

汚染土壌対策を支える無人化施工システム

杉本 英樹

無人化施工とは、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実施した内容と結果について報告する。

キーワード：汚染土壌、対策工事、ダイオキシン、無人化施工、電動駆動式油圧ショベル、環境改善

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に示す防塵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。

ダイオキシン類のような毒性の高い土壌汚染物質を扱う場合、作業員の健康影響のリスクを低減させるこ

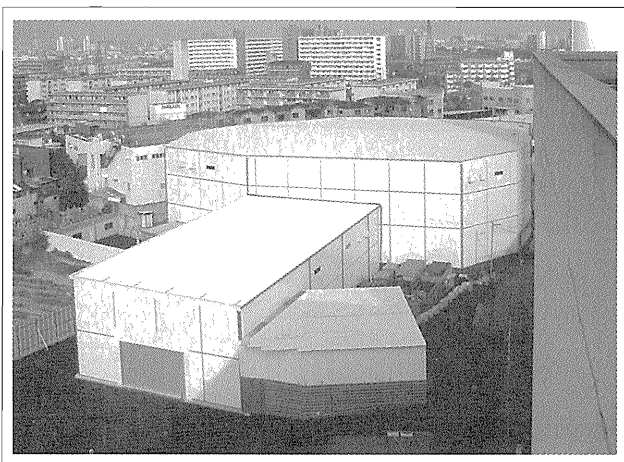


写真-1 防塵建屋全景

とは重要な課題である。防塵建屋内での作業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の保護具を着用して行うが、視界が狭く、作業員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、汚染土壌掘削の一部に無人化施工システムを試験的に適用し、狭隘な屋内での有効性の検証を行った。

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(0.08m³バケット付き)を使用した。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、引火物持込み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、装置に取付けたセンサやカメラの映像伝送用として使用される。今回、劣悪な電波環境になると想定されたため、装置に取付けたカメラ映像を、無線LANによる無線伝送とユーティリティケーブルに

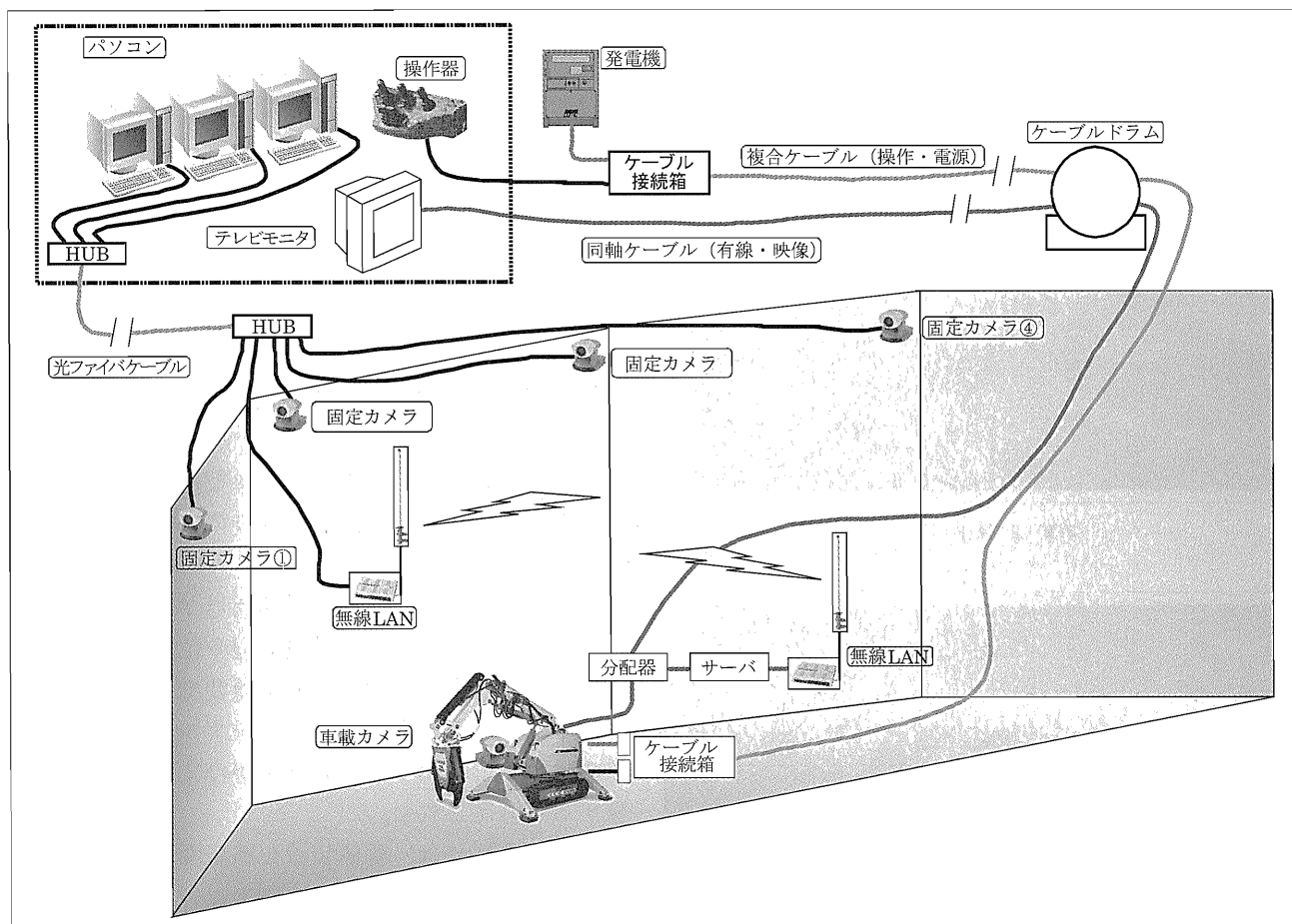


図-1 システム概要

よる有線伝送の2系統に分岐して行った。

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を用いて行った。

3. システムに加えた工夫と効果

システムの導入にあたり、いくつかの想定された課題に対して工夫を行った。ここでは、主な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ため、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ので、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困難である。そのうえ、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、写真-3）。

そこで、掘削地山までの距離を把握するために、写真-4のように掘削場所から3m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。

こうしたことから、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使用して掘削作業を行った。

(2) 劣悪な電波環境

これまで五洋建設株式会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て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、これまで以上に電波障害が懸念された。そこで、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し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



写真-2 操作状況

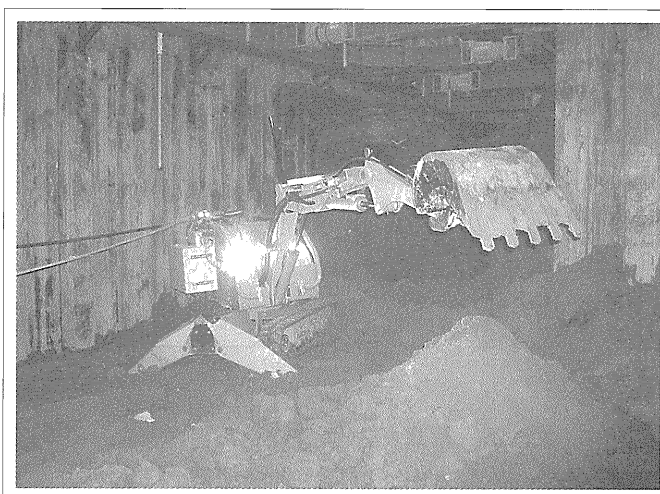


写真-3 掘削状況

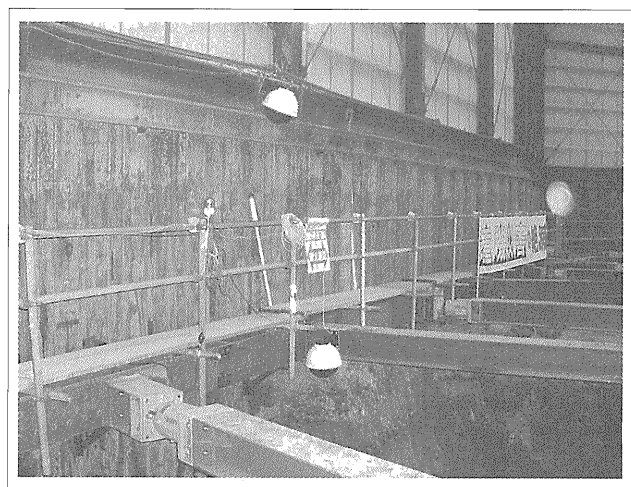


写真-4 固定カメラ設置状況

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回転時や走行時に映像が停止する現象が確認され、このような場合には、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

操作室で作業中に監視する映像は、

- ・車載カメラ、
 - ・作業場所の固定カメラ（奥行き把握）、
 - ・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、特に稼働する重機周辺や仕切り鋼矢板端部でのケーブル布設状況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、ケーブルの養生が作業効率に大きく影響すると考えられた。

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うため、切梁上に一定のテンションをかけたケーブルドラム（写真-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、ケーブルに関するトラブルはなく試験施工を終えることができた。

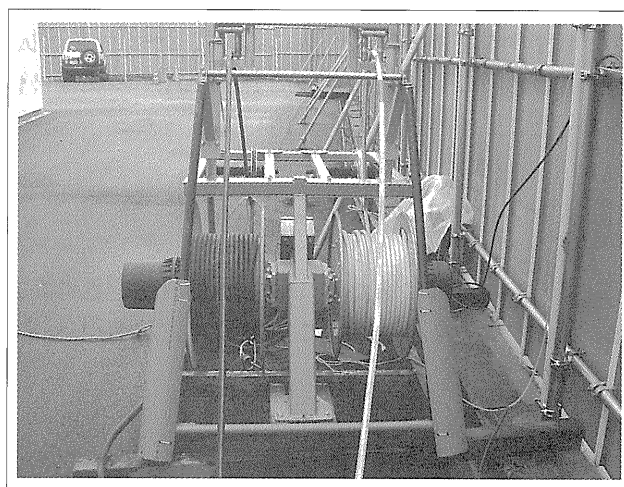


写真-5 ケーブルドラム

4. 土壌汚染対策への適用に向けて

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、土壌汚染対

策への適用に向けて必要とされる事項についてまとめる。

(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がある。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がある。また、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で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。

5. 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、移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見ると、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、さらなる高速・大容量化が必要である。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、以下の有効性が挙げられる。

- ① 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。
- ② 現場環境に左右されることなく施工機械の遠隔操作が可能となる。
- ③ 作業時間が制限される劣悪な現場ほど、安定した作業時間の確保が可能であり工期に大きく貢献できる。

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。

J|C|M|A

【筆者紹介】

杉本 英樹 (すぎもと ひでき)
五洋建設株式会社
技術研究所
施工技術グループ
課長

