

力触覚を利用した遠隔装填・結線システムについて

(株) 大林組 正会員 ○渡辺淳 山本信吾 西浦秀明 谷口信博 木梨秀雄
慶応義塾大学 非会員 野崎貴裕 斉藤佑貴

1. はじめに

近年、建設業ではデジタルトランスフォーメーション (DX) の動きにより、様々な工種において自動化、遠隔化が盛んになっている。当社でも、山岳トンネルの安全と品質、生産性を飛躍的に向上させる統合システム OTISM (Obayashi Tunnel Integrated System)®に取り組みでいる。山岳トンネルでの重大災害の多くは切羽で発生していることから、厚生労働省の「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」や日本建設業連合会の「トンネル切羽範囲内立入作業における安全対策指針」が発表されている。特に、装薬作業は、切羽天端から45度手前の範囲内での作業となり、立ち入りが真に必要な作業となっている。このため、簡易な設備の追加による落石防護・監視の強化や、2m程度切羽から離れて施工できる遠隔装填機などの安全対策を行っている。

本システムは「切羽天端から45度の範囲内への立ち入り、つまり切羽への立ち入りを必要としない装薬・結線」を目的とした、遠隔装填システム、遠隔結線システムの開発に取り組んでいる。火薬という鋭敏なものを扱うため、遠隔操作をする際、従来の人が手で行う繊細な力加減が必要となる。そこで、力触覚伝送技術(以下リアルハプティクス)を活用し、器用で柔軟な遠隔作業の実現を目標としている。本報文では、遠隔装填・結線システムの概要及び装填機構に関する要素試験について述べる。

2. 遠隔装填・結線システムの概要

本システムは「切羽への立ち入りを必要としない装薬、結線」とすることで、安全及び作業性を確保するものである。ジャンボや高所作業車などの移動式大型機械の先端に、装薬ロボット(以下、装薬RB)と結線

ロボット(以下、結線RB)を搭載するものである。装薬RB、結線RBは力触覚伝送機能を搭載しており、切羽から離れたところで操作を行うオペレータ(以下、OP)もRBが触った感触を感じながら、遠隔操作を可能とするものである。遠隔装填・結線システムイメージを図-1に示す。本技術の概要を表-1にまとめる。

3. リアルハプティクス技術の適用

リアルハプティクス技術とは、操作器と作業装置からなる機械の制御において、現実の物体や周辺環境との接触情報を双方向で伝送し、力触覚を再現する力触覚伝送技術である。この技術により、人間が行う柔軟でやさしい動作の記録、編集、再現、拡張/縮小を力の感覚(力触覚)により実現する技術である。リアルハプティクス技術を用いた遠隔操作の概要を、図-2に示す。人が石等の対象物に触れる場合、人と対象物との間で力が発生する。この現象を、作業装置と操作装置とに分離し再現する。人が操作装置を動かすと作業装

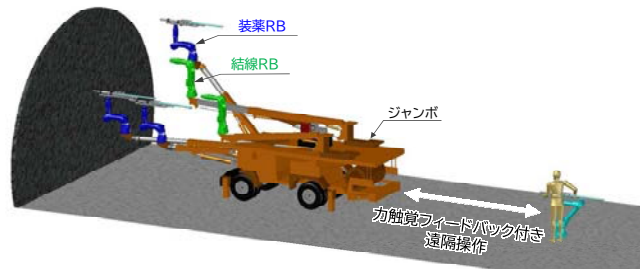


図-1 遠隔装填・結線システムイメージ図
表-1 従来技術と本技術の比較

	従来	本技術
対象爆薬	含水爆薬、ANFO爆薬、パルクエマルジョン等のゲル状爆薬	
対象雷管	電気雷管、電子雷管、導火管付き雷管、無線雷管	
施工位置	切羽直下(0~2m)	切羽から10m以上
装薬	人がコメ棒で親ダイ、増しダイ、アンコ押し込み装薬 機械装填の場合、装填機の先に親ダイを入れて、装薬孔先端まで押し込んだ後に、エア等で増しダイ、アンコを装薬	リアルハプティクス技術を適用した装薬RBを遠隔で人がリモコン操作
結線	人が脚線を引き、一本一本ねじる 導火管付き雷管の場合、束ねてバンチコネクターで結線	リアルハプティクス技術を適用した結線RBを遠隔で人がリモコン操作
施工性	人の視覚、触覚で作業	視覚をカメラで、触覚をリアルハプティクスで遠隔での作業

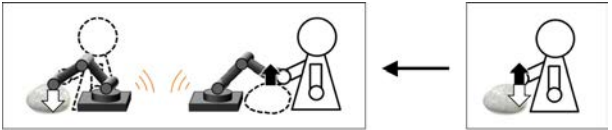


図-2 力触覚伝送の一例

キーワード 火薬, 遠隔化, 遠隔装填, 遠隔結線, リアルハプティクス, 力触覚
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 TEL 03-5769-1319

置同様に動き対象物に接触する。そして、作業装置側で発生した力が遠隔装置側に伝達される。これによって人は装置を介して対象物の硬さや柔らかさを感じ取り、力加減を適切に調整することが可能となる。

人が孔に物を込めたりする場合、視覚に加えて、触れたものの硬さがどのくらいか、どの位置で、どのくらいの力で押し込むかなど様々な情報を必要とする。特に火薬の装填では、以下の作業を行う。

- ・装薬孔に親ダイ、増しダイ、アンコを手で挿入
- ・装薬孔の位置や向きを把握し、適宜位置合わせする
- ・装薬孔にコメ棒で爆薬を適切な力加減で押し込む

鋭敏な火薬を扱うことから、この作業を遠隔化する場合、人と同様の力加減や触覚を切羽と遠隔操作側の相互で伝達しておく必要があるため、リアルハプティクス技術を適用する。

4. 装填システム

装薬システムは紙巻含水爆薬、粒状爆薬、バルクエマルジョン爆薬などのあらゆる爆薬を対象としている。

①位置合わせ機構

削孔した孔への位置合わせ機構は、孔の近くまでジャンボなどの大型機械で移動し、孔の近くからはカメラによる目視と、装薬RBのリアルハプティクス技術を利用することで、孔に入ったか、入らずに切羽に当たったかを、視覚および触覚で判断しながら、孔へ挿入



図-3 位置合わせ概要

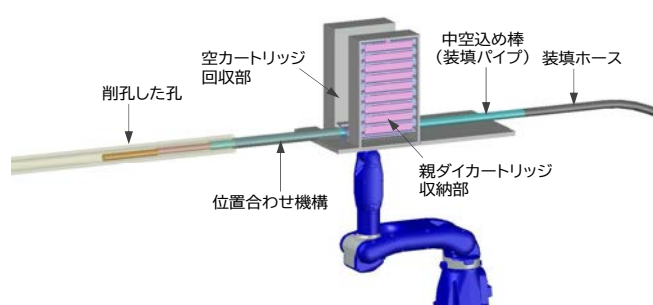


図-4 装填システム概要

するものである。位置合わせ概要を図-3に示す。

②装薬機構

削孔した孔に入れた後は、装薬機構により親ダイ、増しダイ、アンコを装填する。孔と正対しているか、孔荒れによる抜き差し、装填した親ダイや増しダイを押し込む際の力加減などをリアルハプティクスでOPに伝送り装填を行う。装薬機構の概要を図-4に示す。

5. 結線システム

①脚線つかみ機構

脚線をつかむ機構として、RBの先端にフック形状を設けたものを想定している。フックをつかみに行く際は、カメラによる視覚的な感覚と同時に、切羽との接触を判断するためにリアルハプティクス技術を設ける。

②結線機能

脚線をつかんだ後に、脚線を引張、被覆を剥ぐ、結線、端部の切断を自動で行う機構を想定している。従来は人が視覚や指先の感覚で脚線の被覆を剥ぎ取り、結線するのに対し、自動化することで、結線漏れを防ぐものである。今後は、システム概要、結線時の回転数や被覆の剥ぎ取り機構等、検討していく必要がある。

6. 装薬機構の要素試験

装薬機構の要素試験を行う。要素試験には、ロボットアームにコメ棒を模したパイプにリアルハプティクス技術を搭載し、装薬孔に差し込むものである。リモコン操作側で人が操作するにあたり、操作者が孔との位置合わせ、孔との摩擦や引っ掛かりを検知する。

オペレーター側



ロボット側

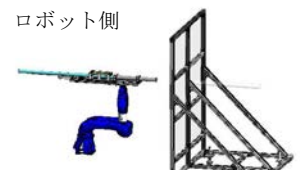


図-5 要素試験

7. まとめ

本技術は、装薬結線を切羽に立ち入らずにできる技術である。現状は、要素技術であるが、今後実用化に向けて開発していきたい。

謝辞：この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業（JPNP20004）の結果得られたものです。

参考文献：

- 1) 大西ほか；ハプティクスとその応用-力触覚の伝送・記録・再現・表示-, 第7章 pp. 1-2 シーエムシー出版, 2022