

[ノート]

アスベスト除去工事における漏えい予測方法の検討

前川 真徳¹, 平木 隆年¹, 高石 豊¹¹ 兵庫県環境研究センター 大気環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町3-1-18)

Investigation of prediction methods in asbestos leakages

Masanori MAEKAWA¹, Takatoshi HIRAKI¹ and Yutaka TAKAISHI¹¹ Atmospheric Environmental Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,
3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

2018年度から2022年度の、アスベスト除去工事現場におけるアスベストの漏えい調査結果を解析した。アスベストの漏えいに寄与するカテゴリーについて、フリーソフトウェア「R」を用いて、数量化2類により解析を行った。目的変数をアスベスト漏えいの有無（アスベスト濃度1 f/L超）、説明変数をアスベスト除去業者、アスベスト種、工法の3カテゴリーとして解析した結果、アスベスト除去業者、アスベスト種、工法の順でアスベストの漏えいに重要であることがわかった。また、各カテゴリーのカテゴリースコアは概ね漏えい率を反映していた。この解析結果を用いて2023年度に測定立入を実施した103検体について、事前に提出される届出のデータを元にアスベスト漏えいの判別予測を行った。結果、漏えい確率が0%を超えると判別予測されたのは45検体、漏えい確率が0%以下と判別予測されたのは58検体であった。漏えい確率が0%を超えると判別予測された45検体中6件からアスベストの漏えいが確認され、予測の的中率は13.3%であった。また、漏えい確率0%以下と判別予測された58検体からはアスベストの漏えいは確認されず、的中率は100%であった。このため、数量化2類を用いた解析を行うことで、アスベストの漏えいに対して判別予測ができると推察された。

I はじめに

アスベストは石綿と呼ばれ、天然に産出する綿のように柔らかな鉱物繊維である。耐熱性、耐薬品性、絶縁性など優れた性質を持っているため、「奇跡の鉱物」、「魔法の鉱物」と呼ばれ、建材、電気製品、自動車や家庭用品など約3000種を超える形態で利用されてきた。しかしながら、アスベスト粉じんを吸引することによって、アスベスト肺、肺癌、悪性中皮腫などの健康被害があることがわかっている¹⁾。日本では使用されたアスベストのうち、建材に92%、自動車の摩擦材等に3.6%、その他に4.4%が使用されている²⁾。2006年にアスベストの使用は全面的に禁止となったが、アスベ

ストを使用した建築物は残っており、建築物の解体による環境中への飛散防止が課題となっている。

1996年5月に大気汚染防止法(昭和43年法律第97号、以下「大防法」という。)が改正、翌年4月に施行され、アスベスト除去作業に作業基準が定められた³⁾。

兵庫県は環境の保全と創造に関する条例(平成7年7月18日条例第28号、以下「県条例」という。)を1995年に制定、翌年1月に施行し、建築物等の解体や改修に伴う大気中へのアスベスト飛散防止規制を国に先駆けて実施してきた。

さらに、建築物解体時のアスベスト飛散防止に対応するため、2013年6月に大気汚染防止法の一部を改正する法律が公布され、アスベスト除去作業に

おける作業基準が改正され厳格化された⁴⁾。

兵庫県では大防法第26条に基づき、特定粉じん排出等作業実施届（以下「届出」という。）のあったアスベスト除去作業の現場に対し、立入検査を実施している。また、除去作業中のアスベストの漏えいをすみやかに把握するため、作業現場において、大気試料の採取と顕微鏡を用いた検査を実施し、アスベスト漏えいの有無を確認している。

0.1%重量以上のアスベストを含む建材が用いられた建築物の解体件数は2030年にピークを迎えると推計されており⁵⁾、アスベスト除去工事と届出の増加が予想される。

増加が予想される届出に対して、事前に提出される届出から漏えいの可能性が高い現場を判別予測し優先して立入検査を行うことができれば、より効果的な立入検査を行うことができる。

他府県でも同様の調査が実施されており、効果的なアスベスト飛散防止対策のために漏えい解析が行われている⁶⁾。これらの解析事例はそれぞれの自治体特有のものとなっており、他の自治体で応用できるものではなかった。本研究では他の自治体でも応用可能な解析手法を検討するため、兵庫県が立入検査を実施した2018年度から2022年度の5年間で採取・分析した876検体を用い、数量化2類による統計解析を行った。

アスベストの漏えいの可能性が高い現場を事前に予測するため、2023年度に採取・分析した103検体に対して統計解析結果を用いてアスベストの漏えいを判別予測し、その結果を確認したので報告する。

II 方法

1 調査期間

解析対象期間は、最新の傾向を把握するため、2018年度から2022年度までの5年間とした。

また、解析の予測精度を確認するために2023年度の検体データを用いた。

2 調査地域

調査地域は、大気汚染防止法政令市を除く兵庫県域とした。

3 調査対象

大防法に基づく届出のあった工事のうち、検体

数が十分にある特定建築材料（大気汚染防止法施行令（昭和43年政令第329号）第10条の2に規定する特定粉じんを多量に発生する等の原因となる特定建築材料）を調査対象とした。

4 採取及びアスベストの計数方法

アスベストの採取方法は、原則として環境省が定めるアスベストモニタリングマニュアル⁷⁾（以下「マニュアル」という。）に示された方法に従った。47 mm φのセルローズエステルメンブランフィルター（Millipore AAWP04700）に吸引流量10 L/minで現場空気をろ過捕集した。採取は除去作業が行われている間に行うことを原則とした。

アスベストの計数と同定は原則としてマニュアルに示された位相差/偏光顕微鏡法に従い、位相差顕微鏡により繊維の形態観察を実施し、偏光顕微鏡に切り替えて光学的特性からアスベスト繊維を同定した。

アスベストの計数と同定は、位相差/偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE LV100ND）を用いて行った。観察倍率は400倍（接眼10倍、対物40倍）、観察領域は視野全体、観察視野数は50視野で行った。

5 解析方法

フリーソフトウェア「R」を用いて⁸⁾、数量化2類により、解析を行った⁹⁾。

数量化2類で分析すると、除去工事の事前調査項目を説明変数と想定し、「アスベストが漏えいする」という目的変数にどのような影響を与えているかを調べることが可能である。

アスベストの漏えいは建築物等の解体に係るばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアルの環境省モニタリング結果から、一般大気中の総繊維濃度は概ね1 f/Lであることから¹⁰⁾、本調査においてアスベストの漏えいは1 f/L超と定義した。

数量化2類による解析にあたって、目的変数は漏えいの有無（1 f/L超）、説明変数にはアスベストの漏えいと強い相関を示したカテゴリーである工法、アスベスト種、アスベスト除去業者（以下「除去業者」という。）を選定し、2018年度から2022年度の876の検体を解析し、カテゴリースコアと各検体のサンプルスコアを推定した。

ここで得られた結果の有効性を確認するため、2023年度の届出データを用いて、アスベストの漏

えいについて判別予測を行った。

Ⅲ 結果および考察

1 アスベストの漏えい傾向

解析にあたって、漏えいに影響を及ぼすと考えられるカテゴリーを工法、アスベスト種、除去業者に設定し、それぞれの漏えい率を調査した。

工法別では、飛散レベルが高く負圧隔離が必要な施工方法では5.4%が、これに続く高い飛散レベルに対処するグローブバッグを使用した施工方法では19.1%がアスベストの漏えいがあった。飛散レベルが低いため養生のみを行う施工方法ではアスベストの漏えいはなかった。

アスベスト種別では、アモサイトで8.6%、クリソタイルで1.4%、クリソタイルとアクチノライトの混合種で0%、クリソタイルとアモサイトの混合種で8.9%、クリソタイルとアモサイトとトレモライト及びアクチノライトの混合種で0%、クロシドライトで13.8%、クリソタイルとクロシドライトの混合種で38.5%、アスベストが含有していると推定される「みなし」で5.4%の漏えいがあった。

除去業者別では除去工事を施工した全82社のうち29社から漏えいがあった。除去業者の最も高い漏えい率は66.7%であった。また、最も低い除去業者の漏えい率は0%で53社であった。

2 統計解析結果

解析にはフリーソフトウェア「R」を用いた。数値化2類による解析では、目的変数をアスベストの漏えいの有無（1 f/L超）、説明変数に工法、アスベスト種、除去業者のカテゴリーを選定した。工法は3パターン、アスベスト種は8パターン、除去業者は59パターンに整理した。検体数が3未満の除去業者はその他としてTable 1のとおり整理した。

数値化2類により、各サンプルには次式に示す数量が与えられる。

$$y = \{a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + a_{13}x_{13}\} + \{a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{28}x_{28}\} + \{a_{31}x_{31} + a_{32}x_{32} + \dots + a_{359}x_{359}\}$$

負圧隔離 グローブバック 養生
アモサイト クリソタイル みなし
A社 B社 その他

この解析からそれぞれのカテゴリーの係数が得

られ、解析結果の的中率は93.2%で判別予測に用いることができると考えられた。得られた係数から計算したカテゴリースコアと寄与率をTable 2に示す。

Table 1 Objective and explanatory variable codes

Asbestos analysis specimen	Objective variable		Explanatory variable		
	Number	Asbestos leakage concentration C(f/L)	Method of construction	Asbestos(※)	Asbestos removal contractor
1	1	1	1	2	57
2	1	1	1	2	57
3	1	1	1	2	57
...
876	1	1	1	1	47

Code				
1	C ≤ 1	Negative pressure isolation	Amo	Company A
2	1 < C	Glove bag	Chry	Company B
3		Regimen	Chry, Act	Company C
4			Chry, Amo	Company D
5			Chry, Amo, Tre, Act	...
6			Chry, Cro	...
7			Cro	...
8			Regard	...
9				...
...				...
59				Other companies

Table 2 Quantification method type II analysis results

Explanatory variable	Classification	Coefficient	Number	Category score	Range	Contribution rate
Method of construction	1 Negative pressure isolation	0.00	826	-1.00	2.65	16.3%
	2 Glove bag	1.25	47	0.25		
	3 Regimen	-1.40	3	-2.40		
Asbestos (※)	1 Amo	0.00	249	-1.00	5.25	32.3%
	2 Chry	-0.69	351	-1.69		
	3 Chry, Act	-1.17	4	-2.17		
	4 Chry, Amo	0.34	135	-0.66		
	5 Chry, Amo, Tre, Act	-1.99	3	-2.99		
	6 Chry, Cro	3.26	13	2.26		
	7 Cro	0.75	65	-0.25		
	8 Regard	-0.93	56	-1.93		
Asbestos removal contractor	1 CompanyA	0.00	123	-1.00	8.35	51.4%
	2 CompanyB	-0.40	67	-1.40		
		
	52 CompanyD	6.89	3	5.89		
	53 CompanyE	-1.45	3	-2.45		
		
59 Othe companies	0.085	42	-0.9			

(※)Asbestos species should be listed as follows

Amo: Amosite, Act: Actinolite, Chry: Chrysotyle, Cro: Crocidolite, Tre: Tremolite.

寄与率はカテゴリーの重要度を示す。解析結果から除去業者、アスベスト種、工法の順で重要であることが明らかになった。

カテゴリースコアはカテゴリー中でのアスベスト漏えいへの影響の大きさを示す。

結果、工法別ではグローブバック工法が、アスベスト種別ではクリソタイルとクロシドライトの

混合種が、除去業者別ではアスベストの漏えい率が高い除去業者が高いカテゴリースコアを示した。このため、カテゴリースコアは概ねカテゴリー別の漏えい率を反映していると考えられる。

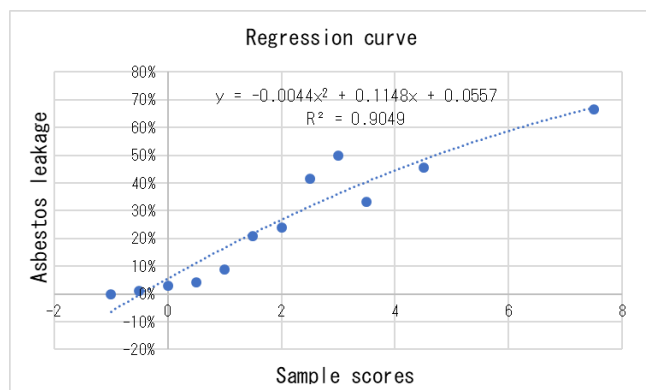


Fig.1 Regression curve for the probability of asbestos leakage and sample scores

3 アスベストの漏えい判別予測

2018年度から2022年度の876検体について、数量化2類による解析を行い、得られたサンプルスコアを階級別に分けた。階級別のサンプルスコアとアスベスト漏えい率との回帰曲線をFig. 1に示す。回帰曲線の2次関数は $y = -0.0044x^2 + 0.1148x + 0.0557$ であり、決定係数は0.9049であった。

2023年度に立入検査において採取・分析した103検体について、解析結果から得られた係数を用いて、届出のデータを元にサンプルスコアを求め、回帰曲線を用いて、アスベストの漏えい確率を予測した。

結果、漏えい確率が0%を超えると判別予測されたのは45検体、漏えい確率が0%と判別予測されたのは58検体であった。

2023年度は103検体の中で漏えいが確認されたのは6件の5.8%であった。一方で漏えい確率が0%を超えると判別予測された45検体中6件からアスベストの漏えいが確認され、予測的中率は13.3%であった。

また、漏えい確率0%と判別予測された58検体からはアスベストの漏えいは確認されず、予測的中率は100%であった。

このため、数量化2類を用いた解析を行うことで、漏えいの判別予測を行うことができると推察され

た。

今後は、漏えいに影響を及ぼすと考えられる他のカテゴリーの追加を検討し、さらに判別予測方法の検討を進めていく。

IV 結論

2018年度から2022年度にかけて、アスベスト除去工事現場の立入調査で、アスベストの漏えい調査を行った。その結果を用いて、アスベストの漏えいに寄与するカテゴリーについて、フリーウェアソフト「R」を用いて、数量化2類により解析を行った。

目的変数をアスベスト漏えいの有無（アスベスト濃度1 f/L超）、説明変数をアスベスト漏えいに影響するカテゴリーとして、工法、アスベスト種、除去業者を設定し解析を行った結果、除去業者、アスベスト種、工法の順でアスベストの漏えいに重要であることが分かった。

また、説明変数である各カテゴリーにおけるカテゴリースコアは概ね各カテゴリーの漏えい率を反映していた。

この解析結果を用いて2023年度に実施した103検体について、届出のデータを基にアスベスト漏えいの判別予測を行った。

結果、漏えい確率が0%を超えると判別予測されたのは45検体、漏えい確率が0%以下と判別予測されたのは58検体であった。

漏えい確率が0%を超えると判別予測された45検体中6件からアスベストの漏えいが確認され、予測的中率は13.3%であった。

また、漏えい確率0%と判別予測された58検体からはアスベストの漏えいは確認されず、予測的中率は100%であった。

このため、数量化2類を用いた解析を行うことで、アスベストの漏えいに対して判別予測ができると推察された。

文献

- 1) 榊原正幸, 上原誠一郎:アスベストとは何か?, 岩石鉱物科学, 35, 3-10 (2006)
- 2) (社)日本石綿協会:わが国における石綿製品等の使用状況 (1996)
- 3) 環境省:大気汚染防止法の一部を改正する法律

- の施行等について (1996)
- 4) 環境省：大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について(2013)
- 5) 国土交通省：社会資本整備審議会建築部会建築分科会アスベスト対策部会（第5回）資料（2009）
- 6) 豊永悟志ら：第19回環境情報科学ポスターセッション発表要旨集, p99(2023), オンライン
- 7) 環境省：アスベストモニタリングマニュアル（第4.2版）(2022)
- 8) R Core Team：R:A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2023)
<https://www.R-project.org/>（参照2023.9.1）
- 9) 長畑秀和：Rで学ぶ多変量解析, p122-133, 朝倉書店, 東京(2017)
- 10) 環境省：建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル（2024）

than 0%, and the prediction accuracy was 13.3%.

In addition, no asbestos leakage was confirmed in 58 specimens that were predicted to have a leakage probability of 0%, and the accuracy rate was 100%.

Therefore, it is inferred that the analysis using Quantification Method Type II can be used for discriminant prediction of asbestos leakage.

Abstract

We conducted asbestos leakage surveys at asbestos removal sites from FY 2018 to FY 2022 and analyzed the categories contributing to asbestos leakage using the free software "R" by Quantification Method Type II. The objective variable was the presence of asbestos leakage (asbestos concentration > 1 f/L), and the explanatory variables were asbestos removal contractor, asbestos species, and construction method. The category scores for each category generally reflected the leakage rate. Using the results of this analysis, we predicted the probability of asbestos leakage for 103 specimens conducted in FY2023 based on the data of notifications submitted in advance.

As a result, 45 specimens were predicted to have a leakage probability of more than 0%, and 58 specimens were predicted to have a leakage probability of 0%. Leakage of asbestos was confirmed in 6 of the 45 specimens with a leak probability of more