

35. 自動化オープンケーソン工法 (SOCS) の開発と実証施工実験

建設省 (土研) : 中野 正則
 (財)先端建設技術センター : 前田 諭
 PC ウェル工法研究会 : 伊佐 秀・*谷 善友

1. はじめに

オープンケーソンは大型基礎としては、施工方法がシンプルで経済的であるとともに、大深度施工においても圧気や安定液が不要であるため、橋梁基礎等の施工方法として多数用いられてきた。しかし、掘削がクラムシェル主体のため刃先部近傍の地盤の掘削が困難であり、刃口反力が卓越する場合には沈下不能に陥ったり、ケーソン内地盤の余堀りで周辺地盤の沈下を招く恐れがあるなど施工管理上の問題点が指摘されていた。

『自動化オープンケーソン工法 (SOCS)』は、このような問題点を先端技術を駆使して解決し、かつ、オープンケーソンの施工領域を拡大し、併せて近年の技能労働者不足に対応するために開発された新しいオープンケーソン工法である。

新しく開発されたシステムの性能確認のため、実大規模のオープンケーソンの実証施工実験が実施され、数多くの成果を得ることができたので、以下に報告する。

なお、『自動化オープンケーソン工法 (SOCS)』は、建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センターおよび民間13社の共同研究によって開発された工法である。

2. 自動化オープンケーソン工法の概要

自動化オープンケーソン工法の概要図を図-1に示す。本工法は、自動水中掘削・揚土システム、自動沈下管理システム、プレキャスト躯体システムの3つのシステムで構成されている。3つのシステムを組み合わせて用いるほか、現場条件に応じて各々のシステム単独、あるいは2つを組み合わせても用いることができる。

なお、自動水中掘削・揚土システムは、掘削時のケーソン急激沈下による自動水中掘削機の損傷等の発生防止のため、先行圧入方式のケーソンに適用することが前提となる。

ここでは、自動水中掘削・揚土システムおよび自動沈下管理システムの概要と実証施工実験の結果について以下に報告する。

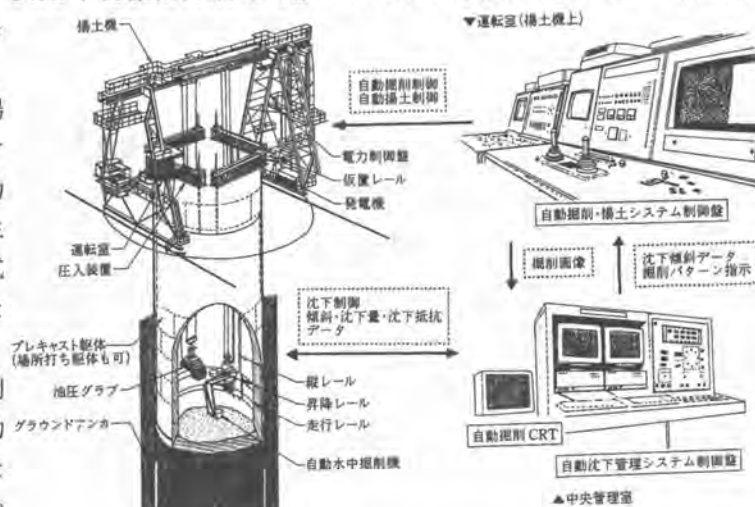


図-1 自動化オープンケーソン工法概要図

2-1. 自動水中掘削・揚土システム

自動水中掘削・揚土システムは、ガイドレール式バックホウタイプの自動水中掘削機と橋型クレーンタイプの自動揚土機により構成される。自動水中掘削機は、ケーソン躯体刃口上部の内壁円周方向に設置されたガイドレール上を円形に走行し、ガイドレールに掘削反力を取りながら刃口下部を含むケーソン内地盤をオペレータが選定した形状で自動掘削する。掘削残土は自動水中掘削機と同期して円形走行する自動揚土機の電動油圧グラブにより函外に揚土され、自動揚土機に設置された土砂ホッパーに排土される。自動水中掘削機および自動揚土機の操作は、自動揚土機に取り付けられた運転室で2名のオペレータにより行われるが、機械の状況はコンピュータにより統合的に管理されており、従来工法のような熟練オペレータや合図マンが不要となり、安全性の向上や省人化を実現している。実証施工実験に準備した掘削断面パターンと掘削平面パターン（走行パターン）を図-4に示す。このパターンの中から、ケーソン内地盤高、ケーソンの荷重関係や刃口部の土質に応じて適切なものを選択する。



図-2 自動水中掘削機



図-3 自動揚土機

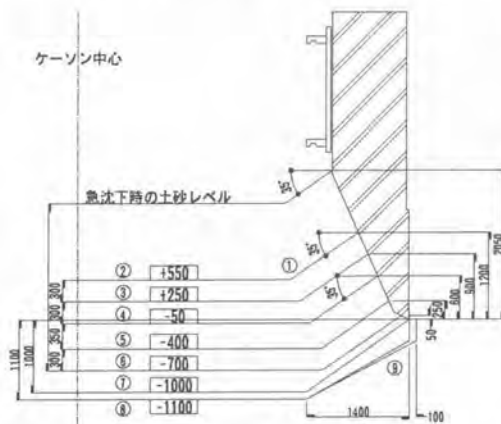


図-4 掘削断面パターン・掘削平面パターン

	時計方向 (CW)	反時計方向 (CCW)
A-連続掘削		
B-不連続掘削①		
C-不連続掘削②		

2-2. 自動沈下管理システム

今回開発した自動沈下管理システムは、従来の圧入式オーブケーソン工法のオペレータの判断による手動のジャッキ操作を自動化したもので、ケーソン躯体に設置された傾斜計や沈下計等の各種センサーより、時々刻々変動するケーソン躯体の情報を基に圧入ジャッキを自動的に操作しケーソン躯体の姿勢制御を行うものである。

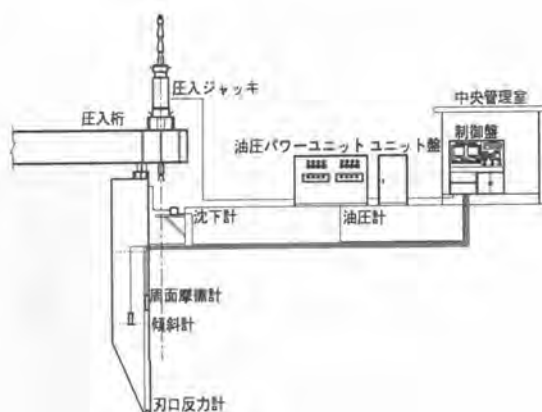


図-5 自動沈下管理システム概要図

その構成を模式的に示したのが、図-5である。このシステムは、各種センサーからの情報を自動計測する自動計測システムと、その情報を処理して圧入ジャッキを自動制御する自動圧入姿勢制御システムで構成されている。

自動沈下管理システムを用いた沈設作業のフローを図-6に示す。自動沈下管理システムによる沈設工程は、先行圧入を基本とした圧入工程と掘削工程の繰返しであり、自動沈下管理システムは、主に圧入工程の計測および圧入沈下制御を担当し、掘削工程においては補助的に計測を担当し、ケーソン躯体の異常監視を行う。

ケーソン躯体の姿勢に関しては、一度過大な傾斜を与えてしまうと修正不能に陥ったり、修正が可能であってもそのために多大な工期と費用を要する場合が多い。本システムでは、ケーソン躯体の姿勢の早期修正のため、1秒毎に更新されたデータを基に自動で姿勢制御を行う

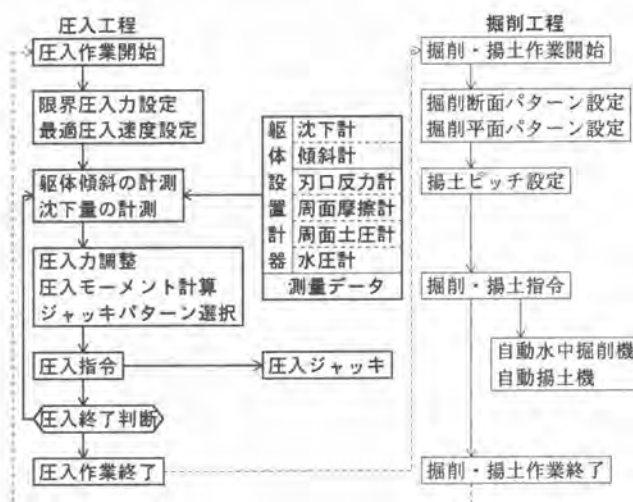


図-6 沈設作業フロー図

3. 実証施工実験の結果

本工法の施工性および各システムの性能確認のため、外径9m、内径6.96~7.2m、深さ16.5mのケーソンを沈設する実証施工実験を行った。硬質地盤に於ける自動水中掘削機の掘削性能確認のため、事前に開削工事により $qu=30\text{kgf/cm}^2$ を目標強度とした模擬土丹層を造成した(図-7参照)。

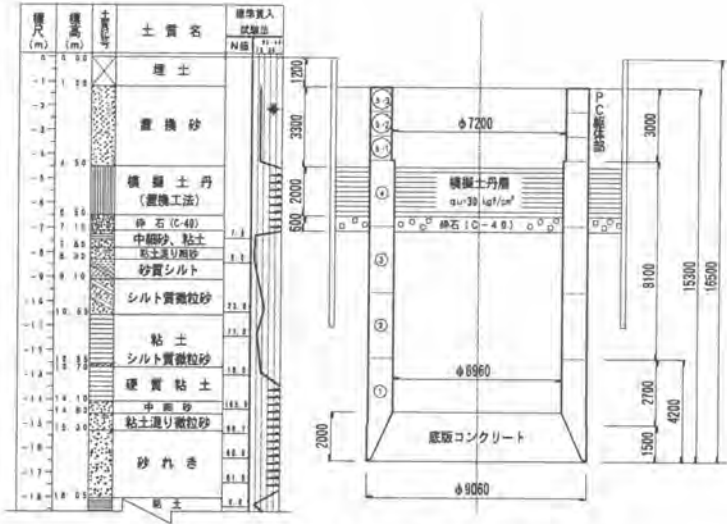


図-7 実証施工実験ケーソン断面図

3-1. 掘削精度

砂質土層および模擬土丹層における、自動掘削による掘削断面の精度確認結果を図-8に示す。

いずれの地盤も掘削断面は掘削予定ラインに対して概ね数cm以内の精度で掘削されており、ケーソンの沈下を目的とした掘削精度としては十分な性能を有していることが確認された。

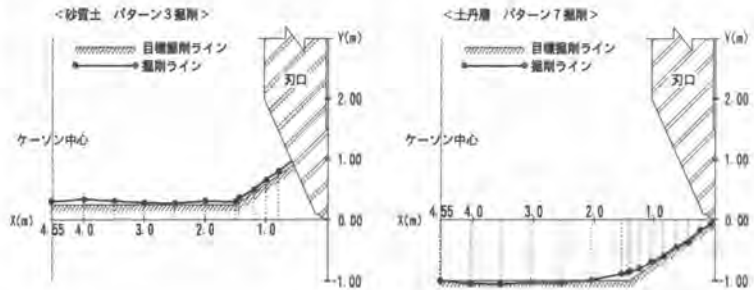


図-8 掘削精度確認結果

3-2. ケーソンの掘削沈下結果

自動水中掘削機の持つ掘削断面パターンと掘削平面パターンを用いてケーソンの掘削沈下を行った結果について代表的なものを取り上げて以下に報告する。

図-9は第2ロット掘削沈下時の進捗状況を示したものである。当日は3回の掘削圧入沈下を実施した。掘削は何れも狭幅バケットを用いて実施した。1回目は掘削断面パターン⑦、平面パターンBで全周をとび掘削し、950tの圧入力で圧入を試みたが、5.4cmしか沈下しなかった。次に断面パターン⑦、平面パターンCで1回目掘削の残部分を掘削し(これでほぼ断面パターン⑦で全周に渡って掘削したことになる)圧入を実施した結果、958tで13.8cmの沈下量であった。これらの結果から、ほぼ刃口直下まで土砂を取り除く掘削パターン⑦を用い全断面を掘削した場合でも、刃口反力が大きく、十分な沈下量が得られないことが分かった。そこで3回目には断面パターン⑧(刃口直

下30cmまで垂直に掘削するパターン)、平面パターンBでとび掘削し、残部を断面パターン⑦、平面パターンCで掘削した後圧入を行った結果、600tの圧入力で43.0cmの沈下を精度よく行うことができた。部分的に断面パターン⑧を用いた結果、300t以上の刃口反力低減が実現できたことになる。

このように、土丹層等の硬質地盤においても適切なパターンで刃口部を掘削することにより、順調なケーソンの沈下を実施できることが確認された。

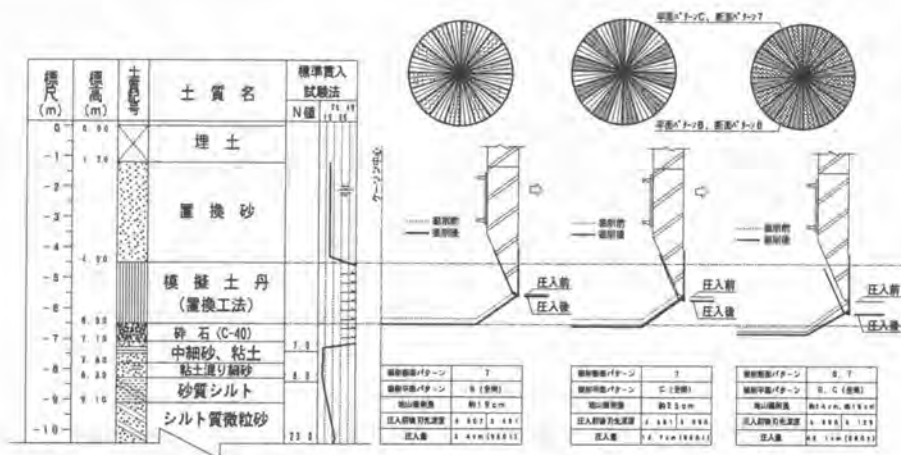


図-9 第2ロット模擬土丹層における掘削沈下進捗図

3-3. 自動沈下管理システムの適用結果

実証施工実験における自動沈下管理システムの適用結果を以下に報告する。

図-10に皿板撤去時とその直後のケーソンの挙動を示す。皿板撤去は、ケーソンの沈設において最も挙動が不安定になる作業であって、このときに精度よく沈設管理を行うことが、後の沈設作業に対して重要である。実証施工実験においては、皿板撤去中にはシステムの計測機能を用いたフィードバックを行い、撤去完了後は直ちに自動沈下管理システムを用いて圧入することで直ちに傾斜が修正され、その後は安定した沈下が行われた。

図-11は模擬土丹層における自動沈下時の姿勢制御状況を時系列的に示したものである。このときは、自動水中掘削機の掘

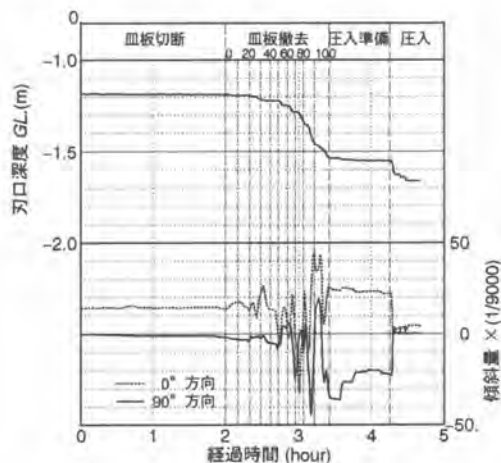


図-10 皿板撤去時のケーソンの挙動

削性能試験のための偏掘削等により、ややケーソンが傾斜した状態で圧入を開始した。圧入開始から2分後と5分後頃に大きく姿勢修正され、その後自動的に微調整を行いながら、十数分でほぼ完全に姿勢が修正された様子が測定された。

図-12、13は実証施工実験の位置・姿勢管理記録である。皿板撤去時および模擬土丹層沈設時に一時的にやや大きな傾斜を生じたが、沈設完了時には傾斜量1/5000、天端水平移動量1mmであり、従来のケーソンの実績より定められた管理基準値と比較して、極めて高精度で沈設を完了した。

図-14は、全体を通した沈下力（自重 P_w +圧入力 P_j ）と沈下抵抗（刃口反力 P_r +周面摩擦力 P_f +浮力 P_u ）の関係図である。自動水中掘削・揚土システムにより掘削断面管理精度が向上したと相まって設計値と実測値とが比較的一致して記録されている。

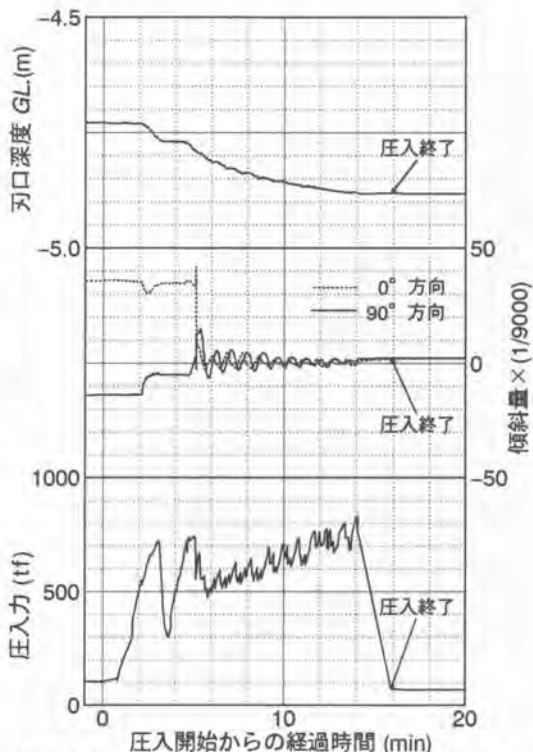


図-11 模擬土丹層沈下時のケーソンの挙動

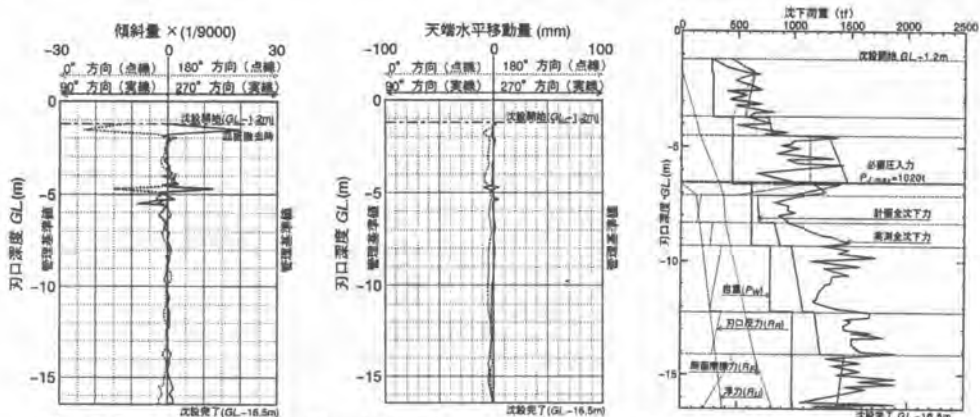


図-12 傾斜量管理図 図-13 天端水平移動量管理図 図-14 沈下関係図

『自動化オープンケーソン工法(SOCS)』は、各種地盤条件への適合性が高く、良好な作業環境のもとで高品位の大深度地下構造物を構築できる優れた施工技術であって、今回の実証施工実験で、従来のクラムシェル掘削では施工が困難と考えられていた土丹層等の硬質地盤においても、水中掘削オープンケーソンの確実に高精度な施工が可能であることが確認された。今後、実施工に向けてより実用的な機械装置へと改善を図るとともに、経済性の追求を行い、大深度地下開発の確固たる一工法と成るよう努力する所存である。