

# 63. 圧入ケーソンの自動制御システム “ケーソンナビゲーションシステム・CANAS”

大成建設㈱：\*藤谷 俊実，喜志 恭博  
明神 知夫

## 1. はじめに

圧入オープンケーソン工法は、施工形態が単純かつ経済的な工法であるため、施工件数の増加並びに大型化・大深度化の傾向にある。この工法は、予め地中深くに埋設されたグランドアンカーの引抜き反力を利用し、ケーソン躯体頂部に設置された載荷桁を介してセンターホールジャッキにより地中に圧入・掘削しながら所定の深さまで圧入沈設する工法である。しかしながら、従来の圧入・沈設作業は、ケーソンの姿勢を測量によりその都度確認しながら、その結果を基に、圧入技術員が手動で各ジャッキのON、OFFを操作し姿勢制御を行っており、ジャッキ台数が数台といった比較的小規模なケーソンに適用されていた。しかし、大型あるいは大深度のケーソンの施工では沈下抵抗が増大するため、当然、大容量の圧入荷重が必要となり、ジャッキ台数も増加・大型化し、手動操作での制御は極めて困難となる為、ケーソンを自動で効率良く高精度に沈設できる制御技術が望まれていた。

新たに開発したシステムは、ケーソンの沈設に必要な諸情報と、ケーソン躯体内に設置された傾斜計などの姿勢制御情報をコンピュータで処理し、常にケーソン姿勢を高精度で管理できるものである。

本文では、新たに開発したシステムの概要と、実工事への適用結果について報告する。

## 2. システムの概要

本ケーソンナビゲーションシステムは、ケーソンの沈設に必要な刃口荷重、周面摩擦などの諸情報を計測処理する「計測システム」およびケーソンの姿勢を制御する「姿勢制御システム」で構成する。このシステムでは、VSLジャッキの駆動用として使用する主油圧ユニット本体には起動、停止、伸び、縮等の各種の操作ボタンとケーソンの姿勢制御をジョイスティックの倒れ量で行う手動操作盤が装備されている。今回の施工現場では、ケーソン躯体上部に設置された10台の非対称配置のVSLジャッキを同調する4系統に分け、傾斜計のデータからケーソン本体の姿勢が絶えず水平になるように、4系統のジャッキへの油圧流量を個別に制御している。そして、盛り替え作業のみ手動で行い所定の沈設深さになるまでくり返し圧入、沈設作業を実施するものである。写真-1に施工状況を示す。



写真-1 施工状況

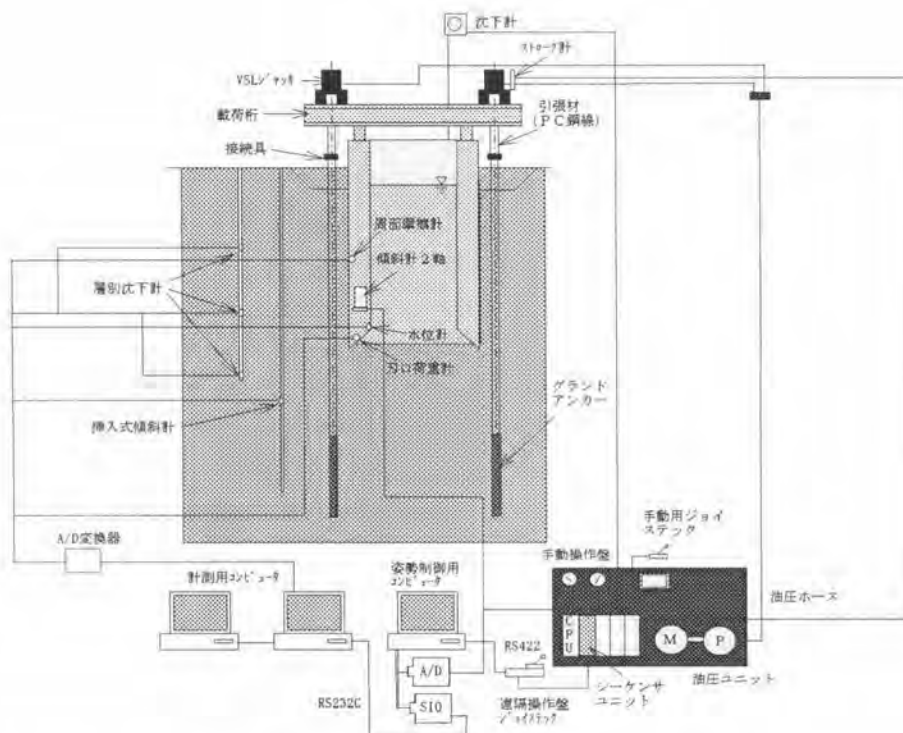


図-1 ゲーソンナビゲーションシステム概要図

### 3. システムの構成

本システムは、姿勢制御システムと計測システムおよびVSLジャッキ駆動用の主油圧ユニットから構成する。個々のシステムは、それぞれ必要な諸計測情報を収集している。表-1に、機器の構成と収集する計測データ項目を示す。

表-1 システムの構成一覧表

番号	システム、装置名	台数、仕様、概要	計測項目、機器	備考
1	主油圧ユニット	油圧ポンプ 4台 最大吐出圧 350kg/cm <sup>2</sup> 遠隔手動操作盤 (ボタン、ジョイスティック操作)	ジャッキ油圧 ジャッキストローク量 深度 (30m計測型) インバータ回転数	VSL ジャッキの運転
2	計測システム	計測コンピュータ 2台 (PC9801)	刃口荷重 周辺摩擦力 水圧 挿入式傾斜計 層別沈下計	計測データ 収集、保存 印刷
3	姿勢制御システム	制御コンピュータ 1台 (PC9801)	本体傾斜 X, Y 軸	計測入力と 制御出力

### (1)主油圧ユニット

本ユニットは、V S L ジャッキの駆動用動力源であり、それぞれ一对の油圧ポンプと電動機を、4組セットした油圧ユニットと各電動機へ電力を供給するインバーターユニットおよび制御盤から構成されている。各油圧ポンプの運転・停止及び各油圧系統毎のジャッキの押し、縮動作等を個別に手動操作可能である。更に、操作盤には、ケーソンの姿勢制御を手動でも可能なように、姿勢制御用ジョイスティックレバーが装備されている。予め、設置された各ジャッキの油圧系統とレバーの方向を対応させておき、レバーの倒す方向と量に応じて、各油圧系統の油量を可変制御できる。また、付属の表示盤には、ケーソン躯体の傾斜角度、各ジャッキストローク量、油圧力、電動機の運転周波数、運転操作選択状況が表示され、ジャッキの運転状況がひと目で把握できる。

図-2に主油圧ユニットの概要を示す。

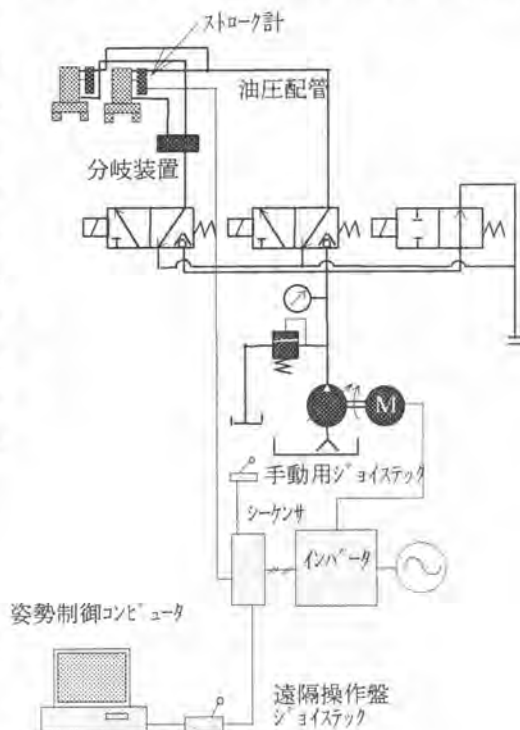


図-2 主油圧ユニットの概要

### (2)計測システム

圧入ケーソン工事において、最も配慮しなければならない点は沈設時の慎重な姿勢管理である。それには、ケーソンの姿勢制御に大きな影響を及ぼす地盤等の情報も同時に把握する事が重要である。その為に、周辺地盤の傾斜、刃口荷重、周辺摩擦、沈下、水圧の各計測器を設置して、掘削・圧入時の周辺地盤をリアルタイムに把握可能な計測システムとした。この計測システムでは、2台のコンピュータを使用し、1台は、諸データのリアルタイム収集表示を行い、もう1台は、データの保存と処理、印刷出力用としている。また、計測システムは、同時に姿勢制御システム及び主油圧ユニットからケーソン躯体の傾斜や制御データ及び各ジャッキの操作データ受け取り、表示保存を行っている。図-3に計測システムの画面表示状況を示す。



図-3 計測システムの画面表示

### (3) 姿勢制御システム

本姿勢制御システムでは、圧入用のV S Lジャッキの制御を、従来のジャッキ選択方式に代えて、ジャッキグループ毎の油量制御方式とした。ここでは、一般的な油圧回路内の流量バルブによる油量制御ではなく、油圧ポンプ駆動用の電動機の回転数をインバータ制御により行い、油圧ポンプからの油の吐出量を制御している。今回の姿勢制御システムを構築するにあたり、手動操作のジョイスティックで各ジャッキグループの油量を操作するのと同じイメージで制御機能を考えた。つまり、ジョイスティックが中立状態にあれば、全てのジャッキグループへ同一の油量が吐出される。また、ケーソン本体の高い方へ、ジョイスティックを倒せば、倒された側に配置されたジャッキグループへ、油量が多く流れ、逆の側は、倒したジョイスティックの角度に対する分だけ、油量が少なく流れるようになる。この場合、ジョイスティックは、全方向へ倒す事が可能となっている。更に、この手動操作を遠方でも行えるように、遠隔操作盤にも小型のジョイスティックが設置されていて、同一の操作が可能となっている。姿勢制御コンピュータでは、このジョイスティックによる手動操作をプログラム化している。

概略の姿勢制御の流れは次の通りである。

- ①初めに、本体傾斜計により、2方向の傾斜量を測定する。各傾斜量より、ケーソン本体上部端面の全周の相対高さを求める。
- ②最高高さ最低高さ両地点の相対的な高低差を算出する。
- ③最高地点にあるジャッキグループに、相対的な高低差に応じた最大の油量が流れるように、また、逆に最低地点にあるジャッキグループには、最少の油量が流れるようにする。中間の高さ地点のジャッキグループには、それぞれの高さを按分して、油量を設定する。
- ④この設定油量に対応するように、各ジャッキグループ毎の電動機の回転数を制御するインバータの設定回転周波数を制御する。この制御は、設置された各V S Lジャッキの内最大のストローク量が、10 mm（設定変更可能）伸びる毎に各地点の高さの計算と油量に対応するインバータ回転数を計算して、制御コンピュータから、操作盤のシーケンサへ制御データを送信する。
- ⑤制御は何れかのジャッキストロークが最初に300 mmに達した時点で、自動的に油圧用の電動機の運転を停止して、自動から手動操作に切り替わる。
- ⑥V S Lジャッキを手動操作に切り替えて、ジャッキの盛り替えを行う。再び、同一の操作を所定の深度になるまで繰り返す。
- ⑦施工中に地層が変わり、地盤が比較的柔らかくなった場合は、姿勢制御システムでの姿勢制御を行いながら、設定荷重以内でV S Lジャッキによる先行圧入を行う。  
その後、クラムシェルバケットによる掘削を行う。
- ⑧また、地盤が固く、すぐに設定荷重に達し所定の先行圧入量を確保できない場合には、姿勢制御システムにて姿勢制御を行いながら、クラムシェルバケットによる掘削を同時に実施する。

ここで、ケーソン本体の圧入に対する抗力は、切羽の刃口反力や周辺摩擦等の違いによりケーソン本体の各部分によっても異なる。従って、これらの抗力の合力に釣り合ったものが、V S Lジャッキの圧入油圧となる。つまり、V S Lジャッキの発生している油圧は、その時点の油量と（圧入速度）とケーソン本体の抗力の合力が一致するものとなる。

実際の姿勢制御システムの表示画面を図-4に示す。また、本システムの制御プログラムの概略の制御フローを図-5に示す。実際の制御では、姿勢制御コンピュータが、諸計測データよりケーソン本体の姿勢状況を演算処理して、各ジャッキ系統毎の制御割合を算出し、更に油圧ポンプの電動機の回転数として、シーケンサへ制御データを送信している。なお姿勢制御コンピュータ機器の設置状況を写真-2に示す。

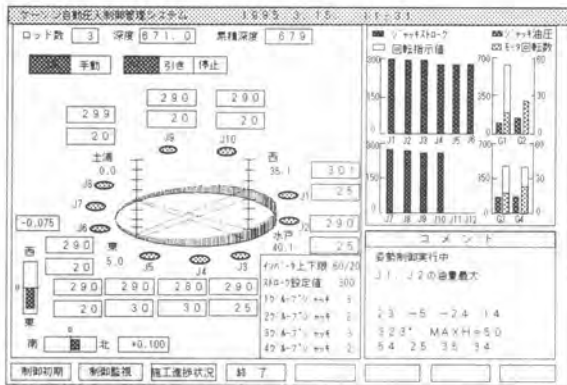


図-4 姿勢制御システム表示画面



写真-2 姿勢制御システム設置状況

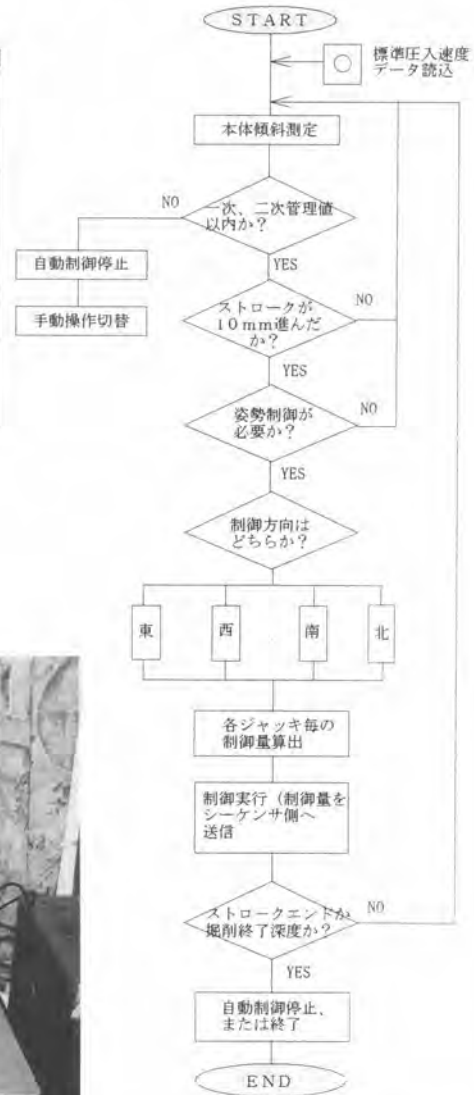


図-5 姿勢制御システムフロー

#### 4. 現場実施状況

今回、本システムは、建設省関東地方建設局の霞ヶ浦導水工事事務所御発注の高浜機場圧入ケーソン工事にて採用された。作業所の工事概要は、下記の通りである。

この圧入式オープンケーソンはシールドトンネルの発進用の立坑に利用されるもので直径23.0m・内径19.4m・深さ47.8mであり、10台のVSLジャッキによる設計圧入力は250t/台であり、この反力材として長さ73.5mのアースアンカーを施工した。ケーソンの姿勢に変位が発生しやすい初期沈設（GL-0～2.0m程度迄）の姿勢管理が、ケーソンの最終沈設施工精度に及ぼす影響が大きいと予測されていたが、本システムの採用により、従来的人力測量による作業中断がなく、連続した躯体姿勢測定データから素早く姿勢制御への対応が可能となり、本工事では大変良好な施工状況であった。圧入、沈設は、1ロッド（6m）を、昼夜の施工で平均6日間で実施した。平成7年5月から開始された圧入作業は、最初の1、2ロッドから9ロッドまでの8回の圧入、沈設を平成8年1月に完了し、最終沈設時の沈設施工精度は、最終管理目標値に設定している1/200に対して1/1643にもおよぶ良好な結果を得ることができた。

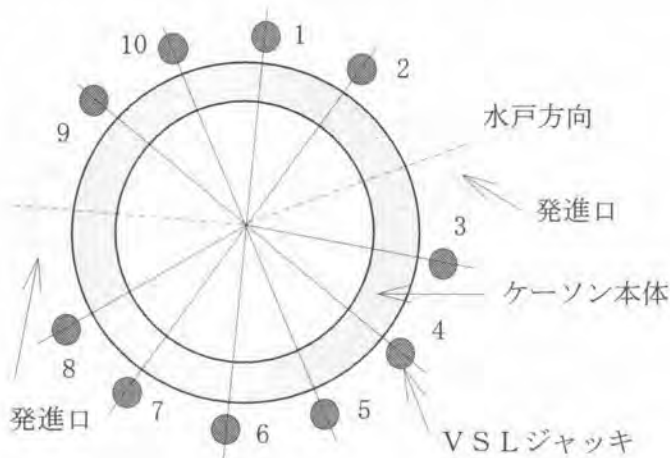


図-6 VSLジャッキの配置

#### 5. おわりに

本システムの施工に当たっては、当社関連高浜機場作業所の指導により、システム及びプログラムの改良を数度に渡り実施し、施工に密着したシステムとなったことを感謝するとともに、今回の実施を踏まえてより完成度の高いシステムへ発展させたいと考えている。

最後に、本システムを実施するにあたり、御理解をいただいた建設省関東地方建設局霞ヶ浦導水工事事務所殿にお礼申し上げます。