

40. 乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発・実証

大成建設株式会社 技術センター ○森 直樹・長瀬 公一
同上 建築本部 久保木 久彦

1. はじめに

吹付けアスベストは、その耐火性や断熱性、吸音性などに優れていることから、過去において、建物の天井や壁、柱、梁などに吹付け施工等がなされてきた。しかしながら、その後の経年劣化などにより、その施工面からアスベスト繊維が空气中に浮遊飛散し、肺ガンや中皮腫、石綿肺といった人体の健康に悪影響を与える要因となることが指摘されており、有害な吹付けアスベスト等の除去を早急に行うことが緊急的な命題となっている。その除去方法は、防塵マスクや保護衣を着用した完全防備の専門の作業員が、密閉された室内に隔離されて、ケレン棒やワイヤーブラシなどを使って吹付けアスベストを剥離・除去しているのが現状である。これは有害なアスベストを取り除くという根本的な解決には繋がるものの、作業員が手作業で除去することは多大な手間を要し、工事費の高騰を招いてしまうとともに、作業員の健康被害を引き起こしてしまうことも懸念される。これは、今後のアスベスト問題の解決に対して大きな障害となる。

そこで、我々は主に建物解体時における乾式系吹付けアスベストの除去、及び回収作業を、遠隔操作によるアスベスト除去ロボットによって安全かつ効率的に行うことのできるシステムを開発し、模擬アスベストによる実験室での除去・回収実験を行ったので、そのシステム概要及び実験結果について以下に報告する。

また、本システムを実際のアスベスト除去工事現場に試験的に導入し、実アスベストによるシステム実証試験を行ったので、これらの結果もあわせて、以下に報告する。

2. システム概要

ロボットによる吹付けアスベスト無人化除去・回収システムの主な流れを図1に示す。

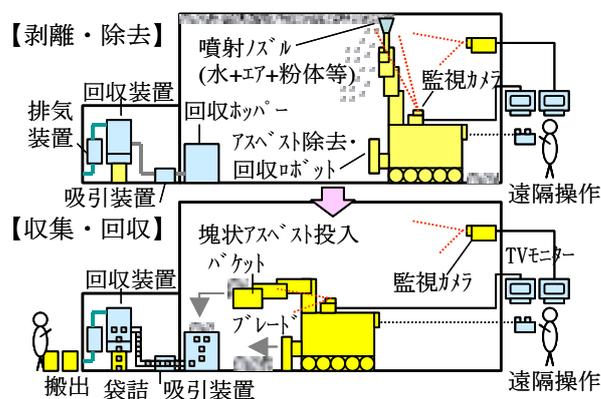


図1 アスベスト除去から回収までの流れ

2.1 アスベスト除去ロボット

(1) ロボット本体

ロボット本体のベースマシンは、遠隔操作が標準装備され、3アーム構造となっており、吹付けアスベスト除去時の防汚対策として専用の養生カバーを取り付けている。

(2) 噴射ノズルスライド装置

建物の各部位に吹付けられているアスベストを剥離・除去するために、混気物（高圧水+圧縮空気+研削材+高分子吸収剤）を同時噴射（吐出圧 30～140kgf/cm²）することのできるノズル（平射型）をロボットアーム先端部に装着した。また、噴射ノズルはアスベスト吹付け面に対して鉛直方向に一定の斜行角度（20～30度）を持たせて往復移動できるようになっており、更に常時アスベスト面を削ぎ落とすように、ノズル噴射角度の向きを変えられるような可変機構を採用した。また、ロボット遠隔操作時の視界を確保するため、スライド装置近傍に粉塵排気用のダクトを取付け、更にコーナー一部等の除

去の難しい部位に対し、丸穴型のノズルも装備した。

(3) 車載用モニターカメラ

吹付けアスベストの除去・回収を作業区域内で遠隔操作によるロボットで行うためのモニターカメラをロボット胴体部分に設置した。また作業区域内にはロボット作業を監視するためのモニターカメラも別に設置した。

2.2 アスベスト回収システム

アスベスト回収システムの概要を図2に示す。

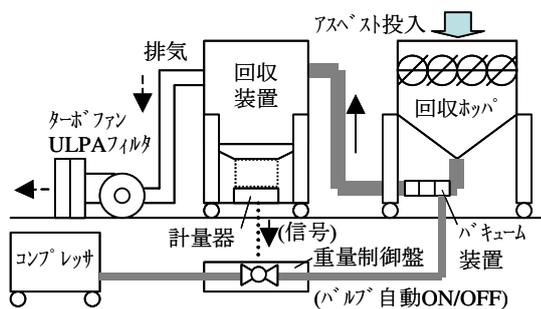


図2 アスベスト回収システム

(1) 回収ホッパー

ロボット付属のブレードにより収集されたアスベストを、所定の回収袋に吸引・圧送するための回収ホッパーを設置した。回収ホッパーの投入口には、ロボットにより剥離・除去された塊状のアスベストを粉砕するための回転ロール式の破砕装置を組み込んだ。

(2) バキューム装置

アスベストを回収ホッパーからホース吸引・圧送するためのバキューム装置を回収ホッパー排出部分に取り付けた。

(3) 回収装置

圧送されたアスベストを所定の回収袋に重量制御によって一定量袋詰め（1重）するための装置を設置した。

3. 実験概要

アスベスト無人化除去・回収システムの除去・回収性能について、実験施設での実証実験を行った。（実験期間：2006年10月～2007年2月）

3.1 実験施設

実験施設は6.7m×3.9m×3.4mの鉄骨造である。施設内のH鋼梁・柱部分：45mm厚、他の天井・壁部

分：15mm厚で模擬アスベスト（ロックウール）の吹付け工事を行い、約1ヶ月の養生期間を経た後に実験を行った。

3.2 実験結果、及び考察

(1) アスベスト除去・回収ロボットの除去性能

ロボットの遠隔操作による噴射ノズルの往復移動速度は、概ね5～6cm/secであり、壁面等の単純な模擬アスベスト（ロックウール）面（15mm厚）の場合は、噴射ノズルを0.5往復（片道移動）させただけで、瞬時に縦10cm程度の帯状の下地面が現れ、模擬アスベストを容易に除去できることが確認できた。これを単位時間当たりの除去面積に換算すると約18～22m²/hとなり、実際には板状に削ぎ剥がされる効果も期待できることから、凡そ20m²/h以上の除去性能が期待できるものとする。しかし、梁部等のH鋼面（45mm厚）の場合は、噴射ノズルを2往復以上横行させないと下地面が現れて来ず、また凹凸面であることから噴射ノズルスライド装置の位置を調整する必要があり、現状では約4～5m²/h程度になるものと推定される。ロボット遠隔操作によるH鋼面除去後の状況を写真1に示す。



写真1 除去後のH鋼梁面

(2) 高分子吸収剤の同時噴射による吸水性能

噴射ノズルから高分子吸収剤を同時噴射させることによって床面に水が溜まる現象等は確認されず、バキューム装置による吸引時においても、水と分離することなく、パサパサの状態ですべて回収袋までホース吸引・圧送されることが確認できた。

(3) アスベスト回収システムの重量制御の信頼性

回収装置によってアスベストを10kg設定で袋詰めした場合の実際の回収袋重量との差異を図3に示す。図3より、設定値に対して-1.3kgから+4.5kgの誤差があることが判る。これは回収装置内部でのアスベスト滞積防止用として加圧ロックングをす

る際に、衝撃で計量器が感知してしまうことに起因しているものと推測され、加圧時のダンパー調整等の対策が今後必要であることが判った。

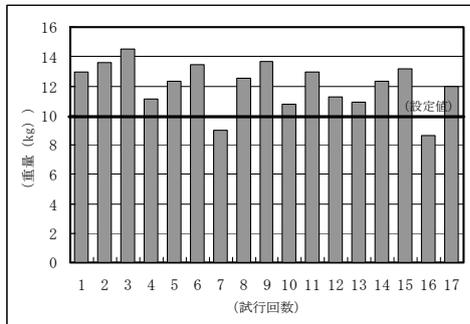


図3 アスベスト回収袋の重量制御の精度

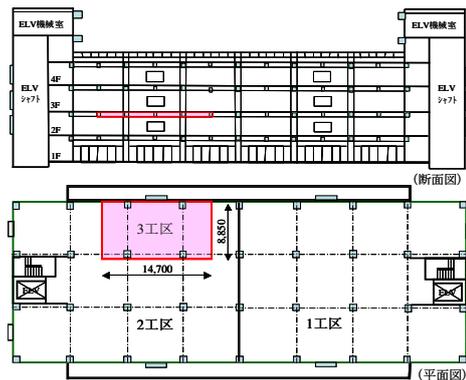


図4 ロボットによる除去施工範囲

アスベスト除去ロボットの外観を写真5に、遠隔操作状況を写真4に示す。

4. 建築現場への適用

4.1 適用現場の概要

(1) 工事名称

H倉庫解体に伴うアスベスト除去工事（仮称）

(2) 工事場所

東京都中央区晴海（写真2 参照）

(3) 工事期間

2007年10月1日～2007年10月31日

（準備及び片付け期間含む）

(4) 工事内容

既存建物（倉庫）の解体に伴い、アスベスト含有吹付け材の撤去を行った。（除去対象部位：天井・梁部分（写真3 参照））

(5) 施工範囲図

施工範囲図を図4に示す。（ロボット除去：2階3工区）

(6) アスベスト含有吹付け材除去数量

対象とした施工範囲におけるアスベスト除去数量は、天井、梁吹付け面：175m²（クリソタイル）であった。



写真4 遠隔操作状況



写真5 ロボット外観

4.2 施工結果、及び考察

(1) 遠隔操作によるアスベスト除去ロボットの除去性能

アスベスト除去後の天井面及び梁面の一部を、写真6及び写真7に示す。（写真上において、表面が薄緑になっているのは、塗装面の残痕であって、既にアスベストは剥がれ落ちており、濃いグレー部分は下地の塗装面をも剥がしている状態であることを示す。）

遠隔操作によるアスベスト除去ロボットを使った乾式系吹付けアスベストの除去速度は、実アスベスト吹付け材厚み：6～9cmの天井面に対して、概ね、約12m²/h（換算値）程度であった。これは、従来の作業員（人）による除去速度の2～3倍程度に相当するものと推測される。

(2) ロボットブレードによる床面アスベストの掻き寄せ作業

アスベスト除去ロボットのアーム先端部に取り



写真2 適用現場外観



写真3 現場内観

付けられた噴射ノズルからの混気物により剥離・除去され、床面に散乱した塊状アスベストは、ロボットに付属されているブレードによって、回収ホッパー近傍の所定の位置まで遠隔操作により円滑に掻き寄せられ、収集できることが実証できた。また、噴射ノズルからの高分子吸収剤による吸水効果によって、作業床面が水浸しになる現象は見られなかった。

(3) ロボットバケットによる塊状アスベストの回収作業

アスベスト除去ロボットのアーム先端部に取り付けられていた噴射ノズルスライド装置をバケットに付け替えて、床面に収集された塊状アスベストを回収ホッパーの投入口まで掻き揚げ、遠隔操作によって円滑に投入できることが実証できた。

(4) バキューム装置及び回収装置によるアスベストの袋詰作業

アスベスト除去ロボットにより回収ホッパーに投入された塊状アスベストは、破碎装置によって細かく砕かれ、ホースで連結されているバキューム装置によって、回収装置にセットされた所定の廃棄袋（1重目）に高速で吸引・袋詰めできることが実証できた。



写真6 除去後の天井面 写真7 除去後の梁面

5. まとめ

建物解体時における乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムを開発し、実験施設での模擬アスベスト（ロックウール）によるアスベスト除去・回収ロボットの除去実験を行い、建物部位及び吹付け厚等により異なるものの、壁面の比較的アスベスト厚みの少ない場所においては、高速で剥

離・除去できることが実験的に立証できた。また、回収システム装置類も円滑に稼働できることを確認することができた。そして、これらの実験的な見地をもとにして、本システムを初めて実際のアスベスト除去工事現場に導入して実証試験を行い、アスベスト除去作業区域外からの遠隔操作によるロボットを使ったアスベスト除去性能を把握することができ、さらに、アスベスト回収システム装置類が実アスベストでも正常に稼働することを実証することができた。これによって、遠隔操作によるロボットを使って、アスベストを除去・回収できることが現場レベルで検証することができた。今後は、実際のアスベスト除去工事現場での適用を継続して行い、作業員（人）が危険な吹付けアスベスト除去作業区域内に入ることを極力少なくし、アスベスト除去コストや工期等を精査しながら、本格的な実用化に結び付けてゆく所存である。

6. おわりに

本研究開発は、平成18年度NEDO委託事業「緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発」及び平成19年度同事業のNEDO継続研究の一部によるものである。また、本研究開発を進めるにあたり、多大なる御指導及び情報の提供を賜りました、「独立行政法人建築研究所 材料研究グループ長・建築生産研究グループ長 本橋健司様」「財団法人ベターリビング 筑波建築試験センター 環境・防耐火試験部長 遊佐秀逸様」「ニチアス株式会社 建材事業本部 常谷雅彦様」に深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 森直樹、長瀬公一、大山能永、村田勤、“乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発（その1）システム概要、及び実証試験結果”日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 2) 大山能永、森直樹、長瀬公一、村田勤、“乾式系吹付けアスベストの無人化除去・回収システムの開発（その2）作業環境の検討”日本建築学会大会学術講演梗概集、2007年8月
- 3) 森直樹他“遠隔操作による乾式系吹付けアスベスト除去ロボットの開発”日本建築学会建築生産自動化小委員会、第17回建築施工ロボットシンポジウム予稿集、p9-14、2008年3月13日