

23. 遊星駆動型拡底掘削機と支持方式によるオープンケーソン工法

建設省土木研究所 千田 昌平 村尾 好昭
岩瀬 真二

まえがき

これまで国内外を問わず長大橋の大型基礎の多くにケーソン工法が採用されているが、50mを越すような支持層の深い地盤に大型の基礎を構築するのに、在来工法のまま適用することは困難な場合が多い。一般にニューマチックケーソン工法は作業員の作業可能限界気圧から約40mが限度と言われている。一方、オープンケーソン工法は深さとともに増大する壁面摩擦力及び施工の確実性に問題が残る。

そこで、在来工法に比べより安全で確実かつ経済的な工法開発を目的として、ケーソン支持装置とケーソン内掘削専用の遊星駆動型拡底掘削機によるオープンケーソン工法を提案し、掘削機の試作及びそれによるケーソン沈設実験を行なった。



写真-1 $\phi 3.5$ m型掘削機

1 掘削機の構成及び作動原理

掘削機はリバース機のアタッチメントとしてドリルパイプに取付けられ、図-1に示すような遊星掘削機構になっている。作動原理は次のとおりである。

- (1) まず、在来のリバース機のロータリテーブルによりドリルパイプに回転を与える。
- (2) ドリルパイプに直結している太陽輪とセンタービットはドリルパイプと同一回転をする。
- (3) 産業機械用の高圧タイヤで構成している3組の遊星輪は、ケーソンに回転方向が拘束されている固定輪の内側を自転しながら公転し、この遊星輪と同軸に取付けられている遊星ビットも共に自転公転する。
- (4) 遊星アームは遊星輪の公転と同一回転速度に減速されて回転する。
- (5) 遊星アームには拡底カッターが取付けられて

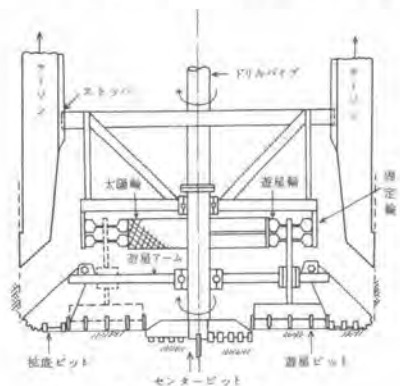


図-1 掘削機の構造

表-1 各ビットの負荷分布

項 目	センタービット	遊星ビット	拡底ビット	備 考
(1)公転1回当り 回転数 (rev)	2.6	4.4 (自転)	1	
(2)単位時間当り ビット荷重 (kg/cm)	3.4×10^3 W	6.3×10^3 W	6.3×10^3 W	※:全ビット 荷重 (kg)
(3)単位トルク (kg-m)	$0.30 \alpha W^{1.5}$	$0.35 \alpha W^{1.5}$	$3.46 \alpha W^{1.5}$	$\alpha: 0.05 \sim 0.10$
(4)公転1回当り 掘削エネルギー (kg-m)	$4.8 \alpha W^{1.5}$	$9.8 \alpha W^{1.5}$	$21.7 \alpha W^{1.5}$	全機 $36.3 \alpha W^{1.5}$

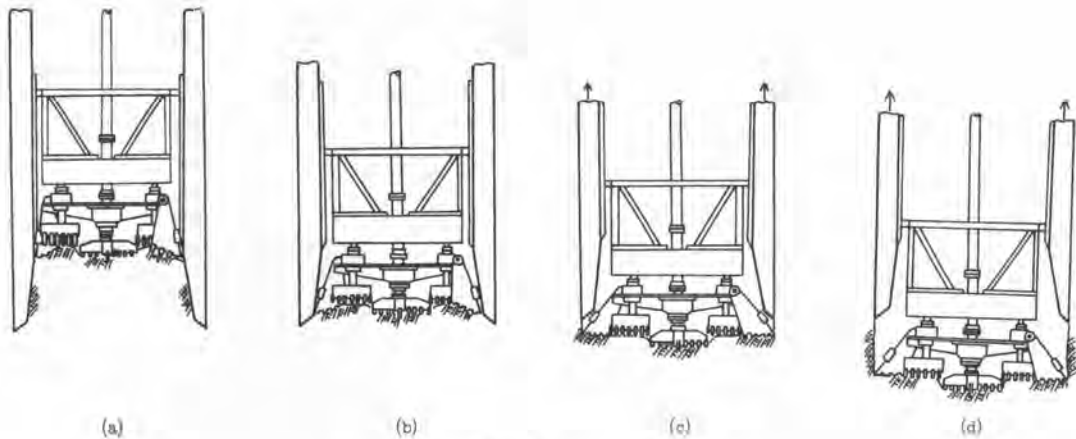


図-2 掘削順序

おり、ケーソン刃先下に達したときにイコライザ付のバネによって開くようになっている。

(6) また、遊星アームには、集土板が取付けられており、遊星アームの回転により掘削土砂がビット中央のずり吸込み口付近にかき寄せられるようになっている。

(7) 掘削土砂はリパース機同様に泥水逆循環方式により排出される。

本工法の一つの特徴は、拡底カッタでケーソン刃先下を掘削している間はケーソンが自然沈下しないように、上部の支持装置によりケーソンを保持するところにある。

すなわち、ケーソンは刃先金物から連結されるPC鋼棒によってケーソンを木口から吊り金具によって横フレームを介して保持した状態で掘削を行う。ケーソンのかさ上げ時には掘削機をケーソン内部に引き上げたのち、ケーソンを着地させて木口の吊り装置を開放し、その上に構築する。PC鋼棒はケーソンのかさ上げ毎に継ぎ足され、全体の張力が、完成時のケーソンの重量を十分支持できる容量のものにする。

施工順序を図-2によって述べる。

掘削地盤が軟かいとき、掘削開始時には図-2(a)のようにケーソンが地山にめり込んだ状態になる。この状態からでもケーソン上部を保持し、掘削機に回転を与えると拡底カッタはケーソン壁に拘束されて閉じた状態で内部を掘削し、同図(b)の状態から(c)、(d)と進む。地盤が硬い場合には(b)の状態から掘削が始まることになる。ケーソンの沈設方法には二つの方法が考えられる。すなわち、図-2(d)のように一定ストロークを掘削したのち、ケーソンを所定量下げるもの、及びロータリテーブルをケーソン上に設置し、同図(d)の相対位置を保持しながらケーソンを下げながら掘削する方法である。前者において、一定ストローク掘削後のケーソンの沈下は同図(b)又は(c)の状態までは下げないようにする。また、後者において、ケーソンの沈設速度は掘削機の負荷及び循環泥水の排出を良好に保つ状態で行なう。

2 掘削負荷分布

センタービット、遊星ビット、拵底カッタそれぞれの作動が異なり、掘削負荷も複雑に分布する。そのためいくつかの仮定のもとに各カッタに作用する掘削負荷を求め、在来型である単軸の翼型ビットと比較してみる。

まず、公転1回転すなわち拵底カッタ1回転当りを基準に考え、遊星機構を構成する各部寸法から各カッタの回転数を求めると表-1の第1項のようになる。

次に、各ビットについて図-3に示すように同一円周上にあるカッタを半径方向に集めそれらが、1回転1パスの掘削を行なうように配置してあるものとする。この場合、遊星ビットは公転1回転の間に自転4.4回転しながらドーナツ部を均等に1パスで掘削するものとする。したがって、公転1回転に対してセンタービットだけが、2.6回転することになる。このようにセンタービットと外周部の公転数が異なる場合でも、公転1回転したときの掘進量はいずれのビットも等しくならなければならないなら、静的な場合と掘削時では各カッタに分布するビット荷重は同じにはならないことになる。計算過程は省略するがビット荷重分布の結果だけを示したのが表-1の(2)項である。表の値は図-3に仮定した分布の幅1cm当りのビット荷重分布率を示したものでWはこのときの全体にかかるビット荷重である。このビット荷重分布から掘削トルクの分布率を示したのが表-1(3)項である。これは次によって求めたものである。単位幅のカッタを考える場合、図-4に示すように背分力 w_d が与えられたときの主分力 f_c を次式で表わす。

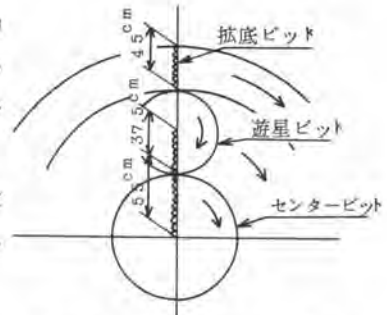


図-3 計算上のカッタの分布



図-4 カッタに作用する背分力と主分力

$$f_c = \mu W d$$

ここに、 μ は掘削抵抗に関係するもので切削摩擦係数とも呼ばれている。ここでは、一般の削孔において経験上、掘削トルク T はビット荷重 W に対して、 $T \propto W^{1.5}$ の関係にあることから、 $\mu = \alpha \sqrt{Wd}$ とおき、 α を定数として表わしたものである。

各カッタのトルクから公転1回転当りのエネルギーを求めたのが表-1の(4)項である。これを合計すると $36.3\alpha W^{1.5}$ となる。これに対して同じカッタの条件で在来型の翼型ビットで掘削するときの値を、本掘削機と回転当り掘進量を同じにする条件で求めてみると、掘削トルクは、 $7.7\alpha W^{1.5}$ となり1回転当りエネルギーは $485\alpha W^{1.5}$ となって本遊星型掘削機よりも約3割強の掘削エネルギーを多く必要とする計算になる。これまでの経験から掘削地盤の N 値が10~20のところでは定数 α は0.05~0.10の値となる。

3 沈設実験と結果

まず $\phi 2.5$ m型機を試作し、S-200リバース機を使用し、外径2.5m内径2.0mの工場製作のP0ウエルを11.2mまで沈設した。 $\phi 2.5$ m型機を $\phi 3.5$ m型(写真-1)に改造し、S-300を使用し、外径3.5m内径2.8mの現場打ちケーソンを18.0mまで沈設した。実験時にはビット回転速度、

ビット推力、掘削トルク、掘進速度を測定した。しかしながら、実験は全く初めての形式の掘削機及び工法に関するものであるため、各部作動の確認、改良点の抽出などが主になって、掘進特性を求める結果を得るに至っていない。したがってここではこれまでの実験を通して得られた本機及び工法の特徴をとりまとめている。

- (1) 遊星駆動方式であるため正常掘削状態では各ビットにかかる負荷バランスがよくスムーズな回転が得られるとともに、実験の地盤程度ではサクシヨンポンプ能力がクリティカルになるほどで、良行な状態では正味掘進速度 2.5 m/h が得られ、S300型級で径3.5 mの掘削としてはかなり高能率となっている。
- (2) ロータリテーブルをケーソン上面に設置し、ケーソンを油圧シリンダで保持する方式を行ったため、掘削とケーソンの沈設を同時に行うのに、ロータリテーブルの油圧計で制御できることが確認できた。
- (3) 本工法はプレファブのP.O.Uエルにも、現場打ちのケーソンにも適用できる。
- (4) 沈設深度10 mを越したところで、ケーソンの周面摩擦が増大したが、地盤に対するフリクションカッタの厚さや、泥水のケーソン外周への廻り込み、拡大幅の設定が要点となることが明らかになった。
- (5) 掘削の初期には掘削抵抗が不均一になることがあり、掘削機に横ぶれが起る。このことは掘削ビットのスムーズな開閉を阻害する。しかしながら、下部にガイドのある本遊星掘削型機では、ガイド構造及び掘削機構の改良により問題は容易に解決するものと考えられる。

以上のほか、ケーソン支持方式が基本である特徴から水上施工において築島を必要としないこと、施工初期の曲り矯正が容易であること、大型の特殊な機械を必要としないこと、施工時の騒音振動が小さいことなどの特徴があげられる。

写真-2はケーソン刃先下の掘削状況を示したもので掘削ビットによりケーソン外周とほぼ同一サイズの掘孔がなされていることがわかる。この場合はケーソンは上部に支持されている。

あとがき

以上は、筆者らが開発した遊星掘削機構を有するケーソン専用の掘削機と工法の概要を紹介したものである。掘削機については現在、これまでの実験によつて得られた結果をもとに改良及び補強を行い、実験機から実用機にして本工事へ適用する予定になっている。今後更に実績を積み重ね省エネルギー時代の工法にふさわしい工法となるように育てていきたいと考えている。



写真-2 刃先下掘削状況