

シールドトンネル工事の3次元FEM掘進シミュレーション

有限要素法 シールドトンネル 掘削モデル

早稲田大学 学生会員 ○広瀬友里恵
 早稲田大学 国際会員 赤木寛一
 早稲田大学 学生会員 Alireza Afshani
 西松建設株式会社 正会員 吉野 修

1 目的

現在、都市部には、地下にインフラが多く存在する。その周辺に新たにシールドトンネルを通す場合、地盤の変形により、既設構造物とシールドトンネル双方に影響が生じる可能性がある。したがって、近接施工を行うときは、より正確な影響評価が必要となる。従来は、2次元解析が用いられているが、本研究では、より地盤の力学挙動を正確に把握することができる3次元有限要素法を用いて解析を行う。また、3次元有限要素法を用いた掘進シミュレーション手法として、メッシュの再分割を行う方法と、再分割を行わない方法による結果の差異について検討を行った。

2 解析の概要

2-1 メッシュの再分割を行う方法

今回の解析は、小宮・赤木が提案したシールド機前方への掘削要素の配置と有限要素メッシュの再分割を利用した、シールド切羽の地盤の取り込みとシールド機の推進を連続的に解析するシールド推進FEMを適用した。

図1はメッシュの再分割の概略図である。(a)の状態からシールド機要素に現場で測定されたジャッキ推力に対応する節点力を加えると、1計算ステップ dt 時間後には、(b)の状態となる。ここで、次の計算ステップ実行の前に、(a)と同じ厚さの掘削要素が存在するように要素を再分割すると、シールド機が地山を取り込みながら推進した状況をモデル化できる。²⁾ 今回の解析では、図2のような、要素数1088、節点数776、要素の形6面体のメッシュを用いた。

2-2 メッシュの再分割を行わない方法

この手法では、再分割を行わない同一のメッシュが、FEM解析で使用される。ステップごとに推力が与えられメッシュが変形する。推力は間隙水圧と切羽地盤の土圧に対応する値で決まる。応力やひずみがそれぞれの要素ごとに、変位は

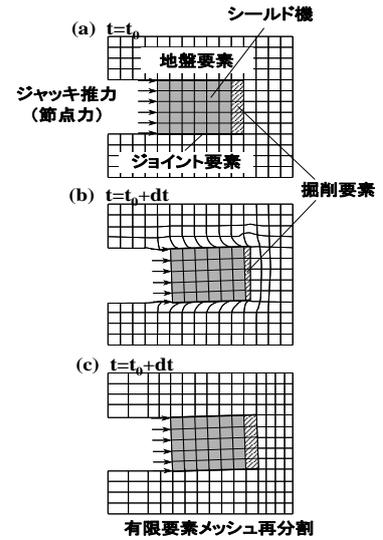


図1 メッシュ再分割の概略図¹⁾

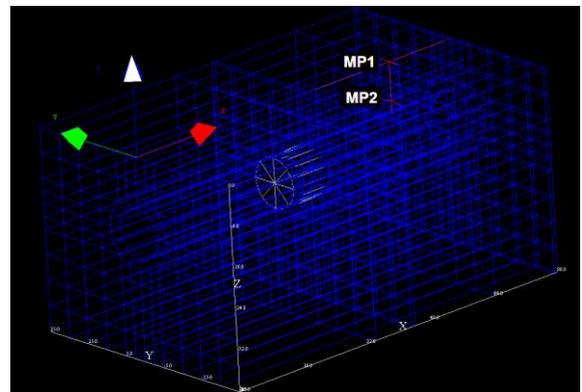


図2 メッシュの全体像

節点ごとに計算される。次に推力を加えるとき、再び変形前のメッシュを用いる。その際、推力は新しい切羽に相当する節点にかけられる。新しくかけた推力によりメッシュは変形し、応力、ひずみ、変位が計算される。最終的な変位量はそれぞれのステップで計算された変位の合計で表される。今回の解析では、要素数 1784、節点数 2264、要素の形 6 面体のメッシュを用いた。

2-3 メッシュの情報

解析領域の大きさは 2.1,2.2 のいずれにおいても掘進方向長さ X=80 m、掘進方向に直行する幅 Y=50m、深さ Z=40m であり、シールド掘進による変位を観測するモニタリングポイント (以下 MP) の座標は、MP1: X= 40m Y= 0m Z= 0m、 MP2: X= 40m Y= 0m Z= -7.5m である。各材料パラメータは表 1 に示した。このとき、座標原点は掘進開始時のシールド機後端中心直上の地表にある。

表 1 各材料パラメータの値

要素	E (Mpa)	G (Mpa)	ν	K (m/sec)
シールド機	100	-	0.33	-
掘削	5	-	0.33	1.0×10^{-3}
地盤	10	-	0.33	1.0×10^{-7}
ジョイント	-	$G_x, G_y=1, G_z=10$	-	1.0×10^{-12}

3 結果と考察

図 3 と図 4 は、MP1 と MP2 で観測された水平(X)方向と鉛直(Z)方向の変位を示している。どちらの方向も、シールド機の接近とともに受働側 (シールド機から離れる方向) の変形が生じており、地中の観測点 MP2 における変位のほうが大きい。また、変位の発生時期は、2つの方法で異なっており、再分割を行う方が早期に変位が発生している。

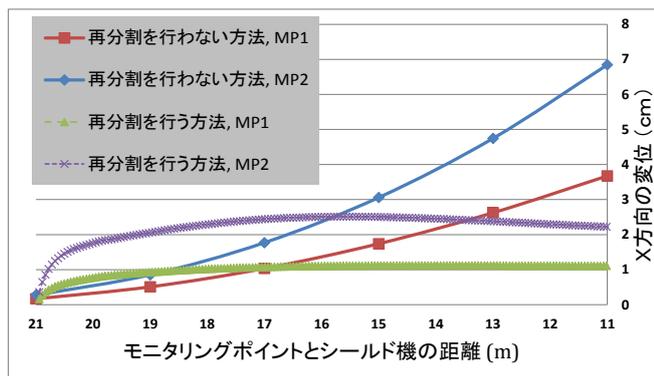


図 3 メッシュの再分割を行う方法と行わない方法の変位(X)の比較

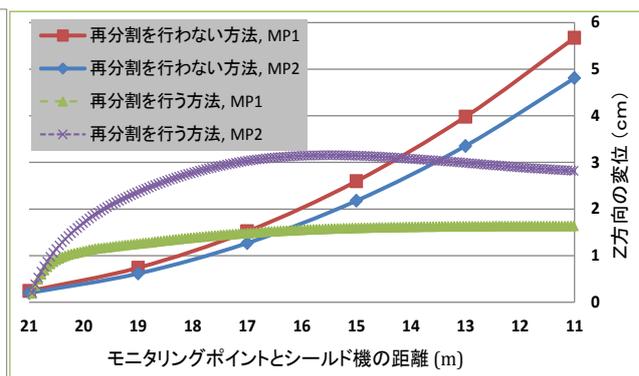


図 4 メッシュの再分割を行う方法と行わない方法の変位(Z)の比較

4 まとめ

今回の解析では、2つのシールドトンネル工事の解析方法を用いてシミュレーションを行った。どちらの方法 (メッシュの再分割を行う方法と行わない方法) も 3 次元でトンネル工事に伴う地盤の変形を解析することができる。しかし、各材料パラメータや推力の決め方により、それぞれの手法の解析結果は、影響を受けることがわかる。今後は、実際の現場の結果を用いながら、2つの手法をどのような時に用いるのが適切であるか、検討していく予定である。

5 参考文献

- 1)吉野修,小宮一仁:3次元土～水連成有限要素法によるシールド掘進解析 土～水連成解析パラメータと制御シミュレーション結果の関係,土木学会トンネル工学研究発表会 2001.
- 2)小宮一仁:シールドトンネル工事における地盤の力学挙動に関する解析的研究,早大博士論文 pp.38-39, 1994.