることが期待できる。本研究においては、製品として市販されているアスベストアナライザー(Thermo Scientific 製 microPHAZIR AS)を現場適用した際の判定速度や精度、作業上の留意点等を検討することを目的として、同機を建設廃棄物中の建材のアスベスト含有判定に適用した。

3.3.2 実験 1

(1) 実験方法

建設廃棄物中のアスベスト調査において、建設混合廃棄物から目視によってアスベスト含有が疑われた建材 10 試料について、アスベストアナライザーを試料表面に密着するように当て測定を行った。1 試料について離れた 3 カ所以上で測定を行い、2 カ所以上でアスベスト含有と判定されたものをアスベスト含有とした。また、

ボードやタイル、シート類で表面(塗装面)と裏面で明らかに性状が異なる物は、それぞれの面で測定を行った。

(2) 結果





結果を表 3.3.1 に示す。10 試料中 5 試料がアスベスト含有と判定された。ボード状の建材で表面と裏面で判定結果が異なるものがあり(No.5)、塗装面では非含有判定となった。このような試料については塗装を削って素材の面を出して測定する必要がある。1 試料につき複数回の測定を行ったが(1 回の測定にで 10 秒程度要する)、10 試料の判定を完了するのに 30 分以内と、短時間での判定が可能であった。


















文献

(1) 神山宣彦、篠原也寸志：手持ち式アスベスト分析計のアスベスト同定能力の検討、第 50 回日本労働衛生工学会、第 31 回作業環境測定研究発表会抄録集、118-119 (2010)

(2) 小西雅史、小西淑人、神山宣彦：手持ち式アスベスト分析計(PHAZIR)の性能評価と具体的使用方法について、第 50 回日本労働衛生工学会、第 31 回作業環境測定研究発表会抄録集、120-121 (2010)

表 3.3.1 アスベストアナライザーによる建材のアスベスト含有判定の試行

No.	判定結果	備考
1	非含有	黒色
		
2	アモサイト/クロシドライト含有	白色
		
3	クリソタイル含有	「建設省認定 1061 号不燃材料」の表記
		
4	表面：クリソタイル含有、裏面：クリソタイル含有	P タイル
		
5	塗装面：非含有、裏面：クリソタイル含有	

			
6	塗装面：非含有、裏面：非含有	「無石棉」の表記	
			
7	アモサイト/クロシドライト含有	ブロック	
			
8	塗装面：非含有、裏面：非含有	シート	
			
9	表面：非含有、裏面：非含有	P タイル	
			
10	非含有	ひも	
			

3.3.3 実験2

(1) 実験方法

1) 中間処理施設等から採取した廃建材試料の室内判定

採取した廃建材試料の汚れを落とした試料について、アスベストアナライザーを用いて判定した。建材は表面処理をしているものが多いため、その影響を確認するため表面と裏面の測定を行った。また、同じ試料について断面の実体顕微鏡観察による目視判定と JIS 法による XRD 分析を行い、それぞれの結果を比較した。

表 3.3.2 アスベストアナライザーによる建材分析結果

試料番号	建材種類(推定)	目視(実体顕微鏡)判定	アスベストアナライザー判定		XRD分析結果 (クリソタイル%)
			表判定	裏判定	
E-1	コロニアル(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	6.05
E-2	化粧スレート(表面凹凸加工)	クリソタイル/ クロシドライト	-	cry	5.5
E-3	化粧スレート(表面薄い柄プリント)	クリソタイル	cry	cry	9.67
E-4	化粧スレート(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	9.31
E-6	化粧スレート(表面薄い柄プリント)	クリソタイル	cry	cry	8.67
E-7	スレート	クリソタイル	cry	cry	3.08
E-8	化粧スレート(表面薄い柄プリント)	クリソタイル	cry	cry	4.79
F-2	化粧スレート	クリソタイル	cry	cry	6.56
F-3	化粧スレート	クリソタイル	cry	cry	9.19
F-4	化粧スレート(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	10.02
F-5	ケイカル板(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	3.77
K-1	コロニアル(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	6.71
K-2	化粧スレート(表面塗装)	クリソタイル	-	cry	9.21
K-3	天井板(穴あき表面)	クリソタイル	-	cry	9.67
K-4	サイディング(表面凹凸加工)	クリソタイル	-	cry	2.03
K-5	波板スレート	クリソタイル	cry	cry	7.43

2) 現場判定実験

混合廃棄物の選別作業を行っている現場に於いて、目視判定の難しかったサイディング等の試料についてアスベストアナライザーによる判定試験を行った。目視判定でアスベスト含有が疑われるが繊維束の確認が困難な建材片を洗浄等を行わずにその場でブラシ等により汚れを落として測定を行った。

(2) 結果

1) 室内実験結果

実験結果を表 3.3.2 に示す。実験用いた建材は全てアスベスト含有建材であった。実体顕微鏡による断面観察結果では全ての試料でクリソタイルの繊維束が確認された。アスベスト以外の人工繊維が共存して簡易バーナーを使用しないと判定が難しい試料(k-4)もあった。アスベストアナライザーの結果も塗装等の表面処理を施していない裏面では全て検出された。実体顕微鏡で判定の難しかった K-4 でも検出された。ただし、E-2 のように表面に塗装してある場合は、検出できる場合とできない場合があった。この場合の判定を確実にするためには、裏面を測定するか、できない場合は塗装を削るなどする必要がある。



E-2 の表側

E-2 の断面の拡大画像

2) 現場判定実験結果

結果の一部を表 3.3.3 に示す。クリソタイルと判定された試料は、その後行った JIS 法分析結果と一致した。ただし、アクチノライトと判定された試料については、JIS 法分析では検出されなかった。詳細は 5.5 振動ふ

るい選別時におけるアスベスト飛散量調査(p84)に記載した。

表 3.3.3 アスベストアナライザーによる現地判定結果

建材種類(推定)	色	厚さ	JIS法分析(XRD+分散染色)による判定	アスベストアナライザー分析結果
押出成形	薄い茶褐色+白塗装	12.4	クリソタイル	クリソタイル
パルプセメント板	薄いグレー	11.45	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	薄い茶褐色+茶塗装	14.72	含有せず	アクチノライト
サイディング	グレー+白塗装	9.33	クリソタイル	クリソタイル
木片板	茶褐色+白塗装跡	11.72	—	なし
サイディング	グレー+白塗装	9.48	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	グレー+茶塗装	11	—	なし
サイディング	グレー+白塗装	10.7	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	グレー+こげ茶+グレー塗装	12.08	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	グレー+白塗装	10.51	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	薄い茶褐色+白塗装	9.64	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	グレー+白塗装	10.35	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	薄い茶褐色+白塗装	7.84	—	なし
サイディング	茶褐色+白塗装跡	5.92	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	茶褐色+白塗装	砕けてる	クリソタイル	クリソタイル
サイディング	薄い茶褐色+白塗装	8.17	—	クリソタイル
サイディング	薄い茶褐色+白塗装	10.64	—	クリソタイル
木片板	茶褐色+白塗装跡	6.45	—	なし
サイディング	薄い茶褐色+白塗装	8.1	—	クリソタイル

注) —印は分析を行っていない。

3.3.4 アスベストアナライザーの廃建材片への適用について

実験結果から、建材へのアスベスト使用量の大半を占めるクリソタイルについては、的確に判定できると評価できる。また、一回あたりの測定時間が10秒程度であり、ある程度表面付着物を落とせば測定可能な点など現場でのスクリーニング用に適した性能を持っている。

使用上の注意点としては、表面に塗装やコーティング等の処理が施されていると、アスベストを含有していても検出できない場合が多いので、表面処理の部分进行か、表面処理のない面で判定する必要がある。

人工繊維とアスベストが両方含まれているような、目視や実体顕微鏡による判定が難しい建材については、非常に有効と考えられる。

課題としては、機器が高額なため、解体事業者や行政機関等が容易に購入できないことがあげられる。

4. 迅速判定法の現場適用に関する検討

4.1 解体前建築物のスクリーニング調査 —A 大学内におけるアスベスト含有建材のハザードマップ作り— 日本工業大学 小野雄策

(1) 研究目的

A 大学の学内建築物に使用されている建築資材（主に、外壁材）を目視判定し、アスベスト含有建材をグルーピングして、建築物のハザードマップを製作し、大学内の安全安心対策を構築することが目的である。これらの手法は、一般家屋や公共施設にも応用可能と考えられる。

(2) 学内建築物の調査及び試料の採取方法

今回調査した建築物は、A 大学内の全 13 棟（コンクリート建築物を除く）で 1 棟辺り 3 カ所程度から、外壁材や屋根材をペンチ等により小片を採取した。採取するときは繊維が飛散しないようビニル袋で囲み、防塵用マスクを着用した(図 4.1.1～4)。



図 4.1.1 波スレート

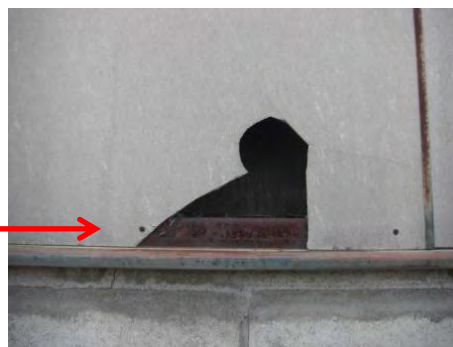


図 4.1.2 板スレート

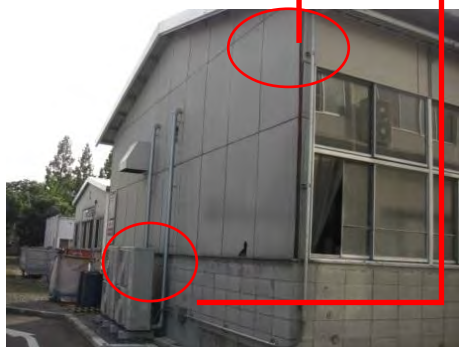


図 4.1.3 実験棟



図 4.1.4 採取状況

(3) 簡易目視判定方法

アスベスト含有建材の目視判定方法は、埼玉県環境科学国際センターによる方法「石綿含有建材適正処理推進のための石綿講習会用テキスト」によった。また、建材中のアスベスト繊維の見分け方としては、次の特性に注目し、アスベスト繊維として判断した。

- 1) 繊維束を形成している
- 2) 耐火性に優れている
- 3) 先端が尖っている

採取した建材は土埃などで汚れているので、超音波洗浄機に掛け汚れを除去したあと、肉眼、ルーペで観察した(図 4.1.5～10)。

- ① ルーペで観察する際、建材の表面及び破断面を注意深く観察し、繊維束なのか、単繊維なのか、また、先端が尖っているのか、揃っているのかで見極める。単繊維で先端がそろっている場合は経験上、人造繊維である。
- ② 繊維や繊維束がある場合はバーナーを用いて熱処理を行う。熱処理を行う理由としては、有機物が無機物かを見極めるため、溶けてしまうものはアスベストではない。



図 4.1.5 超音波洗浄前

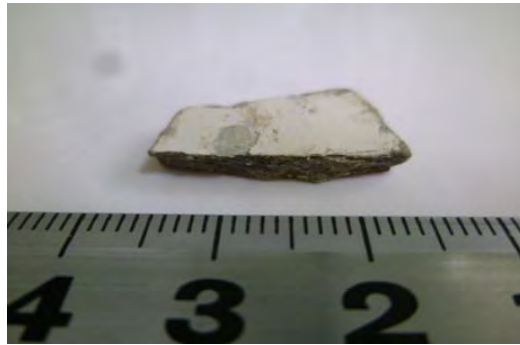


図 4.1.6 超音波洗浄後



図 4.1.7 クリソタイル



図 4.1.8 人造繊維



図 4.1.9 熱処理前 (クリソタイル)



図 4.1.10 熱処理後 (クリソタイル)

(4) 建築資材の判定結果

a) 簡易目視判定の結果

今回採取した建築資材にはクリソタイル（白石綿）の含有が認められた。図 4.1.11 から分かるようにアスベスト繊維は非常に細かい繊維束として存在しており、肉眼で確認することは極めて困難であった。そのため、高倍率の顕微鏡で繊維を観察することができれば、繊維の細さ、形状からアスベスト繊維と容易に判断できるが、そのような顕微鏡は非常に高価であるため、現場ではルーペや安価なマイクロスコープを用いて倍率上げて観察した。

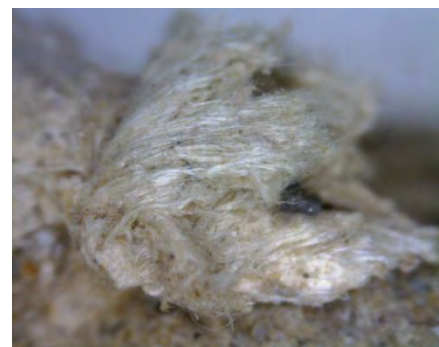


図 4.1.11 クリソタイル

b) X線回折 (XRD) による解析結果

今回調査した建築物は、学内の全 13 棟で 1 棟辺り 3 ヶ所程度から外壁材や屋根材を採取した。今回採取した外壁材については、目視判定の後、X 線解析によりアスベストの定性分析を行った。XRD の結果の一部を図 4.1.12 に示し、表 4.1.1 に建築物の一覧とアスベストの結果を示した。

その結果、目視判定でアスベスト有りと判定されたものすべてから、クリソタイルが検出され、目視判定でも判定率が高いことが立証された。

しかし、目視判定には慣れが必要であること、また、アスベスト無しと判定された建材の場合にもアスベスト有りの可能性が残っていることを考慮して、判定困難な場合は危険率を考慮してアスベスト有りと判定することが必要であると考えられた。

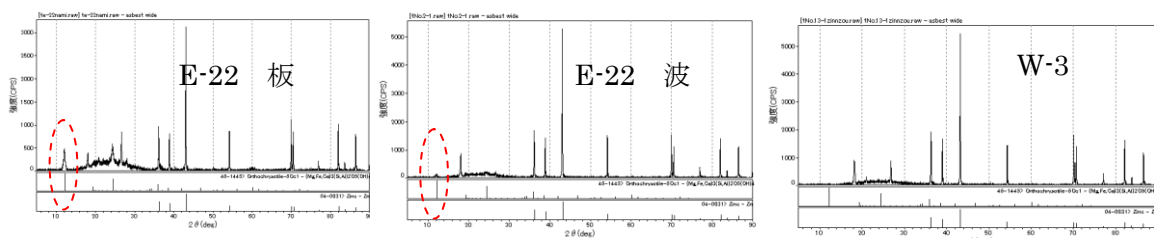


図 4.1.12 板・波スレートのXRD (左・中：クリソタイル、右：人造繊維)

表 4.1.1 学内建築物データとアスベスト判定結果

棟名	名称	階数	構造	建築年	延床面積	種類	採取場所	建材名	繊維色	横(cm)	縦(cm)	厚み(cm)	建材枚数	立米(m³)	石綿含有率(%)	石綿含有有無	
E 22	CAD/CAM/CAE演習棟	1	軽S	S43	429.68	電気実験室	壁	板スレート	白	162	65	1.5	100	56.86	6.7	クリソタイル	
							つなぎ目	板スレート	白	85	20	1.5	98		4.64	クリソタイル	
E 23	電気実験研究棟(2)	1	軽S	S45	420.41	電気実験室	壁	板スレート	白	90	180	2	32	116.64	8.94	クリソタイル	
							屋根	波スレート							2.36	クリソタイル	
							つなぎ目	板スレート								9.19	クリソタイル
E 24	電気機器実験研究棟	1	重S	S47	399.74	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	5.93	クリソタイル	
							屋根	波スレート							9.19	クリソタイル	
E 25	電気材料実験研究棟	1	重S	S49	399.74	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	4.64	クリソタイル	
E 26	情報技術実験研究棟	1	重S	S44	510.17	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	4.7	人造繊維	
							補強	板スレート							3.4	クリソタイル	
							建物横	板スレート								5.26	クリソタイル
							屋根	波スレート								6.06	クリソタイル
E 28	機械工学・システム工学実験研究棟	1	軽S	S44	420.41	電気実験室	壁	板スレート	白	162	65	0.025	100	56.86	10.51	クリソタイル	
							屋根	波スレート							5.19	クリソタイル	
							つなぎ目	板スレート	白	85	20	1.5	98		2.36	クリソタイル	
E 29	電子実験研究棟	1	重S	S46	401.91	電気実験室	壁	板スレート	白	90	180	2	16	116.64	1.9	クリソタイル	
							屋根	波スレート	白							10.51	クリソタイル
E 30	電子回路実験研究棟	1	重S	S47	399.74	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	7.33	クリソタイル	
E 31	電子装置実験研究棟	1	重S	S49	399.74	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	2.94	クリソタイル	
E 32	電子応用実験研究棟	1	重S	S49	399.74	電気実験室	壁	板スレート	白	105	160	1.5	96	102.06	5.19	クリソタイル	
W 3	環境工学実験研究棟	1	軽S	S43	492.43	建築実験室	壁	板スレート	白	180	65	2	100	84.24	9.19	クリソタイル	
							屋根	波スレート		180	65	2	100		84.24	4.7	人造繊維
W 6	建築材料実験研究棟	1	軽S	S43	492.9	建築実験室	壁	板スレート		180	65	2	100	84.24	3.15	クリソタイル	
W 23	ゼミカ実験研究棟	1	重S	S56	400.75	機械実験室	壁	板スレート	白	162	65	1.5	100	56.86	6.53	人造繊維	

13棟から採取した外壁材24個のアスベスト含有建材の有無と種類を目視判定により分類したところ、波スレートと板スレートが多く、残りは人造繊維で、3種類の建材が使われていた。また、この波スレートと板スレートすべてからクリソタイルが検出され、人造繊維と判定した資材からはアスベストは検出されなかった(図4.1.13)。

今回の調査では、外壁材として波スレート・板スレート・人造繊維の3つのグループに分類でき、年代及び目視判定からアスベスト含有資材として分類できた。

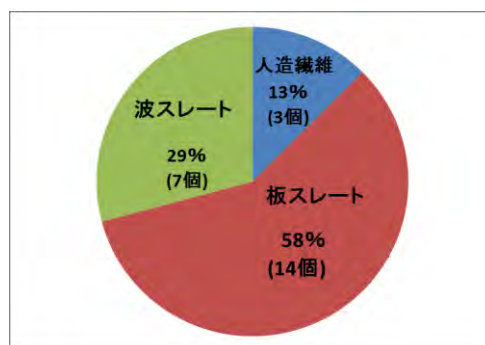


図 4.1.13 グルーピング個数結果

(5) 学内におけるアスベスト含有建材ハザードマップの作製

今回調査した学内のアスベスト含有建材のハザードマップを図 4.1.14 に示した。

調査した実験棟の建築物外壁材には、波スレート・板スレート・人工繊維含有建材が使用されていることが判明した。また、アスベストが使用されている建築物の共通の特徴は、防火対策が必要な機械や物を使用しているところが多かったことである。さらに、昭和 44 年以降に建設された板スレートや波スレートにクリソタイルが含有されていることが特徴的であった。

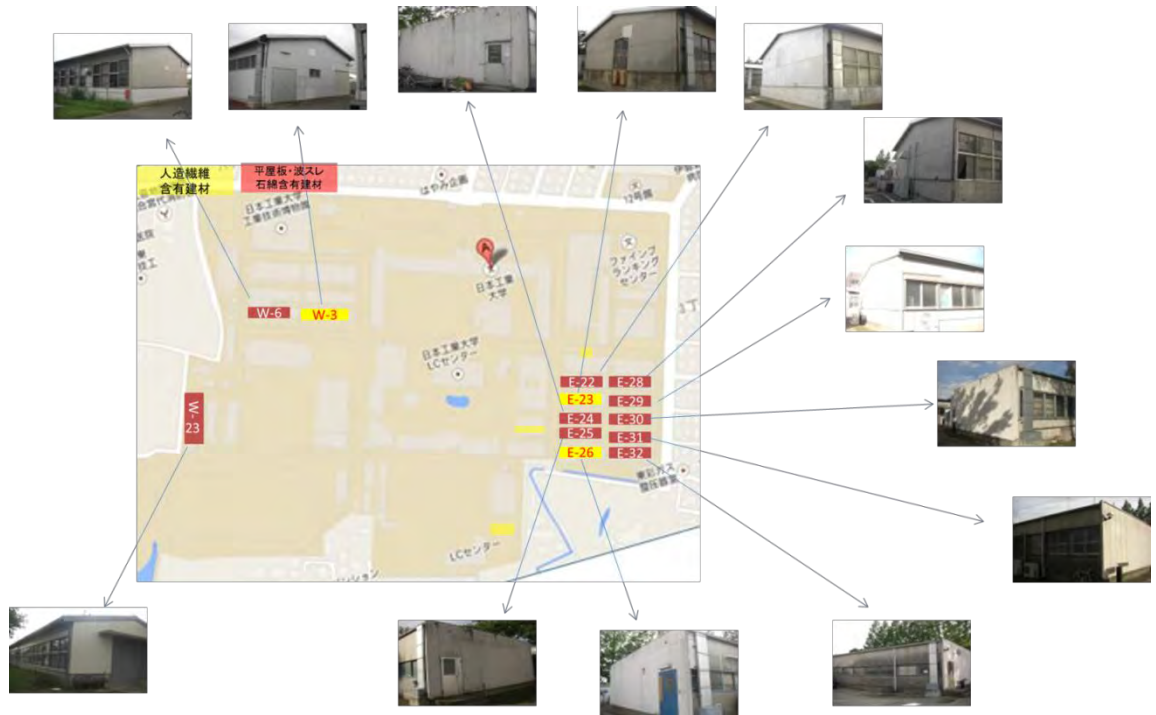


図 4.1.14 学内のアスベスト含有建材のハザードマップ

4.2 中間処理施設等におけるアスベスト建材選別の検討

—目視判定法による混合廃棄物からのアスベスト含有建材のスクリーニング—

埼玉県環境科学国際センター	渡辺 洋一、川壽 幹生、 磯部 友護、鈴木 和将
国立環境研究所	山本 貴士
長崎大学	朝倉 宏

(1) 研究目的

アスベスト含有建材の混入した廃コンクリート、建材等の混合廃棄物（がれき類）を再利用する場合には、アスベスト含有建材の除去が必要である。本研究では、実際に混合廃棄物からアスベスト含有建材を目視により選別する場合の必要人員・時間等について検討する。

(2) 研究方法

1) がれき類からのアスベスト含有建材の選別実験

アスベスト含有建材の混入したがれき類をバックホーのバケットに採り、ブルーシート上に広げる。

- ① 手作業で、粗大物と大型のアスベスト含有建材を選別
- ② 孔径 10mm のふるいでふるい分けを行う（手動）。



図 4.2.1 選別前の混合廃棄物



図 4.2.2 粗選別した粗大物

- ③ 篩い上に残った建材片等からアスベスト含有建材を選別する。選別に要した時間と選別したアスベスト含有建材等の重量を計測する。



図 4.2.3 粗選別で選別したアスベスト含有建材



図 4.2.4 10mm ふるい下



図 4.2.5 10mm ふるい上の手選別作業

2) 混合廃棄物からのアスベスト含有建材の選別実験

この実験は、2.2 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握(p18)において、再生砕石へのアスベスト含有建材片の混入要因調査の一環として混合廃棄物の組成調査を行った際の建設混合廃棄物の手選別実験における選別速度等の検討結果である。

① 混合廃棄物選別実験－1

埋立処分場に搬出されているがれき類を主体とした建設混合廃棄物の選別実験を行った。方法は 1)と同様であるが、重機ではなくスコップにより混合廃棄物を搬入した。

② 混合廃棄物選別実験－2

建材片等の多種類の廃棄物の混合廃棄物について同様の選別実験を行った。混合廃棄物の搬入はフレコンバックにより行った。

③ 混合廃棄物選別実験－3

ガラスくず等の目立つ多種類の廃棄物の混合廃棄物について同様の選別実験を行った。ただし、ふるい上の選別作業の効率を考慮して、20mm のふるいを使用した。また、混合廃棄物の搬入は鉄製コンテナにより行った。

(3) 結果

1) がれき類の選別実験結果

① 手選別による粗選別の結果

バックホーのバケット1杯分(0.7m³)のガレキ類から粗大物と大型のアスベスト含有建材の選別に要した時間は、作業員3名で12~13分であり、アスベスト含有建材量はバケット111.3kg(7.2%)、バケット24.1kg(2.1%)で、ロットによりかなり偏りがみられた。これは、後述する粒径分布に示すように、1回目は表面付近で2回目がその下層部であったため、2回目に土砂分が多く含まれた影響もあると考えられる。

表 4.2.1 粗選別の結果

	時間	アスベスト含有建材(kg)	粗大物(kg)
バケット1	13分	11.28	145.72
バケット2	12分25秒	4.14	193.66

② 10mmふるい分けによる粒径分布とふるい分け速度

混合廃棄物(ガレキ類)のふるい分け時間と粒径分布を表4.2.2, 4.2.3に示す。孔径10mmのふるいを通じた細粒分は28.7%, 35.4%であった。ふるい分けに要した時間は4~5分/回×7回(バケット1)、3~8分/回×5回(バケット2)であった。ふるい投入量に関係なく時間はほぼ一定であったが、バケット2の5回目では所要時間が長くなった。これは、最後に残った混合物を全量投入したため、投入量が多くなってしまったためと考えられ、40cm×60cmの木枠ふるいの場合120kgを超える量を投入すると効率が低下すると考えられた。

表 4.2.2 ふるい分けの時間と量の関係
(バケット1) (kg)

	ふるい分け時間	<10mm	>10mm	合計
1回目	4分	39.14	41.66	80.8
2回目	5分	43.38	54.36	97.74
3回目	5分	38.52	69.82	108.34
4回目	5分	30.96	61.88	92.84
5回目	4分43秒	35.76	82.1	117.86
6回目	4分55秒	21.92	59.36	81.28
7回目	4分30秒	22.78	51.58	74.36
合計	33分	232.46	420.76	653.22

表 4.2.3 ふるい分けの時間と量の関係
(バケット2) (kg)

	ふるい分け時間	<10mm	>10mm	合計
1回目	4分44秒	47.5	57.44	104.94
2回目	3分30秒	40.3	56.88	97.18
3回目	5分	48.7	49.48	98.18
4回目	5分25秒	53.58	55.86	109.44
5回目	7分46秒	72.36	61.1	133.46
合計	26分15秒	262.44	280.76	543.2

③ >10mm手選別の結果

手選別によるアスベスト含有建材作業は、作業員3名で、バケット1では平均6.6kg/分で約420kgを選別するのに延べ63分、バケット2では平均5.3kg/分で約280kgを選別するのに延べ53分を要した(表4.2.4, 4.2.5)。バケット1とバケット2で時間あたりの処理量に差が見られたが、バケット1とバケット2で作業員が交代していることから、個人差の影響が大きいと考えられる(図4.2.6)。

表 4.2.4 バケット1の>10mmの手選別結果

	選別時間	アスベスト含有建材	その他	合計	処理量(kg/min)
1回目	7分	3.28	38.38	41.66	5.95
2回目	9分	5.16	49.2	54.36	6.04
3回目	10分	5.34	64.48	69.82	6.98
4回目	8分	4.04	57.84	61.88	7.74
5回目	10分45秒	5.64	76.46	82.1	7.64
6回目	9分30秒	3.38	55.98	59.36	6.25
7回目	8分50秒	4.42	47.16	51.58	5.86
合計	63分15秒	31.26	389.5	420.76	6.64

表 4.2.5 バケット2の>10mmの手選別結果

	選別時間	アスベスト含有建材	その他	合計	処理量(kg/min)
1回目	11分	5.42	52.02	57.44	5.22
2回目	10分40秒	4.78	52.1	56.88	5.34
3回目	8分46秒	3.18	46.3	49.48	5.65
4回目	10分54秒	5.26	50.6	55.86	5.12
5回目	12分10秒	5.72	55.38	61.1	5.01
合計	53分30秒	24.36	256.4	280.76	5.27

④ がれき類からの選別実験の結果

土砂等の細粒分や粗大物の混合したガレキ類からアスベスト含有建材を手選別した場合、粗大物として短時間で選別できたのは15~27%であった(表4.2.1)。そのままでは選別の難しい小粒径のガレキ類はふるい分けにより細粒分を分離することにより、目視選別が容易になるが、3名で選別した場合の1分間の処理量は5~8kgであり、選別に要する時間には個人差があるものと考えられた。

2) 混合廃棄物からのアスベスト含有建材の選別実験結果

- ① がれき類主体の混合廃棄物選別結果 (図 4.2.7)
>10mm の手選別速度は、0.18~0.35kg/min・人で、平均 0.29kg/min・人であった。
- ② 多種類の廃棄物の混合廃棄物選別実験結果 (10mm ふるい使用) (図 4.2.8)

未分別の 17.3%は、細かく、手選別が困難であったため、残差として計上した数値である。混合されている廃棄物の種類が多い場合は>10mm の手選別は困難であった。この選別残さの残したときの手選別の選別速度は 0.27~0.43kg/min・人であり、平均 0.36 kg/min・人であった。

- ③多種類の廃棄物の混合廃棄物選別実験結果 (20mm ふるい使用)

20mm のふるいを使用したため選別残差はほとんど発生しなかったが、ふるい下の量が倍増した。手選別の選別速度は一日平均の選別速度は 0.32kg/min・人及び 0.42kg/min・人であり、平均 0.37 kg/min・人であった。

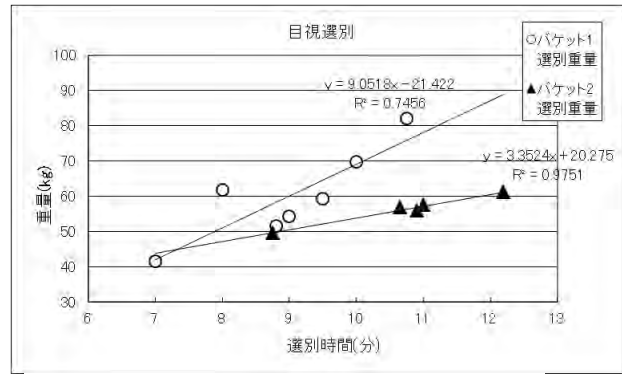


図 4.2.6 選別時間と重量の関係



図 4.2.7 ①がれき類主体の混合廃棄物からの選別速度

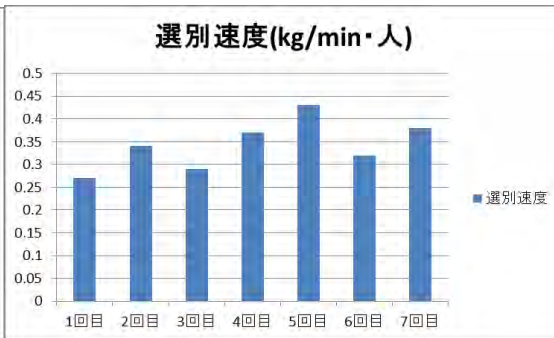


図 4.2.8 ②多種類の廃棄物の混合廃棄物からの選別速度

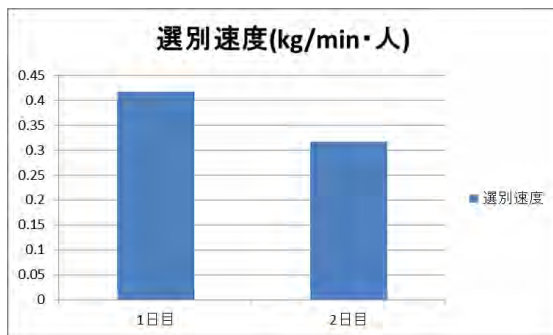


図 4.2.9 ③多種類の廃棄物の混合廃棄物からの選別速度 (日平均)

④ まとめ

混合廃棄物の手選別速度はいずれの場合もほぼ 0.3~0.4kg/min・人 程度 (1人1日8時間で 144kg~192kg) であり、ほぼ一定していた。しかし、これは選別しきれなかった選別残差を含んだ結果であり、混入物の品目の多い廃棄物では、>10mm の割合が多く、手選別の作業性が著しく低下した。がれき類主体では 10mm、それ以外は 20mm のふるいを使用すると選別残差は発生しないが、ふるい下残差が倍増する。その後の処理方法によってふるいの目開きは調整する必要がある。

4.3 アスベストの目視判定による選別の効率と精度

長崎大学 朝倉 宏

4.3.1 はじめに

アスベスト含有量が 0.1w%を超える廃棄物（ACM）は特別な処理が必要になるため、建築物の解体時にはアスベスト調査（JIS 法）が行われ、分別解体される。そのため、ある廃棄物が、アスベストを含む、もしくは含まないと判定されて、それぞれに適切な処理が行われる。しかし廃棄物は混合体である以上、廃棄物処理施設に搬入されるガレキ中にアスベスト含有建材が混入する可能性がある。さらに、災害廃棄物はアスベスト含有建材の混入は避けられないであろう。そこで、建設廃棄物（CDW）の解体や処理現場においてアスベストの迅速な判定方法が求められる。JIS 法は判定に必要な時間が長いので、現場での判定には向かない。迅速判定法として埼玉県が開発した目視判定法があるが、判定精度と必要時間は不明である。精度と必要時間が分かれば現場での目視判定が現実的かどうか提案できる。

また、目視判定法を選別現場に適用するためには、さらに時間短縮が必要である。筆者らの経験から、CDW 片にはアスベスト繊維が観察されやすい部位が存在するように見られた。その部位だけを観察して含有判定した結果が、全表面を観察して判定した結果と同様であれば、その部位だけを観察してもよいことになる。これによって、目視判定の時間は短縮できる。

本研究では目視判定法の精度と時間を把握し、未選別ガレキの山をアスベスト含有/非含有で選別したときの、選別後の濃度と必要時間を見積もることを目的とした。

また本研究では、多数の CDW 片の表面を区割りし、その分画ごとに露出するアスベスト繊維束の密度を目視によって測定した。また、CDW 片のアスベスト含有量を測定し、各 CDW 片が実際に ACM か non-ACM であるか調べた。以上から、CDW 片の全表面もしくは一部の表面を目視し、ACM か non-ACM か判定したときの誤判定率をそれぞれ求めた。

4.3.2 理論

(1) 整形面と破断面

一個の CDW 片は、CDW 片がその由来である製品であったときの整形された表面（整形面）と、破碎処理を受けて新たに形成された表面（破断面）を持つ。板状の製品を想定した時、最も面積の大きい面 S （及びその裏面）は、整形面であろう。この板が破碎された時、ほとんどの場合、 S の垂直方向に破断面が生まれる。すなわち、初期の破碎では、 S が削り取られることはほとんどないと考えられる。したがって、CDW 片が小型の板であるとき、整形面は製品の表面の特徴を残しており、また破断面は荒いため、目視による判別は容易であると考えられる。

(2) 整形面及び破断面上のアスベスト繊維束密度の偏り

アスベスト繊維の露出が CDW 片表面の部位によって偏っており、露出の多くみられる部位 M と少ない L があると仮定する。部位 M だけを目視することによってアスベスト含有の有無を判定し、 L の目視を省略できるならば、目視の時間を短縮できることになる。著者らは、アスベスト繊維の目視の経験から、整形面よりも破断面上に露出するアスベスト繊維が多いことを知っている。ガレキの平均整形面上繊維束密度 S_{ave} ($\text{bundle}/\text{cm}^2$) と平均破断面上繊維束密度 B_{ave} ($\text{bundle}/\text{cm}^2$) を測定すれば、密度比 B_{ave}/S_{ave} を計算することができる。もしその比が大きければ、整形面の目視を省略し破断面のみの目視によってアスベスト含有の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であるといえる。

(3) 破断面上のアスベスト繊維束の偏り

破断面上に露出するアスベスト繊維が部位によって偏っていないと仮定する。破断面面積の一部だけ目視す

ることによってアスベスト含有の有無を判定し、他の部分の目視を省略できるならば、目視の時間を短縮できることになる。破断面上繊維束密度 B (bundle/cm²) を測定し、偏りを評価すれば、破断面面積の半分だけ目視を行ってアスベスト含有の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であるか評価できる。これにより、全破断面面積の目視にかかる時間を半減することができる。

目視判定者は、破断面の半分の面積を任意に想定できる。具体的には、円盤状の CDW 片（円に見える表面が整形面、側面が破断面）を想定し、円の中心を通る直線を引いて、片方の円弧に接する破断面だけを目視することになる。この中心を通る直線の引き方が任意である。本研究では、半分の面積の取り方をより任意に設定できるように計画した。円盤状の CDW 片の円の中心を、アナログ時計の中心と一致させ、1 時間毎の方角に分画した。したがって、12 の分画ができる。その 12 分画の半分の 6 分画を任意に決め、その 6 分画を目視すると本研究では想定した。

4.3.3 試料と実験方法

(1) 試料採取

国内の建設廃棄物破砕選別施設 1 社（以下、X）において、試料の採取を行った。図 4.3.1 に解体現場と破砕選別施設の処理フローを示す。建築物の解体現場において、ACM が分別され、袋詰めされる（A）。その他の建材は、コンクリートや金属など素材ごとに分別される。分別した残りの混合物も発生する。破砕選別施設では、これらの「アスベスト含有建材」、「分別品」、「混合物」が搬入される。ACM は、破砕選別施設で袋詰めの状態で貯留され、埋立地へ搬出される。混合物は施設内で手選別され、大粒径物や金属などに選別され、分別品と同様に貯留される。混合物の手選別残さは、目開き 40 mm の振動ふるいにかけてられ、ふるい上（B）は資源化もしくは埋立、ふるい下は埋立処分される。以上の A と B を採取した。A と B を CDW_p 試料と呼ぶ。B はすべて板状のものを採取した。ただし、ふるい上には板状以外のものはほとんど見られなかった。これは、塊状のものはブロックと認識されて、大粒径物として貯留されているためと考えられる。

A と B を混合した中から 100 個以上を選んで、表面や断面の土壌粒子などをブラシで落とした後、水道水で洗浄した。試料が乾いた後、表面に油性マジックで番号を記入した。試料はすべて板状に近い形状をしている。番号の記入位置は、板の最も面積の広い面とした。なお、この最も面積の広い面（及び裏側）は、側面と比べて、表面の滑らかさや質感から、整形面と判断した。すなわち、本研究における整形面と破断面の判定は、すべて主観である。

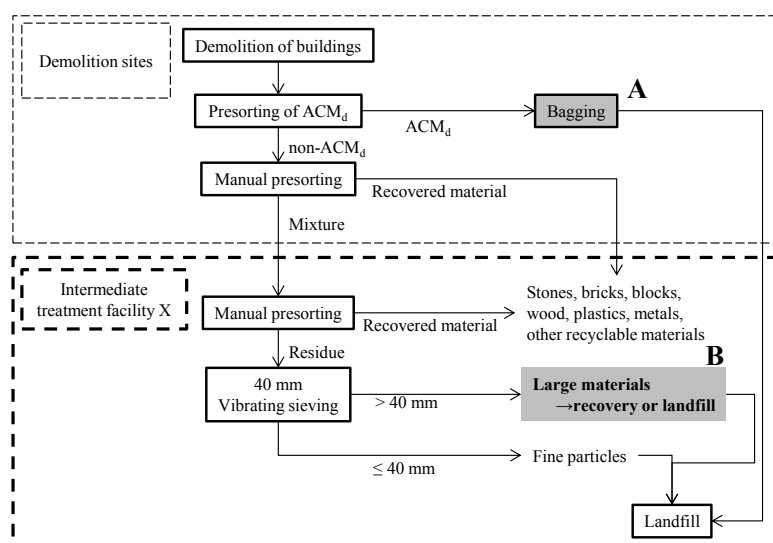


図 4.3.1 建設廃棄物破砕選別施設処理フローと採取試料（A 及び B）

(2) 試料の基礎特性

CDW_p 試料の寸法（最長辺、中間辺及び最短辺）と重量を測定した。

(3) 目視実験方法

CDW_p 試料中のアスベスト繊維の判定は、次の手順で行う。まず、CDW_p 試料の断面に繊維状のものが発見できるか、次に、それはアスベスト繊維であるか、である。アスベスト繊維の判定では、アスベスト繊維の持つ特性を利用した。すなわち、アスベスト繊維は、繊維束を形成しており、かつ、不均一である。

CDW_p 中のアスベスト繊維は、その多くが繊維束で含有されているため肉眼でも見ることができる。しかし、非常に細かい繊維束もあるので、目視の精度を上げるためにルーペ（15倍）を用いて観察した。また、繊維束の画像を、3R-MSV330 携帯式デジタル顕微鏡 ViewTy（10倍）で撮影した。

目視実施者は20代であり、アスベスト繊維判定の知識は無い。試験実施者には、上記のアスベスト繊維の特徴を伝え、典型的なアスベスト繊維が露出している試料を用いてルーペと顕微鏡を用いて目視する練習を10分程度行った。練習を含めた講習時間の合計は30分程度である。その後、目視試験は、次の通り行った。

判定時間と精度のための実験は次のとおりである。実験協力者を募り（計5名）、アスベストを目視判定するポイントを講習し、ルーペ（30倍）及び顕微鏡（150倍）を用いて、番号を付したガレキ片（125片）中アスベスト繊維の「有無」を判定してもらい、同時に判定に要した時間を記録した。判定後にそれぞれのガレキ片のアスベスト濃度を分析した。累積判定時間は60分強で休みなく行った。これらの判定実験によって判定精度と必要時間の2つのパラメータを得た。以上の結果を用い、未選別のガレキの山を想定し、目視判定法でアスベスト含有/非含有を判定・選別後の各分画の濃度と必要時間を算出するモデルを構築した。

繊維束の偏りのための実験は次のとおりである。CDW_p 試料を一片選び、ガレキ表面をルーペで観察し、アスベストと思われる繊維束の数を記録する。繊維は多数あるため、繊維束の数を計測した。整形面については、番号の読める向きに試料を実験台上に置き、最も左端をy軸（すなわち、番号の上方向と平行）に、最も下端をx軸に接するように座標を取った。この座標の1cmメッシュ毎に、メッシュの位置と繊維束数を記録した。破断面については、アナログ時計状に方角を取り、1時間区画ごとに、その区画と繊維束数を計測した。

目視判定では、アスベストと思われる繊維束が1本でもあればACMと判定する（ACM_d）。また、アスベストと思われる繊維束が無ければnon-ACMと判定する（non-ACM_d）。目視判定で発生する誤判定は、「non-ACMであるのにACM_dと判定される」と、「ACMであるのにnon-ACM_dと判定される」とことである。ただし前述のとおり、目視判定はアスベスト濃度の高低を判定しているのではなく、アスベスト繊維の有無を判定している。

(4) アスベスト含有量

目視実験後にCDW_p 試料中のアスベスト含有量の測定を行った。測定対象鉱物は、クリソタイル、アモサイト、クロシドライト、トレモライト/アクチノライト、アンソフィライトである。判定精度のための定性分析はJIS A 1481 7.1及び7.2（XRD及び位相差顕微鏡法）、定量分析はJIS A 1481 10（X線回折法）、定量下限値0.1w%である。偏りのための定性及び定量分析は、偏光顕微鏡 Transmission Electron Microscopy (EPA600/R-93/116)であり、定量下限値0.1w%である。なお、前述の繊維束の判定は目視であるため、発見された繊維束がアスベストかどうかは不明である。

4.2.4 結果

(1) 試料の基礎特性とアスベスト含有量

CDW_p 試料の平均寸法（最長辺、中間辺、最短辺）は、6.2 cm、4.0 cm、1.2 cm、平均重量は67 gであった。アスベストが検出されなかった試料（non-ACM）の数は89であった。アスベストが検出された試料（ACM）

の数は 38 であり、最小値、平均値、最大値はそれぞれ 7.0 w%、12 w%、20 w%であった。non-ACM のアスベスト含有量を定量下限値の半分である 0.05w%と仮定する。この研究では、0.05~7w%の範囲の試料は存在せず、0.05w%及び 7~20w%の範囲の試料のみを対象としたことになる。ACM の 38 試料すべてでクリソタイルが検出され (図 4.3.2)、その中で 1 試料のみクロシドライトも同時に検出された (図 4.3.3)。

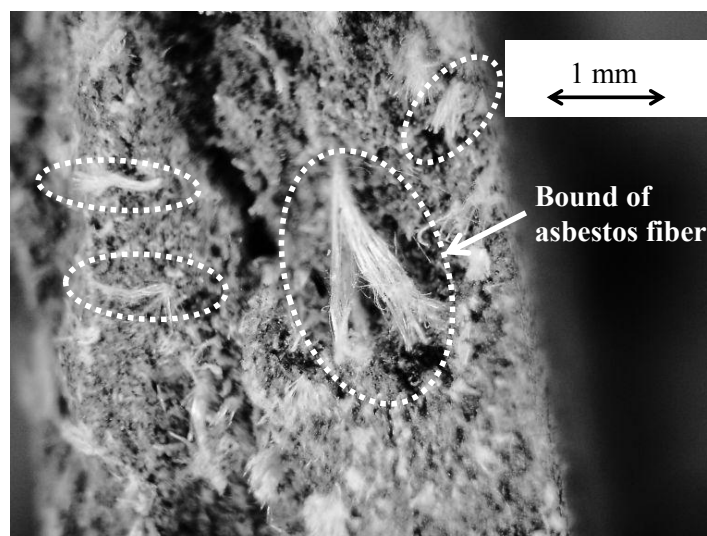


図 4.3.2 繊維束の例 (クリソタイル 20w%の試料)

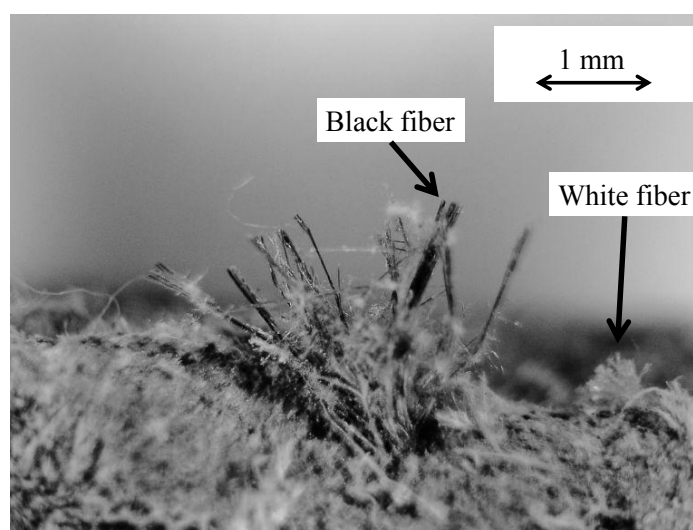


図 4.3.3 繊維束の例 (クリソタイル 10w%、クロシドライト 4w%の試料)

(2) 目視判定法の判定精度と必要時間

判定確率の実験結果を図 4.3.4、必要時間の実験結果を図 4.3.5 に示す。判定確率の 0 は目視によって非含有、1 は含有と判定されたことを表す。アスベスト濃度が 0w%付近 (不検出) の場合は目視によっても非含有と判定され、アスベスト濃度が 5w%以上の場合は目視によっても含有と判定されていることがわかる。

判定時間については、次の特徴があった。アスベスト濃度が 0w%付近 (不検出) の場合は「アスベスト繊維が一本も見当たらない」確証を得るまで観察が続くので、長時間かかる傾向がある。高濃度側の「含有」判定は、アスベスト繊維が一本でも発見できれば終わるので、短時間で判定が終了する傾向がある。

(3) ガレキ選別モデルの構築

未選別ガレキの山をアスベスト含有/非含有で選別したときの、選別後の濃度と必要時間を計算するモデル

を構築する。図 4.3.4 の判定確率 D_f を表すカーブフィッティングのモデル式は、 $D_f = 1 / \{1 + a \cdot e^{bC_n}\}$ であり、実験から係数 a と b が得られる。未選別ガレキ山からガレキ片（濃度 C_n ）一つを取り出して判定すると、 D_f の確率で「含有」と判定される。しかし実際には「含有」か「非含有」かどちらかにしか選別されない。例えば D_f が 0.7 の時、どちらに選別されるのかモデル構造上決定が困難である。そこで、ガレキ片重量 W を、「含有側に $W \times D_f$ 」、「非含有側に $W \times (1 - D_f)$ 」として、ふたつにガレキを割って選別するとした。

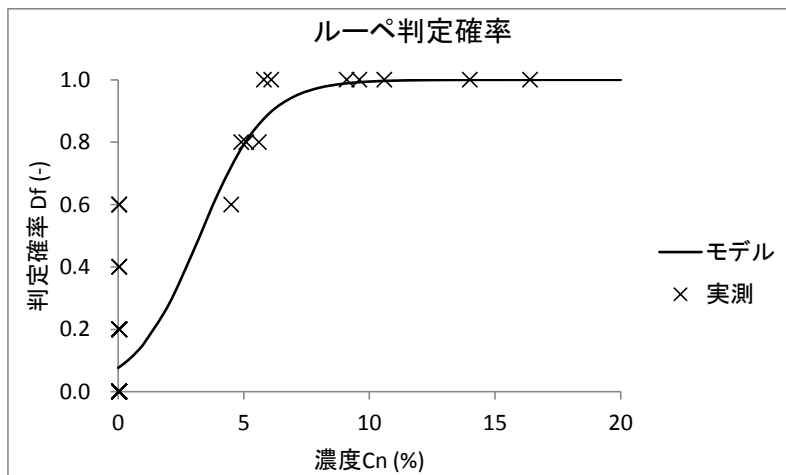


図 4.3.4 ガレキ中アスベスト濃度 C_n と判定確率 D_f の関係

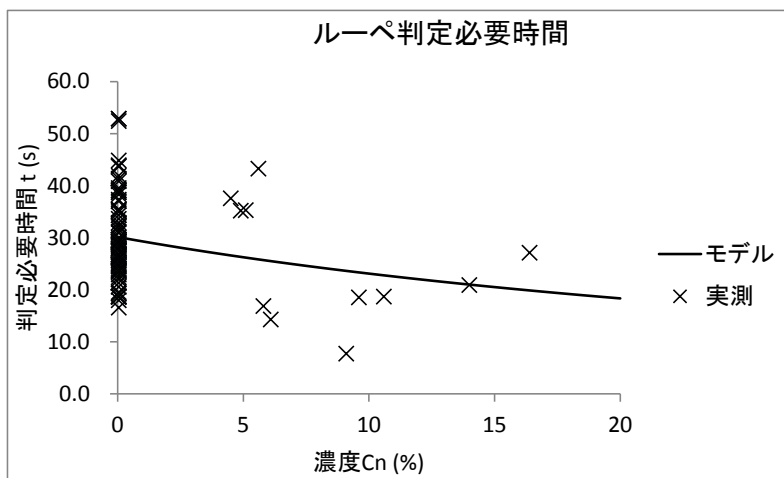


図 4.3.5 ガレキ中アスベスト濃度 C_n と判定必要時間 t の関係

(4) 繊維束の偏り

目視による整形面と破断面の繊維束密度の測定結果を、表 4.2.1 に示す。繊維束密度の測定には、表面積が必要である。最長辺と中間辺で楕円を形成し最短辺の高さを持つ楕円柱を想定し、これを各 CDW_p 試料の形状であると仮定した。全 CDW_p 試料の平均的な表面積は、整形面（裏表計） 42.6 cm^2 、破断面 20.6 cm^2 、合計 63.2 cm^2 である。Non-ACM について、破断面と整形面の繊維束密度（平均、 $n = 89$ ）は、それぞれ $0.0045 \text{ bundle/cm}^2$ 、 $0.0059 \text{ bundle/cm}^2$ であった。また、ACM について、破断面と整形面の繊維束密度（平均、 $n = 38$ ）は、それぞれ 23 bundle/cm^2 、 0.31 bundle/cm^2 であった。整形面のメッシュごとの繊維束密度は $0 \sim 7 \text{ bundle/cm}^2$ であり、傾向が見られなかった。

ACMについて、目視による破断面の繊維束密度の測定結果 (n = 38) を、表 4.3.2 に示す。表 4.3.2 中でアスベスト含有量が少ない試料 (7w%、No.1 and 2) ではアスベスト繊維束が確認できない分画が多い。しかし、No.20 の様にアスベスト含有量が 15w%あるものの、アスベスト繊維束が全く見られない分画を持つ試料も存在する。なお、本研究では、板状 CDW_p 試料の側面はすべて破断面として扱っているものの、側面の中には整形面の様になめらかな表面を残した分画も見られた (表 4.3.2 の網掛け部分。3 試料、5 分画)。この整形面とみられる分画上は、繊維束密度が少ない傾向がみられるが、事例が少ないために詳細は不明である。なお、クロシドライトが検出 (4w%) されたのは、表 4.3.2 の No.21 である。

表 4.3.1 目視による整形面と破断面の平均繊維束密度の測定結果

	Number of particles	Broken surface B _{ave} bundle/cm ²	Shaped surface S _{ave} bundle/cm ²	Ratio B _{ave} /S _{ave} -
non-ACM	89	0.0045	0.0029	1.5
ACM	38	23	0.15	150

表 4.3.2 目視による ACM の破断面の繊維束密度の測定結果

Asbestos content C (w%)	Density of fiber bundle on broken surface B (bundle/cm ²)												
	fraction from upper to lower row o'clock												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	7	1	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1
2	7	0	0	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0
3	10	45	45	18	18	21	32	39	36	25	9	13	41
4	10	3	0	6 ^a	11	0	3	0	9	0	0	0	1
5	10	79	59	20	39	73	56	25	39	20	56	17	31
6	10	10	24	24	3	7	7	7	20	13	8	13	7
7	10	4	5	41	44	19	26	22	52	38	38	15	15
8	10	17	18	18	31	18	28	65	10	7	34	20	13
9	10	29	25	41	59	41	14	20	37	19	20	5	17
10	10	10	14	47	37	18	24	26	69	32	12	8	6
11	10	10	24	61	24	7	9	43	0	0	7	4	7
12	10	1 ^a	0	4 ^a	74	34	35	52	26	45	20	38	18
13	10	0	3	6	56	21	21	93	52	33	30	0	0
14	10	31	39	20	35	33	30	53	26	37	28	22	20
15	10	10	7	23	23	18	8	25	23	31	31	21	18
16	10	16	16	30	0	0	0	21	13	14	43	6	5
17	10	12	8	26	6	0	11	20	31	36	16	18	4
18	10	12	7	8	9	7	7	10	5	12	13	5	7
19	10	2	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	3

20	10	3	2	9	10	9	7	4	2	2	2	0	3
21	14	0	66	29	33	32	17	18	17	26	33	0	0
22	15	39	29	22	61	44	29	39	34	38	66	9	17
23	15	40	50	16	14	18	44	28	26	36	34	12	14
24	15	28	35	23	26	16	16	37	21	47	35	45	12
25	15	52	61	31	52	55	26	42	28	28	49	16	17
26	15	56	34	31	48	29	29	24	24	53	48	20	29
27	15	55	76	26	34	33	26	31	22	34	30	20	34
28	15	42	35	45	37	39	19	24	31	64	42	16	35
29	15	22	28	63	32	19	25	25	0	0	0	19	35
30	15	49	38	157	88	66	29	57	73	57	71	44	49
31	15	37	21	15	9	19	14	28	13	15	10	10	10
32	15	23	31	21	10	6	4	18	9	41	23	23	23
33	15	14	16	4	0	21	6	4	23	6	9	13	4
34	15	9	24	32	31	26	15	17	24	17	12	11	19
35	15	25	28	12	35	22	18	24	23	15	11	16	18
36	15	14	15	19	7	34	44	47	39	17	32	32	7
37	20	31	2 ^a	3 ^a	39	29	38	28	24	12	54	40	43
38	20	32	17	44	67	51	41	35	89	39	22	18	25

^a整形面の様になめらかな表面であった分画

4.3.5 考察

(1) 未選別ガレキの選別シミュレーション

未選別ガレキが 1000 個のガレキ片から成り、 n 番目ガレキ片の濃度は C_n と仮定し、1000 個のガレキ片を「含有」/「非含有」に選別させる計算を行った。ガレキ個数の 50% が濃度 0.1w% 以下、個数の 20% が濃度 20w% 以上と仮定した。得られたパラメータによって、未選別、含有、非含有のガレキ山中のアスベスト濃度が計算できる。シミュレーション結果を図 4.3.6 に示す。選別後の非含有分画のアスベスト濃度が低減できることを表現できたものの、いまだアスベストが 0.35w% 残存しており、基準値を達成できなかった。その理由の一つとして次のことを考えている。図 4.3.4 より、模擬試料中のアスベスト濃度は、不検出～5w% の範囲のデータがないにも関わらず、この範囲の判定確率モデルが 0 から 1 に急激に立ち上がっている。0 であれば非含有、1 であれば含有と明確に選別されることを表すが、0 から 1 の間の判定確率では、どちらに選別すべきかエラーが起こる。すなわちこの濃度範囲で、アスベストの含有/非含有判定・選別のエラーが蓄積しているのではないだろうか。

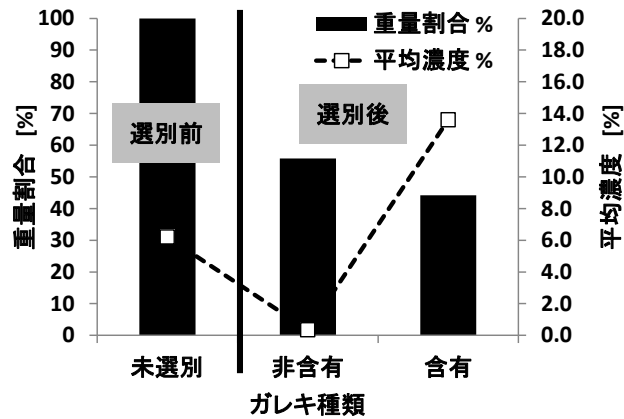


図 4.3.6 未選別ガレキに対する選別後ガレキ中のアスベスト濃度のシミュレーション結果

(2) 災害廃棄物中のガレキ選別にかかる資源の概算

東日本大震災では、アスベスト含有建材を使用する建物が当然破壊されたため、災害廃棄物中のガレキには、アスベスト含有建材が含まれると考えられる。このガレキの選別に必要な人数と作業時間を概算した。災害廃棄物 2.8×10^7 t の 31% がガレキと仮定すると、ガレキ量 8.5×10^6 t、ガレキ一片 500g/個と仮定して 1.7×10^{10} 個である。本研究より、判定処理速度 7.0×10^{-3} h・人/個であるから、選別従事者数と全量選別に係る時間の関係は図 4.3.7 の通りとなる。人件費 1 万円/日・人として 500 億円が必要である。

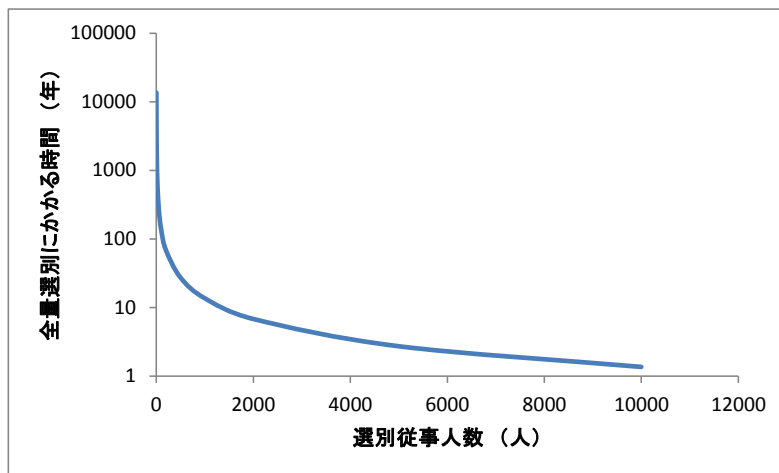


図 4.3.7 災害廃棄物中のガレキ選別における人数と必要時間の関係

(3) 整形面及び破断面で確認された繊維束の密度

平均破断面上繊維束密度 B_{ave} と平均整形面上繊維束密度 S_{ave} の比 (B_{ave}/S_{ave}) を、表 4.3.1 に示す。non-ACM の比は 1.5 であった。non-ACM ではほとんど繊維束は観察されない。non-ACM で繊維束が観察されるということは、繊維束はアスベストではないか (目視の誤判定)、繊維束がアスベストであるものの含有量が 0.1w% 未満であることを意味している。このように non-ACM で起こる誤判定は、目視によってアスベスト繊維が確認されることである。 B_{ave} も S_{ave} も同じ程度であるため、全表面を目視することによる誤判定も、破断面だけを目視することによる誤判定も同様に起こる。non-ACM の 89 試料中、整形面のみに繊維束が確認された試料数は 2、破断面のみに繊維束が確認された試料数は 2 であり、それぞれ別の試料である。したがって、整形面及び破断面両方を目視したときの誤判定率は $4/89=0.045$ であり、破断面のみを目視したときの誤判定率は

2/89=0.022 である (表 4.3.3)。

次に、ACM の B_{ave}/S_{ave} は 150 であった。すなわち、整形面に比べて破断面は 150 倍の密度で繊維束が観察される。したがって、non-ACM 及び ACM 両方において、整形面の目視を省略し破断面のみの目視によってアスベスト繊維の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であるといえる。なお、ACM で破断面にアスベスト繊維束が確認できない試料は無かった。したがって、整形面及び破断面両方を目視したときも破断面のみを目視したときも誤判定率は 0% である (表 4.3.3)。

表 4.3.3 整形面+破断面と破断面のみを目視したときの誤判定率

	Number of particles —	Shaped + broken %	Broken %
non-ACM	89	4.5	2.2
ACM	38	0	0

(4) 破断面の半分を目視したときの誤判定

破断面面積の半分 (12 分画中 6 分画) だけ目視を行ってアスベスト含有の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であるか考察する。すべての試料においてランダムに 6 分画を想定するとき、その組み合わせは ${}_{12}C_6 = 924$ 通りである。

Non-ACM について、破断面に繊維束が確認 (誤判定) された試料は 89 試料中 2 試料である。すなわち、全破断面を目視することによる誤判定率は $2/89 = 0.022$ である。この 2 試料では、12 分画中 3 及び 1 分画において繊維束が確認された。次に、破断面面積の半分を目視するとき、繊維束が確認される確率を求める。この 2 試料についてランダムに選んだ 6 分画のどれかに繊維束が存在する組み合わせは、 $924 - ({}_{12-3}C_6) = 840$ 及び $924 - ({}_{12-1}C_6) = 462$ である。以上から、89 試料から前述の 2 試料を選び、さらにランダムに選んだ 6 分画のどれかに繊維束が存在する確率は、 $(840/924 + 462/924)/89 = 0.016$ である。すなわち、non-ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 2.2% であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 1.6% であった (表 4.3.4)。

ACM について、破断面面積の半分を目視するとき、6 つの分画すべての繊維束密度が 0 の時だけ誤判定が発生する。すなわち、試料に繊維束密度 0 の分画が 6 以上ある時のみ誤判定が生じる。表 4.2.2 によると、繊維束密度が 0 の分画が 6 以上ある試料は、38 試料中 3 試料 (No.1、2 and 4) であった。前述の 3 試料について、6 分画すべての繊維束密度が 0 となる組み合わせは、 ${}_8C_6 = 28$ (No.1)、 ${}_8C_6 = 28$ (No.2) 及び ${}_6C_6 = 1$ (No.4) 通りである。以上から、38 試料から前述の 3 試料を選び、さらにランダムに選んだ 6 分画すべての繊維束密度が 0 である確率は、 $(28/924 + 28/924 + 1/924)/38 = 0.0016$ である。なお、ACM においてすべての分画の繊維束密度が 0 である試料は無かった。すなわち、ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 0% であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 0.16% であった (表 4.3.4)。

表 4.3.4 破断面の全面積及び半分の面積を目視したときの誤判定率

	Number of particles —	All area %	Half area %
non-ACM	89	2.2	1.6
ACM	38	0	0.16

(5) 考察の限界と結果の利用

本研究で用いた CDW_p 試料のアスベスト含有量は、0.05w%及び7~20w%の範囲であるため、前述の考察もこの含有量範囲に限定される。アスベスト含有量の基準は前述のとおり 0.1w%であり、この含有量付近の CDW について、目視判定の精度がどの程度であるか、また、本研究のテーマである一部の目視で判定してよいかの研究が必要である。しかし、アスベスト含有製品は、アスベストの特性（耐薬品性・耐摩耗性など）を発揮するためにある程度以上のアスベスト含有量が必要である。したがって、低含有量のアスベスト試料は入手しづらい。さらに、アスベスト含有量測定によって試料の全部もしくは一部が消滅する。以上が、低含有量の試料を用いることを困難にしている。

本研究では、破断面面積の半分を目視することによる誤判定率を求めた。破断面面積の半分を目視することによって時間の短縮が図られるが、これによって変化する誤判定率を評価するためには、目視判定と選別に関するシミュレーションを行う必要がある。

4.2.6 結論

本研究では、アスベスト含有建材の目視判定の精度と時間を把握し、アスベスト非含有建材を選別するモデルを構築し、未選別ガレキの山をアスベスト含有/非含有で選別したときの、選別後の濃度と必要時間をシミュレーションによって概算した。以下に主な知見を示す。

- ・ 短時間のアスベスト判定の講習を実施することによって、完全な素人でも高精度にアスベスト含有建材が判定できるようになった。
- ・ モデル構築により、未選別ガレキの個数とアスベスト濃度を与えれば、選別後の分画中の濃度と要する時間を計算するシミュレーションが可能となった。
- ・ 選別後 0.1w%の基準は達成できていない。選別精度を支配する要因を考察中。
- ・ 災害廃棄物の選別に要する時間を概算したが、現実的でない膨大な時間が必要であった。

今後は、全数チェック型（ベルトコンベアー式）であるために膨大な時間がかかるため、踏査型（ランダムウォーク式）の精度・時間に関する調査を行い、判定時間を短縮したい。

また本研究では、多数の CDW 片の表面を区割りし、その分面ごとに露出するアスベスト繊維束の密度を目視によって測定した。また、CDW 片のアスベスト含有量を測定し、各 CDW 片が実際にアスベスト含有廃棄物（ACM）か non-ACM であるか調べた。以上から、CDW 片の全表面もしくは一部の表面を目視し、ACM か non-ACM か判定したときの誤判定率をそれぞれ求めた。アスベスト含有量 0.05w%及び7~20w%の範囲について、以下のことが分かった。

一個の CDW 片は、CDW 片がその由来である製品であったときの整形された表面（整形面）と、破砕処理を受けて新たに形成された表面（破断面）を持つ。non-ACM 及び ACM 両方において、整形面の目視を省略し破断面のみの目視によってアスベスト繊維の有無を判定しても、全表面の目視による結果と同様であった。non-ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 2.2%であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 1.6%であった。ACM について、破断面すべてを目視することによる誤判定率は 0%であるのに対し、半分の面積を目視することによる誤判定率は 0.16%であった。

5. アスベスト含有建材からのアスベスト繊維飛散に関する検討

5.1 アスベスト含有建材等からの繊維飛散量の把握に関する検討

独立行政法人国立環境研究所 山本貴士

5.1.1 研究目的

国内で発生する建設廃棄物の多くは再生利用されており、コンクリートがらやアスファルト・コンクリートがらの一部は再生砕石として有効利用されている。建築物の解体に伴ってアスベスト含有建材が排出されるが、これらは石綿含有産業廃棄物として他の建設廃棄物とは区別されて適切に処理されることになっている。しかし最近、再生砕石からアスベスト含有建材片が検出される事例が報告され、アスベスト含有建材の解体時の分別やコンクリートがら等の資源化過程への混入防止が必ずしも適切に行われていないことが明らかとなった¹⁾。これら建設廃棄物の再生利用を進める上で、解体時の分別や資源化過程への混入を防止するためのアスベスト含有物の選別手法の確立や、既に再生砕石として混入した場合においてもアスベスト繊維飛散量の把握やその制御方法の措置の検討が求められている。

本サブテーマにおいては、選別作業現場及び再生砕石使用場所でのアスベスト飛散防止対策提示のための基礎データとして繊維飛散量を把握すること、またその制御方法について検討することを目的として研究を進めた。平成 23 年度には、アスベスト含有建材や土壌からの繊維飛散量の測定方法や事例を収集・整理し、土壌からの飛散量測定方法である EPA Method 540/R97/028 の方法²⁾ (以下 EPA 法)の適用が妥当であるとした。平成 24、25 年度には、EPA 法に記載のダスト発生装置を製作し、アスベスト含有建材からのダスト及びアスベスト繊維飛散量を測定した。また、ダスト及びアスベスト繊維飛散の制御方法として、アスベスト含有建材を水で湿潤化させた場合の飛散量を測定した。

5.1.2 研究方法

(1) 実験装置及び試料

アスベスト含有建材や再生砕石からのダスト及びアスベスト繊維飛散量の測定に使用する実験装置として、EPA 法に記載のダスト発生装置を製作した。ダスト発生装置の模式図及び実機写真を図 5.1.1 に示す。試料を充填したタンブラーを恒湿チャンバー内で定速回転させてダストを発生させる。発生したダストはエルトリューター上部から空気を吸引することで発生する気流によりエルトリューター内に導入され、粗大粒子は沈降し、微細粒子のみがエルトリューター上部に到達し、上部開口部に取り付けられたフィルターで捕集されるか、スクラバー水に回収される。ダスト飛散量はフィルター重量を秤量することにより、またアスベスト繊維飛散量はスクラバー水で捕集した繊維を電子顕微鏡(日本電子、JSM-7600F)を用いて計数することにより求める。

試料として、コロニアル屋根材(クリソタイル 11.9%含有)、波形スレート波(同 12%含有)を使用した(図 5.1.2)。試料はドラフト中でハンマーを用いて破碎し、目開き 1cm の篩を通過したものを使用した。

また、アスベスト含有建材が混入した土壌からのダスト及びアスベスト繊維飛散量を求めるため、模擬混入土壌を用いた実験も実施した。模擬混入土壌は、市販の園芸土壌 2 種類を風乾・混合したものに、波形スレート板(クリソタイル 10%含有)の破碎物が 1~30%となるように混合して調製した。

(2) 実験方法

ダスト発生装置の丸底フラスコに無じん水約 1 L (スクラバー水)を入れてコンデンサーを取り付け、マントルヒーターと冷却水循環装置の電源を入れ、凝集水が毎秒 1 滴でフラスコに戻る条件で沸騰させた。ME 開口部での空気流量を 1.2~1.5 L/min、IST 開口部での空気流量を 0.12~0.15 L/min、スクラバーでの流量を 1.2~1.5 L/min に設定した。試料 70~80 g をタンブラーに秤り採り、タンブラーを実験装置

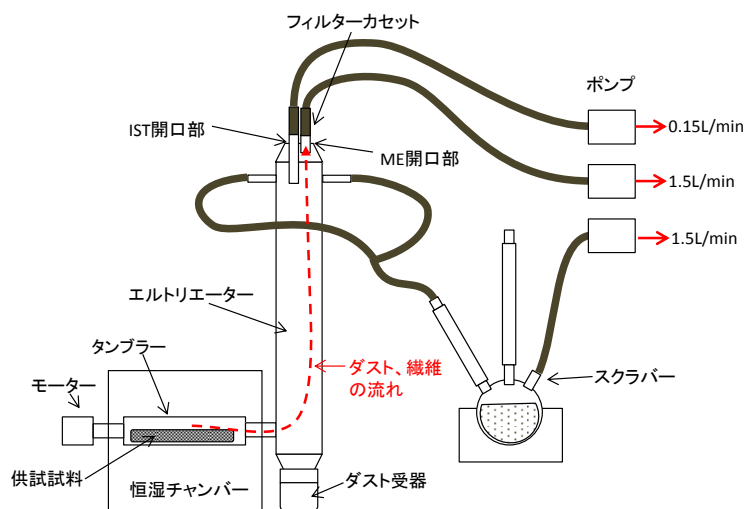


図 5.1.1 ダスト発生装置の模式図(左)及び実機写真(右)



図 5.1.2 実験に使用したアスベスト含有建材(左：コロニアル屋根材、右：波形スレート板)

に取り付けた。吸引開始後、タンブラーを 30 rpm で回転させダストを飛散させた。80 分後にタンブラーの回転速度を 60 rpm に上げ、160 分後にタンブラーの回転を停止した。

実験中、ME 開口部で秤量済みのメンブランフィルター(25 mm ϕ 、孔径 0.8 μ m)によりダストを捕集した。フィルターは 8 分間隔で交換し、重量 0.1 mg の単位まで精秤してダスト飛散量を求めた。

スクラバー水を別容器に移し、コンデンサーや丸底フラスコを無じん水で洗浄してスクラバー水に合わせた。スクラバー水と洗浄水を合わせ一部をメンブランフィルター(47 mm ϕ 、孔径 0.2 μ m)で吸引ろ過した。風乾後にフィルターの一部を切り出して導電性カーボンペーストで試料台に貼付、カーボン蒸着を施し、観察用試料を作製した。これを電界放射型走査型電子顕微鏡 (日本電子製 JSM-7600F/JED-2300)でアスベスト繊維を計数した。観察条件は加速電圧 15 kV、倍率 1、000~5、000 倍、観察した視野数は 4~17 (視野面積 0.0103 mm²)とした。長さ 1 μ m 以上、幅 0.2~3 μ m、アスペクト比 3 以上の繊維を計数対象とした。繊維の同定はエネルギー分散 X 線分析から得られた元素組成に基づき行った。

湿潤化した試料からのダスト及びアスベスト繊維飛散量の検討では、破碎して目開き 1 cm の篩を通した波形スレート板を使用した。試料約 70 g をタンブラーに充填し、試料が完全に湿潤状態になるまで霧吹き器で純水を噴霧した。直ちにタンブラーを実験装置に取り付け、以後は上記の通り実験を行った。

5.1.3 結果と考察

(1) アスベスト含有建材や土壌からのアスベスト繊維飛散量の測定方法

アスベスト含有建材からの飛散量測定に関しては、解体工事現場での実測例や解体工事を模擬した実験例が報告されている³⁾。例えば、アスベストリボン(クリソタイル 89%含有)の表面を擦る作業を行った場合、個人曝露濃度は乾燥状態では総繊維 1505.9 f/L (クリソタイル 1055.3 f/L)、散水状態では総繊維 44.8 f/L(クリソタイル 24.8 f/L)、飛散防止剤噴霧状態では総繊維 92.6 f/L(クリソタイル 28.8 f/L)といった実験例が報告されており³⁾、散水や飛散防止剤の噴霧で繊維飛散が制御できることが示されている。また、チャンバー内で錘体を吹付アスベスト固化体やレベル3建材に落下させ繊維飛散量を測定した室内実験例がある^{4, 5)}。これらの実験においても乾燥状態と湿潤状態での繊維飛散量を比較しており、例えば袋入りクリソタイルは乾燥状態では 100 f/L、等量の水のある状態では 54.7 f/L、さらに湿潤剤を加えた状態では 2.26 f/L と繊維濃度は低下している⁴⁾。

以上のような既往の飛散実験を本研究への適用することを考えた場合、現場実測や模擬実験では解体工事等実際の操作に対応した飛散量測定が可能である反面、湿潤化等飛散防止措置の有効性の検討のための実験条件の制御が困難である。一方、室内実験は条件制御が容易であるが、例示した錘体落下実験は選別過程や再生砕石の利用状況での飛散実態の把握という本研究の目的には合致しておらず、例えば送風しながら試料を破碎し、後段でサンプリングするといった実験系の開発が必要になる。

土壌からの繊維飛散量に関しては、公定法として US EPA の Method 540/R97/028 がある²⁾。これは、土壌やバルク試料に送風して飛散した繊維をエルトリエーターに導入して分級し、吸引可能なサイズの繊維量を求める方法である。装置の写真を図3に示したが、採取した土壌試料(粒径 1 cm 未満)を混合・縮分してダスト発生器に載せ、一定の湿度に保ちながら送風して垂直エルトリエーターの下方から導入する。比較的粒径の大きい土壌粒子はエルトリエーターで沈降するが、小さい土壌粒子や繊維は上部に取り付けられた数点のフィルターに捕集される。一部のフィルターを秤量して飛散した試料量を推計し、別のフィルターは電子顕微鏡法による繊維の同定・計数に供する。検出下限は土壌 1 g 当たり 3×10^6 f ($5\mu\text{m}$ より長い繊維)、 5×10^7 f (全ての長さの繊維)である。また、流動床式アスベストサンプラーを用いた方法が提案されている⁶⁾。これは逆円錐計の容器に土壌を入れ、下部から空気を導入して土壌を攪拌し、飛散した繊維量を求める方法である。エルトリエーターと流動床式サンプラーを比較した場合、試料に直接空気を導入する後方で高い検出感度が得られるが、本研究の目的では、試料に直接空気を導入することや高い検出感度を求めることは想定し難く、流動床式アスベストサンプラーを用いる必要性はないように考えられる。

これらの他、現場適用可能な飛散量把握の方法として、飛散性アスベストフィールドサンプラー(RAFS)を用いた方法が開発されている⁷⁾。これは土壌の上に設置して送風しながら機械的に土壌表面を攪拌して繊維を飛散させ、サンプリングする装置である。土壌にアスベスト含有物が混入しているサイトで条件制御を行わないようなケースでは、有用な方法であると考えられる。

以上、アスベスト含有建材や土壌等からのアスベスト飛散量把握のための測定方法等について整理したが、本研究の目的であるアスベスト含有建材の破碎物や再生砕石からの静的状況での飛散量把握や飛散量の制御手法検討を考慮した場合、土壌からの飛散量測定方法の援用が適当であり、EPA Method 540/R97/028 に記載のエルトリエーター法を適用するが適当であると考えた。

(2) アスベスト含有建材からのダスト及びアスベスト繊維飛散量

ME 開口部に取り付けたフィルターへのダスト累積沈着量(=ダスト飛散量)を図 5.1.3 に示す。実験時間とともにダスト飛散量は増加した。実験途中でタンブラーの回転速度を 30 rpm から 60 rpm に上げているが、回転速度とダスト飛散量との関係は明確でなかった。

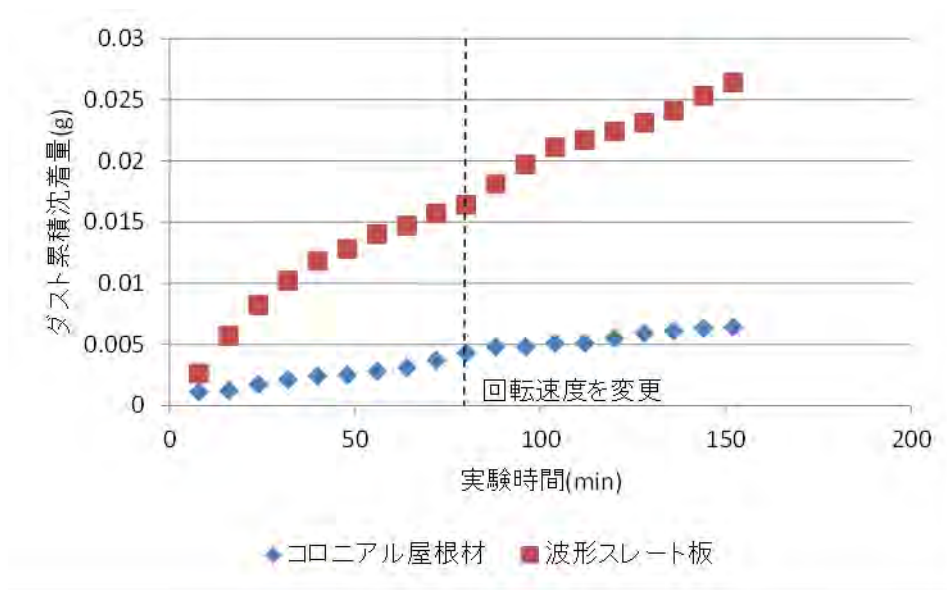


図 5.1.3 実験時間とフィルターへのダスト累積沈着量との関係

EPA 法によれば、タンブラーの回転速度を最高(60 rpm)に上げた時点から時刻 t までに試料から飛散したダストの累積重量 M_t は、回転速度を最高速度に上げた時点から時刻 t までにフィルターに沈着した累積重量 M_f (図 5.1.3 に示した値) の 2.1 倍である。また、回転速度を最高速度に上げた時点の試料中の飛散性ダスト量 M_0 と M_f との関係は次式の通りである。

$$\ln(M_0 - M_f) = \ln(M_0) - kt \quad (\text{式 1})$$

この関係式を用いて M_0 の値を求めたところコロニアル屋根材では 0.029 g、波形スレート板では 0.097 g となった。また、回転速度が 30rpm の時の試料中の飛散性のダスト重量 M_{r30} も、同様の計算に基づきコロニアル屋根材では 0.198 g、波形スレート板では 0.041 g となった。元の試料中の飛散性ダスト量 M_{tot} は M_0 と M_{r30} の和で求められ、コロニアル屋根材では 0.227 g、波形スレート板では 0.138 g となった。以上を表 5.1.1 にまとめた。

表 5.1.1 アスベスト含有建材中の飛散性ダスト量

試料	M_0 (g)	M_{r30} (g)	M_{tot} (g)	%RD
関東ローム土	0.063	0.100	0.163	0.203
コロニアル屋根材	0.029	0.198	0.227	0.303
波形スレート板	0.097	0.041	0.138	0.184

飛散性ダスト量 M_{tot} の試料量 M_{sample} に対する割合 %RD は、コロニアル屋根材では 0.303%、波形スレート板では 0.184% となった。アスベスト含有建材を用いた実験に先立ち、同様の飛散実験を関東ローム土を用いて行ったところ、%RD は 0.20% となった。EPA 法のマニュアル内で言及されている土壌試料の %RD の典型的な値として 0.5~2% としており²⁾、今回の土壌試料の %RD 値はこの 1/10~1/2 という結果であった。

コロニアル屋根材の飛散実験において、4 倍に希釈したスクラバー水から作製した観察用試料を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した例を図 5.1.4 に示すが、セメント粒子に混じってクリソタイルの繊維や繊維束が確認された。4 視野を計数した時の長さ 5 μm 以上のアスベスト繊維数は 109 f であった。

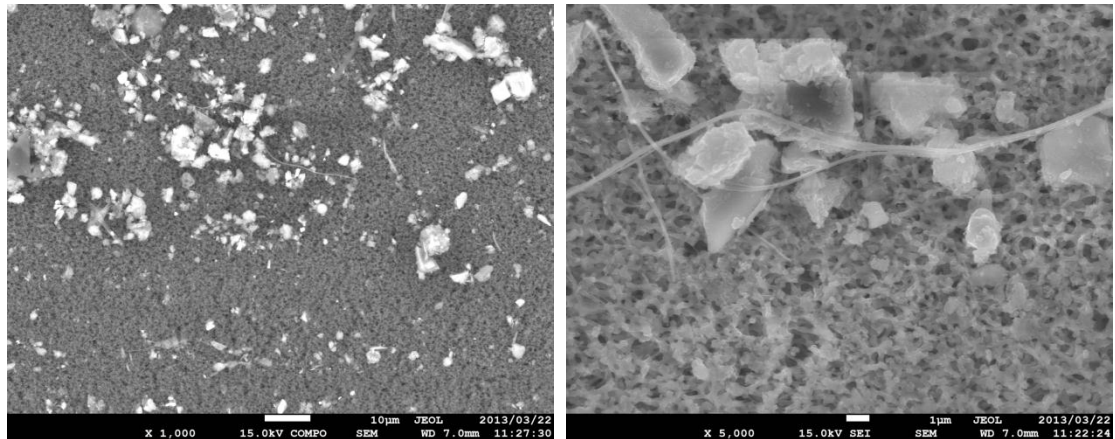


図 5.1.4 コロニアル屋根材の SEM 画像(左 : 1,000 倍、右 : 5,000 倍)

EPA 法によれば、元の試料重量に対する飛散性アスベスト繊維数濃度 C_{smp} を求める式は次の通りである。

$$C_{\text{smp}} = S_{\text{ch}} \times A_f \times \%RD \times DF \div (N_{\text{goh}} \times A_{\text{go}} \times 100 \times M_{\text{scrbr}}) \quad (\text{式 2})$$

ここで、

S_{ch} : 計数されたアスベスト繊維数(f)

A_f : 観察用試料の作製に用いたフィルターの有効面積(mm²)

N_{goh} : 計数した視野目開き数

A_{go} : 一視野の面積(mm²)

DF : スクラバー水の希釈倍率

M_{scrbr} : 実験中にスクラバーで捕集された飛散性の重量(g)。ME での空気流量とスクラバーでの空気流量が等しいので、 M_{scrbr} は実験終了時の M_f に等しい。

従って、(式 2)に $S_{\text{ch}}=109$ 、 $A_f=1$ 、 195 、 $\%RD=0.303$ 、 $N_{\text{goh}}=4$ 、 $A_{\text{go}}=0.0103$ 、 $DF=4$ 、 $M_{\text{scrbr}}=0.065$ の値をそれぞれ代入して、 C_{smp} は 5.9×10^6 f/g (長さ 5 µm 以上)と計算された。

同様に、波形スレート板の飛散実験において、10 倍に希釈したスクラバー水から観察用試料を作製し、SEM により 10 視野を計数した時のアスベスト繊維数は 28 f (長さ 5 µm 以上)、405 f (長さ 1 µm 以上)であった。これより、(式 2)から C_{smp} は 2.2×10^6 f/g (長さ 5 µm 以上)、 3.3×10^7 f/g (長さ 1 µm 以上)と計算された。

EPA 法によれば、 10^{-6} リスクと関連づけられる飛散性アスベスト繊維数濃度は、 3×10^7 f/g (長さ 5 µm 以上)、 5×10^8 f/g (全ての長さ)である。今回のアスベスト含有建材からの飛散性アスベスト繊維数濃度はいずれもこの値を下回っており、アスベスト含有建材破砕物からのアスベスト飛散量はこのレベルでの健康影響を及ぼすものではないと推測された。

(3) 模擬混入土壌からのダスト及びアスベスト繊維飛散量

実験後の供試試料の写真を図 5.1.5 に示した。実験後に目視でアスベスト含有建材(波形スレート)を拾い出し、秤量した結果を表 5.1.2 に示す。



図 5.1.5 実験後の供試試料(左：タンブラー内部、中：土壌、右：アスベスト含有建材)

表 5.1.2 供試試料中のアスベスト含有建材重量

試料	重量(g)	建材重量(g)
土壌+アスベスト含有建材(1%)	75.0	—
土壌+アスベスト含有建材(5.4%)	72.5	3.9
土壌+アスベスト含有建材(17%)	82.6	14.3

それぞれの実験におけるダスト累積沈着量を図 5.1.6 に示す。アスベスト含有建材の飛散実験同様、実験時間とともにダスト飛散量は増加した。また、回転速度とダスト飛散量との関係は明確でなかった。さらには、アスベスト含有建材の混入割合とダスト飛散量との関係も明確でなかった。

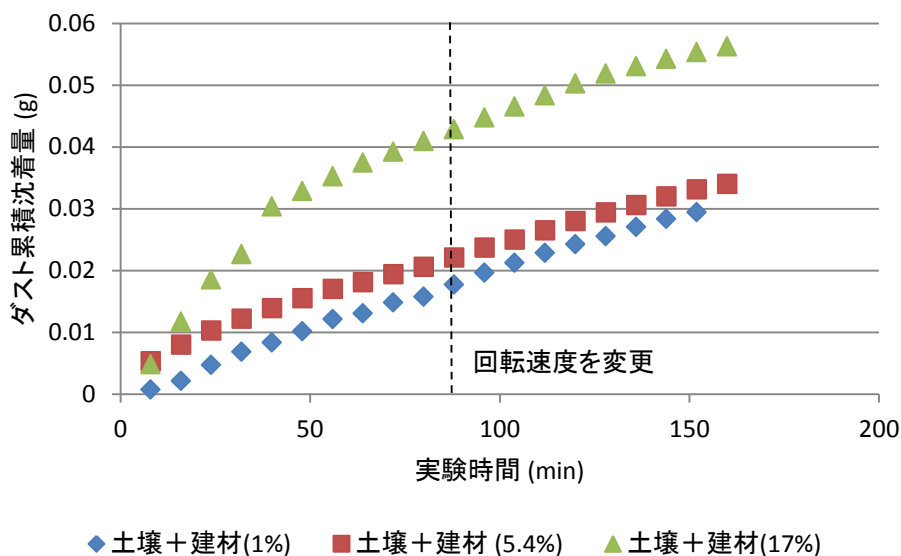


図 5.1.6 実験時間とフィルターへのダスト累積沈着量との関係

アスベスト含有建材の場合と同様に試料中の飛散性ダスト量 M_{tot} を求めたところ 0.161~0.169 g、%RD は 0.200~0.232%となり、アスベスト含有建材の割合と飛散性ダスト量との関係は明確でなかった(表 5.1.3)。

表 5.1.3 模擬混入土壌中の飛散性ダスト量

試料	M_0 (g)	M_{r30} (g)	M_{tot} (g)	%RD
土壌+アスベスト含有建材 (1%)	0.077	0.084	0.161	0.215
土壌+アスベスト含有建材 (5.4%)	0.114	0.055	0.169	0.232

土壌+アスベスト含有建材 (17%)	0.052	0.113	0.165	0.200
-----------------------	-------	-------	-------	-------

土壌+アスベスト含有建材(1%)、土壌+アスベスト含有建材(17%)の両試料について、スクラバー水から観察用試料を作製し、SEMにより飛散性アスベスト繊維数濃度を求めた。図 5.1.7 に示す通り、クリソタイルの繊維や繊維束が確認された。

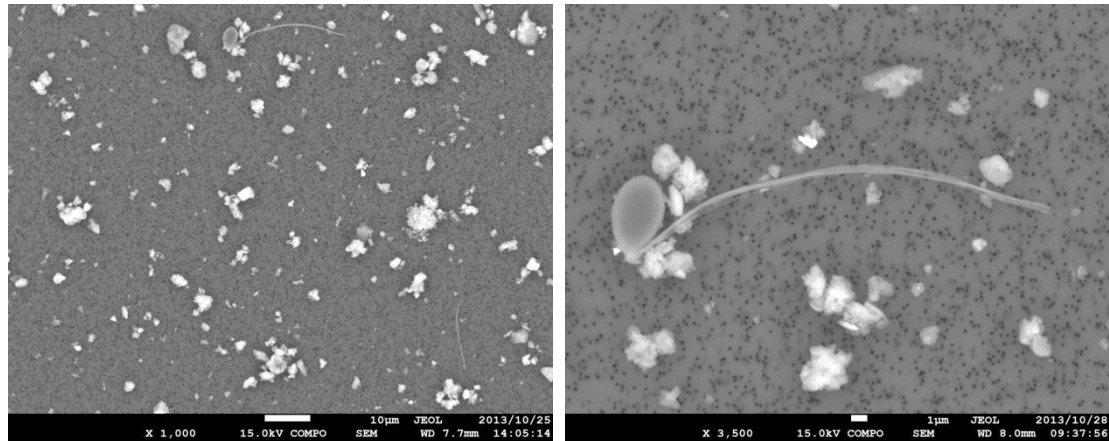


図 5.1.7 土壌+アスベスト含有建材(17%)試料の SEM 画像(左 : 1,000 倍、右 : 3,500 倍)

土壌+アスベスト含有建材(1%)の飛散実験において、37.48 倍に希釈したスクラバー水から観察試料を作製し、SEMにより10視野を計数した時のアスベスト繊維数は21 f(長さ5µm以上)、100 f(長さ1µm以上)であった。これより、(式2)から C_{smp1} は 6.7×10^5 f/L(長さ5µm以上)、 3.2×10^6 f/L(長さ1µm以上)と計算された。また、土壌+アスベスト含有建材(17%)の飛散実験において、41.19 倍に希釈したスクラバー水から観察試料を作製し、SEMにより7視野を計数した時のアスベスト繊維数は20 f(長さ5µm以上)、60 f(長さ1µm以上)であった。これより、(式2)から C_{smp1} は 4.9×10^5 f/L(長さ5µm以上)、 1.5×10^6 f/L(長さ1µm以上)と計算された。

以上の値は、アスベスト含有建材自体を供試試料とした飛散実験の結果よりも小さかった。このことは土壌による希釈の結果であり当然と言えるが、混入率と濃度の明確な関係が見られないことから、土壌マトリックスへの吸着によりアスベスト繊維の飛散性が低減された可能性もある。

(4) 湿潤化によるダスト及びアスベスト繊維飛散量の制御

試料 67.3 g を十分に湿潤化するのに添加した純水の重量は 12.0 g であり、含水率は 15% であった。今回の実験条件で飛散性ダストはメンブランフィルターに捕集されず(<0.1 mg/filter)、ダスト飛散は湿潤化によりほぼ抑制されたものと考えられた。しかし、スクラバー水から作製した観察用試料からクリソタイル繊維が確認された(図 5.1.8)。7.88 倍に希釈したスクラバー水から観察用試料を作製し、SEMにより17視野を計数した時の長さ5µm以上のアスベスト繊維数は9、また長さ1µm以上のアスベスト繊維数は81 fであった。(式2)からは C_{smp1} が求められないため(M_{scrbr} が M_f と同値で0となるため)、スクラバー水に捕集した空气体積当たりのアスベスト繊維数濃度C(f/L)を次式により求めた。

$$C = S_{\text{ch}} \times A_f \times DF \div (N_{\text{goh}} \times A_{\text{go}} \times V_{\text{scrbr}}) \quad (\text{式 3})$$

ここで、 V_{scrbs} : 実験中にスクラバー水に捕集した空気の体積(L)

(式3)に $S_{\text{ch}}=9$ 、 $A_f=1$ 、195、 $DF=7.88$ 、 $N_{\text{goh}}=17$ 、 $A_{\text{go}}=0.0103$ 、 $V_{\text{scrbr}}=192$ の値をそれぞれ代入して、Cは2、500 f/L(長さ5µm以上)、23、000 f/L(長さ1µm以上)と計算された。同じ波形スレート板を湿潤化せずに飛散実験に供した場合のアスベスト繊維数濃度は140、000 f/L(長さ5µm以上)、2、100、000 f/L(長さ1µm以上)であったことから、湿潤化によりアスベストの飛散を1~2%程度に低減できることが示された。

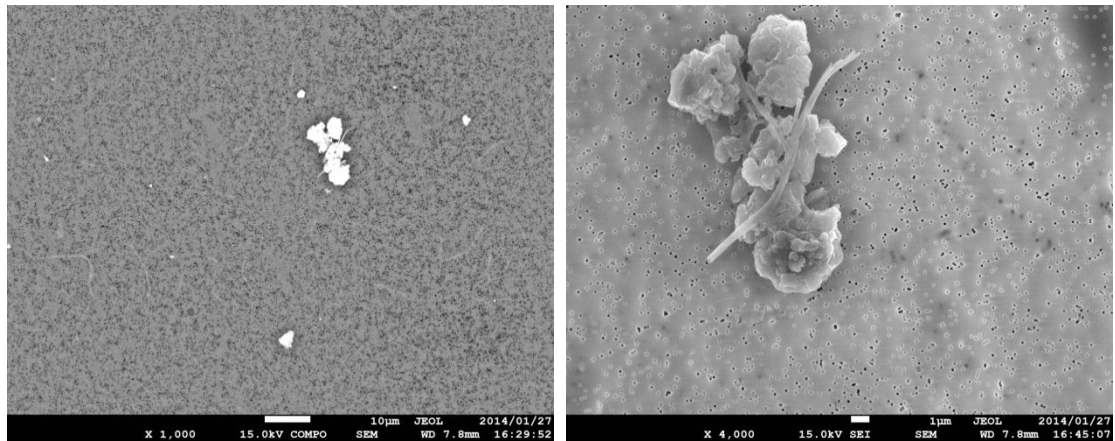


図 5.1.8 波形スレート板+水(15%)試料の SEM 画像(左 : 1,000 倍、右 : 4,000 倍)

一方、波形スレート板 72.4 g に対し純水を 5.5 g 添加した試料(含水率 7.1%)の飛散実験ではダストの飛散が確認され、 M_{tot} は 0.201 g、%RD は 0.26%と湿潤化しない試料と変わらない結果となった。飛散性アスベスト繊維数濃度 C_{smp1} も 1.0×10^7 f/g(長さ 5 μ m 以上)、 9.1×10^7 f/g(長さ 1 μ m 以上)と湿潤化しない試料と変わらなかった。この実験では波形スレート板を使用しているため、試料が十分に湿潤化した状態となっていなければ外見が明らかに異なる。含水率 7.1%のケースでは、湿潤化していない建材片が確認され(図 5.1.9)、そのような建材片からのダスト及びアスベスト繊維飛散があったものと考えられた。



図 5.1.9 湿潤化後の供試試料の状態

5.1.4 結論

まず、アスベスト含有建材や土壌からの繊維飛散量の測定方法や事例を収集・整理した。本研究の目的を考慮した場合、土壌からの飛散量測定方法の援用、特にエルトリエーター法の適用が適当であると考えた。

アスベスト含有建材からのダスト及びアスベスト繊維飛散量を実験的に把握するため、EPA 法に記載のダスト発生装置を製作し、アスベスト含有建材(コロニアル屋根材、波形スレート板)を用いた実験を行った。この試料中の飛散性ダスト量(M_{tot})と試料重量に対する割合(%RD)は、コロニアル屋根材でそれぞれ 0.227 g と 0.303%、波形スレート板でそれぞれ 0.138 g と 0.184%であった。また、飛散性アスベスト繊維数濃度(C_{smp1})は、コロニアル屋根材で 5.9×10^6 f/g(長さ 5 μ m 以上)、波形スレート板で 2.2×10^6 f/g(長さ 5 μ m 以上)と計算された。

これらの濃度は 10^{-6} リスクに関連づけられる値 3×10^7 f/g (長さ $5 \mu\text{m}$ 以上) よりも小さく、アスベスト含有建材破砕物からのアスベスト飛散量はこのレベルでの健康影響を及ぼすものではないと推測された。

土壌中に波形スレート板を 1~17% の濃度で混入した試料の飛散実験において、 M_{tot} は 0.161~0.169 g、%RD は 0.200~0.232% であった。 C_{smpl} は、混入率 1% の試料で 6.7×10^5 f/L (長さ $5 \mu\text{m}$ 以上)、混入率 17% の試料で C_{smpl} は 4.9×10^5 f/L (長さ $5 \mu\text{m}$ 以上) と計算され、アスベスト含有建材自体を供試試料とした飛散実験の結果よりも小さかった。

波形スレート板を湿潤化した飛散実験(含水率 15%)において、飛散性ダストはフィルターに捕集さなかった。スクラバーに捕集した空気体積当たりのアスベスト繊維数濃度を計算したところ、湿潤化しない場合の 1~2% 程度に低減され、湿潤化がダストやアスベスト繊維の飛散制御方法として有効であることを示した。

5.1.5 参考文献

- 1) 国土交通省：再生砕石に混入するアスベスト対策について(お知らせ)、平成 22 年 9 月 9 日報道発表資料 (2010)
- 2) US EPA: Superfund method for the determination of releasable asbestos in soils and bulk materials、EPA 540/R97/028 (1997)
- 3) (財)日本船舶協会：船舶における適正なアスベストの取扱いに関するマニュアル (2011)
- 4) 藤長愛一郎、藤川陽子、中坪良平、平木隆年：落下発じん実験に基づいた飛散アスベストによる健康リスク評価、環境衛生工学研究、25、132-135 (2011)
- 5) 平井康宏、水嶋周一、酒井伸一：石綿含有成形板の破砕実験による解体時飛散係数の推定、第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集、495-496 (2011)
- 6) K.E.Wright、B.H.O'Breien: Fluidized Bed Asbestos Sampler Design and Testing、INL/EXT-07-13122 (2007)
- 7) J.R.Kominsky、J.W.Thornburg、G.M.Shaul、W.M.Barrett、F.D.Hall、J.J.Konz: Development of the releasable asbestos field sampler、Air & Waste Manage. Assoc. 60、294-301 (2010)

5.1.6 発表

- (1) 山本貴士、貴田晶子：石綿含有建材混入土壌からの繊維飛散量の検討、第 22 回環境化学討論会 (2013.8、東京)
- (2) 山本貴士、貴田晶子：災害廃棄物混入土壌からの石綿繊維飛散に関する実験的検討、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2013.11、札幌)

5.2 再生砕石からのアスベスト放出量の現場測定に関する検討

独立行政法人国立環境研究所 遠藤和人・山本貴士・山田正人

5.2.1 はじめに

再生砕石は、解体等の工事より発生するコンクリート塊を破砕処理して作られる場合が多く、再生クラッシャーランとも呼ばれ、粒径 0~40 mm の範囲の再生砕石 (RC40) が多く再生利用されている。40 mm の単粒砕石 (S40) や粒度調整砕石 (M40) に比較して、細粒分を含む再生砕石 RC40 は締固め特性が良く、車道や歩道の路盤材、側溝等の基礎として利用される。また、土壌に比較すれば粉じん発生量も少なく、浸食の影響を受けにくいことから、駐車場や仮設道路等の舗装材として表層利用される場合もある。再生砕石は、コンクリート塊からのみ作られる訳ではなく、煉瓦や屋根瓦、コンクリートブロック等も原材料になっている。これら原材料は、建築物の解体工事等から発生した廃棄物を再生利用したものであるが、解体時に分別の徹底を怠った結果、解体時に発生したアスベスト含有建材 (非飛散性) が混入してしまい、結果的に再生砕石にアスベストが混入して表層利用されたことが社会問題となった。また、規制強化以前に既に再生砕石に混入したアスベストが、再生砕石の再利用時に、再度、再生砕石に希釈されながら混入していくことから、既に市場に出回っているアスベスト混入再生砕石を制御することは難しい事態となっている。

規制上、再生製品のアスベスト含有率が 0.1%以下にすることが規定されているが、これは、使用された再生砕石全量のアスベスト存在率が 0.1%まで許容するというのではなく、アスベスト含有率が 0.1%以下の再生砕石しか利用できないということである。再生砕石へのアスベスト混入問題は、再生砕石の中に、アスベスト含有建材が混入することであるため、混入したアスベスト含有建材自体の含有率は当然ながら 0.1%を超過する。したがって、規制に準拠するのであれば、再生砕石に混入したアスベスト含有建材の全てを除去することが求められている。しかしながら、全てのアスベスト含有建材を除去することは現実的な解でない。本研究では、アスベスト含有建材が混入した再生砕石が敷設された敷地にて、実際にどの程度のアスベストが飛散・放出されるのか、現場試験を実施した。

5.2.2 研究方法

表層利用されたアスベスト含有建材が混入した再生砕石から、どの程度のアスベストが大気中に放出されるかを検証するため、Kominsky らによって開発された RAFS (Releasable Asbestos Field Sampler)¹⁾を模したアスベストサンプリング装置を製作し、表層利用された敷地において再生砕石からのアスベスト放出の量現場測定を実施した。製作した現場実験装置を図 5.2.1 に示す。風量を調整可能な送風機 (図中左上) から整流器を通して、空洞部に空気を送り、図中右側のフィルターカートリッジ部から排出することで、実環境における風を模擬できるようにした。空洞部内には、楕形の可動部が設置されており、内部を左右に往復しながら動くことで地盤部の砕石を攪拌する役割を担っている。攪拌させながら、送風機から送られ、空洞部の大気中へと放出したアスベストは、3つのフィルターカートリッジで捕捉される。フィルターカートリッジは、装置上部に設置されている吸引ポンプで吸引され、流量調整器で吸引流量を制御可能としている。本装置と RAFS との大きな違いは、可動する楕形部である。RAFS では、tine と呼ばれるロッドが 10 本設置されており、これが左右に移動するが、再生砕石のように粒径が大きく、重さもある地盤を対象にすると、このロッド (剛体) では可動部が停止してしまう。そこで、このロッドをスプリングバネに変更し、可動部がロックして停止しないように工夫した。

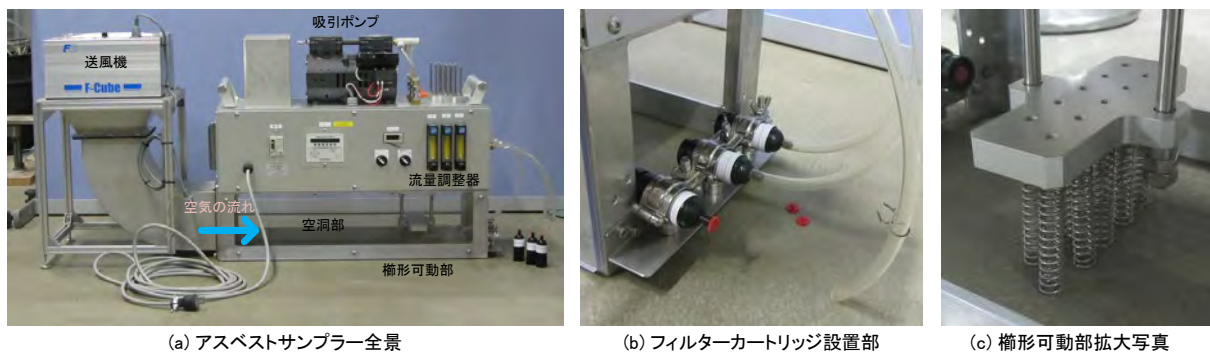


図 5.2.1 製作したアスベストサンプリング装置

アスベスト含有建材が混入した再生砕石敷設場所において、含有建材が目視確認された 4 地点を調査対象とし、それぞれ、A、B、C、D 地点として調査を行った。吸引流量は 10 L/min、1 回の測定を 10 分として総吸引量 100L に設定した。送風機からの風量は、風速が 5 m/s になるように熱線風速計で測定しながら調整した。

アスベストサンプルは、エネルギー分散型 X 線分析（以下、EDS とする）装置付きの電界放出型走査型電子顕微鏡（以下、SEM とする）：JEOL 製 JSM-7600F/JED-2300 にて分析した。加速電圧は 15 kV、倍率は 1000 倍を基本として適宜高倍率に変更した。サンプリングしたフィルターカートリッジから、フィルターを取り出してカットし、カーボンペースト（アクアダック）をフィルターに浸潤させて SEM 試料台に貼り付けた。長さ 1 μm 以上、幅 0.2 μm 以上、アスペクト比 3 以上の繊維を計数した。濃度の計算方法は、繊維数濃度 (f/L) = (繊維数(f) × フィルター有効面積(mm²)) ÷ (計数視野数 × 視野面積(mm²) × 空気採取量(L)) とする。

5.2.3 研究結果と考察

表 5.2.1 SEM / EDS によって分析されたアスベスト繊維数濃度

試料	長さ 1 μm 以上、幅 0.2 μm 以上		長さ 5 μm 以上、幅 0.2 μm 以上	
	総繊維数濃度 (f/L)	アスベスト繊維数濃度 (f/L)	総繊維数濃度 (f/L)	アスベスト繊維数濃度 (f/L)
A 地点	10.1	< 0.9	3.6	< 0.9
B 地点	4.7	< 0.9	3.6	< 0.9
C 地点	4.7	2.4	2.4	< 0.9
D 地点	10.1	< 0.9	5.9	< 0.9

SEM によって分析した結果を表 5.2.1 に示す。長さ 1 μm 以上、幅 0.2 μm 以上、アスペクト比 3 以上の総繊維数濃度は 4.7~10.1 f/L の範囲で検出された。EDS 分析の結果からクリソタイルと判断されるアスベストが 2.4 本検出された。一方、位相差顕微鏡による測定時の計数ルールである長さ 5 μm 以上、幅 0.2 μm 以上、アスペクト比 3 以上の繊維数濃度は、2.4~5.9 f/L であり、アスベストとみられる繊維は不検出という結果であった。C 地点の SEM 画像を図 5.2.2 に示す。視野 2-1 ならびに 4-1 でクリソタイルが疑われる繊維状鉱物が確認できる。

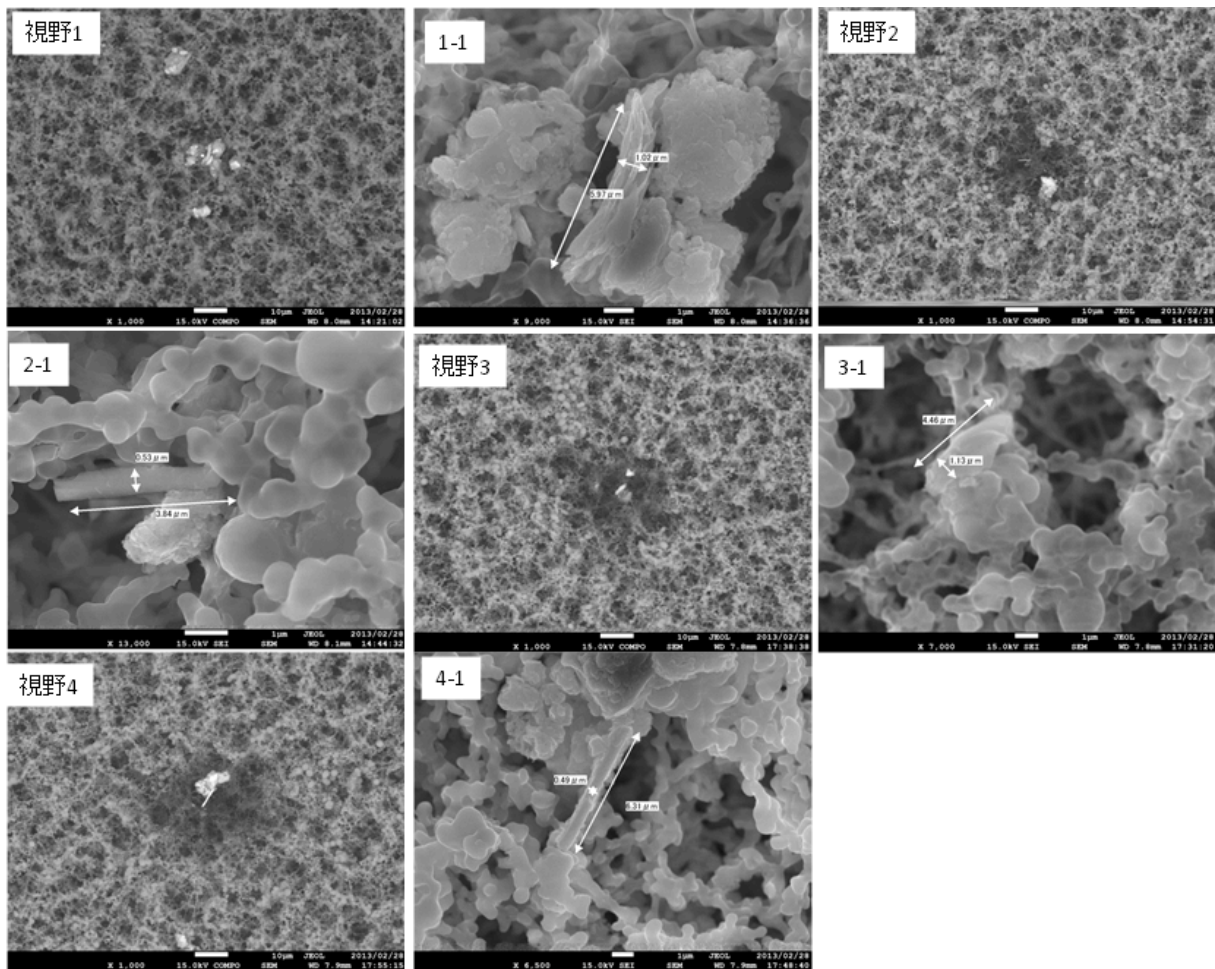


図 5.2.2 地点 C における SEM 画像結果

5.2.4 まとめ

アスベスト含有建材が混入した再生砕石が表層利用されている現場にて、目視によってアスベスト含有建材が確認された地点を選定して、試作したアスベストサンプリング装置を用いた現場実験を行った。その結果、長さ $1 \mu\text{m}$ 以上、幅 $0.2 \mu\text{m}$ 以上、アスペクト比 3 以上の総繊維数濃度が $4.7 \sim 10.1 \text{ f/L}$ の範囲で検出され、EDS 分析の結果からクリソタイルと判断されるアスベストが 2.4 本検出されたが、アスベストの飛散量の殆どが検出下限 (0.9 f/L) 以下であった。今後、本装置を用いた現場試験が、どの程度の攪乱を模擬しているか等、検証を進める予定である。

参考文献

- 1) Kominsky, J.R., Thornburg, J.W., Shaul, G.M., Barrett, W.M., Hall, F.D., and Konz, J.J. (2010): Development of the Releasable Asbestos Field Sampler, J. Air & Waste Manage. Assoc., 60, 294-301

その他

研究発表、論文発表、知的財産権取得状況等は特になし。

5.3 建設廃棄物処理、処分、再利用工程におけるアスベスト飛散量調査

5.3.1 手選別作業時のアスベスト飛散量

埼玉県環境科学国際センター 渡辺 洋一、川崎 幹生、鈴木 和将
 国立環境研究所 山本 貴士 長崎大学 朝倉 宏

(1) がれき類選別作業時のアスベスト繊維飛散量

1) 目的

建材片の混入したがいれき類を有効利用する場合、アスベスト含有建材片の除去を行うか、明確にアスベスト非含有のコンクリート塊等を資源として選別するなどの選別を行う必要がある。しかし、選別作業のコストと時間の問題とともに、選別作業に伴うアスベスト繊維の飛散による作業員の暴露も懸念される。そこで、がれき類のふるい分けと手選別の作業を行い、その間の個人暴露と周辺大気の測定を行った。

2) 方法

・ 大気サンプリング

選別実験の風上1地点と風下3地点で大気サンプリングを行った(図5.3.1)。実験日の風向は北西～北、風速0～20m/sec。で天候は晴れであった。

大気試料はシバタ科学製アスベストサンプラーAS-100を用いて、毎分10Lで連続採取した。

分析は環境省「アスベストモニタリングマニュアル第4.0版」に準拠し、アセトン・

トリアセチンによる透明化処理の後位相差顕微鏡による計数を行った。

・ 個人サンプラーによる測定

選別実験に参加したメンバーの個人暴露調査を行った。個人暴露試料は「屋外作業場における作業環境管理に関するガイドライン」により、作業員の口の周辺30cm以内の大気を1L/minで吸引して採取した。

3) 結果

・ 大気サンプリングの結果

表5.3.1に分析結果を示す。総繊維数濃度(アスベスト繊維濃度ではない)はいずれも1リットル当たり1本未満であった。

・ 個人サンプラーの結果

選別実験に参加したメンバーの個人暴露調査の結果、総繊維数濃度の数値は「屋外作業場における作業環境管理に関するガイドライン」別表1の管理濃度0.15本/cm³(150本/L)を大幅に下回った。各作業員の比較では、吸引量が少ないため誤差等が考えられるが、ユンボによる掘削～展開までの操作でやや濃度は高かった。

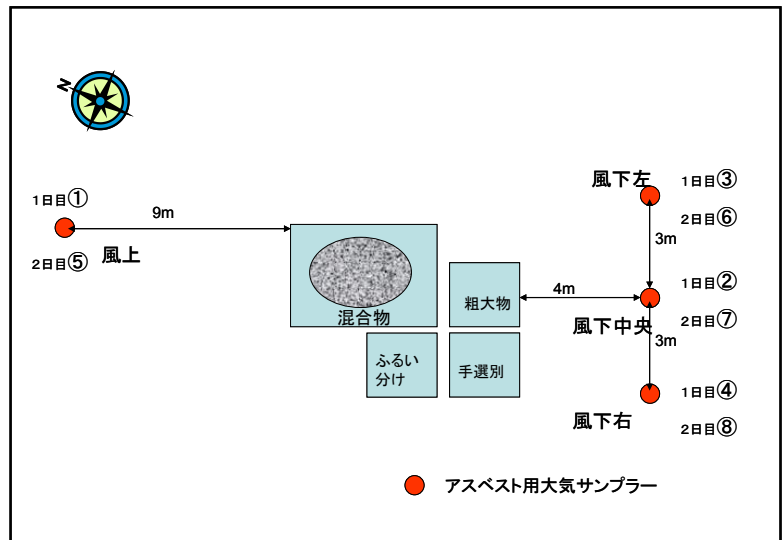


図 5.3.1 大気サンプリング位置図

表 5.3.1 大気試料の分析結果

No.	採取位置	採取日	吸引時間 (分)	吸引量 (L)	観察視野数	総繊維数 (f)	検出下限 (f/L)	繊維数濃度 (f/L)
1	風上	2月9日	108	1080	100	1	0.12	0.12
2	風下中央	2月9日	108	1080	100	6	0.12	0.75
3	風下左	2月9日	108	1080	100	3	0.12	0.37
4	風下右	2月9日	108	1080	100	2	0.12	0.25
5	風上	2月10日	281	2810	100	3	0.048	0.14
6	風下左	2月10日	281	2810	100	2	0.048	0.096
7	風下中央	2月10日	281	2810	100	4	0.048	0.19
8	風下右	2月10日	281	2810	100	1	0.048	0.048

表 5.3.2 個人暴露調査結果

No.	作業者	主な作業	吸引時間 (分)	吸引量 (L)	観察視野数	総繊維数 (f)	検出下限 (f/L)	繊維数濃度 (f/L)
A	ユンボ	掘削～運搬～シート上に展開	5.5	5.5	100	1	9.7	9.7
B	鈴木	手選別と篩い分け	141	141	100	8	0.38	3.0
C	朝倉	手選別と篩い分け	141	141	100	3	0.38	1.1
D	藤原	スコップによる試料移動	141	141	100	3	0.38	1.1
E	渡辺AM	手選別とスコップ作業	46	46	100	2	1.1	2.3
F	渡辺PM	手選別とスコップ作業	95	95	100	2	0.56	1.1

(2) 混合廃棄物手選別作業時のアスベスト繊維飛散量

1) 目的

建設混合廃棄物の排出量は建設廃棄物の 4%程度であるが、埋立処分量では約 40%を占める廃棄物であり、再利用が進まない廃棄物である。アスベスト含有建材片の混入した混合廃棄物を有効利用する場合、アスベスト含有建材片の除去を行うか、アスベスト含有建材片を含まない資源物のみを取り出す必要がある。しかし、選別作業のコストと時間の問題とともに、選別作業に伴うアスベスト繊維の飛散による作業員の暴露も懸念される。そこで、混合廃棄物のふるい分けと手選別の作業を行い、その間の周辺大気のアスベスト繊維濃度測定を行った。

2) 方法

① 大気サンプリング

選別実験の周囲 2～3m 付近の風上と風下、及び直交する 2 方向に大気サンプラーを設置し、選別作業中の大気のサンプリングを行った。実験場所は、選別実験-1 は屋外で、選別実験-3 は屋内で行った。選別実験-3 の配置図を図 5.3.2 に示す。

大気試料はシバタ科学製アスベストサンプラー AS-100 を用いて、毎分 10L で連続採取した。分析は環境省「アスベストモニタリングマニュアル 第 4.0 版」に準拠し、位相差顕微鏡法による総繊維数濃度の測定を行い、その後、総繊維数濃度以下まで SEM/EDS によるアスベスト繊維濃度測定を行った。従って、総繊維数 1 本/L 以下の試料についても検出された繊維がアスベストであるか否かの判定を行った。

3) 結果

目視判定と手選別による混合廃棄物からのアスベスト含有建材選別実験作業中における周辺大気の大気中の総繊維数濃度を測定したところ、0.26～1.6 本であった。手選別実験-1 の方が濃度が高いのは、手選別前の混合廃棄物の細粒子分の比率が多い影響があったものと考えられる。

選別実験-3 配置図

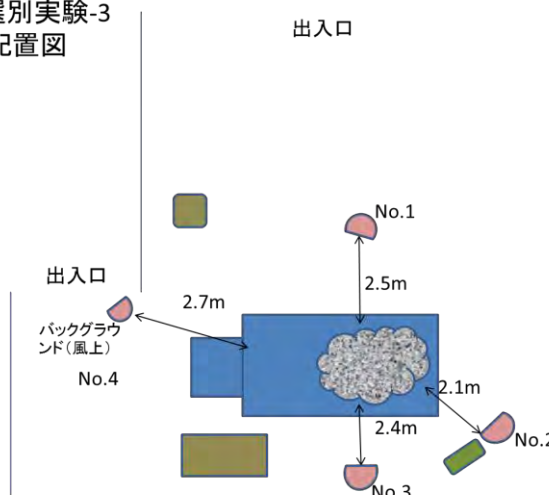


図 5.3.2 大気サンプリング位置図

表 5.3.3 手選別実験中の大気中総繊維数濃度

実験区分	サンプラー No.	吸引空気量 (L)	総繊維数 (本)	総繊維数濃度 (本/L)
手選別実験-1	No.1	1200	13.5	1.5
	No.2	1200	13.5	1.5
	No.3	1200	14.5	1.6
	No.4	1200	13	1.4
手選別実験3-1	No.1	2510	12.5	0.67
	No.2	2510	14.5	0.78
	No.3	2510	10.5	0.56
	No.4	2510	9	0.48
手選別実験3-2	No.1	2530	8	0.43
	No.2	2480	8	0.43
	No.3	2530	8.5	0.45
	No.4	2530	5	0.26

表 5.3.4 手選別実験中の大気中アスベスト繊維数濃度

実験区分	サンプラー No.	有効ろ過面積 (mm ²)	吸引空気量 (L)	測定視野数	アスベスト繊維数濃度(本/L)				
					クリソタイル	アモサイト	クロシドライト	トモライト/アケチライト	アンソフィライト
手選別実験-1	No.1	961.625	1200	100	ND	0.65 (1本)	ND	ND	ND
	No.2	961.625	1200	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.3	961.625	1200	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.4	961.625	1200	100	ND	ND	ND	ND	ND
手選別実験3-1	No.1	961.625	2510	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.2	961.625	2510	100	0.31 (1本)	ND	ND	0.31 (1本)	ND
	No.3	961.625	2510	100	ND	0.31 (1本)	ND	ND	ND
	No.4	961.625	2510	100	ND	ND	ND	ND	ND
手選別実験3-2	No.1	961.625	2530	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.2	961.625	2480	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.3	961.625	2530	100	ND	ND	ND	ND	ND
	No.4	961.625	2530	150	ND	ND	ND	ND	ND

5.3.2 がれき類破砕施設におけるアスベスト繊維飛散量調査

埼玉県環境科学国際センター 渡辺 洋一、川寄 幹生、鈴木 和将
 国立環境研究所 山本 貴士
 長崎大学 朝倉 宏

(1) 目的

アスベスト含有建材を破砕するとアスベスト繊維が飛散することは報告されており、いかに破砕工程にアスベスト含有建材を混入させないかが重要である。2.2 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握(p18)において、再生砕石中にアスベスト含有建材片が確認されなかった施設において、下ごみ選別物を再生砕石原料から排除した場合の再生砕石製造の安全性の確認のため、破砕機周辺の飛散量測定を行った。

(2) 方法

がれき類を破砕している破砕機周辺の4地点で大気中アスベスト測定を行った。大気試料はシバタ科学製アスベストサンプラーAS-100を用いて、毎分10Lで連続採取した。

分析は環境省「アスベストモニタリングマニュアル第4.0版」に準拠し、総繊維数濃度は位相差顕微鏡法により係数し、アスベスト繊維数濃度はSEM/EDSにより分析した。

(3) 結果

総繊維数濃度は1.5~6.1本/Lであった(表5.3.4)。しかし、アスベスト繊維は検出されなかった(表5.3.5)。当該施設で製造した再生砕石の調査を

行った結果アスベスト含有建材の混入が確認されなかった(2.2 中間処理施設におけるアスベスト含有建材の挙動把握)ことから、砕石原料の搬入管理の徹底により破砕施設におけるアスベスト繊維の飛散を防止し得ると考えられる。

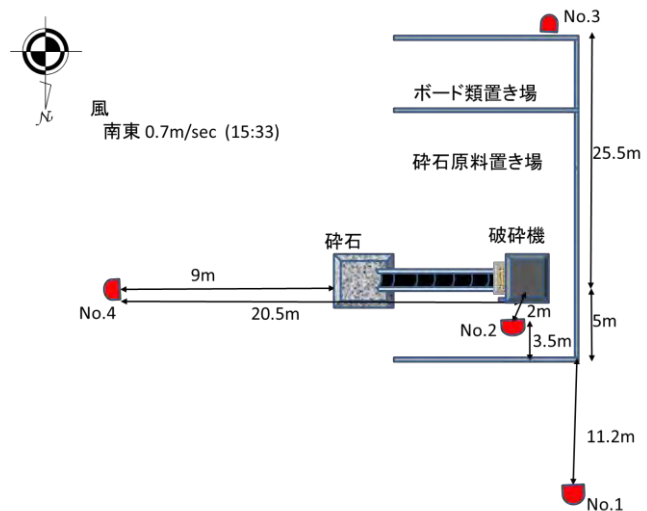


図 5.3.3 がれき類破砕施設の大気調査地点

表 5.3.4 破碎施設周辺大気中の総繊維数濃度

試料名		吸引空気量 (L)	総繊維数 (本)	フィルターごと の分析値 (本/L)	結果 (本/L)
がれき類 破碎施設	①	410	5	1.6	
	サンプラーNO.1	370	4	1.4	
	計	780			1.5
	サンプラーNO.2	430	19.5	6.1	6.1
	サンプラーNO.3	750	20	3.6	3.6
	①	450	15.5	4.6	
	サンプラーNO.4	270	9	4.5	
	計	720			4.6

表 5.3.5 破碎施設周辺大気中のアスベスト繊維濃度

試料名		吸引空気量 (L)	有効ろ過面積 (mm ²)	計測視野数	アスベスト繊維濃度(本/L)				
					クリンタイル	アモサイト	クロシドライト	トリモライト/アクチノライト	アンソフィライト
がれき類破碎 施設	①	410	961.625	250	ND	ND	ND	ND	ND
	サンプラーNO.1	370	961.625	250	ND	ND	ND	ND	ND
	計	780			ND	ND	ND	ND	ND
	サンプラーNO.2	430	961.625	250	ND	ND	ND	ND	ND
	サンプラーNO.3	750	961.625	150	ND	ND	ND	ND	ND
	①	450	961.625	200	ND	ND	ND	ND	ND
	サンプラーNO.4	270	961.625	350	ND	ND	ND	ND	ND
	計	720			ND	ND	ND	ND	ND

5.3.3 埋立処分に伴うアスベスト繊維飛散量調査

埼玉県環境科学国際センター 渡辺 洋一、川崎 幹生、鈴木 和将
長崎大学 朝倉 宏 国立環境研究所 山本 貴士

(1) 目的

アスベスト含有建材が埋立処分される混合廃棄物に混入して排出された場合、埋め立て作業に伴うアスベスト繊維の飛散が懸念される。そこで、廃建材片を含む混合廃棄物の埋立場所周辺において、アスベスト繊維の大気測定を行った。

(2) 方法

測定は、混合廃棄物をトラック 2 台分投入し、混合-成型する作業の間、埋立作業場所を中心に風上、風下、及び直行する 2 方向の 4 地点で大気試料の採取を行った。採取は毎分 10L の吸引速度で約 1 時間 30 分間行った。調査日は北西の風 (0.1~2.5m/sec.) が吹いており、大気サンプラーの No.1 が風上側、No.4 が風下側であった。

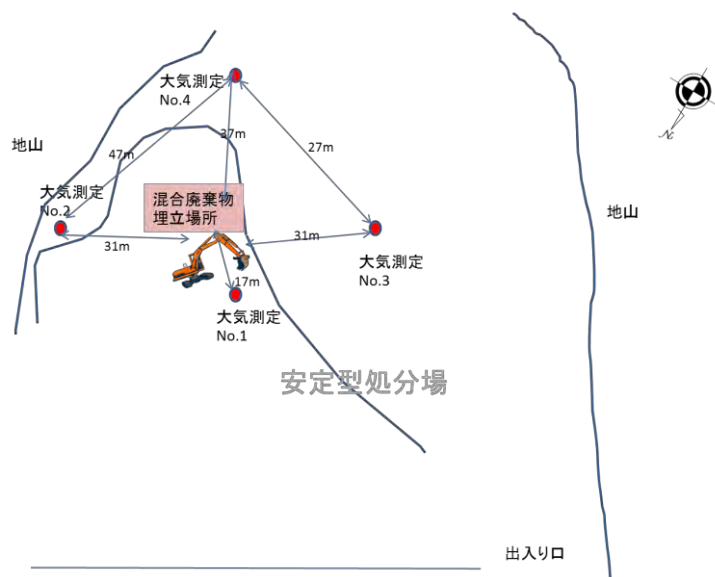


図 5.3.5 大気測定場所配置図

(3) 結果

総繊維数濃度は環境大気中濃度と同等であった(表 5.3.7)。

検出された繊維がアスベストかどうかの確認のため、さらに、電子顕微鏡法によりアスベストの確認を行ったところ、アスベスト繊維は検出されなかった(表 5.3.8)。

なお、埋立てた混合廃棄物の組成調査は行っていないが、別のロットで行った混合廃棄物調査ではアスベスト含有建材片の混入が確認されている。

表 5.3.7 大気中総繊維数濃度分析結果 (位相差顕微鏡法)

サンプラー No.	有効ろ過面積 (mm ²)	吸引空気量 (L)	総繊維数 (本)	総繊維数濃度 (本/L)
No.1	961.625	720	1	0.18
No.2	961.625	870	4	0.62
No.3	961.625	870	2	0.31
No.4	961.625	870	2	0.31

表 5.3.8 大気中アスベスト濃度分析結果 (電子顕微鏡法)

サンプラー No.	有効ろ過面積 (mm ²)	吸引空気量 (L)	計数視野数	アスベスト繊維数濃度(本/L)				
				クリソタイル	アモサイト	クロソドライト	トモライト/アクチノライト	アンソフィライト
No.1	961.625	720	950	ND	ND	ND	ND	ND
No.2	961.625	870	950	ND	ND	ND	ND	ND
No.3	961.625	870	950	ND	ND	ND	ND	ND
No.4	961.625	870	950	ND	ND	ND	ND	ND

5.3.4 再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験

埼玉県環境科学国際センター 渡辺洋一、川岸幹生、磯部友護、鈴木和将
日本工業大学 小野雄策

(1) 目的

再生採石敷設現場でのアスベスト含有建材混入が問題となっている。アスベスト含有建材の混入が確認された現場においても、大気環境の測定結果は通常の大気環境中と差がないことが確認されている。しかし、実際には砕石上を歩行者、自転車、自動車等が通行した場合の飛散量がリスクを検討する上で重要なデータであり、測定例がないため実験的に測定を行うものである。

(2) 方法

実際の再生砕石敷設現場において、歩行者、自転車、自動車による連続通行実験を行った。

1) 通過方法

駐車場や交通量の少ない道路等の砕石敷設現場を通行すると想定される歩行者、自転車、自動車が連続的に通行した場合を想定する。現場の幅が約 3m であることから、

- ① 歩行者：一列に並んで、普通に歩く。一人の幅 60cm として 5 人
- ② 自転車：3 台が一定間隔で安全速度で走る。
- ③ 自動車：1 台。速度は駐車場や細い

実験方法 — 実験通路の通過方法 —



時間: 30分間往復する。

通過距離: それぞれの砕石敷設場所通過回数をカウントする。速度→距離から計算



参考として

・歩行者: 通常の歩行速度を時速5kmとすると、30mの実験通路を83.3回通過。

・自転車: 平坦道路で15kmくらい。歩行者の3倍くらいか。実際は砂利道だし、向きを変えるのにも時間がかかりそう。



・自動車は前進・バックの繰り返し。徐行は約10km/hだそうです。

図 5.3.7 再生砕石敷設現場における飛散実験方法

道を想定して徐行

2) 実験時間：各 30 分間

3) 飛散量測定方法

① 大気サンプリング

・飛散量測定は、「アスベストモニタリングマニュアルの（参考資料）解体現場等における迅速な測定方法の紹介」の試料の捕集方法に準じて 30 分間大気試料採取を行った。ポイントは通路の両端と直行する 2 方向

・高さは 1.5～2m

・採取量：時間は 30 分間、流速は 10L/min

② 個人暴露サンプリング：歩行者、自転車

・採取量：時間は通行中、流速は 1L/min

参考に実験中の粉塵飛散量を連続モニターする。

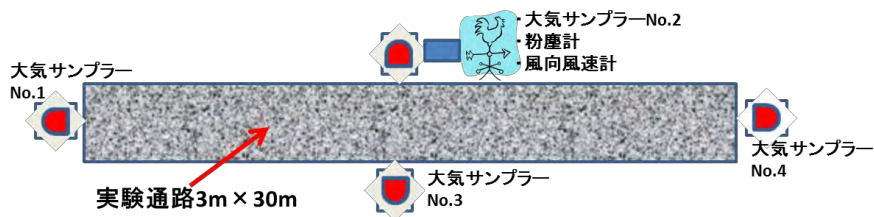


図 5.3.8 実験通路の配置

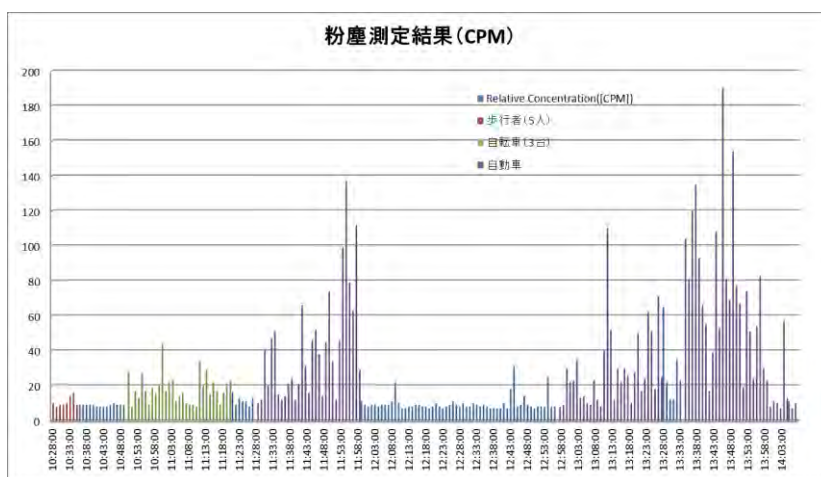


図 5.3.9 飛散実験時の粉塵量測定結果

(3) 結果

歩行者、自転車、自動車の実測した速度は、歩行者：3.96km/hr.、自転車：5.76km/hr.、自動車：7.48km/hr.であった。ただし、この結果は実験時間内に 30m の道路を往復した総距離数を計測したものであるため、折り返しの時の減速を考慮すると、道路を通過した速度はこの数値よりは早いものと考えられる。

1) 粉塵飛散量

実験中の粉塵量測定結果を図 5.3.9 に示す。粉塵量は、歩行者が通行しても顕著な増加はみられないが、自転車が連続的に通行するとやや増加し、自動車が連続走行すると顕著に増加した。

2) 大気サンプリング結果

調査日は風が非常に弱く、主風向である西北西の風下に当たる大気サンプラーNo.1 の総繊維数は他のサンプラーに比べて高くなかった。

表 5.3.9 飛散実験における大気サンプリング結果（総繊維数とアスベスト繊維数）

	粉塵平均	総繊維数(本/L)				アスベスト繊維数(本/L)			
		大気1	大気2	大気3	大気4	大気1	大気2	大気3	大気4
歩行者通行時	10.6	1.8	1.8	1.3	1.3	0	0	0.86	0
放置時(通行なし)	8.8								
自転車通行時	18.2	1.3	1.3	1.8	1.3	0	0	0	0.86
放置時(通行なし)	11.6								
自動車通行時A	41.7	2.7	28	2.7	3.1	0.86	0	1.72	0
放置時(通行なし)	9.6								
自動車通行時B	28.8	1.3	2.7	3.1	1.3	0.86	0.86	0	0.86
放置時(通行なし)	28.2								
自動車通行時C	63.6	1.3	2.2	1.8	0.9	1.72	0	0	0.86
放置時(通行なし)	9.3								

位相差顕微鏡による総繊維数測定結果は、自動車走行（A）の時 No.2 で高かったが、自転車通行では、歩行者通行時と差が認められなかった。

A-SEM 法によるアスベスト繊維の確認結果から、総繊維で計数された繊維の大部分はアスベスト以外の繊維状物質であった。歩行者の No.3、自転車の No.4、自動車の 1 回目は No.1 で 1 本、No.3 で 2 本、2 回目は No.1、2、4 で各 1 本、3 回目は No.1 で 2 本、No.4 で 1 本のアスベスト繊維が確認された。

調査時間の関係で、大気の採取量が少なかったため、一般大気の計測データとの比較は難しい。また、アスベストの検出された（アモサイトとトレモライト）大気サンプラーと風向きとの関係は明確ではなく、砕石中に確認されたアスベスト（クリソタイルとクロシドライト）と種類が一致しないなど、今回確認されたアスベスト繊維の起源については、確定できなかった。

3) 個人暴露サンプリング結果

個人暴露サンプラーは、いずれの実験でもアスベスト繊維は検出されなかった。

(4) 結論

アスベスト含有建材片の含まれる再生砕石敷設道路において、歩行者、自転車、自動車がそれぞれ連続的に通行し、その直近で飛散量を測定した場合には、いずれの場合も総繊維数は 1 本/L を超過した。しかし、その多くはアスベスト以外の繊維状物質であった。アスベスト繊維は、歩行者、自転車が 30 分連続走行した場合にそれぞれ 4 地点中 1 地点で 1 本 (0.86 本/L)、自動車の場合、延べ 12 地点中 5 地点で 1 本 (0.86 本/L)、2 地点で 2 本 (1.72 本/L) 確認された。しかし、大気サンプラーのアスベストと回収した砕石から検出されたアスベストの種類は一致しなかった。そのため、大気サンプルから検出されたアスベスト繊維の由来は確定できていない。

5.4 アスベストの流出に関する検討

埼玉県環境科学国際センター 渡辺洋一

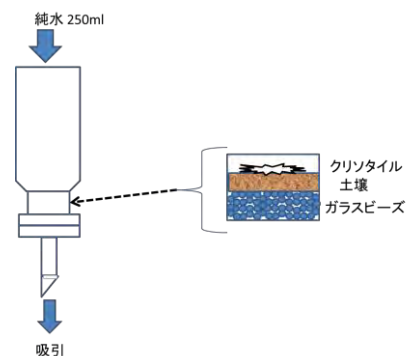
(1) 目的

アスベスト含有建材を埋立処分した場合や、再生砕石等に混入して地中利用された場合には、雨水等の浸透に伴う流出、地表への堆積、乾燥、飛散という危険性が懸念される。本研究では、強雨による流出の可能性について検討するため簡易な室内実験を行った。

(2) 方法

ガラス製ろ過器のリザーバー部分にガラスビーズと土壌を充填し、 $<500\mu\text{m}$ ふるいを通過させたクリソタイルを上部に添加し、純水 250ml を一気に通過させた(図 5.4.1)。

この水量は 500mm 以上の降雨が数分の間に降ったことに相当する。 図 5.4.1 流出実験装置



比較対象としてガラスビーズのみを充填し、土壌を 2 種用いて 3 つの実験を表 5.4.1 の条件で行った。

表 5.4.1 流出実験条件

実験区	充填物	重量(g)	層厚さ(mm)
対象(ガラスビーズのみ)	ガラスビーズ(φ 1mm)	2	8
	土壌	-	-
	クリソタイル(<500µ m)	0.2	-
火山灰土 0.5g	ガラスビーズ(φ 1mm)	2	8
	土壌	0.5	3
	クリソタイル(<500µ m)	0.2	-
火山灰土 1g	ガラスビーズ(φ 1mm)	2	8
	土壌	1	5
	クリソタイル(<500µ m)	0.2	-
黒ぼく土 1g	ガラスビーズ(φ 1mm)	2	8
	土壌	1	5
	クリソタイル(<500µ m)	0.2	-

(3) 結果

図 5.4.2 に通水後の充填物下のろ紙の X 線回折 ((株)リガク、RINT-UltimaPC) 分析の結果を示す。ガラスビーズのみ充填した対象ではクリソタイルの回折線 (図中三角表示) が確認された。クリソタイルはガラスビーズ層は通過しているが、火山灰、黒ぼく土ともに、土壌層 5mm を通過せず、火山灰 3mm でも通過しなかった。このことから、アスベスト繊維が土壌層を通過する可能性は低く、覆土等

による流出防止効果が期待できると考えられる。他方、アスベスト含有建材から剥がれたアスベスト繊維は土壌の表面付近に留まる可能性が高いことが想定されるため、アスベスト繊維を含む土壌からの飛散特性の把握と対策が重要である。

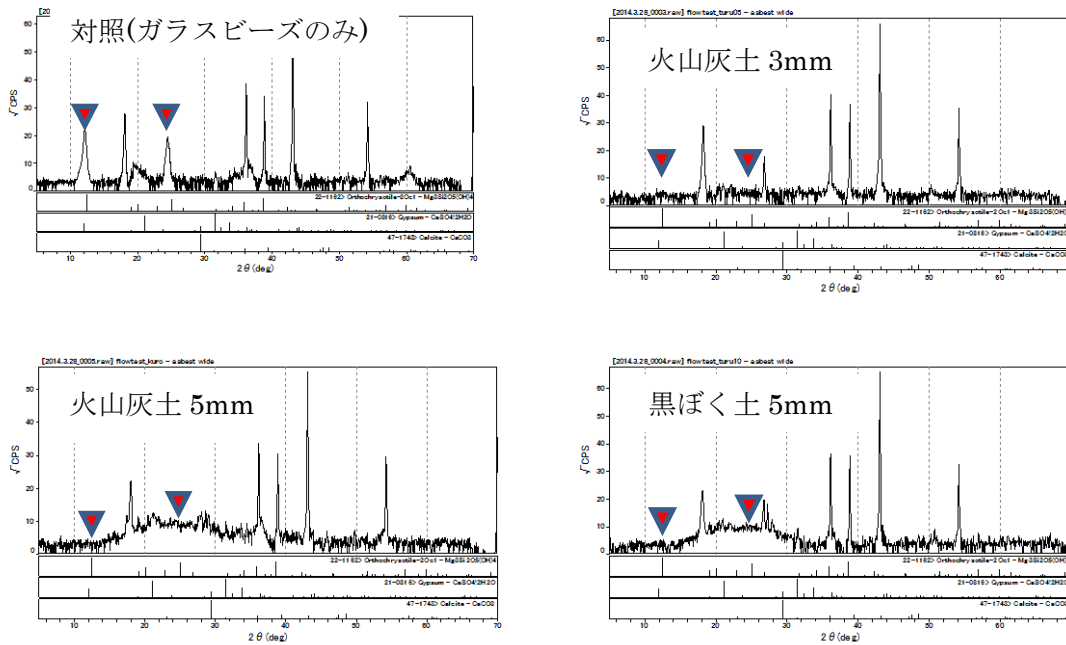


図 5.4.2 土壌層通過後のろ紙の XRD 分析結果

5.5 振動ふるい選別時におけるアスベスト飛散量調査

(独) 国立環境研究所 山田正人・遠藤和人・山本貴士

5.5.1 はじめに

アスベスト含有建材が混入した混合廃棄物からのアスベストの飛散は、破碎・選別処理時、その後の手選別時、再生品となって一般環境に放出された後で発生すると考えられる。この中で、最もアスベストが飛散すると考えられるのは、破碎・選別時であり、逆に、破碎・選別時に飛散していなければ、含有建材が混入した廃棄物由来の再生品を利用したとしても、健康上のリスクを発生する程度の飛散の可能性は低いと考えられる。

そこで、アスベスト含有建材が混入した混合廃棄物として災害廃棄物を選定し、振動ふるい選別を行っている状況での飛散量調査や、処理廃棄物の含有建材含有量、手選別作業場の土壌に含まれるアスベスト量、歩行程度の攪乱エネルギーを想定した土壌等からのアスベスト飛散実験結果についてまとめる。また、手選別によるアスベスト含有建材の抽出時に、目視判定ではアスベスト含有とならないが、アスベストアナライザーを用いると含有判定となる目視判断が難しい建材について、含有量調査を行った結果についても報告する。

5.5.2 研究方法

(1) 混合廃棄物の振動ふるい選別

仮置きされていた災害廃棄物の混合廃棄物を対象に、20 mm パンチスクリーンを設置した可搬型振動ふるい装置によってふるい選別を実施している現場にて調査を実施した。可搬型であるため、バッチ処理をしており、投入量は1ロット目が 166.2 kg (含水率 20.5%)、2ロット目は 205.9 kg (含水率 20.5%)、3ロット目は 165.8 kg (含水率 26.9%) であった。調査日の天候は、晴れ、気温 12.2℃、湿度 64%、北風 2.5 m/s であった。

(2) アスベスト飛散量調査

振動ふるい上部 1 m、振動ふるい下ごみを吐き出すコンベア落下点の地上高 1.5 m の 2 点で飛散調査を実施した。JIS K 3850-1 に準拠してサンプリングを行い、5 L/分の速度で吸引を行った。フィルターには Zefon 製 Z008BA 直径 25 mm を用い、定性分析の PCM 法には位相差顕微鏡 Nikon 製 ECLIPSE 80i を、定性分析と定量分析の A-SEM 法には走査型電子顕微鏡 HITACHI 製 S-3400N を用いた。ふるい上部、コンベア落下口ともに 13 分間の吸引を行い、総吸引量 65 L のフィルターを試料として用いた。

(3) 処理廃棄物の組成調査

処理廃棄物には、20 mm パンチスクリーンのふるい上サンプルのうち、手選別でコンクリートガラやアスファルトコンクリートガラ、可燃物等を除去した不燃系混合物を対象にして、アスベスト含有建材が疑わしい板状建材等を粗選別として手選別で抽出し、目視判定によってアスベスト含有を抽出し、さらに、目視判定では含有していないと一般的に判断される建材に対してアスベストアナライザーを用いて含有の有無を判定して、含有建材の抽出を行った。1 ロット目の不燃系混合物の量は 77.0 kg、2 ロット目が 149.3 kg、3 ロット目は 121.2 kg であった。投入量に対しては、それぞれ、46.3%、72.5%、73.4%であった。

(4) アスベスト飛散状況調査

歩行相当の攪乱エネルギーによる土壌等からのアスベスト飛散実験には、5.1 節で用いた RAFS (Releasable Asbestos Field Sampler) を模したアスベストサンプリング装置を用いた。組成分析を行った場所の地盤土壌、ならびに、復興資材として使用される可能性のある混合廃棄物のふるい下残さを敷き詰めたヤードの上で実施した。吸引時間は 15 分間、吸引速度は 10 L/分とし、吸引ガス量は 150 L にて実験を行った。サンプリングされた試料は、エネルギー分散型 X 線分析 (EDS) 装置付きの電界放出型走査型電子顕微鏡 (SEM) : JOEL 製 JSM-7600F/JED-2300 を用いて分析を行った。加速電圧は 15 kV、倍率は 1000 倍、観察目開き数 100 とした。サンプリングしたフィルターカートリッジから、フィルターを取り出してカットし、カーボンペースト (アクアダック) をフィルターに浸潤させて SEM 試料台に貼り付けた。長さ 1 μm 以上、幅 0.2 μm 以上、アスペクト比 3 以上の繊維、長さ 5 μm 以上、幅 0.2 μm 以上をそれぞれ計数した。濃度の計算方法は、繊維数濃度 (本/L) = (繊維数(f)×フィルター有効面積(mm²)) ÷ (計数視野数×視野面積(mm²)×空気採取量(L)) とする。

(5) 建材中アスベスト含有量試験

前述した処理廃棄物の組成分析とアスベスト含有建材の抽出を行った際に、目視判定では含有しない判定となるが、アスベストアナライザーを用いると含有判定となる判定が難しい建材 25 種のアスベスト含有の定性分析を行い、あり判定となった建材から 5 種類を選択して定量分析を行った。また、手選別中の作業場所下の土壌、振動ふるいによる残さの 2 種類については、粒径のフラクション毎に定性分析を実施した。

建材のアスベスト含有定性分析は、JIS A 1481「建材中のアスベスト含有率測定方法」に準拠して実施し、土壌 2 種に対する定性分析は、MADEP Sieve Method に準拠した。2 mm 未満のフラクションについては JIS A 1481 に準拠した方法での分析も併せて実施した。アスベスト定量分析も JIS A 1481 に準拠している。また、使用した機器類は、位相差分散顕微鏡に Nikon 製 ECLIPSE 80i、位相差偏光顕微鏡に Nikon 製 ECLIPSE LV100、実体顕微鏡には OLYMPUS 製 SZH10、X 線回折装置は RIGAKU 製 RINT Ultima III を用いた。

5.5.3 研究結果と考察

(1) 振動ふるい選別時のアスベスト飛散量状況と含有建材の量

調査日の振動ふるい投入廃棄物は、3 ロットに分けて実施されており、それぞれのロット毎に含有建材の判定を行った。表 5.5.1 にロット投入廃棄物量、ふるい上不燃系混合物量、含有建材混入量に関する調査結果を示す。粗選別の板状建材は入っているかどうかの目視判定をせずに、建材の形状のみで選別した結果であり、板状のものがそれぞれ 2 kg 程度ずつ混入していた。目視判定でアスベスト含有建材としたのは、粗選別後の板状建材を対象に、特に薄状建材の目視で繊維が確認できた建材であり、例えば波板スレート等を対象とした結果である。難判定のアスベスト含有建材は、厚さが 10 mm 程度以上あるようなサイディングボード等であり、アスベストを入れても強度増加や軽量化に寄与しないと考えられる建材であって、これまでの目視判定であれば、繊維の有無を確認せずに非含有と判定していた建材である。これをアスベストアナライザー (Thermo Scientific 製 microPHAZIR AS、3.3 節参照) で判定して含有となった建材を対象としている。難判定の含有建材が目視判定の含有建材と同定の重量で含まれていたことから、今後、目視判定をより慎重に実施する必要性があるといえる。

投入廃棄物総量に対する含有建材の重量比率は1ロット目が0.10%、2ロット目が0.13%、3ロット目が0.12%となり、約0.1%強の含有率となっている。建材中に含まれて良いアスベスト含有建材（含有率が0.1%を超えるもの）はゼロを目標としなければならないが、今回の調査では、総ロットに対する含有量が0.1%を超過する結果となった。ただし、投入廃棄物は、重機選別で比較的大きな廃棄物を選別除去した後の廃棄物であることから、投入前の全廃棄物量に比較すると、含有建材重量比率は、それぞれ0.03%、0.08%、0.05%となる。

表 5.5.1 投入廃棄物、板状建材、含有建材の組成量結果

	投入廃棄物量	ふるい上の不燃系混合物量	粗選別の板状建材量	目視判定含有建材量	難判定の含有建材量	含有建材合計	含有建材重量率(対投入量)
1 ロット	166.2 kg	77.0 kg	1.795 kg	0.085 kg	0.080 kg	0.165 kg	0.10 %
2 ロット	205.9 kg	149.3 kg	2.670 kg	0.200 kg	0.070 kg	0.270 kg	0.13 %
3 ロット	165.8 kg	121.2 kg	1.900 kg	0.020 kg	0.180 kg	0.200 kg	0.12 %

振動ふるい実施時のアスベスト飛散量は、表 5.5.2 に示す通り、総繊維数としては検出されたものの、アスベストの飛散は認められなかった。すなわち、投入廃棄物量に対するアスベスト含有建材が0.10%を超過していたとしても、飛散は認められなかったということである。これは、投入廃棄物の含水率が比較的高く、20%を超えていたことが一因と考えられる。

表 5.5.2 振動ふるい装置近傍における飛散調査結果

測定場所	採取ガス量	総繊維濃度		繊維の種類						
		PCM法	A-SEM法	A-SEM法						
				クリソタイル	アモサイト	クロシドライト	トレモライト	アクチノライト	アンソフイライト	その他の繊維
L	本/L									
ふるい上	65	4.74	3.83	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	3.83 (2)
コンベア落下点	65	6.32	5.75	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	5.75 (3)

※繊維の種類のカラムの () は、計数された繊維の数を示す。

(2) 作業場等地盤におけるアスベスト飛散調査

手選別にてアスベスト含有建材を抽出した作業場所下の土壌、ならびに振動ふるい下残さ(20 mm アンダー)を敷設したヤードを対象にしてアスベスト汚染の恐れのある地盤からの飛散調査を行った。使用した装置は、第 5.1 節で使用したアスベストサンプリング装置の RAFS¹⁾を用いた。測定結果を表 5.5.3 に示す。作業場下土壌では総繊維数濃度が 49.5 本/L と高めであるがアスベスト繊維数濃度は検出下限値の 2.4 本/L 以下であった。ふるい下残さでは、総繊維数濃度が 16.5~25.9 本/L とやや低めであり、アスベスト総繊維数濃度は 2.4 本/L 以下という結果となった。総繊維数として検出された繊維は、長さや形状が様々なロックウールが多く、5 μm 以上の繊維ではグラスファイバーが多い結果となった。

作業場下とふるい下残さのアスベスト含有分析結果を表 5.5.4 に示す。フラクシオン毎に含有量の定性分析を行った結果、ほとんどのフラクシオン画分で繊維はありと判定されたが、位相差偏光顕微鏡判定によるアスベストの含有は認められなかった。定性分析結果で無し判定となっているため、RAFS を用いた飛散試験にてアスベストが検出されなかったことも納得できる結果であった。

表 5.5.3 アスベストサンプリング装置を用いた地盤からの飛散試験結果

試料	長さ 1 μm 以上、幅 0.2 μm 以上		長さ 5 μm 以上、幅 0.2 μm 以上	
	総繊維数濃度 (本/L)	アスベスト繊維数濃度 (本/L)	総繊維数濃度 (本/L)	アスベスト繊維数濃度 (本/L)

作業場下土壌	49.5	<2.4	49.5	<2.4
ふるい下残さ	25.9	<2.4	16.5	<2.4

表 5.5.4 対象土壌と対象ふるい下残さのアスベスト含有量試験結果

試料名	項目	フラクシオン別			
		2.0 mm 未満	2.0~4.75 mm	4.75~6.3 mm	6.3 mm 以上
作業場下	重量	9.54	26.45	6.49	43.15
	フラクシオン比	11.1	30.9	7.6	50.4
	実体顕微鏡判定	繊維なし	繊維あり	繊維あり	繊維あり
	位相差偏光顕微鏡判定	アスベストなし	アスベストなし	アスベストなし	アスベストなし
	非アスベスト繊維	なし	特定できず	ロックウール状繊維	有機繊維
	JIS A 1481 結果*	アスベスト含有せず	—	—	—
ふるい下残さ	重量	27.00	27.13	2.45	8.44
	フラクシオン比	41.5	41.7	3.8	13.0
	実体顕微鏡判定	繊維あり	繊維あり	繊維あり	繊維あり
	位相差偏光顕微鏡判定	アスベストなし	アスベストなし	アスベストなし	アスベストなし
	非アスベスト繊維	特定できず	特定できず	有機繊維	有機繊維
	JIS A 1481 結果*	アスベスト含有せず	—	—	—

* JIS A 1481 は 2.0 mm ふるい通過試料のみを対象とするので 2.0 mm 未満のフラクシオンのみ分析実施

(3) 目視判定が難しい建材中のアスベスト含有量分析

不燃系混合物での板状建材の粗選別後に目視判定では難判定となったが、アスベストアナライザー分析ではあり判定となった建材 25 種の定性分析結果を表 5.5.5 に示す。アスベストアナライザーでアクチノライトという判定が出た建材以外の全ての建材でクリソタイルが含有あり判定となった。これら建材は目視判定では含有なしという判断であることから、今後、目視判定時には固い、軽い、薄い、繊維ありという判定だけでは含有の有無を判断できず、アスベストを含有させる意味の無いような分厚い建材や、やや柔らかい建材でも含有している可能性があることを念頭において判定していく必要があるといえる。

定性分析を行ってアスベスト含有判定となった 24 種のうち、5 種のサンプルを任意に抜き出して定量分析を行った結果を表 5.5.6 に示す。また、それぞれの建材の写真を図 5.5.1 に示す。定量分析の結果、定性分析で検出されたクリソタイル濃度として、4.3~8.9%という結果となった。また、写真からも分かるとおり、目視判定するには少々難しい建材であり、今後のアスベスト含有建材の適正処理に向け、貴重なデータを取得することができた。

表 5.5.5 目視判定が困難であった建材のアスベスト定性分析

試料名	X 線回折分析	位相差分散顕微鏡	定性分析結果	アスベストアナライザーによる判定
難-3-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-4-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-5-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-6-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)

	ル)	ル)	ル)	ル)
難-7-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-8-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-9-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-10-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-11-1	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-1-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-2-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-3-2	含有せず	含有せず	含有せず	含有 (アクチノライト)
難-4-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-6-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-8-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-9-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-10-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-11-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-12-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-14-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-15-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-16-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-17-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-19-2	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)
難-1-3	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)	含有 (クリソタイル)

表 5.5.6 定性分析で含有判定となった建材 5 種の定量分析結果

試料名	アスベスト濃度	アスベスト種類
難-7-1	7.3%	クリソタイル
難-11-1	8.9%	クリソタイル
難-9-2	4.3%	クリソタイル
難-14-2	4.8%	クリソタイル
難-16-2	8.9%	クリソタイル



(a) 難-7-1

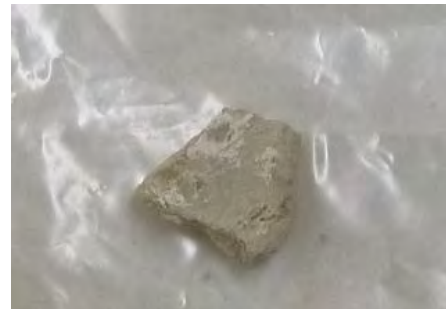


(b) 難-11-1

図 5.5.1 定量分析を行った建材サンプルの写真



(c) 難-9-2



(d) 難-14-2



(e) 難-16-2

図 5.5.1 (つづき) 定量分析を行った建材サンプルの写真

5.5.4 まとめ

- (1) 災害廃棄物由来の混合廃棄物処理施設（振動ふるい装置）にて、アスベストの飛散量ならびにアスベスト含有建材の存在量調査を実施した。その結果、アスベスト含有建材の存在比率は混合廃棄物量の 0.03～0.08%となった。また、混合廃棄物から大型の木材や鉄くずを重機選別し、振動ふるい装置に投入した廃棄物量に対しては 0.10～0.13%の存在比率であった。振動ふるい装置直上 1 m の高さ、ならびに振動ふるい装置からのコンベア吐き出し口下でのアスベスト飛散調査では、総繊維濃度が 4～6 本/L であったが、アスベスト繊維は検出下限（1.91 本/L）以下という結果であった。
- (2) 振動ふるい装置による処理物を手選別している作業場所の下土壌、ふるい下残さに対して飛散模擬試験を実施したところ、アスベスト繊維の飛散量は検出下限値（2.4 本/L）以下であり、土壌とふるい下残さのアスベスト定量分析結果においてもアスベスト繊維は検出されなかった。
- (3) 目視判定でアスベスト含有判定が困難な建材 25 種について、定性分析を実施したところ、1つのサンプルを除いて全ての建材でクリソタイル含有の定性分析結果となった。また、これら 24 種のサンプルから任意に抜き出した建材 5 種のクリソタイル濃度は 4.3～8.9%という結果であった。

(4) 目視判定が困難な材料からもアスベスト繊維が確認されたことから、今後、目視判定する際には、より安全側な視点で判定を行っていくことが必要と感じられた。また、サンプル数を増やすなどして、目視判定と定性分析のデータの蓄積を行い、より科学的な数値として提言できるように心掛けたい。

5.5.5 参考文献

1) Kominsky, J.R., Thornburg, J.W., Shaul, G.M., Barrett, W.M., Hall, F.D., and Konz, J.J. (2010): Development of the Releasable Asbestos Field Sampler, J. Air & Waste Manage. Assoc., 60, 294-301

5.5.6 その他

研究発表、論文発表、知的財産権取得状況等は特になし。

5.6 アスベスト建材由来のリスク評価

再生砕石利用現場周辺におけるアスベスト飛散シミュレーション

埼玉県環境科学国際センター 鈴木 和将

5.6.1 はじめに

アスベストのリスク評価を行うためには、環境中に排出されたアスベストの環境中濃度や曝露量を推定するモデルが必要になる。大気モデルとして、発生源周辺の大気中濃度を推定することができる経済産業省一低煙源工場拡散モデル METI-LIS (Low-rise Industrial Source Dispersion Model) が開発された¹⁾。METI-LIS モデルは、厳密な流体力学方程式についての数値計算ではなく、定常一様のガウス型プルームモデルで濃度を計算しているため、問題設定によっては、対象とする現象を正しく記述できない事象も起こり得る。そこで、本研究では、より一般的な流れの解析で用いられる Navier-Stokes 方程式を用い、より現実に即した信頼性のあるシミュレーションを行うことができる数理モデルの構築を目指した。具体的事例として、アスベスト含有建材が混入した再生砕石が敷設された敷地²⁾に注目し、周辺の建物によってどのように風の流れが変化し、大気中アスベスト濃度に影響を及ぼすのか、数値シミュレーションを行って調査した。

5.6.2 研究方法

(1) 支配方程式

風速は音速に比べて非常に小さいので、非圧縮性流体の流れとみなすことができる。そこで、支配方程式には、Navier-Stokes 方程式、連続の式、アスベストの移流分散の式を用いた。

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} - c \chi_f \mathbf{u} \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \frac{\partial s}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) s = D \nabla^2 s \end{cases}$$

ただし、 $\mathbf{u} = (u, v, w)$ は速度ベクトル、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 c は抵抗係数、 χ_f は、周辺建物の形状を表す三次元配列、 s はアスベスト濃度及び D はその拡散係数である。これらの方程式を差分法によって離散化し、適切な初期条件と境界条件の下に解いた。Navier-Stokes 方程式の差分方法として、高レイノルズ数の場合にも結果が得られるように、非線形項は 3 次精度上流差分法を用いて近似した。圧力 Poisson 方程式は、GP-BiCG 法を用いて解いた。

(2) モデル化

計算領域は地表面を 100m×100m、上空方向を 30m にした。再生砕石が敷設された民地道路は 3m×30m であり、ここから一様にアスベストが飛散しているものと想定した。道路の周辺には、建物が三棟配置されており、建物の形状を表す三次元配列 $\chi_f = (x, y, z)$ を用意し、建物内部 = 1、流体部分 = 0 を読み込む。格子

数は x、y 方向に 100、z 方向に 60 として、スタガード格子を用いた。

5.5.3 研究結果と考察

数値シミュレーションは、再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験にできる限り近い状況を再現した。風速は 1.0m/s で主風向は西北西とした。再生砕石敷設道路から飛散するアスベスト量は分からないため、アスベスト飛散実験において道路近傍のクリソタイル測定結果<0.86 本/L を参考に、アスベスト濃度 0.86 本/L (860 本/m³) で道路面から一様に飛散するものとした。大気の流れに対して、数値シミュレーションを行った結果を速度ベクトル図として図 5.6.1 に示す。建物がない場所が風の通り道になり、風が強まるとともに、建物周辺に複雑な流れが生じていることがわかる。また、図 5.6.2 にアスベスト濃度の等値面を示す。

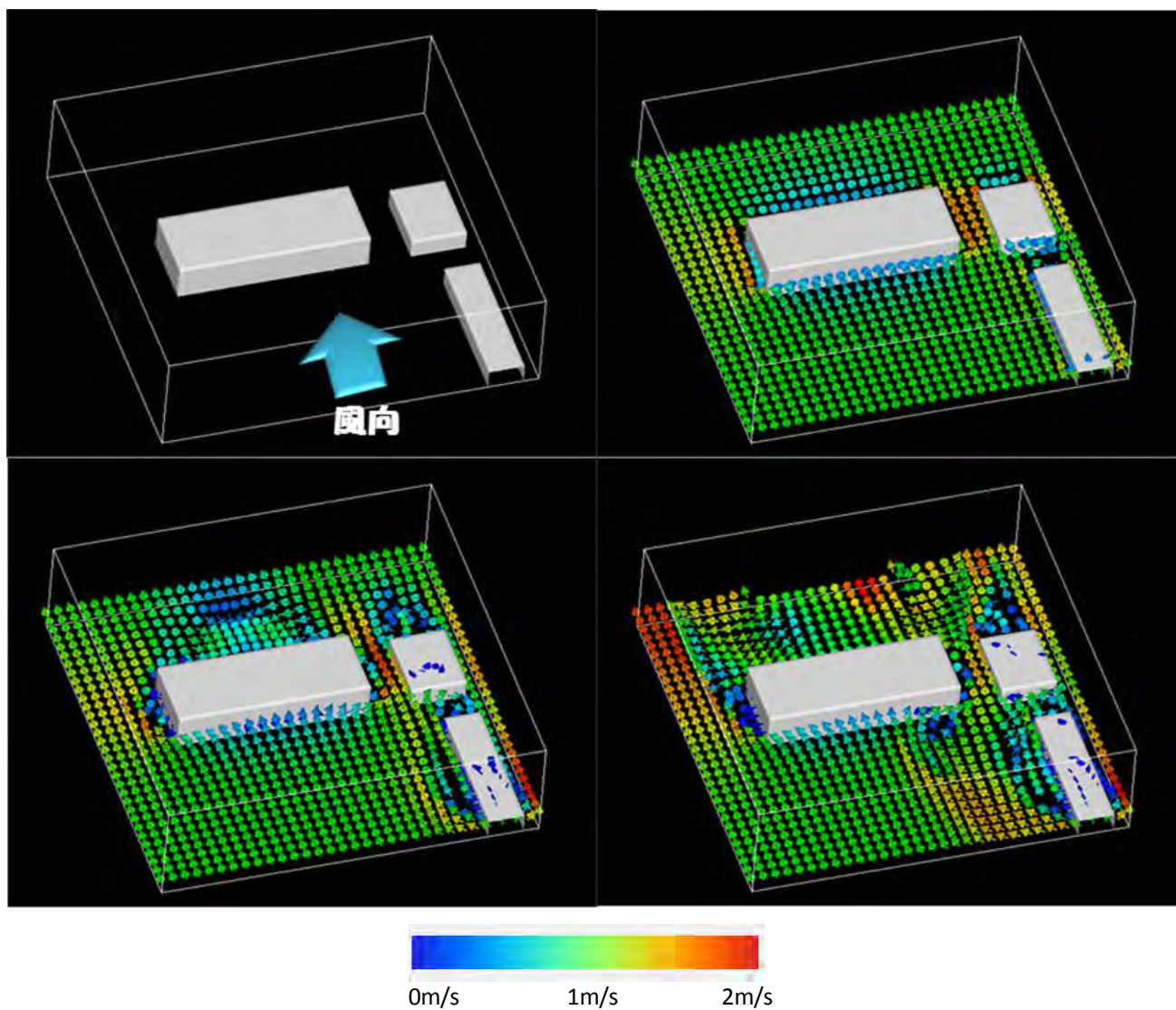


図 5.6.1 速度ベクトル図

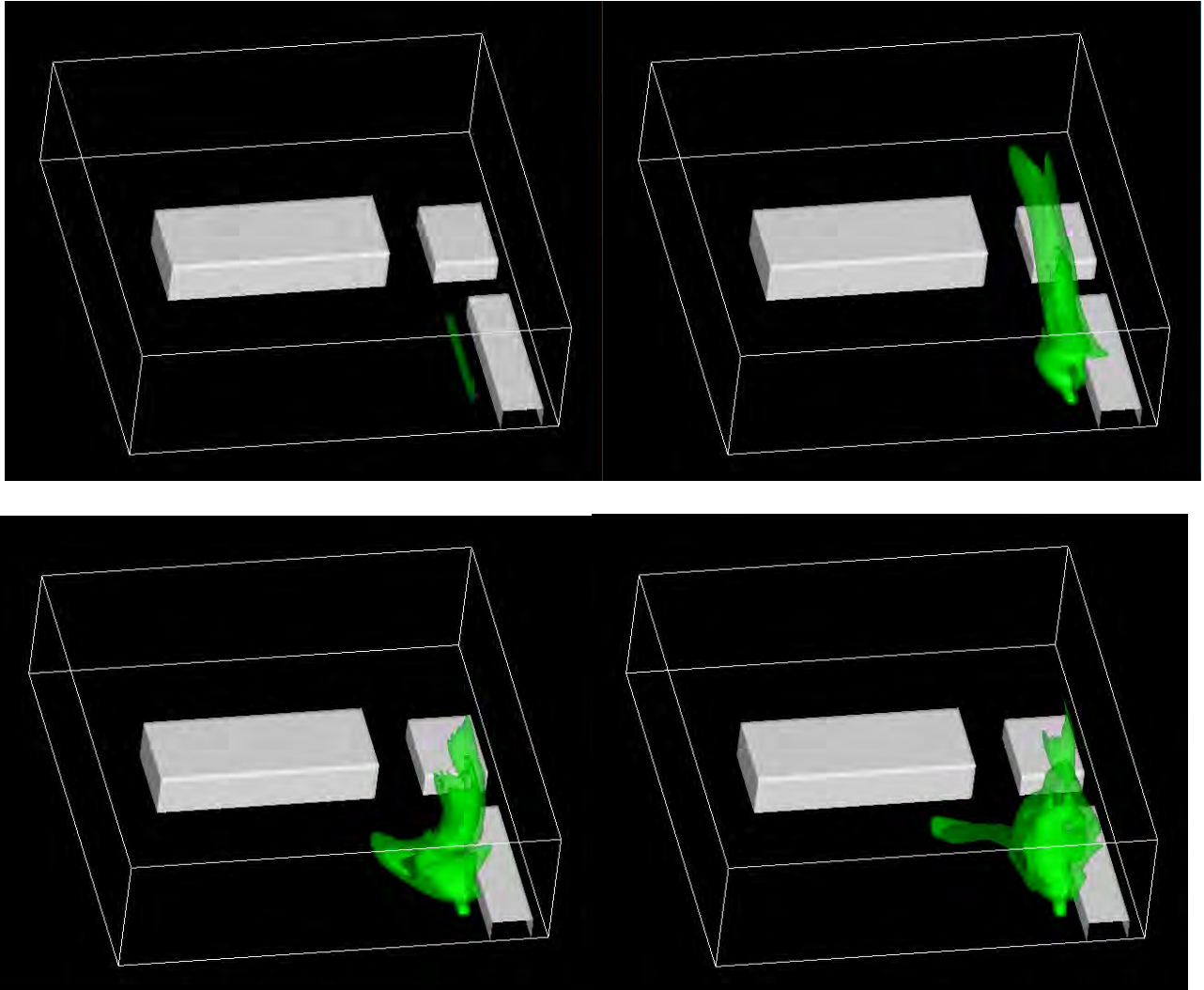


図 5.6.2 アスベスト濃度の等値面

5.6.4 まとめ

本研究では、具体的事例として、再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験を取りあげ、質量保存則を高い精度で満たす数値シミュレーションを行い、複雑な風の流れやアスベストの飛散分布を示すことができた。今後、砕石からのアスベスト飛散速度や飛散メカニズムを解明する予定である。

5.6.5 参考文献

- 1) 一般社団法人産業管理協会：METI-LIS プログラム、<http://www.jemai.or.jp/tech/medi-lis/download.html>
- 2) 渡辺ら：再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会（2013）

5.6.6 その他

研究発表、論文発表、知的財産権取得状況等は特になし。

6. 結論

① アスベスト含有建材の再生砕石への混入要因調査と対策

建築物解体現場、中間処理施設及び再生砕石敷設現場の詳細調査を実施した。

- ・混入要因調査の結果から、解体現場における分別後の表示等の必要性、混合廃棄物への破片の混入チェックと防止対策の必要性が明らかとなった。
- ・中間処理施設における調査事例から、混入の可能性のある混合物からの再生砕石原料の製造中止により再生砕石へのアスベスト建材混入防止が図れることが示唆された。
- ・再生砕石敷設現場の詳細調査から、アスベスト建材混入調査を行う際の適切なサンプリング方法の知見を得た。

② アスベスト含有建材の迅速判定法の確立

解体現場等におけるアスベスト含有建材のスクリーニング法として、目視判定法を開発し、実体顕微鏡を用いた迅速判定法の検討を行った。

目視判定法の判定性能評価と改善のために行った講習会でのテスト結果から以下のことが確認された

- ・目視判定法が大部分のアスベスト含有建材の判定に適用できること、
- ・判定の難しい建材の種類及びその改善方法
- ・目視判定の成否を左右する要因：繊維束の大きさ、共存する他の人工繊維、外観による思いこみ
- ・判定精度向上のための器具：ルーペや簡易バーナー

実体顕微鏡を用いた迅速判定法の検討では、建材断面の拡大画像を PC に取り込むことで以下のことが可能であった。

- ・PC 画面上での拡大画像観察により、小さなアスベスト繊維束も確認がしやすいこと
- ・アスベスト繊維の束の面積を測定することにより、およその含有率を求めらること
- ・繊維束面積は多角形近似で得られ、クリソタイルの場合には色彩指標の明度の範囲を測定することでもほぼ同等の結果が得られること
- ・これらの操作は市販の安価な USB 顕微鏡と付属のソフト、あるいは専用の画像解析ソフトで可能であること。
- ・観察に適した倍率は約 200 倍であり、今回用いた廃建材サンプルでは観察範囲約 35～52mm² で安定した測定値が得られること。

③ 迅速判定法の現場適用に関する検討

アスベスト含有建材の目視判定の精度と時間を把握し、アスベスト含有建材を選別するモデルの構築、及び現場における実験を行った。

- ・モデル構築により選別後の分画中の濃度と要する時間を計算するシミュレーションが可能となった。
- ・モデルにより災害廃棄物の選別時間を概算したが、膨大な時間が必要であった。
- ・現場におけるスクリーニング実験の結果から、混合廃棄物やがれき類からの選別処理速度を実測した。処理速度は 0.3 kg/min・人（混合廃棄物）～2.6kg/min・人（がれき類）程度であった。

④ アスベスト含有建材からのアスベスト繊維飛散に関する検討

建材からのアスベスト繊維の飛散量の把握と対策の検討のため以下の検討を行った。

- ・現場で直接飛散量を測定できる装置を製作して砕石敷設現場での測定を可能にした。
- ・室内実験装置によりアスベスト含有建材からのアスベスト飛散量を測定し、飛散量と散水の効果を確認した。
- ・実際の再生砕石敷設現場で様々な通行状態を再現した飛散実験を行った。
- ・中間処理施設、最終処分場で飛散量測定を行った。

これらの結果から、アスベスト含有建材が存在している再生砕石から、大気へとアスベストが飛散する可能性は低いことが測定された。また、再生砕石敷設現場における飛散実験の結果に基づく再生砕石利用現場周辺におけるアスベスト繊維飛散シミュレーションにより、複雑な風の流れやアスベストの飛散分布を示すことができた。

以上の成果から、今後さらに排出量が増加すると試算されているアスベスト含有建材の廃材を解体・改築現

場において、判定一分別を徹底し、中間処理施設においては混入防止を考慮した再生砕石原料の選択・処理方法の決定が重要であり、時間とコストの削減には目視等によるスクリーニングの導入が効果的である。既存の再生砕石については、飛散の可能性は低い、対策に当たっては使用場所に即した評価方法により評価する必要があることが判明した。

7. 研究発表

【国内学会発表】

- ・川寄幹生、磯部友護、鈴木和将、渡辺洋一、小野雄策：石綿含有成形板の目視判定について、廃棄物資源循環学会研究発表会(CD-ROM)、Vol. 22 Page. ROMBUNNO. E3-8 (2011)
- ・渡辺洋一、小野雄策、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将：石綿含有成形板の目視判定法（その1）－断面中の石綿繊維数と石綿含有量との関係について－、第33回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、Page. 279-281 (2012)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将：アスベスト含有建材の迅速判定法の検討、平成24年度廃棄物資源循環学会研究討論会、(2012)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将、小野雄策：アスベスト含有建材の迅速判定法（建材断面画像の解析法検討）、第23回廃棄物資源循環学会研究発表会(CD-ROM)、E1-7(2012)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将：USB顕微鏡を用いた建材中アスベストの判定方法、第39回環境保全・公害防止研究発表会(2012)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将、中島知樹、小野雄策：石綿含有成型板の目視判定法（その2）～建材断面中石綿面積の測定法について～、第34回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、PP.282-284(2013)
- ・中島知樹、山梨大樹、渡辺洋一、川寄幹生、小野雄策：敷設された再生砕石中に含まれるアスベスト含有率の評価と試料採取法について、第34回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、PP.285-287(2013)
- ・山本貴士、貴田晶子：石綿含有建材混入土壌からの繊維飛散量の検討、第22回環境化学討論会 (2013.8、東京)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将、中島知樹、小野雄策：再生砕石敷設現場におけるアスベスト飛散実験、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会(CD-ROM)、(2013)
- ・山本貴士、貴田晶子：災害廃棄物混入土壌からの石綿繊維飛散に関する実験的検討、第24回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2013.11、札幌)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、磯部友護、鈴木和将：建設混合廃棄物の組成調査実験、第40回環境保全・公害防止研究発表会(2013)
- ・渡辺洋一、川寄幹生、鈴木和将、山本貴士、朝倉宏：建設混合廃棄物の手選別実験、第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、35-IV(2014)
- ・中島知樹、山梨大樹、小野雄策：再生採石中の石綿砕石の混入率とその建設資材の種類について、第35回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 (2014)
- ・川寄幹生：レベル3含有建材の調査の課題、石綿問題総合対策研究会第2回研究会、(2014)
- ・川寄幹生：石綿含有建材の目視評価方法、石綿問題総合対策研究会第2回研究会、(2014)
- ・渡辺洋一：再生採石敷設道路のアスベスト飛散実験、石綿問題総合対策研究会第2回研究会、(2014)
- ・中島知樹、小野雄策：公定法に準拠した試料採取による再生砕石中の石綿砕石検出率の精度向上について、石綿問題総合対策研究会第2回研究会(2014)

プロジェクト研究テーマにおける研究に以下の受賞があった。

埼玉県環境科学国際センター、川寄幹生、廃棄物資源循環学会研究発表会「優秀ポスター賞」、2011.11

プロジェクト研究成果の啓蒙活動

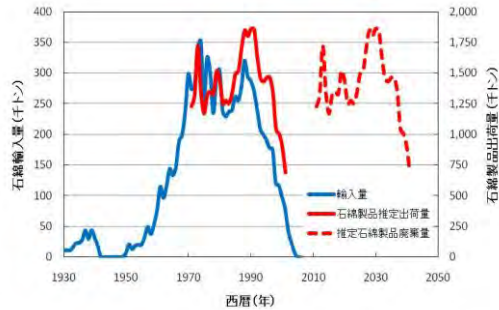
【報告書・資料】

- ・研究代表者渡辺洋一：「アスベスト含有建材の選別手法確立と再生砕石の安全性評価に関する研究」平成 23 年度研究成果報告書、平成 23 年度環境省環境研究総合推進費補助金（課題番号 K1130024）、2012. 3
- ・埼玉県環境科学国際センター：「石綿含有建材の見分け方ー石綿含有建材の目視評価方法についてー」、石綿含有建材適正処理推進のための石綿講習会用テキスト、平成 23 年度環境省環境研究総合推進費補助金（課題番号 K1130024）、2012. 3
- ・渡辺洋一：「アスベスト含有建材の選別手法確立と再生砕石の安全性評価に関する研究」平成 24 年度環境研究総合推進費補助金研究事業補助金(K113024)研究報告書、平成 25 年 3 月
- ・埼玉県環境科学国際センター：「石綿含有建材の見分け方ー石綿含有建材の目視評価方法についてー第二版」、石綿含有建材適正処理推進のための石綿講習会用テキスト、平成 24 年度環境研究総合推進費補助金研究事業補助金(K113024)、平成 25 年 3 月
- ・渡辺洋一：「アスベスト含有建材の選別手法確立と再生砕石の安全性評価に関する研究」平成 23～26 年度環境研究総合推進費補助金研究事業補助金(3K113024)研究報告書、平成 26 年 3 月
- ・埼玉県環境科学国際センター：「石綿含有建材の見分け方ー石綿含有建材の目視評価方法についてー第三版」、石綿含有建材適正処理推進のための石綿講習会用テキスト、平成 25 年度環境研究総合推進費補助金研究事業補助金(3K113024)、平成 26 年 3 月

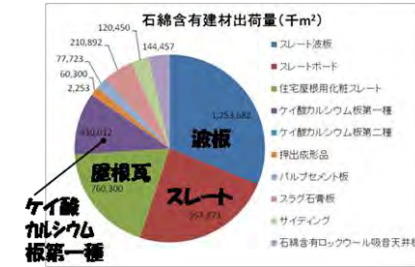
【研修会・講習会等講師】

- ・川寄幹生：廃石膏ボードの安全な原料化に関するシンポジウム「石綿含有石こうボード及び石綿含有成形板の見分け方について」、札幌市、2011. 5
- ・川寄幹生：産業廃棄物適正処理講習会（産業廃棄物指導課）「石綿含有建材への対応について」、さいたま市、2011. 5
- ・川寄幹生：埼玉県解体業協会講演会「石綿含有建材への対応について」、さいたま市、2011. 5
- ・川寄幹生、渡辺洋一、長森正尚、磯部友護、鈴木和将：石綿廃棄物に関する研修会（産業廃棄物指導課）、埼玉県環境科学国際センター、2011. 6
- ・川寄幹生：平成 23 年度第一回専門研修会（産業廃棄物指導課）「石綿含有廃棄物の概要及び石綿の現場での見分け方について」、さいたま市、2011. 7
- ・川寄幹生：産業廃棄物適正処理講習会（埼玉県、埼玉県産業廃棄物協会）「再生砕石のための安全管理マニュアルについて」、さいたま市、2011. 8
- ・川寄幹生：石綿廃棄物に関する研修会（東京都環境局廃棄物対策部不法投棄対策課）「目でみてわかる？アスベスト」、東京都新宿区、2011. 10
- ・川寄幹生：平成 23 年度産業廃棄物等技術研修会（中国・四国地区）「石綿の基礎と石綿含有建材の見分け方について」、岡山市、2011. 11
- ・川寄幹生：平成 23 年度技術職員（専門）研修（さいたま市建設局）「解体現場で指導するための石綿含有建材の見分け方について」、さいたま市、2011. 12
- ・川寄幹生：石綿廃棄物に関する研修会（宮城県石巻保健所）「石綿の基礎知識と石綿簡易判定法について」、石巻市、2012. 2
- ・川寄幹生：平成 24 年度専門研修会（埼玉県産業廃棄物指導課）「石綿廃棄物の概要及び石綿の現場での見分け方について」さいたま市、2012. 6
- ・川寄幹生：平成 24 年度技術職員（専門）研修（さいたま市建設局）「解体現場で指導するための石綿含有建材の見分け方について」、さいたま市、2013. 1
- ・川寄幹生：平成 24 年度産業廃棄物等技術研修会（中国・四国地区）「石綿の基礎と石綿含有建材の見分け方について」、岡山市、2013. 2
- ・川寄幹生：平成 24 年度アスベスト圧縮固化法協議会研修会「石綿含有建材の見分け方」、浜松市、2013. 3
- ・川寄幹生：平成 25 年度ごみゼロ社会推進あいち県民フォーラム「廃棄物のアスベスト対策」、名古屋市、2013. 10
- ・川寄幹生：埼玉県環境科学国際センター講演会「有害廃棄物と生活環境」、さいたま市、2014. 2

研究概要図



石綿輸入量と石綿含有建材廃棄物予測量
出典：(社)日本石綿協会



アスベスト含有建材の出荷量 (千m²)

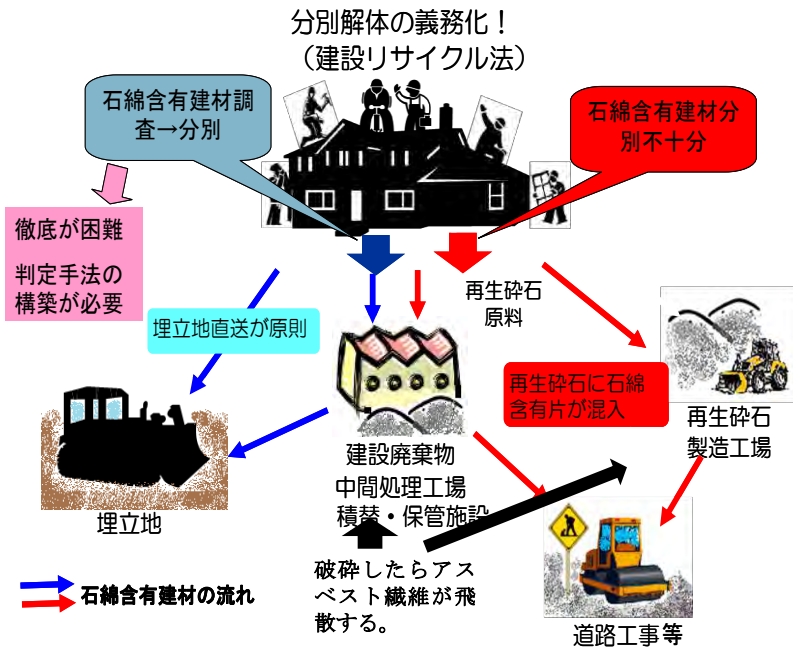
過去に製造され、建築物にストックされているアスベスト含有建材が今後も多量に廃材として排出される。

ストック量 4000万+ 100万+/年以上発生

再生砕石に混入が確認=コンクリート塊と一緒に破碎処理 ⇒ 将来の健康被害のおそれ

分別の徹底—適正処理の推進が必要

家屋解体に伴う石綿含有建材の流れ



本研究の検討内容

- ① 混入要因調査と混入評価方法の検討
再生砕石への混入要因の把握と防止対策の立案、既存の再生砕石敷設現場の評価法確立
- ② アスベスト含有建材のスクリーニング法開発
低コストかつ迅速で実現可能性の高い目視判定法の確立
- ③ 混合廃棄物からのアスベスト含有建材の選別
実際の混合廃棄物の選別実験によるデータ取得とモデルによるシミュレーションの実施
- ④ アスベスト含有建材からの石綿繊維飛散特性の把握とリスク評価
室内実験装置による建材からの飛散量把握、現場実験装置による現場飛散量実測、大気サンプラーによる実現場のデータ取得。飛散データを用いたリスク計算

英文概要

・ 研究課題名 = "Establishment of rapid judgment methods of asbestos-containing construction materials, and safety assessment of reproduction macadam"

・ 研究代表者及び所属 = Yoichi Watanabe, Center for Environmental Science in Saitama

・ 研究分担者及び所属 = Masato Yamada, National Institute of Environmental Studies

Kazuto Endo, National Institute of Environmental Studies

Takashi Yamamoto, National Institute of Environmental Studies

Yusaku Ono, Nippon Institute of Technology

Hiroshi Asakura, Nagasaki University

Mikio Kawasaki, Center for Environmental Science in Saitama

Yugo Isobe, Center for Environmental Science in Saitama

Kazuyuki Suzuki, Center for Environmental Science in Saitama

・ 要旨 =

The asbestos containing building materials used in the old buildings, are discharged as waste at the time of demolition of the building. It poses a problem that asbestos containing building materials are mixing in reproduction macadam. Currently it predicted that the discharge amount of the asbestos containing building materials increases from now on.

This research purpose is to establish the method for prevention to mixing the reproduction macadam and the asbestos containing building materials.

Therefore, (1) Building demolition site and intermediate treatment facility of demolition waste, and a reproduction macadam use place were investigated, respectively, the information of processing situation of asbestos containing building materials was collected, and (2) the rapid judgment method of the asbestos containing building materials for proper processing was established. Moreover, (3) a sorting experiment of asbestos containing building materials from mixed waste and the simulation by a model were performed.

Furthermore, (4) the releasing amount and releasing prevention effect from asbestos containing building materials was measured.

(1) From the field survey in the demolition site, asbestos containing building materials needed to be asbestos displayed after judgment. As for intermediate facility, mixing check of final demolition mixture waste (residual waste) is necessary. When removing this waste completely, asbestos free reproduction macadam could be manufactured.

(2) As a method of screening the asbestos containing building materials in the demolition site etc., the visual observation method was developed and being applicable to the judgment of a great portion of asbestos containing building materials, the kind of difficult building materials of a judgment, and its corrective strategy also became clear from the test result in a lecture meeting.

(3) From the sorting experiment of asbestos containing building materials from mixed waste at the field, hand sorting speed of asbestos containing materials from mixed demolition waste was 0.3-0.4kg/min. Using the results of visual observation test, an asbestos containing materials sorting model was formulated. The model enabled simulation of asbestos content after sorting by inputting asbestos content distribution into construction and demolition waste before sorting.

(4) In order to measure the amount of releasing of an asbestos fiber, survey by laboratory experiment equipment, on-site measurement equipment, and air sampler was performed.

As a result, from the reproduction macadam with which asbestos containing building materials exist, it was measured that a possibility that asbestos will disperse to the atmosphere is low.

・ キーワード＝

Asbestos, Construction & Demolition Waste, Asbestos Measurement Method, Sprayed asbestos