

鉛直推進工法の解析モデルの開発とその応用

地盤工学研究室 池田圭汰

指導教員 杉本光隆

1. はじめに

大断面シールドトンネルの分岐・合流部を、小口径シールドを用いて構築するため、推進工法によって、その発進基地となる鉛直円周シールドを構築する計画がある。しかし、推進工法で鉛直面内にトンネルを構築した事例は皆無であることから、その実現可能性を事前検討することとした。

本研究では、上記の事前検討の第一段階として、簡易な二次元モデルを用いて解析手法の妥当性の検討を行った。

2. 解析手順

本研究では、3段階の逐次解析を実施した。

Phase1 では、地盤のみの状態で自重を作用させ、地盤の初期応力を求める。

Phase2 では、余掘り量を考慮し、法線方向に強制変位を与える。

Phase3 でトンネルを掘削し、円周トンネルを設置する。円周トンネルは、函体、先端ばね、函体と地盤の間に界面要素で構成されている。

3. 解析結果

(1)推進時の函体、地盤の挙動

推進時の函体、地盤の挙動は、どのケースも同様の傾向を示す。そこで、例として、以下の条件で解析した解析ケース 11001211 の解析結果を示す。

施工条件：函体設置角度 90 度、坑口推進力 10000kN/m

境界条件：余掘り量 20mm：摩擦係数 0.1、地盤せん断ばね係数 10^6kN/m^3

地盤条件：弾性係数 160MN/m^2

1)函体

函体と境界面の変位、函体の軸力、モーメント分布をそれぞれ図-1～図-3 に示す。これらの図より以下のことがわかる。

①函体と境界面は全体として下方に移動するとともに、函体は全体として函体先端方向へ移動する。これは、坑口から下方向へ、坑口推進力 10000kN/m を載荷していること、函体自重も下方に作用していることから、函体は下方向へ動くとともに、円周トンネルの中心を軸とする時計回りの回転が発生するためである。

②函体と境界面は、全体として、横長に変形した。これは、側方土圧係数が 0.33 で、有効鉛直土圧に対して有効水平土圧は約 1/3 と小さく、函体は水平方向へ変形しやすいためである。

③先端推進力は、函体先端 (180deg) では 7698kN/m と減少した。これは、坑口推進力、函体自重と浮力、函体に作用する法線方向地盤反力、および、それらに起因する函体周面摩擦抵抗が合わさった結果である。

④函体の曲げモーメントは、坑口 (90deg)、函体先端 (180deg) で 0 となるが、120 度付近で正曲げとなっている。これは、端部で回転が拘束されていないこと、函体の変形と対応しているためである。

(2)坑口推進力

函体設置角度 90deg における、坑口推進力と先端推進力の関係を、図-4 に示す。ここで、必要先端推進力は、切羽静止時土水圧で 8900kN/m である。

パラメータスタディによる先端推進力、推進力残留率を表-1 に示す。この表より以下のことがわかる。

1)界面要素のせん断方向摩擦係数

界面要素のせん断方向に十分大きなせん断応力が発生する場合、界面要素のせん断方向摩擦係数が大きくなるにつれて、推進力残留率は大きく低下する。

2) 余掘り量

余掘り量が増加するに従って、推進力残留率は増加する。これは、余掘り量の増加によって、函体の半径方向応力が減少し、境界面の摩擦則で規定されるせん断応力が減少するためである。

3) 地盤の弾性係数

地盤の弾性係数が 160MN/m^2 から 320MN/m^2 , 480MN/m^2 と増加すると、推進力残留率は増加する。これは、地盤の弾性係数が大きくなると、函体上側の下方への変位が同じでも、函体上側に作用する地盤反力が小さくなり、函体上側の摩擦抵抗が小さくなるためである。

4. まとめ

本検討で得られた結論を列記する。

- ①本解析モデルを用いれば、推進工法による鉛直円周シールドの挙動と断面力を、合理的に算定できることを確認した。
- ②函体設置角度が増加すると、推進力残留率は減少する。
- ③界面要素のせん断方向に十分大きなせん断応力が発生する場合、界面要素のせん断方向摩擦係数が大きくなるにつれて、推進力残留率は大きく低下し、余掘り量、地盤の弾性係数が大きくなるにつれて、推進力残留率は増加する。

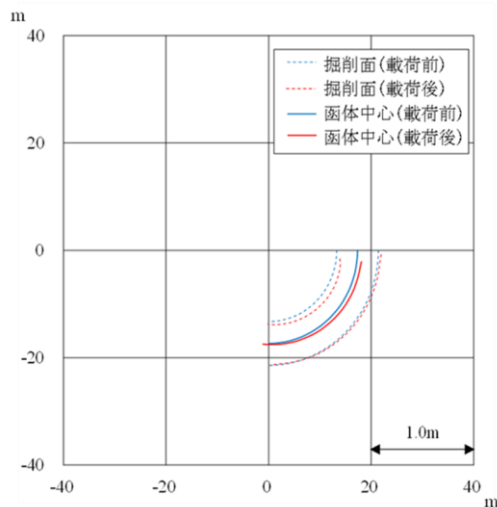


図-1 変位図 (境界面+函体) (Case11001211)

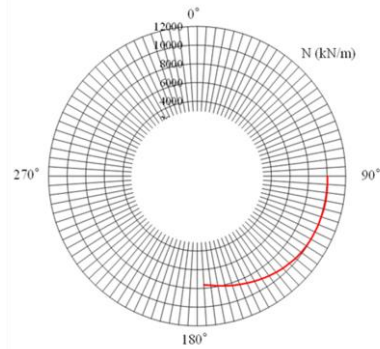


図-2 軸力分布(Case11001211)

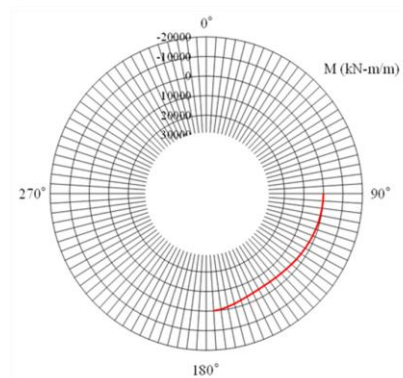


図-3 曲げモーメント分布(Case11001211)

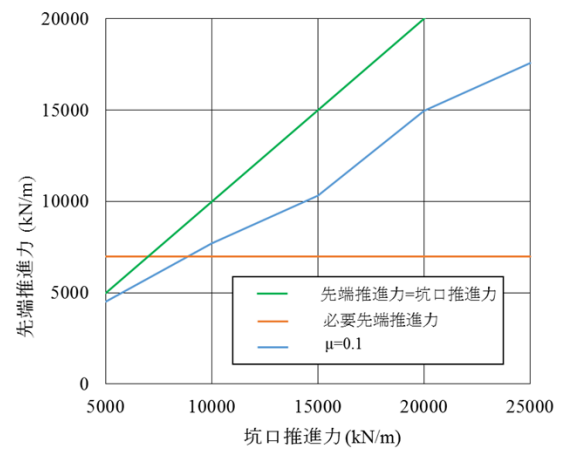


図-4 坑口推進力と先端反力の関係

表-1 パラメータスタディによる
先端推進力、推進力残留率

Case	パラメータ	値	坑口推進力 (kN/m)	先端推進力 (kN/m)	推進力残留率 (%)
10890211	2:摩擦	0.01	8900	8494	95
10891211		0.1	8900	6789	76
10892211		0.2	8900	5721	64
10893211		0.3	8900	4900	56
10891011	3:余掘り	0	8900	6447	72
10891111		10	8900	6626	74
10891211		20	8900	6789	76
10891211		160	8900	6789	76
10891212	4:地盤物性	320	8900	7266	82
10891213		480	8900	7891	89