

有限要素法による推進工法のモデル化について

千葉工業大学大学院 学生会員 露崎 正行
 千葉工業大学 正会員 小宮 一仁
 千葉工業大学 正会員 渡邊 勉

1. はじめに

近年、シールドトンネル掘削に伴う地盤挙動の解明に有限要素法を用いた数値解析シミュレーションを用いることが多くなっている。また、性能評価設計の導入が各方面で要求される中、要求性能・達成性能評価のために数値解析シミュレーションを行うことは、ますます重要になってきている。

推進工法によるトンネル工事では、トンネル完成後の地盤変形挙動や、曲線部の地盤反力の解析に有限要素法を用いて数値解析を行うだけで、トンネル掘削中の連続的な地盤変形挙動や、推進機の姿勢状態を連続的にシミュレーションする研究はほとんど行われていない。

本研究は、推進工法の施工過程のシミュレーションを可能とするため、推進工事における切羽の掘削、推進および管体継ぎ足し等のモデル化を示し、基礎的な考察を行ったものである。

2. 解析モデル

(1) 切羽掘削のモデル化

実際の推進工事では、推進機切羽前方部分にカッターの切削によって地盤が攪乱された部分が存在し、推進機はこの攪乱部分を伴って進行する。そこで、解析では推進機要素の切羽部分に掘削による地盤の攪乱領域を想定した掘削要素を配置し、計算ステップ毎に掘削要素および地盤要素を再分割することによって、推進機が掘削地山を取り込みながら掘進する状況をモデル化した⁽¹⁾。

図 - 1 は推進機掘削に伴う切羽の掘削モデル概要を示したものである。図中塗潰し部が掘削要素である。ある時刻 t において図 - 1 (a) の状態にある推進機要素にジャッキ推力にあたる節点力を作用させると、推進機要素は掘削要素及び切羽近傍の地盤要素を押して変形させ、1 計算ステップ dt 後には図 - 2 (b) の状態になる。ここで次の計算ステップ実行前に、掘削要素と地盤要素について、推進機の切羽部分に図 - 1 (a) に示した掘削前と同じ厚さと形状を持つ掘削要素が存在するよう要素の再配分を行うと、結果的に推進機が地山を取り込みながら掘進した状況をモデル化することができる。この方法では掘削要素が常に切羽前面に配置されるため、切羽の泥水圧や泥土圧の影響を考慮することが可能である。

(2) 推進および推進管継ぎ足しのモデル化

推進工法では、シールド工法と異なりトンネルを構成する推進管を発進縦坑から継ぎ足しながら前進する。推進外力は継ぎ足した推進管後部に作用する。

推進管は図 - 2 (a) のように、切羽における掘削に伴い解析ステップごとに前進し、地盤内へ徐々に推進し、図 - 2 (b) に示すように推進管後部（推進力の作用点）が地盤境界面を通過した段階で、新たに推進管をその後方に継ぎ足し、推進力の作用点は新しい推進管の後部へ移る。本研究では、図 - 2 (b) に示すように推進管と推進管の接合面を境界とした新たな有限要素を追加することによ

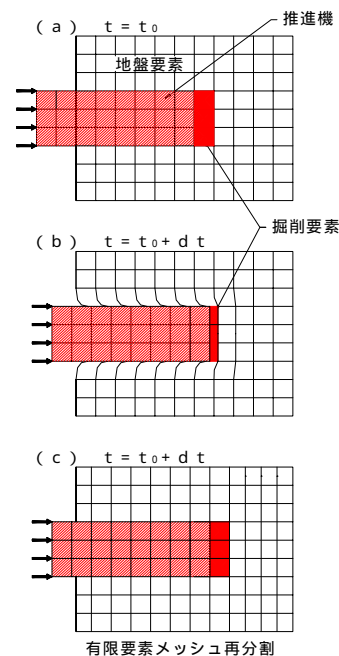


図 - 1 切羽の掘削モデル

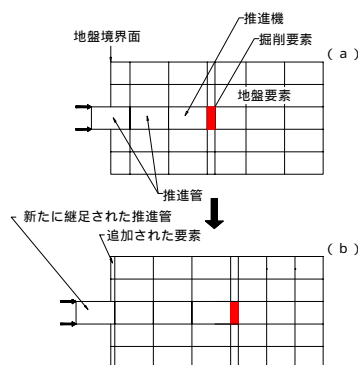


図 - 2 推進および推進管の継ぎ足しモデル

キーワード：有限要素法，トンネル，推進工法

連絡先：〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 Tel:047-478-0449 Fax:047-478-0474

り、推進管の推進および継ぎ足しをモデル化した。

追加した要素の応力およびひずみは、追加した時点では微小面積と考え、応力、ひずみともに0として扱った。また、追加した節点における節点力も0とした。

3. 解析結果

解析は、ジョイント要素以外はすべて等方弾性体として扱い、等方弾性有限要素法を用いて解析を行った。なお、自重は考慮していない。表-1に入力パラメータを示す。推進管と地盤の間には Goodman 型ジョイント要素を配置し、滑りをモデル化した。

図-3は解析中のメッシュ状態の一部を示したものである。(a)初期状態から(c)推進完了に至る一連の過程がモデル化されていることがわかる。地盤表面では、先行隆起、後方沈下が発生しており、実際の現象と一致している。

解析値では、推進速度(10cm/min)が一定になるように推進力を制御し、推進力の解析値と現場で用いられる推進力算定式との比較を行った。比較に用いた推進力算定式は、一般的に泥水式推進工法を計画する場合に用いられる算定式⁽²⁾を用いた。その結果、図-4に示すように25m推進付近まで、解析値と算定値はよく一致した。25m推進以後に解析における推進力が大きくなっているのは、前方の変位境界のため反力が大きくなったためと考えられる。

4. まとめ

本研究は、要素再分割法による推進工法のモデル化を提案したものである。提案した方法による等速度推進時の推進力の解析値と現場で用いられる算定式による推進力とはよく一致した。

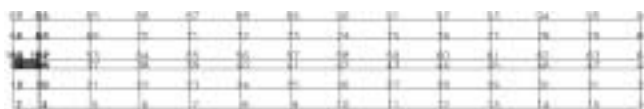
参考文献

- (1)小宮一仁：「シールドトンネル工事における地盤の力学的挙動に関する解析的研究」，早稲田大学博士論文 1994
- (2)「推進工法の調査・設計から施工まで」(社)地盤工学会

表-1 入力パラメータ

掘削要素剛性	$E = 500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
掘削要素ポアソン比	$\nu = 0.1$
掘削要素幅	$b_e = 0.1 \text{ (m)}$
ジョイント要素接線方向剛性	$E = 4508 \text{ (kN/m)}$
ジョイント要素垂直方向剛性	$E = 50000 \text{ (kN/m)}$
推進機、推進管要素剛性	$E = 1.0 \times 10^{10} \text{ (kN/m}^2\text{)}$
推進機、推進管ポアソン比	$\nu = 0.49$
地盤要素剛性	$E = 100000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
地盤要素ポアソン比	$\nu = 0.33$

(a)初期状態



(b)14本推進



(c)推進完了



図-3 解析中のメッシュ状態

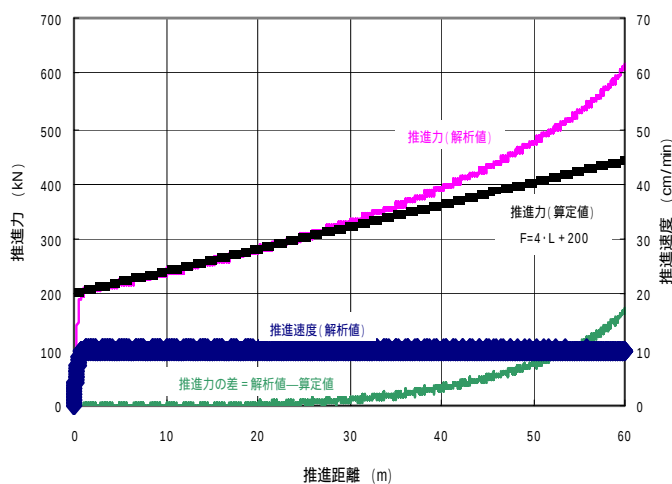


図-4 算定式と解析値の推進力比較