無人化施工の構造物遠隔解体への適用に向けて
－導入実例にみる今後の課題－

杉本　英樹*　　田中　靖之**
帯田　俊司***

要　旨

無人化施工は、立入禁止区域外に設置した操作室から、モニタ映像を見ながら施工機械を遠隔制御して危険区域内の土工事を行うもので、雲仙普賢岳をはじめとして様々な災害復旧の現場で適用され、情報化施工とあわせて高度な技術開発が行われてきている。今後、災害復旧工事のみならず作業環境の改善、安全性の向上作業効率の向上を目的にして、ダイオキシンや放射能などで汚染された区域の恒久対策や解体作業への無人化施工の適用が期待されている。ここでは、平成16 年11月に無人化施工を汚染土壌の恒久対策工事の一部において、試験的に運用して得られた知見をもとに、構造物解体における無人化施工の課題と今後望まれる技術開発について紹介する。

1. 適用した工事概要

大阪市は環境事業局東淀工場建替え事業として、用地の土壌調査を実施した。その結果、拡張用地の一部でVOC やダイオキシン類による汚染が判明したことから、汚染の拡散防止のために応急対策工事を実施し、その後、汚染土壌の掘削除去と無害化処理を行う恒久対策工事を実施した。

恒久対策工事では、写真－1に示す防じん建屋をはじめ排水処理設備や換気集じん設備などを設置し、輸送についてはフレコンバックでの密閉梱包など、環境に十分配慮したものとした。

しかし、実際の汚染土壌の掘削除去作業については、ダイオキシン類対策特別措置法で定められた第 2 管理区域でのレベル2、3の保護具着用は視界が狭く、作業者間のコミュニケーションに支障をきたす。また、夏季における高温時の作業は安全面、作業効率に影響があり、長時間の連続作業は困難であった。

こうしたことから、この恒久対策工事の一部において無人化施工を試験的に実施し、狭隘な屋内における有効性の検証と課題の抽出を行った。

2. システムの概要

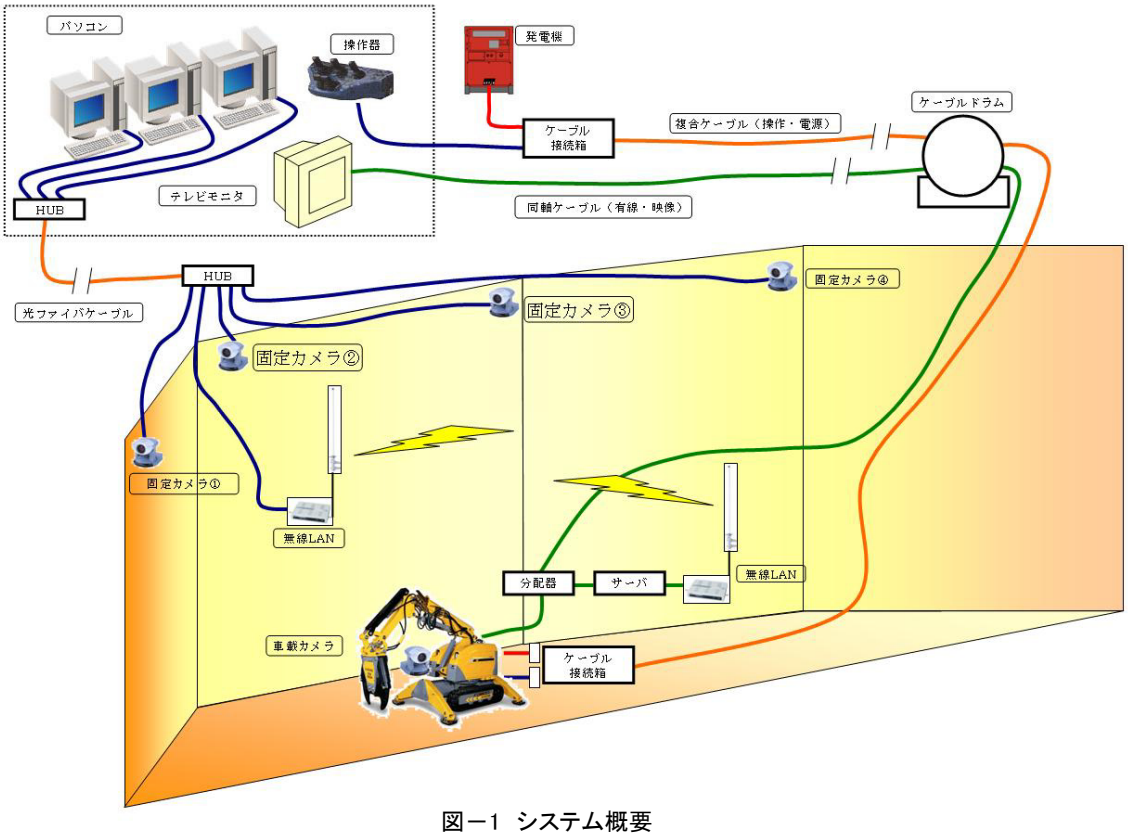
システム概要を図－1 に示す。システム構成は、電動油圧ショベルとその操作器、電源、車載カメラ、固定カメラ、映像伝送用無線 LAN から成る。電動油圧ショベルには、スウェーデン製の遠隔解体装置（0.08m^{3}バケット付）を使用した。

写真－1　防じん建て屋全景

同装置は、有線・無線による遠隔操作が可能で、電動・油圧駆動のため排気ガスがなく、騒音も少ないという特長がある。したがって、引火物持込禁止現場や閉鎖された現場に有効である。今回のシステムでは電源ケーブルに複合ケーブルを使用し、電源と装置操作信号を１本のケーブルで伝送することとした。

電源・操作ケーブルのほかに、ユーティリティケーブルがあり、装置に取り付けたセンサーやカメラの映像伝送を行う。今回、装置に取り付けたカメラ映像の伝送には、劣悪な電波環境になると想定されたため、2 系統に分岐し、無線 LAN による無線伝送とこのユーティリティケーブルによる有線伝送を行った。

*技術研究所
**九州支店
***東北支店



図－1 システム概要

一方、現場状況をモニタする映像は、この解体装置に搭載したカメラの他に、仕切り鋼矢板の切梁に設置した 4 台の固定カメラ(作業に応じて2～3台を選択)を使用した。この固定カメラと無線 LAN の映像の伝送は、光ファイバケーブルにて行った。

3. システム導入の課題

システムの導入にあたり、いくつか課題が想定された。ここでは、主要な 3 点について述べる。

(1) カメラの配置

施工機械はモニタを見ながら操作するが、1 台のモニタだけでは奥行きといった遠近感がつかみにくい。そのため、施工機械の遠隔操作には、正面と側面の最低 2 方向の映像が必要となる。しかし、当現場は仕切り鋼矢板で囲まれた狭隘な施工場所で、トンネルの掘削のように前方に進んでいくため側面からのカメラ映像を得ることができない。掘削対象や仕切り鋼矢板および切梁と解体装置の位置関係の把握が難しく、施工性低下の要因になると想定された。
(写真－2 操作状況および写真－3 掘削状況参照)

写真－2 操作状況

(2) 劣悪な電波環境

これまで当社では建物や山間部の渓谷などに囲まれた環境を想定し無人化施工の実用化に取り組んできた。しかし、今回の掘削現場は仕切り鋼矢板および切梁で囲まれた、複雑な形の鉄箱の中で無線伝送を行う必要があり、これまで以上の電波障害が懸念された。

写真－3　掘削状況

写真－4　固定カメラ設置状況

(3)　ケーブル養生

操作室で作業中に監視する対象は、車載カメラ、作業場所の固定カメラ(奥行把握)、作業場所全体を見る固定カメラの映像である。解体装置には電源および操作信号ケーブルが接続されており、特に稼動する重機周辺や仕切鋼矢板端部でのケーブル状態の把握は重要である。しかし、作業中に、装置から電源間のケーブルをすべて監視するのは困難で、ケーブル養生が作業効率に大きく影響すると考えられた。

4. システムに加えた工夫と効果

(1)　カメラの配置

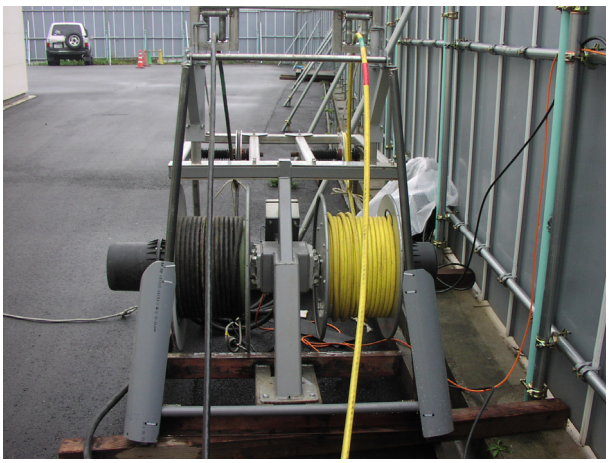
掘削地山までの距離を把握するために、側面の映像として掘削直近の切梁に広角レンズの固定カメラを設置した。しかし、掘削作業箇所全体を捉えることができず、カメラ操作が煩雑になってしまった。そこで、写真－4のように掘削場所から3メートルほど高い場所に固定カメラを設置した。位置関係は非常にわかりやすくなったが、切梁や作業通路の直下での作業では、想定した以上に死角ができ掘削作業自体の効率向上としては十分ではなかった。そこで、当現場では、上方に設置したカメラの映像と、解体装置位置を挟んで左右斜め後方向に1台ずつ設置した固定カメラの映像をみて掘削作業を行った。

(2)　劣悪な電波環境

車載カメラの映像を無線と有線の 2 系統で伝送し、無線障害による作業の中断を軽減することで、作業効率の低下を防止した。劣悪な電波環境では、ダイバシティアンテナやローミングといった機能が有効である。当現場においても、特定のエリアにて装置旋回時や走行時に映像が停止する現象が確認された。この場合、解体装置の姿勢を変えたり、アンテナを移動することで映像伝送の不具合を解消することができた。伝送遅延については有線伝送させた映像と比較した。無線 LAN で伝送できる映像は秒間30フレームである。今回のシステムでは、安定した無線伝送の状態において、この秒間30フレームのフレーム間隔に依存する程度の体感的な遅延はあるものの致命的な遅延はなかった。

(3)　ケーブル養生

今回の現場では、解体装置を地表面より低い位置に設置して掘削を行った。切梁上に、一定のテンションをかけたケーブルドラム(写－5)を設置し、常に解体装置の後方にケーブルを引いておくことにした。これによって、工事中、ケーブルに関するトラブルはなかった。



写真－5　ケーブルドラム

5. 構造物内の遠隔解体に向けて

今回の試験導入では、狭隘な場所、屋内、低照度環境な

ど、ニューマチックケーソン施工現場に似た環境での施工を行った。これらをもとに今後、焼却施設や原子炉施設の解体を想定した場合、必要とされる事項や取組むべき課題についてまとめる。

（1） 施工位置の把握

車載カメラを設置しただけでは、解体装置の正確な位置、既設構造物との位置関係の把握は困難である。今後は、レーザー式スキャニングによる測位方式の適用などリアルタイム測位技術の構築が必要である。

（2） 無線環境の改善

今回導入したシステムでは、掘削エリア全域で安定した無線伝送を行うことができなかった。さらに、施工機械を円滑に操作するには低遅延、高速伝送技術が必要で今後、これらの機能をクリアできる技術開発が望まれる。例えば、伝送エリア拡大の対策としては、デュアルバンド無線 LAN やアクセスポイントを必要としないアドホック技術、遅延対策としては、高品質、小容量の画像を得るための映像圧縮技術、安定した無線伝送を確保するための対策として帯域保障技術などが考えられる。

（3） カメラ、照明の改善

切梁の下部を掘削する場合、掘削地山や作業状況確認のために蛍光灯を使用した。肉眼では十分な照度であっても、カメラを通した映像はハレーションが確認された。現場状況を正確に把握するための最適なカメラの選択、照明（赤外線など特殊な光源を持つ照明の採用）、フィルターなどによる認識性の改善が必要となる。

（4） 機器の脱着・メンテナンスの簡素化

解体装置の故障・メンテナンス時は、人が防護服を着用して機器の脱着・交換作業が行えるように機器の脱着・メンテナンス作業の簡素化が必要である。

6. おわりに

今回の試験導入では、焼却施設や原子炉施設の解体を想定した無人化施工の要素技術として、稼動する施工機械の位置と周辺の把握、無線伝送の安定について検証した。

屋内の作業場所を映像でみると、色彩に乏しく、壁など単調な構造物が連続しているため、施工位置や対象物までの距離感がつかみにくい。今後は屋内での測位技術、情報化施工について取り組んでいきたい。

無線LANは、従来の無線に比べてノイズに強く、大容量伝送ができるためオフィスや家庭を中心に普及した。施工機械の遠隔操作には、高品質の映像伝送とリアルタイム性が必要不可欠であり、無線LANの市場は高速、大容量化の傾向にある。今後、こうした技術動向を吟味して、無人化施工における安定した伝送ネットワークシステムを提案していきたい。

無人化施工を汚染区域に適用した場合、作業環境の改善、人体への影響リスクの軽減などが図れることから有効な施工法である。今後は、さらなるシステムの高度化を推進するとともに作業性と安全性が確保される技術として危険箇所工事での本システムの適用を提案していきたい。

【謝 辞】

試験導入にあたり現場を提供していただき、施工ノウハウについてご指導いただいた大阪市環境事業局の方々にお礼申し上げます。