

# 51. 大型ニューマチックケーソンの掘削機械の開発

首都高速道路公団：長谷川 和夫  
建設機械化研究所：横沢 圭一郎

## 1. まえがき

近年、渡海部や航路横断部等で大規模な橋梁が建設される機会が増えており、これらの橋梁では大規模な基礎が必要になっている。また、これらの地域では軟弱層が地中深く分布し、その下に硬い支持層が現われる場合があり、このような条件下での基礎構築のための掘削は、従来の施工法では著しく困難となる。

そのため、本研究では、大深度・大規模ケーソンとして計画中の「東京港連絡橋のアンカレッジ基礎」をモデルとしてとり上げ、従来の工法を機械化することにより、厳しい制約を克服するという観点から、①新しい掘削工法の考案、②実用化の可能性のあるものについての設計・試作、③試作機による掘削実験を実施した。

この報文は、それらの結果の概要を示すものである。

## 2. 新しいケーソン掘削システムの考案

(1) 開発の必要性；東京港連絡橋のアンカレッジ基礎は、平面寸法70m×45m、高さ49.5mの超大型ニューマチックケーソンで計画されている。基礎の支持地盤はTP-38m付近から出現する土丹層(一軸圧縮強度30kgf/cm<sup>2</sup>程度の団結シルト)になるが、傾斜が厳しく、吊橋のアンカーとして約30,000tにもおよびぶ水平力がかかるため、支持層にケーソンを約8m貫入させる必要があり、高圧下において約25,000m<sup>3</sup>もの土丹層を掘削しなければならない。

しかし、これまでのケーソン工事においては土丹層の大量掘削の例はなく、専用掘削機といったものもないのが現状である。現在の土丹掘削の手段としては、ハンドブレーカ(人力施工)、小型バケットを装着した函内掘削機、函内掘削機のバケットの代わりにブレーカを装置したものなどの方法があるが、いずれの方法も能率は低い。

以上のことから、土丹層を効率良く掘削するためには、土丹掘削専用機能を備えた新しい掘削機を検討、開発する必要があると考えられた。

(2) 開発上の基本事項；新しいケーソン掘削機を開発する上での基本事項を整理すると次の7項目になる。

① 掘削機はケーソンの刃口下掘削用とそれ以外の一般部掘削用とに分けて考える。このうち、前者についてはケーソンの1回当り沈下ストローク(15~20cm)に合わせ、できる限り薄層掘削が可能ないようにする。後者についてはその制約はないので能率向上を第一に考える。

② 上記掘削機と組合せる積込み、集土、排土機械の能力を照査し、全体システムとしてバランスのとれたものとする。

③ 掘削対象岩盤は一軸圧縮強度30kgf/cm<sup>2</sup>程度の土丹とする。

④ 掘削面の深度は水面下50mとする。

⑤ 圃内での高圧下作業を極力少なくするため、カプセル内からの遠隔操作あるいは自動化を組み込んだ運転システムとする。

⑥ 各機械の遠隔操作あるいは自動運転の場合の位置検出を容易にし、かつ確実に行うため、天井レール走行型を基本に計画する。

⑦ 本工事に採用することを考えると、開発の工期が約1年程度でかなり制限を受けるので、現有機械を極力活用すること、あるいは現状の延長線上で実用化の見通しの強いものを主体に検討する。

(3) 新しいケーソン掘削システム；上記の基本事項を考慮のうえ新しいケーソン掘削システムを検討した結果、図-1に示すシステムを最適案として選択した。この場合の土丹掘削の各作業は図-2に示す各機械を使用して行われることになる。この

うち今回開発した機械の概要は次のとおりである。

### 3. 開発機械の概要

(1) 刃口下掘削用ジブカッタ(図-3, 表-1参照)

炭鉱での採炭における薄層掘削機にヒントを得てケーソン工事用向きに設計した新機種。林業で使用されるチェーンソーの大型機のようなもので、ケーソン刃口下を薄く、連続的にまた抜き掘り式に掘削できる機能を持ち、ケーソン沈下の微妙な制御にも対応できるように考えてある。機械本体はケーソン刃口内側に取付けたガイドレールを基に走行し、カッタ部は、伸縮、旋回、俯仰の各機能を適宜組合せることによって、ケーソン刃口の直線部、コーナー部ともすべての範囲の掘削ができる。運転は手動と自動が可能である。

(2) 一般部掘削用ツインヘッド(図-4, 表-2参照)；ツインヘッドは、軟岩用トンネル掘削機として多くの実績を誇るロードヘッドの技術を応用して開発されたバックホウに搭載可能な多目的に使用できる油圧式回転切削機である。明り工事では宅地造成、法面仕上げ、鉄塔基礎掘削等に使用されている。今回のニューマチックケーソンでは、土丹層を掘削するとき、従来のケーソンショベルでは掘削能力不足が懸念されるので、ショベルのバケットをツインヘッドに取替えて使用する。掘削作業はツインヘッドの回転部を必要量土丹に押し込み、ブームの伸縮あるいは旋回を利用して行う。ショベル本体は、現有機にカプセル内から遠隔操作ができる天井レール走行式の機種があるので、それを選定し、自動運転も可能なように制御装置等を付加した。

(3) その他；上記2種の掘削機と組合せる上で、後続の機械についても次の工夫をしている。①ケーソンショベルに装置するバケットは、ジブカッタあるいはツインヘッドでほぐした土丹を取扱うことになるので、通常より大き目の0.25<sup>3</sup>バケットとした。②ケーソンの平面寸法が大きいため、ずりの集土方法および排土バケットとの連携が鍵になる。そのため、移動式の間コンベアを設置し、排土バケットの帰りを待ち、溜め置きした土丹を一気に積込む方法とした。運転は排土バケットの帰りと連動させ自動運転するようにした。



図-2 土丹掘削時の使用機械



#### 4. 実用化試験の結果

前記したケーソン掘削機械を試作あるいは現有機械を一部改造し、各機械の実用化試験を実施した。試験は、本工事と同じ寸法のケーソン作業室の一部を製作し、各掘削機械で土丹と類似した模擬地盤を掘削することによって、運転制御方法の確認、掘削性能の調査、全体システムとしての機能および能力面の照査、無人運転の可能性の追及等を行ったものである。ここではその中から掘削性能の調査結果を述べる。

(1) ジブカッタの掘削性能；試験結果より下記のことが判明した。

① 最適切削速度は、走行切削および伸ばし切削とも  $1\text{ m/min}$  が妥当であり、ケーソン刃口下全域の薄層掘削が可能である。

② 自動運転により最適切削速度で掘削を行った結果、問題なく試行できる。

③ 隅角部の切削を手動運転で行い、機械の最適な動作を把握できたので、今後はカッタに俯仰機能を付加することにより、自動運転も可能である。

(2) ツインヘッドの掘削性能

① 走行、ブーム伸縮、ブーム旋回による切削試験を行った結果、旋回切削が一番能率的である。

② 旋回切削の基本動作としては、旋回と静止を組み合わせたインテング操作を行い、一往復旋回して所定の深さを切削した後に本体を移動させ同一動作を繰り返す方法が最適である。

③ 自動運転の旋回切削において、最大能力約  $1\text{ m}^3/\text{hr}$  が発揮された。このときの各動作の設定値は、切削深さ約  $25\text{ cm}$  (1回目  $15\text{ cm}$  , 2回目  $10\text{ cm}$ ) , 切込み幅  $40\text{ cm}$  , 1動作当りの旋回角度  $3$  度、静止時間  $1.5$  秒である。

④ 手動、遠隔、自動運転の各切削能力を比較すると、手動と自動運転がほぼ同じで、遠隔が若干低いという結果であった。

(3) ケーソンショベルの積込み性能

① ずりの堆積厚さを  $20\sim 40\text{ cm}$  に変化させて積込むと、ずりが厚いほど積込み能力は向上する。

②  $0.25\text{ m}^3$  バケットのバケット係数は、手動、遠隔、自動のどの操作方法でもずりの厚さ  $40\text{ cm}$  の時約  $1.0$  で最大となる。

③ 積込み能力は、手動と遠隔操作がほぼ同じで、自動運転はその約  $60\%$  の能力であった。

#### 5. あとがき

超大型ニューマチックケーソンの沈設にあたって出現する大量の土丹層を、より能率的に掘削する目的から考案された各掘削機は、上記の能力を持つことが実用化試験から確認され、これを東京港連絡橋下部工の本工事用として考えると、前掲図-2に示すシステムとしての能力はケーソン沈下量にして  $18\text{ cm/日}$  程度(21時間稼働の場合)になる。

これらの値は、実際の工事においては試験時とは掘削地盤の性状や作業環境等が異なるため若干の変動はあると思われるが、各掘削機とも土丹程度の強度(一軸圧縮強度  $30\text{ kgf/cm}^2$ )であれば十分掘削可能であり、運転の自動化についての見通しも得たことから本工事の適応性は十分あるものと確信している。今後は、より使い勝手のよい機械とするために若干の改良として本工事まで万全を期するつもりである。最後に、本研究を進める過程でご指導を戴いた各位に謝意を表わしこの報告を終る。