

西松建設 正会員 吉野 修
 千葉工業大学 正会員 小宮一仁
 早稲田大学 正会員 赤木寛一

1. まえがき

シールドトンネル工事における地盤変状の発生には、シールド機の姿勢の変化、シールド機周面と地盤との間の摩擦、そして切羽におけるカッター切削や掘削地盤の取り込み状況といった、シールド機のオペレーションに関係した要因によるところが大きい。

従来、シールド機の姿勢の変化や周面摩擦の影響は様々な研究によって考慮されてきたが、施工状況によって経時的に変化するカッター切削や取り込み状況の変化が地盤変状に及ぼす影響の合理的な評価法は確立されていない。

本研究は、シールド工事の施工過程を考慮可能なFEM解析⁽¹⁾を用いてシールド機の制御やそれによって生じる土圧の変化を考慮し、切羽における地盤の切削や取り込み状況の評価法について基礎的な考察を行ったものである。解析対象は砂地盤における大型模型実験とし、実験結果と解析結果との比較のための準備として、排土率による土圧の変化やシールド機の推進力について検討した。

2. 掘削要素

本解析では、シールド機前面切羽部分にカッター切削によって地盤が攪乱された領域を想定した掘削要素を配置する。掘削要素はシールド機の推進力と地盤の土圧によって変形し、これと要素のリメッシングを組み合わせることによって、シールド機が掘削地山を取り込みながら推進する状況をモデル化する。既往の研究⁽²⁾で土圧による掘削要素の変形を考慮しない場合のシールド機推進力と掘削要素の剛性をパラメータとした取り込み土量の検討を行ったが、シールド機切羽における取り込み状況をより実際の施工に近づけ現場での排土率を解析によって評価できるようにするため、本報では新たに土圧による掘削要素の変形も考慮に入れた。

シールド機の掘進に伴うシールド機の切羽掘削のモデル化の概要を図2-1に示す。掘削要素は、シールド機要素の前方に配置した地盤要素に比べて剛性を低めに設定し、変形し易くしている。ある時刻 t において図の状態にあるシールド機要素の後方にジャッキ推力に相当する推進力を作用させると、シールド機要素は掘削要素を押し変形させ、地盤の土圧との大きさの大小によるが土圧が大きい場合は掘削要素のみが変形することになり周辺の地盤に対して沈下などの影響が現れる。一方、土圧が小さい場合はシールド機要素が掘削要素だけではなく地盤要素まで押すことになるので地盤に対して隆起などの影響が現れる。したがって、シールド工事のシミュレーションを行なうためには土圧と推進力をバランスさせながら掘進しなければならないことになる。

また、シールド機の掘進により地山を掘削した量を評価するために排土量を考える。実際のシールド工事ではシールド機が掘削した土量を計測して排土量としているが、本解析ではシールド機の掘進による掘削要素の変形量と地盤の土圧による掘削要素の変形量の合計を排土量とし、シールド機が地盤を掘削した量に対する比を排土率とし、式で表すと以下のようなになる。

$$\text{排土率} = \frac{\text{掘削要素の変形量 (シールド機の推進力+土圧)}}{\text{シールド機の掘進量}} = \frac{dL}{dx}$$

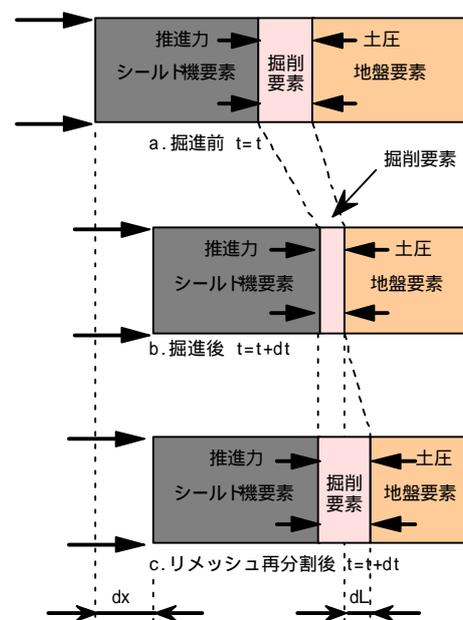


図2-1 掘削要素に考え方

3. シールド機の掘進と排土量の関係

掘削要素のパラメータの検討を行なうために、砂地盤における大型模型実験を対象として解析を行なった。本報では掘削を容易にするために掘進速度 1.0cm/min（一定）の結果について考察する。また解析に用いた入力パラメータを表3-1に示す。

図3-1にそれぞれ掘削要素の幅Dについて地盤要素の剛性に対する掘削要素の剛性比（以下剛性比）と排土率の関係を示す。剛性比が大きいく、すなわち掘削要素の剛性が大きくなると、推進時の周囲の地盤の変形が大きくなるため、排土率は大きくなる。この傾向は掘削要素の幅が小さいほど顕著になる。一方、剛性比が小さいと排土率は100%に近い値になっている。

図3-2に掘削要素幅Dと排土率の関係を示す。掘削幅が大きくなるにつれて排土率が大きくなっている。これから推進に見合った掘削をシミュレーションするためには掘削要素幅をある程度大きくする必要があることがわかる。

剛性比が小さい場合（特に $E/E_0=0.1\%$ ）では掘削要素の幅を小さくしても排土率はほぼ100%になっている。

図3-3に掘進速度 1.0cm/minを得るために必要な推進力と排土率の関係を示す。推進力が大きくなると排土率は小さくなっている。これは、シールド機がの地盤中に押し込む状態になっているのでシールド機の影響が支配的で地盤の圧力の影響は少ないためであると考えられる。

まとめ

本研究ではシールド機の掘削のモデルの検討を行ない、排土率100%近い掘削を行なうためには掘削要素の剛性は地盤剛性に対して1/1000 - 1/100程度にし、掘削要素の幅はある程度大きくとらなければならないことがわかった。

参考文献

- (1) 赤木・小宮：土木学会論文集，第481号，III-25，p.59～68，1993
- (2) 吉野・小宮・赤木：第35回地盤工学研究発表会，投稿中，2000
- (3) 高木・瀬谷・赤木：第32回地盤工学研究発表会，p.2055～2056，1997

表3-1 入力パラメータ

	弾性係数(kN/m ²)	ポアソン比
地盤要素	4.36×10^4	0.33
シールド機要素	1.00×10^{10}	0.49
掘削要素	(条件により変化)	0.10

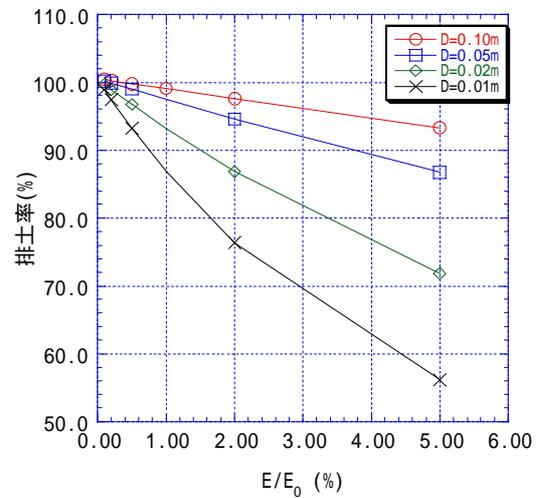


図3-1 掘削要素の剛性と排土率の関係

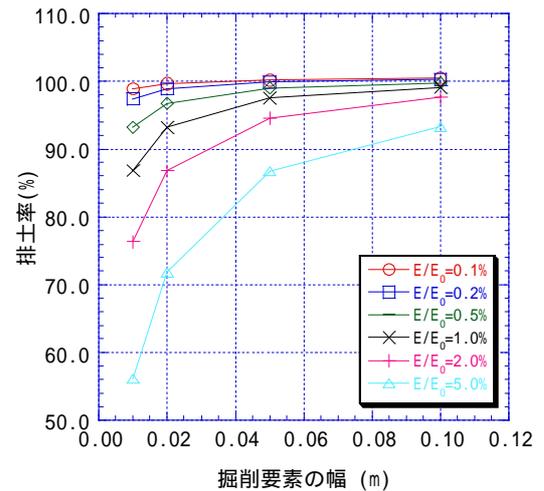


図3-2 掘削要素幅Dと排土率の関係

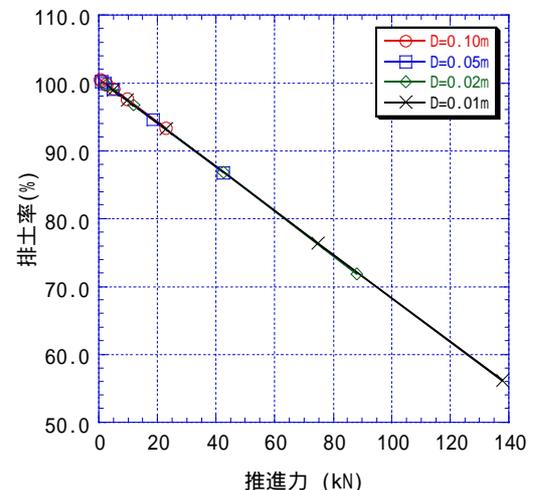


図3-3 推進力と排土率の関係