

非接触計測技術を利用したセグメント遠隔操作組立技術開発実績

計測技研(株) 正会員 橋村義人 藤原祥持 石下和雅 ○東村千春
 鹿島建設(株) 正会員 紀伊吉隆 阿部 聡
 東日本高速道路(株) 村田 賢士 尾関 淳

1. 背景および目的

セグメント自動組立技術は、東京湾横断道路トンネル施工時に一度は確立された技術ではあるが、エレクタ機構に多額の費用を投じていた。また、当時の自動組立方法は、既設セグメントに押し当てる「倣い手法」であり、組立精度に課題があった。

今回、当時より安価なエレクタ機構と、最先端センシング技術の利用による数値化で、遠隔操作組立の精度向上に取り組んだので、その成果を報告する。



図－1 遠隔操作運転席

2. 遠隔操作組立技術の概要

セグメント組立手順を図－2 に示す。各手順のうち、①把持と⑤解放は、カメラとラインレーザを利用して、把持中心合わせを可能とした。③微調整と④結合は、カメラと段差・隙間計測センサ（写真－1）を利用して、セグメントの既組立ピースと現在の組立ピースの目違い目開きを数値化し、遠隔操作による微調整・接合作業を可能とした。これらの計測数値と操作ログを蓄積することにより、将来的には自動組立に繋げようと考えている。ちなみに、②旋回・粗位置合せは、セグメント各ピースの組立位置を入力することで、エレクタにて所定の位置まで自動旋回させる技術を利用するものである。



図－2 セグメント組立手順図



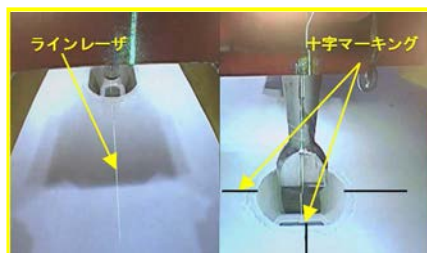
写真－1 センサ設置状況

3. 現場導入

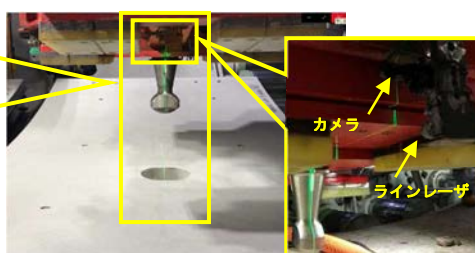
3.1 把持・解放作業

セグメントには予め工場にて把持金物の中心位置を写真－2 のように十字にマーキングしておく。エレクタにはカメラとラインレーザを写真－3 のように装備して、エレクタ把持ピン中心をレーザ照射する。この十字マーキングとレーザを一致させると、把持金物と把持ピンの平面中心が一致することになる。その後、カメラ画像により高さを確認しながら把持ピンを把持金物に挿入、90 度回転させることで固定され、把持作業は完了となる。解放作業は、把持作業の逆の順序で行われ、その後、エレクタを自動旋回させて次ピース組立の手順へ移行する。

これら一連の作業は、地上中央管理室のエレクタ制御用運転席（図－1、写真－4）にて遠隔操作で実施する。



写真－2 把持金物中心明示状況



写真－3 エレクタ装備状況



写真－4 遠隔操作モニタ

キーワード シールド、セグメント組立、非接触、計測技術、目違い目開き、遠隔操作

連絡先 〒660-0803 兵庫県尼崎市長洲本通1丁目14番1号 計測技研株式会社 TEL 06-6401-2288

3.2 微調整・結合作業

本技術を横浜環状南線公田笠間トンネル工事に導入し、エレクタへ関連機器のカメラや段差・隙間計測センサを設置した。この画像や計測数値の表示画面を写真-5に示す。段差・隙間（目違い・目開き）の計測精度は表-1のとおりであり、カメラ画像と計測数値の確認による遠隔操作組立が可能であることを確認した。

今回導入したシールド工事のセグメントは合成セグメント（嵌合方式・耐火仕様）であり、製造方法が異なるRCセグメントと1mm程度の組立誤差・計測誤差が生じていると思われる。

（※製作寸法許容誤差：合成 ±1.5mm，RC ±1.0mm）

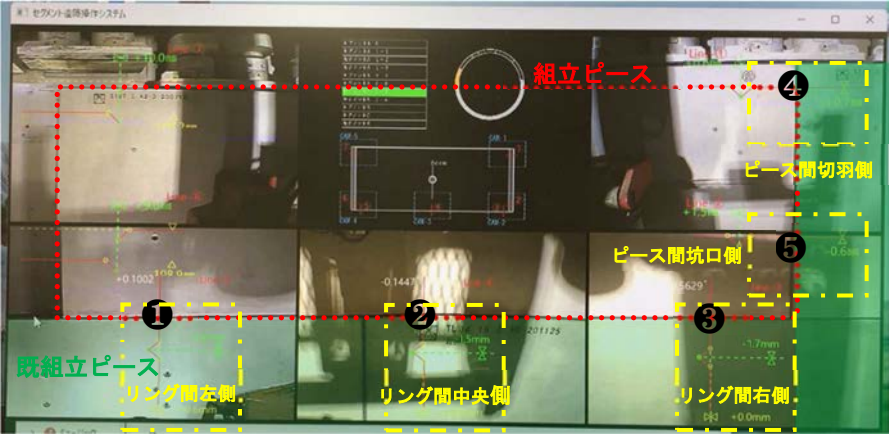


写真-5 セグメント結合時点での遠隔操作モニタ画面（計測数値誤差確認）

表-1 段差・隙間の誤差

（センサ計測値と人為測定値との差）

区分	計測場所	段 差 (目違い)	隙 間 (目開き)
リ ン グ 間	① 左 側	0.6mm	1.2mm
	② 中 央	±0.0mm	1.5mm
	③ 右 側	±0.0mm	1.7mm
ピ ー ス 間	④ 切羽側	0.7mm	0.8mm
	⑤ 坑口側	0.6mm	1.5mm

3.3 遠隔操作性

一連の作業は、すべてトンネル先端部から伝送される画像と計測数値を基に、地上中央管理室のエレクタ制御用運転席で操作することとなる。そのため、操作と動作のタイムラグによる操作性の悪さが懸念されたが、タイムラグは0.5秒程度でエレクタオペレータの操作感覚も問題無いことを確認した。

引き続き、熟練エレクタオペレータの意見をヒヤリングし、モニタ画面（写真-6）の計測値表示サイズや表示色等変更による視認性向上を行い、1リング（11ピース）の連続組立試験を実施する予定である。

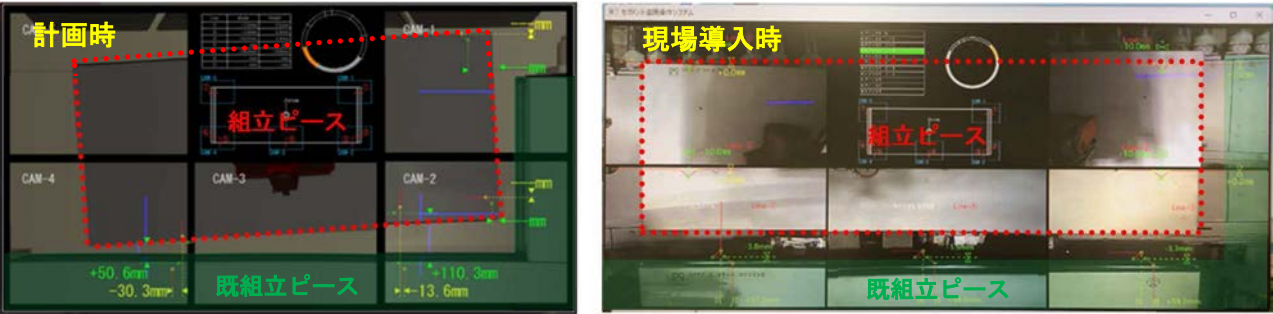


写真-6 遠隔操作モニタ画面（左側：計画時，右側：現場導入時）

4. 今後の課題

今回の本技術導入は、計測機器がエレクタ装置への後付けとなったことから、カメラや計測機器本体および関連機器や配線ルートに制約が有り、データ通信方法の課題が生じた。他工事への展開にはこの課題解決に加えて、エレクタ本体および関連設備の計画において、エレクタおよびシールドジャッキの遠隔操作性も加味した、一連のパッケージング計画が必要である。

5. まとめ

このセグメント遠隔操作組立技術は、最先端計測技術を利用した「見える化」「数値化」へのアプローチである。今後は、将来の熟練工の減少を視野に、計測数値と操作ログの蓄積を進め、これらのデータを活用して「遠隔操作組立」から「自動組立」へ進化できればと考えている。