

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

- ・研究課題名 = 最終処分場におけるアスベスト廃棄物の安全性能評価手法の開発
- ・研究番号 = K1855, K1944, K2055

- ・国庫補助金精算所要額（円） = 59,865,000

- ・研究期間（西暦） = 2006～2008

- ・代表研究者名 = 山田正人（独立行政法人国立環境研究所）

- ・共同研究者名 = 遠藤和人、朝倉 宏、石森洋行（独立行政法人国立環境研究所）、足立泰久（筑波大学）、大塚康治（財団法人日本環境衛生センター）、香川智紀（社団法人全国産業廃棄物連合会）、大石 修（千葉県環境研究センター）、川寄幹生（埼玉県環境科学国際センター）

- ・研究目的 = アスベストが埋め立てられている処分場を明らかにするため、処理実績、維持管理記録や現場調査によって特定する手法、ならびに、現場にてアスベストの存在を確認するため飛散を防ぐ埋立試料のサンプリング方法を確立する。処分場におけるアスベストの封じ込め性能を評価するため、保有水等や埋立地ガスに含まれるアスベスト存在量を把握する手法を開発する。また、室内実験によって処分場内におけるアスベストの廃棄物層内の移動特性と掘削時における飛散特性を把握する。これら一連の手法を、既存最終処分場に埋め立てられたアスベストの安全性確認手法として体系化し、適正埋立を行うための情報管理システム、埋立層内のアスベスト移動を抑止する埋立技術の開発や容量増加や形質変更時における指針、封じ込め能力を高める埋立工法や管理手法等、アスベスト問題の究極的な安全、安心を担保する技術システムを構築する。

- ・研究方法 = 平成 18～20 年度に実施した研究成果を基にして、アスベスト含有廃棄物を埋め立てた最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドライン（以下、形質変更ガイドラインとする）の素案を作成する。形質変更ガイドラインの作成当時、アスベスト含有廃棄物が埋め立てられた最終処分場については検討していなかったことから、本研究を通じた成果をガイドラインの形式でとりまとめる。

- ・結果と考察 = アスベスト含有廃棄物が埋め立てられた最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインの素案を以下に示す。
 1. 総則
 - 1.1 目的
本ガイドライン素案は、平成 16 年に改正された廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号。以下「廃掃法」という。）に基づき、アスベスト含有廃棄物が地下にある土地の形質の変更にあたって、施行方法の基準に沿った事前調査、施工及びモニタリング等の内容を示すことによりその適正な施行を確保し、もって生活環境の保全を図ることを目的とする。
 - 1.2 適用範囲
本ガイドラインは、廃掃法第 15 条の 17 第 1 項に定める指定区域（以下「指定区域」という。）において土地の形質の変更を行う場合に適用する。
 2. 施行方法
 - 2.1 土地の形質の変更の施工方法に関する基準
 - ① アスベスト含有廃棄物を飛散、または流出させないものであること。② 埋立地から可燃性ガス又は悪臭ガスが発生する場合には、換気又は脱臭その他必要な措置を講ずるものであること。③ 土地の形質の変更により埋立地の内部に汚水が発生し、流出するおそれがある場合には、水処理の実施その他必要な措置を講ずるものであること。④ 令第 3 条第 3 号ホの規定による土砂の

覆いの機能を損なうおそれがある場合には、当該機能を維持するために土砂の覆いに代替する措置を講ずるものであること。⑤ 土地の形質の変更により埋立地に設置された設備の機能を損なうおそれがある場合には、当該機能を維持するために埋立地に設置された設備に代替する措置を講ずるものであること。⑥ 土地の形質の変更に係る工事が完了するまでの間、当該工事に伴って生活環境の保全上の支障が生ずるおそれがないことを確認するために必要な範囲内で放流水の水質検査を行うものであること。⑦ ⑥による水質検査の結果、生活環境の保全上の支障が生じ、又は生ずるおそれがある場合には、その原因の調査その他の生活環境の保全上必要な措置を講ずるものであること。

2.2 廃棄物と土地利用に応じた適切な施行

アスベスト含有廃棄物が廃棄物が地下にある土地の形質の変更にあたっては、当該廃棄物が有する生活環境への大きさを勘案するとともに、土地利用に応じて適切な土地の形質の変更行為の施行を行わなければならない。

2.3 事前調査

事前調査は、アスベスト含有廃棄物埋立地に関する情報の収集、廃棄物の種類の確認、アスベスト含有廃棄物の埋立方法の確認、土地利用計画、工事計画の策定、及び必要に応じて現地調査を行うものとする。

2.3.1 アスベスト含有廃棄物埋立地に関する事前情報の収集

下記に示す規則第3条及び第11条に関する情報等をできる限り収集する。なお、これらの資料は、許可申請書等で網羅できる内容であり都道府県等に存在したはずの資料であるから、都道府県等においては資料が現存する場合は、指定区域から除外されるまでの期間は保存しておくことが望ましい。① 施設の種類と整理番号(許可対象外施設は除く。)、② 処理した廃棄物の種類、③ 廃棄物埋立地の名称、所在地、面積、埋立容量、④ 埋立当時の廃棄物埋立地の管理者、⑤ 跡地の状況、⑥ 構造及び設備の概要、⑦ 放流水の水質、水量、放流方法、放流先の概要、⑧ 着工及び使用開始年月日及び廃止年月日、⑨ 当該施設の構造を明らかにした平面図、立体図、断面図、構造図、及び設計計算書、⑩ 廃棄物埋立地の設備の変更に係る資料、⑪ 周囲の地形(埋立前の地形を含む)、地質及び地下水の状況、⑫ 埋立処分の計画(埋立方法など)、⑬ 施設付近の見取り図、⑭ 水質、ガス、及び沈下等の各種モニタリングデータ⑮ 埋立から廃止に至る期間において行った環境保全対策事項、⑯ 地域住民との協定書、⑰ その他、他法令に基づく資料(都市計画法、建築基準法等)等、ただし、試掘のために土地の形質の変更の届出を行う場合は、①～⑧の資料、及び⑨の資料のうち設計計算書を除く資料でよい。

ただし、アスベスト含有廃棄物を含む場合、特に平成4年以前にもアスベスト含有廃棄物を埋め立てた可能性のあれば、当時の埋立管理者(④)や関係企業に対してヒアリングを実施し、埋立履歴、埋立方法、埋立場所に関する情報を補完することが必要である。

2.3.2 アスベスト含有廃棄物の埋立位置の検索

アスベスト含有廃棄物の埋立履歴が明らかな埋立地においては必要ないが、多くの埋立地は過去のアスベスト含有廃棄物の埋立領域が曖昧である場合が多い。そのため、正確な埋立位置を知っておく必要がある。ここでは、アスベスト含有廃棄物が袋詰め、もしくはセメントによって固化された後に埋め立てられた埋立地を対象としている。アスベスト自体を検出することは困難であるため、袋詰めやセメント固化された特異的に含水率が低い領域を検出することを想定している。埋立位置検索の手順は、非破壊探査手法の一つである電磁波探査を実施して、当該領域周辺の面的な情報を把握し、比抵抗探査用の測線の決定を行う。比抵抗探査によって、含水率が低い領域を正確に検出した後、簡易ボーリング掘削によって検出位置の確認を行うものである。

1) 電磁波探査を用いた埋立アスベスト含有廃棄物探査の留意点

地表面付近に埋め立てられた廃棄物に金属や鉄筋コンクリート等が含まれている場合、電磁波探査結果に信頼性がなくなる場合がある。地表面に露出している大きな廃棄物や金属類を人力で移動させた後に電磁波探査を実施することによって、アスベスト含有廃棄物が埋め立てられている位置を特定できた事例もある。また、アスベスト含有廃棄物を埋め立てた周辺に覆土として鉍滓スラグ等を埋め立てている場合、アスベスト含有廃棄物自体を検出できなくても、周辺の鉍滓

スラグ層を検出することで、埋立境界が把握できた事例もある。このことから、埋立履歴を把握し、試掘を行いながら電磁波探査結果を評価し、得られた知見を蓄積していくことで埋立地に対応した電磁波探査技術が確率されていくものと考えられる。

2) 比抵抗探査を用いた埋立アスベスト含有廃棄物探査の留意点

比抵抗探査より得られる比抵抗値は、含水率、固相の密度、電気伝導度、温度の影響を受けているため、比抵抗値の高い領域が必ずしも含水率の低い領域と断定することはできない。試掘された廃棄物試料を利用して懸濁液の電気伝導度、密度等を調べて、比抵抗値の支配要因を確認する必要がある。特に、温度の影響を見落とされることが多く、掘削試料を用いても温度を測定することはできないため、掘削孔に温度計を挿入して数週間にわたって測定を実施するなどの対応も求められる。

3) 簡易ボーリング掘削による埋立アスベスト含有廃棄物の位置検索

スウェーデン式サウンディングや人力の簡易掘削マシンなどを利用して試掘を行うことを試みたが、埋立廃棄物に鉍滓スラグや硬質プラスチックが多く含有している場合、これら簡易的な掘削機では1日に1m程度掘削するのが限界であり、実質的な試掘にならない場合が多い。そのような場合、コストが必要であるが、ボーリングマシンによって掘削することが必要になる。

2.4 具体的な施行の方法

事前調査は、アスベスト含有廃棄物埋立地に関する情報の収集、廃棄物の種類の確認、アスベスト含有廃棄物の埋立方法の確認、土地利用計画、工事計画の策定、及び必要に応じて現地調査を行うものとする。

2.4.1 アスベスト含有廃棄物埋立地のボーリング掘削における飛散・流出防止対策

アスベスト含有廃棄物試料採取は、事前に物理探査を行って内部状況を把握した後、アスベストが埋め立てられていると総則される地点においてオールコアボーリングを実施して試料採取を行う場合は、アスベスト飛散に対する安全対策を実施する必要がある。埋立アスベスト含有廃棄物試料採取中は、アスベスト埋立廃棄物が飛散しないように以下に示す対策を施し作業を実施すること。また、作業員に対しては以下に示す保護具を装着して作業を行うこと。○作業員：作業中、ボーリング作業員はアスベスト対策に対応した作業着、手袋、ゴーグル、マスクを着用し、出来る限り直接試料を触れないようにする。○掘削中：掘削孔に図 2.4-1 に示すアスベスト飛散防止装置を被せ、常時飛散防止装置から排気用ハイボリウムにより孔内の空気を抜き、孔内を常に負圧に保つ。抜いた空気は、フィルターを通し、排気する。また、フィルターを通す前の空気をアスベスト採取装置で捕獲し、掘削孔内中のアスベストの飛散状況を確認する。○飛散防止装置：飛散防止装置の上部は、中心に切り込みを入れたゴム製シートを重ねたものを被せ、コアチューブの昇降時に孔内のアスベスト等が空気中に飛散しないようにする。さらに、掘削中、およびコアチューブの引き揚げ時には、必要に応じて水を流し込み、孔内を湿った状態にし、アスベストの飛散を防止する。作業終了後、掘削孔はセメントミルクで閉塞する。○掘削作業時の対策：作業中は、図 2.4-2 に示すようにアスベスト採取装置を稼働させ負圧を維持し、飛散アスベストを採取する。

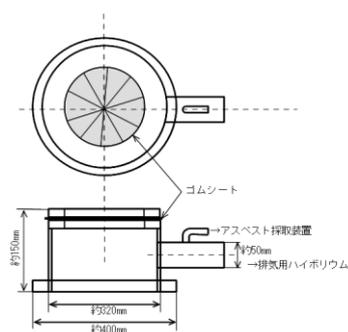


図 2.4-1 飛散防止装置概略図

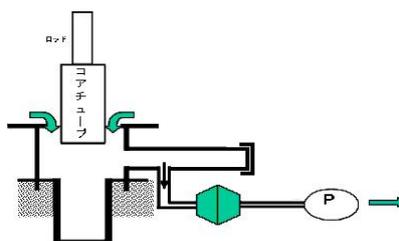


図 2.4-2 作業時の飛散防止対策

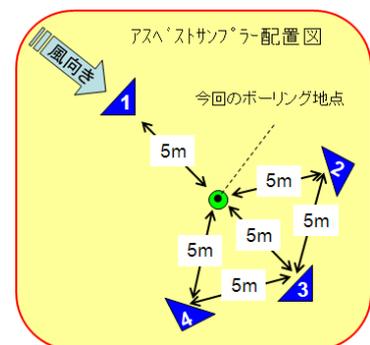


図 2.4-3 掘削中の飛散測定装置の配置

2.4.2 ボーリング掘削時における飛散量測定方法

アスベスト含有廃棄物が埋め立てられた最終処分場をボーリング等によって掘削する場合、周辺環境へのアスベストの飛散状況を調べるために図 2.4-3 に示すように、ボーリングマシンを中心にアスベスト採取装置を配置し、大気中の粉じんの採取を行うこと。アスベスト採取装置は、採取当日の風向きを確認し、風下方向に 3 箇所、風上に 1 箇所配置する。この時、大気捕集口は地上より 1 m の高さとする。風上側は、掘削の影響を受けないように、掘削孔から距離を取り、風下側は、主風向きの変化を考慮して配置すること。例えば、掘削の影響を受けない No. 1 地点にバックグラウンド用 1 台、掘削孔から 5 m 風下側に 1 台、風向きの変化に対応するために、掘削孔から 5 m 離れた地点に 1 台、及び初期の風下に設置したサンプラーから 5 m 離れた地点に 2 台設置し、右回りに No. 2、No. 3、No. 4 地点とする。サンプリングは掘削開始から終了まで実施すること。アスベスト飛散防止装置内での飛散状況も安全のため確認した方がよく、大気吸引速度を 10 L/min 程度とし、メンブランフィルターに捕集し、アスベスト計測に用いる。アスベスト繊維数の測定は、位相差顕微鏡を用いるアセトン・トリアセチン法にて行い、倍率 400 倍で 50 視野計測する。

2.4.3 掘削廃棄物のアスベスト含有量評価

ボーリングコア試料内のアスベスト含有量分析は、JIS A 1481「建材製品中のアスベスト含有率測定方法」(平成 18 年 3 月 25 日)にしたがって実施した。

参考資料

(1) アスベスト含有廃棄物の全国存在量推計

今後のアスベスト含有廃棄物量の推移の予測、ならびにアスベスト関連法規の整備前の埋立状況の推測を行うため、アスベスト含有廃棄物の全国存在量をデータベース化することを試みた。全国の生産出荷統計、廃棄物埋立量統計、関係団体資料、既往研究文献等の既存資料調査を実施し、アスベスト含有廃棄物の最終処分量を推計した。対象とするアスベスト含有廃棄物は、吹付け材、保温材、けい酸カルシウム板第二種及び石綿スレートとし、都道府県別アスベスト製品蓄積量は各年毎に木造を除く着工建築物の床面積の都道府県別割合とした。また、アスベスト含有廃棄物排出量は施工時排出量と解体時排出量の合計とし、施工時の発生量は出荷量の 5%、建築物の平均寿命を 30 年±2 年とした。最終処分量は、産業廃棄物排出・処理状況調査結果より年度別のがれき類の最終処分率を乗じて最終処分量とする。推計結果を図 1-1 から図 1-6 に示す。飛散性アスベストの製品出荷量は約 55 万トンであり、平成 17 年までに約 40 万トンが廃棄物として排出され、15 万トンが蓄積されていると推計される。また、廃棄物排出量の 97%に相当する約 38 万トンが最終処分されている。石綿スレートの製品出荷量は約 5,500 万トンであり、平成 17 年までに約 1,500 万トンが廃棄物として排出され、4,000 万トンが蓄積されていると推計される。また、廃棄物排出量の 40%に相当する約 600 万トンが最終処分されている。

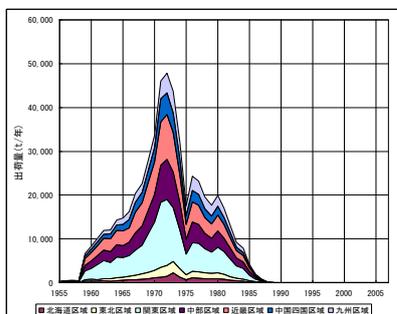


図 1-1 飛散性アスベスト出荷量

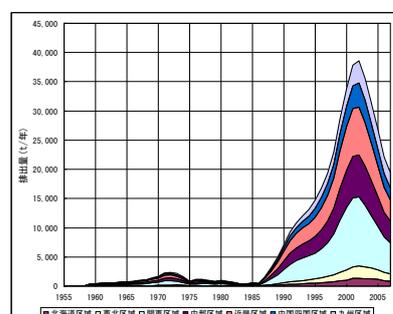


図 1-2 飛散性アスベスト含有廃棄物排出量

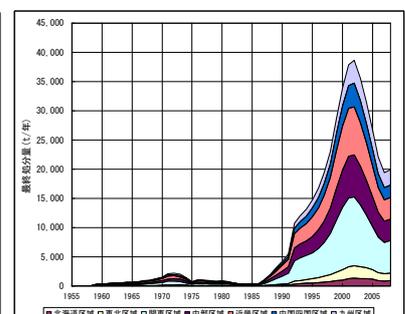


図 1-3 飛散性アスベスト含有廃棄物の最終処分量

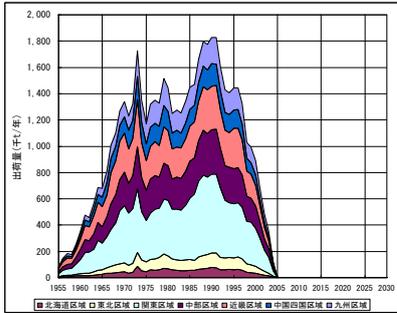


図 1-4 石綿スレート出荷量

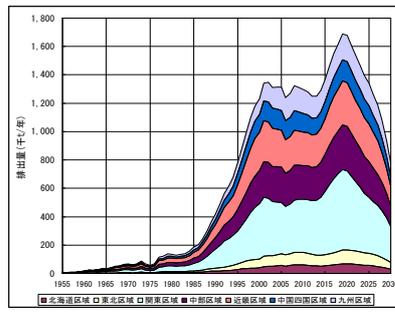


図 1-5 石綿スレート廃棄物排出量

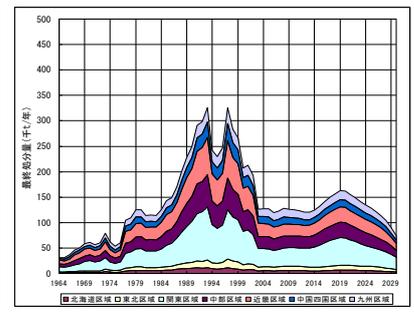


図 1-6 石綿スレート廃棄物の最終処分量

飛散性アスベスト除去工事から発生する廃棄物の割合は、施工面積当たり重量で、廃石綿が 0.04、防護衣類等が 0.000049、養生シート等が 0.00024 トン／平米であり、除去工事中の廃石綿の割合が 99%、その他が 1%未満であり、防護衣類や養生シートなどは重量基準の処分見込み量の推計には影響しないと考えられる。処分見込み量（平成 18 年度研究結果）から、産業廃棄物の広域移動調査（環境省調査結果）を踏まえた都道府県別最終処分量の推計を行った。非飛散性アスベストは大阪府（686 千トン）、愛知県（566 千トン）、兵庫県（421 千トン）の純で多い。一方で、平成 3 年度以前と 4 年度以降を比較すると、千葉県、東京都、神奈川県が減少しているのに対して、栃木県、群馬県が増加している。飛散性アスベストについては、特別管理産業廃棄物として管理（平成 4 年以降）され、その広域的な移動状況については把握されていないが、廃石綿等の埋立処分許可施設での処分実績を把握することは可能であると考えられた。図 1-7 に廃石綿等の埋立処分許可施設の配置を示す。ある自治体に

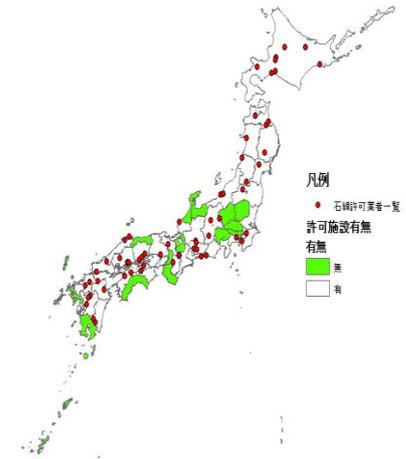


図 1-7 廃石綿等の埋立処分許可施設の配置状況

着もした 1,844 業者のうち石綿含有廃棄物の混入があった業者数は 49 社であった。石綿含有廃棄物の混入があった品目は、ガラス陶磁器くず、がれき類、廃プラスチック、金属くずの 4 品目であり、それぞれの石綿含有廃棄物の割合は、1.232%、0.031%、0.004%、0.018%で、この結果においては、ガラス陶磁器くずに最も多く混入していることが分かった（表 1-1）。産業廃棄物中の飛散性アスベストの混入率（平成 18 年度時点）は、排出ベース（処理業者が受託した時点）でガラス陶磁器くずの 0.2%、処分ベース（もっぱらガラス陶磁器くずを受託しリサイクルせず処分している業者）で 3.8%であった。本研究で整理された産業廃棄物中の飛散性アスベストの処分ベース混入率 3.8%を用いて、平成 18 年度の全国の産業廃棄物のガラス陶磁器くず最終処分量（1,685 千トン）から最終処分量中の飛散性アスベスト量を求めると 64 千トンとなった。この結果と平成 18 年度の飛散性アスベストの最終処分実績量（68 千トン）と比較して近似値であった。本研究で得られた産業廃棄物中の飛散性アスベストの処分ベース混入率 3.6%をガラス陶磁器くずの最終処分量に乗じることで、現状の最終処分物中の飛散性アスベスト量を把握することがわかった。本研究で得られた産業廃棄物中の飛散性アスベストの処分ベース混入率 3.6%とガラス陶磁器くずの最終処分量を用いて、過去（1980～1991 年度）の安定型最終処分物中の飛散性アスベストを試算した結果は、以下のとおりである。○過去における埋立廃棄物中の飛散性アスベストの混入率は、廃棄量自体が少なかったため、本研究で得られた産業廃棄物中の飛散性アスベストの処分ベース混入率 3.6%を過去の施行時・解体時廃棄量との関係から補正した（表 1-2）。○年次別の飛散性アスベストの処分ベース混入率と全国のガラス陶磁器くずの最終処分量から推定すると、1980～1991 年度の累積で 19 千トンとなった。○1980～1991 年度における全国の安定型最終処分（がれき類、ガラス陶磁器くず等安定 5 品目の最終処分量）の累積量で 466,000 千トンであり、この結果から過去における安定型最終処分中の飛散性アスベストの混入率は 0.004%となった。

表 1-2 埋立廃棄物中の飛散性アスベストの混入率

	年度	埋立廃棄物(ガラス陶磁器くず)中の飛散性アスベストの混入率(%)
施行時・解体時廃棄量からの補正	1980	0.17
	1981	0.15
	1982	0.11
	1983	0.08
	1984	0.07
	1985	0.10
	1986	0.09
	1987	0.28
	1988	0.53
	1989	0.85
	1990	1.22
	1991	1.60
基準値	2006	3.80

表 1-1 産業廃棄物中の石綿含有廃棄物の混入率

	全体		主に受託した廃棄物をリサイクルせず処分している業者	
	サンプル数	石綿含有廃棄物の混入率(%)	サンプル数	石綿含有廃棄物の混入率(%)
ガラス陶磁器くず	(527)	1.232 <0.208>	(27)	34.860 <3.800>
がれき類	(431)	0.031	(21)	13.600
廃プラスチック	(997)	0.004	(5)	0.060
金属くず	(626)	0.018	(2)	0.260
計	1,844	0.151	49	9.760

注) ()内のサンプル数は同一業者であっても受託品目別が異なるものは別々に集計している。
< >は廃石綿等(飛散性アスベスト)

(2) アスベスト含有廃棄物の埋立実績の把握

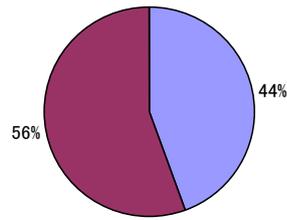
アスベスト含有廃棄物の埋立実績を把握するため、産業廃棄物最終処分業者へアスベスト含有廃棄物の受け入れおよび埋立方法などについての実態を把握するアンケート票を配布した。配布先は全国の産業廃棄物最終処分業者 902 箇所とした。このうち 461 の業者からアンケート回答が得られた。回収率は約 51%であった。図 2-1 にアスベストの受入実績と受け入れ処分場の類型を示す。アスベスト含有廃棄物を受け入れた実績の有無では、44%の処分場で受け入れたことがあると回答した。受け入れたことがある処分場の類型は安定型が 73%であり、管理型で 27%であった。アスベスト含有廃棄物の種類別埋立量を表 2-1 に示す。アンケート回答は重量と容量を回答した処分場、重量または容量のみ回答した処分場などが混在している。図 2-2 に非飛散性アスベスト含有廃棄物について地域別発生量割合を示す。図 2-2 にアスベストを受け入れた処分場(安定型・管理型)の許可容量を示す。許可容量 10 万 m³ 以下の小規模の処分場が約 50%であった。また、図 2-3 に埋立処分の許可品目を示す。

表 2-1 アスベスト含有廃棄物の種類別埋立量

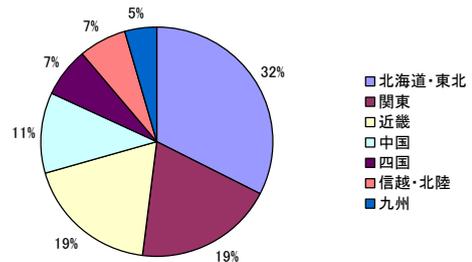
	t	m ³
飛散性	25536.67	74284.78
非飛散性	63229.62	98226.18

飛散性アスベストは、建設業、解体業からの受入がほとんどであり、この他アスベスト除去業者や化学工場などからの受入があるという回答が得られた。受け入れの荷姿は 2 重袋で密閉の形式が殆ど(溶融固化はなし)であった。作業環境におけるモニタリングを実施している処分場は 2 件、敷地境界では 5 件であった。取扱い時の注意として「飛散しない方法で降ろす」、「作業員にマスクを着用させる」、「搬入後は即日覆土を行う」などの方法が多かった。

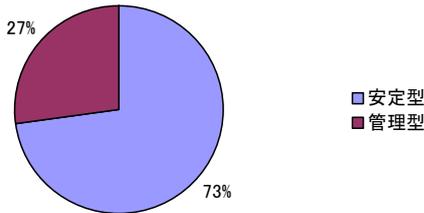
非飛散性アスベストは、建設業、解体業からの受入がほとんどであり、この他産業廃棄物処理業者、自社処理などの受入があるという回答が得られた。受入品目はがれき類、ガラスくず、コンクリートくず及び陶磁器くずがほとんどであった。1992 年～2005 年に受け入れた処分場でモニタリングを実施した件数は作業環境で 8 件、敷地境界では 11 件であった。同様に 2005 年以降では作業環境で 11 件、敷地境界で 19 件であった。受入を行っていない処分場の受入拒否理由は「許可品目外」がほとんどであるが、「行政からの指導」や「住民協定・住民対策」、「管理上の問題」などの回答があった。全体意見として、「依然として排出者の意識が低い」、「非飛散性アスベストについて簡易に判定できる方法の開発を要望」、「受入を行っている処分場や溶融施設が少なく苦慮している」などの回答があった。



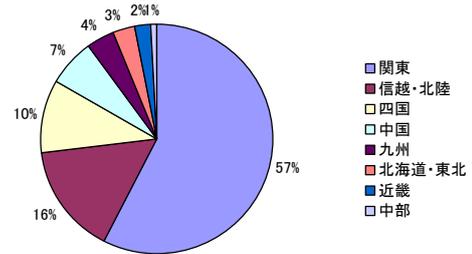
アスベスト廃棄物の受入実績



非飛散性アスベスト廃棄物の地域別発生量割合(t)

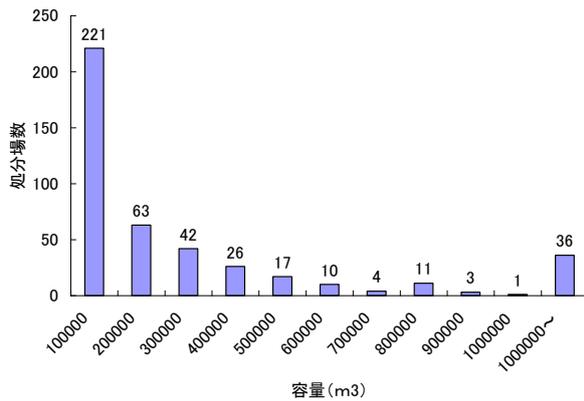


アスベスト廃棄物の受入実績がある処分場の類型



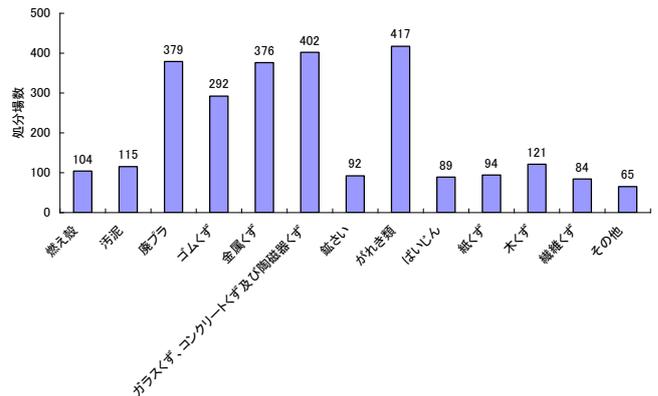
非飛散性アスベスト廃棄物の地域別発生量割合(m3)

図 2-1 受入実績と発生量割合



許可容量(安定型・管理型)

図 2-2 受け入れ処分場の許可容量



処分場の許可品目

図 2-3 受入処分場の許可品目

平成 4 年以前の受入実績については、飛散性アスベストと思われる廃棄物を受け入れた可能性があることを認識している企業は限られており、危険性の認識についても低い状況であった。埋立量の回答があったのは重量ベースが 3 社、容量ベースが 6 社であり、民間企業から受け入れたのは 101.1 トン、公共事業からは 119.3 トンであった。また、民間事業から受け入れた容量は 9608.1 立米、公共事業からは 2280.7 立米との回答であり、発生源は、一部広域からの受入がみられたが、ほとんどが県内処理であった。受入時の荷姿は、昭和 60 年時で、十分な強度を有する、又は耐水性のプラスチック袋で二重に梱包された状態であったのが 8 件、フレコン等で梱包されていたのが 2 件と、特別管理産業廃棄物に指定される平成 4 年以前であっても、一部の企業では飛散防止への配慮があったと思われ、散水、袋詰め、即日覆土など飛散防止対策が講じられている事例もあった。この場合においては、例えば防風林を植林した場所など、処分場内でも飛散しにくい場所に埋め立てられており大凡の場所の特定は可能である。埋め立てられたアスベスト含有廃棄物の状態—平成 4 年以降に開設したアスベスト含有廃棄物を埋め立てた処分場において、埋め立てが終了した部分の掘り起こし工事を進めている事例があったため現地調査を行った(写真 2-1)。当該処分場では 4,400 m³のアスベスト含有廃棄物が処分されている。そのうち 2/3 がコンクリート固化物、1/3 が飛散性アスベスト廃棄物として搬入されている。

これらは外側が黄色で廃石綿と記した二重袋に梱包され、各工区を中心部に埋め立てられている。埋め立て場所は月単位の作業記録で大凡の追跡は可能であるが、搬入日までの追跡は不可能である。掘り起こされたアスベスト含有廃棄物は梱包状態もほぼ当時のままの状況となっており、湿潤状態も保たれていた。



写真 2-1 アスベスト含有廃棄物の掘り起こし状況写真

(3) アスベスト含有廃棄物の化学的特性と飛散性評価

廃棄物試料に対するアスベスト検体のギ酸処理の際、その残渣率が JIS 法による既定値 15%以下にならず、処理後に続く X 線回折法によるアスベスト定量において、マトリックスによる影響を受けていた。その原因の一つとしてギ酸処理により取り除くこのできない石英の存在を平成 18 年度の研究結果として報告した。そこで、風力選別による石英成分の除去を試みた。実験に用いた風力選別装置を図 3-1 に示す。装置は卓上粉砕器を改造した粉塵発生装置、粉塵海流用サイクロンポット及び吸引ポンプで構成されている。粉塵発生装置にアスベスト成形板を粉砕し調整した試料を 5~50 g を入れ、12500 rpm の回転速度でプロペラを回転し、粉塵を巻き上げ、10 L/min の速度で吸引した。各サイクロンポット及びフィルターに捕捉された試料を採取し、ギ酸処理を行い蛍光 X 線、X 線回折及び走査型電子顕微鏡を用いてアスベストを測定した。各ポサイクロンポット及びフィルターに捕捉された重量割合、ギ酸処理後の残渣率及び蛍光 X 線分析により得られた主成分元素の含有率を表 3-1 に示す。回収された粉塵の量は 3.4 wt% であり、それらの元素組成の 80~90% がコンクリートや石膏由来の炭酸カルシウムや硫酸カルシウムであると考えられた。ギ酸処理後の残渣率は各サイクロンポットともに 15% 以下であり、かつ、ギ酸処理における不溶性成分である Si や Al が低減できることから、本法のアスベスト分析における物理的前処理法として利用できる可能性が示された。また、走査型電子顕微鏡で試料を観察したところ、装置内残渣、各サイクロンポット及びフィルターでアスベスト繊維が観察され、アスベストを分離・濃縮して効率よく捕集できる可能性が示された。

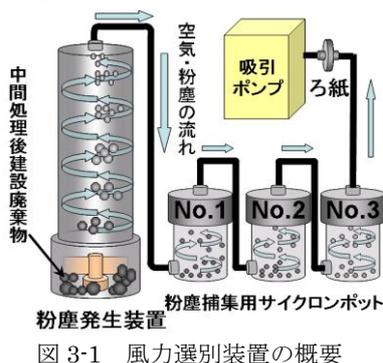


図 3-1 風力選別装置の概要

表 3-1 捕捉された粉塵の特性

	捕捉率 (wt%)	残渣率 (%)	主成分含有率 (wt%)				
			Si	Ca	S	Al	Fe
未処理試料	-	43	13.1	56.2	14	5.3	7.7
発生装置内残さ	-	-	23.8	45	5.6	8.3	10.5
No.1 ポット	2.89	14.2	7.9	61	20.5	3.8	4.1
No.2 ポット	0.39	10	7.6	61.8	20.9	3.7	3.1
No.3 ポット	0.09	6.23	4.6	62.5	26.2	2.3	2.3
フィルター	0.06	-	4.1	62.2	27.2	2.2	2.2

(4) 電磁波探査を用いた埋立アスベスト含有廃棄物の探査例

本稿で述べる電磁探査法とは浅層を対象としたスリングラム法であり、データはすべて Geophex 社 GEM-2 で測定し Surfer8 で図示した結果である。GEM-2 は 30 m 程度の調査深度能力を有するが 10 m 程度の信頼性で使用すると良いとも言われている。他社製品や対象周波数の違いにより留意すべき点も異なるため注意する必要がある。本装置による探査の大きな長所は、広い面を短時間で探査可能で解析時間が短いことである。一方、短所としては、具体的な深さや物質が正確に判らない、キャリブレーション誤差の補正、電磁氣的な周辺環境の影響、などがあり、使用目的を明確にして導入する必要がある。以下に、電磁波探査を用いた埋立アスベスト含有廃棄物の探査例を示す。千葉県内最終処分場のアスベスト含有廃棄物が埋め立てられたエリア (2 箇所) において電磁探査を行った結果を

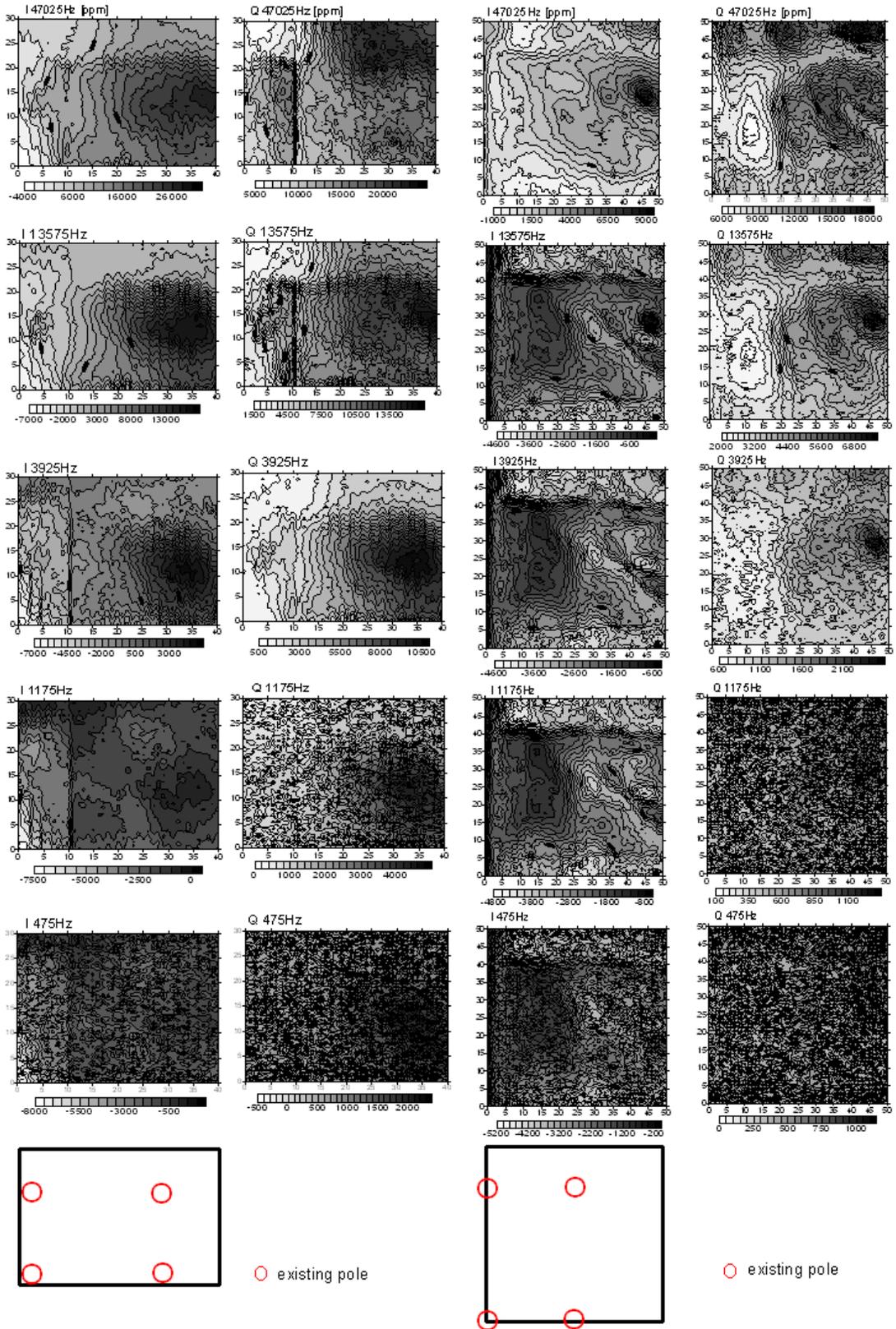


図 4-1 A-1 エリアの電磁探査結果

図 4-2 A-2 エリアの電磁探査結果

図 4-1 と図 4-2 に示す。低周波数ほど相対的に深い位置の面を表す。I (In-Phase : 同相) は 1 次磁場と位相が同じ 2 次磁場の強度比であり、Q (Quadrature : 離相) は 1 次磁場と位相が 90° ずれた 2 次磁場の強度比である。A-2 エリアでは既設ポールに沿って明確な応答が見られた。A-1 エリアでは既設ポールから少しずれた位置に強い信号が現れた。I と Q の応答がアスベストそのものの物性的応答なのかははっきりと断言することはできないが、仮にボーリングによりアスベストが掘削された A-2 エリアで考えると、I は高く Q は低くなると考えられる。一方、掘削されなかった A-1 エリアでは想定された地点での I は A-2 エリアと同様に高く (むしろオーダーが桁違いに高い)、Q は反対に高くなっ

た。このようにエリアによる信号の違いが生じた原因としては、I と Q の意味するものが相対的な強度比であることが考えられる。つまり信号が対象とする埋設物以外の物質（背景）との違いとして示されるため異なる場での結果をそのまま比較することは難しい。実際に A-1 エリアでは 10m を境界にして高さ 1m ほどの段差があり、左側の低い場所は搬入路のような状態でかなり踏み固められた性状であったことも場としての大きな違いになっていると思われる。ヒアリングによるとアスベストはすべてセメント固化されていたわけではないこと、埋立深さがさほど厚くないことなどから探査と掘削で当該埋立区域において埋設対象物の存在するエリアを正確に限定することは非常に難しいことがわかった。しかし、信号の応答がアスベスト自体によるものでなかったとしても、アスベストの埋設工程により生じた何らかの周囲との差異（ブルーシートの存在や性状変化など）が信号として現れたことは一部ボーリング結果からもわかった。また、同じ A-1 区画（図 4-3 参照）及び A-2 区画（図 4-4 参照）における別の電磁探査の結果を図 3-5 に示す。測定結果は 4 種類のコンターマップと 5 つの深さで表現された。図 4-5 に A-1 区画での解析結果を示す。左図は、1 回目の測定で得られた測定結果であり、右下だけでなく右上にも同じ強度の信号が現れた。この区画を中心に再探査したが 2 回目以降には信号はなく、繰り返し全面を再探査しても右下の応答のみが再現された。右図は、踏査方法を

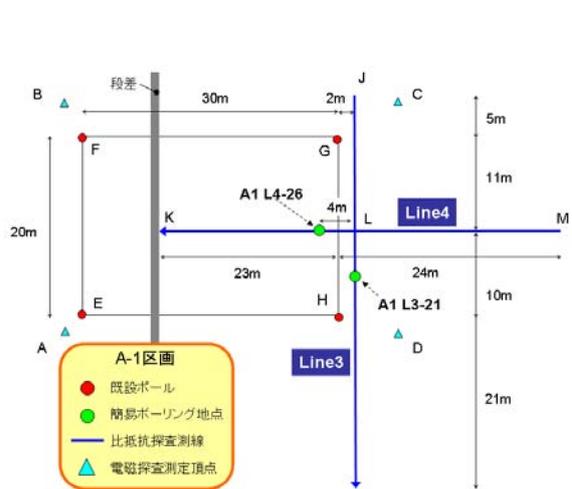


図 4-3 A-1 区画の平面図

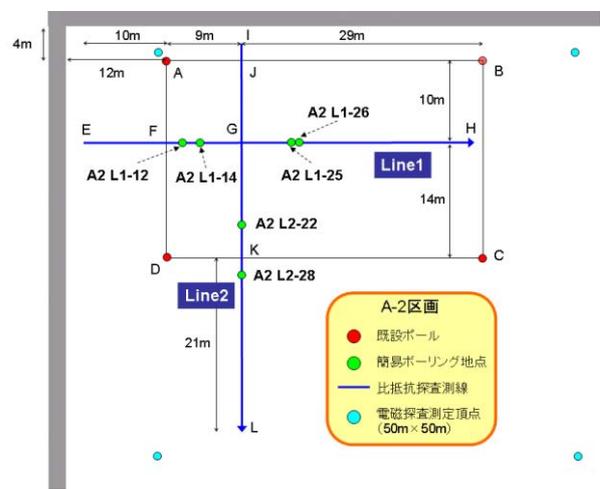


図 4-4 A-2 区画の平面図

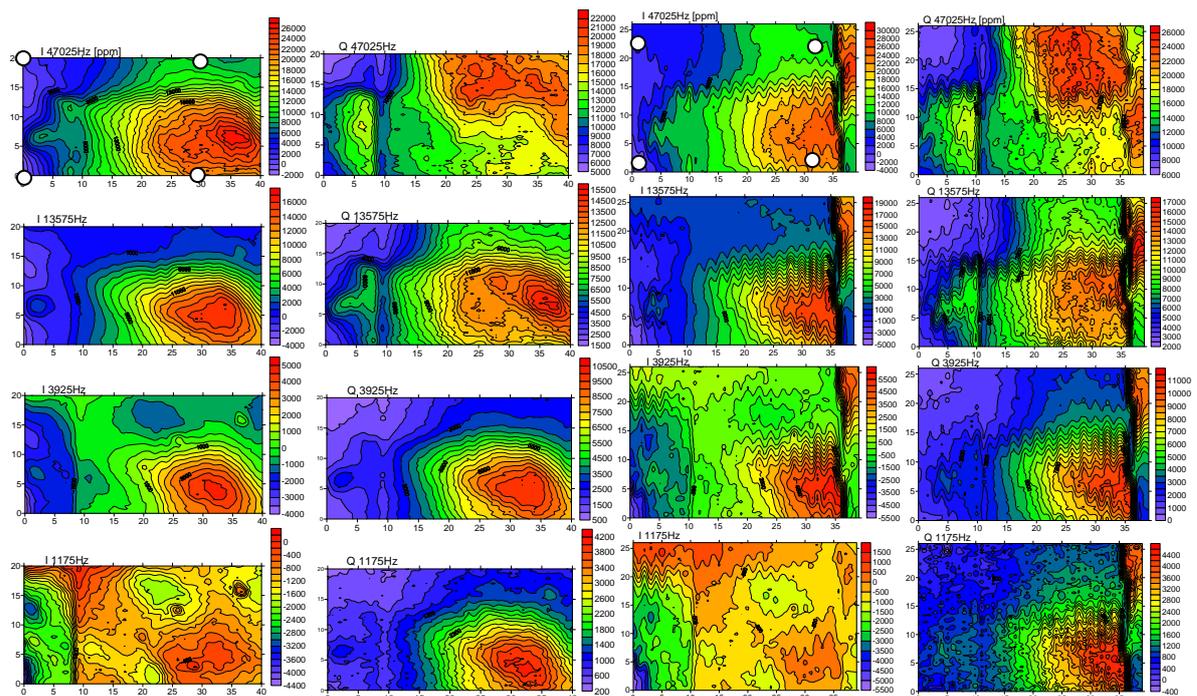


図 4-5 A-1 区画における電磁波探査結果（左：40m26m 往復踏査、右：40m20m 片道踏査）

片道のみに変えた結果であり、より滑らかなコンターマップが得られている。Iの47025 Hzの図中に示した白丸がアスベスト埋立区域を示すポール（図4-3中の既設ポールに相当）であるが、両図ともに右方向に信号がずれている。その中心も左図では座標(30,10)辺りになるのに対して、右図では座標(32,5)付近となっている。なお、昨年度のボーリング調査結果によると、座標(28,10)の深度4.00～4.35 m付近でセメント固化物状のアスベストが確認されている。

(5) 比抵抗探査を用いた埋立アスベスト含有廃棄物の探査例

千葉県内最終処分場のA2エリア（参考資料(4)図4-2参照）における比抵抗探査の結果を図5-1および図5-2に示す。A2エリアにおけるアスベスト含有廃棄物の非埋立区域を調査した探査測線における比抵抗分布は $25\Omega\cdot\text{m}$ という低い比抵抗分布（図5-1）が支配的であったのに対し、埋立区域のそれにおいては $50\sim 100\Omega\cdot\text{m}$ 以上の相対的に高い比抵抗分布（図5-2）を示した。同一の測線上において埋立区域と非埋立区域の比抵抗分布を求めた場合においても同様の傾向を示した。当該処分場ではアスベスト含有廃棄物をセメント固化して埋立てており、それ以外は鋼砕スラグが多く埋立てられていることがわかっている。セメント固化物はスラグに比べ空隙率が低く電気が流れにくいことから、アスベスト含有廃棄物の埋立区域では高い比抵抗値を示したと考えられる。

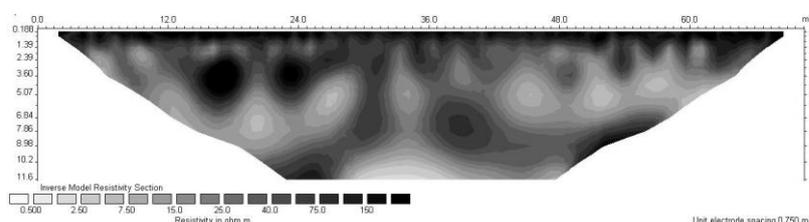


図5-1 アスベスト含有廃棄物の非埋立区域における比抵抗分布

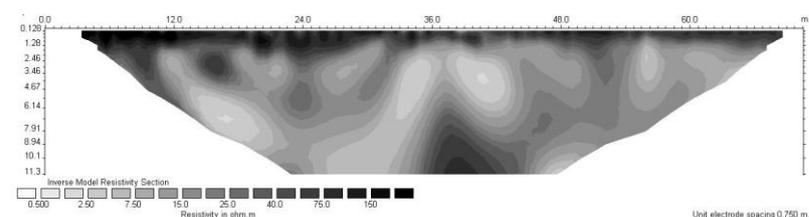


図5-2 アスベスト含有廃棄物の埋立区域における比抵抗分布

さらに、A-2区画に設置した探査測線Line 1（参考資料(4)図4-4参照）の比抵抗分布を図5-3に示す。また、操作測線上で実施したボーリングの柱状図を重ねた。ボーリングにより削孔地点L1-25の深度2.7～3.0 mにおいてセメント固化物状のアスベストが確認されたが、その他の廃棄物層は、ほとんどは鉍滓スラグであった。しかしながら、削孔地点L1-12では他の削孔地点と比較して比抵抗値が低くなっていた。L1-12の深度3.0～3.5 mにおける平均水分含有量は83.3%であり、他のコア試料の平均水分含有量（ $27.0\pm 2.5\%$ ）と比較して非常に高い値であった。このことから、L1-12における低比抵抗領域は水分含有量の高いエリアであると推定された。L1-12、L1-25における水分含有量とECの深度プロファイルを検討した結果、アスベスト含有廃棄物のECは 230 mS/m と高い値を示した。一般的に比抵抗値とECは逆相関を示すにも関わらず、高比抵抗領域でアスベストが確認されていることから、埋立廃棄物の水分含有量やECなどの化学的特性だけではなく、固化処理後の埋立であるアスベスト含有廃棄物で高いと考えられる埋立廃棄物の空隙率や密度などの物理的特性も、比抵抗分布に影響を与える重要な因子であると考えられた。

(6) アスベスト等コロイド粒子の廃棄物層内移動特性

最終処分場ではアスベスト含有廃棄物を選別してセメント固化もしくは袋詰めして埋め立てており、アスベスト含有量は比較的大きいと判断される。また、通常の廃棄物層の間隙は沖積層と比較して極めて大きいため、アスベスト含有廃棄物から剥離したアスベストが移動するには十分な条件にあると考えられる。堆積物層などの多孔質媒体中の移動現象にコロイド界面現象が大きく関与し、いわゆるコロイド担体輸送の形で、様々な化学汚染物質の移動が促進される可能性が懸

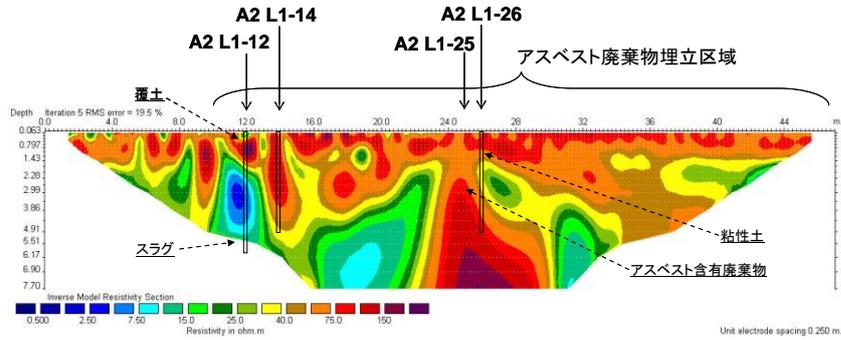


図 5-3 A-2 区画における比抵抗分布とボーリング柱状図

念される。アスベストは針状であるもののコロイドサイズの粒子であることから、その輸送挙動にはコロイド界面化学的な検討が必要となる。ここでは、多孔質媒体中のコロイド粒子の移動現象がコロイド粒子の凝集分散現象によって大きく変化することに着目し、標準砂充填カラムを用いて繊維状のコロイド粒子であるイモゴライトの凝集分散と砂中カラム内の輸送特性を示す。繊維状のコロイド粒子であるイモゴライトの凝集分散と砂中カラム内の輸送特性について検討するため、繊維状の鉱物であるイモゴライトを地層より採取精製し、イオン強度の制御によって凝集した試料と分散した試料を用意した (図 6-1)。この試料を用いてコロイドの通過実験を行ったところ凝集領域では沈着が卓越し、多孔質体内の移動が抑制されるのに対し、コロイド分散域では多孔質カラム内を容易に通過することが確認された (図 6-2、6-3)。また、分散領域の破過曲線の対上がりの遅れが確認され、繊維状形状の特徴と推定された。疑似アスベスト様コロイド粒子として繊維状の鉱物であるイモゴライトを用いてカラム通過実験を実施したところ、凝集領域では沈着が卓越して移動が抑制されるのに対し、分散域ではイモゴライトが容易に移動することが確認された。

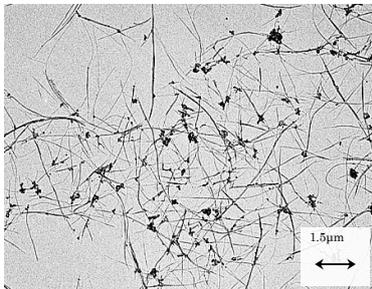


図 6-1 イモゴライトの顕微鏡写真

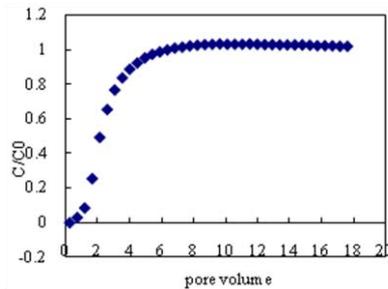


図 6-2 イモゴライトの分散条件における破過曲線 (イオン強度 0.5×10^{-3} M)

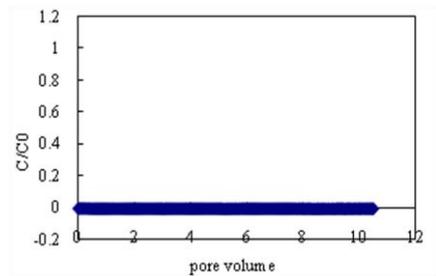


図 6-3 イモゴライトの分散条件における破過曲線 (イオン強度 0.5 M)

(7) アスベスト等コロイド粒子の廃棄物層内移動に関する数値解析例

廃棄物処分場に埋め立てられたアスベスト含有廃棄物から剥離したアスベストが処分場内をどのような挙動で移動し、浸出水中に流下してくるかを評価し、埋め立てられたアスベスト含有廃棄物の安全性を検証した例を示す。埋立廃棄物や地盤などの多孔質体中でのコロイドの移動を表現した数値モデルとして移流分散方程式に濾過と剥離係数を考慮した連続方程式に着目し、二次元断面を想定してパラメトリックスタディーを実施した。基礎方程式は次式のとおりである。

$$\theta \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_c}{\partial t} + q_i \frac{\partial M}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial M}{\partial x_j} \right) = 0, \quad \frac{\partial \sigma_c}{\partial t} = K_1 (\theta - \theta_c) M - K_2 \rho_c \theta_c$$

ここで、 θ は体積含水率 [-]、 M は可動コロイド濃度 [M/L³]、 σ_c は濾過されたコロイド濃度 [M/L³]、 q はダルシー流速 [L/T]、 D_{ij} はコロイド分散係数 [L²/T] を表わす。 σ_c は土の単位体積当たりの堆積したコロイドの体積 [-] を表わし、 $\sigma_c = \theta_c \rho_c$ の関係をもつ。 ρ_c はコロイドの材料密度 [M/L³] である。 K_1

は濾過定数 $[1/T]$ を表わし、 K_2 は剥離定数 $[1/T]$ を表わす。解析空間を図 7-1 に示す。廃棄物処分場の一部にアスベスト廃棄物が埋設されている。地表面は流量 600 mm/yr の境界値を与えた。一方、地表面下 $GL-10 \text{ m}$ の位置には圧力水頭 2 m を与えた。アスベスト層の濾過定数を $\times 10^{-3} \text{ 1/day}$ 、剥離定数を 10^{-2} 1/day 、透水係数を $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{ cm/s}$ として与えた。図 7-2 は解析空間中の剥離したアスベスト濃度分布と流速ベクトルを表わす。アスベストの透水係数は周辺の廃棄物層のそれと同じに設定し、アスベストを固化しないまま廃棄物層中へ埋設したケースに相当する。アスベスト層内に降雨が浸透することで、周辺の廃棄物層内へアスベストが溶出している。図 7-3 はアスベスト廃棄物を固化させた条件を想定し、アスベスト層の透水係数を周辺の廃棄物層の $1/100$ 倍に設定した場合の結果である。アスベスト層内への降雨浸透が抑制され、アスベスト層内および廃棄物層内へのアスベストの溶出が低減された。アスベスト剥離抑制のためのアスベスト廃棄物固化処理の必要性が示唆された。

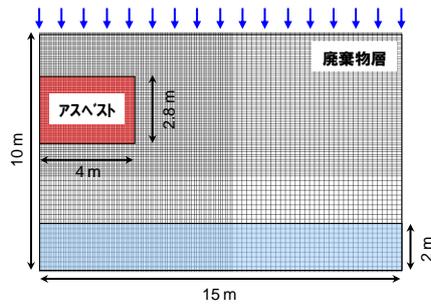


図 7-1 解析断面と境界条件

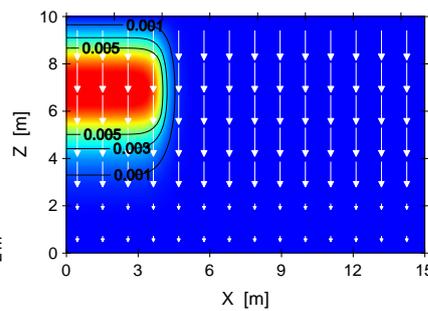


図 7-2 石綿層の透水係数 10^{-3} cm/s

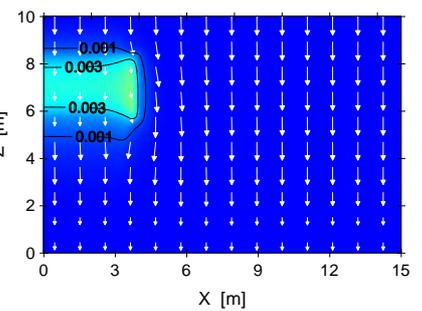


図 7-2 石綿層の透水係数 10^{-5} cm/s

- ・結論 =平成 16 年に施行された跡地形質変更ガイドラインに記されていないアスベスト含有廃棄物埋立地での跡地形質変更について、技術的な課題、特に大気、浸出水経路の移動特性について検討を実施し、過去から未来におけるアスベスト含有廃棄物の埋立状況について推算を行った。それらの研究成果を踏まえて、アスベスト含有廃棄物が埋め立てられた最終処分場の跡地形質変更に係る施行ガイドラインの素案を作成した。

英語概要

- ・研究課題名 = 「Development of Methodology on Safety Assessment of Waste containing Asbestos at Final Disposal Sites」
- ・研究代表者名および所属 = Masato YAMADA (National Institute for Environmental Studies), Kazuto ENDO, Hiroshi ASAKURA, Hiroyuki ISHIMORI (National Institute for Environmental Studies), Yasuharu OHTSUKA (Japan Environmental Sanitation Center), Tomonori KAGAWA (National Federation of Industrial Waste Management Associations), Osamu OISHI (Environmental Research Center of Chiba), Mikio KAWASAKI (Center of Environmental Science in Saitama)
- ・要旨 (200 語以内) = In order to aim at perfection of safety and secure solution of an asbestos problem, we should focus on landfilled waste-asbestos by the present from the past. Prevention method of re-scattering the waste-asbestos to the environments from the landfill should be founded at the time of landfill regeneration and post closure use by confirming actual containment condition in final disposal sites. The purposes of this research are: (1) to develop methodology to specify the final disposal site landfilled the waste-asbestos by analysis on material flow of asbestos using records of production, use and waste disposal, (2) to suggest sampling methods of the landfilled waste-asbestos with preventing of scattering, (3) to characterize scattering behavior of the asbestos during excavating, (4) to chemically characterize the wastes which contained the asbestos, and (5) to evaluate migration behavior of the landfilled waste-asbestos in final disposal site. A series of these techniques will be established as the

investigation methodology for confirming safety of the waste-asbestos landfilled in the existing final disposal sites. In addition, we experimentally produced a practice guideline at the time of character change of closed final disposal sites in which asbestos-waste has been landfilled.

- キーワード (5 語以内) = waste asbestos, material flow, site investigation method, chemical characteristics, migration characteristics