

[ノート]

アスベストアナライザーの活用方法の検討

兒玉 力哉¹, 吉田 光方子¹

¹ 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)

Consideration of the practical application of the asbestos analyzer

Rikiya KODAMA¹, Mihoko YOSHIDA¹

¹ Atmospheric Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,

3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

建材中のアスベスト有無の迅速で正確な簡易判定化を図るため、環境省からアスベストアナライザーを借用し事業者等が実施した事前調査結果とアスベストアナライザーによる測定結果について比較を行った。事前調査結果に対して、正解率、適合率、再現率、F1スコアの全て指標は1に近い結果を得た。さらに、1検体当たり1分～2分で測定できることから、緊急性を要する現場においてアスベスト有無を確認できることも分かり、迅速でかつ簡易に建材中のアスベスト有無を調査する方法として、アスベストアナライザーは活用できる可能性が高いことが示唆された。

I はじめに

アスベストとは、天然の繊維状鉱物で石綿とも呼ばれており、代表的なものにクリソタイル（白石綿）、アモサイト（茶石綿）、クロシドライト（青石綿）の3種類がある。耐熱性、耐薬品性、絶縁性等の優れた特性を有し安価であったことから、建材、電気製品、自動車や家庭用品等様々な形で使用されてきた。しかし、アスベスト繊維は極めて細く大気に飛散しやすいことから、吸入すると、肺がんや中皮腫、アスベスト肺等の健康被害の原因になることが分かっている。このため、1975年に特定化学物質等障害予防規則の改正によりアスベスト規制が始まった。その後も規制が強化され2006年には労働安全衛生法施行令改正によりアスベスト含有率が0.1%を超えるものの製造、輸入、

譲渡、提供、使用が全面的に禁止された。アスベストは様々な形で使用されてきたが特に建材製品に多く全体の約93%を占めている¹⁾。今なお、アスベストが使用されている建築物は残っており、建築物の解体工事等によるアスベストの飛散が課題となっている。

そのため、兵庫県では大気汚染防止法（以下「大防法」という。）第26条に基づき、特定粉じん排出等実施作業届のあった現場に対して、除去等の作業開始時に原則大気試料の捕集及び位相差偏光顕微鏡での検鏡を実施し、アスベスト漏えいの有無を確認している（以下「立入検査」という。）。さらに、非飛散性アスベスト含有建材であっても、大気中へのアスベスト飛散が懸念されることなどから、環境の保全と創造に関する条例で、一定規模以上の建築物の解体工事について特定工作物解

体等工事実施届(以下「条例届出」という。)の提出の義務付けや飛散防止の基準を設ける等, 飛散防止に向けた規制強化も実施している。

一方, 建材中のアスベスト含有判定には以下2つの課題がある。1つ目は, 解体現場での立入検査時に, 目視等によるアスベスト含有判断が難しく, 現場において事業者の事前調査結果が適切かの確認や事前調査の見落としの確認が困難であることである。2つ目は, 災害時に, 被災建築物の事前調査は迅速な判定が必要になることに加え, 被害状況や調査体制次第では事前調査が適切にされない可能性があることである。さらに, 南海トラフ地震の30年以内発生確率は60%~90%程度以上となっている²⁾ことから, 迅速かつ正確な建材中のアスベスト簡易判定は喫緊の課題となっている。

迅速かつ簡易なアスベスト判定には, 公定法として定められていないが染色法や携帯型アスベストアナライザー(以下「アナライザー」という。)による手法がある。

染色法については, 田畑ら³⁾が災害現場や解体現場で発生した廃棄建材に対し, アスベストの含有有無を現場で迅速に判定するため検証している。東日本大震災の災害廃棄物などから採取された建材を2種の試薬により, アスベスト繊維の表面を染色し, 実体顕微鏡で観察し, 着色した場合アスベスト含有と判定する。この方法は, 迅速かつ簡便ではあるが, クリソタイル以外のアスベスト繊維に対しては感度が低いことが課題である。

また, アナライザーは現場でアスベスト含有の有無が確認できることから, 災害時における石綿飛散防止に係る取扱マニュアル(第3版)⁴⁾に建材中のアスベスト簡易判定法として紹介されている。簡易に短時間で確認することができるため, 災害等の応急対応時には特に有用であることも紹介されている。アナライザーは感部を直接建材に当て, 近赤外線照射し反射してきたスペクトルとアナライザーに保存されている標準アスベストとのスペクトルを対照させることで, アスベスト含有の有無を確認することができる(Fig. 1)。しかし, 含有率が1~2%以上(アンソフィライトのみ2%以上)の場合しか検知できないため, 石綿含有無しの証明には適用できないことや, 成形板などの建材等の表面が塗装されている場合には正確に測定できないため, 表面を削ることや裏面で測定を実施する必要があること等の課題がある。環境省は石綿含有建材の把握調査等のため, 所有する石綿簡易

分析機(アナライザーや携帯型蛍光顕微鏡)を都道府県等に貸与する事業を実施している。貸与された都道府県等は機器を現場において使用し, 機器の有用性や導入の可否について検討を行っている。

そこで, 本研究では建材中のアスベスト有無の迅速で正確な簡易判定化を図るため, 環境省からアナライザーを借用し, 有用性や実用性について検討したので結果を報告する。

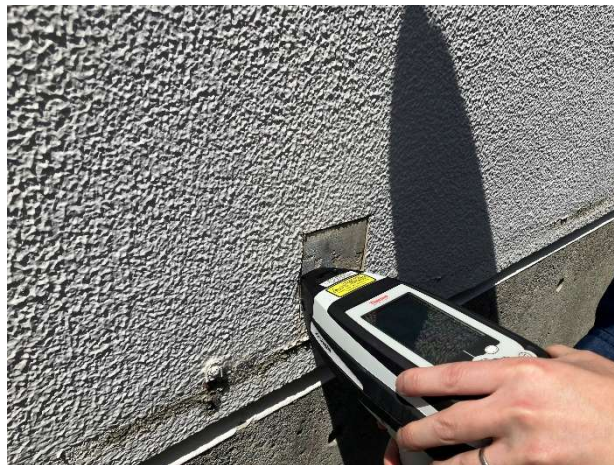


Fig. 1 Measurement using an asbestos analyzer

II 方法

1. アナライザー及び測定方法

環境省から貸与されたアナライザー(Thermo Fisher Scientific社製, 型番: microPHAZIR-AS)を用い, 建物に使用されている建材もしくは建材サンプルに対して測定箇所をずらしながら3か所選定し測定を行った。3回の測定のうち1回でもアスベストが検出された場合, その建材にはアスベストが含有されているとみなした。

2. 試料

アナライザーで測定する試料は, 以下(1)~(4)とした。

(1)公益財団法人ひょうご環境創造協会(以下「協会」という。)の建物内に使用され, 協会による事前調査済み建材(9検体)

(2)協会が所有している事前調査済み建材サンプル(23検体)

(3)事前に県民局に協力を求め, 条例届出があった現場に立入検査を行った建物に使用され, 事業者による事前調査済み建材(12検体), この立入検査ではアナライザーでの測定に要した時間もあわせて調査した。

(4)協会建物内の事前調査未実施箇所の建材(8検

体)

3. 事前調査結果とアナライザー測定と比較方法

事前調査でのアスベストの有無と、アナライザーでの測定結果を比較し、事前調査結果が陽性でアナライザーが陽性であるものを真陽性(True Positive:TP)、事前調査結果が陰性でアナライザーが陽性であるものを偽陽性(False Positive:FP)、事前調査結果が陰性でアナライザーが陰性であるものを真陰性(True Negative:TN)、事前調査結果が陽性でアナライザーが陰性であるものを偽陰性(False Negative:FN)とし、その数を調べた。さらに、アナライザーの精度を評価するため、松尾ら⁵⁾の文献を参考にし、正解率(Accuracy:Acc.)、適合率(Precision:Prec.)、再現率(Recall)、F1スコア(F1 Score)の指標を用いた。各指標の計算式を①～④に示す。正解率とはサンプル全体の中で事前調査結果とアナライザーの結果が一致し、正しく判定できた割合、適合率はアナライザーで陽性と判定したサンプルのうち事前調査が陽性であったサンプルの割合、再現率とは事前調査結果で陽性であるサンプルのうち、アナライザーでも陽性と判定したサンプルの割合、F1スコアとは適合率と再現率のバランスを考慮した総合的な評価に用いる値であり、いずれの指標も1に近いほど良い結果であるとされる。齊藤ら⁶⁾は不均衡なデータセットにおける評価について、適合率や再現率、F1スコアが重要であると報告している。正解率だけで偏りのあるデータを評価すると、データの偏りや誤検出、見逃しの影響を適切に評価できないため、これらの複数指標を併用することでアナライザーの性能を多角的に検証した。一例として事前調査の結果陽性3件、陰性27件(計30件)のデータがあり、アナライザーで全て陰性と判定した場合の各指標を示す(Table 1)。真陽性、偽陽性0件で真陰性27件、偽陰性3件となり、陽性3件は全て見逃しているにも関わらず正解率は0.90となってしまう。他の指標も併せて確認すると、適合率については分母が0になるため計算できないことや、再現率0.00となり真の陽性を全く検出できていないこと等の結果からF1スコアも計算できず、正解率のみが1に近い偏りのあるデータであることが分かる。

$$Acc. = (TP + TN) / (TP + FP + TN + FN) \quad ①$$

$$Prec. = TP / (TP + FP) \quad ②$$

$$Recall = TP / (TP + FN) \quad ③$$

$$F1\ Score = (2 \times Prec. \times Recall) / (Prec. + Recall) \quad ④$$

Table 1 Accuracy evaluation results for biased data

Performance Metrics			
Acc.	Prec.	Recall	F1-Score
0.90	—	0.00	—

III 結果および考察

1. 試料別の事前調査結果とアナライザー測定と比較

(1) 協会の建物内に使用され、協会による事前調査済み建材

協会実施の事前調査結果とアナライザーでの測定結果の比較を示す(Table 2)。事前調査を実施していた9検体(アスベスト有5検体(レベル2 1検体, レベル3 4検体)アスベスト無4検体)に対して真陽性5検体、偽陽性0検体、真陰性4検体、偽陰性0検体であった。真陽性5検体のうち1検体の建材は、けい酸カルシウム板第一種であり協会実施の事前調査ではアモサイトと判定していたが、アナライザーではクリソタイルと判定しており、アスベスト含有の有無については一致したが、判別したアスベスト種は相違があった。

アナライザーの精度については、事前調査結果に対して、正解率1.00、適合率1.00、再現率1.00、F1スコア1.00となっており有用な結果を得た。

Table 2 Comparison between pre-surveyed building materials and analyzer measurement(The building of the Hyogo Environmental Advancement Association)

Confusion Matrix				Performance Metrics			
TP	FP	TN	FN	Acc.	Prec.	Recall	F1-Score
5	0	4	0	1.00	1.00	1.00	1.00

(2) 協会が所有している事前調査済み建材サンプル

協会実施の事前調査結果とアナライザーでの測定結果の比較を示す(Table 3). 事前調査実施済みの23検体(アスベスト有16検体(レベル1 3検体, レベル2 3検体, レベル3 10検体), アスベスト無7検体)に対して真陽性13検体, 偽陽性0検体, 真陰性7検体, 偽陰性3検体であった. 偽陰性の3検体は, 石綿円筒, ビニル床タイル, アスファルト防水シートであり全ての建材の色が暗いことが共通していた. これは, アナライザーから照射された近赤外光を色が暗い建材が反射せずに吸収したことで正確な測定ができなかったと考えられる.

アナライザーの精度については, 事前調査結果に対して, 正解率0.87, 適合率1.00, 再現率0.81, F1スコア0.90となっており有用な結果を得た.

Table 3 Comparison between pre-surveyed building material samples and analyzer measurement(Building material samples owned by the Hyogo Environmental Advancement Association)

Confusion Matrix				Performance Metrics			
TP	FP	TN	FN	Acc.	Prec.	Recall	F1-Score
13	0	7	3	0.87	1.00	0.81	0.90

(3) 事前に県民局に協力を求め, 条例届出があった現場に立入検査を行った建物に使用され, 事業者による事前調査済み建材

事業者実施の事前調査結果とアナライザーでの測定結果の比較を示す(Table 4). 事前調査を実施していた検体12検体(アスベスト有5検体(全てレベル3), アスベスト無7検体)に対して真陽性4検体, 偽陽性1検体, 真陰性6検体, 偽陰性1検体であった. 真陽性4検体のうち1検体はPタイルであり, アナライザーによるPタイル表面の測定では陰性と判定したが, Pタイルの裏側に付着していた接着剤を測定した場合は陽性と判定した. 偽陽性の1検体は塗装材でアナライザーで3回測定したところ1回のみアスベスト有, アスベスト種はアモサイト/クロシドライトと判定した. アスベスト有と判定した理由については不明だが, 塗装材に使用されているアスベスト種はクリソタイルがほとんどである⁷⁾ことからアナライザーの誤判定を疑い追加

で3回測定したところアスベスト含有無であった. アナライザーは有用だが, 建材の表面状態等によっては誤判定が生じる場合があるためアナライザーの判定結果だけを信頼するのではなく, 建材の種類やそれに使用されるアスベストの種類等, 総合的に判断する必要がある. 偽陰性の1検体は軒天であり, 軒天のひび割れ部分等でも測定したが陰性となった.

アナライザーの精度については, 事前調査結果に対して, 正解率0.83, 適合率0.80, 再現率0.80, F1スコア0.80となっており有用な結果を得た.

さらに, 現場でのアナライザー使用時間については, 20分間で12検体測定することができたことから, 1検体当たりにより要した時間は1分~2分であった. よって, アナライザーは迅速に建材中のアスベスト有無について確認できることが分かった.

Table 4 Comparison between pre-surveyed building materials and analyzer measurement(The building at demolition sites)

Confusion Matrix				Performance Metrics			
TP	FP	TN	FN	Acc.	Prec.	Recall	F1-Score
4	1	6	1	0.83	0.80	0.80	0.80

(4) 協会建物内の事前調査未実施箇所の建材

協会建物内の事前調査未実施箇所8検体に対してアナライザーによる測定結果を示す(Table 5). 8検体のうちアスベスト含有と判定したのはビニル床タイル, 壁紙, 庇の仕上塗材・塗膜防水材の3検体でありその全てはクリソタイルと判定された. (1)~(3)で検証したアナライザーの精度結果からもこの3検体はアスベストが含有している可能性が高いと考えられる.

今回の調査は建材中のアスベスト有無について, 事業者の事前調査結果が正しいと仮定したうえでアナライザーの精度検証を実施した. そのため, 事前調査結果が誤りでアナライザーの結果が正しい建材も存在する可能性があり, アナライザーの方が高い精度である可能性も考えられる.

今後は, 調査を継続し検体数を増やしていくことにより正確なアナライザーの精度検証ができると考えられる.

Table 5 Analyzer measurement results for not pre-surveyed building materials(The building of the Hyogo Environmental Advancement Association)

Survey location	Analyzer results	Asbestos species
Exterior wall finishing coating materials	×	—
Vinyl floor tiles	○	Chrysotile
Interior wall finishing coating material	×	—
Wallpaper	○	Chrysotile
Expansion joint	×	—
Roof insulation sheet	×	—
Composite metal siding	×	—
Eaves finishing coating materials and waterproof coatings	○	Chrysotile

IV 結論

事前調査でのアスベストの有無と、アナライザーでの測定結果の比較を実施したところ、以下の結果を得た。

アスベスト含有の有無は一致したが、アスベスト種は相違がある事例があったことや建材の色が暗い場合、アナライザーでは正確に測定できないことが分かった。さらに、Pタイルに付着した接着剤を陽性と判定した事例があることから、建材だけではなく建材に付着している接着剤についても測定する必要があることが分かった。また、建材の表面状態等によってはアナライザーが誤判定する可能性があるため、アナライザーの判定結果のみで判断するのではなく、建材の種類やそれに使用されるアスベストの種類等、総合的に判断する必要があることが分かった。アナライザーの精度については、事前調査結果に対して、正解率、適合率、再現率、F1スコアは全て0.80以上になり、有用な結果を得た。

現場でアナライザーを使用したところ、1検体当たりの測定時間も1分～2分で測定できたことから、緊急性を要する現場においてアスベスト有無について確認できることも分かった。協会建物内の事

前調査未実施箇所8検体に対してアナライザーによる測定を実施したところ3検体アスベスト含有との結果が得られた。

今回の調査から、迅速で正確かつ簡易に建材中のアスベスト有無を調査する方法として、アナライザーは活用できる可能性が高いことが示唆された。一方、実務に適用する際には建材の色調への影響や誤判定リスク、裏面の確認、複数回測定などの留意が必要である。これらの工夫を踏まえることにより、アナライザーを現場で補助的に活用し、事前調査結果の妥当性確認や災害時などの迅速判定に有効であると考えられる。より正確なアナライザーの精度検証のためには、引き続き調査を継続し検体数を増やしていくことが重要であると考えられる。

文献

- 1) (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)
- 2) 文部科学省地震調査研究推進本部:南海トラフの地震活動の長期評価(第二版一部改訂)について
- 3) Tabata, M., Fukuyama, M., Yada, M., and Toshimitsu, F.: On-site detection of asbestos at the surface of building materials wasted at disaster sites by staining. Environmental Science and Technology, Waste Management, 138, 180-188 (2022)
- 4) 環境省:災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル(第3版)(2023)
- 5) Matsuo, T., Takimoto, M., Maekawa, S., Nimura, A., Shimadera, H. and Kondo, A.: Development of an automated detection and counting method for asbestos fibers in phase contrast microscope images using CNN, Journal of Japan Society of Civil Engineers, 79(5), (2023.05.20)
- 6) Saito, T. and Rehmsmeier, M.: The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. PLoS ONE, 10(3), e0118432 (2015)
- 7) 日本建築仕上材工業会:アスベスト含有仕上塗材情報

謝 辞

本調査にご協力いただきました，兵庫県環境部水大気課大気班の吉識亮介氏，淡路県民局県民躍動室環境課の梶下結月氏に深く感謝いたします。

Abstract

In order to establish a rapid, accurate, and simple method for determining the presence or absence of asbestos in building materials, a comparative analysis was conducted between the results of pre-inspections carried out by contractors and the measurement results obtained using an Asbestos Analyzer provided by the Ministry of the Environment. The evaluation showed that all key performance metrics—accuracy (Acc.), precision (Prec.), recall, and F1 score—were close to 1, indicating high consistency with the pre-inspection results. Furthermore, since each sample could be analyzed within approximately one to two minutes, it was confirmed that the presence of asbestos can be rapidly verified even at sites requiring urgent response. These findings suggest that the Asbestos Analyzer is a highly promising tool for conducting fast, accurate, and simple on-site screening of asbestos in building materials.