

15. 壁面作業ロボットの石炭サイロ補修工事への適用

東急建設㈱：*後久 卓哉，光永 純一
遠藤 健

1. はじめに

近年、建設構造物の機能や性能の維持管理、長寿命化を目的に外壁の補修を行うリニューアル工事が増加している。

リニューアル工事は、構造物を使用しながら行うため新築工事と異なり、施工時の制約条件が多い。足場や防護ネットの長期仮設による居住者や周辺住民への圧迫感や景観など環境問題になることもある。また、足場の仮設費や運搬コストが工費の大半を占めておりコスト削減が難しい。また、足場上の高所作業など安全面においても対象とする構造物が大きくなるほどその危険性は高くなる。



写真1 石炭サイロ全景

壁面作業ロボットは、壁面施工自動化工法として無足場で壁面作業を行えるロボットである。これまでに、壁面のタイル剥離診断¹⁾や、ドットによる描画塗装など現場での施工実績を上げてきた。

今回、電源開発㈱が沖縄県石川市の石炭火力発電所の石炭サイロ補修工事を計画するに際し、「壁面作業ロボット」による無足場での外壁補修の可能性についての検討依頼があった。

検討の結果、コスト及び安全面においてメリットがあることが判明し、無足場でRC構造の壁面を高圧洗浄する方法での提案が採用された。

本論文では、現場に導入するに際し実施した事前検討、新規に開発した屋上吊り台車、洗浄装置、安全警報システムおよび施工結果について述べる。

2. 現場概要

石川石炭火力発電所(写真1)は、築12年が経過し、石炭を備蓄している石炭サイロ(RC構造)の汚れが目立つようになり、隣接する国道からの景観が問題となっていた。

今回の施工は、この石炭サイロを稼働させたまま、外壁の洗浄を行うものである。石炭サイロは直径38m、高さ47.5mの円筒形(PC鋼線緊張箇所一部突起有り)で総数は4基、延べ施工対象面積は22,332㎡である。石炭サイロには、石炭を搬入するためのベルトコンベアを通したパイプや防音壁などが設置されている。今回、ロボットでの施工可能範囲を検討した結果、全体の82.8%である18,508㎡であった。残りの箇所に関しては、従来の工法で施工を行うこととした。

3. 事前検討および装置の開発

石炭サイロの補修工事を行うにあたり今回新たに検討、開発を行った点を以下に記す。

- ①高圧洗浄装置の開発とロボットへの防水対策、洗浄圧力、洗浄方式についての検討
- ②屋根部は他の資機材を設置するための耐荷重が考慮されてなく、ロボットの控えを取るものが全くない。
かつサイロ外周4カ所に凸部があることなどの条件があることから、これらを満足する吊り台車の開発
- ③現地は海岸沿いであるため強風（10分間平均で15m/sec、瞬間では20m/sec以上の風が吹く）への対応と季節的条件から雨やスコールが多いことへの対策

3.1 洗浄装置

石炭サイロは空中の塵や埃、かびの付着により汚れている。これらの汚れを洗浄するために、現地および技術研究所で要素実験を行った。

3.1.1 洗浄パターン

洗浄パターンは水を噴射するノズルの形状によって決定する。ノズルが絞り込まれたものを使用すれば、水勢は強く一点に集中した状態で噴射する。またノズルが解放したものを使用すると、水勢は弱く拡散した状態（扇状）で噴射される。洗浄作業を効率的に行うためにはある程度の拡散が必要であり、この拡散の度合いにより一様な状態の仕上げとなる。

壁面ロボットの移動速度、施工性等を考慮してノズルの噴射角を90度に設定した。この数値は、ノズル・壁面間距離200mmとすると洗浄幅も200mmが得られる。実作業ではこのノズルを横に2連とし、洗浄幅400mmを基準とした。また仕上げ面をよりむらなく洗浄するためにノズルに揺動運動を付加した。



写真2 洗浄装置

3.2 屋上吊り台車

台車はカウンタウエイトを載せ、控えを取らずに自立する構造とした。また異常荷重発生時の落下防止と屋根面保護については以下の方法で対処した。

ロボットの配置をサイロに対し対角に2台設置し、屋上吊り台車同士を控えワイヤで連結し互いを控えとする方式を考案した。

ワイヤに発生した張力は台車に備えた反力アームでサイロ壁面に案内するものとし、控えワイヤの緊張の加減により吊り荷重による反力を分散させる構造とした。

台車の基本構造は、軽量で強度があり風の影響を受けにくいトラス構造とした。また凸部での施工を可能にするため吊り滑車を前後にスライド可能な機構を備えた。脚部には球座ジャッキを設け、任意の方向に勾

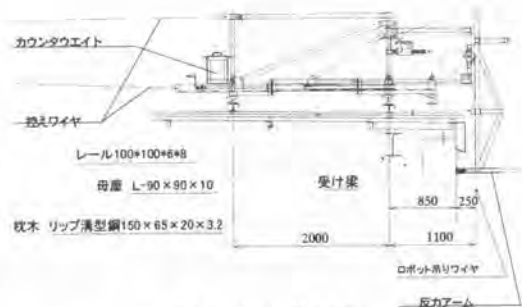


図1 屋上吊り台

配調整ができる構造とし、屋根面の勾配が台車の姿勢にもたらす影響を排除した。反力アームは、設置や移動、凸部での張り出し時に容易にセットが可能のように可倒式とした。(図1、写真3)



写真3 屋上吊り台車

3.3 安全警報システム

今回の施工は、発電所の設備を稼働させたまま行うために、サイロの屋根の破損事故等を起こさないよう細心の注意を払う必要がある。そこで、事故を未然に防ぎ、安全に作業が行えることを目的とした安全警報システムを構築した(図2)。

※ 安全警報機器

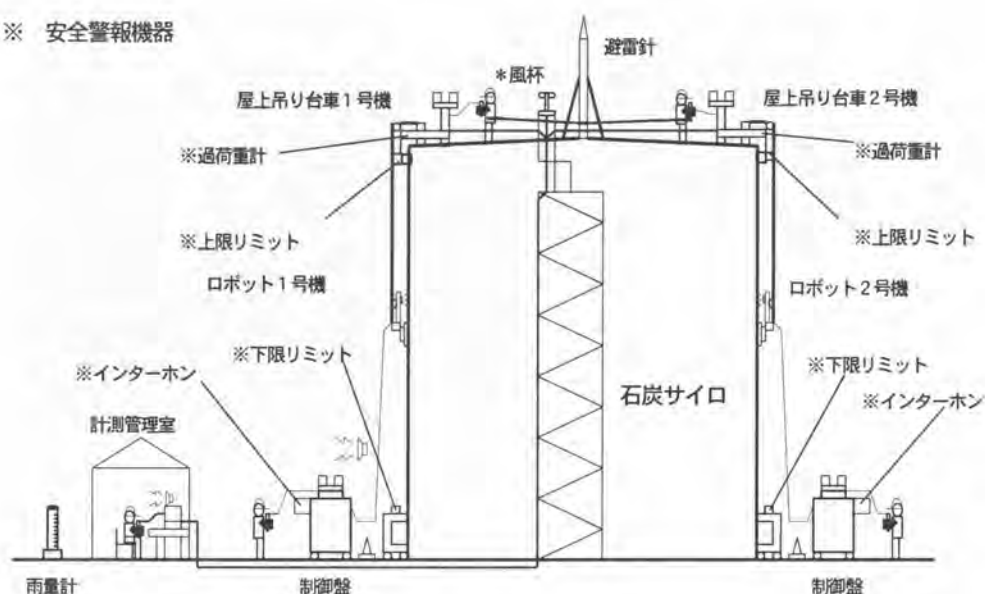


図2 安全警報システム図

4. 作業状況と施工能力

4.1 洗浄作業

洗浄作業は写真4、5の通り、2連の首振り洗浄装置で作業を行うと、洗浄前の箇所とはっきり区別がつかほど壁面は白くきれいになる。標準横送り速度は200 mm/secでおこない、特に汚れのひどい箇所に関しては、速度を100 mm/secに落として作業を行った。

4.2 施工手順とサイクルタイム

壁面作業ロボットによる洗浄作業の分析を行うために一列毎の施工手順の観察とサイクルタイムを計測した。施工手順を示すフローを図3に示す。



写真4 洗浄の効果



写真5 洗浄作業

4.3 施工能力

4.2 節に記したサイクルタイムを整理して、壁面作業ロボットによる洗浄作業の施工能力をまとめた。

ロボットは、1回のセットで107.5㎡（幅2.5m、高さ43m）の作業を行うことができる。台車の移動時間を含めたロボット1台当たりの1日の施工能力は次の通りである。

・洗浄作業

1日5列(2.5m×43m×5列) 537.5㎡、時間当たり67㎡の施工速度

5. おわりに

壁面作業ロボットは、壁画を描くことを目的に当初設計製作された。今回は、高圧水による洗浄を行える機能を付加した。洗浄の能力としては非常に効果のあるものであったが、電気機器等への防水対策や周囲への飛散防止に関して今後の課題が残るところもある。沖縄という特殊な環境条件の中、安全警報システムを構築するなどし、無事に施工を行えたことは大きな実績である。今回のようなコンクリート打ち放し面は風雨による汚れが付き易く、周辺環境への考慮も築10年をすぎた頃から必要になってくる。壁面のリニューアル工事は、ますます増大する市場である。今後も壁面作業ロボットを用いた塗装洗浄工法を提案し現場適応を図っていきたい。

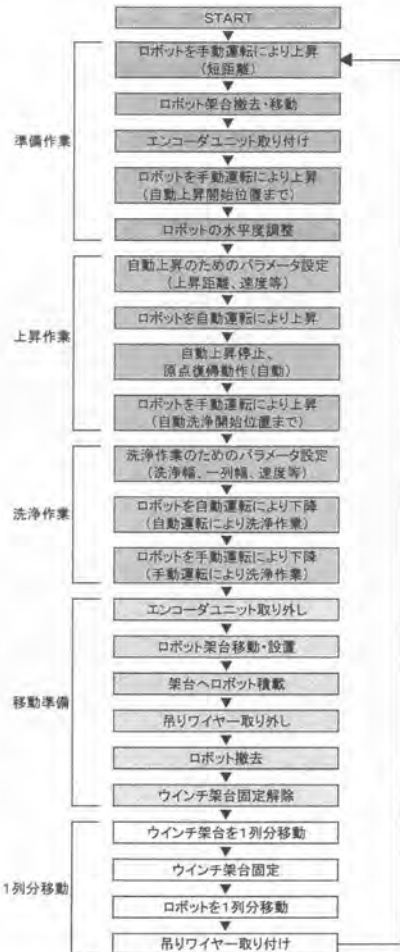


図3 洗浄作業フロー（1列分）