

京都大学工学部 学生会員 〇野崎俊介
京都大学工学部 正会員 足立紀尚、 建山和由

1.はじめに

近年、シールド掘進機を用いたトンネル施工が増加し、その効率化・省力化を図るためシールド掘進機の自動掘進制御システムの開発が望まれている。このシステムの実現を目指し、機体周辺の地盤条件を考慮した掘進管理システムの開発を試みた。具体的には、シールド掘進機と地盤の相互作用を考えることで、最適推進モーメントを与えるプログラムを作成した。

2.推進モーメント決定の概要

推進モーメントは、図1に示すように地盤と機体の相対変位から機体に作用する土圧を求め、摩擦力も考慮して、力、モーメントの釣り合いから決定される。これを微小掘進（セグメント幅の1/10）ごとに繰り返すことによって、設計軌道の掘進に最適な推進ジャッキのパターンを定める。

機体に作用する力としては図2に示すように、切羽前面土圧、側方土圧、摩擦力、推進力を考慮し、推進力とその作用位置（推進モーメント）は他の作用力を解明することによって求めた（後述）。

本研究では、機体に作用する土圧が図3に示すように地盤と機体の相対変位に比例すると仮定し、この関係を表すパラメーターとして、周辺地盤の地盤反力係数を用いた。また、機体の運動としては簡単のためローリング・ピッチングが発生しないものとし、機体は常に設計軌道上にあるとして与えるべき推進モーメントを求めた。

3.シールド掘進機に作用する力

○切羽前面土圧

シールド掘進機は前面で掘削土砂を取り込みながら掘進しているので、前面中心には静止土圧が作用するものと仮定する。また、旋回外側、内側に生じる受働、主働領域には、微小掘進によって生じる変位に比例した土圧が作用するものとする。

○側方土圧

側方土圧を算定する際に用いる地盤と機体の相対変位としては、機体の掘進によって生じた、地盤が現在の位置に至るまでの総変位量を用いる。この総変位量は以前の微小掘進に伴う側方変位を加算して

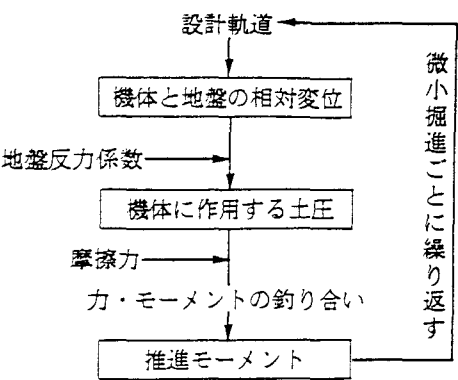


図1 推進モーメント決定の流れ

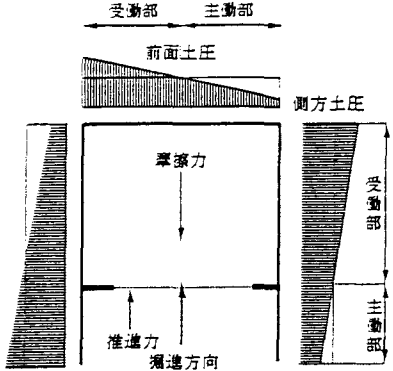


図2 右側に旋回した時の土圧分布の一例

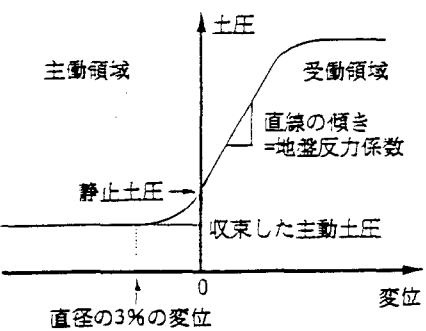


図3 土圧－変位関係

求める。その結果得られる側方土圧分布は図4のようになる。一定曲率を持つ曲線軌道では、シールド掘進機の全長よりも長い距離を掘進すれば、側方変位は同じ状態が保たれるので、側方土圧分布も変化しなくなる。

○摩擦力

摩擦力は掘進方向だけに作用すると仮定し、鉛直力として土被り圧と側方土圧を考え、摩擦係数を導入して定める。

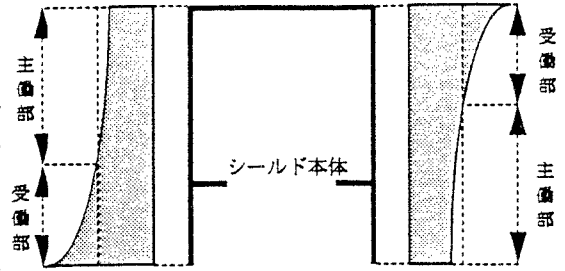


図4 右側に旋回した時の側方土圧分布

以上のような作用力を機体が設計軌道上を微小掘進することに算定し、その微小掘進に必要な推進モーメントを決定する。これを繰り返すことによって、設計軌道を掘進するための推進ジャッキパターンを設計軌道、地盤条件、シールド掘進機諸元から求めることが出来る。

4. 推進モーメントの一例と考察

シールド掘進機に作用する土圧を考慮して、設計軌道の掘進に最適な推進モーメントを求めた結果、図5に示すような結果が得られた。ただし次のような条件下得られた結果である。

○シールド諸元

全長：4.8(m)、直径：2.7(m)、重量：5.2(tf)

○地盤・施工条件

土被り：10(m)

土の単位体積重量：1.8(tf/m³)

摩擦係数：0.3

回転半径：300(m)

地盤反力係数：1500、2000、2500、3000(tf/m³)

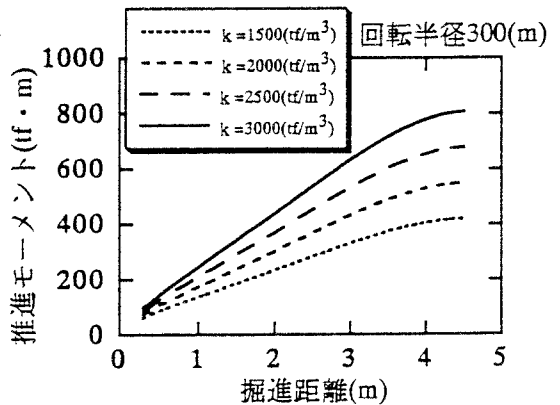


図5 推進モーメントの変化

この結果から、周辺地盤の地盤反力係数の値が増加すれば、旋回に必要な推進モーメントも増加することが分かる。また、掘進開始後、最適推進モーメントは徐々に増加し、やがて一定値に近づくと考えられる。

5. 結論

本研究では、シールド掘進機に作用する力を理論的に説明することで、力、モーメントの釣り合いから機体に与えるべき推進モーメントを決定するプログラムを作成した。このプログラムから得られる推進モーメントは上記の通りである。この手法の妥当性は検証できておらず、今後、数値計算ならびに実験等で検討する予定である。なお、より正確な地盤特性を考慮した自動掘進システムの開発には、次の課題を解決する必要があると思われる。

まず、推進モーメントの値を左右する側方土圧を正確に知るために、シールド掘進機のような円筒体が地盤内で側方に変位した場合の土圧-変位関係を説明する必要がある。次に、本報告では触れていないが、推進力の値は機体周面に作用する摩擦力に大きく影響を受けているため、地盤と機体外周面の摩擦係数を正確に把握する必要がある。また、本研究では考慮していない水圧や粘着力の影響について検討していく必要がある。

<参考文献> 建山和由・西岳茂・風間慶三：シールド掘進機の方角制御ロボット、日本ロボット学会誌、第12巻第7号、pp10-14、1994.