

III-B 142

シールドの運動特性の推定

日立造船㈱ 正会員 清水 賀之

1. はじめに

近年、マルチフェイスシールドをはじめとしてシールド掘進機は多種・多様化し、用途に応じた適切な機械が使用されるようになってきている。これら種々のシールドの掘進中の運動を大まかに推定できる手法があれば、線形保持のための運転制御において非常に有用な情報となることは言うまでもない。また、シールドを自動運転するための位置・姿勢制御においても、各々のシールドの運動特性（掘進距離に対する動特性）を事前に把握することができれば、制御システム内のパラメータを最適に決めることが可能となる。

本研究は、シールドの地盤中での挙動を推定する1手法を提案するものである。著者らは以前¹⁾²⁾、模型実験ならびに実機分析から、シールドの地盤中での運動を位置変化運動と角度変化運動に分け、そのメカニズムについて検討を行った。本研究では、シールドの運動特性の推定のうち、まず角度変化特性に着目し、数値解析による検討を行ったので、その検討結果を報告する。

2. シールドの地盤中での運動

シールドの地盤中での運動は、位置と姿勢（角度）の変化運動として以下のように考えられる³⁾。

(a) シールドジャッキにより旋回モーメントを与えたときに、シールド外周部に地盤反力が発生し、シールドジャッキによるモーメントと釣り合うまで角度変化する過程。

(b) この状態でシールドが前進する過程。

(c) シールド外周前面が地盤と接触しているような初期状態となり、シールド外周部の地盤の応力が、推進用油圧シリンダと掘削面盤で発生する旋回モーメントに釣り合わなくなり、更に角度変化する過程。

この前進 (b) と角度変化 (c) を繰り返すことにより、シールドの位置と角度が変化していく。シールドの角度変化運動を、式 (1) で示す運動モデルで近似した³⁾。

$$\frac{d\theta_i}{dz} = K_{i11}M_{ji} + K_{i12} \dots \dots \dots (1)$$

式 (1) 中の運動モデルの係数 K_{i11} ($i=y$:ヨーイング方向, p :ピッチング方向) は、シールドの旋回性能をあらわし、機械の大きさや地盤の特性等に影響される³⁾。

3. 解析

図1に、解析モデル（2次元FEM）および解析手法を示す。シールドの旋回性能の検討では、従来から、地盤定数として地盤反力係数を用いた地盤の弾性的な応答を主に着目して検討が行われている。そこで、本研究においても変形係数を用いた弾性モデルで計算を行った。また今回の解析では、シールドジャッキにより偏荷重（旋回モーメント）を作用させたときのシールドの挙動（角度変化）を主に検討した。そのため地盤の土圧分布あるいはシールドの自重等は考慮していない。また、掘削面盤部分で発生する抵抗モーメントは小さいと考えられるので、シールド前方には地盤要素を配置せず、前面（面盤）に圧縮のみ作用する柔らかいバネを配置した。

解析は、上述したシールドの位置と角度変化の過程を以下に示すように模擬した。

(a) シールド要素に旋回モーメントを発生させ、シールドおよび地盤要素の初期応力状態を作る。

(b) シールドの進行を模擬するために、シールド要素を前進させる代わりに地盤の要素を後ろにずらし、シールド外周部の地盤の応力状態を移動させる。

(c) 移動させた応力状態を次の解析での初期応力状態とし、シールド要素に旋回モーメントを発生させる。

シールドの角度変化運動が定常状態となるまで (b) と (c) を繰り返す。なお、解析条件は、単円形シールド模型実験¹⁾と実機を対象とした。

図2は、進行方向に対し垂直方向の地盤の応力分布の変化を示したものである。右回りの旋回モーメントを発生

させているため、進行方向に対し右側（旋回内側）前部および左側（旋回外側）後部の地盤の応力が大きく変化している。とくに旋回内側の応力分布は、進行開始時の地盤の応力状態が後方へ移動している。また、地盤の応力状態の移動とともに、さらにシールド前部の地盤に圧縮応力（受働土圧）が発生するため、定常状態（1ないし2機長進行後）での地盤の応力分布は全体的に広く均一となっている。

図3は、シールドの進行に伴う角度の変化ならびに角度変化特性を表す運動モデルの係数 K_{11} の変化を示したものである。解析の1ステップ毎に、移動した地盤の応力変化により発生する不釣り合いモーメントに対応した角度変化が起こる。ほぼ1機長進むと、角度変化と運動モデルの係数はほぼ一定となる。なお解析結果は、実験結果より小さい（角度変化しにくい）傾向となる。

4. まとめ

シールドの角度変化特性に影響を及ぼす機械の形状等の効果について検討するために、シールドの角度変化特性を推定しうる数値解析手法を提案し、計算結果を実験結果および実機分析結果と比較した。その結果、本解析手法では、実験あるいは実機分析結果とくらべ姿勢変化しにくい傾向となった。これは、実際には面盤の掘削により外周部地盤の変形係数が小さくなっているのがその主な原因と考えられる。また、解析モデルが地盤を弾性的に扱っていることも異なる理由の一つと考えられる。今後、地盤特性や解析モデル等の改良を加え、精度のよい推定手法としていくとともに、掘進中に地盤特性が変化した場合や、運転条件を変えた場合（例えば余掘りした場合）など過渡的な運動特性、さらにはマルチフェイスシールド等種々の形状のシールドの運動特性の検討に適用していきたいと考えている。

謝 辞：本研究を遂行するにあたり、貴重なご助言をいただいた当社技術推進室 鈴木基光氏、ならびに多くのご助力をいただいた当社情報システム室 山里久仁彦氏、古川賢市氏および井口昌良氏に謹んでお礼申し上げる。

参考文献：1) 清水，鈴木：単円形シールド掘進機の運動特性に関する研究，機論C 1，Vol.58，No.550，pp.155-161，1992年。2) 清水，西田：シールド掘進機の土中での運動特性，土論，No.535/III-34，pp.103-114，1996年。

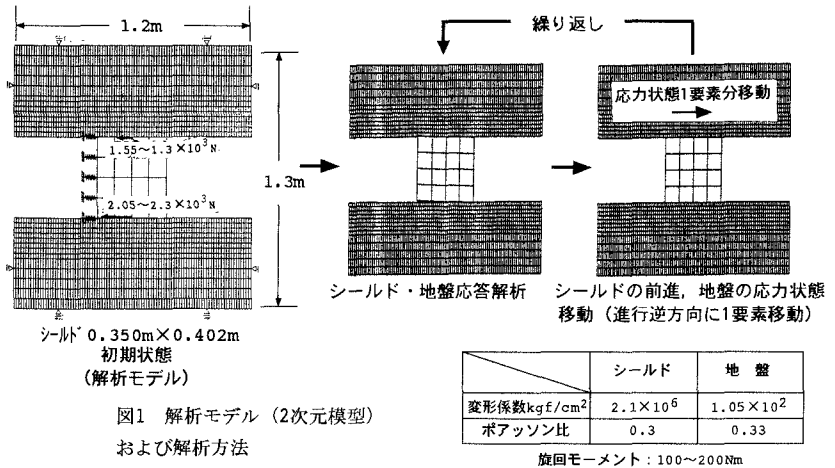


図1 解析モデル（2次元模型）および解析方法

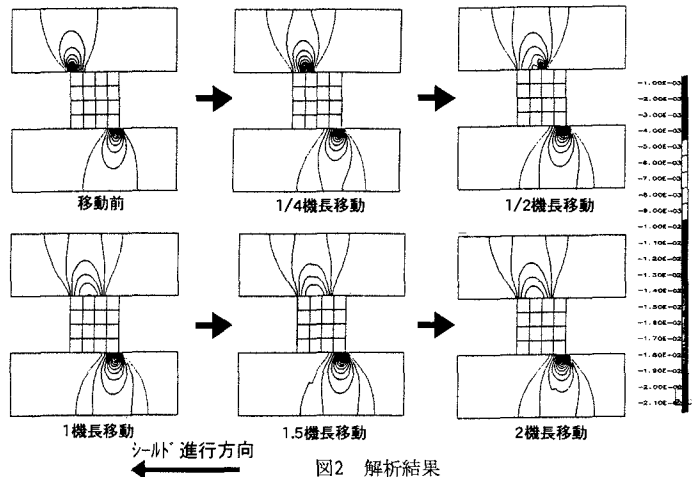


図2 解析結果

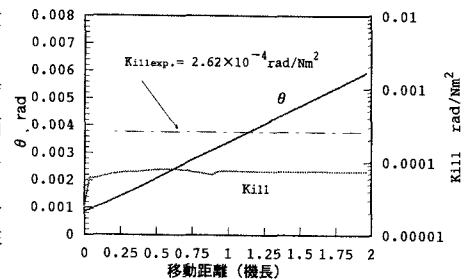


図3 解析結果