

III-43 シールド掘削機の旋回抵抗力に関する検討

三菱重工業㈱ 正員 大石 善啓
同 上 辻 吉太郎

1. まえがき

シールド機が旋回する際に周辺地盤から受ける諸作用力を解明することは、シールド機方向制御の自動化、効果的な旋回補助装置の開発を行なう上で、是非とも解決せねばならない技術課題である。本研究では、まずシールド機体に作用する旋回抵抗を机上検討し、運動方程式を導びいた。次に模型実験を行なって、シールド機体に作用する土圧分布を実測し、旋回運動理論の検証を行なった。この結果、土質条件、機体諸元をパラメータとするシールド機ステアリングシミュレーション法のアルゴリズムを確立した。

2. 力学モデルの検討

図-1に示すように、シールド機を直径 D 、全長 L の円筒体とし、機体に固定された三次元座標系 $(x-y-z)$ を考える。原点 $O_i (X_i, Y_i, Z_i)$ の位置はシールド機の中心軸と推進力 F の作用断面との交点とする。推進力は $x-y$ 平面上でのみ作用し、偏心量を m とする集中荷重とする。なお、ピッチング、ローリングは生じないものとする。絶対座標 $X-Y$ 系上の位置 $O_i (X_i, Y_i)$ にあったシールド機が偏心推力 F_i を得て、旋回中心 C_{i-1} 、旋回半径 R_{i-1} の旋回運動を行ない、 $O_{i+1} (X_{i+1}, Y_{i+1})$ に至った場合を考える。機体表面上の任意の位置の変位量は、 $x_{i-1}-y_{i-1}$ 座標系から x_i-y_i 座標系への一次変換により定まり、旋回半径 R_{i-1} などを用いた一次式で表現される。次に、シールド機旋回時に機体に作用する旋回抵抗力を下記のとおりに考える。

- ① 側方土圧：シールド機体各位置における側方変位量 S_y によって一義的に定まり、その関数形は土質条件をパラメータとして与えられる。
- ② 前面土圧：切羽管理土圧で一定とし一様に分布する。
- ③ 摩擦力：Coulomb 則に従い、摩擦力 $\sim$ すべり変位の関係は土質条件によって定まる。

以上の仮定の下、図-1に示す座標系における x 方向力、 y 方向力、ヨーイングモーメントの各約合式を導びき、これを支配方程式とする二次元旋回問題を解く。

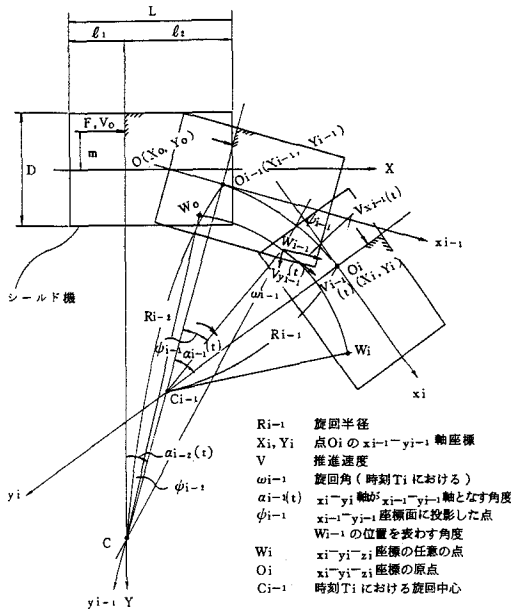


図-1 運動モデル

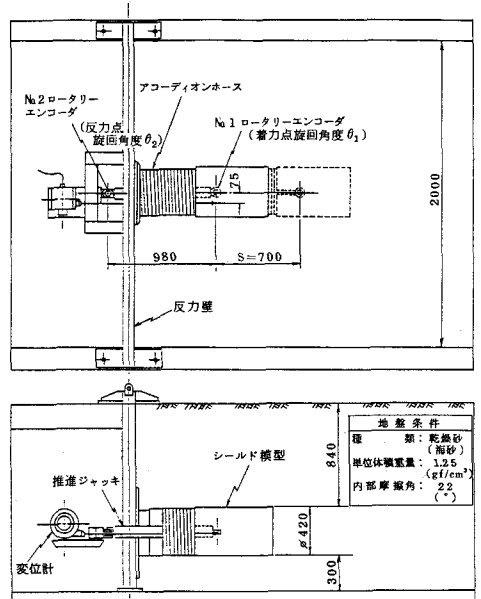


図-2 実験装置

3. 実験的検討

実験は図-2に示すとおり、乾燥砂地盤に直径 $D=42\text{cm}$ 、全長 $L=63\text{cm}$ のシールド模型を設置し、これに偏心推力を与えて水平面内の旋回挙動を模擬した。推力は、先端より $2/3L$ 後方の着力点に油圧ジャッキにより与え、油圧ジャッキの両端部はそれぞれ水平面内で回転するピン構造となっている。なお、掘進中は前面土圧が一定となるようにスクリュコンベアの回転数を調整して土砂を取り込んだ。シールド模型への作用力のうち、推進力は推進ジャッキの油圧力を計測し、機体に作用する地盤反力分布は外表面に設置した16ケの小型壁面土圧計で、前面土圧は3ケの同土圧計でそれぞれ計測した。

図-3にシールド模型の旋回軌跡例を示す。旋回半径 R は $R=8.6D$ である。図-4に側方土圧分布の変化状況を、図-5に側方変位置と作用土圧の関係例を示す。実験により得られた知見は以下のとおりである。

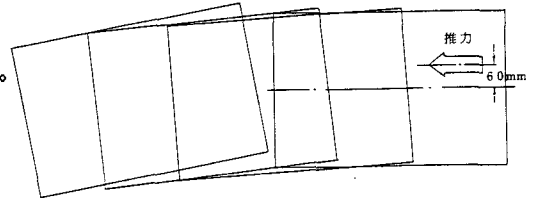


図-3 旋回軌跡

(1) 図-4に明らかなとおり、機体静止時に作用する土圧は計算より求めた静止土圧によく一致している。旋回角度 θ_1 が増加するにつれて地山側に変位する旋回内側前部及び旋回外側テール部の土圧が大きくなる。

また、主働土圧域であるその対偶部では、旋回外側前部では主働土圧値に一致しているが内側テール部ではほとんど土圧が作用していない。

(2) 側方変位置 S_y と作用土圧 P_y との関係は、図-5のとおりに指数関数式で近似でき、パラメータ α 、 β 、 γ 、 κ は地盤条件によって定まる。なお、機体表面の摩擦力と変位置 S_x の間にも地盤

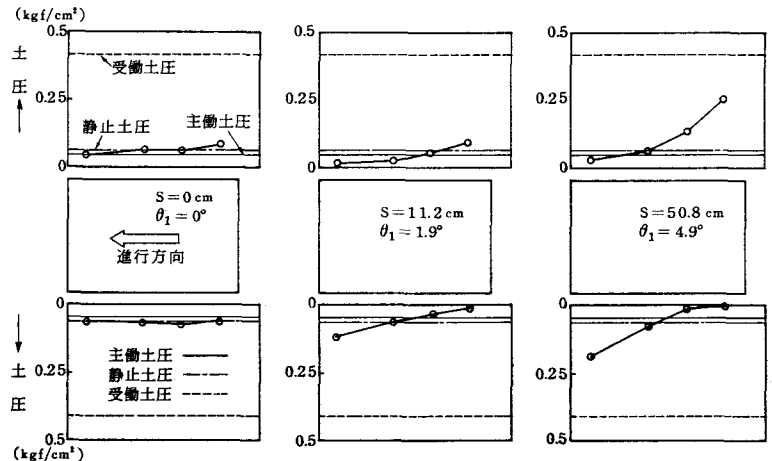


図-4 側方土圧分布

条件により定まる特徴的な関係があることを確認した。

(3) 以上から、機体各位置における機体前進量、側方変位置を幾何学的に求め、各変位置と作用抵抗力の関係式からシールド機の旋回運動を解析的に検討し得る見通しが得られた。

4. あとがき

以上の結果に基づいて、現在ジャッキ推力の発生パターンの選定や旋回補助装置の機構、作動時期などの検討が可能なシールド機のステアリングシミュレーションプログラムを開発中であり、今後シールド機の自動方向制御などに反映させていく予定である。

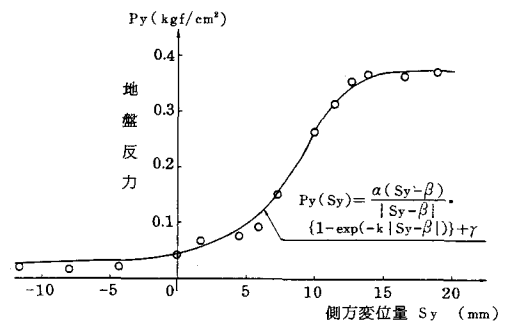


図-5 側方変位置と S_y と地盤反力 P_y との関係