

平成 26 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

災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究
(3K123108)

平成 27 年 3 月

独立行政法人国立環境研究所

山本 貴士

補助事業名 環境研究総合推進費補助金研究事業(平成 24 年度～平成 26 年度)

所 管 環境省

国庫補助金 70,482,000 円 (複数年度の総計)

研究課題名 災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究 (3K123108)

研究期間 平成 24 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日

研究代表者名 山本貴士 (国立環境研究所)

研究分担者名 寺園淳 遠藤和人 (国立環境研究所)
貴田晶子 (愛媛大学)
酒井伸一 (京都大学)
外山尚紀 (労働科学研究所)
豊口敏之 ((株)環境管理センター)

研究協力者名 平井康宏、川端信裕、渡邊洋祐 (京都大学)
柳原好孝、上野隆雄、中村聡 (東急建設(株)技術研究所)

目 次

総合研究報告書概要	1
本文	
1. 研究背景と目的	13
1.1 研究背景	13
1.2 研究目的	14
2. 研究方法	15
2.1 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討	15
2.2 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討	18
2.3 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発	19
2.4 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査	24
2.5 石綿含有成形板解体除去時の石綿飛散量の検討	28
2.6 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討	33
2.7 災害廃棄物の処理における石綿含有物の扱いに係るアンケート調査	36
3. 結果と考察	43
3.1 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討	43
3.2 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討	50
3.3 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発	67
3.4 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査	69
3.5 石綿含有成形板解体除去時の石綿飛散量の検討	73
3.6 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討	81
3.7 災害廃棄物の処理における石綿含有物の扱いに係るアンケート調査	87
4. 結論	95
5. 参考文献	98
6. 研究発表	100
論文発表	
学会等発表	
7. 知的財産権の取得状況	101
研究概要図	102
英文概要	103
別紙及び参考資料	104

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：災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究

研究番号：3K123108

国庫補助金精算所要額：70,482,000 円（複数年度の合計額）

研究期間：平成 24 年 4 月 1 日～平成 27 年 3 月 31 日

研究代表者名：山本貴士（国立環境研究所）

研究分担者名：寺園淳、遠藤和人（国立環境研究所）、貴田晶子（愛媛大学）、酒井伸一（京都大学）、
外山尚紀（労働科学研究所）、豊口敏之（環境管理センター）

研究目的

被災地の復旧・復興のためには災害廃棄物の迅速な処理が求められるが、災害廃棄物への石綿混入を確認したとの報告があり、不適切な処理による石綿飛散のおそれがある。また、小規模建築物や船舶等では十分な石綿含有調査が行われず、飛散防止措置が取られずに解体される可能性がある。いずれにおいても、石綿飛散を適切に管理・抑制し、作業者の健康被害を防止する事は極めて重要である。従って、本研究においては、東日本大震災あるいは今後起こりうる災害に際し、復旧・復興のための作業等における石綿曝露被害を未然に防止するため、適切な災害廃棄物処理計画を立案する上で必要となる石綿含有物発生量を推定するスキームの開発、災害廃棄物選別や被災建築物解体時に必要となる石綿迅速判定法の開発、また災害廃棄物処理時の石綿飛散を防止するための混入防止方法や発生した粉じんの除去方法の検討・評価といった石綿の適正管理手法の確立を目的とする。

研究方法

(1) 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討

米 EPA のバルク建材中の石綿試験法(EPA 600/R93/116)を参考に、実体顕微鏡と偏光顕微鏡(PLM)を用いた石綿含有物の迅速判定法(以下、迅速判定法)を考案した。迅速判定法の流れについて図 1 に示す。この迅速判定に必要な機材一式を車両に搭載し、災害廃棄物の保管や処理が行われている現場での石綿迅速判定を可能とした(図 2)。現場適用として、2012 年 6 月につくば市の竜巻災害廃棄物仮置場、同年 7 月に相馬市の津波被害廃 FRP 船仮置場において石綿含有が疑われる建材や材料の判定を試みた。

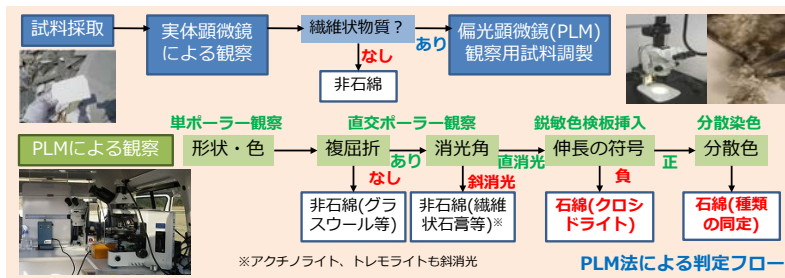


図1 迅速判定法による石綿分析の流れ



図2 現場での石綿分析の様子

本課題で開発した方法やその他の迅速判定法の評価のため、災害廃棄物集積場で災害がれきを採取し、迅速判定法及び公定法等により石綿を同定した。評価対象とした迅速判定法は、①本課題で開発した車載の PLM 法、②東急建設(株)が開発中の車載近赤外測定装置、③市販の可搬型近赤外測定装置とした。採取試料を持ち帰り、公定法(JIS A 1481:2008、分散染色法及び X 線回折法)による定性・定量分析、走査型電子顕微鏡法(SEM 法)による定性分析、さらに ISO 22262-1 法(PLM 法)による定性分析を行った。迅速判定法の評価は、公定法との分析結果との一致度(正解率)、偽陽性(石綿非含有試料を含有と判定)／偽陰性(石綿含有試料を非含有と判定)の頻度の観点から行った。

(2) 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討

被災地の石綿含有建材の状況について、宮城県石巻市、気仙沼市、福島県南相馬市で調査した。調査内容は石綿含有建材のマッピング、採取した建材試料の分析、気中石綿濃度測定である。また、被災地の石綿対策状況や石綿に対する意識について把握するため、アンケート調査を実施した。以上の調査から成形板等の取扱いに課題が多いことが判明したため、幾つかの自治体において建築解体現場を訪問し、成形板の取扱い状況を調査した。

目視判定法の検討について、上記調査で採取した石綿含有建材から建材プロファイルを作成し、これを使用した目視判定法の研修コースを開発し、解体作業従事者や地域住民を対象に実施した。受講者 5 名を被験者とし、成形板等の石綿有無の判定試験を実施した。この結果を参考に研修コースを改良し、目視判定用のテキスト「石綿含有建材の見分け方」を作成した。宮城県や福島県等で開催した石綿作業特別教育、石綿作業主任者技能講習において改良した研修を実施した。受講者をグループ分けし、ブラインドサンプル判定試験を実施した。さらに、収集した建材試料を整理した教材とテキストを使用した研修コースに関して建設労働組合と協力してワークショップを開催し、ワークショップの結果を踏まえて目視判定法を導入した建設現場の安全衛生研修コースを開発、実施した。

(3) 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発

仙台市をモデルケースとして震災時の石綿含有廃棄物発生量の推定方法を開発した。石綿含有廃棄物発生量 W は式(1)によって計算した。がれき化率は半壊した建物から発生する廃棄物の割合で $P=0.5$ とした。

$$\begin{aligned}
 W_{(i,j,m,t)} &= S_{use(i,j,m,t)} \times (D_{full(m)} + P \cdot D_{half(m)}) \\
 W_{(i,k,m,t)} &= S_{const(i,k,m,t)} \times (D_{full(m)} + P \cdot D_{half(m)})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここで、 W : 石綿含有廃棄物発生量、 S_{use} : 建物用途別石綿含有建材ストック量、 S_{const} : 建物構造別石綿含有建材ストック量、 D_{full} : 全壊率、 D_{half} : 半壊率、 P : がれき化率、 i : 建材種類、 j : 建物用途、 k : 建物構造、 m : 震度 または 津波浸水深、 t : 着工年

計測震度に対する建物の全壊率・全半壊率は内閣府のものを用いた。本研究での各メッシュの計測震度には、QuiQuakeの推定地震動分布を用いた。津波による建築物の被害は、津波浸水深の関数として表わされるとした。津波による被害率は、内閣府「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)」に示された、木造・非木造別の、全壊率曲線および全半壊率曲線より、正規分布のパラメータ(平均・分散)を設定した。東日本大震災における仙台市の津波浸水深の平面分布は、仙台市の津波浸水シミュレーション結果をもとに、0.5 km × 0.5 km メッシュ単位で読み取った値を用いた。

(4) 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査

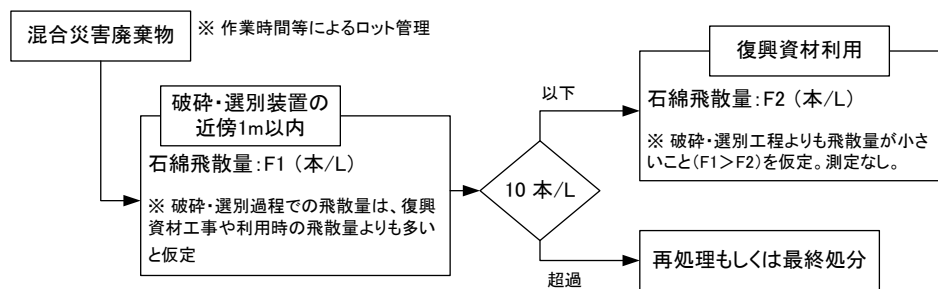


図3 破碎・選別工程における石綿飛散調査の考え方(案)

石綿含有建材が少量混入した災害廃棄物の処理と処理物の復興資材利用に対する一つの考え方を図3に示した。石綿飛散量が最大となると想

定される二次処理場の破碎選別装置近傍で石綿等の飛散量を測定し、飛散量が大气污染防治法の基準以下であれば、処理物を復興資材として利用されたとしても、石綿飛散量を基準以下に抑え、人への暴露リスクを可能な限り低減できると考えられる。さらに基準を満足しないロットは再処理または最終処分することで、最終処分量を過度に増加させない、合理的な判断が可能と考える

以上の考えに基づき、二次処理工程における石綿飛散状況の調査を実施した。調査サイトの1つはテント内で乾式比重選別、破碎処理を行っている現場であり、もう1つは屋外で災害廃棄物(混合廃棄物)の振動ふるい選別を実施している現場である。破碎選別装置や振動ふるい近傍、敷地境界において気中総繊維数濃度を位相差顕微鏡(PCM)法により、石綿繊維数濃度をA-SEM法により測定した。さらに、振動ふるい選別を実施している現場では、投入されるロット毎に目視できる板状建材を全て抜き取り、目視または可搬型赤外測定装置により石綿含有建材か否かを判定して重量を測定することで、災害廃棄物総量に対する石綿含有建材の混入率を調査した。また、処理場土壌中の石綿濃度も測定した。

(5) 石綿含有成形板解体時の石綿飛散量の検討

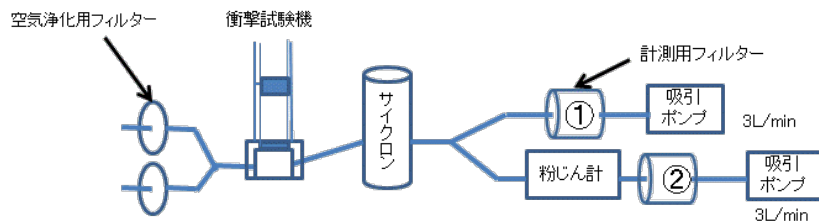


図4 実験装置系統図

石綿含有成形板を衝撃試験機によって破碎し、1回の破碎実験で生じる粉じん数及び石綿繊維の本数を計数した。本研究においては、実験装置内に設けた粉じん計の積算値を粉じん飛

散量の値として使用した。実験装置概念図を図4に示す。石綿含有成形板はスラグ石膏板(クリソタイル7.4%含有)とフレキシブルボード(クリソタイル19.8%含有)を使用した。本研究では、①成形板の種類(前出の2種)、②破碎時のエネルギー(2.94~7.35 Jの3段階)、③成形板の湿潤化の条件(湿潤化なし、表のみ、裏のみ、両面、全体)を変えて破碎実験を行った。特に③に重点を置いて実験した。成形板破碎時の粉じん発生源や湿潤化による飛散抑制のメカニズムについて検討するため、④養生テープによる被覆部位(表、裏、側面4面、破断面)、⑤成形板の面積/破断長比率を変えた破碎実験を石綿非含有の成形板を用いて行った。

(6) 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討

石綿含有建材や災害廃棄物混入土壌からのダスト及び石綿繊維飛散量について、EPA Method 540/R97/028に記載のダスト発生装置を製作・使用した。石綿含有建材試料として、コロニアル屋根材(クリソタイル11.9%含有)、波形スレート板(同12%含有)を破碎したものを使用した。また、模擬混入土壌試料として、市販園芸土に、波形スレート板(クリソタイル10%含有)の破碎物を混合して調製したものを使用した。飛散実験の手順は次の通り。試料を充填したタンブラーをダスト発生装置に取り付け、スクラバー、ポンプを動作させて吸引開始後、タンブラーを回転させダストを飛散させた。一定時間後に80分後にタンブラーの回転速度を上げ、さらに一定時間後に回転を停止した。ダストは予め秤量したフィルターを一定時間毎に交換して捕集し、重量からダスト飛散量を求めた。また、スクラバー水を吸引ろ過したフィルターから観察用試料を作製し、SEMを用いた測定により石綿飛散量を得た。模擬混入土壌を用いた実験では、実験終了後に土壌と石綿含有建材をそれぞれ秤量して有建材の混入率を求めた。

石綿繊維飛散の制御可能性に関する検討では、湿潤化した試料を用いて飛散実験を行った。試料をタンブラーに充填後、試料が湿潤状態になるまで純水を噴霧して湿潤化し、後直ちにタンブラーを装置に取り付け、以後は上記の手順に従い実験を行った。

(7) 災害廃棄物の処理における石綿含有物の扱いに係るアンケート調査

アンケート調査は、被災県である岩手、宮城、福島、茨城、千葉の5県とこれら県内の17自治体を対象として実施した。アンケート内容は概略次の通りとした。なお、アンケート実施前に設問内容や実施方法について宮城県と岩手県に事前にヒアリングを行い、得られた意見はアンケート設問内容に反映させた。①災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法、②廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法、③石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理、④災害廃棄物に関する委託業者への指示内容、⑤災害廃棄物処理計画の活用、⑥その他意見。以上の項目を記載した調査票を各自

治体担当者に郵送または電子メールで発送し、回答を得た。

結果と考察

(1) 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討

車載 PLM 法による竜巻災害廃棄物中の石綿含有建材調査には、12 試料の判定を約 2 時間で完了した。採取試料の公定法による分析結果との比較より、1%程度まで公定法と同程度の精度で判定できることを確認した。廃 FRP 船の石綿使用部位調査では、58 隻の廃 FRP 船から採取した 15 試料の判定を約 3 時間半で、また 18 隻分の廃エンジンから採取した 7 試料の判定を約 1 時間半で完了した。

表 1 迅速判定法の評価結果

迅速判定方法	判定時間	正解率(%)	偽陽性	偽陰性
車載 PLM 法	約 10 分/試料	94	0	2*
車載近赤外測定装置	約 4 秒/回	78	4	3
可搬型近赤外測定装置	10 秒以内/回	87	0	4

* 再分析では含有判定。

迅速判定法の現場適用による評価では、震災がれき 32 試料(含有:20 試料、非含有:12 試料)の判定結果に基づいた迅速判定法

を評価について表 1 にまとめた。判定時間は近赤外測定装置が 1 回当たり 10 秒以内と短時間で判定が可能であった。但し、正確な結果を得るためには複数回測定を行う必要があった。正解率は車載 PLM 法で 94%と高く、偽陽性、偽陰性ともに車載 PLM 法で成績が良かった。表 2 に石綿含有率と迅速判定法による判定結果との関係をまとめた。石綿含有判定では偽陰性(見落とし)となることを避けなくてはならない。迅速判定法は含有率が 3%未満の試料に対して偽陰性となるケースがあったが、含有率が 3%以上のものについては基本的には見落とすことはなかった。石綿含有建材の石綿含有率は通常 5%以上であることから、今回評価した石綿含有物の迅速判定法は意図して石綿を使用した建材の判定に十分適用可能であると考えられた。

表 2 石綿含有率と迅速判定法による判定結果との関係

石綿含有率	公定法等	車載 PLM 法		車載近赤外装置		可搬型近赤外装置	
		含有	非含有	含有	非含有	含有	非含有
3%未満	8	6	2*	5	3	4	4
3%以上	12	12	0	12	0	11	0**

* 再分析では含有判定。 **判定不能となった試料が 1 試料。

(2) 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討

(a) 被災地における石綿含有建材の状況と石綿によるリスク

石巻市では吹付け耐火被覆 14 棟、波板スレート 157 棟、気仙沼市では吹付け耐火被覆 28 棟、波板スレート 25 棟、煙突 12 棟、南相馬市では住宅屋根用化粧スレート 1 棟、窯業系サイディング 27 棟、けい酸カルシウム板 31 棟、波板スレート 1 棟をそれぞれ確認した。調査中、スレート板等成形板の解体現場で、法定の対策である湿潤化と非破砕による撤去が行われず、作業者も防じんマスクを着用していない例を多数確認した。調査で採取した石綿含有が疑われる建材 189 試料の石綿の有無の分析結果を表 3 に示す。代表的な石綿含有建材 14 種類が採取された。

表3 被災地で採取した石綿含有が疑われる建材の分析結果

	含有なし	含有あり					計
			クリソ タイル	アモサイト	クロシド ライト	2種類 以上	
吹付け材	76	6	2	2	2	0	82
煙突用断熱材	0	1	0	1	0	0	1
ケイカル2種	3	2	1	0	0	1	5
ケイカル1種	6	6	3	0	0	3	12
波板スレート	1	24	22	0	0	2	25
平板スレート	7	11	10	0	0	1	18
石膏ボード	7	1	1	0	0	0	8
スラグ石膏板	1	4	2	0	0	2	5
床用ビニルタイル	3	2	2	0	0	0	5
床用ビニルシート	1	2	2	0	0	0	3
屋根用化粧スレート	1	2	2	0	0	0	3
窯業系サイディング	4	8	8	0	0	0	12
押出成形セメント板	1	4	4	0	0	0	5
ロックウール吸音板	4	1	1	0	0	0	5
計	115	74	60	3	2	9	189

吹付け材のうち石綿含有は6試料のみであった。波板スレートはほとんどが石綿含有であった。

気中石綿濃度測定を270箇所で行い、作業環境測定では仮置場の石綿含有成形板の荷下ろし作業直近の総繊維濃度53本/L、石綿濃度34本/Lが最高濃度であった。一般環境測定では被災建築物の石綿含有吹付け材がある場所の直近の石綿繊維濃度2.3本/Lが最高濃度であった。

作業員アンケート調査から、石綿含有建材の取扱いに関して、飛散防止のための散水はある程度実施されていたが、建材を破碎しないという法定の対策はあまり守られていないことが明らかとなった。防じんマスク着用や特殊健康診断の実施も十分ではなかった。自治体アンケート調査でも、約半数の自治体は成形板等の石綿含有建材の存在を知らないか、把握していなかった。一方で調査の必要性は半数以上の自治体で認識しており、今後発災以前に建材調査を実施することで、震災後の石綿対策が迅速かつ円滑に行われることが期待される。成形板取扱い状況調査では5自治体の計317現場を訪問し、解体作業を行っていた106の現場のうち19の現場で散水なしに石綿含有建材を破碎していた。

(b) 石綿含有建材目視判定法の検討

被災地で採取した成形板等15種類について、現場、建材の接写、実体顕微鏡、偏光顕微鏡の写真と建材の特徴を示した建材プロフィールを作成した。このプロフィールやルーペ、デジタル顕微鏡等を使用した石綿含有建材判定研修コースを作成し、地域住民や作業員を対象に研修を実施した。研修受講者5名を被験者として10種類22試料の成形板等の判定試験を実施した。結果を表4に示す。スレート板や窯業系サイディング等については正解率が90%以上と高かった。

表 4 5人の被験者による判定試験結果

	正解率(%)	FP (%)*	FN (%)*
波板スレート	100	0	0
平板スレート	90	20	0
ケイ酸カルシウム板	66.7	50	0
スラグ石膏板	60	80	0
窯業系サイディング	90	0	20
石膏ボード	50	60	40
押出成形板	90	20	0
岩綿吸音板	40	80	60
ビニル床シート	50	80	20
ビニル床タイル	40	60	60
平均	68	45	20

* FP: False Positive、FN: False Negative。

全てについて正答率 78%であった。グループ討論では、目視判定法の利点として、労働者自らが判断し対策できること、元請から「石綿は無い」と言われても反論できること等が挙げられた。

一方、スラグ石膏板や石膏ボード、ビニル床タイル等については正解率が 50%以下であった。この方法は完璧ではないが限定的な応用が可能と考えられ、例えば目視でも正解率の高いスレート板、窯業系サイディング、押出成形板等については含有の有無を判定できる可能性がある。また、建設労働者を対象に安全衛生研修を実施し、安全衛生活動の一環として石綿含有建材の目視判定法の講習を実施した。その際にセメント系建材 3 種類の判定試験と目視判定法の利点と活用方法をグループ討論で検討した。判定試験は

(3) 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発

地震動による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果を図 5、表 5 に示した。吹付け石綿を除く 10 建材合計の推定値は、構造別原単位で約 17,200 トン、用途別原単位で約 16,600 トンであった。津波による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果は、10 建材合計・住宅用途で、3,200 トンであり、地震動による発生量の 2 割程度と推定された。

表 5 地震動による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果(単位：トン)

	スレート 波板	スレート ボード	ケイカル 1 種	ケイカル 2 種	押出成形品	
構造別	2,005	3,158	765	5	678	
用途別	3,120	3,110	761	7	1,141	
	パルプ セメント板	スラグ 石膏板	サイディン グ	住宅屋根ス レート	岩綿吸音 天井板	吹付け 石綿
構造別	270	376	942	8,569	428	21
用途別	675	375	570	6,644	239	-

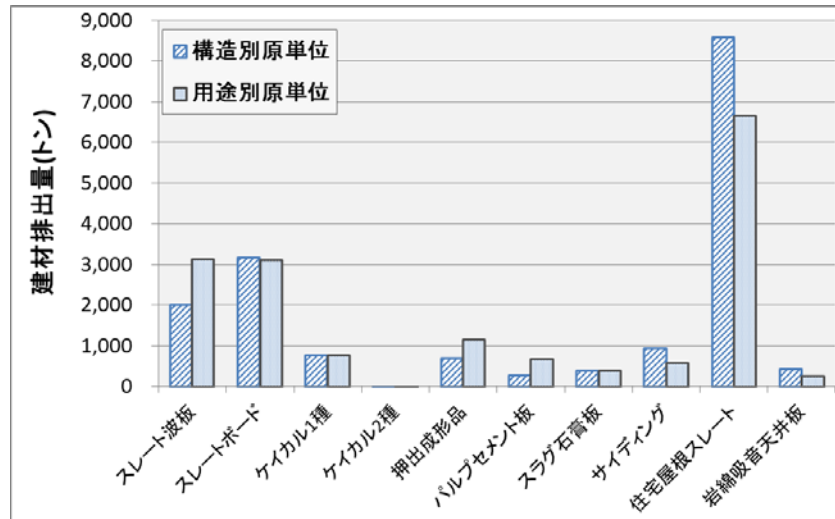


図5 廃棄物発生量の推定結果

(4) 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査

テント内に破碎選別装置を設置した二次処理場での調査では、総繊維数濃度は比重差選別装置近傍で4.8~24本/L、破碎装置近傍で3.6~13本/Lであった。敷地境界では1.3~2.6本/Lであり、大気汚染防止法の基準10本/Lを下回った。いずれの測定点の濃度も1日目の午後が最も低く、2日目の午前、午後では濃度が上昇する傾向となった。総繊維数濃度が高かったものについて石綿を分析したが、いずれからも石綿繊維は検出されなかった。屋外に振動ふるいを設置した二次処理場での調査では、敷地境界での総繊維数濃度はPCM法が0.064未満~0.52本/L、A-SEM法では0.091~0.86本/Lという結果であった。振動ふるい上部では、総繊維数濃度が高くなり、2.93~5.70本/L(PCM法)、3.83~7.12本/L(A-SEM法)となり、コンベア落下点では、2.93~6.32本/L(PCM法)、5.75~7.12本/L(A-SEM法)という結果となった。石綿は全てのサンプルで計測されず、検出下限未満となった。これは、災害廃棄物自体の含水比が高めであったことと、破碎施設のように建材自体を粉碎する行為が無いことが原因と考えられ、振動ふるい等の選別処理では石綿飛散リスクが小さい可能性が示唆された。

表6 災害廃棄物中に含まれる石綿含有建材の存在量調査結果

ロット	投入廃棄物量	板状建材量	目視判定石綿含有建材量	難判定の石綿含有建材量	石綿含有建材の総量
1	166.2 kg	1.795 kg (1.08%)	0.085 kg	0.080 kg	0.165 kg (0.10%)
2	205.9 kg	2.670 kg (1.30%)	0.200 kg	0.070 kg	0.270 kg (0.13%)
3	165.8 kg	1.900 kg (1.15%)	0.020 kg	0.180 kg	0.200 kg (0.12%)

※()内の数値は投入廃棄物に対する存在率

振動ふるい選別機に入る1ロット当たり重量と板状建材重量、石綿含有建材重量と含有率について表6にまとめた。1ロット当たりの投入量は概ね160~200kg程度であり、板状建材の量は1.8~2.7kg程度で

ある。混合廃棄物となっている災害廃棄物中には板状建材が重量比で1.1~1.3%程度含まれていることになる。含有建材の合計量は0.16~0.27kg程度であり、投入廃棄物に対して0.10~0.13%程度が石綿含有建材となることが計算された。振動ふるい選別機及び手選別作業場の下部土壌中の

石綿を分析したところ、作業場下土壌の 2.0 mm 未満で繊維が無しと判定されたが、他の粒径画分では全て繊維が確認された。しかし、PLM 法により石綿判定を行ったところ全ての繊維が非石綿であった。以上のことから、災害廃棄物には石綿含有建材の混入が認められたが、大気中への飛散だけでなく土壌への石綿の蓄積も無かったこととなり、人への石綿暴露のリスクはかなり小さい状況であると考えられた。

(5) 石綿含有成形板解体時の石綿飛散量の検討

表 7 成形板の種類別の粉じんおよび石綿飛散量

成形板種類	粉じん計積算値*	石綿繊維飛散本数*
ケイ酸カルシウム板 (石綿非含有)	3,590±560 (n=6)	—
スラグ石膏板	2,550±640 (n=5)	25,900±7,100 (n=5)
フレキシブルボード	1,160±340 (n=5)	43,800±12,600 (n=5)

* 平均値±標準偏差(n=測定回数)

破砕実験での成形板種類別の粉じん及び石綿飛散量を表 7 に示す。粉じんの飛散率は、かさ比重が低い成形板で高い結果となった。石綿繊維の飛散率は、成形板の表面に露出した石綿量に比例し、

かさ比重が小さいほど高いことが示唆された。

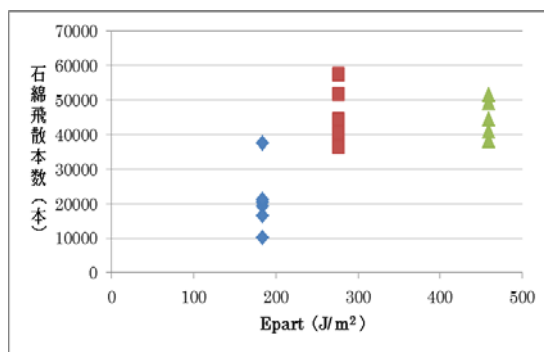


図 6 破砕エネルギーの増加に伴う石綿飛散量の変化

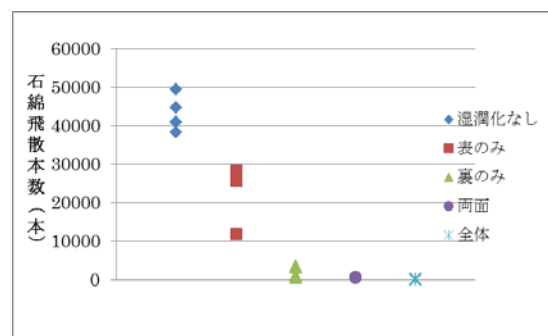


図 7 湿潤化方法と石綿飛散本数(スラグ石膏板)

破砕エネルギーと石綿飛散量との関係について図 6 に示す。これより、建材の面積当たりの機械的エネルギーが建材の破断を伴う程度の大きさで石綿飛散量が増加し、機械的エネルギーが建材の破断や振動で吸収できる限界を超えると、石綿飛散量が頭打ちとなる関係性が推察された。

建材の湿潤化について、スラグ石膏板では表のみ湿潤化で約 50%、裏のみ湿潤化で 95%以上減少し、両面湿潤化、全体湿潤化でさらに減少した(図 7)。フレキシブルボードでも同様に湿潤化により石綿飛散量が減少した。養生テープで建材を被覆した破砕実験の結果から、破砕時に発生する粉じんの割合は約 6 割が成形板裏、約 2 割が破断面であると推定された。同一の成形板では粉じん発生量と石綿発生量との間には強い正の相関があるため、石綿飛散量も同様に裏からの寄与が大きいのと考えられ、上記の湿潤化条件で裏のみ湿潤化でも飛散量が大きく抑制されるという結果はこのことにより説明できる。また、成形板の面積と粉じん発生量との間には正の相関が見られ、上記の結果と合わせて考えると、破断面の大きさを代表する「破断長」ではなく、成形板裏の面積を用いることにより、粉じん・石綿飛散量の概数が把握できる可能性が示唆された。

(6) 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討

石綿含有建材 2 種中の飛散性ダスト重量 M_{tot} は 0.138~0.227 g、試料重量に対する飛散性ダスト重量の割合 %RD は 0.18~0.30% であった。模擬混入土壌の M_{tot} は 0.161~0.169 g、%RD は 0.21~0.23% であり、建材混入率と飛散性ダスト量との関係は明確でなかった。試料中の飛散性石綿繊維数濃度 C_{smp1} (長さ 5 μm 以上) は、建材 2 種では $2.3\sim 5.9\times 10^6$ 本/g、模擬混入土壌では混入率 1% のケースで 6.7×10^5 本/g、混入率 17% のケースで 4.9×10^5 本/g と計算され、模擬混入土壌からの石綿飛散は石綿含有建材を供試試料とした時より小さかった。これは土壌による希釈の結果と考えられたが、混入率と濃度に明確な関係性が見られず、土壌粒子により石綿飛散が低減された可能性もある。EPA 法によれば、 10^{-6} リスク(生涯曝露による発がん過剰死が百万人に 1 人増加)に関連づけられる値は 3×10^7 本/g であり、一連の飛散実験の結果はこの値を下回り、石綿含有建材やその混入土壌からの石綿繊維の飛散による影響は 10^{-6} リスクレベルより小さいと推測された。

飛散制御可能性についての検討では、波板スレート板を湿潤化した場合、ダスト飛散は湿潤化により抑制されたと考えられた。しかし、クリソタイル繊維の飛散が確認され、空気量当たりの石綿繊維数濃度 C (長さ 5 μm 以上) は 2.5×10^3 本/L と計算された。同じ建材を湿潤化しない場合の C は 1.4×10^5 本/L であり、湿潤化によって石綿飛散を 1~2% まで低減できることが示された。一方、模擬混入土壌を湿潤化したケースでは、湿潤化しない試料と比較して %RD や C_{smp1} は変わらず、模擬混入土壌では湿潤化による飛散抑制効果は小さいと考えられた。

(7) 災害廃棄物の処理における石綿含有物の扱いに係るアンケート調査

各自治体で把握している廃石綿等の処分量は 4~2,372 トン、石綿含有廃棄物の処分量は 3~23,964 トンの範囲であった。また、災害廃棄物処分量全体に占める廃石綿処分量の割合は 0.0014~0.34%、石綿含有廃棄物処分量の割合は 0.0006~3.5% の範囲であり、全て埋立処分された。

廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法は「目視のみ」が多く、次いで「公定法」が多かった。目視で石綿含有が疑われた建材は「見なし石綿」として扱う例が多かった。迅速測定法を導入した自治体は一部であったが、重要性についての認識は少なからずあった。

石綿のリスクの認識は東日本大震災以前からあったとした回答が多かった。一方で、飛散防止対策の認識が不足していた自治体もあった。大気モニタリングの実施頻度や測定地点については「必要に応じて」とした回答が多かった。測定方法は公定法が多かったが、仮置場ではファイバーモニターの導入例もあった。石綿のばく露、飛散防止対策として、平時の対応では「石綿含有建築物リストの作成」、「石綿情報の共有」の回答が多かった。「耐震補強の推進」や「石綿含有廃棄物発生量を想定する方法の確立」は少なかった。発生現場での対策では「飛散防止及び曝露防止の注意喚起」、「石綿用マスク着用の徹底」の回答が多かった。仮置場での対策では作業員の曝露防止だけでなく、飛散防止対策のために様々な対策を講じていることが確認できた。また、重要と考えられる事項として「成形板の回収」や分別等、石綿含有物の災害廃棄物への混入の認知が進んできたことが伺われた。

災害廃棄物処理計画の策定における課題として、「建築物等での飛散性石綿の使用実態把握」、「仮置場選定の手順を取り決めておき、具体的な事例も収集」、「大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握」等が挙げられた。「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」や「災害廃棄物対策指針」については有用であったとの回答が多かった。

環境政策への貢献

災害廃棄物石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法を開発し、他に適用可能な迅速判定法(車載及び可搬型近赤外装置)とともに、現場適用により有用性を評価した。いずれの方法も判定時間は1試料当たり10分以内であり、判定精度(正解率)は78%以上であった。石綿含有率3%未満の試料で誤判定が増える傾向にあったが、一般的な石綿含有建材の含有率は5%以上であるため、石綿を意図的に使用した建材への適用には問題は少ないと考えられ、迅速判定法の導入で仮置場等での災害廃棄物から石綿含有物を適切に分別することが可能となる。

被災建築物の石綿含有建材の状況に関して、被災地において石綿含有建材使用状況の調査とマッピング、処理状況や空中繊維濃度測定を実施した。レベル1、2の建材と比較してレベル3建材のリスク認知は十分でなく、飛散・ばく露防止対策が十分でない分かった。今後はレベル3建材の石綿含有成形板の扱い目視判定法に関して、目視判定用のテキストを作成、これを用いた作業向け講習を被災地等で実施した。講習受講者を対象としてブラインドサンプル(平板スレート及び窯業系サイディング)判定試験を行い、石綿を含有する建材に対して90%以上の正解率を得た。目視判定法は、現場でのリスクアセスメントと石綿飛散対策を進めるために有効である。

仙台市をモデルケースに、建築年・建物構造/用途別の建築物ストック量、石綿建材使用原単位、地震震度や津波浸水深に対する建築物の損壊率、がれき化率、震度と津波浸水深の分布を用いて、地域メッシュ(約1km四方)別の石綿含有建材発生量を推定する手法を確立した。他地域においても、同様の手法で石綿含有建材発生量の推定が可能であり、災害廃棄物処理計画の立案時に有効に活用されることが考えられる。

石綿含有成形板の解体除去時の石綿飛散について、飛散に影響する要因(建材の種類、破碎エネルギー、面積や破断長)を特定し、飛散防止方法に係る考え方を提案できた。被災地二次処理場の破碎・選別過程で総繊維や石綿繊維の飛散状況を調査した。破碎装置や選別装置付近で総繊維濃度が10本/Lを超過したが、振動ふるい付近や敷地境界では10本/Lを超過せず、またいずれも石綿繊維は不検出であった。また、災害廃棄物からの石綿飛散量に関して、石綿含有建材や模擬混入土壌からの石綿飛散量は 10^{-6} リスクに関連づけられる値よりも小さかった。これらの結果は、災害廃棄物の復興資材への利活用や残渣処理、仮置場の跡地利用等について有用な知見を与えると考える。

災害廃棄物処理における石綿含有物の取扱に係る自治体アンケート調査を実施し、石綿含有物発生量の範囲、各自治体での石綿リスクの認知度、石綿飛散ばく露リスクに対する考え方や対策、災害廃棄物処理計画上での石綿の扱いについての知見を得た。これらは今後の災害廃棄物処理に係る方策を検討する上で有用と考える。

研究成果の実現可能性

迅速判定法に関して、車載PLM法、近赤外測定装置ともに石綿含有率3%以下で判定精度が低下した。このことについて、判定精度に影響する要因の特定を進めている(例えば、適切な試料採取、前処理の追加)。PLM法については、ISO 22262-1法がJIS A1481:2014の第1部に採用されたことから今後多くの分析機関で分析体制は整うことが見込まれ、各種団体の実施する技能試験等を通じて精度や技能向上も期待される。近赤外測定装置については、操作が容易であり、平時の

解体除去時の調査にも活用できる。自治体アンケートでも一部自治体で採用されていることが分かっており、今後低コスト化が進めば普及するものと考えられる。

被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法に関して、スレート板や窯業系サイディング等比較的使用料の多い建材での正解率が90%以上であることから、これらの建材については今回作成したマニュアルを活用して講習を適切に行えば、現場で判定が行えるものとする。また、労働者自身で建材の有無を確認できることは、不適切な解体による石綿の飛散やばく露の機会を少なくすることにつながる。

石綿含有成形板解体除去時を想定した破碎実験による検討、復興資材への石綿混入状況評価に係る破碎・選別過程での繊維飛散調査、災害廃棄物混入土壌からのダスト及び石綿飛散量の実験的検討は、本課題や国等のモニタリング調査における石綿飛散量の実測値と合わせて、災害廃棄物処理過程の各局面に対応した石綿曝露リスク評価に活用できる結果を与えるものとする。

結論

災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関して、(1)災害廃棄物及び被災建築物中石綿迅速判定法の開発、(2)震災時の石綿含有廃棄物発生量の推定方法の開発、(3)災害廃棄物処理過程における石綿飛散防止方法の検討を行った。

(1)に関して、飛散建築物に対しては目視、災害廃棄物に対しては偏光顕微鏡を用いる方法を開発し、それぞれ現場適用による評価を踏まえ判定時間・精度ともに満足できるものとして、マニュアルに取りまとめた。

(2)に関して、仙台市をモデルケースとして建築物ストック量、石綿建材使用原単位、地震震度や津波浸水深に対する建築物の損壊率、がれき化率、震度と津波浸水深の分布を用いて、地域メッシュ(約1km四方)別の石綿含有建材発生量を推定する手法を確立した。推定された発生量は構造別原単位で約16,600t、用途別原単位で約17,200tであり、津波被害による発生量の推定値は約3,200tであった。

(3)に関して、被災地調査や自治体アンケートにより発生現場や仮置場(処理場)での石綿含有建材や廃棄物の取扱状況について把握した。また石綿含有成形板の解体除去時の石綿飛散量について実験的に検討し、飛散量に影響するパラメータの特定、飛散を防止する工法について提案した。災害廃棄物の処理工程や復興資材利用における石綿管理方法について考え方を示し、破碎選別工程での石綿飛散調査を実施した。また災害廃棄物や混入土壌からの石綿飛散量について実験的に検討し、石綿飛散量は 10^{-6} リスクレベルを下回ること、石綿含有建材がれきは湿潤化により飛散量を低減できること、混入土壌からの飛散量は少ないことを示した。

- ・ 知的財産権の取得状況＝なし
- ・ 特許 実用新案登録 その他＝なし

1. 研究背景と目的

1.1 研究背景

今回の東日本大震災ではがれきや津波堆積物等大量の災害廃棄物が発生し、その速やかな処理が求められている。しかしながら、主に津波被害を受けた沿岸部被災地に顕著であるが、石綿含有建材を用いた建築物の倒壊等により、吹付け石綿や石綿含有成形板等の石綿含有建材が災害廃棄物に混入する事態となり、実際、我々の調査でも集積場で採取したがれきに石綿含有建材があることを確認している¹⁾。今後、被災建築物の解体を含め、災害廃棄物の処理が本格化するにあたり、これら石綿含有物の不用意な取扱い(例えば被災建築物の不用意な解体、集積場での重機による移動や破碎、集じん装置のない破碎機による細粒化)によって石綿を飛散させるおそれがある。

被災建築物の解体においては、解体工事前に事前調査により石綿含有建材の使用の有無や使用部位の特定を行う必要があるが、具体的な方法や調査を行う者の資格等について法的な定めがない。建材等の石綿含有の分析方法については、日本では JIS A 1481²⁾が公定法として通用しているが、国際標準である偏光顕微鏡(PLM)を用いた ISO 22262-1³⁾と異なる方法であった。2014年3月に JIS A 1481 が改正され、ISO 22262-1 が改正された JIS の第1部として取り入れられたが、従来の JIS も第2、3部として残され、多くの分析機関がこの方法を利用している。JIS の第1部と第2部では石綿の定義が異なることから分析結果が異なる可能性があり、また第2部については精度の問題も指摘されている⁴⁾。海外では PLM を使用する方法が JIS 法と比較して迅速かつ安価であり、また地震と津波被害も稀であるため、より迅速な分析方法を検討された例は見当たらない。また、解体除去時の石綿含有建材の取扱いについては、かさ比重が低く飛散性の高い建材(吹付け石綿や保温材等、いわゆるレベル1、2建材)は、大気汚染防止法により石綿飛散防止のための対策が規定され、厳格に規制されている。一方、かさ比重が高く相対的に飛散性の低い石綿含有成形板等の建材(レベル3建材)は、マニュアルやガイドラインの提示にとどまり、緩やかに規制されている。環境省のマニュアル⁵⁾や石綿作業主任者テキスト⁶⁾においては、石綿含有成形板は、原則として原形のまま除去し、やむを得ない場合のみ、水や飛散抑制剤を空中散布しながら工具を用いて破壊撤去するとされている。しかしながら、損傷のひどい建築物については、作業員の危険回避の点から重機解体が選択される場合もあり、こうした場合は石綿繊維の飛散原因となり得る。実際、東日本大震災においても事前調査の不備や施工上の問題、負圧管理の不備等によると見られる石綿飛散事例が環境省のモニタリングでも報告されている⁷⁾。また、津波被害を受けた船舶についてもボイラー等石綿を使用している部位が多くある。船舶は建築物等とは異なり管理が十分でなく、これらも同様に十分な対策が取られないままに解体されている可能性がある。

津波被害や建築物倒壊から発生した災害廃棄物は石綿含有建材とその他の廃棄物が混合状態で散乱しており、これらから石綿含有物を抜き取ることは現実的に不可能な状況であった。また、被災建築物解体時に石綿含有建材を分別解体することや、地面に散乱した目視確認できる石綿含有建材を分別撤去することは災害廃棄物処理過程での石綿飛散防止の観点から望ましいことではあったが、早期復旧・復興という大目標の中で分別解体や撤去の徹底は難しい状況であり、最前線の現場にいる方々に石綿含有建材への配慮を十分に周知することも困難であったと考えられる。混合廃棄物として集められた災害廃棄物は、二次処理場で破碎選別処理が行われ、災害廃棄物を復興資材として活用するリサイクル率を向上させるための取組がなされている。混入した石綿含有建材の展開検査による抜き取りや、手選別ラインでの抜き取りが行われている。石綿含有建材の抜き取りは人手による選別以外では困難であり、特に細かく粉碎された建材は目視判定で

も抜き取ることは容易でない。そのため、ふるい選別や、破碎処理・比重差選別過程へ石綿含有建材が流れ、最終的には復興資材にも少なからず混入してしまうことは不可避と考えられる。また、こうした石綿含有物ががれき集積場の周辺土壌に混入した場合に、跡地利用にも制約がかかることとなる。

災害廃棄物の処理の過程においては作業者が石綿曝露により健康被害を受ける可能性が高く、1995年に発生した阪神・淡路大震災では不十分な対策による石綿の飛散が確認されており⁸⁾、解体作業に従事した作業者に中皮腫認定患者が発生している等現実に健康被害が出ていることから、災害廃棄物の処理において石綿飛散を適切に管理・抑制し、健康被害を防止する事は極めて重要である。

石綿含有廃棄物は作業や住民に健康影響を及ぼすだけでなく、震災廃棄物全体の処理を滞らせる要素にもなっている。そのため平時から処理計画を立てておくことが重要である。日本全域を対象として石綿含有建材のストック量や排出量を推定した既往研究は数例ある^{9,10)}が、自治体が震災廃棄物の処理計画を立案するのに適したものではない。

1.2 研究目的

本研究においては、東日本大震災あるいは今後発生するおそれのある災害に際し、復旧・復興のための作業等における石綿曝露による健康被害を未然に防止するため、(1)災害廃棄物の選別や被災建築物解体時に必要となる石綿迅速判定方法の開発、(2)石綿含有物の適切な処理計画を立案する上で必要となる石綿含有物発生量を推定するスキームの開発、(3)災害廃棄物処理時に石綿の飛散を防止するための混入防止方法や発生した粉じんの除去方法の検討・評価といった石綿の適正管理手法の確立を目的とする。

(1)の課題においては、災害廃棄物中の石綿含有物に対してPLMを用いた迅速判定法を開発し、現地適用により評価する。被災建築物の石綿含有建材の目視判定法やその普及方法について検討し、被災地における石綿含有建材の状況を把握しリスク評価に応用する。本課題は、貴田晶子(愛媛大学)、豊口敏之(環境管理センター)、寺園淳(国立環境研究所)、山本貴士(同)、外山尚紀(労働科学研究所)が担当した。また、柳原好孝氏(東急建設(株)技術研究所)、上野隆雄氏(同)、中村聡氏(同)の協力を得た。

(2)の課題においては、仙台市をモデルケースとして自治体規模での地震および津波による石綿含有廃棄物発生量の推定を行う。本課題は、酒井伸一(京都大学)、平井康宏(同)、川端信裕(同)、渡邊洋祐(同)が担当した。

(3)の課題においては、災害廃棄物処理に関して、石綿含有建材が混入した可能性のある混合廃棄物の処理時の飛散量を調査することで、復興資材としての利用時に実用上問題のない飛散量であることを評価する方法を検討する。石綿含有成形板の解体除去に関して、石綿や粉じんの飛散特性を明らかにし、成形板の破碎除去を行う場合の適切な工法および飛散防止策を考察する。石綿含有建材やその混入した土壌からの石綿飛散量の把握やその制御可能性について実験的検討する。また、被災自治体アンケート調査により、既存の石綿飛散防止対策の評価や今後配慮すべき点を抽出する。本課題は、遠藤和人(国立環境研究所)、山本貴士(同)、寺園淳(同)、酒井伸一(京都大学)、平井康宏(同)、渡邊洋祐(同)、貴田晶子(愛媛大学)が担当した。

2. 研究方法

2.1 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討

(1) 偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の開発

本研究では、米 EPA のバルク建材中の石綿試験法(EPA 600/R93/116)¹¹⁾を参考に、実体顕微鏡と偏光顕微鏡(PLM)を用いた石綿含有物の迅速判定法(以下、迅速判定法)を考案した。

迅速判定法による現場での建材中の石綿分析の流れを図 2-1 に示す。

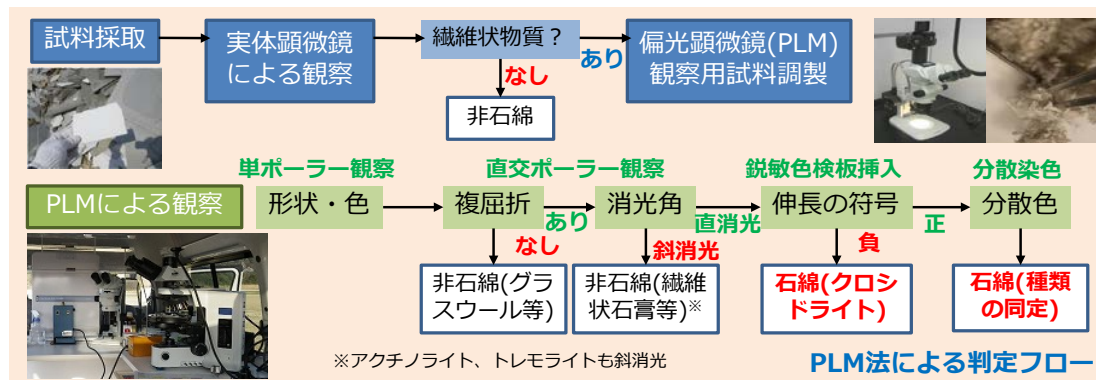


図 2-1 迅速判定法による石綿分析の流れ

建材中の石綿含有の判定は、以下の手順で実施した。本方法においては、一連の作業に要する時間は 10~20 分で、1 時間に 3~6 検体の現場での迅速判定が可能である。

- ①試料採取。
- ②実体顕微鏡で低倍率で観察。繊維状物質が存在しなければ石綿非含有とする。存在する場合、PLM 観察用試料を調製する。
- ③PLM で観察(100 倍、オープンニコル)。繊維の形状、色を観察。
- ④クロスニコル観察で複屈折を確認する。複屈折がなければ石綿非含有(グラスウール等)とする。
- ⑤消光角を確認する。直消光でなければ石綿非含有(繊維状石膏等)とする。
- ⑥鋭敏色検板を挿入して伸長の符号を確認。負であればクロシドライト、正であればそれ以外の石綿とする。
- ⑦判定終了。



図 2-2 現場での石綿分析の様子

また、本研究では、判定に必要な顕微鏡や機材一式を車載し、現場での適用を試みた。これらの作業は、判定に必要な顕微鏡や機材を車載した車両で、災害廃棄物の保管及び処理が行われている現場

に乗り入れ、オンサイトでの石綿迅速判定が可能である(図 2-2)。

現場への適用として、2012年6月につくば市の竜巻災害廃棄物仮置場の石綿含有が疑われる建材の判定、また同年7月に相馬市の津波被害を受けた廃 FRP 船の石綿含有が疑われる材料の判定を試みた。

本迅速判定法の手順書は参考資料資料として報告書巻末に添付した。

(2) 迅速判定方法の現場適用による評価

災害廃棄物集積場で災害がれき(石綿含有が疑われる試料を中心に)を採取し、迅速判定法及び公定法等による石綿同定を行った(図 2-3)。迅速判定法としては、①平成 24 年度に本課題で開発した車載の偏光顕微鏡法(PLM 法)、②東急建設(株)技術研究所が開発中の車載の近赤外測定装置、③市販の可搬型近赤外測定装置(サーモサイエンティフィック社製 micro Phazir AS)を用いて比較した(図 2-4)。迅速判定法の検証のため、採取試料を持ち帰り、公定法(JIS A1481:2008²⁾、分散染色法及び X 線回折法)による定性・定量分析、走査型電子顕微鏡法(SEM 法)による定性分析、さらに 2014 年の JIS A 1481 の改正に伴って同 JIS の第 1 部として採用された ISO 22262-1 法³⁾(PLM 法)による定性分析を行った。結果の評価は、迅速判定法での偽陽性(公定法で石綿非含有としたものを含有とすること)/偽陰性(公定法で石綿含有としたものを非含有とすること、見落とし)の頻度や正解率等の観点から行った。

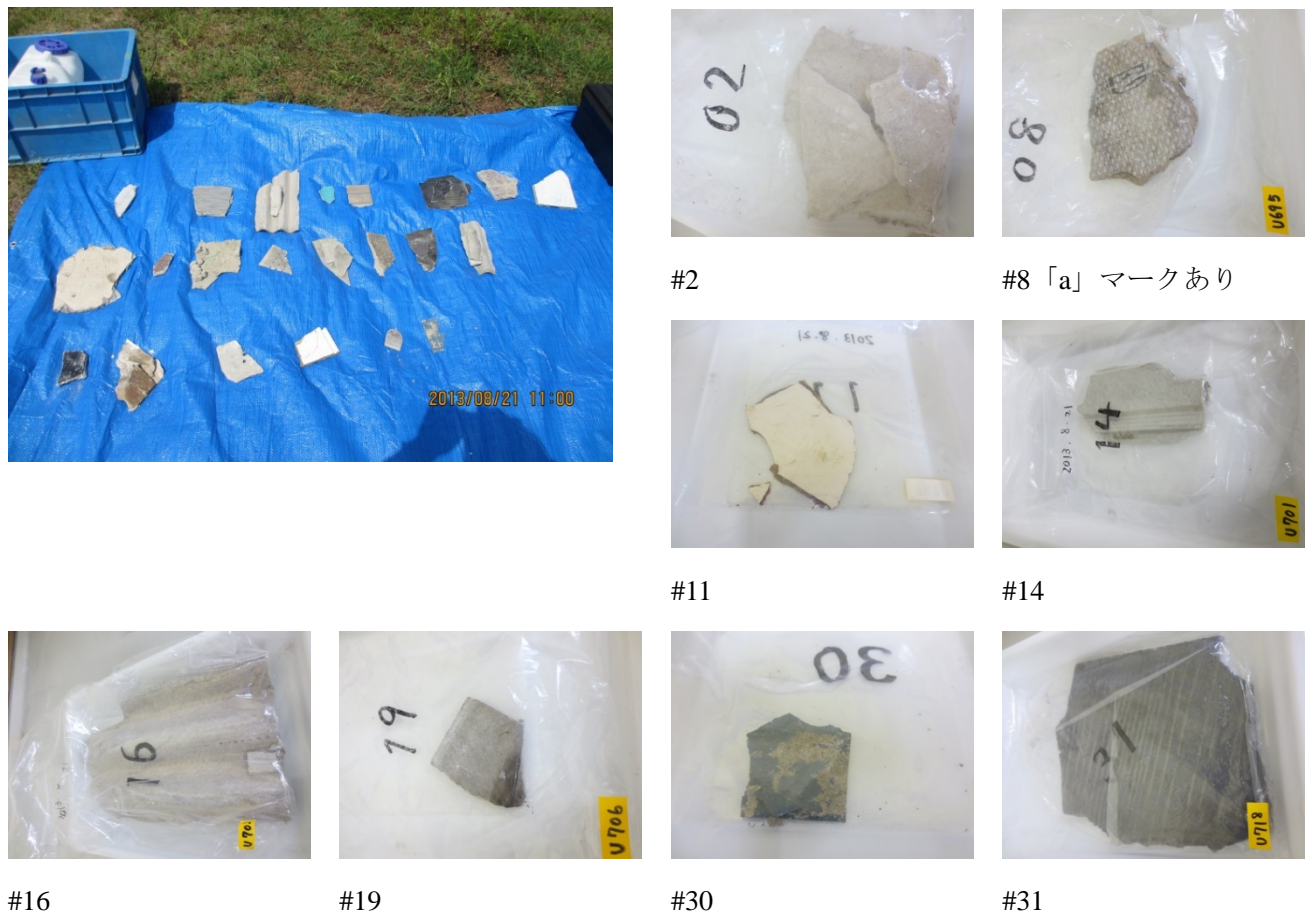


図 2-3 迅速判定方法の評価に用いた災害がれき試料(32 試料)



図 2-4 現場で評価した迅速判定方法（左：車載偏光顕微鏡法、中：車載近赤外測定装置、右：可搬型近赤外測定装置）

(3) 偏光顕微鏡による迅速判定法の確認(定量法)

迅速測定法として採用したPLM法は、2014年にJISA1481-1：2014「建材製品中のアスベスト含有率測定方法-第1部：市販バルク材からの試料採取及び定性的判定方法」と同じ内容を含んでいる。迅速判定法は現場分析として有効であるが、実験室内での再確認が必要であり、また石綿濃度を調べることもある。偏光顕微鏡による定量法はISO 22262-2 (2014)として国際的な標準方法として発効していることから、この方法の適用性について検討した。7機関の参加を得て、実建材4試料を共通試料(No.1(吹付材)、No.2(床タイル)、No.3(ケイカル板)、No.4(サイディング))としてISO22262-2によるポイントカウント法による分析を行った。試料は各機関で灰化、酸処理の前処理を行った後に、スライドガラスに載せた観察用試料を偏光顕微鏡観察によってポイントカウント法により定量した。

(4) 電子顕微鏡法による迅速判定法の確認(定量法)

(3)と同様、迅速判定法の確認方法として SEM による定量分析を試みた。実験内容は以下のとおり。

- 試料：(3)の No.1(吹付材)。
- 装置：SEM JEOL 製 JSM-7600F
- 観察試料の作製方法：精秤した試料 12.4 mg をビーカーに入れ、1 M 塩酸 20 mL を加え、軽く振り混ぜ 5 分間静置した(繊維束を細かくしないため)。その後、ポリカーボネート(PC)製ろ紙でろ過し、固形物を水洗した後、水に分散させ 100 mL の定容とした。スターラーで攪拌しつつ、50 mL をとり、PC ろ紙に均一になるようにろ過した。ろ紙を乾燥後、約 3 mm 角を切り取り、SEM 用試料台上に載せた。

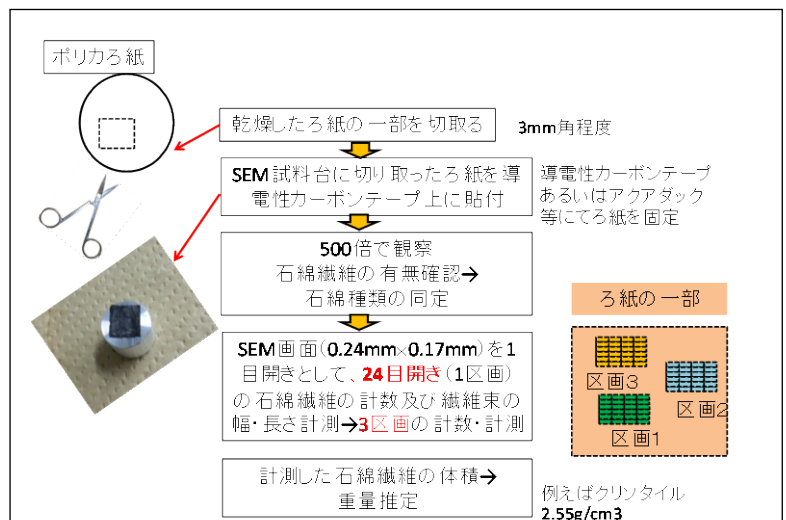


図 2-5 SEM 観察における石綿繊維の計数区画

カーボン蒸着後 SEM 観察を行った。

- 石綿繊維の同定・計数・計測及び石綿濃度の計算方法：観察面積全体を概観し、均一に繊維が観察されることを確認した後、繊維の同定を EDS(エネルギー分散型 X 線分析)により、化学組成から石綿種類の同定を行った。本実験に用いた SEM 装置は 1 画面から平行移動させることができるため、重複した計数は行わない。繊維は二次電子像より反射電子像の方が観察しやすい場合もあった。観察された石綿繊維はすべてクリソタイルであった。計数・計測等の測定は 500 倍で行ったが、繊維幅や繊維長の確認には 5,000 倍程度まで拡大した。500 倍の SEM 観察では、1 画面(1 目開き)の大きさは $0.172 \times 0.239 \text{ mm}$ で、面積は 0.0411 mm^2 である。図 2-5 に示すように、縦 6、横 4 画面の 24 画面を 1 区画とし、3 か所の計数・計測を行い、全体では 2.96 mm^2 の面積を観察した。計数した繊維の最小繊維幅は $0.2 \mu\text{m}$ とした。これは光学顕微鏡で観察される繊維幅にほぼ等しい。それぞれの石綿繊維は繊維幅及び繊維長を計測し、体積を求め、体積 \times 密度により重量換算する。72 目開きで観察されたすべての繊維の重量から石綿濃度を計算した。今回の試料では、すべてクリソタイルであり、密度を 2.55 g/cm^3 として以下のように計算した。
石綿濃度 = (72 目開きで観察された石綿繊維の重量 \times ろ紙全体の面積) / (72 目開きの面積) / (ろ紙に載せた試料重量) ; ここで、ろ紙全体の面積は 1195 mm^2 、ろ紙の載せた試料重量は 6.2 mg である。

2.2 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討

(1) 被災地における石綿含有建材の状況と石綿によるリスク

被災地の石綿含有建材の状況についての調査を宮城県石巻市、女川町、気仙沼市、福島県南相馬市で実施した。調査の方法は石綿含有建材のマッピング、採取された試料の分析、気中濃度測定を実施した。気中濃度測定は環境省アスベストモニタリングマニュアル第 4 版の位相差顕微鏡法により総繊維濃度、偏光顕微鏡法により石綿繊維濃度を計数した。

また、被災地の石綿に対する意識、石綿対策の状況について把握するために、被災地の住民へ石綿についての知識、認識等の面談によるアンケート調査を実施し、また宮城県の特別教育受講者を対象に労働者を対象に石綿についての知識と現場での対応について郵送によるアンケート調査を実施し、さらに岩手県、宮城県、福島県の津波被害を受けた 32 市町村の災害廃棄物対策の部署へ、自治体での石綿対策を調査するために郵送によるアンケート調査を実施した。これまで実施した石綿含有建材の状況調査および気中石綿濃度測定の結果と今年度の調査結果を踏まえて、被災地の石綿含有建材の状況について評価をまとめ、考察した。

平成 26 年度にはマッピング調査のフォローアップ調査を実施し、その結果から波板スレートの残存量について Google マップを利用して把握する方法を検討し実施した。また東日本大震災の石綿対策の評価から、成形板等の取り扱いに課題が多いことが判明したため、宮城県石巻市、東京都葛飾区、東京都江東区、愛知県名古屋市、兵庫県神戸市において、建設リサイクル法による届出情報をもとに建築解体现場を訪問し、成形板の取り扱い状態について調査した。

(2) 石綿含有建材目視判定法の検討

前項の調査により収集された石綿含有建材を使用し、石綿含有建材目視判定法の研修コースを開発して作業員、住民に提供した。更にボランティアの被験者に建材プロファイルと研修コースを実施し、その後ルーペを使用してブラインドサンプルを分析してもらい、結果を評価した。それをもとに、石綿含有建材目視判定法の研修コースを改良し、テキスト「石綿含有建材の見分け方」を作成した。

このテキストを使用して、宮城県、福島県、東京都、神奈川県 of 石綿作業特別教育、石綿作業主任者技能講習において配布し、研修コースを実施した。受講者をグループ分けし、ブラインドサンプルを分析してもらい結果を評価した。また福島県南相馬市の石綿含有建材の状況調査の際に目視判定法による石綿含有建材の判定を実施した。

平成 26 年度には収集した建材資料を教材として整理し、この教材とテキストを使用した研修コースをもとに建設労働組合と協力しワークショップを開催し、目視判定法を導入した建設現場の安全衛生研修コースを開発、実施した。

本テキストは参考資料として報告書巻末に添付した。

2.3 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発

(1) 仙台市の現存床面積の推定

2011 年時点での現存床面積 A は、着工量 CS に建物残存率 R を乗じることで求めた(式 1)。しかし、着工年・構造および用途別の着工量データが得られない場合、複数のデータ群を組み合わせる必要があるのでそれを推定する必要がある。

$$A_{2011(j,k,t)} = CS_{sendai(i,j,t)} \times R_{(j,k,2011-t)} \quad (1)$$

j : 構造
k : 用途
t : 建築年

仙台市から得られた建物データに関する詳細は、(a)で紹介する。 R は着工後経過年数に対する残存率で、(b)で説明する。

(a) 入手した仙台市の建物データ

仙台市統計書より「着工建築物の状況」と「建物の棟数及び床面積」を用いた(表 2-1)。両者ともに仙台市全域(政令市指定以降は行政区ごと)の集計結果であり、仙台市と合併した市町村については合併以降の統計量のみが含まれる。

表 2-1 入手した仙台市の建物床面積データ

	着工年	構造	用途
着工建築物の状況	1971～2011	木造, SRC, RC, S	
棟数及び床面積(1955-1996)		木造, 非木造	住、店、工、倉、雑
棟数及び床面積(1997-)			住、店、工、宿、他

※住：住宅、店：店舗、工：工場、倉：倉庫、宿：旅館・ホテル・病院、雑：雑種家屋、他：その他
(1997 以降の「工」は工場および倉庫)

(b) 建物残存率について

摩耗的な故障の確率密度分布を表す際には、式(2)のワイブル確率密度関数がよく用いられる。形状パラメータ m ・尺度パラメータ η には小見ら²⁾によるものを使用した。

$$f_{(t)} = \frac{m}{\eta} t^{m-1} \exp\left\{-\left(\frac{t-\sigma}{\eta}\right)^m\right\} \quad (2)$$

(c) 用途別現存床面積からの推定方法

ある年の現存床面積の増分と減失分の合計がその年の着工量と等しくなると考え、“建物の棟数及び床面積”に記載の非木造建築物の現存床面積 $A_{sendai}(k,t)$ を用いて用途・構造別の着工量を推定した(式(3))。 $c(j,k,t)$ は SRC・RC・S 造の床面積割合を表し、構造別着工量より求めた。1954 年の構造割合は、推定着工量の 1955～58 年度の値を平均して用いた。また、1955 年の現存床面積は、すべて 1954 年の着工量として扱った。木造家屋はすべて住宅用途と仮定し、推定構造別着工量の木造分を用いた(1954 ≤ t ≤ 2004)。

$$CS_{(j,k,1954)} = c_{(j,k,t)} \times A_{sendai(k,1955)}$$

$$CS_{(j,k,t)} = c_{(j,k,t)} \times (A_{sendai(k,t+1)} - A_{sendai(k,t)}) + \sum_{n=1954}^{t-1} CS_{(j,k,n)} \times R_{(j,k,2011-t)} \quad (1955 \leq t \leq 2004) \quad (3)$$

※ただし、右辺が負の値になる場合は、 $CS(j,k,t)=0$ とする

以上のように推定した現存床面積を、およそ 1 km×1 km の基準地域メッシュに分配した。分配に際しては、住居系の用途は人口に比例して、それ以外の用途の建物は従業者数に比例して分布していると仮定した。なお、津波による石綿含有建材の排出量推定においては、およそ 0.5 km×0.5 km のより詳細なメッシュ単位で、住居系用途の推定を行った。

(2) 石綿建材使用原単位の計算

(a) 原単位の計算方法

建材の出荷量を、使用があったと考えられる建物の着工量で割ることで、建材使用原単位 U を求めた(式(4)、式(5))。 ε は建材使用の有無を表す定数で、ある構造/用途について建材の使用がある場合は $\varepsilon=1$ 、なければ $\varepsilon=0$ である。 r は非除去率で、着工時から除去されていない建材の割合を表す。

$$U_{constr(t,i,j)} = r_{(i)} \times \varepsilon_{(i,j)} \times \frac{M_{(t,i)}}{\sum_j (\varepsilon_{constr(i,j)} \times CS_{japan(t,j)})} \quad (4)$$

$$U_{use(t,i,u)} = r_{(i)} \times \varepsilon_{(i,u)} \times \frac{M_{(t,i)}}{\sum_u (\varepsilon_{use(i,u)} \times CS_{japan(t,u)})} \quad (5)$$

U : 建材使用原単位
M : 建材出荷量
CS : 着工量
r : 非除去率
ε : 建材使用可能性
i : 建材種類
j : 建物構造
t : 年
u : 建物用途

CS_{japan} は日本全体の着工量である。総務省統計局ホームページ¹²⁾より、用途別着工量と構造別着工量の統計を入手した。用途別着工量は 1955 年以降の集計である。1954 年の用途別原単位は 1955 年のものと同一とした。構造別の着工量や出荷量の値は 1954 年から 1955 年ではほぼ変化しないため、推定結果に大きな影響はないと判断した。構造別着工量はすべて年計で、1950 年以降の情報が記載されている。建物の構造・用途の区分、および建材使用の有無の設定は、表 2-2 のとおりである。なお、吹き付け石綿は構造別原単位のみ設定した。

表 2-2 各建材の使用されている建物の構造および用途の仮定

建材名称	居	店	工	校	他	木造	SRC/RC	S
スレート波板			○					○
スレートボード	○	○	○	○	○	○	○	○
けい酸カルシウム板第1種	○	○	○	○	○	○	○	○
けい酸カルシウム板第2種		○	○	○	○			○
押出成形品	○		○		○		○	○
パルプセメント板	○	○		○			○	○
スラグ石膏	○	○	○	○	○	○	○	○
窯業サイディング	○	○	○		○	○		
住宅屋根用化粧スレート	○					○		
岩綿吸音天井板		○		○	○		○	
吹付け石綿							○	○

文献^{4,5)}を参考に設定、居=居住専用+居住産業併用、店=店舗+事務所、工=工場および作業場+倉庫、校=校舎+病院・診療所、他=その他

※○印に使用、無印は未使用

2011年(震災前)に仙台市で行われた吹き付けアスベスト使用に関するアンケート(表 2-3)より、未対策物件の割合 $169/381=0.444$ を吹き付け石綿の非除去率 r とした。吹き付け石綿以外の建材も改装等の際に除去されている可能性があるが、各建材の除去時期の情報、またはそれに準ずるものを得ることができなかつたため、 $r=1$ と設定した。

表 2-3 平成 23 年調査による仙台市における吹き付け石綿の使用実態

調査対象	報告あり(2446棟)					
	使用なし	不明	調査対象外	使用あり		
				対応済み	未対応	計
2885	1932	104	29	212	169	381

※調査対象は昭和 31 年から平成元年までに建築された床面積が 1,000m²以上の建築物

(b) 建材出荷量の推定

(社)日本石綿協会⁹⁾の調査により、表 2-4 に示す 10 種類の建材の出荷量が報告されている。国土交通省¹³⁾の「目で見えるアスベスト建材」に記載されている各建材の製造されていた期間も合わせて表 2-4 に示した。吹き付け石綿の出荷量は、建築物の解体等における石綿飛散防止検討会の資料¹⁴⁾から引用した。

表 2-4 日本石綿協会の調査対象建材

建材名称	製造時期	統計期間	統計期間外の推定
スレート波板	1918～2004	1971～2001	スレート合計に比例
スレートボード	1952～2004	1971～2001	スレート合計に比例
けい酸カルシウム板第1種	1960～2004	1971～2001	直線
けい酸カルシウム板第2種	1963～1997	1975～1984	直線
押出成形品	1970～2004	1971～2001	直線
パルプセメント板	1958～2004	1985～2001	スレート合計に比例
スラグ石膏	1978～2003	1981～2001	直線
サイディング	1960～2004	1971～1997	直線
住宅屋根用化粧スレート	1961～2004	1971～2001	スレート合計に比例
岩綿吸音天井板	1961～1987	1971～1980	スレート合計に比例

石綿協会の報告値のない期間は、推定により出荷量を補った。窯業建材統計年報¹⁵⁾には、「石綿スレート合計」の生産量(単位：枚)が記載されている。スレート波板、スレートボード、押出成形品、住宅屋根用化粧スレート、岩綿吸音天井板では、スレート合計の生産量に増減傾向が比較的類似している。そこで、それらの建材に関してはスレート合計の生産量に比例するとして1971年～2001年以外の出荷量を推定した(式(6))。それ以外の建材は、使用開始前年・終了翌年の出荷量を0として、使用開始年・終了年までの間は直線的に変化するとして出荷量を求めた。

なお、1957年以降の窯業統計年報・窯業建材統計年報にはスレート波板・石綿セメント板等の製品別統計も記載されている。しかし、1957年以前に建築された建物の現存床面積も2章において推定していることから、1956年以前の統計が存在するスレート合計の統計量のみを用いた。

$$M_{(i,t)} = M_{(i,1971)} \times \frac{M_{slate(t)}}{M_{slate(1971)}} \quad 1954 \leq t \leq 1970$$

$$M_{(i,t)} = M_{(i,2001)} \times \frac{M_{slate(t)}}{M_{slate(2001)}} \quad 2002 \leq t \leq 2004$$

(6)

(3) 地震動および津波による石綿廃棄物発生量の推定

(a) 推定方法

石綿含有建材の廃棄物発生量 W は、式(7)によって計算した。がれき化率は半壊した建物から発生する廃棄物の割合で、 $P=0.5$ とした。

$$W_{(i,j,m,t)} = S_{use(i,j,m,t)} \times (D_{full(m)} + P \cdot D_{half(m)})$$

$$W_{(i,k,m,t)} = S_{const(i,k,m,t)} \times (D_{full(m)} + P \cdot D_{half(m)})$$

(7)

W : 石綿含有廃棄物発生量

S_{use} : 建物用途別石綿含有建材ストック量

S_{const} : 建物構造別石綿含有建材ストック量

D_{full} : 全壊率

D_{half} : 半壊率

P : がれき化率

i : 建材種類

j : 建物用途

k : 建物構造

m : 震度 または 津波浸水深

t : 着工年

(b) 震度分布および地震動による全壊率と半壊率の設定

内閣府¹⁶⁾は、過去の大地震の際の被害記録をもとにして計測震度に対する建物の全壊率・全半壊率を求めている(図2-6に木造全壊率を示す)。本研究での各メッシュの計測震度には、QuiQuake¹⁷⁾の推定地震動分布を用いた。500 m 四方のメッシュ区切りで計測震度が推定されているため、推定震度のうち同一の基準地域メッシュ(3次メッシュ)に含まれるものを平均して、基準地域メッシュ内の震度とした。

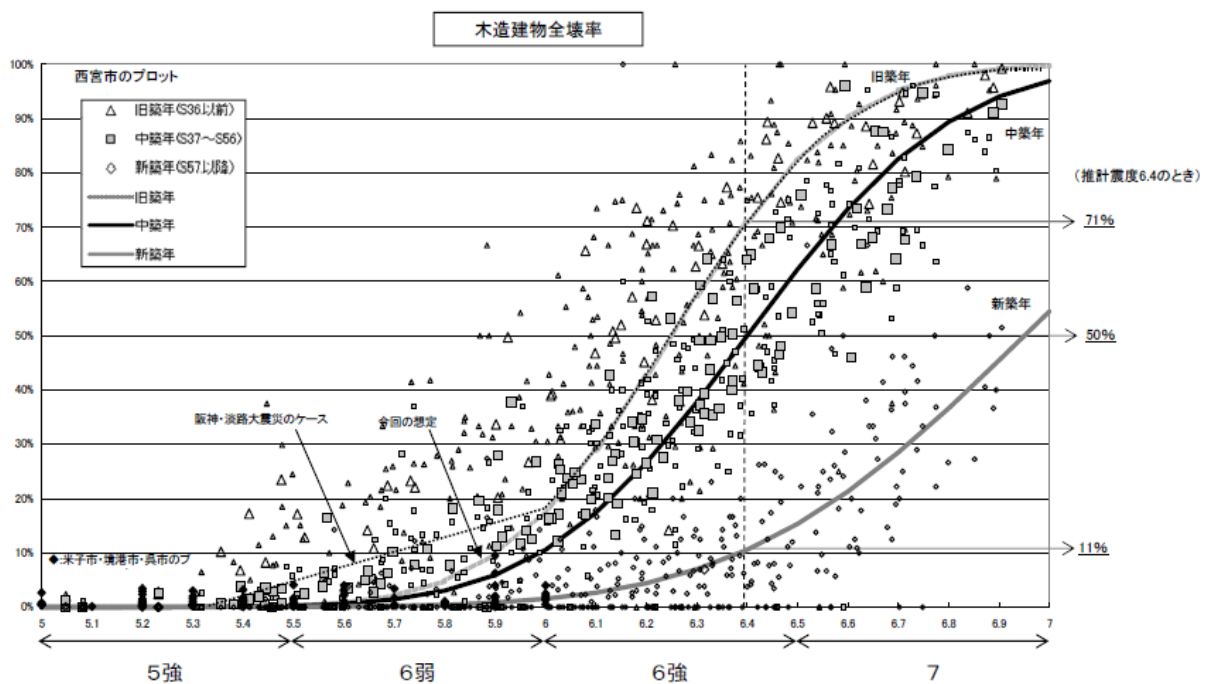


図2-6 木造全壊率曲線¹⁶⁾

(c) 津波浸水深分布および津波による全壊率と半壊率の設定

津波による建築物の被害は、津波浸水深の関数として表わされるとした。浸水深とは、地盤から津波痕跡までの高さを指す。津波による被害率は、内閣府「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)」¹⁸⁾に示された、木造・非木造別の、全壊率曲線および全半壊率曲線より、正規分布のパラメータ(平均・分散)を設定した。

東日本大震災における仙台市の津波浸水深の平面分布は、仙台市の津波浸水シミュレーション結果¹⁹⁾をもとに、0.5 km×0.5 km メッシュ単位で読み取った値を用いた(図 2-7)。

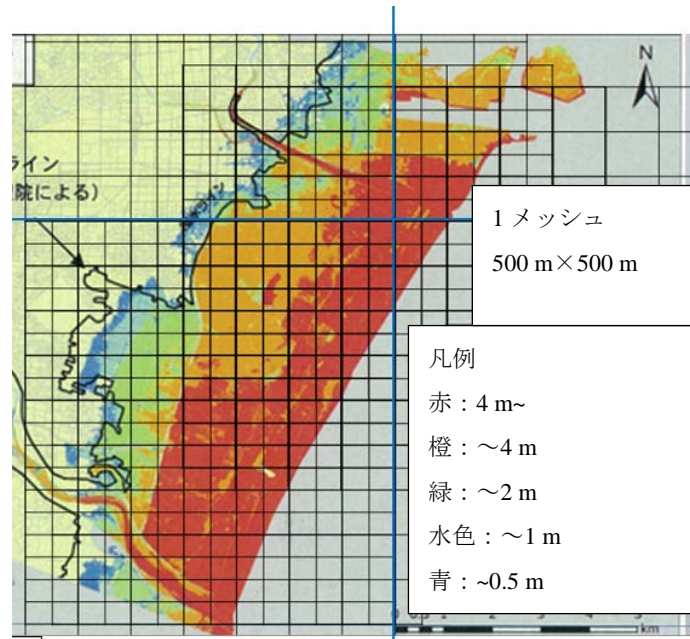


図 2-7 東日本震災時の仙台市における津波浸水域(文献¹⁹⁾の図をもとに作成)

2.4 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査

(1) 石綿含有建材が混入した災害廃棄物の処理における安全性評価案

(a) 被災地における石綿含有建材が混入した可能性のある災害廃棄物の類型

津波被災地における災害廃棄物への石綿含有建材の混入状況について、その存在形態を類型化した。この類型は筆者が被災地を巡回して確認した私見であり、さらなる石綿含有建材の存在形態がある可能性もある。

- ✓ パターン 1：混合廃棄物として山積みされた災害廃棄物中の石綿含有建材
- ✓ パターン 2：仮置場のコンクリートくずやボード類の山の中の石綿含有建材
- ✓ パターン 3：仮置場の廃棄物混じり津波堆積物の山の中の石綿含有建材
- ✓ パターン 4：残置されている廃棄物混じり津波堆積物中の石綿含有建材
- ✓ パターン 5：石綿含有建材の破損が明らかな建造物近隣の石綿含有建材
- ✓ パターン 6：分別解体される石綿含有建材

本研究における調査で対象としたのはパターン 1 と 2 であり、その他の石綿含有建材については検証していないが、パターン 3 と 4 に対しては同様の考え方が適用できると思われる。パターン 5 については、分別撤去が望ましいが、撤去に時間を要することから混合状態で集められたり、既に車等によって踏まれてしまっている場合もある。混合状態で集められたものや、パターン 6 のように分別解体されない石綿含有建材の取扱はパターン 1 と同様と考えられる。

パターン 1 については、初動時の動線確保のために集められた災害廃棄物もあることから、混合廃棄物中の石綿含有建材をゼロとすることは不可能である。パターン 2 については、最前線で分別を行っている作業員の意識向上や発注者側の要求等によって改善させることが可能と考えら

れるが、東日本大震災では周知が十分ではなかった。起こって欲しくはないが、次の巨大災害時までには意識向上にむけた石綿含有建材の取り扱いについて啓蒙的な活動が必要と思われる。パターン3については、土砂に建材が混入していることから、これらを分別撤去する事は容易ではないので、このパターンも不可避である。パターン4についても同様であり、現場に残置されている津波堆積物から手選別で石綿含有建材を撤去する事は容易ではない。パターン5では、石綿含有建材の飛散が目視確認できる建造物近隣の混合廃棄物等である。図2-8に想定される状況写真を示す。これらは、石綿含有建材の混入量が多いことから、環境保全を最重要として考えるのであれば、処理工程には入れず、含有建材として最終処分することが望ましいと考えられる。パターン6については、平常時と同様であるが、分別解体を徹底させることは時間とコストの面から制度上の支援が不可欠と思われる。また、被災家屋やビルの分別解体を行うためには、被災した状態での構造安定性を評価する必要がある等、技術的な課題も多いことから、通常時のような負圧封じ込め解体以外の代替方法も考えていく必要がある。

再掲するが、本研究では混合廃棄物中に混合してしまっ手選別では除去できないパターン1やパターン2の石綿含有建材を対象にしている。これら石綿含有建材を除去することは出来ないが、復興資材へと流れたとしても環境保全上の支障が生じないことを何かしらの方法で確認することが必要と考えられる。そのための方策案について検討した結果を報告する。



(a) 波形スレート板の破損が確認できる事例 (b) 押出成形板が多量に散在している事例

図2-8 石綿含有建材の混入が明らかな建造物近傍の状況

(b) 処理時飛散量を測定することによる安全性評価案

石綿含有建材が少量混入してしまった災害廃棄物の処理と復興資材への利用に対する考え方を示す。石綿含有建材が災害廃棄物に混入することによって生じる問題は、二次処理場における作業員への暴露と周辺大気環境への石綿飛散や漏洩、そして、一般環境中で使用される復興資材への混入である。作業員暴露に対しては、マスクの着用やエアシャワーといった方法で対応されており、二次処理場敷地境界では、大気中の飛散石綿量の常時モニタリングが行われている。一方で、復興資材への混入については、性善説に則り、石綿含有建材は混入していないことを前提として作業が進められている。復興資材に混入した場合、土木作業員への暴露や周辺環境への石綿の飛散が問題になるが、復興資材が使用される土木工事を想定すると、ダンプ積み込みと荷下ろし、締固め転圧が行われ、それ以上の衝撃が加わることはない。駐車場や仮設道路での表層利用では、自動車の通行によって破碎が断続的に生じる可能性があるが、ゴムタイヤによる踏み付け荷重の大きさ等を考慮すると常に破碎され続ける訳ではない。そのため、二次処理場で行われている破碎処理や選別過程に受けるエネルギーに比較すれば、資材利用時に受けるエネルギーは小さく、攪乱や飛散への影響も小さいことが想像される。したがって、二次処理場の破碎装置や

選別装置のごく近傍で石綿等の飛散量を測定し、その飛散量が大气汚染防止法の基準以下であれば、復興資材として一般環境中で利用されたとしても、そこからの石綿飛散量を基準以下に抑え、可能な限り人への暴露リスクを低減できると考えられる。また、破碎設備等の近傍で実施するモニタリングを常時監視とすることで、ロット毎に管理も可能となる。飛散量が基準以下であったロットは復興資材として利用し、基準を満足しなかったロットは外に搬出せずに再処理、もしくは埋立処分という方法を採用することで、最終処分量を過度に増加させず、人の健康リスクを脅かさない、合理的な判断が可能と考える。当然ながら、一欠片の石綿含有建材も混入させないことが大目標であるが、その理想は現実的に極めて厳しい条件であることから、現状で取り得る最善の方策として上記の方法を提案している。管理イメージを図 2-9 に示す。

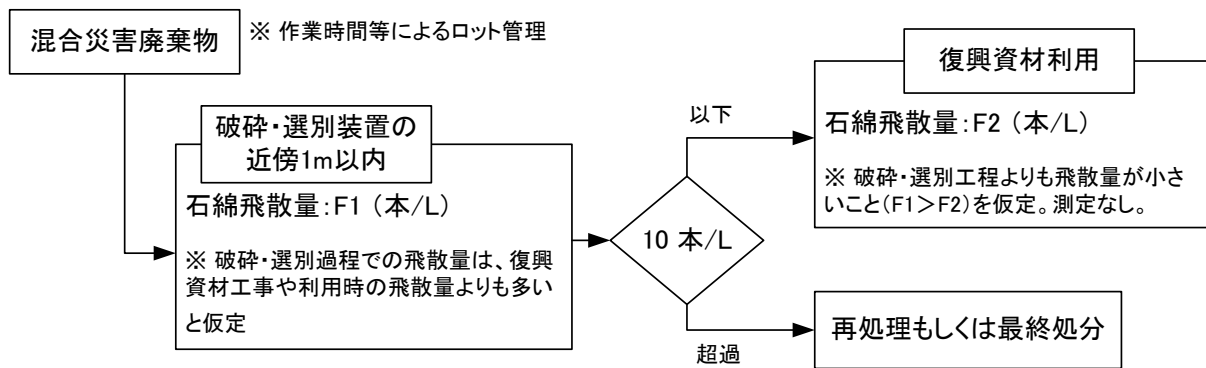


図 2-9 破碎・選別工程における石綿飛散調査の考え方(案)

(2) 二次処理工程における石綿飛散調査方法

(a) 破碎・選別工程における石綿飛散調査

被災地の二次処理場においてテント内で乾式比重差選別、破碎処理を行っている現場にて、繊維状物質の飛散量調査を実施した。装置近傍での測定結果は大气汚染防止法施行規則第 16 条の 2(特定粉じん発生施設に係る敷地境界基準)の 10 本/L と照らし合わせることになるが、測定時間や粉じん量を考慮し、空気中の繊維状粒子測定方法(JIS K 3850-1)に準拠して実施した。装置近傍では 1 L/分で 90 分間(総量 90 L)、テント敷地境界部では 5 L/分で 120 分(総量 600 L)にて実施した。フィルターには、ミリポア製メンブレンフィルター(0.8 μm 、直径 25 mm)を用い、位相差顕微鏡(PCM 法)は Nikon 製 ECLIPSE 80i を使用した。顕微鏡の視野面積は 0.0707 mm^2 である。



(a) 比重差選別装置近傍



(b) 破碎装置近傍

図 2-10 破碎・選別設備近傍での測定状況

調査対象の二次処理場は、トロンメルによる選別処理後、比重差選別として韓国製の回転熊手型の選別装置を導入しており、この乾式比重差選別装置近傍 1 m 以内の距離で 1 カ所、その後の工程である二軸破碎装置のごく近傍(破碎部直上 1 m 程度の位置)で 1 カ所を測定地点とした。図 2-10

にサンプリング状況を示す。なお、二軸破碎装置は手選別工程の後となっており、手選別によって目視確認可能な石綿含有建材は抜き取られている。敷地境界では、テントの出入り口 2 カ所を測定地点として設定した。測定は 1 日目午後、2 日目午前、2 日目午後の計 3 回実施した。天候は晴天であったが、測定 1 日目の前日(0 日目)は雨天であった。

繊維状物質の飛散量調査結果より 4 サンプルを選定し、石綿含有量の定量分析(A-SEM 法)を実施した。測定方法は、JIS K 3850-1 6.3 (2006)走査型電子顕微鏡法に準拠した。前処理はカーボンコーター株式会社製の真空デバイス VC-100S を用いたカーボンペースト含浸法によって行い、走査型電子顕微鏡には HITACHI 製 S-3400N を用いた。計数条件は、加速電圧 15 kV、倍率 1000 倍、計数視野数 300 視野、計数方法は長さ 5 μm 以上、幅 0.2 μm 以上 3 μm 未満、長さとの比 3:1 以上の繊維状粒子を計数対象とし、EDX 検出装置(HORIBA 製 EMAX x-act)によりアスベストを同定した。

(b) 振動ふるい選別工程における石綿飛散量調査

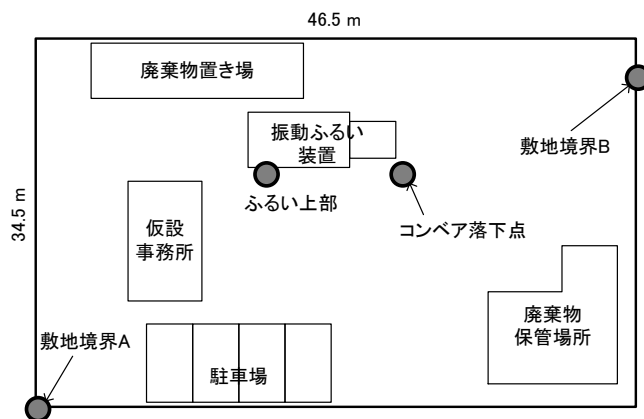


図 2-11 施設平面図と調査地点

被災地二次処理場にて災害廃棄物(混合廃棄物)の振動ふるい選別を屋外で実施している現場で繊維状物質の飛散量調査を実施した。装置近傍での測定結果は、前述の調査と同様に大気汚染防止法施行規則第 16 条の 2(特定粉じん発生施設に係る敷地境界基準)の 10 本/L と照らし合わせるようになるが、測定時間や粉じん量を考慮し、空気中の繊維状粒子測定方法(JIS K 3850-1)に準拠して実施した。敷地境界 2 点(共に地上高 1.5 m)と振動ふるい装置近傍として振動ふるいの

上部 1 m、コンベア落下点付近の地上高 1.5 m の計 4 点を 1 セットとしてモニタリングを実施した(図 2-11 参照)。敷地境界では 10 L/分、装置近傍では粉じん量が多いことを想定して 5 L/分とした。敷地境界での吸引フィルターには Advantec 社製メンブレンフィルター(直径 47 mm)を、装置近傍では Zefon 製メンブレンフィルター(直径 25 mm)を用いた。位相差顕微鏡(PCM 法)は Nikon 製 ECLIPSE 80i を、走査型電子顕微鏡(A-SEM 法)には HITACHI 製 S-3400N を用いた。計数条件は、上述の破碎・選別工程における石綿飛散調査と同様の条件とした。調査は 4 日間実施し、1 日 1 回のサンプリングとした。

(3) ふるい選別処理物に対する石綿含有建材の混入量調査

振動ふるい選別を実施している現場にて、振動ふるい装置に投入されるロット毎に手選別にて目視確認できる板状建材を全て抜き出し、石綿含有建材であるかどうかを調査して重量を測定することで、災害廃棄物総量に対する石綿含有建材の混入率を調査した。抜き出した板状建材は、目視判定によって石綿含有の有無を判定するだけでなく、全ての板状建材に対してアスベストアナライザー(Thermo Fisher Scientific 社製 microPHAZIR-AS)を用いて石綿含有の検査を行った。目視判定によって石綿含有が確認される建材の多くは、波形スレートや数 mm 厚の建材であり、ルー

ペを用いて繊維を確認する作業を行った。目視判定では石綿含有無しと判定されたが、アスベストアナライザーでは有りと診断された建材については、「難」という名前を付けて取り分け、建材中の石綿有無を JIS A 1481「建材中のアスベスト含有率測定方法」にしたがって定性分析し、その中で有りと判定された建材から 5 試料を選定して、同方法の定量分析を実施した。定性分析では位相差分散顕微鏡法(Nikon 製 ECLIPSE 80i)と X 線回折法(RIGAKU 製 RINT UltimaIII)の双方で分析を実施した。定量分析は試験方に準拠して X 線回折法によって実施した。

処理場の敷地土壌中に石綿が飛散して蓄積している可能性があるため、土壌中の石綿含有量についても調査を行った。採取試料を粒径毎のフラクションに分け、MADEP Sieve Method に準拠して分析した。繊維状物質の有無を確認するための実体顕微鏡には OLYMPUS 製 SZH10、石綿の有無を判定するための位相差偏光顕微鏡には Nikon 製 ECLIPSE LV100 を用いた。また、2 mm 未満の粒径については JIS A 1481 に準拠した X 線回折法による定性分析も実施した。

2.5 石綿含有成形板解体除去時の石綿飛散量の検討

石綿含有成形板を衝撃試験機によって破碎し、1 回の破碎実験で生じる粉じん数(粉じん計積算値)、および石綿繊維の本数を計数した。本研究においては、実験装置内に設けた粉じん計の積算値を粉じん飛散量の値として使用した。

(1) 実験装置

本実験で用いた実験装置を図 2-12、2-13 に示した。実験装置は、清浄空気供給部分、衝撃試験機部分、石綿吸引・捕集部分からなる。

清浄空気供給部分および石綿吸引・捕集部分は、藤川らの装置²⁰⁾を参考に作製した。清浄空気供給部分では、実験室内の空気をメンブレンフィルター(MILLIPORE 製 Millex®フィルター孔径 0.2 μm)を通過させて、衝撃試験機に供給した。石綿吸引・捕集部分は、サイクロン、デジタル粉じん計、フィルター、吸引ポンプからなる。吸引速度は 6 L/min とし、サイクロン(Dekati 製 SAC-65)の 50%カット粒子径は 16.5 μm とした。サイクロン後にチューブを二分岐させ、一方を直接フィルターに、もう一方をデジタル粉じん計(柴田科学株式会社製 LD-3K2)を通過後にフィルターに接続した。各フィルターの後ろには、吸引ポンプを設置した。2 本のフィルターで捕集される石綿本数はほぼ同じ値であり、サイクロン後に、ほぼ均等に 2 分岐されていた。

衝撃試験機部分は、錘落下用のガイドレール部分と建材格納用の容器部分とを分離し、ガイドレール部分に石綿が付着しないようにした。ガイドレール部分では質量 1.0 kg の錘がそれに沿って落下する。落下した錘は、容器部分の破碎ジグに衝突し、破碎ジグが下方方向に移動して、成形板を破碎する。破碎ジグは、容器部分の蓋を貫通して取り付けであり、鉛直方向にスライドする。破碎ジグが成形板と接触する部分は直線状であり、成形板を一直線に破断する。建材は、容器内のアルミ台の上に載せた。アルミ台には、H 30 mm×W 25 mm×L 150 mm の 2 つのアルミ製の直方体を 100 mm 離して平行に固定し、この 2 つの直方体の上に建材を載せた。容器は、容積 6 L の非常電樹脂製のデシケーターを加工して、密閉可能な構造とし、清浄空気供給部分および石綿吸引・捕集部分と、ボールバルブを通じて接続し、実験室内への石綿の漏洩を防止した。

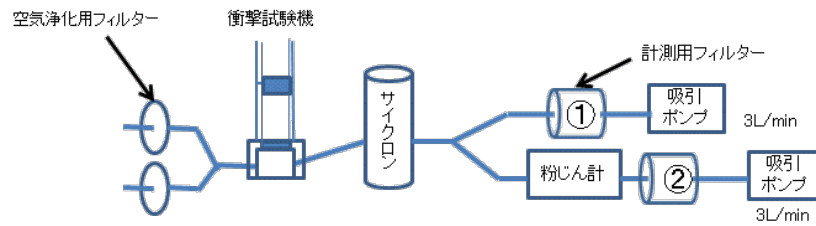


図 2-12 実験装置系統図



図 2-13 衝撃試験機全景(左)と衝撃試験機容器部分(右)

(2) 成形板

石綿含有成形板は、スラグ石膏板(厚さ 6 mm、密度約 1.6 g/cm³、クリソタイル 7.4%含有)とフレキシブルボード(厚さ 4 mm、密度約 1.9 g/cm³、クリソタイル 19.8%含有)の 2 種類を破砕対象の試験片として用いた。石綿含有建材は、2 種類とも京都大学の室内で使用されていたものであり、2013 年の除去工事の際に入手した。これを試験用の大きさに切断加工した。釘穴があるものや、ヒビが入ったものは実験には用いなかった。石綿非含有の 2 建材は、新品を購入した。

日本石綿協会の出荷統計によれば、1971～2001 年におけるレベル 3 石綿含有成形板のうち統計に含まれる 9 品目(「スレート波板」、「スレートボード」、「ケイ酸カルシウム板(第 1 種)」、「押し出し成型品」、「パルプセメント板」、「スラグ石膏板」、「サイディング」、「住宅屋根用化粧スレート」、「ロックウール吸音天井板」)の合計出荷量(面積)は約 40 億 1568 万 9 千 m²であった。そのうち、「スラグ石膏板」は約 2 億 1089 万 2 千 m²であり、成形板全体の約 5%を占める。「フレキシブルボード」は、この統計においては「軟質フレキシブルボード」や「平板」等を含む、「スレートボード」として計上されている。「スレートボード」の出荷量は 9 億 5787 万 3 千 m²であり、成形板全体の約 24%を占める。なお、主原料がスレートボードと同じセメントであり、破砕時の石綿や粉じんの飛散性が類似していると考えられる「スレート波板」や「住宅屋根用化粧スレート」を加えると、出荷量合計は約 29 億 7185 万 5 千 m²であり、成形板全体の約 74%を占める。

予備実験では、石綿非含有のケイ酸カルシウム板(厚さ 6 mm、密度約 0.9 g/cm³)およびフレキシブルボード(厚さ約 4 mm、密度約 2.0 g/cm³)の 2 種類を用いた。成形板は、実験条件にあわせて目的とする大きさに切断した。成形板を複雑な形状に切断する必要のある実験では、石綿含有成形

板を用いず、石綿非含有成形板のみを用いた。

表 2-5 本研究で用いた成形板の種類

	建材種類	石綿・含有率	表(室内側面) の状態	厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)
石綿非含有 成形板 (新品)	ケイ酸カルシウム板	なし	平滑加工	6	0.9 程度
	フレキシブルボード	なし	平滑加工	4	2.0 程度
石綿含有 成形板 (使用済み)	スラグ石膏板	クリソタイル 7.4%	平滑加工+ EP(※)塗装	6	1.6 程度
	フレキシブルボード	クリソタイル 19.8%	平滑加工+白 色塗料	4	1.9 程度

(3) 実験条件

本実験では、1)成形板の種類、2)破砕時のエネルギー、3)成形板の湿潤化の条件を変えて石綿含有成形板を破砕した。前述の通り、とりわけ重点を置いたのが 3)成形板の湿潤化である。また、成形板破砕時の粉じんの発生源や湿潤化による飛散抑制のメカニズムについて検討するため、石綿非含有の成形板を用いて、4) 養生テープによる被覆部位、5) 成形板の面積/破断長比率、を変えた破砕実験も行った。

(a) 成形板の種類(かさ比重・石綿含有率)

石綿含有スラグ石膏板と石綿含有フレキシブルボードを用いた場合について、成形板破砕時の石綿および粉じん飛散量を比較した。破砕する成形板の大きさは、いずれも幅 4 cm、長さ 20 cm とした。スラグ石膏板は、フレキシブルボードよりも、かさ比重が小さく、石綿含有率は、スラグ石膏板よりもフレキシブルボードの方が高かった(表 2-6)。

表 2-6 実験条件一覧(成形板の種類)

建材種類	石綿の種類 (含有率)	厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)	成形板の 幅(cm)	錘の落下 高さ(cm)
スラグ石膏板	クリソタイル (7.4%)	6	1.6 程度	4	30
フレキシブルボード	クリソタイル (19.8%)	4	1.9 程度	4	30

(b) 破砕時のエネルギー

質量 1 kg の錘の落下高さを 30 cm、45 cm、75 cm の 3 段階に変化させて、スラグ石膏板を破砕した。成形板の大きさは、8.0 cm×20.0 cm とした。破砕時のエネルギー E_{total} は錘の位置エネルギーに等しいとした。大きさの異なる成形板を用いた場合でも比較可能とするため、成形板 1 m² あたりにかかる破砕エネルギー E_{part} を用いて評価を行った(表 2-7)。

表 2-7 実験条件一覧(破碎時のエネルギー)

成形板	錘の落下高さ (cm)	成形板の面積 (m ²)	E _{total} (J)	E _{part} (J/m ²)
石綿含有スラグ石膏板	30	0.016	2.94	184
石膏板	45		4.41	276
	75		7.35	459

(c) 成形板の湿潤化

湿潤化の条件を、「湿潤化なし」、「表(室内側)のみ湿潤化」、「裏(天井裏側)のみ湿潤化」、「両面湿潤化」、「全体湿潤」の5条件とした。石綿含有スラグ石膏板は全5条件で、フレキシブルボードは建材の入手枚数の制約から、「湿潤化なし」と「裏のみ湿潤化」の2条件のみで実施した。

本研究では、室内で使用された成形板について、表、裏を、以下のように定義した。天井や壁に使用された際に室内側を向く面、すなわち、部屋の利用者が常に目にする面を成形板の「表」と定義する。その反対側、すなわち天井裏側になる面を成形板の「裏」と定義する。なお、室外・建物外壁に使用される石綿スレート波板等の場合、1枚で外部と建物内とを隔てており、この定義は適用できない。表のみ湿潤化、裏のみ湿潤化、では、トレーに蒸留水を入れ、それぞれ成形板の該当する面を10秒間その水面に触れさせた。両面湿潤では、表、裏の順に10秒間ずつ水面に触れさせた。全体湿潤では、最大吸水量に到達するまで成形板を水没させた。成形板が最大吸水量まで到達する時間は、予備実験で先に計測した。水面に触れさせる方式としたのは、実験の繰り返し再現性を高めるためである。実際の除去工事で行われている噴霧器での散水による湿潤化は、再現性を確保することが難しいと考え、採用しなかった。成形板の面積あたりの吸水量は、実際の現場での湿潤化量と同程度となるよう設定した(表 2-8)。

表 2-8 実験条件一覧(成形板の湿潤化)

種類	成形板の幅 (cm)	錘の落下高さ (cm)	E _{part} (J/m ²)	実施する湿潤化条件
石綿含有スラグ石膏板	8.0	75	459	湿潤化なし
				表のみ湿潤化
				裏のみ湿潤化
				両面湿潤
				全体湿潤
石綿含有フレキシブルボード	4.0	30	368	湿潤化なし
				裏のみ湿潤化

(d) 養生テープによる被覆(粉じん発生源の部位別寄与の推定)

破碎する石綿非含有ケイ酸カルシウム板の一部を養生テープで被覆し、被覆する部位を変化させながら成形板各部位(成形板表、裏、側面4面、破断面)からの粉じん飛散量を把握することを試みた。成形板全体から飛散する粉じん量は、以下のモデル式で表わせるとした。ここで、成形板破碎時に成形板各部から飛散する粉じん量は、当該部位が被覆されているか否かのみによって決まる(他の部位の被覆状況には影響されない)と仮定し、部位ごとの平均・分散を持った正規分

布に従うと仮定した。モデルパラメータ m_i および σ_i は、最尤法により推定した。

$$T = D_a \cdot x_a + D_b \cdot x_b + D_c \cdot x_c + D_d \cdot x_d \quad (1)$$

$$D_i \sim N(m_i, \sigma_i^2) \quad (2)$$

T：破砕時の総粉じん量

D_a ：成形板破砕時の破断面からの粉じん飛散量

D_b ：成形板破砕時の成形板表からの粉じん飛散量

D_c ：成形板破砕時の成形板裏からの飛散量

D_d ：成形板破砕時の成形板側面(合計4面)からの粉じん飛散量

x_i ：成形板各部の被覆の有無(被覆なし=1、被覆あり=0)

m_i ：成形板各部からの粉じん飛散量の期待値

σ_i^2 ：成形板各部からの粉じん飛散量の分散

$N(m_i, \sigma_i^2)$ ：平均 m_i 分散 σ_i^2 の正規分布

例えば、成形板の全て養生した状態で破砕すれば、破砕時に飛散する粉じん量は破断面から発生する粉じん量に等しいと考えた。

この実験では、成形板の必要な部位を養生テープによって被覆する作業が必要であり、石綿含有成形板を用いた場合の作業時の安全確保が困難と判断し、石綿非含有のケイ酸カルシウム板を用いて実施した(表 2-9)。

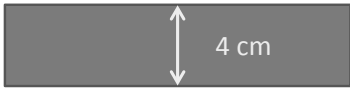
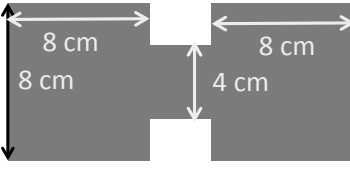
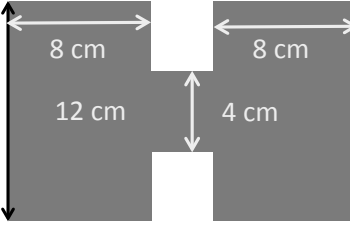
表 2-9 実験条件一覧(養生テープによる被覆)

記号	成形板	養生	その他の条件	把握できる粉じん量
W	石綿非含有ケイ酸カルシウム板 (幅 4.0 cm)	全体(全ての面)	錘の落下高さ 30 cm 湿潤化なし	D_a
X		両面		$D_a + D_d$
Y		表のみ		$D_a + D_c + D_d$
Z		裏のみ		$D_a + D_b + D_d$

(e) 成形板の面積・破断長の比率

本研究の平成 24 年度の実験においては、成形板の幅(破断長)と石綿および粉じん飛散量との間に正の相関があることを示した。しかし、用いた成形板が長さを 20 cm で一定とした長方形のものであったため、破断長の増加に伴って成形板の面積も増加しており、成形板の面積に伴って石綿および粉じん飛散量が増加したとの解釈も可能である。そこで、今回の実験では、破断長と成形板面積の影響を区別して把握するために、破砕部分の幅は一定として成形板の面積を変化させて建材を破砕した。成形板の形状を表 2-10 に示した。なお、石綿含有成形板を本実験用の形状に安全に加工するのは困難であったため、石綿非含有のケイ酸カルシウム板を用いた。

表 2-10 実験条件一覧(成形板の面積)

用いる成形板	用いる成形板の形状(※)	破砕部分の幅(cm)	成形板裏の面積(cm ²)	その他条件
石綿非含有 ケイ酸カルシウム板		4.0	80 面積標準	錘の落下高さ：30cm 湿潤化なし
		4.0	144 面積 1.8 倍	
		4.0	208 面積 2.6 倍	

(3) 実験手順

実験手順は以下の通りである。成形板を入れた容器を、ガイドレール部分の下に設置し、清浄空気供給部分、石綿吸引・捕集部分と接続。吸引ポンプを作動させ、デジタル粉じん計の積算値が変化しなくなるまで、容器内の空気を置換した。次に、石綿捕集用フィルターカートリッジを、新しいフィルターカートリッジに交換した後、再度、吸引ポンプを作動させた。吸引流量が安定したタイミングで、錘を落下させ、成形板を破砕した。粉じん計積算値が変化しなくなったことを確認して、吸引ポンプを停止し、フィルターカートリッジを回収した。サイクロン内のダストは HEPA フィルター付き掃除機で毎回、清掃した。

(4) 石綿の計数

石綿を捕集したフィルターは、低温灰化処理を施し、顕微鏡観察用試料とした。石綿の計数は、JIS K-3850「空気中の繊維状粒子測定方法」に準じる位相差顕微鏡(PCM)法を用いた。位相差顕微鏡は、ニコン製 ECLIPSE 80i を用いた。長さ 5 μ m 以上、幅(直径)3 μ m 未満で、長さとの比が 3:1 以上の繊維状物質を計数対象とした。計測する視野数は 50 または繊維数が 200 に達するまでとした。なお、粗大粒子(粒径 3 μ m 以上の粒子)の付着や繊維の複雑な絡まりによる計数結果への影響はほとんど確認されなかった。

2.6 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討

(1) 実験装置及び試料

石綿含有建材や災害廃棄物混入土壌からのダスト及び石綿繊維飛散量の測定に使用する実験装置として、EPA 540/R97/028 (以下 EPA 法という。) ²¹⁾に記載のダスト発生装置を製作した。装置の模式図を図 2-14 に示す。試料を充填したタンブラーを恒温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エ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エ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エ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、また石綿繊維数飛散量はスクラバー水から調製した観察用試料を走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察・計数することにより求める。

石綿含有建材試料として、コロニアル屋根材(クリソタイル 11.9%含有)、波形スレート板(同 12%含有)を使用した(図 2-15)。石綿含有建材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、模擬混入土壌試料として、市販の園芸土 2 種類(図 2-16)を風乾・混合したものに、波板スレート(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ものを使用した。

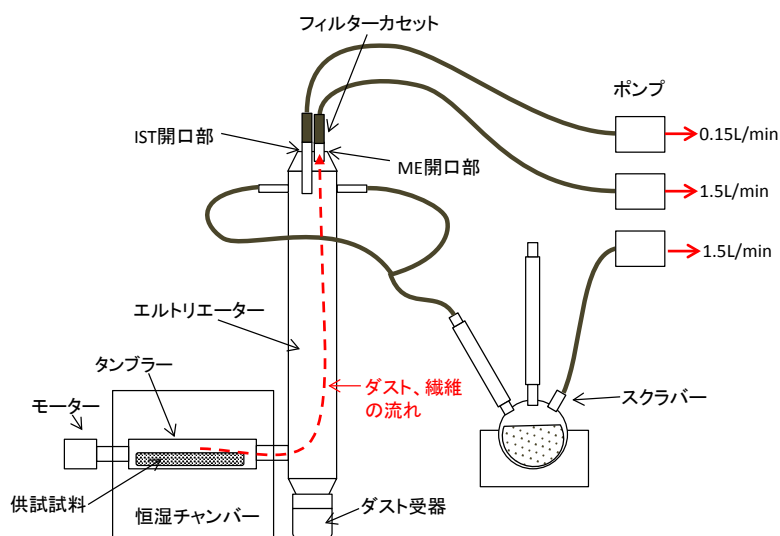


図 2-14 ダスト発生装置の模式図

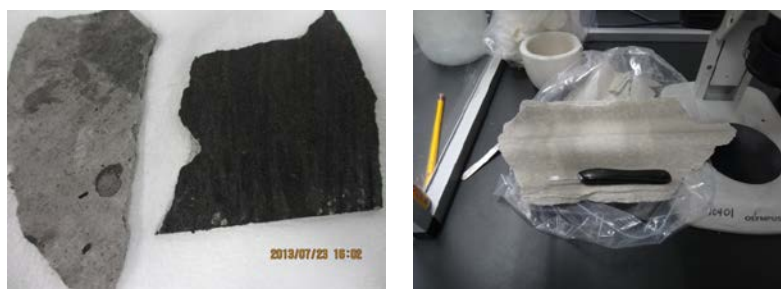


図 2-15 実験に使用した石綿含有建材(左：コロニアル屋根材、右：波形スレート板)



図 2-16 模擬混入土壌の調製に使用した園芸土

(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 開口部での空気の流速を 1.5L/分、IST 開口部での流速を 0.15 L/分、スクラバーでの流速を 1.5 L/分に設定した。試料 75~80 g をタンブラーに秤り採り、タンブラーを実験装置に取り付けた。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。

模擬混入土壌を用いた実験では、実験終了後に土壌と石綿含有建材を分離し、それぞれ秤量して石綿含有建材の混入率を求めた(図 2-17)。



図 2-17 模擬混入土壌実験後のタンブラーの状況(左)、分離した土壌(中)と石綿含有建材(右)

実験中、予め秤量したメンブランフィルター(25 mm ϕ 、孔径 0.8 μm)を用いて ME 開口部でダストを捕集した。フィルターは 8 分間隔で交換し、フィルター重量を秤量してダスト飛散量を求めた。スクラバー水は別容器に移し、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。スクラバー水の一部をメンブランフィルター(47 mm ϕ 、孔径 0.45 μm)で吸引ろ過した。フィルターを風乾後に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。これを電界放大型 SEM(日本電子製 JSM-7600F/JED-2300)により観察し、石綿繊維を計数した。観察条件は加速電圧 15 kV、倍率 1,000~5,000 倍。長さが 1 μm 以上、幅が 0.2~3 μm 、アスペクト比(長さとの比)が 3 以上である繊維を計数対象とした。石綿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。

ダスト及び石綿繊維飛散の制御可能性に関する検討においては、湿潤化した試料を用いて飛散実験を行った。石綿含有建材試料については、破碎して目開き 1 cm の篩を通した波形スレート板約 70 g をタンブラーに充填し、試料が湿潤状態になるまで霧吹き器で純水を噴霧した。試料量全体に対する水分の割合は 15% (湿潤化が十分なケース)、7.1% (湿潤化が十分なケース)とした。また、模擬混入土壌については、模擬混入土壌約 75 g をタンブラーに充填し、試料が湿潤状態になるまで霧吹き器で純水を噴霧した。試料量全体に対する水分の割合は 13%(湿潤化が十分なケース)とした。湿潤化前後の模擬混入土壌土壌を図 2-18 に示す。いずれのケースも湿潤化後直ちにタンブラーを実験装置に取り付け、以後は上記の手順に従い実験を行った。

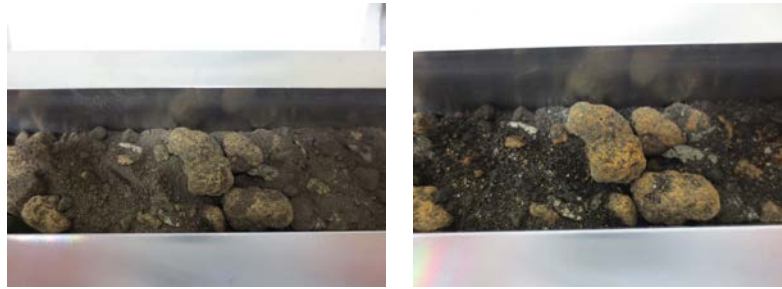


図 2-18 湿潤化前(左)と湿潤化後(右)の模擬混入土壌

2.7 災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係る自治体アンケート調査

(1) アンケート送付先の選定

アンケート調査は、東日本大震災の被災県である岩手、宮城、福島、茨城、千葉の 5 県とこれら県内の自治体を対象として実施した。対象自治体については、下記の手順に従って選定した。

- ①岩手県、宮城県、福島県(沿岸部)については、環境省資料²¹⁾から原則として災害廃棄物の量が多い自治体を選定した。具体的には、災害廃棄物 400 千 t 以上の自治体とした。
- ②福島県(内陸部)、茨城県、千葉県については、国土交通省資料²³⁾から被災建築物応急危険度判定で危険(赤)に判定された建築物が多い自治体(各県で上位 2 自治体)を選定した。

以下に調査対象とした自治体を示す。

- ①岩手県：岩手県庁、宮古市、山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市
- ②宮城県*：宮城県庁、女川町、石巻市、多賀城市、仙台市
- ③福島県：福島県庁、南相馬市、いわき市、郡山市
- ④茨城県：茨城県庁、常陸太田市、高萩市
- ⑤千葉県：千葉県庁、旭市、香取市

* 宮城県では、県がその災害廃棄物の大部分を処理した自治体もあったことから、同県への事前ヒアリングで県から推薦のあった自治体にアンケートを依頼した。

(2) アンケート内容

アンケート内容は以下の通りとした。なお、アンケート実施前に設問内容や実施方法について宮城県と岩手県に事前にヒアリングを行い、得られた意見はアンケート設問内容に反映させた。

- ①災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法
 - ・ 廃石綿、石綿含有物廃棄物の処理量も確認する。
 - ・ 津波堆積物を除く。
- ②廃石綿及び石綿含有物廃棄物の確認方法
 - ・ 石綿含有分析の公定法以外の迅速法の実施状況を確認する。
 - ・ 分別・回収のため、または集積場からの飛散防止対策のために建材中の石綿含有を確認する場合、その採取場所ごとに確認する。
 - ・ 大気中の分析方法についても確認する。
- ③石綿または石綿含有物廃棄物のリスク管理
 - ・ 実施したリスク管理の具体的な方法について確認する。
 - ・ 処理における留意事項を確認する。

④災害廃棄物に関する委託業者への指示内容

- ・実際に指示した内容を確認する。

⑤災害廃棄物処理計画の活用

- ・災害廃棄物処理計画の策定状況と有用性を確認する。

⑥その他意見

- ・自由記載

(3) アンケートの方法

アンケート調査票を各自治体の担当者に郵送または電子メールで発送し、回答を得た。発送日は2014年11月27日であり、回答期間は2014年12月22日から2015年1月15日までとした。アンケート調査票は次ページ以降に掲載する。

アンケート調査票

災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係るアンケート調査票

本アンケートにご回答いただく方について記載して下さい。

自治体名／(処理区名)	
部署名	
ご記入者氏名(連絡者)	
電話	
E-mail	

* 灰色(電子データの場合は水色)のセルにご回答ください。

NO.	アンケート内容	
1	災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法 災害廃棄物について、発生量、処分量、処分方法を記載ください。津波堆積物は除きます。 処分方法は下記の注2)を参照の上、記載ください。(複数回答可)	
	災害廃棄物	項目 回答
	災害廃棄物全量	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	廃石綿等	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	石綿含有廃棄物	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	災害廃棄物の種類ごとに把握されている場合は下記に記載ください。分類が異なる場合は下記の種類の項目を修正して記載してください。	
	可燃物 (木くず以外)	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	木くず*	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	不燃混合物	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	コンクリートくず*	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
	金属くず*	発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾
		発生量:推定値(t) ¹⁾
		処分量(t) ¹⁾
		処分方法 ²⁾

注 1) 別途作成された資料がある場合は資料の同封(PDFの添付)またはURLのご教示をお願いします
 2) 処分方法の欄には再生利用、焼却+発電・熱利用、単純焼却、埋立処分などを記載してください。

以降の設問では、実際に実施された具体的な内容を記載していただきたく、設問中の選択肢にはあくまでも考えられる事例を列挙したものです。多くの事例を「その他」の欄に記載していただきますようお願いいたします。

2	廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法	
2.1	下記の各現場で、廃棄物中の石綿含有の有無をどのような方法で確認しましたか。該当する方法に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	(1) 災害廃棄物の発生現場における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法 ³⁾	
	③ 公定法 (IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由 ⁴⁾ がある場合はその方法と共に記載してください。	
	注 3) ここでの廃棄物中の迅速測定法とはルーベによる観察や近赤外線反射分光法(ハンディ型)を想定していますが、その他の測定法の場合は④のその他に記載してください。また、大気中の迅速測定法とは粉じん計(パーティクルカウンター)、粉じん相対濃度計(デジタル粉じん計)、繊維状粒子自動測定機(リアルタイムモニター)を想定しています。以下同じです。 4) 特別な理由とは費用面、人材面、機材面以外の理由がある場合との意味です。以下同じ。	
	(2) 一次仮置場における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法	
	③ 公定法 (IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
	(3) 二次仮置場 ⁵⁾ 及び搬出時における廃棄物中の含有の確認方法について	
	① 目視のみ	
	② 迅速測定法	
	③ 公定法 (IIS法)	
	④ その他(具体的な方法を記載してください)	
	⑤ 未実施	
	* 必要と考える確認方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
	注 5) 二次仮置場とは破砕選別や仮設の焼却施設を有し、二次処理を行う施設です。	

2.2	目視により石綿含有が疑われる建材があった場合、その廃棄物についてどのように扱われましたか該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 疑わしい場合は、そのまま廃石綿等または石綿含有廃棄物とみなして対応した。	
	② 簡易測定法により石綿含有を確認し、他の災害廃棄物と区分した。	
	③ 簡易測定法で石綿含有が確認できなかった場合は、公定法などで追加分析を確認した。	
	④ 一次仮置場において区分しており、公定法による分析結果を待って処理方法を判断した。	
	⑤ 二次仮置場において個別に公定法などで分析し、その結果を待って処理方法を判断した。	
	⑥ その他(具体的な内容を記載してください)	
	* 必要と考える対応方法で、実施できなかった特別な理由がある場合はその方法と共に記載してください。	
2.3	災害廃棄物の処理にあたり、どのような場面で迅速測定法を実施しましたか。実際に実施した該当する場面、現場に「1」を、また重要と考えられるが実施できなかった場面に「2」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	廃棄物中の石綿含有量測定	
	① 建築物の解体前の事前調査において	
	② 建築物の解体現場において	
	③ 一次仮置場に搬入される災害廃棄物に石綿含有物が混入しているかの判別において	
	④ 二次仮置場に搬入される災害廃棄物に石綿含有物が混入しているかの判別において	
	⑤ 二次処理後の処理物や再生資材石綿含有測定において	
	⑥ 実施したその他の現場(具体的な場面、現場を記載してください)	
	⑦ 未実施	
	* 実施できなかった重要なその他の現場を具体的に記載してください	
	* 全く実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください	
(2)	大気中の石綿濃度測定(一般環境と作業環境を含む)	
	① 倒壊した建築物や船舶の周辺環境の安全確認において	
	② 建築物の解体工事における飛散防止の安全確認において(公定法の他に測定した場合)	
	③ 建築物の解体工事における作業員のばく露防止の確認において(公定法の他に測定した場合)	
	④ 一次仮置場の周辺環境の安全確認において	
	⑤ 二次処理場の周辺環境の安全確認において	
	⑥ 搬出時や運搬中の周辺環境の安全確認において	
	⑦ 実施したその他の現場(具体的な場面、現場を記載してください)	
	⑧ 未実施	
	* 実施できなかった重要なその他の現場を具体的に記載してください	
	* 全く実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください	

3	石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理	
3.1	災害時に石綿が露出し、飛散が懸念される状態であった場合、健康障害を引起す可能性があることをどの時点から認識されましたか。該当する項目に「1」を記入してください。(複数回答可)	
(1)	石綿のリスクを認識した時期について	
	① 東日本大震災以前からよく認識していた。(この項目を選択の場合、3.2に進んでください)	
	② 東日本大震災以前から概略は認識していたが、飛散対策の必要性までは認識していなかった	
	③ 東日本大震災後の国や関係機関からの通達により認識した。	
	④ その他(具体的な内容を記載してください)	
(2)	石綿のリスクを確認後、強化させた事業者への指示内容や対策について	
	① 大気中の石綿濃度または総繊維数を測定する頻度、地点を増加させた。	
	② 建築物の解体にあたり事前調査を徹底させた。	
	③ 解体現場や仮置場等においてばく露、飛散防止対策を徹底させた。	
	④ 石綿用マスクの使用を徹底させた。	
	⑤ その他(具体的な内容を記載してください)	
	⑥ 未実施	
3.2	災害廃棄物の発生現場において大気中の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方法について、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。	
(1)	測定回数について	
	① 必要に応じて	
	② 週に一度	
	③ 毎日	
	④ その他(具体的な回数を記載してください)	
	⑤ 未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.3に進んでください)	
	* 実施しなかった特別な理由がある場合は、その理由を記載してください。(3.3に進んでください)	
(2)	測定地点について	
	① 風下のみ(この項目を選択の場合、*に回答してください)	
	② 必要に応じた箇所(この項目を選択の場合、*に回答してください)	
	③ 周囲4点以上	
	* 周囲4点以上の測定を実施できなかった特別な理由がある場合はその理由を記載してください。	
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)	
	① 迅速測定法	
	② 公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)	
	③ その他(具体的な方法を記載してください)	

3.3	一次仮置場や二次仮置場において 一般環境 の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方について、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。
(1)	測定回数について
①	必要に応じて
②	週に一度
③	毎日
④	その他(具体的な回数を記載してください)
⑤	未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.4に進んでください)
*	実施しなかった特別な理由がある場合は、その理由を記載してください。(3.4に進んでください)
(2)	測定地点について
①	風下のみ
②	必要に応じた箇所
③	周囲4点以上
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)
①	迅速測定法
②	公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)
③	その他(具体的な方法を記載してください)
3.4	一次仮置場や二次仮置場において 作業環境 の石綿濃度を測定されましたか。測定頻度と測定方について、該当する項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。
(1)	測定回数について
①	必要に応じて
②	週に一度
③	毎日
④	その他(具体的な回数を記載してください)
⑤	未実施(この項目を選択の場合は、下記の*に回答の上、3.5に進んでください)
*	実施しなかった特別な理由がある場合は、その理由を記載してください。(3.5に進んでください)
(2)	測定地点について
①	風下のみ
②	必要に応じた箇所
③	周囲4点以上
(3)	大気中の濃度調査の方法について(複数回答可)
①	迅速測定法
②	公定法(環境省マニュアルまたはJIS法)
③	その他(具体的な方法を記載してください)

3.5	石綿の飛散防止、ばく露防止対策で、各処理段階でどのような対策を 実施 しましたか。該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)
(1)	平時(震災前または震災後)
①	平時より、石綿含有建築物のリストを作成した。
②	災害時は自治体内で、石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整した。
③	耐震補強を推進し、石綿含有建築物の被災を最小限とするようにした。
④	被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立した。 石綿含有廃棄物の発生原単位を算定されている場合は、資料をご提供ください。
⑤	地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込んだ。
⑥	被災時には集積場(仮置場)の場所と面積を確保できるようにしている。
⑦	その他に実施した項目(具体的な事項を記載してください)
*	上記の中で、実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。
(2)	発現場場
①	石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った。
②	罹災証明時に石綿含有建材の調査を行った。
③	吹付け材をビニールシートで覆い応急措置をした。
④	石綿用マスクの使用を徹底させた。
⑤	石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した。
⑥	大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した。
⑦	石綿含有物が存在する箇所をロープ等により立入禁止とし、石綿ばく露を防止した。
⑧	その他(具体的な方法を記載してください)
⑨	対策をしていない。(石綿の飛散を想定していなかった)
*	上記の中で、実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。
(3)	一次仮置場及び二次仮置場
①	石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った。
②	石綿用マスクの使用を徹底させた。
③	石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した。
④	大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した。
⑤	石綿含有物の専用の置き場を確保し、区分して適切に保管した。
⑥	石綿含有物の混入は、他の災害廃棄物の処理に支障をきたすことになるため分別を徹底した
⑦	コンクリートガラ等の再生利用で、石綿含有物が混入しないことを特に注意して検査した。
⑧	その他(具体的な方法を記載してください)
⑨	対策をしていない。(石綿の飛散を想定していなかった)
*	上記の中で、実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。

3.6	石綿の飛散及びびく露に関するリスク管理上の留意事項として、 重要と考えられること はどのようなことですか。平時、災害時の各現場において重要と考えられる項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	平時	
	① 平時より、石綿含有建築物のリストを作成する。	
	② 災害時は自治体内で、石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整しておく。	
	③ 耐震補強を推進し、石綿含有建築物の被災を最小限とし、災害廃棄物の発生量を削減する。	
	④ 被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立する。	
	⑤ 地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込む。	
	⑥ 集積場(仮置き場)の場所と面積の確保を検討する。	
	⑦ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(2)	災害廃棄物の発生現場	
	① 倒壊、破損した建築物の事前調査を徹底する。	
	② 現地での廃棄物中の石綿含有量の迅速測定法を確立する。	
	③ 解体作業などで防塵マスクや保護衣の使用を周知する。	
	④ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(3)	一次仮置場	
	① ガレキに混在する石綿含有成形板等は優先的に回収し、保管する。	
	② 廃石綿等が入ったプラスチック袋が破損した場合は、湿潤化し新たに二重の梱包をする。	
	③ 他の廃棄物との接触により廃石綿等の梱包の破損の危険があるため、原則として受入れない。	
	④ その他に重要と考える項目(具体的な事項を記載してください)	
(4)	二次仮置場	
	① 前処理としてガレキに混在する石綿、特に石綿含有成形板を極力、除去する。	
	② 他の廃棄物と混載する場合は、混ざらないように中仕切り等をする。	
	③ 大気中の石綿濃度迅速分析方法を確立する。	
	④ その他に実施した項目(具体的な事項を記載してください)	

4	災害廃棄物の処理に関する指示	
4.1	石綿の飛散防止及びびく露防止対策として、事業者に指示したことがありますか。該当項目に「1」を記入してください。	
	① 事業者に指示したことがある。(この項目を選択の場合、4.2に進んでください)	
	② 事業者に指示したことがない。(この項目を選択の場合、*に回答の上、5に進んでください)	
	* 事業者に指示したことがなかった理由を記載してください。(5に進んでください)	
4.2	石綿の飛散防止及び曝露防止対策として、各処理段階で実施責任者にどのような指示をしましたか。該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
(1)	一次仮置き場	
	① 石綿含有物を他の災害廃棄物と分別して扱うよう指示をした。(石綿含有物の識別方法も含む)	
	② 集積場の災害廃棄物中にスレート波板などの破片が混入しないよう、分別の徹底を指示した。	
	③ 石綿含有成形板が破断しないよう、原形のまま積み込み、荷降ろしを行うよう指示した。	
	④ 前処理としてガレキに混在する石綿含有成形板を極力、除去するよう指示した。	
	⑤ 飛散防止だけでなく、集積場の土壌に混入しないようにシートを敷くなどの対応を指示した。	
	⑥ その他(具体的な方法を記載してください)	
	* 上記の中で、実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。	
(4)	二次仮置場	
	① 石綿含有廃棄物が破断しないよう、原形のまま積み込み、荷降ろしを行うよう指示した。	
	② 前処理としてガレキに混在する石綿含有成形板を極力、除去するよう指示した。	
	③ 破砕選別過程での飛散防止対策を指示した。	
	④ 石綿含有物以外の廃棄物と区分して扱い、廃石綿等を収納した袋は慎重に扱うよう指示した。	
	⑤ 廃石綿等の搬送車には荷台に覆いを掛けるよう指示した。	
	⑥ その他(具体的な内容を記載してください)	
	* 実施できなかった特別な理由がある場合は、その該当する番号と理由を記載してください。	
5	災害廃棄物処理計画の策定における課題	
	災害廃棄物処理計画の策定または改訂にあたり、実効性のある石綿対策を盛り込むためにはどのような課題があるとお考えでしょうか。該当する項目に「1」を記入して下さい。(複数回答可)	
	① 現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態を把握する。	
	② 石綿含有災害廃棄物の発生原単位を把握し、発生量を推計する方法を確立する。	
	③ 仮置場選定の手順、手法を事前に取り決めておき、具体的な事例を収集しておく。	
	④ 大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握する。	
	⑤ 具体的な石綿飛散防止対策、びく露対策を把握する。	
	⑥ 上記以外に、必要と考える項目がありましたら具体的に記載してください。	

6	その他のご意見	
	(1) 東日本大震災の前に発行された「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」(H19.8)は有用でしたか。特に有用だった内容について該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 平時における準備が重要であることを認識し、震災後にこのマニュアルを活用して準備をした。	
	② 災害発生時の応急措置はこのマニュアルを参考に対処した。	
	③ 建築物解体における事前調査、作業計画、飛散防止対策に活用した。	
	④ 塵石綿等や石綿含有廃棄物の収集・運搬にこのマニュアルを活用した。	
	⑤ 周辺住民への周知について、マニュアルを活用した。	
	⑥ その他(有用な具体的な内容を記載してください)	
	⑦ 活用しなかった。	
	* その他、追加した方がよい項目やさらに充実させるべき項目がありましたら具体的に記載してください。	
	(2) 「災害廃棄物対策指針」(H26.3)は石綿含有物の処理に有用でしょうか。特に有用であると考えられる内容について該当項目に「1」を記入し、*印の設問に該当する場合は回答をお願いします。(複数回答可)	
	① 災害予防の考えに基づく対策は参考になる。	
	② 災害応急対応は実際の対策に活用できる。	
	③ 災害復旧・復興期の災害廃棄物処理対策は処理方針として活用できる。	
	④ 技術編の「処理工程毎の技術」には具体的な対策が示されており活用できる。	
	⑤ 技術編の「廃棄物の種類毎の処理技術」には具体的な対策が示されており活用できる。	
	⑥ その他(有用な具体的な内容を記載してください)	
	⑦ 石綿含有物の処理計画をまだ検討していない。	
	* その他、追加した方がよい項目やさらに充実させるべき項目がありましたら具体的に記載してください。	
	(3) 石綿含有災害廃棄物の飛散対策やばく露対策に関しまして、望ましい対応策や実施する上での課題などご意見、要望がありましたら自由に記載してください。	
	① ご意見を具体的に記載してください	

3. 結果と考察

3.1 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討

(1) つくば市内竜巻災害廃棄物仮置場の調査

2012年6月につくば市内の竜巻災害廃棄物仮置き場において調査を実施した(図3-1)。

調査日時：2012年6月18日(月)

調査場所：①白水湖リサイクル資材置き場

②旧つくば庁舎職員駐車場仮置き場

調査内容：竜巻災害廃棄物に含まれる建材中の石綿含有量分析(迅速判定法、JIS法)



図3-1 竜巻災害廃棄物中の石綿含有建材の迅速判定の様子

約2時間で12試料の判定を行い、7試料が石綿含有建材と判定された。試料を持ち帰り、JIS法で分析した結果、1%程度まで公定法と同程度の精度で判定できることが確認できた。分析結果を表3-1に示す。

表3-1 建材の石綿分析結果

地点	検体名	迅速判定法分析結果 (定性分析)	JIS法分析結果(%)	
			クリソタイル	クロシドライト
白水湖 リサイクル資材置き場	スレート	クリソタイル	8.4	—
	可燃成形板①	なし	—	—
	可燃成形板②	クリソタイル	4.1	—
	フレコン成形板	なし	—	—
	波形スレート	クリソタイル・クロシドライト	7.3	検出*
	石膏ボード	なし	—	—
旧つくば庁舎 職員駐車場	成形板	なし	—	—
	外壁ボード	クリソタイル	5.4	—
	屋根材	なし	—	—
	石膏ボード	クリソタイル	1.0	—
	波形スレート①	クリソタイル	8.6	—
	波形スレート②	クリソタイル	8.5	1.0

*：石綿繊維は確認されたがX線回折のピーク無し。含有量は<0.2%。

(2) 相馬市内廃FRP船仮置き場の調査

2012年7月に相馬市内の廃FRP船仮置き場において調査を実施した。

調査日時：2012年7月23日(月)～7月24日(火)

調査場所：①廃FRP船仮置き場(磯部大州)

② 廃 FRP 船仮置き場(ポートセンター)

調査内容：仮置き場に置かれている廃 FRP 船、エンジン等について目視による調査を実施し、石綿含有の疑わしい部位の有無を確認し、必要に応じて対象部位を採取、分析して石綿含有の有無を確認した。

目視調査、石綿分析結果をもとに、仮置き場の廃 FRP 船、エンジンにおける石綿の使用状況を整理した。

① 廃 FRP 船仮置き場(相馬市磯部大州)

仮置き場に置かれている廃 FRP 船 58 隻を対象に目視調査を実施した。外観の確認後、可能な範囲で船内の状況を確認し、その状況を写真撮影して記録した。試料採取可能なものについては必要に応じ、石綿含有が疑わしい部位を採取し、迅速判定法により石綿含有の有無を確認した。尚、本調査においては、現場での測定を実施せず、採取した試料を持ち帰り分析を実施した。

調査結果を表 3-2 に示す。試料採取可能な廃 FRP 船で、石綿含有が疑われる建材が確認されたのは 58 隻中 12 隻であった。迅速判定法により、その内 6 隻において石綿を含有する材料が確認された使用部位は煙突及びエンジンから煙突への配管の周りに巻かれている布状の断熱材であった(図 3-2)。

本調査では 58 隻の廃 FRP 船の目視調査に約 6 時間を要した。また、採取した 15 試料の迅速判定法による分析には約 3 時間半を要した。



アスベスト(クリソタイル)を含有する布状の断熱材

図 3-2 石綿(クリソタイル)を含有する布状の断熱材

表 3-2 廃 FRP 船仮置き場(相馬市磯部大州)調査結果

No.	調査日	外観確認	内部確認	確認されたアスベスト含有が疑わしい部位	試料採取の有無	石綿の有無
No.1	7/23	○	○	煙突配管周りに巻かれた布状の断熱材 船内配管に巻かれた油を含んだ布状の防水材	煙突配管周り断熱材(布) 船内配管周り(防水材)	含有 不含有
No.2	7/23	○	○	エンジン配管つなぎ目のゴム部分。ゴムの中に布が入っている。	エンジンのゴム部分、布部分	不含有
No.3	7/23	○	○	煙突配管周りに巻かれた布状の断熱材	煙突配管周り断熱材(布)	含有
No.4	7/23	○	○	エンジン配管つなぎ目のゴム部分。ゴムの中に布が入っている。 船上のゴム配管に巻かれていた布	エンジンのゴム部分、布部分 布	不含有 不含有
No.5	7/23	○	○	煙突配管周りに巻かれた布状の断熱材	煙突配管周り断熱材(布)	含有
No.6	7/23	○	○	煙突配管周りに巻かれた布状の断熱材あり	-	-
No.7	7/23	○	○	煙突部分は確認できず。船上のゴム配管に布が巻かれている。	船内配管周り断熱材(綿状)	不含有
No.8	7/23	○	×	内部確認不可	-	-
No.9	7/23	○	○	船内配管に断熱材あり。煙突周りに白い布状の断熱材が巻かれている。	-	-
No.10	7/23	○	○	船内配管に断熱材あり。	-	-
No.11	7/24	○	○	船内配管に断熱材あり。	-	-
No.12	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有	-	-
No.13	7/24	○	○	船内配管に断熱材あり。	-	-
No.14	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。煙突周りに布状の断熱材が巻かれている。	-	-
No.15	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。船内配管に布状の断熱材が巻かれている。	-	-
No.16	7/24	○	○	船内配管に断熱材あり。 船上のゴム配管に巻かれていた布	船内配管周り断熱材(布) 布	不含有 不含有
No.17	7/24	○	○	船内配管に断熱材あり。	-	-
No.18	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.19	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.20	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.21	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.22	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.23	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.24	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.25	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.26	7/24	×	×	対象船舶未確認。	-	-
No.27	7/24	○	○	平舟。対象外。	-	-
No.28	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.29	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.30	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.31	7/24	○	○	煙突付け根部分に布状の断熱材	-	-
No.32	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。	タービン周り断熱材(布)	含有
No.33	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.34	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.35	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.36	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.37	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.38	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.39	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.40	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.41	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.42	7/24	○	○	船内配管に断熱材あり。	-	-
No.43	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.44	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。煙突周りに断熱材あり。	-	-
No.45	7/24	○	○	煙突周りに巻かれた布状の断熱材	煙突配管周り断熱材(布)	含有
No.46	7/24	○	○	エンジンから煙突への船内配管周りに断熱材あり。	船内配管周り断熱材(綿状)	不含有
No.47	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.48	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.49	7/24	○	○	対象試料なし	-	-
No.50	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.51	7/24	○	○	船上のゴム配管に巻かれていた布	布	不含有
No.52	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.53	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。	-	-
No.54	7/24	○	○	煙突周りに巻かれた布状の断熱材	煙突配管周り断熱材(布)	含有
No.55	7/24	○	○	タービン周りに断熱材有。	-	-
No.56	7/24	○	×	内部確認不可	-	-
No.57	7/24	○	○	煙突周りに巻かれた布状の断熱材あり。	-	-
No.58	7/24	○	×	内部確認不可	-	-

②廃 FRP 船仮置き場(相馬市ポートセンター)

仮置き場に置かれているエンジン 18 基を対象に目視調査を実施した。外観の確認後、採取可能で石綿含有が疑わしい部位を数点採取し、迅速判定法により石綿含有の有無を確認した。エンジンには識別のために番号は付されているものとされていないものがあり、試料採取は番号が確認できるものを中心に実施した。

調査結果を表 3-3 に示す。煙突及びエンジンから煙突への配管の周りに巻かれた布状の断熱材については、廃 FRP 船と同様に石綿(クリソタイル)を含有するものが確認された。また、エンジンに使用されているガスケットからも石綿(クリソタイル)が検出された(図 3-3)。

本調査では 18 基の廃 FRP 船のエンジンの目視調査に約 3 時間を要した。また、採取した 7 試料の迅速判定法による分析には約 1 時間半を要した。

表 3-3 廃 FRP 船仮置き場(相馬市ポートセンター)調査結果

No.	調査日	外観確認	確認されたアスベスト含有が疑わしい部位	試料採取の有無	石綿の有無
No.2	7/23	○	配管周りに巻かれた布状の断熱材あり。	配管周り断熱材(布)	含有
No.3	7/23	○	配管周りに巻かれた布状の断熱材あり。エンジンに使用のガスケットも疑わしい。	配管周り断熱材(布) ガスケット	含有 含有
No.6	7/23	○	タービン周りに断熱材有	タービン周り断熱材(布)	含有
No.7	7/23	○	煙突部分は確認できず。船上のゴム配管に布が巻かれている。	配管周り断熱材(布) 配管周り断熱材(綿状)	含有 不含
—	7/23	○	タービン周りに断熱材有	タービン周り断熱材(綿)	不含



図 3-3 石綿(クリソタイル)を含有するガスケット及び布状の断熱材

表 3-4 迅速判定法及び公定法等による災害がれき試料の分析結果

試料	迅速判定法			PLM法(ISO法)	走査型電子顕微鏡	JIS法(分線染色/X線回折法)	
	車載PLM法	近赤外装置(東急)	近赤外装置(Phazir)			定性	定量(%)
1	不含	○	不含(時々検出)	不含	不含	不含	-
2	含(Cry)	○	不含(時々検出)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	1.6
3	含(Cry)	○	不含(時々検出)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	1.6
4	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	4.9
5	不含	x	不含(n=5)	不含	不含	不含	-
6	不含	x	不含(n=5)	不含	不含	不含	-
7	含(Cry)	x	含(Cry)(検出2/4)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry/Wa)	2.6
8	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	1.4
9	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	6.9
10	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	4.8
11	不含	○	不含	不含	不含	不含	-
12	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	4.3
13	不含	x	不含(1/5検出)	不含	不含	不含	-
14	不含(含(Cry))	○	不含(1/5検出)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	2.0
15	不含	x	不含(2)	不含	不含	不含	-
16	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	6.0
17	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)クロシド ライトなし	含(Cry/Cro)	5.9
18	不含	x	不含	不含		不含	-
19	不含(含(Cry))	x	不含(3/10検出)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry/Wa)	2.6
20	含(Cry)	x	含(Cry)(断面も)	含(Cry)	含(Cry)	クリソタイル	2.0
21	不含	○	不含	不含	不含	不含	-
22	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	4.9
23	含(Cry)	x	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	2.3
24	不含	x	不含(1/5検出アモ、 クロシド)	不含	不含	不含	-
25	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	4.9
26	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	3.1
27	不含	x	不含	不含	不含	不含	-
28	不含	○	不含	不含	不含	不含	-
29	含(Cry)	○	含(Cry)	含(Cry)		含(Cry)	4.6
30	含(Cry)	○	含(Cry)(1/3不検出)	含(Cry)	含(Cry)	含(Cry)	3.9
31	含(Cry)	○	測定不能(黒色)	含(Cry)		含(Cry)	4.8
32	不含	x	不含(2/6検出、1アクチ ノ)	不含	不含	不含	-

Cry:クリソタイル; Cro:クロシドライト; Wa:ワラストナイト
X線回折の判定のうち、クリソタイル/ワラストナイトの判定は装置の判定としてワラストナイトの可能性があるとの意味。

(3) 迅速判定法の現場適用による評価

迅速判定法及び公定法等の分析結果を表 3-4 にまとめて示す。JIS 法、SEM 法、ISO 法を総合的にみて石綿の含有・非含有は一致している。従って、これら 3 方法の結果が正しい判定結果であると考えてよい。即ち、32 試料のうち石綿含有試料は 20 試料であり、石綿非含有試料は 12 試料である。

車載 PLM 法では、石綿含有とされた 20 試料のうち 2 試料(試料 14 及び 19)が非含有と判定された(偽陰性)。また石綿非含有の 12 試料のうち石綿含有とされた試料(偽陽性)はなかった。偽陰性

であった2試料については、表3-4に括弧書きで示したように再分析により石綿含有が確認された。これは現場分析時に繊維がない部位から偏光顕微鏡観察用試料を作製したことによる。車載近赤外測定装置では、偽陰性は3試料(試料19、20、23)、また偽陽性は4試料(試料1、11、21、28)であった。この装置は現在クリソタイルの判定のみ行えるが、今回石綿含有とされた試料はすべてクリソタイル含有であり、判定は確実にできるはずであり、更なる検証が必要である。可搬型近赤外測定装置では、偽陰性は3試料(試料2、3、14)、また偽陽性の試料は0であり、1試料は黒色の塗装により判定不能であった(試料32)。判定においては、含有・非含有が確定できる(半数以上が同じ結果が得られる)まで繰り返し測定する必要があった。以上の結果を表3-5にまとめた。

今回の調査で採取した試料中の石綿含有率は不検出～6.9%であった。表3-6に石綿含有率と迅速判定法による判定結果との関係をまとめた。石綿の迅速判定においては、本来含有であるものを非含有と判定してしまうこと(偽陰性、見落とし)は厳に避けなくてはならないが、含有率が3%以上のものについては、基本的には見落とすことはなかった。しかし、含有率が3%未満の試料に対して見落とすケースがあった。このように低含有率の建材に対しては迅速判定法の精度はまだ低いと考えられるが、2%未満である試料2、3、8は迅速判定法で石綿含有の判定がされており、判定精度には石綿濃度のみではなく

装置では繊維状物質が表面に露出していない場合には判定は難しく、車載PLM法でも石綿を含有しない部位を採取すると判定が正しく行われない場合もある。今後、試料採取や前処理についてより詳細な検討を行い、石綿判定精度を向上させる必要がある。さらに、石綿含有建材の情報を活用して建材性状と石綿含有の可能性を知ることも、石綿判定精度の向上に不可欠である。

表 3-5 迅速判定法の評価結果

迅速判定方法	判定時間	正解率(%)	偽陽性	偽陰性
車載 PLM 法	約 10 分/試料	94	0	2*
車載近赤外測定装置	約 4 秒/回	78	4	3
可搬型近赤外測定装置	10 秒以内/回	87	0	4

* 再分析では含有判定。

表 3-6 石綿含有率と迅速判定法による判定結果との関係

石綿含有率	公定法等	車載 PLM 法		車載近赤外装置		可搬型近赤外装置	
		含有	非含有	含有	非含有	含有	非含有
3%未満	8	6	2*	5	3	4	4
3%以上	12	12	0	12	0	11	0**

* 再分析では含有判定。

**判定不能となった試料が1試料。

(4) 偏光顕微鏡による迅速法の確認(定量法)

No.1～No.4 の固体試料について、8 機関で行った偏光顕微鏡法(ポイントカウント法)により定量した結果を図 3-4 に示す。測定機関は本定量法は初めての経験であり、建材試料の定量結果にはばらつきがみられた。その原因は、観察スライドに載せた建材試料の粒子の大きさ及び繊維長に違いがあったことによると考えられた。そこで、ばらつきのおおきかった No.4 の試料について、前処理操作をほぼ一致させて再測定を行ったところ、図に示すようになんかなり一致した測定結果となった。定量法では、前処理操作が重要なポイントであることが分かった。

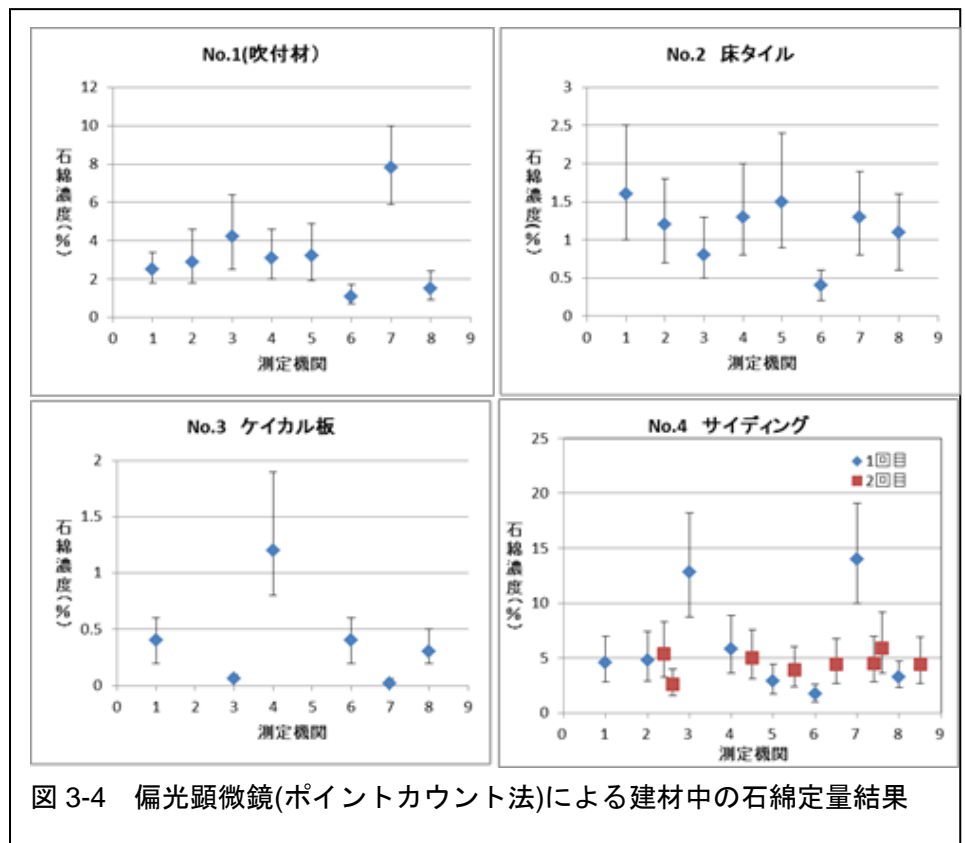


図 3-4 偏光顕微鏡(ポイントカウント法)による建材中の石綿定量結果

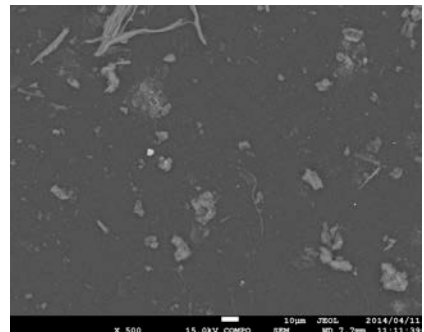
(5) 走査型電子顕微鏡による迅速法の確認(定量法)

【観察された石綿繊維】 図 3-5 に観察された 2 画面の SEM 像を示す。吹付け材である試料は塩酸処理により繊維がマトリックスのセメント材から分離しており、多くは繊維束である。72 目開きで石綿繊維数 739 本であり、1 目開きあたり 10 本程度が観察された。繊維幅は 0.20～12 μm、平均繊維幅は 1.2 μm であり、繊維長は 3.3～181 μm、平均繊維長は 19.9 μm であった。また、1 本あたりの平均体積は $9.82 \times 10^{-11} \text{ cm}^3$ 、平均重量は $2.51 \times 10^{-11} \text{ g}$ であった。

【石綿濃度】 72 目開き、739 本の石綿繊維の総体積は $7.28 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$ 、クリソタイルの密度を乗じて得た石綿繊維の総重量は $1.86 \times 10^{-7} \text{ g}$ であった。これらの値から石綿濃度を計算し、全体としてこの試料には、クリソタイルが 1.2% 含有されているという結果を得た。

【各区画の繊維数と石綿濃度】 ろ紙上の異なる場所 3 区画でそれぞれ 24 目開きを計数した。どれだけの面積を計数するかは、分析精度に影響することから、3 区画を更に 2 分割して、

目開き7 500倍、反射電子像



目開き39 500倍、反射電子像

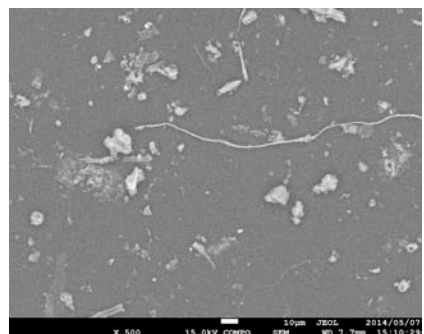
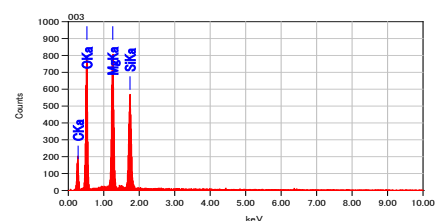


図 3-5 吹付け材の SEM 像、EDS 分析



6 区画(各 12 目開きずつ)を計数したときのばらつきを求めた。結果を表 3-7 に示す。24 目開きを 3 区画測定したのであるが、区画ごとの繊維数はほぼ等しかった。石綿濃度は石綿繊維の大きさによるため、変動はあるものの 25%程度であった。更に 12 目開きを 1 区画とした場合には、繊維数濃度も石綿濃度のばらつきも大きくなったが、変動係数は 30%以下であった。

SEM による石綿濃度の定量は、どれだけの面積を計数・計測するかによって精度が変わる。試料数を増やして、検討する予定である。また、定量には試料をどれだけの紙上に載せることができるか、によっても変わるため、試料の前処理(灰化・酸処理)も重要である。

【検出限界】 検出限界は、計測した面積に存在する石綿繊維 1 本の体積あるいは重量(繊維幅と繊維長)によって決まる。例として平均繊維幅と平均繊維長から求めると、 $0.016\% (= 2.51 \times 10^{-7}(\text{g}) \times 1196(\text{mm}^3)/2.96(\text{mm}^3)/(6.2 \times 10^{-3}))$ となる。石綿濃度は 0.1%以上が定量できることが定量分析法の条件であるが、SEM 法でこれを満足しているといえる。もちろん、大きな繊維が多い場合は、検出下限が上がるため、大きな繊維を見逃さないことが重要であることはいうまでもない。

【石綿濃度の定量について】

JISA1481 は新たに ISO 法(実体顕微鏡+偏光顕微鏡による定性)が追加されたが、廃棄物関係では様々なマトリックスを含む場合や変性した石綿繊維を含む場合がある。また、大気中の石綿繊維についても電子顕微鏡による確認を十分にすべきであると考えられる。石綿の同定には繊維形態、化学組成、鉱物特性の情報が必要であるが、電子顕微鏡は光学顕微鏡と共に活用すべき機器である。本検討では、これまで電子顕微鏡では行われてこなかった石綿濃度の定量を試みた。定量に要する時間は、今後標準手順を作成し、試料性状(吹付材、ボード類、床材等)に応じて最適な方法とし、計数・計測法を見直すことにより、3 日程度で可能と考えられる。

石綿含有建材の定量分析は現在、位相差分散染色法+X 線回折法、偏光顕微鏡法(定性ではあるが 0.1%以上が確認できる)によることとなっているが、災害廃棄物中の石綿含有建材等では、迅速測定法による分別がまず必要であり、更に確認のための方法として電子顕微鏡による方法も必要と考えられる。

表 3-7 観察した各区画の石綿繊維数及び石綿濃度

		72目開きx1	24目開きx3	12目開きx6
石綿繊維数	目開き1	739	234	63
	目開き2		250	171
	目開き3		255	126
	目開き4			124
	目開き5			138
	目開き6			117
繊維数平均		739	246	123
標準偏差			9	32
変動係数			0.04	0.26

		72目開きx1	24目開きx3	12目開きx6
石綿濃度	目開き1	1.21	1.07	0.80
	目開き2		1.62	1.35
	目開き3		0.93	1.58
	目開き4			1.66
	目開き5			1.23
	目開き6			0.62
濃度平均		1.21	1.21	1.21
標準偏差			0.30	0.33
変動係数			0.25	0.28
95%信頼区間(上限)			1.80	1.88
95%信頼区間(下限)			0.61	0.54

変動係数は正規分布を仮定したものである。

3.2 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討

(1) 被災地における石綿含有建材の状況と石綿によるリスク

(a) 被災当初の自治体への聞き取り調査

震災と津波によって発生した廃棄物は、「津波堆積物」とそれ以外の「がれき等」に分類され、「がれき等」は分別されて一次仮置場に集積され、「津波堆積物」はそのまま一次仮置場に集積された後で分別された。宮城県内では仙台市のみが自力で最終処理までを行い、それ以外の自治体は県が中間処理と最終処理の一部を負担した。石綿含有建材は、一次仮置場搬入の際に当初から

分別されたとされている。各自治体は2011年度中に石綿含有建材専用の仮置場を設置した。

倒壊・半倒壊した建物の解体工事は、住民等からの申し込みによって各自治体が解体事業者に対して発注されており、例えば石巻市では15,000件もの解体工事が申請され、順次工事が行われている。自治体による被災建築物の解体工事が本格化したのは2011年夏以降である。発注者は地方自治体だが、石綿障害予防規則上の石綿含有建材の事前調査の義務は受注した事業者へ帰せられる。大気汚染防止法の規制のあるレベル1および2の建材については、各自治体はコンサルタント会社等に調査を委託し把握に努め、積極的に対策工事が行われたが、成形板等のレベル3建材は事業者に一任された状況が伺われる。各自治体は解体事業者へ石綿含有が疑われる建材の適切な処理を指示し、がれき仮置き場でも石綿含有建材を分別して受け入れているが、対象となる石綿含有建材の種類、石綿含有の判定方法等は示されておらず、また実際の解体現場での対応等の確認はなされていない。

仙台市、気仙沼市では阪神淡路大震災の経験のある自治体職員が出向により石綿含有建材の対応に協力している。また石巻市では解体事業者向けに市が石綿作業特別教育を実施する等の独自の対策が採られた例もあった。

(b) 石巻市、気仙沼市、南相馬市でのマッピング調査

石巻市では、吹付け耐火被覆14棟、波板スレート157棟が確認された。気仙沼市では、吹付け耐火被覆28棟、波板スレート25棟、煙突12棟が確認された。南相馬市小高区では、住宅屋根用化粧スレート1棟、窯業系サイディング27棟、けい酸カルシウム板31棟、波板スレート1棟が確認された。鉄筋または鉄骨造の建物はなく、吹付け材や断熱材は見られなかった。以上のマッピング調査の結果をGoogleマップ上で閲覧できるようにした。下記のURLから閲覧可能である。図3-6に石巻市の調査結果を示した。

石巻市の調査結果：https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zRO_BRu9Lu7k.kSqvTeBTvEg

気仙沼市の調査結果：https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zRO_BRu9Lu7k.kAlZfgovf9_Y

南相馬市小高区の調査結果：https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zRO_BRu9Lu7k.kaMoqt-9a71s

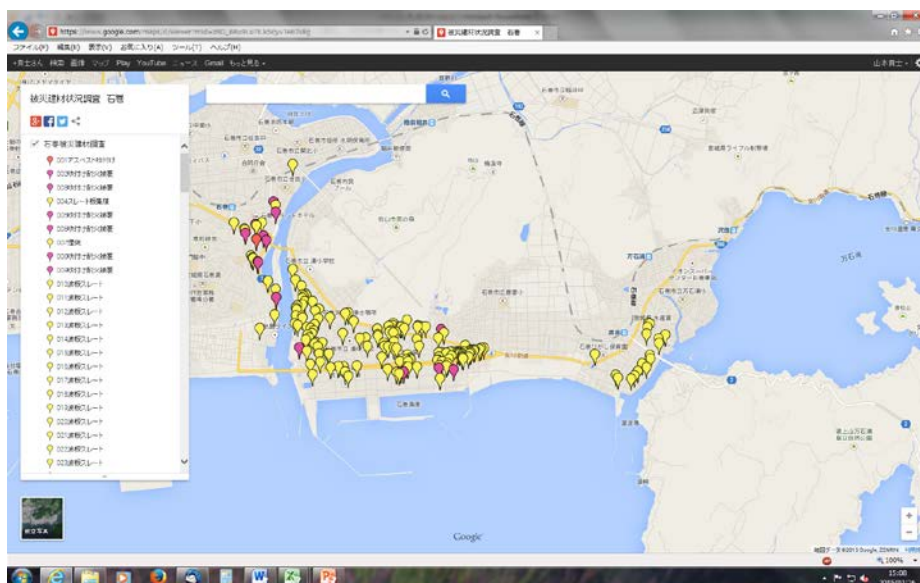


図3-6 石巻市の石綿含有建材使用建築物マッピング調査結果

この調査の過程で、スレート板等の成形板の解体現場では、法定の対策である湿潤化と非破砕による撤去が行われず、作業員も防じんマスクを使用していない場合が多くみられた。

(c) 採取された試料の分析

上記調査で採取した石綿含有が疑われる建材は 189 試料で、ISO22262-1(JIS A 1481-1)の方法により石綿含有の有無を分析した。結果を表 3-8 に示す。日本の代表的な石綿含有建材 14 種類が採取された。吹付け材は含有が認められた試料は 82 試料中 6 点で 7.3%のみであった。波板スレートはほとんどが石綿含有で、含有のない 1 点は改修工事用の新しい建材であった。

表 3-8 被災地で採取した石綿含有が疑われる建材の分析結果

	含有なし	含有あり					計
			クリソ タイル	アモサイ ト	クロシド ライト	2 種類 以上	
吹付け材	76	6	2	2	2	0	82
煙突用断熱材	0	1	0	1	0	0	1
ケイカル 2 種	3	2	1	0	0	1	5
ケイカル 1 種	6	6	3	0	0	3	12
波板スレート	1	24	22	0	0	2	25
平板スレート	7	11	10	0	0	1	18
石膏ボード	7	1	1	0	0	0	8
スラグ石膏板	1	4	2	0	0	2	5
床用ビニルタイル	3	2	2	0	0	0	5
床用ビニルシート	1	2	2	0	0	0	3
屋根用化粧スレート	1	2	2	0	0	0	3
窯業系サイディング	4	8	8	0	0	0	12
押出成形セメント板	1	4	4	0	0	0	5
ロックウール吸音板	4	1	1	0	0	0	5
計	115	74	60	3	2	9	189

(d) 気中石綿濃度測定結果

気中濃度測定の結果を表 3-9 から表 3-15 に示す。測定点は 270 点であった。

作業環境では、災害廃棄物仮置き場にてクリソタイル含有の成形板をトラックから降ろす作業の直近での測定値、総繊維濃度 53 f/L、石綿濃度 34 f/L(2011/6/16 表 3-9、No.39)が最高値であった。一般環境では、①津波で被災した建物に施工されている吹付けクロシドライトおよび吹付けアモサイトのある場所の直近の測定点では濃度の上昇がみられ、最大 2.3 f/L の石綿繊維濃度が確認された(2012/1/23 表 3-10、No.2)。鉄骨 2 階建て建物の鉄骨部分にアモサイトおよびクロシドライトの吹付けがあり、両側の壁が損傷しており、風が吹き抜ける状態となっており、周囲にも吹付け材の断片が落ちている状況で、その周辺でもわずかに石綿繊維濃度の上昇がみられた。②吹き付け耐火被覆のある建物の解体現場の近傍で、総繊維濃度 2.6 f/L、石綿繊維濃度 0.86 f/L とわずかな繊維濃度の上昇がみられた(2011.5.7 表 3-9、No.21)。これら以外には石綿繊維濃度の上

昇は確認されなかった。

表 3-9 気中石綿濃度測定結果(2011/4/10~6/17)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
1	2011.4.10	南三陸町	自衛隊捜索中の河原	0.2	0
2	2011.4.10	南三陸町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.26	0
3	2011.4.10	南三陸町	津波被災地の路上	0.06	0
4	2011.4.10	南三陸町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.17	0
5	2011.4.10	南三陸町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.17	0
6	2011.4.11	気仙沼市	津波被災地の路上	0.07	0
7	2011.4.11	気仙沼市	津波被災地の路上	0.68	0.42
8	2011.4.24	塩釜市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.1	0
9	2011.4.24	塩釜市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.3	0
10	2011.4.24	塩釜市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.15	0
11	2011.4.24	釜石市	津波被災地の路上	0.12	0
12	2011.4.24	釜石市	津波被災地の路上	0.37	0
13	2011.4.24	釜石市	津波被災地の路上	0.26	0.13
14	2011.4.29	田老町	仮置き場近く	1.33	0.19
15	2011.4.29	田老町	仮置き場近く	0.86	0.22
16	2011.4.29	山田町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.96	0.24
17	2011.5.4	気仙沼市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.36	0
18	2011.5.3	陸前高田市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.51	0
19	2011.5.4	釜石市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.58	0
20	2011.5.7	多賀城市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.39	0
21	2011.5.7	東松島市	津波被災地の路上、吹付け材のある解体現場近く	2.57	0.86
22	2011.5.8	釜石市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.32	0
23	2011.5.8	大船渡市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.54	0
24	2011.5.9	気仙沼市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.36	0
25	2011.5.9	石巻市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.17	0
26	2011.5.10	仙台市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.26	0
27	2011.6.13	名取市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.88	0.63
28	2011.6.13	名取市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.09	0.27
29	2011.6.13	名取市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.28	0
30	2011.6.13	名取市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.71	0.24
31	2011.6.14	仙台市	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.08	0
32	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.08	0
33	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1	0
34	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	2.8	0

35	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.46	0
36	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	1.18	0
37	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、吹付け材の近く	0.68	0
38	2011.6.15	女川町	津波被災地の路上、スレート解体現場近く、風上	1.23	0
39	2011.6.16	仙台市	仮置き場、成形板搬入時、4分間	53	34
40	2011.6.16	仙台市	仮置き場、成形板搬入時	1.47	0.59
41	2011.6.17	石巻市	石巻商業高校	0.36	0
42	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上	0.54	0
43	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上	1.08	0
44	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上	0.36	0
45	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上	0.18	0
46	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上	0.72	0.18
47	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上、スレート解体現場近く、風上	0.36	0
48	2011.6.17	女川町	津波被災地の路上、スレート解体現場近く、風上	0.18	0

表 3-10 気中石綿濃度測定結果(石巻市：2012/1/23-24, 2/27-28, 2013/11/30)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
1	2012.1.23	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.7	0.6
2	2012.1.23	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	2.5	2.3
3	2012.1.23	石巻市門脇町	吹付けアスベスト付近	0.2	0.2
4	2012.1.23	石巻市中央	津波被害を受けた市街地	0.2	0.2
5	2012.1.23	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.1	0
6	2012.1.23	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.2	0.1
7	2012.1.23	石巻市立町	津波被害を受けた市街地	0.1	0
8	2012.1.23	石巻市立町	津波被害を受けた市街地	0.1	0
9	2012.1.23	石巻市中央	津波被害を受けた市街地	0.2	0.1
10	2012.1.23	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.2	0
11	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.4	0.1
12	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.2	0.1
13	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.4	0.3
14	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.7	0.1
15	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.4	0.3
16	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.6	0.4
17	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.3	0.1
18	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	1.1	0.8
19	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.7	0.4
20	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.6	0.5
21	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.3	0.2

22	2012.1.24	石巻市中央	吹付けアスベスト付近	0.9	0.5
23	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.3	0
24	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.1	0
25	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.1	0
26	2012.2.27	石巻市明神町	スレート解体現場付近	0.1	0
27	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.7	0.2
28	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.4	0.2
29	2012.2.27	石巻市川口町	スレート解体現場付近	0.2	0
30	2012.2.27	石巻市	吹付けアスベスト付近	0.1	0
31	2012.2.27	石巻市	吹付けアスベスト付近	0	0
32	2012.2.28	石巻市	吹付けアスベスト付近	0.3	0.1
33	2012.2.28	石巻市	吹付けアスベスト付近	0.3	0.1
34	2012.2.28	石巻市湊町	スレート解体現場付近	0.2	0
1	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0
2	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0
3	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.2	0
4	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0
5	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0
6	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0
7	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.9	0.2
8	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.2	0
9	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0
10	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0.2
11	欠				
12	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0
13	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.9	0
14	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0.2
15	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0.2
16	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0
17	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0	0
18	欠				
19	欠				
20	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.4	0
21	2013.11.30	石巻市中央	市街地	0.5	0.2

表 3-11 気中石綿濃度測定結果(気仙沼市 : 2012/6/18、8/20-22、2013/2/18-19、2014/1/18-19)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
1	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.4	0
2	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.7	0
3	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.2	0
4	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	1.3	0.2
5	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.7	0
6	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.7	0
7	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.5	0
8	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.5	0
9	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.4	0.2
10	2012.6.18	気仙沼市	吹付けアスベスト付近	0.4	0
11	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.2	0
12	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.4	0
13	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.7	0
14	2012.6.18	気仙沼市	波板スレート工事付近	0.5	0
1	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.2	0
2	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.5	0
3	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.9	0
4	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	1.1	0.2
5	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
6	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.2	0
7	欠番				
8	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.2	0
9	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.5	0
10	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.7	0.2
11	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0	0
12	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.2	0
13	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.2	0
14	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0	0
15	2012.8.20	気仙沼市	破砕されたスレート付近	0.5	0
16	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.5	0.2
17	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.7	0
18	2012.8.20	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
19	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.9	0.2
20	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	1.1	0.4
21	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0	0
22	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0	0
23	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	1.3	0

24	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.5	0
25	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0

表 3-12 気中石綿濃度測定結果(気仙沼市 : 2012/6/18、8/20-22、2013/2/18-19、2014/1/18-19)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
27	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
28	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.9	0
29	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.2	0
30	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
31	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	1.1	0
32	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.7	0
33	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
34	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.2	0
35	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.9	0
36	2012.8.21	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
37	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0	0
38	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0.4	0
39	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0.7	0
40	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0.4	0
41	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0	0
42	2012.8.22	気仙沼市	石綿がれき置き場付近	0.2	0
43	2013.2.18	気仙沼市	解体工事付近	1.4	0
44	2013.2.18	気仙沼市	解体工事付近	1.1	0
45	2013.2.18	気仙沼市	解体工事付近	2.5	0
46	2013.2.18	気仙沼市	解体工事付近	0.2	0
47	2013.2.19	気仙沼市	解体工事付近	1.1	0.2
48	2013.2.19	気仙沼市	解体工事付近	0.7	0
49	2013.2.19	気仙沼市	解体工事付近	0.4	0
50	2013.2.19	気仙沼市	解体工事付近	0.9	0
1	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.5	0.2
2	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.4	0.2
3	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.4	0
4	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.4	0
5	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.2	0
6	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.5	0
7	2014.1.18	気仙沼市	市街地	1.6	0.5
8	2014.1.18	気仙沼市	市街地	0.5	0

9	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.5	0
10	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0	0
11	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0	0
12	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.5	0.4
13	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.5	0
14	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.7	0
15	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.7	0
16	2014.1.19	気仙沼市	市街地	0.5	0

表 3-13 気中石綿濃度測定結果(女川町：2012/8/30-31、2013/1/19、2013/12/1)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
1	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	1.8	0.5
2	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	0.7	0
3	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	0.7	0
4	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	1.1	0
5	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0
6	2012.8.30	女川町	仮設住宅①周辺	0.5	0
7	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	1.1	0.5
8	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	1.8	0.7
9	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	0.9	0
10	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	0.7	0
11	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	0.5	0
12	2012.8.30	女川町	仮設住宅②周辺	0.7	0
13	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.2	0
14	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.4	0
15	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.7	0
16	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.4	0
17	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.7	0
18	2012.8.31	女川町	仮設住宅③周辺	0.2	0
19	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	1.1	0
20	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	0.2	0
21	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	0.5	0
22	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	0.9	0.2
23	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	0.5	0.2
24	2012.8.31	女川町	仮設住宅④周辺	0.4	0
25	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	0.5	0
26	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	0.9	0
27	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	1.1	0

28	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	0.5	0.2
29	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	0.5	0
30	2012.8.31	女川町	がれき仮置き場周辺	0.4	0

表 3-14 気中石綿濃度測定結果(女川町：2012/8/30-31、2013/1/19、2013/12/1)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
31	2013.1.19	女川町	仮設住宅①周辺	0.5	0.2
32	2013.1.19	女川町	仮設住宅①周辺	0.2	0
33	2013.1.19	女川町	仮設住宅①周辺	0	0
34	2013.1.19	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0
35	2013.1.19	女川町	仮設住宅③周辺	0.5	0
36	2013.1.19	女川町	仮設住宅③周辺	0.2	0
37	2013.1.19	女川町	仮設住宅③周辺	0.2	0
38	2013.1.19	女川町	仮設住宅③周辺	0.2	0
39	2013.1.19	女川町	がれき仮置き場周辺	0.2	0
40	2013.1.19	女川町	がれき仮置き場周辺	0.5	0
41	2013.1.19	女川町	がれき仮置き場周辺	0.7	0
42	2013.1.19	女川町	がれき仮置き場周辺	0.7	0.2
22	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.5	0
23	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0
24	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.2	0
25	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0
26	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.5	0
27	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.5	0
28	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.9	0.2
29	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.2	0
30	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.5	0
31	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.5	0.2
32	欠番				
33	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.4	0
34	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.9	0
35	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.5	0.2
36	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0.2
37	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0.4	0
38	2013.12.1	女川町	仮設住宅①周辺	0	0
39	欠番				
40	欠番				
41	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.4	0

42	2013.12.1	女川町	仮設住宅②周辺	0.5	0.2
----	-----------	-----	---------	-----	-----

表 3-15 気中石綿濃度測定結果(南相馬 : 2013/11/8-9)

No.	測定日	測定点	周囲の状況	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)
1	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
2	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.9	0
3	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
4	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
5	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
6	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.7	0
7	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.5	0
8	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
9	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
10	2013.11.8	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
11	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.4	0
12	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
13	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
14	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
15	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.7	0.2
16	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.9	0
17	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.4	0
18	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.9	0.2
19	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
20	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0	0
21	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.4	0
22	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
23	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.4	0
24	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
25	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	1.1	0
26	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.7	0.2
27	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	1.3	0.4
28	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.9	0.2
29	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	1.8	0.2
30	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.2	0
31	2013.11.9	南相馬市小高区	がれき仮置き場周辺	0.5	0

(e) 住民、作業員、自治体へのアンケート調査

2013年7月29日から2014年1月19日に石巻市、女川町、気仙沼市にて被災住民に直接対面して口頭での聞き取り調査を実施した。95人から回答を得た。住民へのアンケート調査の結果を別紙に示す。

石巻での石綿作業特別教育および作業主任者技能講習受講者388名に対して、実際の解体現場での成形板のアスベスト関連作業の実態を知るためにアンケート調査を実施した。回答は110名から得られ、回答率は28.4%であった。作業者へのアンケート調査の結果は別紙に示す。

2014年1月に岩手県、宮城県、福島県の震災被害を受けた32市町村のがれき処理と被災建物対策の担当部署へ郵送の方法でアンケート用紙を送り、19自治体から回答を得た。回答率は59%であった。自治体へのアンケート調査の結果を別紙に示す。

(f) 石巻でのマッピング調査のフォローアップ

2014年8月から10月に石巻市でのマッピング調査のフォローアップとして、2011年度に確認された被災した波板スレートの建物157棟の状況を確認した。その結果、被災当時のまま残されているもの14棟、解体されたもの52棟、補修して使用されているものが91棟で、補修されてい

表 3-16 波板散乱場所での ABS による気中石綿濃度測定結果

No.	測定日	測定時刻	総繊維濃度 (f/L)	石綿濃度 (f/L)	検出限界 (f/L)	備考
1	2014/10/18	11:00-13:00	0.00	0.00	0.09	コントロール
2	2014/10/18	11:00-13:00	0.09	0.00	0.09	コントロール
3	2014/10/18	11:00-13:00	0.09	0.00	0.09	コントロール
4	2014/10/18	11:00-13:00	0.00	0.00	0.09	コントロール
5	2014/10/18	13:20-13:30	6.45	3.23	1.08	歩行1
6	2014/10/18	13:20-13:30	7.53	1.08	1.08	歩行1
7	2014/10/18	13:20-13:30	12.91	8.60	1.08	歩行1
8	2014/10/18	13:20-13:30	6.45	3.23	1.08	歩行1
9	2014/10/18	13:35-13:45	10.76	5.38	1.08	歩行2
10	2014/10/18	13:35-13:45	9.68	5.38	1.08	歩行2
11	2014/10/18	13:35-13:45	10.76	6.45	1.08	歩行2
12	2014/10/18	13:35-13:45	7.53	3.23	1.08	歩行2
13	2014/10/19	9:40-9:50	4.30	1.08	1.08	車走行1
14	2014/10/19	9:40-9:50	8.60	5.38	1.08	車走行1
15	2014/10/19	9:40-9:50	7.53	4.30	1.08	車走行1
16	2014/10/19	9:40-9:50	5.38	1.08	1.08	車走行1
17	2014/10/19	10:00-10:10	8.60	5.38	1.08	車走行2
18	2014/10/19	10:00-10:10	10.76	5.38	1.08	車走行2
19	2014/10/19	10:00-10:10	7.53	2.15	1.08	車走行2
20	2014/10/19	10:00-10:10	6.45	2.15	1.08	車走行2

るもののうち 54 棟で、新旧の波板スレートが混在している状況がみられた。また破碎された波板が散乱している状況が確認されたため、この場所で ABS(Activity Based Sampling)を実施した結果を表 3-16 に示す。10 分間 4 名の歩行で幾何平均 3.9 f/L、10 分間 1 台の車走行で幾何平均 2.78 f/L の石綿濃度となり、飛散が確認された。

(g) Google マップを利用したマッピング調査と波板スレート使用量推定

被災地で実施したマッピングの応用として、東南海地震が発生した場合に被害が予想される愛知県名古屋市で名古屋市内の NGO の協力によって、波板スレートが多く存在する地域でマッピングを実施した。その中で Google マップの衛星写真を利用して、現地に行かずにマッピングする方法を検討し、ストリートビューで各建物の高さを推定し、使用されている波板スレートの使用量を推定する方法を試行した。この方法によって愛知県名古屋市中川区の 4.2 平方キロメートルの波板スレート使用建物の棟数と使用量を推定した。この区域には 317 棟の波板スレートを使用した建物があり、波板スレートの総量は約 1,068 トンと推定された。衛星写真では壁面のみに使用されている波板スレートを発見することは難しいため、2015 年 3 月 18 日に Google マップで発見された 317 棟のうち 126 棟のある区域について現地調査を実施した。その結果、この区域では 28 棟増、3 棟減で重量では 5.5%増加した。

名古屋市のマッピング結果：https://www.google.com/maps/d/edit?mid=zRO_BRu9Lu7k.k-ZgdbjzAIYY

(h) 建設解体現場での石綿含有建材の取り扱い状況調査

5 自治体での調査では、計 317 現場を訪問し、そのうちの 106 現場で解体作業が行われており、19 現場 18%で石綿含有建材が散水なしで破碎されていた。結果を表 3-17 に示す。

表 3-17 石綿含有建材の取扱い状況の調査結果

	訪問数	解体件数	問題件数	問題率(%)
石巻市	27	11	6	54.5
葛飾区	70	26	6	23.1
江東区	78	26	3	11.5
名古屋市	79	17	3	17.6
神戸市	63	26	1	3.8
Total	317	106	19	17.9

本調査で発見された石綿含有吹付け材は予想外に少なく、採取できた吹付け材 82 試料のうち 6 試料に石綿含有が認められ、1 試料がクリソタイル含有吹付けロックウールであった。阪神淡路大震災と比較して吹付け石綿が少ないと考えられるが、その理由は、①阪神淡路大震災は吹付け石綿の禁止から 20 年後であり、それらが多く残されていたため、②クボタショック(2005 年)を経て公共施設の吹付け石綿の多くは除去されたため、また③被災地で鉄骨造等の中規模の建物が建築されたのが主に 1980 年以降だったため、等が考えられる。また阪神淡路大震災以降に大気汚染防止法が改正され規制が強化されたことにより、今回の震災では、当初から各自治体は把握に努め、確認されたものは専門業者により除去工事が行われた。石巻市では建物調査を調査会社に委

託し、吹付け耐火被覆が発見された場合は専門の除去業者に除去を発注している。また気仙沼市では石綿含有吹付け材が発見された建物の解体工事は中止、先送りされた。この点は阪神淡路大震災後の復旧の過程で吹付け石綿が除去されずに多くの建物が解体された状況から改善した点といえる。少なくとも吹付け材については注意が払われ、対策工事が行われたと考えられるが、一方で厚生労働省による被災地での調査ではレベル1、2の石綿除去工事の16%で漏洩があったことが報道されており、除去時の課題もある。

成形板については、吹付け材と比較して成形板は種類も数量も多く、アスベスト除去業者ではなく一般の解体業者や施工業者が取り扱い、届出義務がなく、また「非飛散性」とも呼ばれることから、被災地に限らず対策が採られていないことがこれまでも指摘されている。津波被災地は漁港や港湾地域であり、水産加工の工場、倉庫、工場が多いため波板スレート等のスレート系の成形板が大量に使用されている。1995年には輸入された石綿の60%以上がスレート板に使用されており、この対策は重要である。規模の大きな自治体では、2011年度中にながれき仮置き場にアスベスト含有建材専用の置き場所を設置しているが、自治体へのアンケート調査では、ながれき処理の終了まで、全く認識がなかった自治体も4割を占める。

実際の解体現場では、対策は吹付けアスベストと比べて遅れをとり、必ずしも十分な対策が採られなかった。明らかにアスベスト含有の波板スレートを破砕するような成形板についての不適切な工事はしばしば見受けられた。作業者に話を聞くと、アスベスト含有の認識なく工事を行っていることがほとんどであった。保護具も着用していないことが多く、作業者の曝露の可能性は高かったと判断される。成形板としては、スレート板の他にケイ酸カルシウム板、ロックウール吸音板、石膏ボード、床用ビニルタイル、床用ビニルシート、窯業系サイディング、押出成形板スラグ石膏板等、ほとんど全ての種類の石綿含有成形板が被災地でもみられた。

木造住宅については、スレート板の一種であるアスベスト含有の住宅屋根用化粧スレートが関東以西ではよくみられるが、東北地方では積雪との関係から金属製の屋根材が使用されることが多く、アスベスト含有建材は少ない。しかし木造住宅でも屋根(住宅屋根用化粧スレート等)、壁(窯業系サイディング等)、軒天(ケイ酸カルシウム板等)のように外装材全てにアスベスト含有している可能性もあり、事前調査も含めて対策は十分とはいえない。また住民の石綿含有建材の知識はマスコミ情報によるものが多く、身近な石綿含有建材についての知識を持っている人は少ない。

作業員へのアンケート調査結果から、アスベスト含有建材の取り扱いでは、63.5%が散水をしているものの破砕せずに除去は25%にすぎず、重機で破砕も7.7%あった。防じんマスクの着用と特殊健康診断も十分に実施されていない実態が明らかになった。自治体へのアンケート調査結果でも、約半数の自治体は成形板等のアスベスト含有建材の存在を知らないか、把握していない。

本調査では建物を外から観察してアスベスト含有の可能性のある建材を見つける方法でマッピングし、試料の採取が可能な場合は写真を撮り試料を採取した。建物の内部に入ることは危険であり、水没している個所もあり、屋根裏、煙突、機械室、屋上等アスベスト含有建材の使用の可能性が高く、通常の調査で確認しなければならない場所へのアクセスが制限される。被災後の建物調査には限界がある。自治体へのアンケート調査でも、調査が必要と回答した自治体は半数以上にのぼった。震災の発生前に調査を実施することにより、建物に潜在するリスク要因を知り、震災後の石綿対策が迅速かつ円滑に行われることが期待される。

本研究ではマッピングという方法によって、被災地の波板スレートの所在地を確認した。波板スレートは最も生産量の多い石綿含有製品であり、主な成形板生産量の35%を占め、災害時には

これらが飛散リスク源となり、さらに石綿含有廃棄物となる。マッピングによって場所を確認することは、解体工事での対策を促す意味で、またこの活動に住民が参加することによって石綿含有建材への注意喚起の意味で効果があると考えられた。石巻市では吹付け材の約 10 倍の 157 棟の波板スレートの建物が確認された。その後 2012 年に把握された波板スレートの建物について 2014 年にフォローアップ調査を実施したが、約 2/3 が残されており、約 1/3 で石綿含有の古いスレートと石綿非含有の新しいスレートが混在する状況がみられた。これらの建物が解体される際に混在している情報がなければ、適切に対策工事がとられない可能性がある。また調査の中で破碎された石綿含有スレート板が大量に放置されている場所があった。人や車が入れる状況であったため、ABS(Activity Based Sampling)として、人が歩行する場合と車が走行する場合を想定して気中石綿濃度測定を実施し、石綿の飛散がみられた。津波で損傷をうけた石綿含有建材による影響は 4 年後でも終了しておらず、今後も注意する必要がある。

Google マップを利用したマッピングは試行段階ではあるが、現地でのマッピングと比較して若干の過小評価の傾向があるものの、調査区域の波板スレートを使用した建物の所在地、棟数、スレートの重量を把握することができる可能性がある。災害時のリスク低減と石綿含有建材廃棄物の発生量予測に役立つと思われる。

被災地の調査によって成形板等のレベル 3 建材への注意が払われず、対策が不十分であることが懸念されるため 2014 年度の調査では、5 自治体を対象に建設解体現場での石綿含有建材の取り扱い状況を調査した。その結果約 18%の現場で石綿含有成形板が散水等の飛散防止対策がとられず、破碎されていることがわかった。最も問題工事の割合の高かったのは石巻市の 54.5%で、最も低かったのは神戸市の 3.8%であった。石巻市は大気汚染防止法の政令市ではないことから、市に石綿に関連する業務がない。神戸市は大気汚染防止法の政令市であり、かつ兵庫県条例によりレベル 3 建材についても解体時の届出を義務付ける条例があり、神戸市もこれにより日常的にレベル 3 建材の解体時の監視を実施している。他の 3 自治体は大気汚染防止法の政令市であるが、条例はない。この結果から解体事業者が対策をとることは自治体の監視の程度によることが示唆された。

(2) 石綿含有建材目視判定法の検討

(a) 災害廃棄物中の石綿含有建材プロフィール作成

調査を通じて被災地で採取した成形板等レベル 3 建材 15 種類について、それぞれ石綿含有と非含有の試料を選び、現場写真、デジタルカメラでの接写写真、実体顕微鏡写真、偏光顕微鏡写真および特徴を示したシートを作成しプロフィールとした。

(b) 石綿含有建材判定研修の実施

前項のプロフィール作成の過程でこれを利用して、また実際の石綿含有建材とルーペ、デジタル顕微鏡等を使用して 30 分程度の研修コースを作成し、地域住民向けに 5 回、石巻市主催の石綿作業特別教育で 4 回、東京労働安全衛生センター主催の石綿作業主任者技能講習で 4 回実施した。延べの受講者は 400 人以上であった。

(c) 被験者による判定試験

石綿含有建材判定研修を受けた5人の被験者に対して、10種類、22試料の成形板等の石綿含有の有無の判定試験を実施した。使用したルーペはVixen 3-15倍。結果を表3-18に示す。

表 3-18 5人の被験者による判定試験結果

	正解率(%)	FP (%)*	FN (%)*
波板スレート	100	0	0
平板スレート	90	20	0
ケイ酸カルシウム板	66.7	50	0
スラグ石膏板	60	80	0
窯業系サイディング	90	0	20
石膏ボード	50	60	40
押出成形板	90	20	0
岩綿吸音板	40	80	60
ビニル床シート	50	80	20
ビニル床タイル	40	60	60
平均	68	45	20

* FP : False Positive、FN:False Negative。

(d) 特別教育等での研修

昨年度作成した石綿含有建材プロフィールを整理して講習会用テキスト「石綿含有建材の見分け方」を作成した。テキスト作成では被災地の調査の協力者数名の作業グループを作り、採取した試料を再検討した。宮城県、福島県、東京都、神奈川県で開催された作業員向け石綿作業特別教育、作業主任者技能講習の際に、このテキストと石綿含有建材とルーペ、デジタル顕微鏡等を使用して30分程度の研修コースを実施した。研修コース実施後に受講者を2~7人のグループに分け、ブラインドサンプル4試料の判定試験を実施した。判定試験の結果を表3-19に示す。

表 3-19 研修後の判定試験結果

建材	石綿含有	正答率	FN	FP
平板スレート	あり	94	6	27
平板スレート	なし	73		
窯業系サイディング	あり	91	9	29
窯業系サイディング	なし	71		

(e) 被災した建物調査での迅速判定法の応用

2013年11月8~10日、福島県南相馬市小高区でマッピングと建材調査を実施した際に迅速判定法により現場で含有の有無を判定し記録した。農村地域であり、木造一戸建ての住宅が大部分であることから、木造住宅に使用される、屋根材では住宅屋根用スレート、外壁材は窯業系サイディング、軒天はフレキシブル板またはケイ酸カルシウム板の使用の有無を記録した。住宅屋根用化粧スレート1件、窯業系サイディング27件、けい酸カルシウム板31件、波板スレート1件

が確認された。鉄筋または鉄骨造の建物はなく、吹付け材や断熱材は見られなかった。脱落して採集可能な建材9点を採取し、現場で目視とルーペにて含有の有無を判定し、そのうち5点がアスベスト含有と判定された。持ち帰った試料を偏光顕微鏡(ISO22262-1の方法)によりアスベスト含有の有無を分析したところ、目視判定の結果は7点正解、1点が含有ありをなしとし、1点が含有なしをありとしていた。

(f) 建材を使用した教材作成とその利用

解体作業従事者への特別教育を通じて、現場作業者が石綿含有建材の知識をもち、石綿含有の有無をある程度判断できる能力をつけることが現場でのリスクアセスメントにつながり、対策をとりやすくすることが分かった。そのために「石綿含有建材の見分け方」の石綿含有建材の施工状態の写真、接写した写真、実体顕微鏡写真、偏光顕微鏡写真等の画像とあわせて特徴をまとめたプロファイルおよび実際の建材試料をセットにした教材を作成し、研修等で利用した。プロファイルは報告書巻末に参考資料として添付した。

(g) 建設労働者を対象とした安全衛生研修

2014年11月13日に全国建設労働組合総連合東京都連合会の協力によって19名の建設労働者を対象に安全衛生研修を実施し、安全衛生活動の一環として石綿含有建材の目視判定法の講習を実施した。その際にセメント系建材3種類の判定試験と目視判定法の利点と活用方法を小グループ討論で検討した。判定試験は全てについて正答率78%であった。利点と活用方法の結果は表3-20に示す。

表 3-20 目視判定法の利点と活用方法についてのグループ討論結果

	利点と活用方法
グループ 1	現場にサンプルとルーペを持っていく
	自分たちで判断でき、対策がとれる
	表示する
グループ 2	元請けから「石綿はない」と言われても反論できる
	現場に冊子とルーペを持っていく
	仲間に伝える
グループ 3	情報を蓄積し対策をとる
	鑑定士の養成

石綿含有建材の目視判定法については、講習会用テキスト「石綿含有建材の見分け方」を作成し、これらを使用して作業員への研修を実施し精度を評価した。テキスト作成の過程において作業グループで検討した結果、主な対象をセメント系建材とけい酸カルシウム板の5種類に絞り、含有のパターンを「繊維なし」「石綿繊維のみ含有」「代替繊維含有」「石綿繊維と代替繊維含有」に分けて複数のパターンを示すこととした。テキストを使用した研修コースを2013年度は13回実施し、338人が受講した。判定試験は平板スレートの有無ありとなし、窯業系サイディングの有無ありとなしの計4試料を課題とし、34グループから回答を得た。含有ありの建材の正答率は

2つの建材ともに90%以上となったが、含有なしの建材の正答率は70%程度であった。これらは比較的判定が容易な建材であり、テキストで使用した、複数の繊維を含む建材では正答率は下がると思われる。

被災地での現地調査にテキスト作成に参加した作業グループが目視判定法で判定をしながら石綿含有建材のマッピングを実施した。正答率は78%でFalse Negativeは20%、False Positiveは25%であった。誤判定の建材はいずれもけい酸カルシウム板であった。False Negativeの建材は石綿代替繊維が少なくとも1種類とクリソタイルを含んでおり、クリソタイルの含有が少なく、かつ細かく粉砕されているためにルーペで確認することができなかった。False Positiveの建材は少なくとも2種類の石綿代替繊維が入っており、1種類の代替繊維が細く繊維の塊のように見えることからクリソタイルと誤認された。作業グループの参加者は目視判定に習熟しているが、それでも難しい試料があることが分かった。

目視判定法はスレート板等のセメント系建材の比較的解析が容易な建材ではFalse Negativeは少なく10%以下となる可能性があるが、けい酸カルシウム板で複数の繊維を含有する建材では、ルーペによる判定は難しいものもある。

本研究を通じて、現場の作業員への注意喚起と対策を容易にすることが重要と思われたため、教材として「石綿含有建材の見分け方」の作成と改良を試み、実際の建材試料と合わせた教材を作成し、これを利用して、建設労働者向けの安全衛生講習に目視判定法を取り入れて実施した。建設業では重層下請け構造があり、実際の解体の現場作業は小零細企業が行うことが多い。法的な規制と同時に小零細企業への技術的な支援も必要と思われた。

被災地の解体作業に従事した作業員のアンケート調査から、現場の作業員が石綿含有の疑いがある建材を解体する場合であっても、湿潤化と非破砕除去が行われないことが多いことが分かっている。作業員が目視で石綿含有建材を判定できることは、現場の労使のイニシアティブによって対策をとることができる可能性を広げる。また労働者教育によって、石綿含有建材の種類と石綿のリスクを適切に伝えることと合わせて現場でのリスクアセスメントとして目視判定法を位置付けることが重要と思われた。

3.3 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発

地震動による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果を図3-7、表3-21に示した。吹付け石綿を除く10建材合計の推定値は、構造別原単位で約17,200トン、用途別原単位で約16,600トンであった。

津波による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果は、10建材合計・住宅用途で、3,200トンであり、地震動による発生量の2割程度と推定された。

表 3-21 地震動による石綿含有建材の廃棄物発生量推定結果(単位：トン)

	スレート 波板	スレート ボード	ケイカル 1種	ケイカル 2種	押出成形 品	
構造別	2,005	3,158	765	5	678	
用途別	3,120	3,110	761	7	1,141	
	パルプ セメント板	スラグ 石膏板	サイディング	住宅屋根 スレート	岩綿吸音 天井板	吹付け 石綿
構造別	270	376	942	8,569	428	21
用途別	675	375	570	6,644	239	-

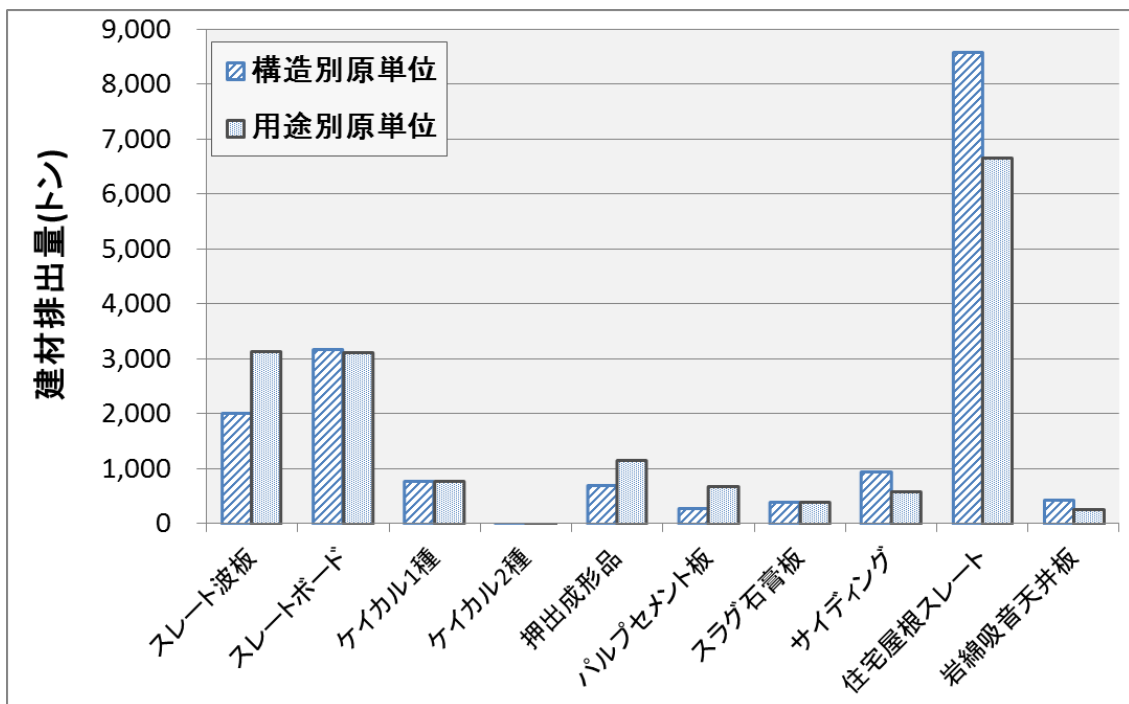


図 3-7 廃棄物発生量の推定結果

結果の検証のため、既往研究による原単位を用いて、震災廃棄物発生量を推定した。用いた原単位と結果を表 3-22 に示した。木くず、金属くずについては、いずれの発生量推定結果も、実際の処理量とおおむね一致した。一方、コンクリートがらについては、どの原単位においても推定結果は、実際の処理量よりも大きかった。本研究で用いた被害関数よりも実際の建物被害が小さかったことが、内閣府²⁸⁾により指摘されており、建築物の耐震化が進展したことを反映したものと考えられた。

表 3-22 既往研究の原単位を用いた災害廃棄物発生量推定結果

用いた原単位	木くず	コンクリートがら	金属くず
橋本ら ²⁴⁾	27.4 万トン	164 万トン	5.5 万トン
東京都 (島岡ら ²⁵⁾ より)	30.0 万トン	126 万トン	6.2 万トン
東京都がれき処理マニュアル (調布市 ²⁶⁾ より)	23.6 万トン	162 万トン	10.3 万トン
長岡ら ²⁷⁾	20.5 万トン	136 万トン	9.1 万トン
仙台市処理量実績	19 万トン	78 万トン	7 万トン

3.4 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査

(1) 二次処理工程における石綿飛散調査結果

(a) 破碎・選別工程における石綿飛散調査

測定結果を表 3-23 に示す。比重差選別装置近傍では 4.8~24 本/L の総繊維数濃度が測定され、最も高い濃度となった。次いで、破碎装置近傍の濃度が高く、3.6~13 本/L であった。敷地境界では、いずれも総繊維数濃度が 1.3~2.6 本/L であり、総繊維数濃度が敷地境界の石綿繊維数濃度の基準の 10 本/L 以下となった。比重差選別装置、破碎装置、敷地境界のいずれの濃度も 1 日目の午後が最も低く、2 日目の午前、午後では濃度が上昇する傾向となった。

表 3-23 総繊維数濃度分析結果一覧(単位：本/L)

	比重差装置	破碎装置	敷地境界 1	敷地境界 2
1 日目午後	4.8 (45 / 61)	3.6 (66 / 60)	1.6 (31 / 35)	1.3 (125 / 54)
2 日目午前	23 (162 / 143)	12 (228 / 119)	2.0 (113 / 122)	1.7 (52 / 58)
2 日目午後	24 (95 / 389)	13 (142 / 177)	2.6 (65 / 95)	1.4 (52 / 58)

※ ()内はデジタル粉じん計の値(開始時 / 終了時)で単位は cpm。

総繊維数濃度が高くなった 2 日目午前と午後の比重差選別装置近傍、破碎装置近傍の 4 試料に対して石綿の定量分析を行った結果を表 3-24 に示す。総繊維数濃度は上昇したものの、全てのサンプルにおいて石綿繊維数は 0 本であり、石綿繊維濃度は全て 3.9 本/L 未満という結果であった。これより、今回の調査期間では、繊維状物質は飛散しているものの、石綿の飛散は確認されなかった。

表 3-24 破碎・選別設備近傍における飛散石綿定量分析結果

調査箇所名	捕集日時	フィルター 直径	採取 ガス量	計数アスベスト 繊維数	アスベスト繊維 濃度
		mm	L	本	本/L
比重差選別近傍 (2回目)	H25.2.28 10:00~11:30	25	90	0	3.9 未満
比重差選別近傍 (3回目)	H25.2.28 13:00~14:30	25	90	0	3.9 未満
破碎機近傍 (2回目)	H25.2.28 10:00~11:30	25	90	0	3.9 未満
破碎機近傍 (3回目)	H25.2.28 13:00~14:30	25	90	0	3.9 未満

備考 1：結果は、空気 1 リットルあたりの繊維数の本数を示す。

備考 2：顕微鏡計数視野面積は、0.0097 mm²である。

備考 3：参考までに、空気中の石綿に係る基準を以下に示す。

10 本/L 大気汚染防止法施行規則第 16 条の 2(特定粉じん発生施設に係る敷地境界基準)

0.15 本/cm³(150f/L)作業環境評価基準に定める管理濃度

(b) 振動ふるい選別工程における石綿飛散量調査

測定結果を表 3-25 に示す。敷地境界での総繊維数濃度は PCM 法が 0.064 未満～0.52 本/L、A-SEM 法では 0.091～0.86 本/L という結果であった。振動ふるい上部では、総繊維数濃度が高くなり、2.93～5.70 本/L(PCM 法)、3.83～7.12 本/L(A-SEM 法)となり、コンベア落下点では、2.93～6.32 本/L(PCM 法)、5.75～7.12 本/L(A-SEM 法)という結果となった。石綿は全てのサンプルで計測されず、検出下限未満となった。これは、災害廃棄物自体の含水比が高めであったことと、破碎施設のように建材自体を粉砕する行為が無いことが原因と考えられ、振動ふるい等の選別処理では石綿飛散リスクが小さい可能性が示唆された。

表 3-25 総繊維数濃度ならびに石綿分析結果一覧

調査日	試料名	採取時間	総採取 ガス量	総繊維		繊維の種類(一部)		
				PCM	A-SEM	A-SEM 法		
						クリソタル	アモイト	その他
L	本/L							
1 日目	敷地境界 A	7 時間	4200	0.32	0.86	< 0.078 (0)	< 0.078 (0)	0.86 (11)
	敷地境界 B	7 時間	4200	0.064 未満	0.15	< 0.078 (0)	< 0.078 (0)	0.15 (2)
	ふるい上	10 + 11 分	105	2.93	7.12	< 1.18 (0)	< 1.18 (0)	7.12 (6)
	コンベア下	10 + 11 分	105	2.93	7.12	< 1.18 (0)	< 1.18 (0)	7.12 (6)
2 日目	敷地境界 A	6 時間	3600	0.30	0.091	< 0.091 (0)	< 0.091 (0)	0.091 (1)
	敷地境界 B	6 時間	3600	0.22	0.18	< 0.091 (0)	< 0.091 (0)	0.18 (2)
	ふるい上	11 + 9 分	100	3.08	4.99	< 1.24 (0)	< 1.24 (0)	4.99 (4)
	コンベア下	11 + 9 分	100	4.10	6.23	< 1.24 (0)	< 1.24 (0)	6.23 (5)
3 日目	敷地境界 A	7 時間	4200	0.25	0.78	< 0.078 (0)	< 0.078 (0)	0.78 (10)
	敷地境界 B	7 時間	4200	0.19	0.63	< 0.078 (0)	< 0.078 (0)	0.63 (8)
	ふるい上	8 + 10 分	90	5.70	4.15	< 1.38 (0)	< 1.38 (0)	4.15 (3)
	コンベア下	8 + 10 分	90	4.56	6.93	< 1.38 (0)	< 1.38 (0)	6.93 (5)
4 日目	敷地境界 A	6 時間	3600	0.52	0.73	< 0.091 (0)	< 0.091 (0)	0.73 (8)
	敷地境界 B	6 時間	3600	0.22	0.64	< 0.091 (0)	< 0.091 (0)	0.64 (7)
	ふるい上	13 分	65	4.74	3.83	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	3.83 (2)
	コンベア下	13 分	65	6.32	5.75	< 1.91 (0)	< 1.91 (0)	5.75 (3)

※ 繊維の種類のカッコ内は、計数された繊維の数を示す。

(2) ふるい選別処理物に対する石綿含有建材の混入量調査

振動ふるい選別機に入るロット全量から板状建材を抜き出し、全ての板状建材について目視確認、ならびにアスベストアナライザーによって石綿含有判定を行った。厚さ数 mm の薄層建材は目視判定によって容易に検出できるが、厚さが 10 mm を超える珪酸カルシウム板等については目視判定によって石綿の有無を判定するのは困難であり、石綿含有無しと判定された。これらの内、アスベストアナライザーで石綿あり判定となった建材 25 種に対して定性分析を行った結果を表 3-26 に示す。アスベストアナライザーの結果と定性分析結果はクリソタイルについては全て一致しており、アスベストアナライザーでアクチノライト含有と判定された試料については、定性分析で含有せずという判定となった。これより、厚さ 10 mm を超える建材中の石綿の有無を目視判定することは難しいが、アスベストアナライザーを用いることで概ね全量の検出が可能となることが示唆された。また、定性分析であり判定となった建材の内、5 試料について石綿含有量の定量分析を行った。石綿濃度の結果を表 3-27 に示す。また、それぞれの建材を図 3-8 に示す。写真からもわかるように明らかに石綿を含有している建材とは異なる厚さや材料であり、これらについては、目視判定で見落としがちな建材といえる。また、これら建材中の石綿濃度は 4.3～8.9% と比較的大きく、十分に気を付けなければならない建材であったことも明らかとなった。

表 3-26 石綿含有無しと目視判定された建材の定性分析結果

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の結果
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)
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 3-27 石綿含有建材の定量分析結果

試料名	石綿濃度(%)	石綿種類
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



(c) 難-9-2



(d) 難-14-1



(e) 難-16-2

図 3-8 定量分析を行った板状建材の外観

定性分析によって石綿ありと判定された板状建材の重量を測定することで、振動ふるい選別機に入る 1 ロットに含まれる石綿含有建材の割合を計算することができる。1 ロット当たりの重量と板状建材の重量、石綿含有建材の重量と含有率を計算した結果を表 3-28 に示す。難判定となった建材は、アスベストアナライザーならびに定性分析によって全て石綿含有と判定されたため、含有建材の合計は目視判定と難判定建材を足した値となっている。また、投入ロットは 3 回に分けて実施した。1 ロット当たりの投入量は概ね 160~200 kg 程度であり、板状建材の量は 1.8~2.7 kg 程度である。混合廃棄物となっている災害廃棄物中には板状建材が重量比で 1.1~1.3%程度含まれていることになる。含有建材の合計量は 0.16~0.27 kg 程度であり、投入廃棄物に対して 0.10~0.13%程度が石綿含有建材となることが計算された。板状建材を母数として考えると、板状建材の内、約 10%が石綿含有建材となる。ある被災地の二次処理場では、全ての石綿含有建材を手選別ラインで除去することが出来ないと判断して、板状建材の全てを除去する方法が採用されていた。安全側の考え方としては正解であるが、今回の調査結果が石綿含有建材の平均的な存在率であると考えると、板状建材全てを除去すると最終処分量が 9 倍程度増加することになる。手選別ラインの速度で先程のような厚さのある建材中に含まれる石綿の有無を判定することは難しいため、現実的には全ての板状建材を抜き出すことは妥当な考え方であるといえる。

表 3-28 災害廃棄物中に含まれる石綿含有建材の存在量調査結果

ロット	投入廃棄物量	板状建材量	目視判定石綿含有建材量	難判定の石綿含有建材量	石綿含有建材の総量
1	166.2 kg	1.795 kg (1.08 %)	0.085 kg	0.080 kg	0.165 kg (0.10 %)
2	205.9 kg	2.670 kg (1.30 %)	0.200 kg	0.070 kg	0.270 kg (0.13 %)
3	165.8 kg	1.900 kg (1.15 %)	0.020 kg	0.180 kg	0.200 kg (0.12 %)

※ ()内の数値は投入廃棄物に対する存在率

振動ふるい選別機の下部土壌と、手選別作業場の下部土壌の2種類について定性分析を行った結果について表 3-29 に示す。フラクシオンは4種類に分類し、それぞれの粒径フラクシオンに対して実体顕微鏡による繊維の有無判定、位相差偏光顕微鏡による石綿の有無判定を行った。なお、2.0 mm 未満のフラクシオンについては JIS A 1481 による分析も実施した。作業場下土壌の 2.0 mm 未満で繊維が無しと判定されたが、他のフラクシオンでは全て繊維が確認された。しかしながら、位相差偏光顕微鏡による石綿判定を行った結果、全ての繊維が石綿ではないことが明らかとなった。これより、災害廃棄物には石綿含有建材の含有が認められるが、大気中への飛散ばかりでなく、土壌への石綿の蓄積も無かったこととなり、人への石綿暴露のリスクはかなり小さい状況であると考えられる。

表 3-29 土壌中の石綿含有に対する定性評価結果

試料名	項目	フラクシオン			
		2.0 mm 未満	2.0~4.75 mm	4.75~6.3 mm	6.3 mm 以上
振動ふるい下の土壌	重量(g)	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 (繊維の有無)	有り	有り	有り	有り
	位相差偏光顕微鏡判定 (石綿有無)	無し	無し	無し	無し
	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 による 分析結果	石綿含有せず	—	—	—
作業場下の土壌	重量(g)	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 (繊維の有無)	無し	有り	有り	有り
	位相差偏光顕微鏡判定 (石綿有無)	—	無し	無し	無し
	非アスベスト繊維	—	特定できず	有機繊維	有機繊維
	JIS A 1481 による 分析結果	石綿含有せず	—	—	—

3.5 石綿含有成形板解体除去時の石綿飛散量の検討

(1) 破碎実験の結果

(a) 成形板のかさ比重と石綿含有率

スラグ石膏板の粉じん計積算値は、フレキシブルボードの約 2 倍であった(表 3-30)。粉じん計積算値については、さらに石綿非含有のケイ酸カルシウム板の結果とも比較を行った結果、「ケイ酸カルシウム板>スラグ石膏板」>フレキシブルボードの順に粉じん飛散量が多かった。一方、

石綿の飛散本数は、フレキシブルボードがスラグ石膏板の約 1.7 倍であった(表 3-30)。

表 3-30 成形板の種類別の粉じんおよび石綿飛散量

成形板種類	粉じん計積算値*	石綿繊維飛散本数*
ケイ酸カルシウム板 (石綿非含有)	3,590±560 (n=6)	
スラグ石膏板	2,550±640 (n=5)	25,900±7,100 (n=5)
フレキシブルボード	1,160±340 (n=5)	43,800±12,600 (n=5)

* 平均値±標準偏差(n=測定回数)

粉じん計積算値の結果は、フレキシブルボード>スラグ石膏板>ケイ酸カルシウム板の順にかさ比重が小さく、かさ比重が低い成形板ほど破砕時の飛散率は高いとの予想を裏付けるものであった。なお、本研究では、ケイ酸カルシウム板については石綿非含有の新品のものを用いており、長年の使用により劣化が進行したケイ酸カルシウム板を破砕する場合、粉じん飛散量がさらに多くなる可能性がある。

石綿飛散本数は、かさ比重から予想される結果とは逆の結果であった。この理由として、フレキシブルボードの石綿含有率(19.8%)は、スラグ石膏板の石綿含有率(7.4%)の約 2.7 倍であったことがあげられる。石綿含有率の違いを考慮するため、石綿飛散本数を石綿含有率で割った値と比較すると、スラグ石膏板の値は、フレキシブルボードの値の平均 1.6 倍であり、スラグ石膏板の方が有意に($p=0.043$)飛散性が高いと評価された。

石井・吉野らによると²⁹⁾、石綿飛散量とかさ比重との回帰式は、下式のとおりである。

$$F = 245.1 \times \exp(-1.745 \times A) \quad (r^2 = 0.8755) \quad (3)$$

F: ボード 1 枚あたりの飛散量(10^5 本/枚)

A: かさ比重(g/cm^3)

この回帰式を本研究で用いたスラグ石膏板およびフレキシブルボードに適用して得られる比率は 1.7 倍となり、上記の値(1.6 倍)と近くなった。これらの結果より、石綿繊維の排出量は成形板の表面(注:「おもてめん」ではなく、「ひょうめん」)に露出した石綿量に比例し、かつ、かさ比重が小さいほど飛散割合は高いことが示唆された。

(b) 破砕時のエネルギー

図 3-9 に異なる破砕エネルギーでの石綿飛散量を示した。錘の落下高さ 30 cm (成形板 1 m^2 あたりの破砕エネルギー $E_{\text{part}}=184 \text{ J}/\text{m}^2$)での石綿飛散量は、高さ 45 cm ($E_{\text{part}}=276 \text{ J}/\text{m}^2$)および 75 cm ($E_{\text{part}}=459 \text{ J}/\text{m}^2$) での石綿飛散量よりも、有意に低かった($p < 0.01$)。一方、高さ 45 cm と高さ 75 cm との間には、石綿飛散量に有意な違いは見られなかった($p = 0.969$)。成形板面積(片側) 1 m^2 および破砕エネルギー 1 J あたりの石綿飛散本数(石綿飛散係数)は、破砕エネルギーが $184 \text{ J}/\text{m}^2$ から $276 \text{ J}/\text{m}^2$ にかけて $4.4 \times 10^5 \text{ f}/(\text{m}^2 \text{ J})$ から $6.5 \times 10^5 \text{ f}/(\text{m}^2 \text{ J})$ に増加したが、 $459 \text{ J}/\text{m}^2$ においては $3.8 \times 10^5 \text{ f}/(\text{m}^2 \text{ J})$ へと減少した。

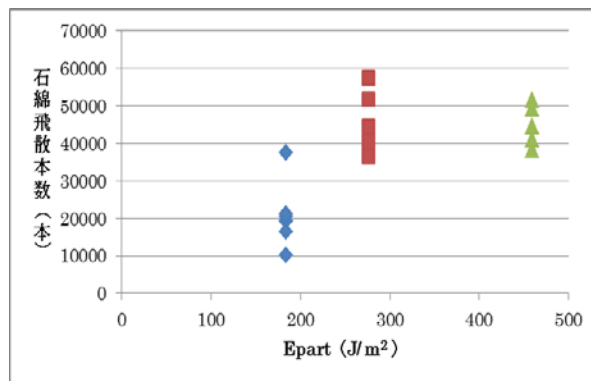


図 3-9 破砕エネルギーの増加に伴う石綿飛散量の変化

本実験での石綿飛散係数は、Pastuszka らの実験³⁰⁾による長繊維(L > 5 μ m)の飛散係数の平均値 5.1×10^3 f/(m² J) に比べ、約 100 倍大きかった。両者の排出係数の違いの要因としては、建材の破砕の有無および建材のかさ比重の違いが考えられる。Pastuszka らの用いた建材のかさ比重は平均 2.2 g/cm³ であるのに対し、本実験で用いたスラグ石膏板のかさ比重は 1.6 g/cm³ であり、本実験の方が飛散性が高いと推察される。Pastuszka らの実験では、建材の単位面積あたりに与えたエネルギーは 14~36 J/m² であり、建材を振動させるのみであったのに対し、本研究では建材の単位面積あたりに与えたエネルギーは、180~460 J/m² であり、建材を破砕した。Pastuszka らは、振動と破砕との比較もしており、建材に振動を与えた際の排出係数は 3.1×10^3 f/(m² J) であったが、この建材を破砕した際の排出係数は 2.0×10^4 f/(m² J) に急増した。

これらの結果から、建材に与える機械的エネルギーと石綿飛散本数との間には、次のような S 字曲線の関係があると推察した。面積あたりの機械的エネルギーが小さく、建材が破砕しない範囲においては、石綿の飛散量は機械的エネルギーの増加に伴って増加する。面積当たりの機械的エネルギーが、建材の破砕を伴う程度の大きさになると、石綿の飛散量は急増する。面積あたりの機械的エネルギーが、建材の破砕や振動として吸収可能なエネルギー量を超えると、追加のエネルギーが余剰となり、石綿の飛散量は頭打ちとなる。

ただし、上記の仮説を立証するためには、本実験の破砕条件数では不足しており、今後さらなる検討を行うことが必要である。

(c) 成形板の湿潤化

スラグ石膏板からの石綿飛散量は、湿潤化なしに比べ、表のみ湿潤化では約 50%減少し、裏のみ湿潤化では 95%以上減少し、両面湿潤、全体湿潤がこれに続いた(図 3-10)。フレキシブルボードにおいても、湿潤化なしに比べ、裏のみ湿潤化では、石綿飛散量が 90%以上減少した(図 3-11)。成形板の吸水率は、全体湿潤が最も高く、両面湿潤、裏のみ湿潤化が続き、表のみ湿潤化は、最も低かった(表 3-31)。これは、本実験で用いたスラグ石膏板の表面には平滑加工処理がなされており、原料がむき出しとなっている裏の方が吸水率が高かったためと考えられる。

これらの実験結果は、成形板の裏を湿潤化する方が、表を湿潤化するよりも、石綿繊維飛散抑制効果が大きいとの予想を支持した。

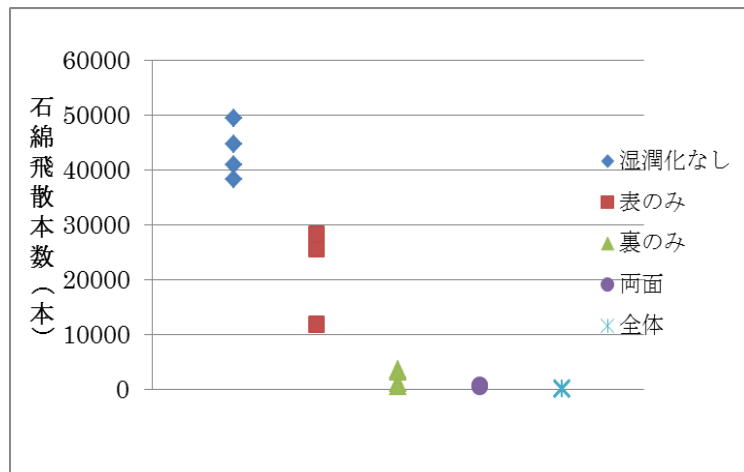


図 3-10 湿潤化方法と石綿飛散本数(スラグ石膏板)

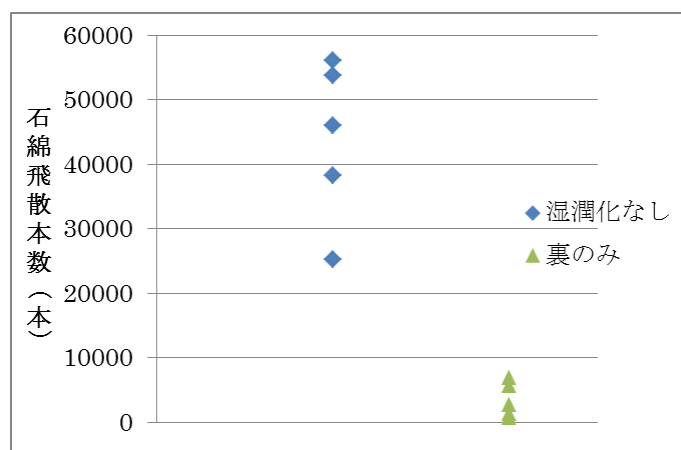


図 3-11 湿潤化方法と石綿飛散本数(フレキシブルボード)

表 3-31 各条件の吸水量および吸水率

成形板	湿潤化方法	吸水量(g/cm ²)	吸水率(%)
スラグ石膏板	表のみ	123	1.29
	裏のみ	461	4.96
	両面	509	5.59
	全体	1210	13.30
フレキシブルボード	裏のみ	166	2.31

(d) 養生テープによる被覆(粉じん発生源の部位別寄与の推定)

成形板を破碎した際に発生する粉じんの部位別寄与の推定結果を表 3-32 に示した。総粉じんのうちの約 6 割が成形板裏からの飛散であると推計された。破断面から飛散する粉じんは全体の 2 割弱と推定された。被覆による部位別寄与の推定結果は、建材裏面からの粉じん飛散量が最多であるという点では、湿潤化条件での破碎実験結果と定性的に一致した。

しかし、「裏のみ湿潤化」を行うと粉じん飛散量が 8 割以上減少しており、湿潤化条件での破碎実験の結果と、被覆による部位別寄与の推定結果とは、定量的には乖離が見られた。この理由と

しては、まず、成形板裏から吸い上げられた水によって側面や破断面の一部も湿潤化され、これらの部位からの粉じん飛散量も減少したことが考えられる。次に、湿潤化を行ったことによって成形板の強度が低下し、破砕時のエネルギーの一部が余剰となり、粉じん飛散に寄与しなくなった可能性も考えられる。

さらに、本研究において、同一種類の成形板を破砕する場合、粉じん計積算値と石綿飛散本数との間には正の相関があった(図 3-12)。このことから、石綿についても、破砕時の各部位からの飛散量は粉じんと同様に、裏からの寄与が大きいことが示唆された。

表 3-32 最尤法による各部位からの粉じん飛散量推定結果

	D _a (破断面)	D _b (表)	D _c (裏)	D _d (側面)	Σ Di
期待値 $m_{\bar{f}}$	487	563	1952	175	3177
標準偏差 $\sigma_{\bar{f}}$	119	281	732	51	
比率	15.3%	17.8%	61.4%	5.5%	100%

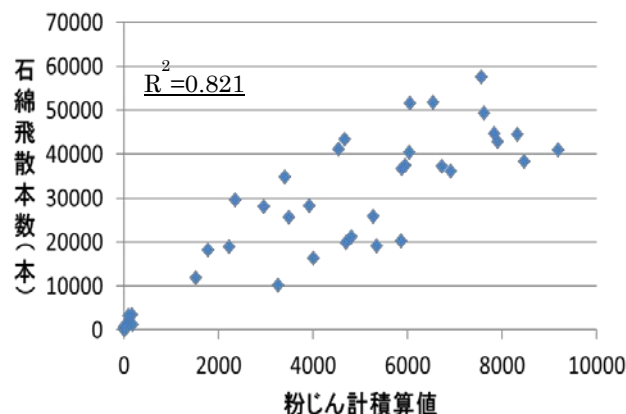


図 3-12 スラグ石膏板を用いた実験の粉じん計積算値と石綿飛散本数との関係

図 3-12 で示した通り、同一種類の石綿含有成形板を破砕した際には、石綿と粉じん飛散量との間に強い正の相関があった。したがって、実際の石綿含有成形板除去作業現場においても現場内に設置した粉じん計の値から作業環境中の石綿濃度の概数を把握できる可能性が示唆された。

(e) 成形板の面積・破断長の比率

成形板の面積と粉じん飛散量との間には有意な正の相関が見られた(図 3-13)。回帰直線の切片は 0 と有意に異ならなかった($p = 0.709$)。粉じんと石綿飛散本数の相関関係(図 3-12)より、石綿飛散本数についても、成形板の面積と比例すると推察される。(d)、(e)の結果を併せて考えると、破断面の大きさを代表する「破断長」ではなく、成形板裏の面積を用いることにより、粉じん・石綿飛散量の概数が把握できる可能性が示唆された。

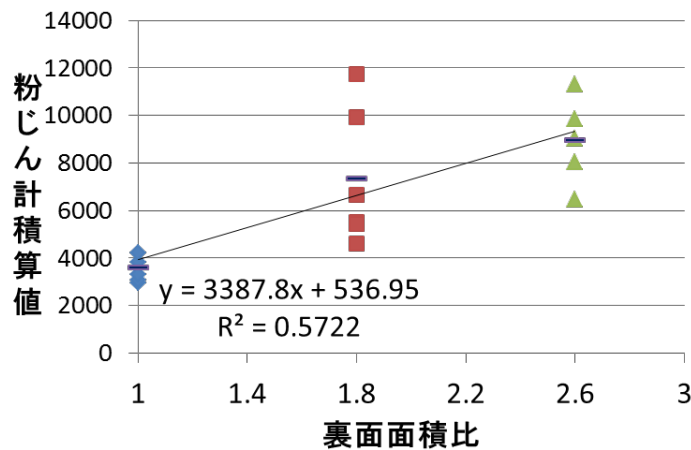


図 3-13 成形板裏面の面積比と粉じん飛散量

(2) 実際の石綿含有成形板除去現場における石綿濃度推定

湿潤化実験の結果から実際の除去現場での作業現場内の石綿濃度推定を試みた。推定には、全湿潤化条件を実施した石綿含有スラグ石膏板の結果を用いた。(1)(e)の実験結果から、石綿が成形板裏から飛散し、裏の面積に比例するものとして推定を行った。

- ・天井に成形板が使用されている場合

$$F = f \cdot \frac{A}{V} \cdot 1000 = \frac{1000 \cdot f}{H} \tag{4}$$

- ・壁に成形板が使用されている場合

$$F = f \cdot \frac{2(L+W) \cdot H}{V} \cdot 1000 = 2000 \left(\frac{1}{W} + \frac{1}{L} \right) f \tag{5}$$

F (fiber/L) : 除去現場における石綿濃度

f (fiber/cm²) : 成形板の単位裏面積あたりからの石綿飛散量

A (cm²) : 除去作業を行う部屋あるいは養生区域の天井面積

V (cm³) : 除去作業を行う部屋あるいは養生区域の容積

H (cm) : 除去作業を行う部屋あるいは養生区域の高さ

L (cm) : 除去作業を行う部屋あるいは養生区域の奥行き

W (cm) : 除去作業を行う部屋あるいは養生区域の幅

なお、式(5)は、居室の4面全てに石綿含有成形板が使用されているとした場合の推定式であるが、該当の石綿含有成形板が使用されている面の数によって数式を変化させることができる。例えば、居室の南側と東側のみに使用されているケースにおいては、式(5)の係数が1,000となる。

Hは日本における居室の高さの最小値2.1 mを用い、LおよびWは推定値の比較対象とする水嶋らの調査現場³¹⁾の値(7.2 m、6 m)を使用した。なお、壁の場合については、水嶋らの調査結果と比較するため、式(5)の計数を1,000として推定を行った(水嶋らの調査では測定現場となった部屋の北側側面および東側側面のみに石綿含有成形板が使用されていた)。

表 3-33 天井に使用されていた場合の推定結果

	湿潤化なし	表のみ湿潤化	裏のみ湿潤化	両面湿潤	全体湿潤
石綿飛散本数 最大値(本)	51,600	28,200	3,500	800	200
f(本/cm ²)	322.5	176.25	21.875	5	1.25
F(本/L)	1536	839	104	24	6

表 3-34 壁に使用されていた場合の推定結果

	湿潤化なし	表のみ湿潤化	裏のみ湿潤化	両面湿潤	全体湿潤
石綿飛散本数 最大値(本)	51,600	28,200	3,500	800	200
f(本/cm ²)	322.5	176.25	21.875	5	1.25
F(本/L)	985	538	67	15	4

天井の場合(表 3-33)は川端らの実測結果³²⁾と、壁の場合(表 3-34)は水嶋の実測結果とほぼ同程度の値となり、本推定結果の妥当性が確認された。実際の現場でも「表のみ湿潤化」のみでは不十分で、「裏のみ湿潤化」を行えば石綿濃度の基準値(150 本/L)を下回ることが確認された。したがって、除去現場において成形板裏への到達方法を工夫して成形板裏の湿潤化を行えば、大幅に現場内の石綿濃度を低減できる可能性が示唆された。ただし、成形板の石綿含有率が高い場合には「裏のみ湿潤化」では不十分であり、「両面湿潤」まで必要な可能性もある。また、アモサイトやクロソライト等の角閃石系石綿が含まれる場合、日本産業衛生学会によれば、許容濃度が30 本/Lとしている。したがって、角閃石系石綿が含まれる場合にも両面湿潤まで行う必要があると考えられる。

一方で、この推計式に関する課題もある。まず、成形板破碎時の石綿飛散本数しか求められない点が挙げられる。実際の現場では、破碎した成形板を天井の高さから床に落下させれば、その衝撃によってさらに成形板から石綿が飛散する可能性がある。また、床に落下した成形板を作業者が踏みついたり、箒等を用いて1か所に集めたりした際にもその作業によって石綿が再飛散する可能性が高い。これを解決するためには、これらによって破碎時の何倍程度の石綿が飛散するのかが把握できれば、推定式の結果にその比率を乗ずることによって概算できる可能性はある。一方で、根本からの解決として、このような状況を現場内で発生させなければ良いことであるので、廃棄物用の袋を持つ作業員を配置し、破碎除去した成形板をすぐにその袋に入れる等の工夫が考えられる。

次に、本推定式の仮定の問題である。前述の通り、成形板破碎時にはその裏からの石綿および粉じん飛散量が最も多いことから、全ての石綿や粉じんが成形板裏から飛散しているとみなして本推定式を立式した。しかしながら、成形板が破碎除去される場合、1枚の成形板における破碎数が多くなるほど断面積が増え、ここからの石綿および粉じん飛散量への寄与が大きくなって本推定式での推定結果との乖離が大きくなる可能性がある。

(3) 実際の作業現場における工法に関する一考察

本研究で明らかになった事実から、実際の石綿含有成形板除去現場における石綿飛散防止策についての一考察を行う。なお、下記は全て室内の天井や壁に使用されている石綿含有成形板を除去することを想定している。

現状では、レベル3建材である石綿含有成形板除去の際は、原形のまま手ばらしでの除去を原則とし、やむを得ず破碎除去する場合には成形板の湿潤化や空中への散水等を行うことがマニュアル等に記述されている。しかし、より飛散を抑制する作業提案を行い、マニュアルによって周知することが期待される。マニュアルでは上記のように記述されているものの、工期の制限や成形板の劣化等のより工具で破碎除去されるケースも見受けられる。また、湿潤化が不十分(除去前に成形板の表をわずかに湿らせた程度)であるために、作業現場内の石綿濃度が極めて高くなっているケースもある。時間(工期)やコスト、成形板劣化の問題から破碎除去をせざるを得ない場合もあるのが現状であると考え、その場合の最も効率的な石綿飛散防止策を検討するために本実験を行ってきた。

特に本研究で重点的に検討したのは湿潤化方法の違いによる成形板破碎時の石綿および粉じん飛散性である。ここでは湿潤化方法を中心に実際の現場への適用について考察する。

○成形板を湿潤化する部位について

本破碎実験で、「表のみ湿潤化」は石綿および粉じん飛散量を5割程度削減する効果にとどまることが明らかになった。実験結果を利用した実際の作業現場における石綿濃度推定結果も作業環境管理基準の基準値の数倍であった。これらの結果から、実際の現場でよく用いられる方法である「表のみ湿潤化」では石綿および粉じんの飛散抑制には不十分であると言える。

一方で、「裏のみ湿潤化」を行うと、本研究で用いた石綿含有スラグ石膏板では、石綿および粉じん飛散量が95%以上抑制された。作業現場内の石綿濃度推定結果も基準値を十分に下回っていた。したがって、実際の現場においても、成形板裏への到達方法を工夫し、除去する成形板の裏を湿潤化できれば石綿および粉じん飛散を大幅に低減できる可能性がある。具体的には、例えば上の階、隣の部屋等から天井裏や壁の裏側にアクセス可能であれば、そのルートを使って除去前に成形板の裏を湿潤化すれば良い。それが不可能な場合には、天井なら点検口、壁なら通気口や換気扇の部分等から、ホースや噴霧器のノズルを入れて成形板裏を湿潤化する方法が考えられる。それらが無い場合には、最初に1か所だけ必要最小限の穴を開け、そこから裏を湿潤化する方法が考えられる。さらに、裏の湿潤化を行った後で室内側の面も湿潤化を行えばより飛散防止効果があると言える。

以上より、成形板破碎除去時には成形板全体の湿潤化まで行わずとも、少なくとも裏を湿潤化すれば石綿および粉じん飛散量を大幅に低減できると考えられる。ただし、本実験での検証は厚さ6mm、石綿(クリソタイル)含有率7.4%の石綿含有スラグ石膏板を用いての結果であるから、前述の様に除去する石綿含有成形板の石綿含有率が高い場合や角閃石系石綿が含まれる場合等では、室内側からも成形板の表に湿潤化を行う(両面湿潤)必要があると考えられる。

○作業現場における石綿濃度の推定

本研究では、破碎実験の結果を利用し、実際の現場における石綿濃度の推定式を提案した(式(4)、式(5))。除去する成形板単位裏面積あたりの石綿飛散本数と部屋または養生区域の寸法が分かれば、

作業現場内の石綿濃度の概数を推定できるものであった。推定結果も実際の現場での測定結果とほぼ同程度であった。

したがって、湿潤化方法別、成形板の種類別に、そしてそれぞれ石綿含有率によって数段階に分けて成形板単位裏面積あたりの石綿飛散本数のデータベースを用意すれば、除去現場の寸法からそれぞれの工法を採った場合の作業現場内の石綿濃度を作業者が把握できる可能性がある。また、最低限基準値を下回るにはどの部位を湿潤化しなければならないかを検討できる可能性もある。本研究で行ったような実験から、上記のデータベースを蓄積していくことが今後期待される。

また、粉じん飛散量と石綿飛散本数との間に正の相関が見られることから、実際の作業現場でも現場内に粉じん計を置き、その値から石綿飛散本数、石綿濃度の概数を把握できる可能性がある。しかし本実験でも見られたように、同じ成形板を同一条件で破砕する場合にも石綿飛散本数と粉じん飛散量との比にばらつきが大きくなるケースがある他、湿潤化を行うとこの値が数倍程度高くなるケースも存在した。したがって、粉じん計の値から石綿濃度を推定する際には、ある程度の有余を持って行う必要があると考えられる。

3.6 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討

(1) 石綿含有建材及び模擬混入土壌からのダスト飛散量

石綿含有建材を用いた飛散実験での 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 3-14 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 に上げており、石綿含有建材を用いた実験に先立って行った関東ローム土を用いた実験では回転速度を上げた時にダスト飛散量が増えているが、石綿含有建材を用いた実験では回転速度とダスト飛散量との関係は明確ではなかった。

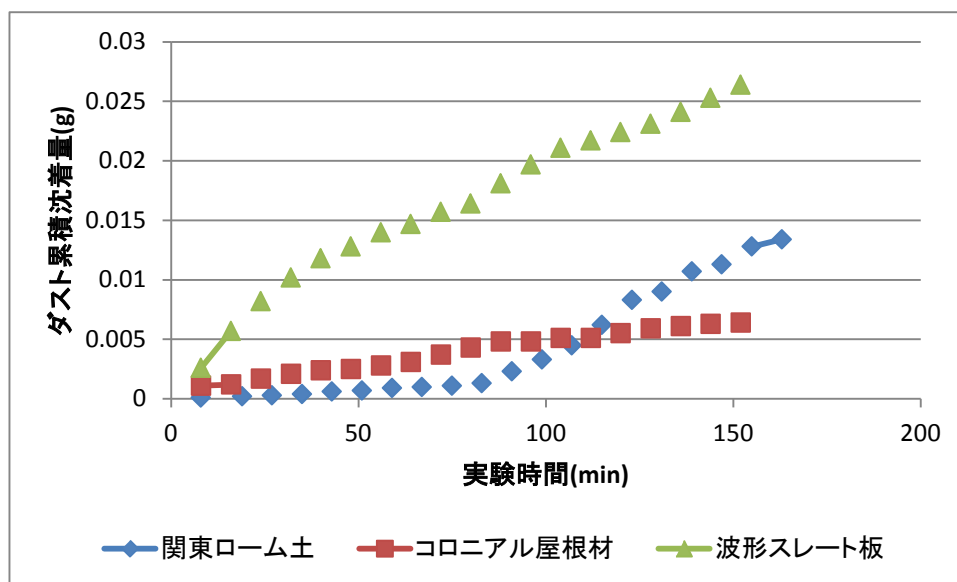


図 3-14 石綿含有建材を用いた飛散実験でのフィルターへのダスト累積沈着量

EPA 法によれば、タンブラーの回転速度を最高速度(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_f は、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_r (図 3-14 に示した値) の 2.1 倍である。また、最高速度に上げた時点の試料中の飛

散性のダスト重量 M_0 と M_r との関係は次式の通りである。

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

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。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 0.30%、波形スレート板では 0.18% となった。関東ローム土を用いて行った実験では、%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 の典型的な値は 0.5~2% であり、今回の試料の %RD 値はこの 1/10~1/2 という結果であった。以上を表 3-35 にまとめた。

表 3-35 土壌及び石綿含有建材試料中の飛散性のダスト重量

試料	M_0 (g)	M_{r30} (g)	M_{tot} (g)	%RD
コロニアル屋根材	0.029	0.198	0.227	0.30
波形スレート板	0.097	0.041	0.138	0.18
関東ローム土	0.063	0.100	0.163	0.20

模擬混入土壌試料を用いて同様にダスト飛散量を求めた結果を図 3-15 と表 3-36 に示した。%RD は 0.20~0.23% であり、石綿含有建材や関東ローム土の結果と変わらなかった。

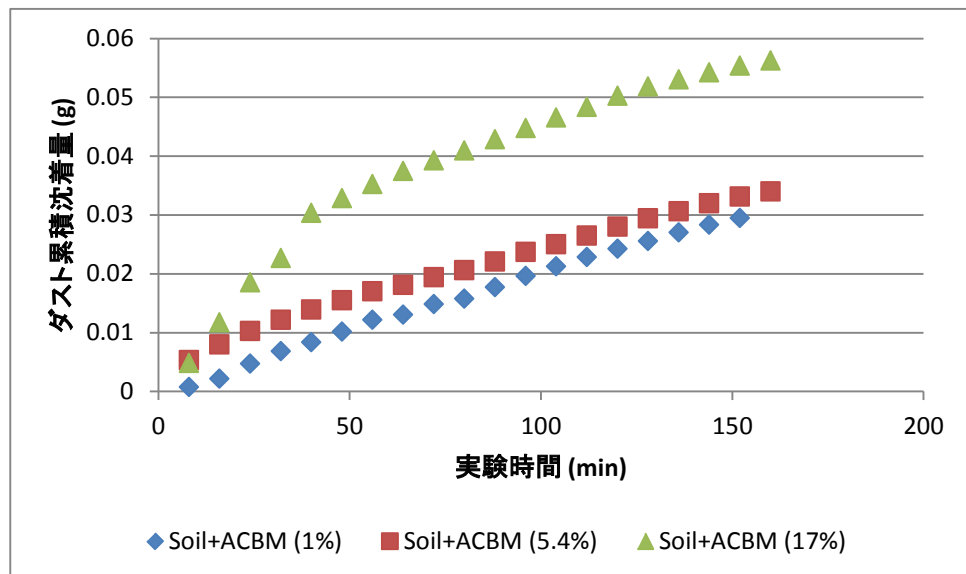


図 3-15 模擬混入土壌を用いた飛散実験でのフィルターへのダスト累積沈着量

表 3-36 土壌及び石綿含有建材試料中の飛散性のダスト重量

試料	M ₀ (g)	M _{r30} (g)	M _{tot} (g)	%RD
模擬混入土壌 (建材混入率1%)	0.0769	0.084	0.161	0.21
模擬混入土壌 (建材混入率5.4%)	0.114	0.0545	0.169	0.23
模擬混入土壌 (建材混入率17%)	0.052	0.113	0.165	0.20

(2) 石綿含有建材及び模擬混入土壌からの石綿繊維飛散量

コロニアル屋根材を用いた実験で得られたスクラバー水から作製した観察用試料を SEM で観察した例を図 3-16 に示すが、多数の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。

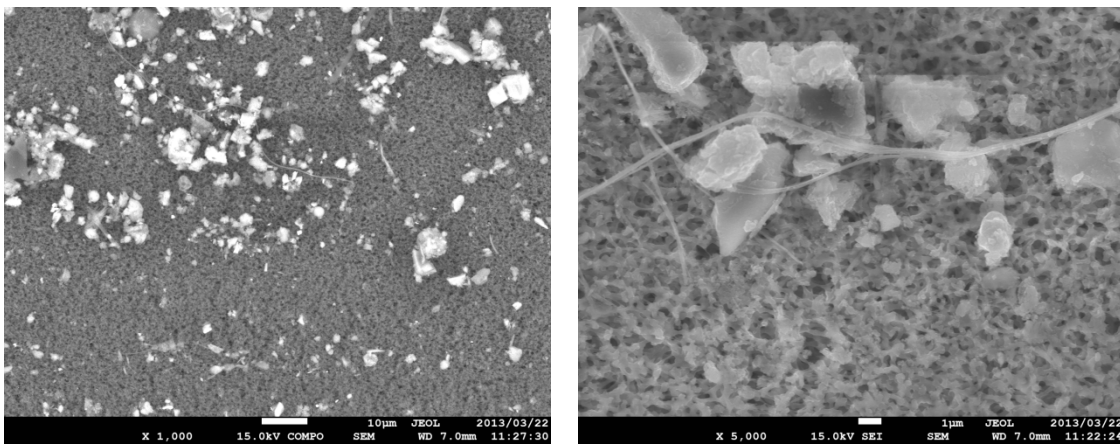


図 3-16 コロニアル屋根材実験時に飛散したクリソタイル繊維の SEM 画像
(左 : 1,000 倍、右 : 5,000 倍)

SEM により 4 視野を計数した時の長さ 5 μm 以上の石綿繊維数は 109 本であった。EPA 法によれば、試料重量当たりの飛散性石綿繊維数濃度 C_{smp} (本/g)を求める式は次の通りである。

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

ここで、

S_{ch} : 計数された石綿繊維数(本)

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)。今回の実験では 1195 mm²。

N_{goh} : 計数した視野目開き数。今回の実験では 4。

A_{go} : 一視野の面積(mm²)。今回の実験では 0.0103 mm²。

DF : スクラバー水を希釈した倍率。今回の実験ではスクラバー水の 1/4 量を使用したので 4。

M_{scrbs} : 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_{ch}=109、A_f=1195、%RD=0.30、N_{goh}=4、A_{go}=0.0103、DF=4、M_{scrbr}=0.0065 の値をそれぞれ代入して、C_{smp} は 5.9 × 10⁶ 本/g と計算された。波形スレート板を用いた実験でもクリソタイル繊維の飛散が確認され、コロニアル屋根材と同様に計算すると、C_{smp} は長さ 5 μm 以上

の繊維で 2.3×10^6 本/g、長さ $1 \mu\text{m}$ 以上の繊維で 3.3×10^7 本/g となった。

模擬混入土壌を用いた実験においても、同様にクリソタイル繊維の飛散が確認された(図 3-17)。

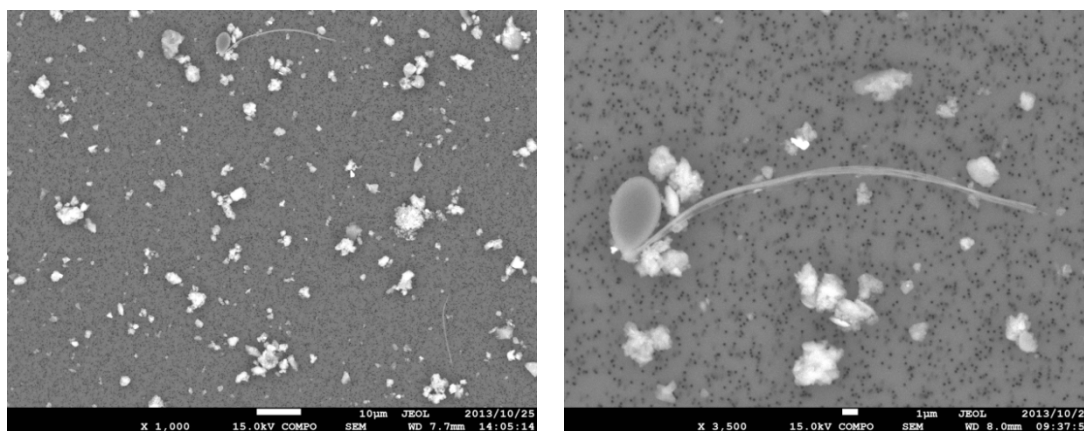


図 3-17 模擬混入土壌(建材 17%)のケースで飛散したクリソタイル繊維の SEM 画像
(左 : 1,000 倍、右 : 3,500 倍)

試料重量当たりの飛散性石綿繊維数濃度 C_{smpl} は、建材混入率が 1% の模擬混入土壌で 6.7×10^5 本/g (長さ $5 \mu\text{m}$ 以上の繊維)、 3.2×10^6 本/g (長さ $1 \mu\text{m}$ 以上の繊維) であり、17% の模擬混入土壌で 4.9×10^5 本/g (長さ $5 \mu\text{m}$ 以上の繊維)、 1.5×10^6 本/g (長さ $1 \mu\text{m}$ 以上の繊維) であった。これらの値は、石綿含有試料自体を供試試料とした場合と比較して、一桁程度小さい値であった。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、混入率と石綿繊維数濃度との明確な関係が見られなかったため、土壌粒子への吸着が石綿繊維の飛散性に影響を与えている可能性もある。

EPA 法によれば、 10^{-6} リスク(生涯曝露による発がん過剰死が百万人に 1 人増加)に関連づけられる値は、長さ $5 \mu\text{m}$ 以上の石綿繊維数濃度で 3×10^7 本/g である(全ての長さの石綿繊維数濃度で 5×10^8 本/g)。一連の飛散実験の結果はこの値を下回り、石綿含有建材やその混入土壌からの石綿繊維の飛散による影響は 10^{-6} リスクレベルより小さいと推測された。

(3) 湿潤化による石綿繊維飛散の制御可能性の検討

石綿繊維飛散の制御可能性について検討するため、石綿含有建材を湿潤化して行った実験でのダスト飛散量について、表 3-37 に示した。水分の割合が 7.1% のケースのダスト飛散量は、湿潤化しなかった場合と変化はなかったが、水分割合が 15% のケースではダストはメンブランフィルターに捕集されず(ろ紙 1 枚当たり 0.1 mg 未満)、ダストの飛散はほぼ抑制されたと考えられた。図 3-18 に水分割合 7.1% のケースの石綿含有建材の状態を示したが、湿潤化していない建材片が確認された。飛散実験中にこの湿潤化していない建材片が攪乱を受けたためにダストが発生したと考えられた。

表 3-37 湿潤化した石綿含有建材からのダスト飛散量

試料	M_0 (g)	M_{r30} (g)	M_{tot} (g)	%RD
波形スレート板	0.097	0.041	0.138	0.18
波形スレート板(含水率7.1%)	0.0907	0.110	0.200	0.26
波形スレート板(含水率15%)	0	0	0	0



図 3-18 水分割合 7.1%のケースでの湿潤化後の建材の状態

湿潤化した建材の実験で得られたスクラバー水からはクリソタイル繊維が確認された。ダストの飛散が確認されなかった水分割合 15%のケースでも、図 3-19 に示した通りクリソタイル繊維の飛散が確認された。この場合、(式 2)からは C_{smp1} が求められないため(分母の M_{scrbr} が 0 となるため)、スクラバー水に捕集した空気量あたりの石綿繊維数濃度 C (本/L)を次式により求めた。

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

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)より、空気量当たりの石綿繊維数濃度は長さ $1 \mu\text{m}$ 以上のもので 2.3×10^4 本/L、また長さ $5 \mu\text{m}$ 以上のもので 2.5×10^3 本/L と見積もられた。同じ石綿含有建材を湿潤化せずに飛散実験に供した場合の石綿繊維数濃度は、長さ $1 \mu\text{m}$ 以上のもので 2.1×10^6 本/L、長さ $5 \mu\text{m}$ 以上のもので 1.4×10^5 本/Lであったことから、湿潤化により石綿繊維数濃度を 1~2%程度に低減できることが示された(表 3-38)。

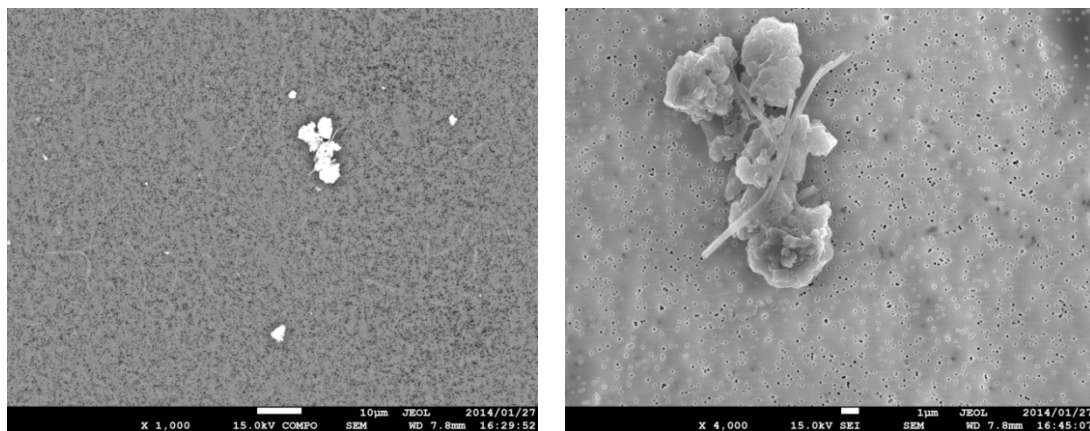


図 3-19 水分割合 15%のケースで飛散したクリソタイル繊維の SEM 画像
(左: 1,000 倍、右: 4,000 倍)

表 3-38 湿潤化した石綿含有建材からのダスト飛散量

試料	C _{smp1} (本/g)		C (本/g)	
	1 μm以上	5 μm以上	1 μm以上	5 μm以上
波形スレート板	3.3×10 ⁷	2.3×10 ⁶	2.1×10 ⁶	1.4×10 ⁵
波形スレート板(含水率7.1%)	9.1×10 ⁷	1.0×10 ⁷	9.2×10 ⁶	1.1×10 ⁶
波形スレート板(含水率15%)	—	—	2.3×10 ⁴	2.5×10 ³

模擬混入土壌試料を湿潤化した場合のダスト飛散量について表 3-39 に示した。M_{tot}、%RD は湿潤化しなかった場合に比べて大きくなったが、ME 開口部で捕集したフィルターへのダストの累積蓄積量 M_f は湿潤化しなかったケースが 56.2 mg であったのに対し、湿潤化したケースが 2.9 mg であり、湿潤化によりダスト飛散量は少なくなっているものと考えられた。

表 3-39 湿潤化した石綿含有建材からのダスト飛散量

試料	M ₀ (g)	M _{f30} (g)	M _{tot} (g)	%RD
模擬混入土壌(建材混入率17%)	0.052	0.113	0.165	0.20
模擬混入土壌(建材18%、含水率13%)	0.100	0.500	0.600	0.69

湿潤化した模擬混入土壌の実験で得られたスクラバー水からはクリソタイル繊維が確認された(図 3-20)。(式 2)及び(式 3)から求めた試料重量当たりの石綿繊維濃度 C_{smp1} と空気量当たりの石綿繊維濃度 C を表 3-40 に示した。湿潤化したケースの C_{smp1} は湿潤化しないケースより高くなったが、C は湿潤化しないケースと同程度であり、湿潤化の効果は石綿含有建材のケースと異なり明確でなかった。これは、建材よりも量の多い土壌が先に吸湿してしまい、建材の湿潤化には至らなかったためと推測された。

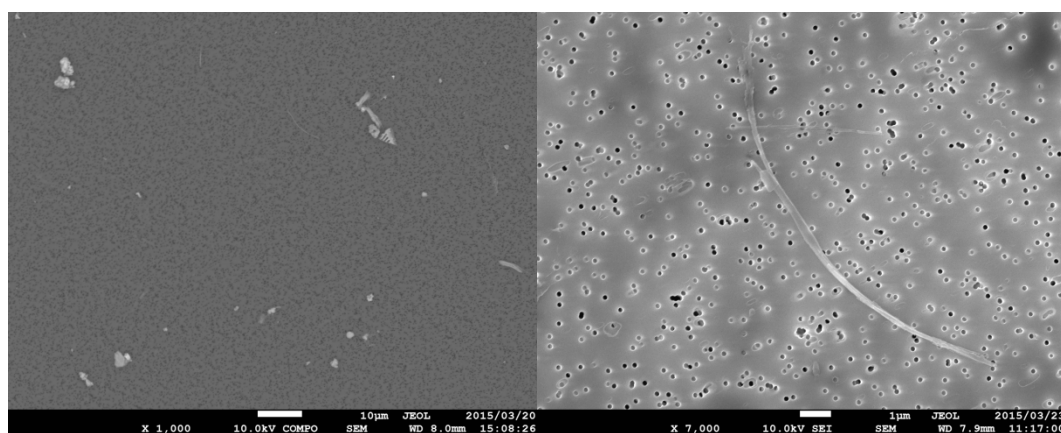


図 3-20 湿潤化した模擬混入土壌の実験で飛散したクリソタイル繊維の SEM 画像
(左: 1,000 倍、右: 4,000 倍)

表 3-40 湿潤化した石綿含有建材からのダスト飛散量

試料	C _{smpl} (本/g)		C (本/g)	
	1 μm以上	5 μm以上	1 μm以上	5 μm以上
模擬混入土壌(建材混入率17%)	1.5×10 ⁶	4.9×10 ⁵	2.1×10 ⁵	7.1×10 ⁴
模擬混入土壌(建材18%、含水率13%)	6.9×10 ⁷	8.4×10 ⁶	5.7×10 ⁵	6.9×10 ⁴

3.7 災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係る自治体アンケート調査

アンケート調査票を 22 の自治体(5 県、17 市町村)に送付し、21 自治体から回答があった(回収率 95%)。なお、岩手県からは県が代行処理を行った地区(宮古市+田野畑村+岩泉町、山田町、大槌町)別の 3 回答があった。また、福島県は市町村が処理、再利用まで行っており、県は災害廃棄物処理に関与していないため、アンケートの設問に該当する部分がないとして回答がなかった。

また、アンケート調査にあたり、設問に該当しない場合は記入せずに該当部分のみ回答するよう依頼した。該当しないケースを下記に整理した。

①千葉県、茨城県：市町村が処理、再利用まで行っており、県は直接、災害廃棄物を処理していない。このため、災害廃棄物の処理、再利用関連は回答なしであるが、災害廃棄物処理計画の活用項目には回答があった。

②仙台市を除く宮城県の市町村、岩手県の多くは、県が二次仮置場以降の代行処理をしたため、これに該当する宮城県(女川町、石巻市、多賀城市)と岩手県(宮古市、山田町、大槌町)は二次仮置場以降の回答及び災害廃棄物量のデータがない。

(1) 災害廃棄物の発生量、処分量、処分方法

各自治体で把握している廃石綿等及び石綿含有廃棄物の推定発生量、処分量、処分方法を表 3-41 に示す。廃石綿等の処分量は 4~2,372 トン、石綿含有廃棄物の処分量は 3~23,964 トンの範囲であった。また、災害廃棄物処分量全体に占める廃石綿処分量の割合は 0.0014~0.34%、石綿含有廃棄物処分量の割合は 0.0006~3.5%の範囲であった。但し、自治体によっては、ボード状の建材を見なし石綿含有廃棄物として処理しており、実際の処分量はこれよりも少ない可能性がある。災害廃棄物中の石綿含有物の量に関する情報はごく少ない。震災ではないが、2012 年 5 月につくば市で発生した竜巻被害においては、災害廃棄物処分量が 12,539.88 トンであったのに対し、石綿含有廃棄物処分量が 12.96 トンであった(災害廃棄物全体に占める割合は 0.10%)³⁹⁾。また、本課題において震災時の石綿含有廃棄物発生量の推計を仙台市をモデルケースとして実施しており(3.3 節参照)、石綿含有廃棄物発生量は構造別原単位からは約 17,200 トン、用途別原単位からは約 16,600 トンと推定された(仙台市のがれき処分量実績の 1.2~1.3%)。

また、廃石綿等及び石綿含有廃棄物の処分方法は全て「埋立処分」であった。

表 3-41 各自治体における廃石綿等及び石綿含有廃棄物の発生量、処分量、処分方法

県	自治体*	廃石綿等				石綿含有廃棄物			
		推定発生量 (t)	処分量 (t)	災害廃棄物全体に占める割合 (%)	処分方法	推定発生量 (t)	処分量 (t)	災害廃棄物全体に占める割合 (%)	処分方法
岩手県	A 市 (県委託)	なし	0	0		なし	199	0.022	埋立
	B 町 (県委託)	0	0			30	3		埋立
		なし	0	0		なし	3	0.0006	埋立
	C 町 (県委託)	なし	0	0		5	5		埋立
		なし	0	0		なし	5.72	0.0009	埋立
	D 市	397	397	0.042	埋立	67.62	67.62	0.0072	埋立
宮城県	E 市	0	12	0.0014	埋立	0	21	0.0025	埋立
	F 市						170	0.0084	埋立
	宮城県		21,240 ^{a)}	0.34	埋立				
	G 市		1,397	0.10	埋立 ^{b)}				埋立 ^{c)}
	H 市	4	4		埋立				
	I 市	2,372	2,372		埋立				
福島県	J 町	100	100		埋立				
	K 市					3,398	1,086	1.3	埋立
	L 市				埋立	23,964	23,964	3.5	埋立
茨城県	M 市	280	280	0.080	埋立	1,097	1,097	0.31	埋立
	N 市					3	3	0.0051	埋立
千葉県	O 市					1,602	1,602	2.2	埋立
	P 市	198	198	0.30	埋立	198	198	0.30	埋立
	Q 市								

* 市町村が特定されないよう A～Q で示した。a) 石綿含有廃棄物と区別無く廃石綿等に計上。b) 廃石綿等は解体現場にて撤去・密封し市内民間管理型最終処分場に直送・埋立。c) 石綿含有廃棄物は解体現場にて撤去・密封後、搬入場(一次、二次仮置場を一元化したもの)に一時保管を行い、市内民間管理型最終処分場に埋立。

災害廃棄物の種類ごとの発生量、処分量、処分方法について、表 3-42 にまとめた。

表 3-42 各自治体における災害廃棄物の種類別発生量、処分量、処分方法

県	自治体	可燃物(木くず以外)			木くず			不燃混合物(瓦、陶磁器含む)			コンクリートくず			金属くず			漁具・漁網			その他			
		発生量	処分量	処分方法*	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	発生量	処分量	処分方法	
岩手県	A市	データなし																					
	(県委託)	112,217	112,342	A,D	11,578	13,629	A	224,446	225,045	A,D,E	265,417	265,417	A	21,701	22,143	A	4,967	4,952	D,E	28,660	28,671	A,D,E	
	B町	データなし																					
	(県委託)	37,477	37,536	A,D	9,100	9,076	A,D	171,325	171,922	A,D,E	178,303	178,303	A	20,140	20,140	A	4,947	4,942	D,E	1,860	1,869	A,D,E	
	C町	データなし																					
	(県委託)	53,545	53,562	A,D	1,598	1,604	D	110,550	111,271	A,E	256,301	256,301	A	28,437	28,437	A	1,827	1,824	D,E	576	596	A,D,E	
	D市	86,405	86,397	A,D	12,295	11,701	A,D	71,989	71,999	A,D	541,120	541,862	A	36,325	36,282	A	3,258	3,266	A,D,E	1,710	1,726	A,D,E	
E市	159,031	158,993	A,D	7,951	7,954	A	125,949	125,949	A,D	268,247	268,247	A	34,134	34,134	A	5,042	5,186	D,E	23,213	23,945	A,D,E		
F市	122,742	129,778	A,D	19,643	19,643	A	300,880	345,531	A,D	589,751	644,580	A	36,900	37,253	A	3,228	3,226	D,E	4,820	5,307	A,D,E		
宮城県	宮城県		1,178,218	A,D,E		410,857	A,B,E		2,022,442	A,D,E		2,142,113	A		78,355	A					372,540	A,D,E	
	G市	310,000	163,199	D		98,794	A,C	100,000	126,255	E	610,000	769,195	A	20,000	74,297	A							
	H市	データなし																					
	I市	データなし																					
	J町	データなし																					
福島県	K市	3,205	1,047	D	74,120	12,199	D	204,007	10,940	A,E	179,620	49,866	A	15,942	11,226	A							
	L市	70,022	67,272	A,B,C,D	102,278	102,248	A	111,022	110,102	A,E	333,176	333,157	A	22,505	22,484	A				43,513	41,810	A,B,C,D,E	
	M市	1,675	1,675	B,C	24,004	24,004	B,C	67,329	67,329	A,E	252,900	252,900	A,E	5,890	5,890	A							
茨城県	茨城県	データなし																					
	N市				9,873	9,873	B	19,667	19,667	A	26,304	26,304	A								2,921	2,921	D,E
	O市	477	477	B,C	10,612	10,612	A,B,C	34,178	34,178	A,E	20,549	20,549	A,E	137	137	A				6,495	6,495	A,E	
千葉県	千葉県	14,012	14,012	C,D	16,681	16,681	A,C	34,203	34,203	A,E	57,340	57,340	A	1,189	1,189	A				3,335	3,335	A,E	
	P市	5,500	5,500	B,C,D	7,200	7,200	A	27,100	27,100	E	24,000	24,000	E	1,000	1,000	E				270	270	-	
	Q市		105	C		5,316	C		6,298	A,E		13,326	A										

*A: 再生利用、B: 焼却+発電、C: 焼却+熱利用、D: 単純焼却、E: 埋立処分。

(2) 廃石綿及び石綿含有廃棄物の確認方法

災害廃棄物の発生現場、一次及び二次仮置場において、廃石綿等及び石綿含有廃棄物(以下、両者をまとめて「石綿含有物」という。)の有無を確認した方法について、表 3-43 にまとめた(いずれも複数回答可)。発生現場、仮置場ともに「目視のみ」が最多であり、次いで「公定法(JIS 法)」が多かった。「その他」の回答として、発生現場では、解体家屋の構造や建築年から石綿含有建材の有無を推定し、事前調査で目視等により建材の有無を確認したとする回答が多かった。その上で、疑わしい建材や過去の建物調査で石綿使用が確認されている建築物については、公定法により確認したとの回答があった。一次仮置場では、目視により疑わしいものを全て分別し、スレート板等は公定法により分析したとの回答があった。

発生現場及び一次仮置場においては「未実施」とした回答もあったが、二次仮置場では「未実施」とした回答はなかった。これは、発生現場からの搬出や一次仮置場への搬入と比較して二次仮置場への搬入には時間的な余裕があったこと、二次仮置場で行われる破碎選別等の処理工程に石綿含有物が混入することを避けるためと考えられた。

表 3-43 石綿含有物の有無の確認方法

方法	発生現場 (n=21)	一次仮置場 (n=21)	二次仮置場 * (n=10)
目視のみ	9	14	7
迅速測定法**	1 ^a	1 ^b	1 ^b
公定法(JIS 法)	6	5	4
その他	6	3	1
未実施	5	4	0

* 二次仮置場とは破碎選別や仮設焼却施設を有し、二次処理を行う施設をいう。

** 迅速判定法について、a はルーペによる観察、b は近赤外線反射分光法(ハンディ型)による観察であった。

目視判定により石綿含有が疑われた建材の扱いに関する設問の回答(n=21、複数回答可)では、「疑わしい場合は、そのまま廃石綿等または石綿含有廃棄物とみなして対応した」が 16 回答と最多であり、「簡易測定法により石綿含有を確認し、他の災害廃棄物と区分した」が 2 回答、「簡易測定法で石綿含有が確認できなかった場合は、公定法等で追加分析をして確認した」が 3 回答、「一次仮置場において区分しておき、公定法による分析結果を待って処理方法を判断した」が 3 回答、「二次仮置場において個別に公定法等で分析し、その結果を待って処理方法を判断した」が 2 回答、「その他」が 4 回答であった。

廃棄物中の石綿含有量の測定への迅速測定法の適用に関する設問の回答(n=18、複数回答可)では、実施の有無と、重要性の認識(「重要と考えるが実施できなかった」)についてそれぞれ回答を求めた。実施の有無についての設問では、未実施との回答が 13 であったのに対し、実施したとする回答は 4 にとどまった。その内訳は、「一次仮置場搬入時」が 1 回答、「二次仮置場搬入時」が 2 回答、「二次処理後の処理物や再生資材の含有量測定」が 1 回答であり、「解体前事前調査」や「解体現場」はともに 0 回答であった。重要性の認識については、認識がなかったとした回答が 1、認識があったとする回答は 5 であった。その内訳は「一次仮置場搬入時の混入の有無の判別」が 3 回答、「二次仮置場搬入時の混入の有無の判別」が 2 回答であった。重要性の認識がありながらも実施できなかった理由としては、「災害廃棄物の迅速な処理が必要であった」、「測定結果を待っての対応では作業員のばく露のおそれがあり、測定の間現場を止めるといった時間的余裕もなく、防じんマスクの着用指導で対応」、「解体予定の建物

を全て目視検査し、その結果をもとに定性・定量分析を行った」との回答があった。

このことから、各自治体の担当者には、仮置場搬入時の石綿含有物の分別は重要であり、その方法として迅速判定方法が有効との認識が少なからずあると考えられ、本課題で開発した迅速判定方法がこれら自治体に受け入れられる余地があると考えられる。

(3) 石綿または石綿含有廃棄物のリスク管理

石綿のリスクの認識時期についての設問に対する回答(n=21)では、「東日本大震災以前からよく認識していた」が14回答と、3分の2の自治体で石綿のリスクがよく認識されていた。「東日本大震災以前から概略は認識していたが、飛散対策の必要性までは認識していなかった」が7回答あった。これらの自治体のうち、「東日本大震災後の国や関係機関からの通達により認識した」が3回答、「その他」が1回答であった。「その他」とした自治体は、「環境省の第1次モニタリングで石綿が検出されたため」と回答した。石綿リスクの認識後の事業者への指示内容や対策の強化について設問に対する回答(n=12、複数回答可)では、「大気中石綿濃度または総繊維数濃度を測定する頻度・地点の増加」が1回答、「建築物解体の事前調査の徹底」が6回答、「解体現場や仮置場等でのばく露、飛散防止対策の徹底」が9、「石綿用マスク使用の徹底」が8回答、「その他」が2回答であった。

以上から、自治体では石綿のリスクについてはある程度の認識を持ち、解体現場や仮置場等でのばく露、飛散防止対策を実施していたことが伺われた。一方で、飛散防止対策の認識が不足していた自治体もあり、これら自治体への啓発が必要であると考えられた。

大気中の石綿濃度の測定頻度と測定方法についての設問に対する回答を表3-44～3-46にまとめた。測定頻度について、発生現場では「未実施」が11回答、「必要に応じて」と「その他」が5回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「四半期に1度実施」という回答があった。仮置場の一般環境では「その他」が9回答、「未実施」が7回答、「必要に応じて」が4回答、「毎日」が3回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「処理区によって異なる(月1回～必要に応じて)」、「敷地境界において月1回」、「仮置場毎に2月に1回」、「年2回」という回答があった。仮置場の作業環境では「その他」が9回答、「未実施」が7回答、「必要に応じて」が5回答、「毎日」が4回答であった。「その他」には、「県や環境省がモニタリングを実施」、「処理区によって異なる(月1回～必要に応じて)」、「中間処理施設で業務開始前、業務中(月1回)、終了後に実施」、「年4回」、「月1回」という回答があった。実施しなかった理由についても訊ねており、発生現場では「発災後の混乱時に実施する余裕がない」、「解体前に石綿含有建材の有無を調査し、含有のある場合には建材除去後に解体を行ったため大気測定は行わなかった」等の回答があった。仮置場の一般環境では「周辺に人家等が無いため実施せず(作業環境測定は実施)」、仮置場の作業環境では「測定結果を待っての対応では作業員のばく露のおそれがあり、測定の間現場を止めるといった時間的余裕もなく、防じんマスクの着用指導で対応」等の回答があった。測定地点については、発生現場では「必要に応じた箇所」が4回答、「周囲4点以上」が5回答であった。仮置場一般環境と作業環境では「必要に応じた箇所」が最も多く、次いで「周囲4点以上」、「風下のみ」の順であった。測定方法については、主には「公定法」が採用されていた、仮置場の作業環境では「迅速測定法」が6回答と多くなっている。「迅速測定法」としては、いわゆるファイバーモニター(繊維状粒子測定装置)が発生現場で1回答、仮置場一般環境で2回答、仮置場作業環境で3回答と、リアルタイムで繊維状粒子の気中濃度を確認できる機器を導入している自治体もあった。

表 3-44 大気中の石綿濃度の測定頻度

方法	発生現場 (n=21)	仮置場一般環境 (n=20)	仮置場作業環境 (n=21)
必要に応じて	5	4	5
週に1度	0	0	0
毎日	0	3	4
その他	5	9	9
未実施	11	7	7

表 3-45 測定地点

方法	発生現場 (n=9)	仮置場一般環境 (n=13)	仮置場作業環境 (n=12)
風下のみ	0	3	1
必要に応じた箇所	4	8	8
周囲4点以上	5	3	3

表 3-46 測定方法(複数回答可)

方法	発生現場 (n=9)	仮置場一般環境 (n=13)	仮置場作業環境 (n=12)
迅速測定法	2	4	6
公定法 (環境省マニュアルまたは JIS 法)	7	12	10
その他	1	0	1

石綿のばく露防止対策、飛散防止対策として、各局面で実施した対策、また重要と考えられる事項について訊ねた。平時に実施した対策(n=16、複数回答可)として、「石綿含有建築物のリストを作成した」が6回答、「災害時に自治体内で石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整した」が6回答、「耐震補強を推進し石綿含有建築物の被災を最小限とするようにした」が2回答、「被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立した」が0回答、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込んだ」が3回答、「被災時には集積場(仮置場)の場所と面積を確保できるようにしている」が5回答、「その他」が2回答であった。また、重要と考えられる事項(n=22、複数回答可)として、「平時より石綿含有建築物のリストを作成する」が13回答、「災害時は自治体内で石綿存在の情報を共有化できるよう事前に調整しておく」が16回答、「耐震補強を推進し石綿含有建築物の被災を最小限として災害廃棄物の発生量を削減する」が5回答、「被災状況から石綿含有災害廃棄物発生量を想定する方法を確立する」が2回答、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿含有物の具体的な処理計画を盛り込む」が12回答、「集積場(仮置き場)の場所と面積の確保を検討する」が11回答、「その他」が2回答であった。「その他」は「埋立処分場の確保」、「石綿に関する情報の収集」との回答であった。組織内で完結できる「石綿含有建築物リストの作成」、「石綿情報の共有」との回答が多く、「仮置場用地の確保」、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿の具体的な処理計画を盛り込む」と続いている。予算面での手当が必要な「耐震補強の推進」、また個別自治体での取組が困難と思われる「石綿含有廃棄物発生量を想定する方法の確立」の回答は少なかった。

発生現場での対策(n=19、複数回答可)として、「石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った」が15回答、「罹災証明時に石綿含有建材の調査を行った」が1回答、「吹付け材をビニールシートで覆い応急措置をした」が6回答、「石綿用マスクの使用を徹底させた」が14回答、「石綿含有物に散水、

薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した」が 8 回答、「大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し石綿の飛散防止を確認した」が 5 回答、「石綿含有物が存在する箇所をロープ等により立入禁止とし石綿ばく露を防止した」が 7 回答、「その他」が 5 回答、「対策をしなかった(石綿飛散を想定しなかった)」が 1 回答であった。また、重要と考えられる事項(n=21、複数回答可)として、「倒壊、破損した建築物の事前調査の徹底」が 14 回答、「現地での廃棄物中の石綿含有量の迅速測定法を確立」が 10 回答、「解体作業等で防塵マスクや保護衣の使用を周知」が 21 回答、「その他」が 1 回答であった。「その他」は「関係団体を対象としたアスベスト対策講習会の実施」との回答であった。対策として「飛散及びばく露防止の注意喚起」、「石綿用マスクの使用の徹底」の回答が多く、重要と考えられる事項として「事前調査の徹底」「防塵マスクや保護衣の使用の周知」が挙げられている。

仮置場での対策(n=19、複数回答可)として、「石綿の飛散防止及びばく露防止の注意喚起を行った」が 13 回答、「石綿用マスクの使用を徹底させた」が 15 回答、「石綿含有物に散水、薬剤散布をし、湿潤化により飛散を防止した」が 10 回答、「大気中の石綿濃度または総繊維数を測定し、石綿の飛散防止を確認した」が 11 回答、「石綿含有物の専用の置き場を確保し、区分して適切に保管した」が 16 回答、「石綿含有物の混入は、他の災害廃棄物の処理に支障をきたすことになるため分別を徹底した」が 14 回答、「コンクリートガラ等の再生利用で、石綿含有物が混在しないことを特に注意して検査した」が 3 回答、「その他」が 6 回答、「対策をしなかった(石綿飛散を想定しなかった)」が 0 回答であった。また、重要と考えられる事項について、一次仮置場(n=19、複数回答可)では「がれきに混在する石綿含有成形板等の優先的な回収・保管」が 15 回答、「廃石綿等が入ったプラスチック袋が破損した場合は湿潤化し新たに二重の梱包をする」が 12 回答、「他の廃棄物との接触により廃石綿等の梱包の破損の危険があるため、原則として受入れない」が 8 回答、「その他」が 3 回答であった。「その他」には、「石綿含有が疑われる廃棄物は一次仮置場において分別を徹底する」との回答があった。二次仮置場(n=12、複数回答可)では「前処理としてがれきに混在する石綿、特に石綿含有成形板を極力、除去する」が 11 回答、「他の廃棄物と混載する場合は、混ざらないように中仕切り等をする」が 6 回答、「大気中の石綿濃度迅速分析方法の確立」が 6 回答、「その他」が 4 回答であった。実施した対策として、作業員の曝露防止のための「注意喚起」や「マスクの使用の徹底」は当然としても、飛散防止対策のために様々な対策を講じていることが確認できた。重要と考えられる事項として、「がれきに混在する石綿含有成形板の回収」や分別等、石綿含有物の災害廃棄物への混入の問題の認知が進んできたことが伺われた。

(4) 災害廃棄物の処理に関する指示

災害廃棄物処理を請け負った事業者に対し、石綿の飛散防止及びばく露防止対策に関する指示の有無についての設問では、「指示したことがある」との回答が 19、「ない」との回答が 1 であった。

一次仮置場での指示内容に関する設問に対する回答では(n=20、複数回答可)、「石綿含有物を他の災害廃棄物から分別して扱う」が 16 回答、「集積場の災害廃棄物中にスレート波板等の破片が混入しないよう分別を徹底する」が 15 回答、「石綿含有成形板が破断しないよう原形のまま積み込み、荷降ろしを行う」が 7 回答、「前処理としてがれきに混在する石綿含有成形板を極力除去する」が 11 回答、「飛散防止だけでなく、集積場の土壌に混入しないようにシートを敷く等の対応する」が 1 回答、「その他」が 4 回答であった。「その他」の回答として、「一次仮置場での分別徹底を指示」、「現場作業員のマスク着用徹底を指示」があった。

二次仮置場での指示内容に関する設問に対する回答(n=10、複数回答可)では、「石綿含有廃棄物が破断しないよう原形のまま積み込み、荷降ろしを行う」が 5 回答、「前処理としてがれきに混在する石綿含有成形板を極力除去する」が 7 回答、「破砕選別過程での飛散防止対策を指示」が 5 回答、「石綿含有物以外の廃棄物と区分して扱い、廃石綿等を収納した袋は慎重に扱う」が 7 回答、「廃石綿等の搬送車には荷台に覆いを掛ける」が 6 回答、「その他」が 4 回答であった。「その他」の回答として、「二次仮置場

には石綿含有が疑われる廃棄物を極力搬入しないよう指示」、「現場作業員のマスク着用徹底を指示」があった。

(5) 災害廃棄物処理計画の策定における課題

災害廃棄物処理計画の策定または改訂にあたり、実効性のある石綿対策を盛り込むための課題に関する設問に対する回答(n=22、複数回答可)では、「現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態の把握」が 18 回答、「石綿含有災害廃棄物の発生原単位を把握し発生量を推計する方法の確立」が 5 回答、「仮置場選定の手順、手法を事前に取り決め、具体的な事例を収集する」が 14 回答、「大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握する」が 14 回答、「具体的な石綿飛散防止対策、ばく露対策を把握する」が 12 回答、「その他」が 1 回答であった。

「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」(平成 19 年 8 月)の有用性に関する設問に対する回答(n=22)では、「平時における準備が重要であることを認識し、震災後にこのマニュアルを活用して準備した」が 6 回答、「災害発生時の応急措置はこのマニュアルを参考に対処した」が 10 回答、「建築物解体における事前調査、作業計画、飛散防止対策に活用した」が 8 回答、「廃石綿等や石綿含有廃棄物の収集・運搬にこのマニュアルを活用した」が 9 回答、「周辺住民への周知についてマニュアルを活用した」と「その他」がそれぞれ 0 回答であった。また「活用しなかった」が 6 回答であった。

「災害廃棄物対策指針」(平成 26 年 3 月)の有用性に関する設問に対する回答(n=22、複数回答可)では、「災害予防の考えに基づく対策は参考になる」が 11 回答、「災害応急対応は実際の対策に活用できる」が 15 回答、「災害復旧・復興期の災害廃棄物処理対策は処理方針として活用できる」が 10 回答、「技術編の『処理工程毎の技術』には具体的な対策が示されており活用できる」が 9 回答、「技術編の『廃棄物の種類毎の処理技術』には具体的な対策が示されており活用できる」が 9 回答、「その他」が 0 回答、「石綿含有物の処理計画をまだ検討していない」が 2 回答であった。

また、石綿含有災害廃棄物の飛散対策やばく露対策に関する、望ましい対応策や実施する上での課題について、自由記載形式で回答を募ったが、回答はなかった。

4. 結論

(1) 災害廃棄物中石綿含有物の偏光顕微鏡を用いた迅速判定法の検討

石綿含有物の迅速判定法として、EPA の建材分析法を参考に、偏光顕微鏡(PLM)を用いる方法を開発した。つくば市の竜巻災害廃棄物仮置場での石綿調査では、約 2 時間で 12 試料の判定を行い、7 試料が石綿含有建材と判定され、公定法(JIS 法)で分析した結果、1%程度まで公定法と同程度の精度で判定できることが確認できた。また、相馬市の廃 FRP 船調査においては、58 隻の廃 FRP 船の調査においては約 9 時間半(目視調査約 6 時間、採取した 15 検体の迅速判定法による分析に約 3 時間半)、18 基の廃 FRP 船のエンジンの調査においては約 4 時間半(目視調査約 3 時間、採取した 7 検体の迅速判定法による分析に約 1 時間半)で石綿含有の有無が確認できた。JIS 法での分析を実施した場合は、いずれのケースでも分析結果の報告まで、3~7 日程度の時間を要するのに対して、迅速判定法では 1~2 日で石綿含有の有無の判定が可能である。

本課題で開発した偏光顕微鏡法に加え、2 種の近赤外測定装置について現場適用による評価を実施したところ、判定時間は偏光顕微鏡法では 1 試料当たり 10 分程度、近赤外測定装置では 1 回当たり 10 秒以内(但し 1 試料について複数回測定する必要あり)であった。正解率は偏光顕微鏡法では 94%、近赤外測定装置では 78~87%であった。偽陰性/偽陽性の頻度は偏光顕微鏡法が近赤外測定装置よりも少なく、いずれの方法でも偽陰性(見落とし)となるケースがあったが、石綿含有率が 3%以上の試料では見落としは基本的に起きなかった。

災害廃棄物の処理現場では、その管理や処分のために短時間で調査結果を求められることが多い。また、調査対象となる建材はスレート材や断熱材等のレベル 2、レベル 3 に分類される石綿含有建材は、石綿が 1%を超えて含有する物がほとんどであり、実体顕微鏡と偏光顕微鏡による迅速判定法での判定は十分に可能であると考えられる。そのため、短時間で石綿含有の有無の判定が可能な本件研究における迅速判定法は、災害廃棄物の石綿分析において有効な判定法であると考えられる。災害廃棄物の調査においては、大量のガレキからの試料採取方法等の課題も多く、今後は現場での迅速判定法とあわせて検討が必要である。

(2) 被災建築物中の石綿含有建材の目視判定法の検討

本研究では、東日本大震災後の石綿リスクの評価のために、マッピングを含む現地調査とそのフォローアップ、気中石綿濃度測定、アンケート調査を実施した。その結果として、レベル 1、2 の石綿含有建材については対策工事がおこなわれたが、除去作業現場では漏洩事故が多く発生していること、レベル 3 の石綿含有建材については、自治体、住民、作業者に共通して把握されておらず、対策が不十分であったことが明らかになり、全体的なリスクへの認識を向上させる必要がある。震災前の平時の調査、解体作業に従事する作業者の教育、住民への石綿含有建材のリスクの啓発等によって震災に備える必要である。フォローアップ調査から、震災から 4 年を経た現在でも被災地の石綿対策は終了していないことが認知される必要がある。被災地で明らかになったこれらの状況は被災地に限られたものではなく、建物解体時のレベル 3 の成形板等の対策は他の場所でも一定の割合で不十分であった。

その対策として、法的な規制によって自治体等による監視を強化することが重要であると同時に、少零細企業の多い解体事業者への支援も必要であり、技術的な支援としての石綿含有建材の目視判定法を取り入れたわかりやすく実践的な研修は現場でのリスクアセスメントと対策を進めるために有効である。

(3) 石綿含有震災廃棄物発生量の推定方法の開発

本研究では、建築年・建物構造/用途別の建築物ストック量・石綿建材使用原単位・震度別被害率・浸水深別被害率ならびに震度分布・浸水深分布を用いて、仙台市における地域メッシュ(約 1 km 四方)別の

石綿含有建材発生量を推定した。災害廃棄物発生量の推定も行ない、実際の仙台市リサイクル処理用と比較したところ、やや過大推定であった。近年の建築物の耐震化を踏まえた、建築物の被害関数の更新により、推定精度が向上することが期待される。

(4) 災害廃棄物の破碎選別過程での石綿飛散実態の調査

津波被害を受けた被災地における災害廃棄物への石綿含有建材の混入について、その存在形態を類型化し、混合廃棄物中に混入してしまった石綿含有建材による人への暴露リスクについて検討を行った。混合廃棄物に含まれる石綿含有建材は、最終的には一般環境中で利用される復興資材へと移動していくが、復興資材利用時よりも災害廃棄物処理時の方が飛散リスクが大きいことを利用し、二次処理場での飛散状況をモニタリングすることによって、その後の飛散リスクを推定するロット管理方法について提案を行った。実際の破碎設備や乾式比重選別装置の近傍で飛散調査を実施した結果、石綿繊維は不検出であった。また、振動ふるい装置の近傍での測定も実施したが、破碎設備よりも総繊維数濃度が低く、石綿繊維も不検出という結果となった。ただし、石綿含有建材が存在していない訳ではなく、災害廃棄物の処理投入全量に対して重量比で約0.1～0.13%の石綿含有建材が存在することが確認された。津波によって災害廃棄物となった残壊物の含水率が高いことや、海水由来の膠着性によって建材周囲に土砂類が付着していることで、建材中の石綿が飛散しにくい状況が想像される。また、災害廃棄物中の板状建材を抜き出し、石綿の有無を目視判定した結果、薄層の建材は容易に抽出することができるが、厚さが10 mmを超えるような建材中の石綿を目視判定することが難しいことも明らかとなった。同時に、これら建材中の石綿の有無を迅速に判定する方法として、携帯型のアスベストアナライザーが有効に機能することも確認された。地震国である日本では、津波災害が再度発生する可能性が否定できない。その際、石綿含有建材に対して適切な対応がとれるよう、災害廃棄物処理計画時に石綿含有建材やレベル1の吹き付け石綿等に対する処理計画や対策を十分に考慮しておくことが必要と考えられる

(5) 石綿含有成形板解体時の石綿飛散量の検討

本研究では、様々な条件下で石綿含有成形板を破碎し、その条件と石綿および粉じん飛散量との関係を分析することを試みた。本研究で特に重点を置いたのが破碎前の成形板の湿潤化である。本研究の特徴は成形板の湿潤化する部位を変化させながら破碎したことであり、成形板の表(室内側)、裏(天井裏側)、表と裏の両面、全体(最大吸水量)の4パターンで湿潤化を行ったところ、後者ほど石綿および粉じん飛散量が減少することが判明した。実際の除去現場で行われる「表のみ湿潤化」ではこれらの飛散量の減少割合は50%程度であった。一方で、「裏のみ湿潤化」を行うと使用済みの石綿含有スラグ石膏板の場合で石綿や粉じんの飛散量が95%程度減少することが判明した。この大きな要因としては、成形板破碎時、飛散する粉じんの6割は成形板裏からのものであることが明らかとなった。表には平滑加工や塗装が施されているのに対し、裏は原材料がむき出しになっているためであると考えられる。これを利用して成形板破碎除去時の作業現場内の石綿濃度を推定する式を提案した。この推定式では、成形板の単位裏面積あたりの石綿飛散本数と部屋の高さ(天井板除去の場合)、部屋の幅と奥行き(壁の場合)を入力すれば現場内の石綿濃度が推定できる可能性が示唆された。実際に本実験結果を用いて推定を行ったところ、実際の現場での石綿濃度測定結果とほぼ同程度の値であった。この結果では、「裏のみ湿潤化」の場合の石綿濃度が基準値150本/Lを下回っており、実際の除去現場でも成形板裏の湿潤化を行えば大幅に現場内の石綿濃度を低減できる可能性が示唆された。湿潤化以外にも、成形板の種類(スラグ石膏板とフレキシブルボード)や破碎時のエネルギーの違いによる破碎時の石綿および粉じん飛散量の変化等を確認した。

一方で、今後の課題も存在する。第1に、成形板の種類が充実である。本研究で使用した石綿含有成形板はスラグ石膏板とフレキシブルボードの2種類のみであったが、この2種類の他にもケイ酸カルシ

ウム板やロックウール吸音板、スレートボード、波型スレートボード等、他にも多数の種類があり、それぞれ破碎時の石綿および粉じんの飛散性の違いがあると考えられる。また、本研究で用いた成形板はいずれも室内で使用されていたものであったが、波型スレート等は外板として使用されている場合もある。外板として使用されていた成形板は紫外線や風雨による劣化により、さらに破碎時の石綿および粉じんの飛散性が異なることが予想されるため、検討が必要である。第2に、本研究では、破碎時の石綿や粉じん飛散量についての考察を行ったものの、破碎後の成形板から再飛散する石綿や粉じんの飛散量についての考察は行えていない。このような状況を実際の現場において作り出さないことが根本的な解決策ではあるが、破碎された天井板が落下して床に衝突したり、現場の作業員が床に散乱した成形板を踏みつけたり蹴ったりするケースも見られ、この際に石綿や粉じんが再飛散する可能性もある。これらの影響による石綿や粉じんの飛散量を把握できれば現場での石綿濃度の推定式のさらなる精度向上につながられる可能性がある。第3に、実際の現場における「裏のみ湿潤化」による効果を確認していないことである。破碎実験では、「裏のみ湿潤化」によって大幅に石綿および粉じん飛散量が減少し、作業現場の石綿濃度の推定結果も基準値を大幅に下回る結果となった。しかし、実際の除去現場で成形板裏の湿潤化を行った場合に、作業現場の石綿濃度が推定結果の程度にまで大幅に減少するのか、実際の現場で成形板裏の湿潤化がどこまで可能なのかについての検証は行えていない。これらの検証により石綿飛散量減少が確認できれば、成形板裏の湿潤化は実際の除去現場における効率的な石綿飛散防止策の1つとなることが期待される。

(6) 災害廃棄物等からの石綿飛散量の実験的検討

災害廃棄物(石綿含有建材)やその混入土壌からのダスト及び石綿繊維飛散量の把握、及びその制御可能性についての検討のため、EPA法に記載のダスト発生装置を製作し、石綿含有建材や模擬混入土壌を用いた飛散実験を行った。石綿含有建材を供試試料とした飛散実験では、ダスト及び石綿繊維飛散が確認された。試料重量に対する飛散性ダスト重量%RDは、対照として用いた関東ローム土と同程度であった。試料重量当たりの飛散性石綿繊維数濃度 C_{smp1} は、長さ $5\mu\text{m}$ 以上の繊維で $2.3\sim 5.9\times 10^6$ 本/g、長さ $1\mu\text{m}$ 以上の繊維で 3.3×10^7 本/gであった。模擬混入土壌を供試試料とした飛散実験では、ダスト及び石綿繊維飛散が確認され、%RDは石綿含有建材や関東ローム土と同程度であり、 C_{smp1} は長さ $5\mu\text{m}$ 以上の繊維で $4.9\sim 6.7\times 10^5$ 本/g、長さ $1\mu\text{m}$ 以上の繊維で $1.5\sim 3.2\times 10^6$ 本/gと石綿含有建材より一桁程度小さかった。試料重量当たりの石綿繊維数濃度は、いずれのケースにおいても 10^6 リスクに関連づけられる値よりも小さく、石綿含有建材やその混入土壌からの石綿繊維飛散の影響は 10^6 リスクレベルより小さいと推測された。湿潤化による石綿繊維飛散の制御可能性について、石綿含有建材を供試試料とした実験において、水分割合を7.1%としたケースではダスト飛散、石綿繊維飛散ともに湿潤化しないケースと大差はなかったが、水分割合を15%としたケースではダスト飛散の抑制と石綿繊維飛散も湿潤化しないケースの1~2%まで低減されることが分かり、十分な湿潤化により石綿繊維飛散を制御できることが示された。模擬混入土壌を供試試料とした実験において、%RDは湿潤化しないケースと同程度であり、 C_{smp1} は湿潤化しないケースより高くなった。これは、模擬混入土壌では石綿含有建材よりも土壌が先に吸湿するためと考えられ、石綿繊維飛散の制御のためにはより大量の水を用いるか、あるいは薬剤で固型化するのが適当と考えられた。

(7) 災害廃棄物の処理における石綿含有物の扱いに係るアンケート調査

災害廃棄物中の石綿含有物の処理に係る自治体アンケートを実施した。廃石綿等及び石綿含有廃棄物の処分量はそれぞれ4~2,372トン、3~23,964トンの範囲であり、災害廃棄物処分量全体に占める廃石綿及び石綿含有廃棄物処分量の割合はそれぞれ0.0014~0.34%、0.0006~3.5%の範囲であった。石綿含有物の確認方法は「目視のみ」が多く、次いで「公定法」が多かった。目視により石綿含有が疑われた

建材については「見なし石綿含有」として対応する自治体が多かった。迅速測定法の適用に関しては、重要性の認識はあるものの実施に至っていない傾向が伺われた。

石綿のリスクに関しては、「東日本大震災以前より認識していた」との回答が多く、リスクの認識後に強化した指示内容や強化した対策としては、「解体現場や仮置場でのばく露、飛散防止対策の徹底」や「石綿用マスク使用の徹底」の回答が多かった。

大気中石綿濃度の測定頻度や場所に関しては、「必要に応じて」「必要な箇所」とした回答が多かった。測定方法に関しては公定法による測定が多かったが、仮置場での測定においてはリアルタイムで繊維状粒子の気中濃度を確認できる機器を導入している自治体もあった。

石綿のばく露防止対策、飛散防止対策として、各局面で実施した対策、また重要と考える事項について訊ねた。平時実施した事項や重要な事項として石綿含有建築物リストの作成「石綿情報の共有」との回答が多く、「仮置場用地の確保」、「地域防災計画や災害廃棄物処理計画に石綿の具体的な処理計画を盛り込む」と続いている。発生現場で実施した対策として「飛散防止及びばく露防止の注意喚起」や「石綿用マスクの使用の徹底」、また重要と考える事項として「解体作業等で防塵マスクや保護衣の使用の周知」が挙げられた。仮置場で実施した対策として「専用置き場を確保し、区分して保管」や「石綿用マスクの使用の徹底」、また重要と考える事項として「がれきに混在する石綿含有成形板等の回収」が挙げられた。

災害廃棄物処理を請け負った業者に対してはほぼ全ての自治体で何らかの指示をしており、主な指示内容として、一次仮置場では石綿含有物の分別徹底や混入防止、二次仮置場ではがれき中の石綿含有建材の除去、石綿含有廃棄物の分別等が挙げられた。

災害廃棄物処理計画の策定における課題として挙げられた項目は、「現状の建築物等での飛散性石綿使用の実態把握」、「仮置場選定の手順を取り決めておき、具体的な事例も収集」、「大気中の石綿濃度の測定基準等、石綿のリスク管理をする上での必要事項を把握」等であった。「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」や「災害廃棄物対策指針」については有用であるとの回答が多かった。

5. 参考文献

- 1) 貴田晶子：石綿含有廃棄物の処理・再資源化過程における石綿の適正管理に関する研究(K2335)、平成23年度環境研究総合推進費補助金研究事業研究報告書(2012)
- 2) JIS A 1481:2008、建材中のアスベスト含有率測定方法(2008)
- 3) ISO 22262-1:2012, Air quality -- Bulk materials -- Part 1: Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials(2012)
- 4) 外山尚紀. 日本における石綿の定義と建材等製品中の石綿含有分析の課題. 労働科学. 2011; 87: 136-156.
- 5) 環境省水・大気環境局大気環境課(2014). 建築物の解体等に係る石綿飛散防止対策マニュアル
- 6) 中央労働災害防止協会(2012). 石綿作業主任者テキスト(第6版)
- 7) 環境省：第5回東日本大震災アスベスト対策合同会議議事資料、平成23年12月22日
http://www.env.go.jp/jishin/asbestos_jointconf/conf005/mat-a05.pdf (2015年3月25日閲覧)
- 8) 寺園淳、酒井伸一、高月紘. 阪神・淡路大震災における建築物解体に伴うアスベスト飛散に関する検討. 大気環境学会誌. 1999; 34(3) 192-210.
- 9) (社)日本石綿協会“石綿含有建築材料廃棄物量の予測量調査結果報告書”2003年
- 10) 小見康夫(2011) “建物解体に伴うアスベスト廃棄物の発生量予測 建物の長寿命化トレンドにおける建材のストック／排出量の算出手法に関する研究 その3” 日本建築学会計画系論文集, vol.76 No.670, pp. 2403-2409
- 11) USEPA 600/R93/116, Method for the determination of asbestos in bulk building materials (1993)

- 12) 総務省統計局ホームページ 日本の長期統計系列 <http://www.stat.go.jp/data/chouki/>(2013年12月30日閲覧)
- 13) 国土交通省“目で見えるアスベスト建材”第2版, 2008年
- 14) 建築物の解体等における石綿飛散防止検討会(2006) “建築物の解体等における石綿飛散防止対策の強化について”
- 15) 窯業統計年報、窯業建材統計年報
- 16) 内閣府(2005) “首都直下地震に係る被害想定手法について” 内閣府防災情報のページ <http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/index.html> (2013年12月30日閲覧)
- 17) 産業技術総合研究所地震動マップ即時推定システム QuiQuake <http://qq.ghz.geogrid.org/QuakeMap/index.html> (2013年12月30日閲覧)
- 18) 内閣府. 「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について」 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf(閲覧日: 2015年3月8日)
- 19) 仙台市. 津波浸水シミュレーションの計算結果について http://www.city.sendai.jp/report/2011/_icsFiles/afieldfile/2011/08/17/keisankekka.pdf (閲覧日: 2015年3月8日)
- 20) 藤川陽子, 中坪良平, 平木隆年, 藤長愛一郎, 菅原正孝. (2010). 石綿含有廃棄物等の落下発じん試験方法の開発. 環境衛生工学研究 24(3), 110-115.
- 21) US EPA: Superfund method for the determination of releasable asbestos in soils and bulk materials, EPA 540/R97/028 (1997)
- 22) 環境省廃棄物・リサイクル対策部: 「災害廃棄物等処理の進捗状況(3県沿岸市町村(避難区域を除く))」, 平成26年3月26日
- 23) 国土交通省: 「東日本大震災における被災建築物応急危険度判定結果(速報)」, 平成23年8月1日
- 24) 橋本征二, 寺島泰 “建築解体廃棄物の原単位設定”, 廃棄物学会論文誌, vol.10, No.1, pp.35-44, 1999年
- 25) 島岡隆行, 山本耕平 “災害廃棄物”, 2009年, p.12
- 26) 調布市災害廃棄物処理計画, 2008年 <http://www.city.chofu.tokyo.jp/www/contents/1216258197255/index.html> (2014年3月4日閲覧)
- 27) 長岡耕平, 谷川寛樹, 吉田登, 東修, 大西暁生, 石峰, 井村秀文 “全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究”, 環境情報科学論文集, vol.23, pp.83-88, 2009年
- 28) 内閣府防災情報のページ 南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告)について 資料 2-2, 2012年 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html
- 29) 石井康一郎, 吉野昇. (1993). ボード破壊時のアスベスト飛散特性. 大気汚染学会誌, 28(5), 288-294.
- 30) Pastuszka, J. S. (2009). Emission of airborne fibers from mechanically impacted asbestos-cement sheets and concentration of fibrous aerosol in the home environment in Upper Silesia, Poland. Journal of Hazardous Materials, 162(2-3), 1171-7. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.06.045
- 31) 水嶋周一(2011). アスベスト含有建材に関する研究—廃棄物発生量予測とライフサイクルリスク評価—. 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻修士論文.
- 32) 川端信裕, 平井康宏, 酒井伸一(2012) 石綿含有建材除去作業期間中の気中石綿濃度 ～京都大学8号館における事例～. 環境衛生工学研究. Vol.26, No.3, pp.124-127
- 33) つくば市: 竜巻災害廃棄物処理事業の概要(第2版)(平成24年度事業分)、平成25年6月1日

6. 研究発表

論文発表

- 1) 寺園淳、遠藤和人、山本貴士：東日本大震災とアスベスト対策、廃棄物資源循環学会誌、23(1)、47-59 (2012)
- 2) 永倉冬史、外山尚紀：東日本大震災の被災地におけるアスベスト問題、環境と公害、41(3)、51-56 (2012)
- 3) 川端信裕、平井康宏、酒井伸一：石綿含有建材除去作業期間中の気中石綿濃度 ～京都大学 8 号館における事例～、環境衛生工学研究、26(3)、124-127 (2012)
- 4) 山本貴士：アスベスト飛散の実態と対策、いんだすと、28(6)、14-17 (2013)
- 5) 外山尚紀：現場でのアスベスト対策ーリスク管理を軸としたアスベスト対策をー、いんだすと、28(6)、14-18 (2013)
- 6) 外山尚紀：被災地の石綿問題とこれからの石綿対策、労働の科学、69(3)、18-21 (2014)
- 7) 外山尚紀：建材中の石綿リスクの実態、環境と公害、44(3)、9-45 (2015)

学会等発表

- 1) 外山尚紀、名取雄司：煙突用石綿断熱材からの石綿飛散について、第 53 回大気環境学会年会、2012 年 9 月、横浜市
- 2) 豊口敏之：災害廃棄物処理におけるアスベスト問題、第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2012 年 10 月、仙台市
- 3) 貴田晶子、豊口敏之：廃 FRP 船のアスベスト対策、第 23 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2012 年 10 月、仙台市
- 4) 外山尚紀：ISO22262-1 による建材等の石綿含有分析の実際、第 52 回日本労働衛生工学会、2012 年 11 月、福岡市
- 5) 外山尚紀：東日本大震災被災地のアスベスト問題、明治大学社会科学研究所第 28 回シンポジウム「震災がれきとアスベストについて」、2012 年 11 月、東京都
- 6) 外山尚紀：東日本大震災被災地における石綿対策の事例、石綿問題総合対策研究会第 1 回研究会、2013 年 1 月、東京都
- 7) 外山尚紀：東日本大震災における石綿対策の事例、第 86 回日本産業衛生学会、2013 年 5 月、松山市
- 8) 渡邊洋祐、川端信裕、平井康宏、酒井伸一：石綿含有成形板の撤去時における石綿繊維飛散性の分析、第 22 回環境化学討論会、2013 年 8 月、府中市
- 9) 山本貴士、貴田晶子：石綿含有建材混入土壌からの石綿繊維飛散量の検討、第 22 回環境化学討論会、2013 年 8 月、府中市
- 10) 川端信裕、平井康宏、酒井伸一、浅利美鈴：仙台市をモデルケースとした石綿含有建材ストック量の推計、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2013 年 11 月、札幌市
- 11) 渡邊洋祐、川端信裕、平井康宏、酒井伸一：成形板破碎時の石綿繊維飛散量定量化試験方法の検討、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2013 年 11 月、札幌市
- 12) 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 年 11 月、札幌市
- 13) 外山尚紀：煙突の通常使用時の石綿飛散および事故事例について、石綿問題総合対策研究会第 2 回研究会、2014 年 2 月、東京都
- 14) 外山尚紀：石綿含有建材の迅速判定法とその教育について、石綿問題総合対策研究会第 2 回研究会、2014 年 2 月、東京都
- 15) 平井康宏、渡邊洋祐、川端信裕、酒井伸一：成形板破碎時の石綿繊維飛散量定量化試験方法の検討、石綿問題総合対策研究会、石綿問題総合対策研究会第 2 回研究会、2014 年 2 月、東京都

- 16) Nobuhiro Kawabata; Yasuhiro Hirai; Shin-ichi Sakai; Misuzu Asari (2014) "Development of estimation method of asbestos-containing waste generation by an earthquake -The case in Sendai City in the East Japan Great Earthquake-." Proceedings of 3RINCs and SWAPI 2014, P1-29
- 17) 外山尚紀：建物解体時の耐火被覆材の接触等による石綿飛散について、第 87 回日本産業衛生学会、2014 年 5 月、岡山市
- 18) 山本貴士、貴田晶子：石綿含有建材混入土壌からの石綿飛散制御方法の検討、第 23 回環境化学討論会、2014 年 5 月、京都市
- 19) N.Toyama: Preventing asbestos exposures in the Northeast Japan tsunami disaster areas, Johnson Conference, ASTM, Jul. 2014, Burlington, VT, US
- 20) 山本貴士、豊口敏之、貴田晶子：災害廃棄物中石綿含有物の迅速判定方法の検討、第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2014 年 9 月、広島市
- 21) 貴田晶子、山本貴：走査型電子顕微鏡(SEM)による建材中石綿の定量分析、第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会、2013 年 9 月、広島市
- 22) 山本貴士、豊口敏之、貴田晶子：石綿含有物の迅速判定方法に関する検討、石綿問題総合対策研究会第 3 回研究会、2015 年 1 月、東京都
- 23) 平井康宏、渡邊洋祐、酒井伸一：激甚災害で発生する廃棄物中の石綿含有物の発生量推計、石綿問題総合対策研究会第 3 回研究会、2015 年 1 月、東京都
- 24) 渡邊洋祐、平井康宏、酒井伸一：石綿含有成形板の湿潤化方法による石綿飛散量の違い、石綿問題総合対策研究会第 3 回研究会、2015 年 1 月、東京都
- 25) 山本貴士、貴田晶子：石綿含有がれきを含む土壌からの石綿繊維の飛散量推定、石綿問題総合対策研究会第 3 回研究会、2015 年 1 月、東京都

※「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

7. 知的財産権の取得状況

なし。

様式D：研究概要説明図

災害廃棄物の処理における石綿の適正管理に関する研究(3K123108)

研究期間：平成24～26年度

代表研究者：山本貴士(国立環境研究所)

研究の背景

災害廃棄物の速やかな処理は、被災地の復旧・復興に重要。しかし…



災害廃棄物や全半壊した建築物、船舶等に石綿含有物が混入(国環研、労働科学研等の調査で判明)

屋根材・外壁材 (クリンタイル20%)

押出成形セメント板 (クリンタイル5%)

「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」は少なくとも事前選別に關しては有効に機能していない？

●災害廃棄物の処理
●被災建築物の解体

石綿が飛散し、作業員や周辺住民の曝露のおそれ

災害廃棄物の処理における石綿の適正管理を進める上で、災害廃棄物への石綿混入防止、石綿含有建材を含む被災建築物の不用意な解体、災害廃棄物の破碎選別過程での飛散防止、処理計画立案時の石綿発生量の把握といった課題がある

研究の内容

<p>1. 災害廃棄物や被災建築物に含まれる石綿含有物の迅速判定方法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 災害廃棄物中の石綿含有物の迅速・簡易な判定法の開発・評価 ✓ 被災建築物の石綿含有建材の有無の判定法の開発・評価 	<p>2. 被災地における石綿含有物の発生量推計方法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 建築物の築年数等から石綿含有の有無や量を推定する手法の開発 ✓ 被災地の属性から建築物の分布を推定する手法の開発 ✗ 上記2つを統合して発生量を推計する 	<p>3. 災害廃棄物処理過程での石綿混入及び石綿飛散対策方法の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 破碎過程に石綿含有物が混入することを防止する方法の開発・評価 ✓ 石綿飛散制御方法の開発・評価 ✓ 災害廃棄物や混入土壌からの石綿飛散量の実験的検討
--	---	--

分担：国立環境研究所、労働科学研究所、環境管理センター

分担：京都大学

分担：国立環境研究所、愛媛大学

期待される成果

- 石綿含有物を迅速かつ簡易に判定し、現場で適切に管理できる方法の提供
- 石綿含有物の発生量の推計方法を提供し、今後発生する災害廃棄物の処理計画策定段階での活用
- 災害廃棄物の破碎選別等の処理過程での石綿飛散防止方法の提供
- 「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」の実効性評価と将来的な改訂のための知見の提供

9. 英文概要

- 研究課題名= Study on proper management of asbestos in disaster waste treatment
- 研究代表者及び所属= Takashi Yamamoto (National Institute for Environmental Studies)
- 研究分担者及び所属= Atsushi Terazono, Kazuto Endo (National Institute for Environmental Studies), Akiko Kida (Ehime University), Shin-ich Sakai (Kyoto University), Naoki Toyama (The Institute for Science of Labor), Toyoguchi Toshiyuki (Environmental Control Center)
- 研究協力者及び所属= Yasuhiro Hirai, Nobuhiro Kawabata, Yousuke Watanabe (Kyoto University), Yoshitaka Yanagisawa, Takao Ueno, Satoshi Nakamura (Tokyu Construction)

- 要旨=

For proper management of asbestos during treatment of disaster wastes, we conducted studies about (1) development rapid screening method for asbestos in damaged buildings and disaster wastes; (2) development of a scheme for estimating the amount asbestos containing wastes generated by a huge earthquake; (3) countermeasures for scattering of asbestos during treatment of disaster wastes.

In the first theme, we developed a visual inspection method for asbestos containing building materials used in damaged buildings. We also developed a rapid screening method for asbestos in disaster debris using polarized light microscope. Validity of these screening method were confirmed by application for on-site screening of asbestos containing materials. Duration and precision of screening was satisfactory. The manuals of these screening method were published.

In the second theme, we studied and developed a scheme for estimating the amount of waste asbestos containing building materials. In the study, we adopted Sendai city as a model case, and collected information. Estimation was performed using parameters about building stock amounts, asbestos containing building amounts per building, relationship between collapse of buildings and seismic intensity or tsunami strength, and distribution or seismic intensity or tsunami strength. Generation of waste asbestos containing building materials by the earthquake in Sendai city was estimated as about 16,600 - 17,200 tons. Generation by tsunami was also estimated as about 3,200 tons.

In the third theme, we investigated handling situations of asbestos wastes during demolition of damaged buildings or treatment of disaster wastes at depot sites, and risk management. We also studied scattering behavior of asbestos during demolition of asbestos containing building materials, and identified some parameters responsible to asbestos scattering. We proposed a methodology for managing recycled materials containing asbestos debris, and investigated scattering of asbestos during crashing and sorting of disaster wastes. We also examined scattering of asbestos from asbestos debris and contaminated soils. We confirmed that release of respirable asbestos fibers was below 10^{-6} risk level, release of asbestos from contaminated soil was quite small, and release of asbestos could be controlled by wetting.

- キーワード= Asbestos, Disaster wastes, Rapid screening method, Scattering and exposure control

別紙

3.2.(1)(e) 「住民、作業者、自治体へのアンケート調査」の集計結果

参考資料

1. 「偏光顕微鏡を用いた迅速判定法作業手順」
2. 「石綿含有建材の見分け方」