

ITとロボット技術を駆使したニューマチックケーソンの完全無人化施工

梅田 法義・野田 幸裕・小島 一浩

ニューマチックケーソン工法は、今日まで掘削作業の無人化^{1),2)}など様々な進化を遂げてきたが、圧縮空気で満たされた作業室内での作業が残されていたことから、高気圧障害（減圧症等の高気圧作業特有の障害）といった解決すべき課題があった。この課題の解決のために、今日までヘリウム混合ガス呼吸システム³⁾を用いたり、酸素呼吸併用の減圧を実施して、高気圧障害の発症を大幅に低減してきたが、発症の可能性はゼロとは言えない。そこで、これまで人力に頼っていた掘削設備のメンテナンス、組立て・解体作業をロボットで無人化施工することにより高気圧障害を皆無とすることを目的として、ケーソンロボットシステムの開発を行った。

キーワード：ニューマチックケーソン工法，高気圧作業，高気圧障害，無人化施工，ケーソンロボット，IT

1. ケーソンロボットシステムの概要

ケーソンロボットは、高気圧作業室内に配置される天井走行式ショベル、掘削監視カメラ等の函内設備の

組立て・解体・メンテナンス作業を地上から遠隔操作で行うためのものである。株式会社白石は組立て・解体作業等を担当する「すーぱーくん」と、解体した部材の支持・運搬を担当する「りふとくん」と呼ばれる2種類のケーソンロボットを開発した。また、ケーソン作業室内に設置している

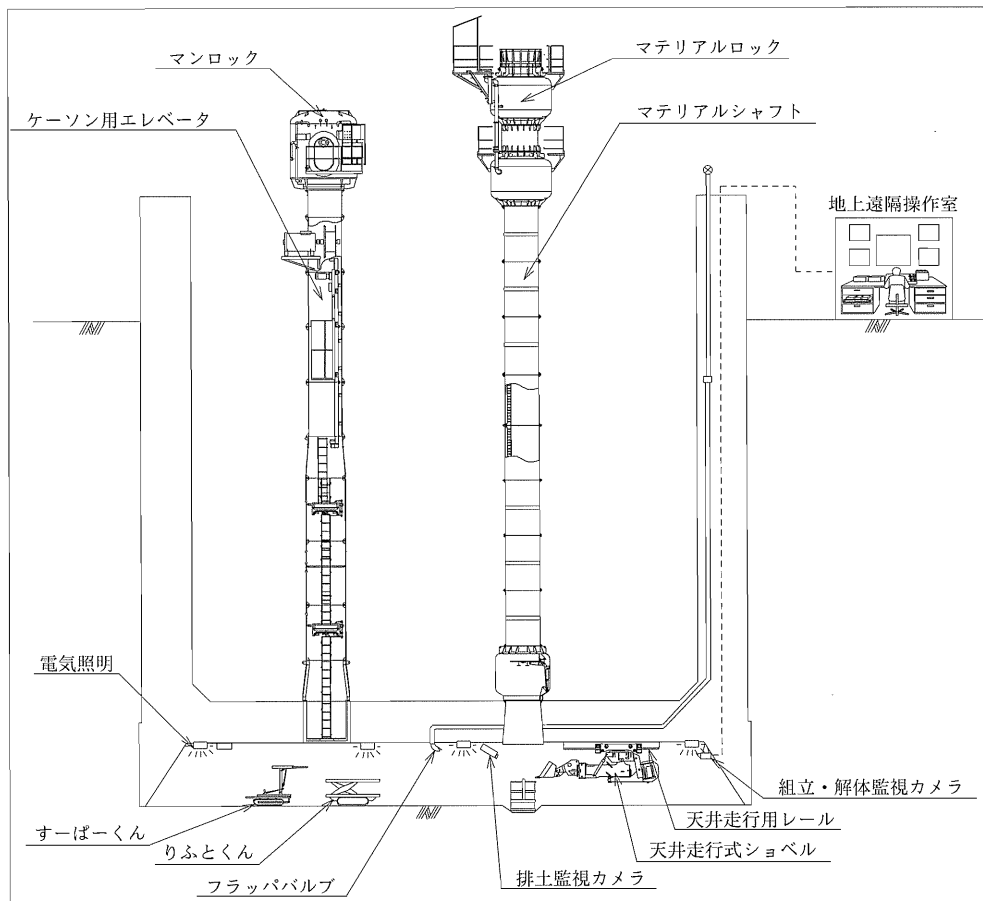


図-1 ケーソンロボットシステム概要図

既存設備を、ケーソンロボット対応に改良した。図-1にシステム概要図を示す。ケーソンロボットシステムの構成は、
 ①ケーソン作業室内を地上遠隔操作で無人掘削作業を行うロボット対応ケーソンショベルおよび走行レール
 ②ケーソンショベルの掘削状況および排土状況の監視
 ③ケーソンショベル組立て・解体・メンテナンス作業の監視を行う監視カメラ設備
 ④①～③の機材の組立て・解体作業を行うケーソンロボット
 から構成されている。

(1) 開発目標

ケーソンロボットシステムの開発目標は、完全無人施工で函内設備の組立て・解体・メンテナンス作業を行うことであるため、最初に函内設備で代表的かつ使用頻度が最も多い、ケーソンショベルの解体を行うロボットの開発を行うこととした。この開発を足がかりに組立て・メンテナンス作業を完全無人化することを目標とした。

ケーソンロボットを開発するに当たり、以下の点に留意して仕様の検討を行った。

- ①作業室内に搬出入可能なようにマテリアルシャフトに収納可能な寸法である。
- ②ケーソン作業室内で無人作業が行えるように無線での動作が可能である。
- ③ケーソン作業室内の土質に関わらず移動が可能である。
- ④ケーソン作業室高さ 2.3 m で搬出入が可能である。
- ⑤地上遠隔操作可能である。

上記の項目を踏まえ、表—1 の仕様を決定した。

表—1 ケーソンロボットシステムの仕様

| | |
|------------|------------------------|
| ケーソンロボット寸法 | 2,500 L×900 W×850 H 以内 |
| 走行方式 | 無限軌道方式 |
| 動力源 | バッテリー方式 |
| 無線方式 | 無線 LAN 方式 |
| アクチュエータ | 電動及び油圧 |

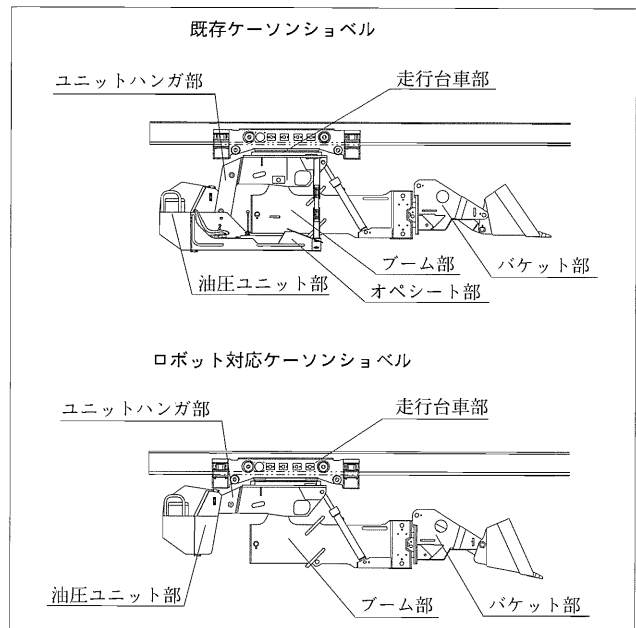
(2) ケーソンショベル解体・搬出作業項目

ケーソンショベルは、バケット部、ブーム部、油圧ユニット部、ユニットハンガ部、走行台車部、オペシート部、遠隔操作機器部の 7 部材および走行レールから構成されている。

これらの部材は、今まで人力で解体して地上に搬出していたが、ロボットにこれらの部材全ての解体機能を搭載するのは非常に困難なため、以下に示すような解体部材としケーソンショベルの改造を行った。図—2 に概要を示す。

- ①バケット部・ブーム部は、1 部材として解体する。
- ②ユニット部をユニットハンガ部にボルト連結せずにピン接続とする。
- ③ユニットハンガ部・走行台車部は、1 部材として解体を行う。また、ユニットハンガ部は走行台車部から突出しない寸法にする。
- ④オペレーターシートは、遠隔仕様なので削除する。
- ⑤遠隔操作機器部は油圧ユニット部に搭載する。

以上のことからケーソンショベルの解体パーツは、バケット+ブーム部、油圧ユニット部、走行台車部の 3 部材および走行レールとなる。



図—2 ケーソンショベル改造概要図

これらを解体するに当たり、ケーソンロボットに必要な機能は次のとおりである。

- ①バケット+ブーム部を走行台車部に連結するためのピン引抜き機能
- ②ケーソンショベルの動力源は油圧式なので各アクチュエータと油圧ユニット部を油圧ホースで連結する油圧ホースの連結部材に油圧カプラを使用しているので油圧カプラ脱機能
- ③油圧ユニット部の動力源は AC 200 V なので、電線脱機能
- ④油圧ユニット部、走行台車部はピン接合なので仮受け機能
- ⑤走行レールは、アンカーボルト締結なのでナット解体機能
- ⑥解体部材、ロボット搬出に要する無人吊り装置
- ⑦解体部材の搬出に要する移動機能

以上のことから、ケーソンロボットは、ケーソンショベルおよび走行レールの解体機能を搭載したロボット「すーぱーくん」と解体部材の仮受け・移動機能を有するロボット「りふとくん」の 2 台とした。

2. 組立て・解体・メンテナンスロボット「すーぱーくん」

「すーぱーくん」とは、函内設備の組立て・解体・メンテナンス作業機能を有したロボットである。本体は、無限軌道方式により掘削底面の走行移動が可能であり、これに作業別に使い分ける作業アーム、カメラ用アーム、無線カメラ、無線機、グリスポンプ、無人

吊り装置が搭載されている。

作業アームは作業目的に合致したものを地上で交換装着して作業を行う。外観を写真-1に示す。

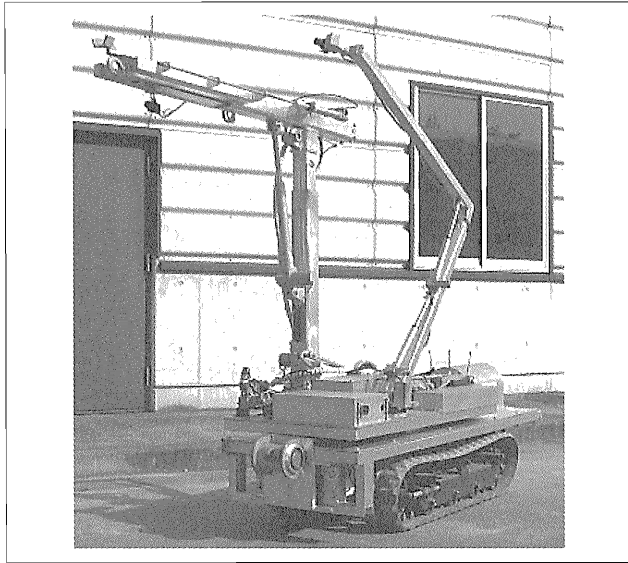


写真-1 解体装置「すーぱーくん」外観

(1) 作業アーム 1

解体装置「すーぱーくん」には作業アームが2本搭載されている。以下に作業アーム1の機能を示す。

- ①ケーソンショベルメンテナンス機能（グリス注入機能）

- ②ケーソンショベルブーム連結ピン引抜き機能
- ③ケーソンショベル油圧カプラ離脱機能
- ④ケーソンショベル電線離脱機能

ケーソンショベルのメンテナンスは、1日1回機械稼働部へのグリス注入が基本作業となる。

既存ケーソンショベルの機械稼働部は約30箇所各所に注入する必要があるが、ロボット対応ショベルは、集合管により注入箇所を4箇所に集約したためロボットでの作業時間を大幅に短縮している。

また、目視による点検は、「すーぱーくん」に搭載してある無線カメラおよび作業室内の監視カメラによって行うことができる。

(2) 作業アーム 2

作業アーム2は、走行用レールを解体する機能を有

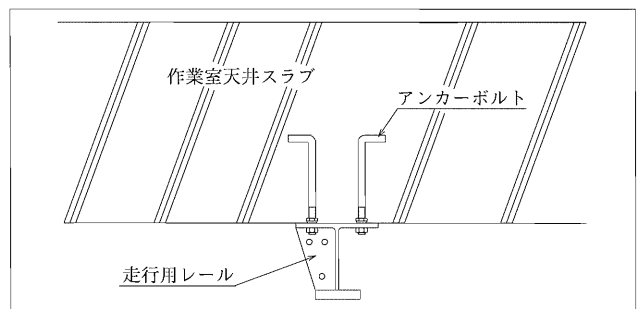


図-3 走行用レール概要図

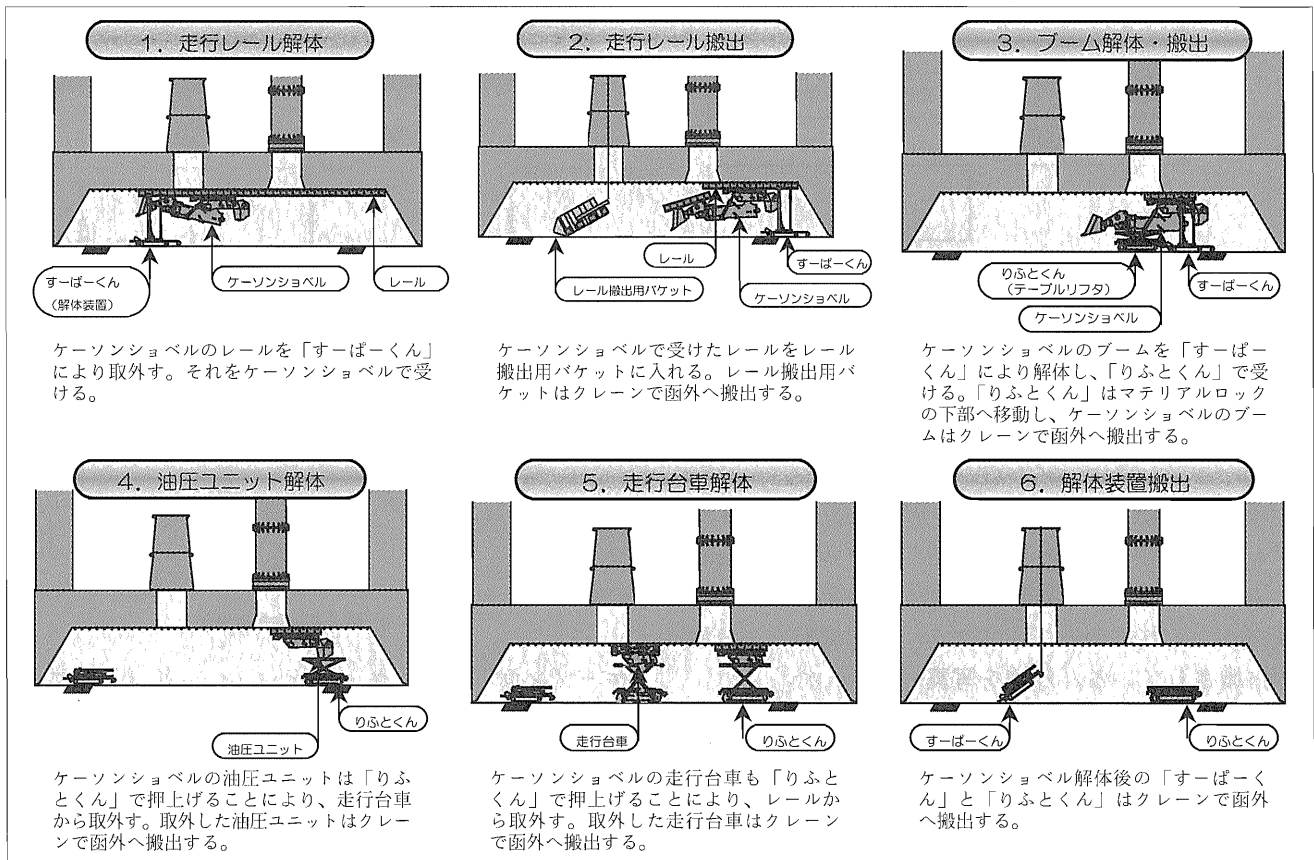


図-4 解体手順図

している。走行用レールは、図-3 に示すように作業室天井スラブにアンカーボルトとナットにより連結されている。作業アーム 2 は、インパクトレンチが搭載されており、ナットを外すことにより、走行レールを作業室天井スラブから切離することができる。

(3) ケーソンショベル解体手順

ケーソンショベルの解体手順概要を図-4、図-5 に示す。

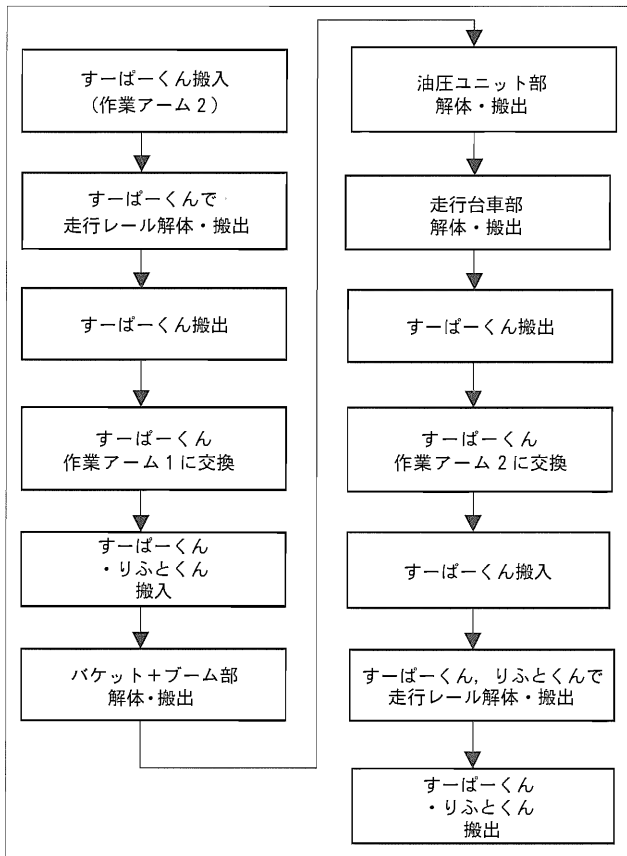


図-5 ケーソンショベル解体フロー図

3. 機材搬出入・部材仮受けロボット「りふとくん」

「りふとくん」は、主に機材の搬出入あるいはケーソンショベル等の解体・組立て時の部材の仮受けを行う。本体は、無限軌道方式で掘削底面の走行移動が可能であり、これにテーブルリフタ、無線機無人吊り装置が搭載されている。外観を写真-2 に示す。

4. 無人吊り装置

無人吊り装置は、地上遠隔操作でケーソンロボット、ケーソンショベルの搬出入を行うための装置であり、

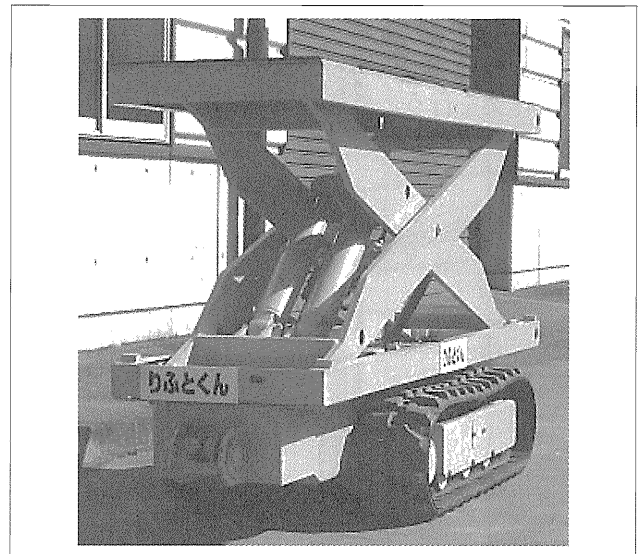


写真-2 テーブルリフタ「りふとくん」外観

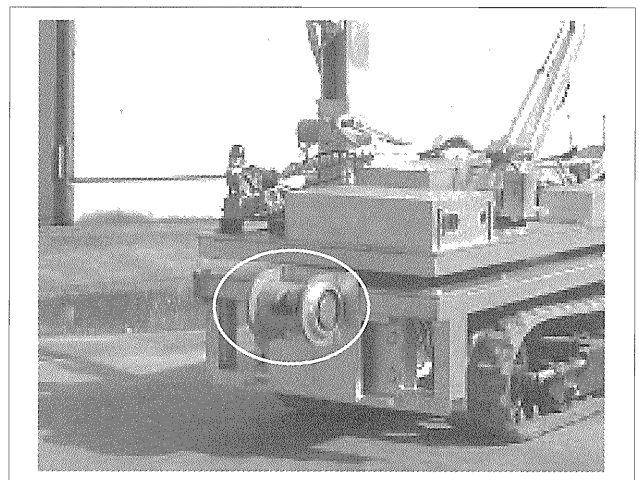


写真-3 無人吊り装置

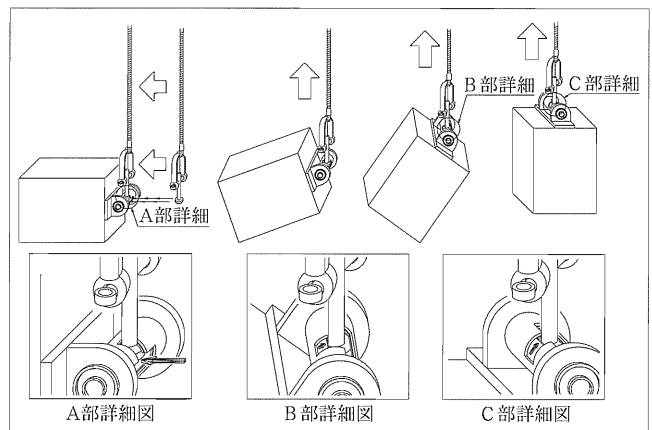


図-6 無人吊り装置概要図

ケーソンロボット、ケーソンショベル各パーツに搭載してある。外観と概要を写真-3、図-6 に示す。

無人吊り装置は二重管構造になっており、内外筒に T 字型の開口が開いている。そこに専用フックを挿入しワイヤを巻上げることにより吊り荷重量で内筒が回転して開口部を塞ぐことにより、専用フックの脱落を

防ぐことが可能である。機材の搬入時にはこの逆動作を行うことで無人での搬入も可能となる。

5. 今後の展望

ケーソンロボットの開発により、ニューマチックケーソン工法における最も高気圧となる最終地盤での函内設備解体作業が無人で施工することが可能となった。

高気圧になるほど人体への影響は大きくなるが、無人施工が可能になると大深度になるほどその有用性は増大する。また、まれに掘削途中でケーソンショベルが故障することがあるが、この際必要となるケーソンショベルの組立て作業も無人施工するロボットも、近々紹介できると考えている。

また、本報文では紹介していないが、最終地盤での支持力特性を求める載荷試験も無人で行う無人載荷試験システムの開発を終えている。

今後、本ロボットの実現場での実績を積上げ、さらなる改良を行い、ニューマチックケーソン工法における一般的な設備としてゆく所存である。

6. おわりに

現在、建設業界において無人化の波は大きくなってきている。無人化が進んでいくことは安全性の向上につながるだけでなく、少子・高齢化社会を迎えるに当

たり、IT 技術を駆使し熟練技術を有しない人でも施工が行えることを目標に様々な開発を進めて行きたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 鯨井裕嗣, 嶋村 彰, 鈴木正道: ニューマチックケーソンの機械化施工, 構造工学論文集, Vol.38 A, pp.1371-1384, 1992年, 3月
- 2) 加藤幸雄: 自動化ケーソン工法, 基礎工, 2000年, 2月号, pp.26-28
- 3) 眞野喜洋: 圧気作業下での潜函病とその対策, 基礎工, 1992年, 3月号, pp.30-37

【筆者紹介】



梅田 法義 (うめだ のりよし)
株式会社白石
土木技術部
技術本部長



野田 幸裕 (のだ ゆきひろ)
株式会社白石
土木技術部
主任



小島 一浩 (こじま かずひろ)
株式会社白石
土木技術部
主任