

21. ニューマチックケーソン工法における 函内無人化システム

(株)大本組：澤 祥剛・吉岡 武
*安藤 一男

1. ま え が き

ニューマチックケーソン工法とは、ケーソン下部に気密性の作業室を設け、空気圧により湧水を防ぎながら掘削作業を行い、所定の深さまでケーソンを沈設する工法である。

この工法の最大の特徴は、地下水を安全に征服できる点にあり、また、肉眼で地層の状況を確認しながら沈下掘削できる利点がある。

しかしながら、掘削や掘削土砂の揚排土を圧気下で行う従来の方法では、掘削深さの増加とともに、作業室内の気圧も高くなるため、作業能率が低下し、ケーソンの沈設深さに限界が生じてくるという問題点があった。

また、建設業界では熟練労働者の不足・高齢化や若年層の土木・建設業離れが深刻化している。このため、特に過酷な労働環境での作業となるニューマチックケーソン工事では、作業環境の改善や施工の合理化が求められるようになってきている。

このようなことから当社においては、労働環境の改善を図り、施工の安全性及び能率を向上するための自動化、合理化技術の研究開発に取り組んできた。

本報では、今回開発したニューマチックケーソン無人掘削工法『ROVO（ロボ）ケーソン工法』の概要および実施例について報告する。

2. 無人掘削システムの概要

作業室での作業は、主に掘削工と揚排土工とに分けられ、作業室内を無人化するためにはこの2工種の施工法を改良する必要があった。

本工法は作業室におけるこれらの作業を無人で行うもので、立体カメラを搭載した遠隔操作方式の天井走行式掘削機、土砂積替え装置およびこれらを管理する制御システムからなる。

掘削は、電動掘削機（オペレータ搭乗）で主に行い、刃口部は人力でさらえるのが従来の方法であるが、無人化のため掘削機は遠隔操作方式を採用し、刃口さらえにも対応できる機構とした。

掘削土の揚排土は、従来の人力による土砂バケット2個人替え方式に代わり、1個の土砂バケットで作業能率の低下しない新しい方法として、土砂積替え装置を開発した。

(1) 掘削機

掘削機は作業室天井に取り付けられた2条の走行レールに沿って懸垂状態で走行する天井走行式掘削機とした。

掘削機は電気・油圧制御にてその作動を制御し、各アクチュエータ（シリンダ、モータ等）のスム

一ズな動きができるように、電磁比例制御弁により油量をコントロールするようにした。

表-1に掘削機の仕様、写真-1に圧気された作業室内で稼働中の掘削機を示す。

表-1 掘削機の仕様

最大掘削半径	4,000 mm
最大掘削深さ	3,500 mm
バケット容量	0.2 m ³
電動機	15kw×4P×400/440 V
走行速度	30/36/ m/min 50/60 Hz
旋回速度	5/6 rpm 50/60 Hz
自重	3,500 kgf



写真-1 稼働中の掘削機

(2) 監視システム

① テレビモニタ

函内を無人化して掘削機を遠隔操作する場合、従来の作業室の監視用として用いられているテレビカメラでは、得られる画像が平面画像であるため、遠近感や立体感がつかめず、掘削時の空振りや天井スラブ、ケーソン躯体への接触、衝突が懸念された。

したがって、人間の目の感覚とほとんど同じで違和感がなく、疲労感の少ない高解像度の立体テレビカメラを採用した。この立体テレビカメラを掘削機に搭載し、オペレータは地上の中央管理室に設置されたモニタを見ながら掘削機の操作を行うようにした。

また、小型のCCDカメラを作業室内に4台設置し、これらのカメラからの映像を中央管理室に設置したマルチビジョン（4分割）モニタに映し、作業室の状況が死角のないように監視できるようにした。

② グラフィックディスプレイ

掘削機に搭載された立体テレビカメラおよび監視用テレビカメラにより得られる情報のほかに、さらに詳細な情報を得るために掘削機に各種センサを取り付け、掘削機の位置、姿勢に関するデータをコンピュータ処理し、グラフィック表示するようにした。

また、ケーソンの天井スラブに傾斜計、作業室内に気圧計を設置して、ケーソンの傾斜量、傾斜方向、作業室内気圧をCRTに表示するとともに、沈下中のケーソンの姿勢をグラフィック表示して、リアルタイムでケーソンの姿勢管理が施工に反映できるようにした。

(3) 自動制御

オペレータが掘削機を遠隔操作する場合、モニタテレビの映像だけでは、掘削機のケーソン躯体や

作業室内の設備への接触、衝突が懸念された。したがって、施工の安全性を向上するとともに、オペレータの負担を軽減するために、①掘削土砂積み込み作業、②はねつけ作業（掘削土砂の仮置き）、③底開きバケット設置地盤の均し作業等の単純繰り返し作業をコンピュータ制御により自動化した。

(4) 土砂積替え装置

土砂積替え装置は、掘削土砂を作業室から大気中に搬出する搬出バケット1個、掘削土砂積み込み専用の土砂積替えバケット1個、土砂積替えバケットを上下させる揚重装置1式および搬出バケットを横移動させる天井懸垂式の走行台車から構成されている。

図-1に掘削土砂の積替え施工順序を示す。なお、これらの動作はシーケンス制御による自動運転で行い、中央管理室のオペレータはモニタテレビにより土砂積替え装置の監視を行う。

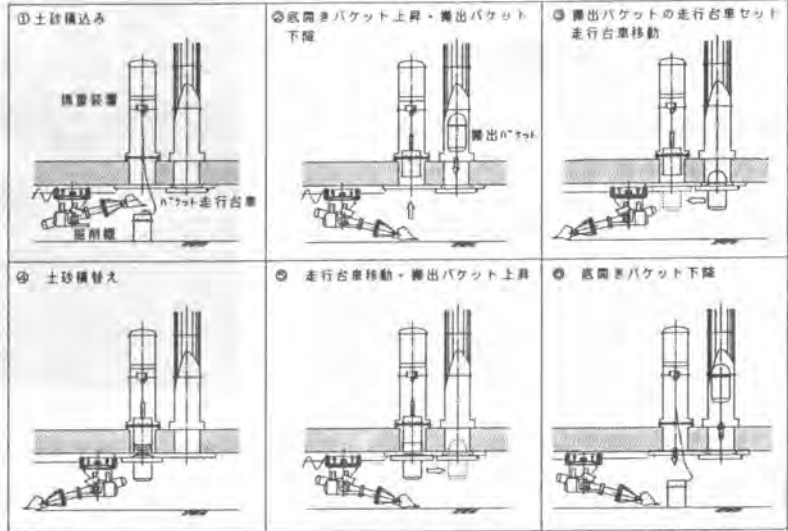


図-1 土砂積替え施工順序

3. 実施例

(1) 工事概要

ケーソン無人掘削システムを適用した実工事における施工実績について以下に報告する。この工事は、交通量の緩和対策の一環として橋梁部の拡幅にともない、ニューマチックケーソン工法で計画された橋梁下部工を無人掘削工法で施工したものである。図-2にケーソン無人掘削システムによる施工概要図を示す。

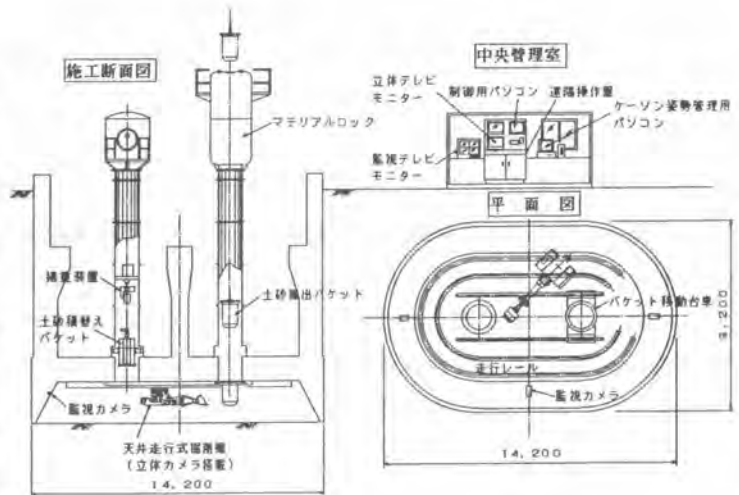


図-2 無人化システムによる施工概要図

(2) ケーソン沈下進捗

図-3にケーソン沈下進捗図を示す。無人掘削システムの組立ては、2ロットの構築中に行い、2ロットから6ロットの沈下掘削に本システムを適用した。

導入当初は、オペレータの教育訓練に時間を要し、またシステムの初期調整や不備な点もあった。したがって、2ロットの沈下掘削が完了した後、システムの再調整および改良を行った。

その結果、3ロットから6ロットの沈下掘削は順調に進み、ほぼ予想通りの成果をあげることができた。なお、無人掘削システムによる掘削実績は、概ね20m³/日(平均)であった。

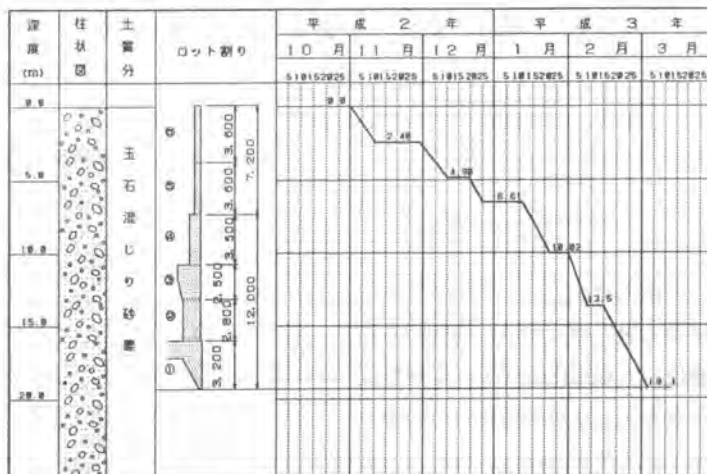


図-3 ケーソン沈下進捗図

4. ま と め

ニューマチックケーソン工事に本システムを適用することで、従来の高圧気や多湿環境における作業から作業員を解放することができるとともに、施工の安全性が向上した。なお、本システムを適用した結果、以下のことが確認された。

- ① 立体カメラシステムを導入したことで、刃口さらえなどの細部の掘削にも充分対応できた。
- ② 単純な繰り返し作業を自動化したことで、オペレータの負担が軽減され、施工の安全性が向上した。
- ③ 従来の土砂バケット2個入替え方式に代わるものとして開発した土砂積替え装置は、函内の揚排土作業を無人化するうえで、有効な方法である。
- ④ 中央管理室において、作業室内の状況や掘削機および揚排土装置の運転状況を集中管理するとともに、ケーソンの沈下状況をリアルタイムに施工にフィードバックすることで、高い精度の沈下管理ができた。

5. あ と が き

今回開発したシステムは函内における掘削、揚排土作業を無人化したものである。現在、得られたデータを整理、解析し、ニューマチックケーソン工事の安全かつ合理的な施工と、完全自動化技術の確立に向けて、研究開発を進めている。

最後に、工事にあたりご協力いただきました方々、また、無人掘削システムの開発にあたり、ご助言、ご協力いただいた方々に深謝いたします。