

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正会員 小林 英夫
住友精密工業株式会社 安東 義郎

1 まえがき

電カ公社では小断面シールド掘削機(内径1000~1200mm ϕ)の遠隔自動制御化の研究を進めている。小断面シールド掘削機は掘削機本体、操作機構で構成されている。掘削機本体は回転カッタ、土砂搬出装置、排土用ベルトコンベア、姿勢角検出装置等を搭載している。操作機構は掘削機本体に組込まれていて、スキンプレーートの内側に周囲上に配列された4本のシールドジャッキにより掘削機の推進および方向修正動作を行なう。本稿は方向修正用操作機構シリンダとして新たにリレー制御フィードバック形サーボシリンダを試作、実験し、所期の性能が得られたので報告するものである。(なお本サーボシリンダを以後サーボジャッキと呼ぶことにする)

2 方向修正制御システムの構成

小断面シールド掘削機の方向修正制御システムの構成を図1に示す。掘削機の推進および方向修正は所定の計画線と姿勢角、位置計測値から算出された掘削線との偏差が零となるような操作量を操作機構の油圧シリンダに与えて行なう。したがって掘削機の遠隔自動制御化を図るためには油圧シリンダは外部から運動を制御できる形式が必要になり、サーボシリンダを使用することが望まれる。従来のバルブ・ピストン系位置制御サーボシリンダはメカカル・フィードバック方式、油圧・フィードバック方式、エレクトリカル・フィードバック方式等が実用に供せられている。しかし小断面シールド機が内部に多種類の装置を搭載する場合、これらの各方式はピストン変位検出部がシリンダ外部に設置してあるためスペースの有効使用上問題になる。一方、本サーボジャッキはピストン変位検出部をシリンダ内に収納することにより、シリンダ全体を小形化するという観点から研究、開発したエレクトリカル・フィードバック方式のものである。

3 操作機構のサーボジャッキ

本サーボジャッキはシリンダ・ピストン、電磁弁、ピストン変位検出器、サーボジャッキ制御装置で構成されており、システムの構成を図2に示す。ピストンの変位はピストンロッド内に収納した円筒形コンデンサで計測して、機械的な変位を電気信号で検出している。制御方式はリレー制御によるオン・オフ制御である。サーボジャッキ制御装置に入力信号が入ると電磁弁がオンになり、ピストンは運動を開始する。ピストンの変位はキャパシタンス変位検出器で測定されフィードバック信号になる。偏差が電気回路的に構成された位置リレー

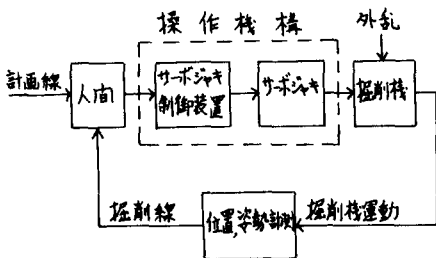


図1. 小断面シールド機方向修正制御システム

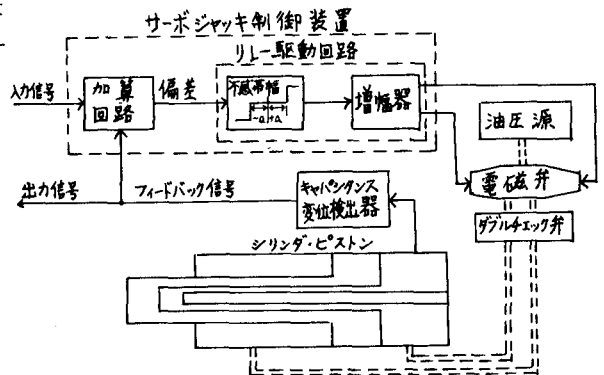


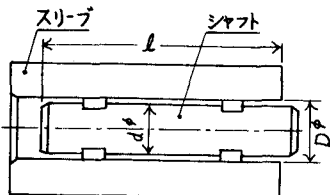
図2. サーボジャッキシステム構成図

の不感帯幅より小さくなると電磁弁がオフになり、ピストンは運動を停止する。サーボジャッキ制御装置は4本のサーボジャッキに所定のストロークを設定し、各ジャッキを駆動することによって、掘削機の方角修正を行なうことができる。

(1) キャパシタンス変位検出器 コンデンサの構造を図3に示す。電極は同心円筒のスリーブと丸棒のシャフトで構成され、スリーブとシャフトの間はクリヤランスを一定にたもつようにしてある。スリーブの内径を D 、シャフトの外径を d 、対向電極長を l 、真空誘電率を ϵ_0 、誘電体(油圧作動油)の比誘電率を ϵ_r とするとコンデンサの静電容量 C は

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r l / \log(D/d) \quad \text{----- (1)}$$

となり ϵ_r を一定とすれば C は l に比例する。式(1)の原理を応用して静電容量を電圧に変換するキャパシタンス変位検出器を試作した。この検出器は作動油の圧力、温度変化に対する出力の補償がしてあり、図4に圧力補償性能を示す。



(2) サーボジャッキの制御偏差の測定実験 位置制御偏差を式(2)に定義する。図3. 円筒形コンデンサの構造
制御偏差 = $\{(\text{入力信号} - \text{出力信号}) / \text{全ストローク}\} \times 100(\%)$ ----- (2)

式(2)より制御精度は制御偏差が小さいほど優れていることにする。つぎに本サーボジャッキの仕様を示すと作動油圧 350kg/cm^2 、ストローク 300mm 、負荷 30ton で不感帯幅の設定値は全ストロークに対する百分率であらわす。制御偏差は油圧、ピストンスピード、ストローク、不感帯幅に依存すると考えられるので各要因の効果を定量的に明らかにするために以下の実験を行なった。実験には当研究所で製作したサーボシリンダ負荷試験装置(試験範囲ストローク $0\sim 900\text{mm}$ 、負荷 $0\sim 90\text{ton}$)を使用してサーボジャッキに実負荷を与え、負荷の測定にはロードセル($0\sim 80\text{ton}$)を使用した。実験はストローク $140, 280\text{mm}$ 、ピストンスピード $1, 10\text{mm/sec}$ 、不感帯幅 $0.5, 1\%$ の各2水準とり、圧力(負荷)を 350kg/cm^2 ($1, 15, 30\text{ton}$)、 210kg/cm^2 (15ton)として制御偏差の測定を行なった。

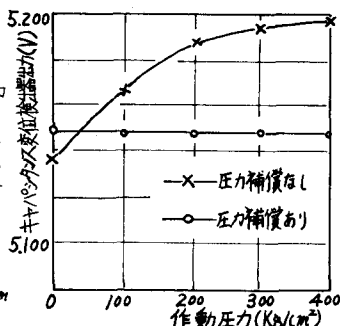


図4. 変位検出器の圧力補償性能

(3) 実験結果の考察 実験結果を分散分析した結果、各要因間の交互作用は有意差がなかった。要因のうち有意差があったのは不感帯幅とピストンスピードであった。これらの主効果を図5(a), (b)に示す。図5より明らかなように不感帯幅を小さくすると制御偏差が小さくなり、制御精度を向上するためには不感帯幅が重要な要素となることがわかった。ピストンスピードについてはスピードが遅いと制御偏差が大きくなっている。これはスピードが遅いと作動油やピストンの慣性が小さく、不感帯に入ると同時にピストンが運動を停止するためと考えられる。それゆえ電磁弁とシリンダの間に設置してあるダブルチェック弁(図2)にわずかなリークがあるとピストンが不感帯をはずれタタリングを起す原因になるのでダブルチェック弁のリークを極力少なくする必要がある。

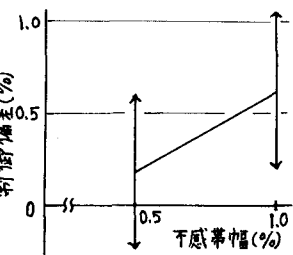


図5(a). 不感帯幅と制御偏差

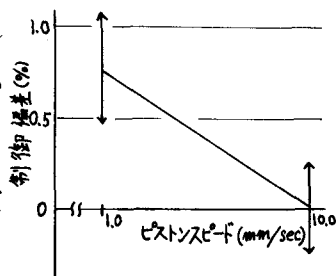


図5(b). ピストンスピードと制御偏差

5 まとめ

本サーボジャッキの要求制御偏差は厳密には掘削機システムの誤差解析で求める必要がある。しかし実験結果より制御偏差は $\pm 0.5\%$ 程度に押えられることがわかった。本サーボジャッキは電磁弁を使用した制御方式を採用しているのでコストも安価で掘削機用サーボシリンダとして実用できる可能性がある。