

ジャッキによるカッタ回転駆動システムの開発

The development of cutter rotation drive system by the oil-pressure jack

角田治朗¹⁾・井上正巳¹⁾・金井和彦¹⁾・宮下政樹¹⁾・長谷川春生¹⁾

Jiro TSUNODA, Masami INOUE, Kazuhiko KANAI, Masaki MIYASHITA, Haruo HASEGAWA

In this actuation system, a flexible maneuver of oil-pressure jack is transformed to rotary motion through crank system, and cutter is rotated. Moreover, by using oil-pressure jacks, maintenance is made easy and cost can be saved. In this experiment, it established that the revolution by the oil-pressure jacks is controlled with jack stroke. Telescopic motion of two or more jacks is overlapped and it its worked efficiently.

This results came from when it had arranged that the centerline of oil-pressure jack is not overlap, revolution torque was obtained efficiently and revolution of cutter is also stabilized was obtained as a result of this experiment.

Key Words: DPLEX shield, Parallel link, Jack driving, cylinder, cost down

1. はじめに

近年、都市のインフラ整備においても、工事費の縮減が求められてきており、シールド工事でもシールドマシンやセグメントのコストダウンが課題となっている。本駆動システムは、シールドのカッタ駆動部を、従来の駆動モータとギアによる構成に代り、シンプルな油圧ジャッキによる駆動機構とすることにより、シールドの製作費低減、および製作、組み立て、解体期間を短縮し、施工費全体のコストダウンを図るものである。このジャッキ駆動システムでのカッタの動き、トルク、回転数の変動および回転制御方式の確認等を目的として実験を行ったので、その概要について報告する。

2. ジャッキ駆動システムの概要

ジャッキ駆動システムは、図-1に示すようにチャンバ背面の回転駆動部に、連結板で繋げたジャッキを複数本配置し、ジャッキの力を回転モーメントに変換するクランクおよびクランク軸からなり、各ジャッキの動作を組み合わせることで、地中掘削機の回転動力を発生させるものである。このシステムは、偏心多軸シールドや単軸型シールドにも適用

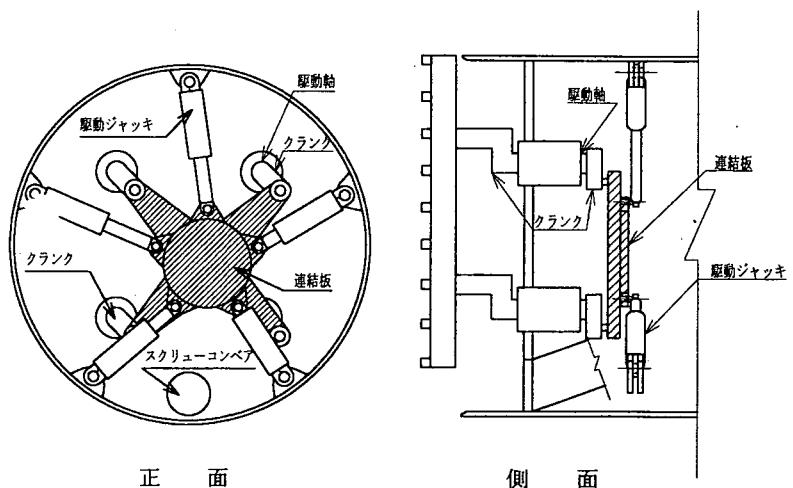


図-1 ジャッキ駆動概念図

1) 正会員 大豊建設(株) 技術本部 技術開発部

できる。

また、本システムは、ジャッキの伸縮する力をクランク機構によって直接回転力に変えること、および複数のジャッキを連結板に取り付けることで各ジャッキの運動の方向及び回転の同期制御を行う、などの特徴がある。

本システムの開発にあたっては次の課題が考えられた。

- 1) 複数のジャッキの伸縮切り替えのタイミングを制御し、スムーズで確実なカッタの回転を実現する。
- 2) 複数のジャッキの持つ推力を効率よく回転トルクに変換させ、1回転あたりのトルク変動を最小限に抑える。

これらの課題を解決するために実機を想定した開発実験を行った。

3. ジャッキ駆動システムの理論

ジャッキの伸縮運動をクランクによって回転力に変換させる機構は、以下のように考えることができる。

まず、ジャッキ1本の場合、クランクの先端が図-2に示す 0° 、 180° の位置(上死点および下死点)においては、ジャッキの力がクランクの半径方向に働くため回転トルクは0となり、逆に、ジャッキがクランクの接線方向を向く回転角では、トルクが最大となる。このように、油圧の一定な1本のジャッキによる伸縮運動によって、図-2に示す山型形状の回転トルクが発生する。

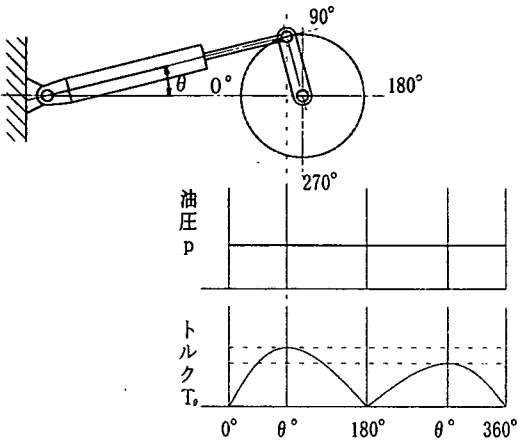


図-2 ジャッキ位置とトルク

次に、複数本のジャッキを組み合わせた場合には、

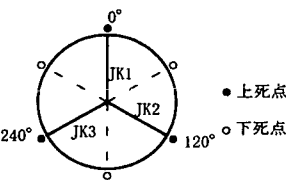


図-3 ジャッキ配置
(3本ジャッキ)

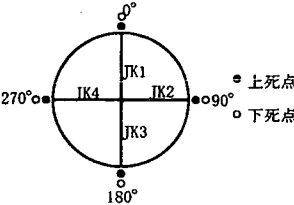


図-4 ジャッキ配置
(4本ジャッキ)

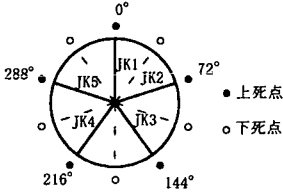


図-5 ジャッキ配置
(5本ジャッキ)

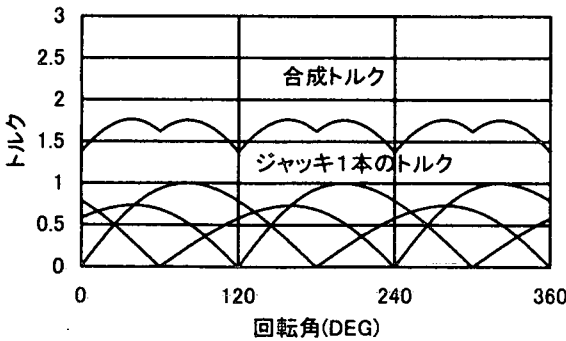


図-6 トルクー回転角関係
(ジャッキ3本)

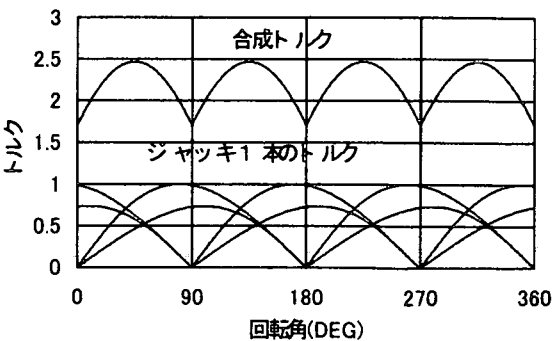


図-7 トルクー回転角関係
(ジャッキ4本)

各ジャッキの回転トルクが順次ずれて発生するため、その合成トルクは、図-6～8(ジャッキ3～5本時の回転角-トルク関係)のようになる。これらの図から、ジャッキの本数が奇数本である3、5本の方が偶数本の4本よりトルクの最大値と最小値の差を小さくできることがわかる。また、各ジャッキの死点が均等な角度になるように配置することで、より効率の良い回転トルクを発生させることが可能となる。

回転数と回転角の関係は図-9～11に示すようにトルクの波形を上下に逆転させた曲線となる。これは、図-2に示したトルクの変化とは逆に、ジャッキの伸縮量に対する回転角の変化量は、ジャッキがクランクの接線方向の場合に最小となり、クランクの半径方向に近づくに従って増加するからである。

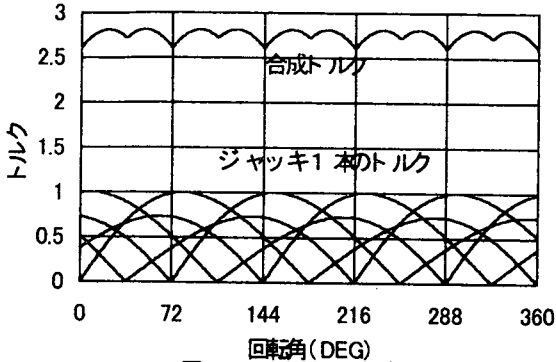


図-8 トルクー回転角関係
(ジャッキ5本)

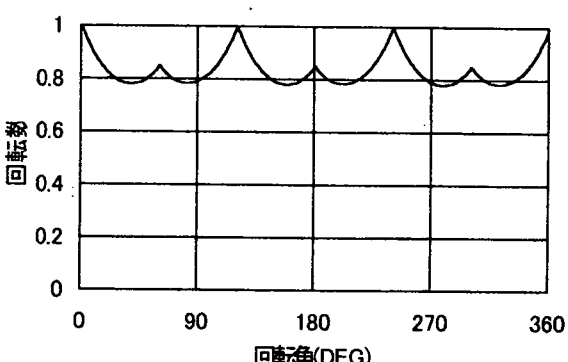


図-9 回転数ー回転角関係
(ジャッキ5本)

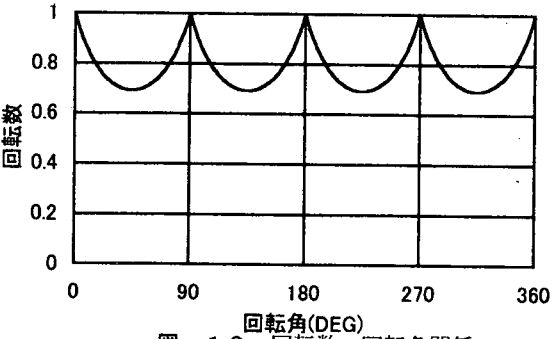


図-10 回転数ー回転角関係
(ジャッキ4本)

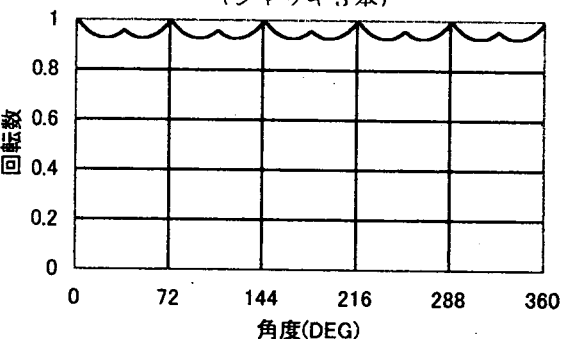


図-11 回転数ー回転角関係
(ジャッキ3本)

4. 実験概要

4.1 実験の目的

本実験は、ジャッキによるカット回転駆動システムを偏心多軸シールドの実機に用いる場合を想定し、油圧回路構成、カット回転制御方法、ジャッキ配置によるトルク、回転数の変動などの確認を目的として、行ったものである。

4.2 実験装置

(1) 実験装置の構成・仕様

実験装置を図-12および写真-1に、実験装置の仕様を表-1に示す。



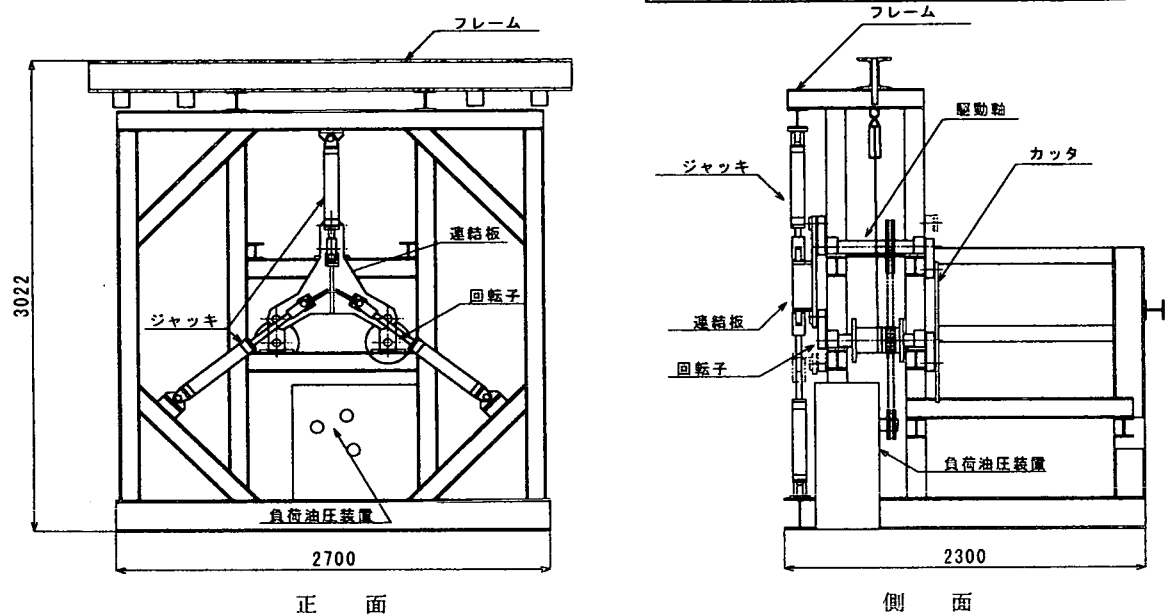
写真-1 実験装置

装置は、油圧ジャッキのシリンダ端部を固定する枠を、形鋼でほぼ正方形に形成しており、Z方向には3本の駆動軸を設けた偏心多軸型実験装置である。

また、カットトルク測定用負荷装置としては、この回転軸からチェーンを介し、連続的な負荷状態でトルク測定が可能な油圧モータを配している。さらに、モンケンをワイヤーで吊り、回転軸に取り付けたドラムで巻き上げること、で、直接トルクを計測する機構を付加している。

表—1 実験装置仕様

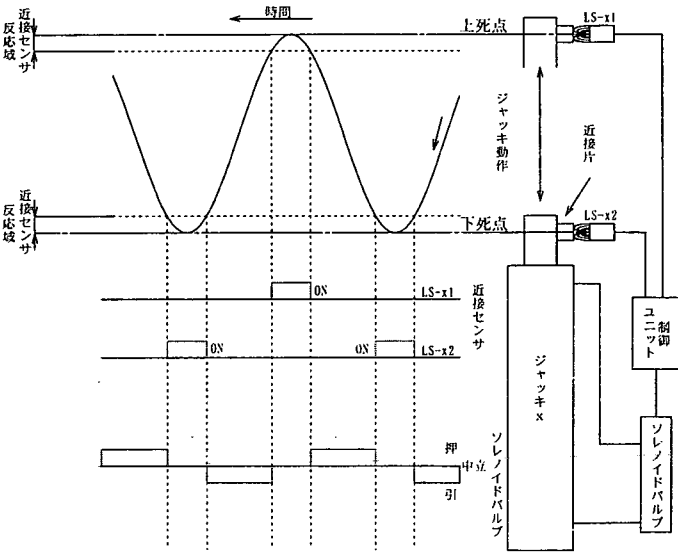
名 称		仕 様
駆 動 部	本 体	回転数(max) 6 rpm
	リンク	回転半径 150mm
	ジャッキ	$\phi 63 \times \phi 35.5 - 350\text{St}$ (0.71t~2.22t)
	油 圧 ポンプ	種 別 プランジャ
		型 式 可変容量型
		最高圧力 71.4kgf/cm ²
		押しのけ容積 36.9cm ³ /rev
電動機	出 力	3.7kW × 4P



図—1 2 実験装置図

(2) ジャッキ制御方法

ジャッキ制御の概念図を図—1 3 に示す。ジャッキの伸縮動作の切り換えは、各ジャッキの上下死点に固定された近接センサが伸縮するロッドに固定された近接片を検出して行われる。近接センサが上下死点を検出している上下死点領域では、ジャッキの油圧を開放することにより、可動部への負荷（ジャッキ推力の軸方向への分力）を発生させないようにしている。また、上下死点領域では油圧が開放されるためジャッキは自ら作動できないが、他のジャッキに押されてこの領域を抜け出すと、ジャッキの押し引きが切り換えられ、再び回転力を発生することができる。その他の制御方法として、回転軸の回転角度から各シリンダを制御する方法が考えられるが、上



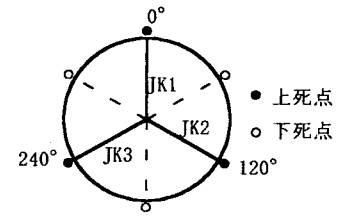
図—1 3 ジャッキ制御概念

記の制御方法に比較してより複雑な制御が必要となるため、本実験では採用していない。

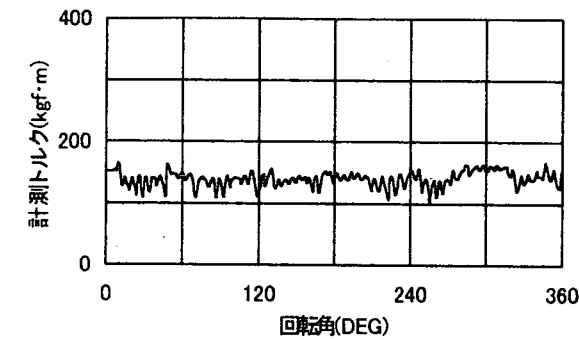
5. 実験結果

5. 1 3本ジャッキ

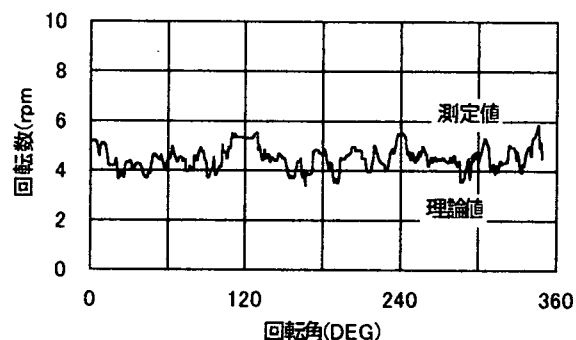
ジャッキ3本の配置図を図一14に、トルク、回転数と回転角の関係を図一15、16に示す。カットトルクは、全体を見ると安定したトルクが得られている。尚、グラフ中、細かいピッチの変動が見られるが、これはトルク測定用に設置した負荷装置の特性によるものと考えられる。回転数についても、若干の変動があるが、安定した回転が得られている。



図一14 ジャッキ配置図



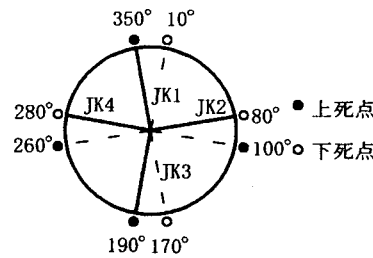
図一15 トルクー回転角関係



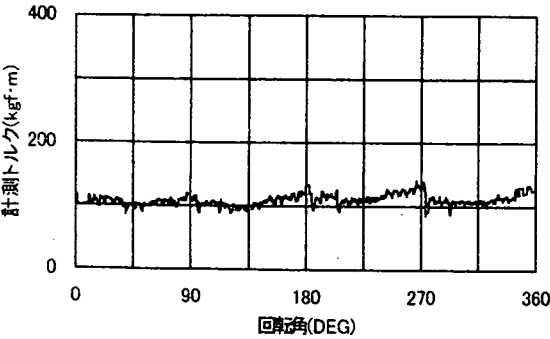
図一16 回転数ー回転角関係

5. 2 4本ジャッキ

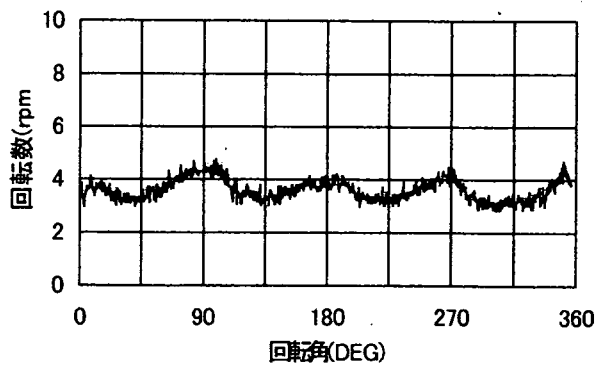
ジャッキ4本は、先の理論値の図一7に示す90度ピッチで配置すると、トルクの最大値と最小値の差が大きくなるため、それぞれのジャッキを10度ずつずらした図一17に示す配置とした。この配置でのトルク、回転数と回転角の関係を図一18、19に示す。カットトルクは、全体的に見ると安定したトルクが得られている。ジャッキの配置をずらしたことにより、トルク変動は3本ジャッキと同程度になっている。回転数についても、ほぼ同程度の安定した回転が得られている。



図一17 ジャッキ配置図



図一18 トルクー回転角関係



図一19 回転数ー回転角関係

6. 考察

(1) カッタトルク

図－6、7に示す3本、4本ジャッキのトルクの理論値に比べ、図－15および図－18に示す計測トルクは変動が少なくほぼ一定の値を示している。この理由として、負荷に応じて油圧が変化し、ほぼ一定のカッタトルクになったと考えられる。従って、本システムで安定したカッタトルクを得られることが確認できた。

(2) カッタ回転数

図－16に示した3本ジャッキにおいては、変動が大きい、回転数のピークの位置は図－9に示した理論の曲線と同様に、上死点となる 0° 、 120° 、 240° 近辺にある。図－19に示す4本ジャッキのカッタ回転数は、 $3\text{rpm} \sim 4.5\text{rpm}$ の範囲にあり、ピークは、3本ジャッキと同様に、ジャッキの上下死点となる回転角とほぼ一致している。また、最小回転数は最大回転数の約70%であり、理論の値に近い値となっている。従って、カッタ回転数はほぼ理論通りの変化をしていることが確認できた。

また、回転数の変動幅は、 1.5rpm 程度であり、この程度の変化であれば実機に適用しても問題ないと考えられる。

(3) 制御方式

本実験では、複数ジャッキの押引きの切り換えをストロークで制御する方式を採用した。この方式によれば、ジャッキの本数や配置によって制御システムを変える必要がなく、ジャッキの上下死点をセンサーで検出し、ソレノイドバルブを切り換えることで回転制御が可能であることを確認できた。

また、この方式は目視で制御の状態を確認できると共に、メンテナンスも容易であり、実機への適用に当たっても有効と考えられる。

7. まとめ

以上の結果より、本ジャッキ駆動システムは簡易な制御により安定したカッタトルクと回転を得られることが確認できた。今後は、本システムを用いた実機のケーススタディを行う中で、さらに合理的で経済的なシステムを確立すべく開発を進めていく所存である。