

既設トンネル直上の切土がトンネルの変位と応力に及ぼす影響について（その2）

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 西山 達也 新井 泰*）
 ハンシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 松長 剛**）

1. はじめに

近年、都市または都市近郊における土地の高度利用化に伴い、既設トンネル上部地山の切土を伴った宅地造成等の近接施工が増加している。このような近接施工では、既設トンネルに及ぼす影響を適切に予測することが、既設トンネルの安全性の確保、近接施工のコスト縮減等に不可欠である。しかし、これら近接切土の影響予測は、二次元 FEM を用いて行われることが多く、切土やトンネル周辺地盤の三次元的な影響を考慮されていない。このため、二次元 FEM による影響予測では、既設トンネルへの影響を過大に評価する傾向があり、適切な影響評価を実施するためには、地山および切土施工の三次元的効果を考慮する必要があると考えられる。

そこで本研究では、都市近郊の既設トンネルの直上における切土施工を想定し、二次元 FEM で影響予測を行う際に、切土の施工延長がトンネルに生じる変位と応力に及ぼす影響について二次元および三次元 FEM を実施して検討した。

2. 検討概要

2.1 解析モデル

解析は、地盤を単一層とし、土被りの小さい都市部でのトンネル直上における切土施工を想定し、図 1 に示す解析モデルを用いて実施した。トンネルは、在来複線断面（ $D=10\text{m}$ ）とし、解析は弾性モデルとした。

2.2 解析物性値

地盤物性値は、都市部での軟弱な未固結砂層を想定し、NATM 設計施工指針¹⁾に基づいて設定した。また、覆工物性値は、コンクリート標準示方書²⁾に基づき設定した。（表 1 参照）

2.3 解析ステップ

解析は、以下のステップにより実施した。

- 初期応力解析（自重による初期応力導入）
- トンネル掘削（100%応力解放による一括掘削）
- 覆工打設
- トンネル上部切土

2.4 検討内容

検討は、切土幅および深さを一定として、解析モデルの縦断方向中心位置から前後に切土延長を 1.0D、2.0D、3.0D、4.0D とパラメータとした三次元弾性解析を行い、二次元弾性解析と比較して、切土延長の影響をトンネルの変位、覆工増加応力に着目して検討した。（図 1、表 2 参照）

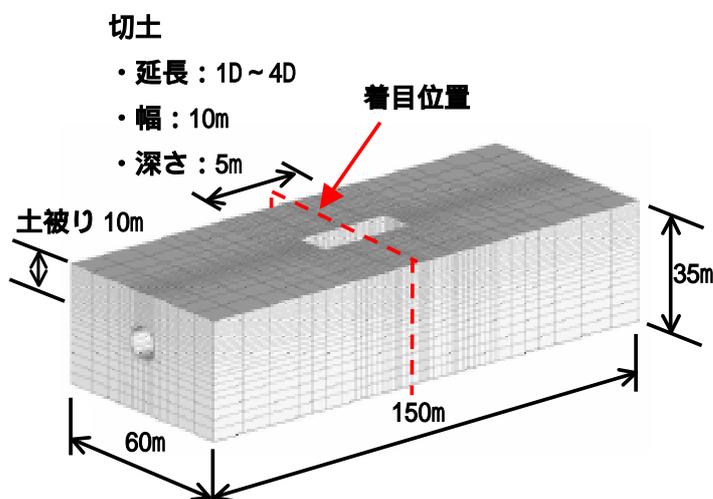


図 1 解析モデル（トンネル掘削幅 10m）

表 1 地盤諸元と覆工諸元

| 項目 | E(kN/m ²) | | (kN/m ³) | 覆工厚(m) |
|----|-----------------------|------|----------------------|--------|
| 地盤 | 5×10^4 | 0.35 | 18 | - |
| 覆工 | 2.5×10^7 | 0.2 | - | 0.5 |

表 2 解析ケース

| 解析ケース | 切土幅(m) | 切土深さ(m) | 切土延長(m) | 解析モデル |
|-------|--------|---------|---------|-------|
| CASE1 | 10 | 5 | 1.0D | 三次元 |
| CASE2 | | | 2.0D | |
| CASE3 | | | 3.0D | |
| CASE4 | | | 4.0D | |
| CASE5 | 10 | 5 | | 二次元 |

切土 二次元弾性 FEM 解析 三次元弾性 FEM 解析 覆工変位 覆工応力

*) 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7266 FAX 042-573-7248

**) 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL 03-3344-1903 FAX 03-3344-1906

3. 解析結果と考察

3.1 トンネル変位（図2参照）

各部位の変位は、切土延長が1Dでは、二次元解析結果は、三次元解析結果の3.5～5倍程度大きい値となった。そして、切土延長が長くなるに従い、両解析結果の差は小さくなり、切土延長4Dで、ほぼ一致した。（10%程度の相違）

内空変位に対しても、各部位の変位とほぼ同様の傾向がみられ、切土延長が1Dのケースで、二次元解析結果が三次元解析結果の3倍程度大きい値となり、切土延長4Dのケースでほぼ一致した。また、鉛直方向、水平方向ともに三次元解析結果と二次元解析結果の変位比はほぼ一致し、二次元解析と三次元解析でその変形挙動が類似する結果となった。

以上の結果より、変位に着目した場合、切土延長がトンネル幅の4倍以上であれば、平面ひずみ状態における二次元FEMで切土の影響を検討しても三次元解析と比べて大差がないと考えられる。

3.2 覆工増加応力（図3参照）

切土による覆工増加応力に対しても、切土延長との関係は、変位と同様の傾向がみられ、切土延長が長くなるに従い、両解析結果の差は小さくなった。しかし、切土延長4Dにおいて二次元および三次元解析の変位がほぼ一致したのに対し、覆工応力では、着目する部位毎に二次元および三次元解析の比率にバラツキがみられた（10～20%程度）。また、スプリングにおいては、三次元解析の覆工応力が5%程度、二次元解析よりも大きくなった。

以上の結果より、覆工応力は、着目する部位によっては、切土延長により二次元解析と三次元解析で値の大小が逆転する場合があるため、切土の影響検討時には、トンネル変位、過去の事例等を考慮して総合的な判断をすることが重要であるとされる。

4. まとめ

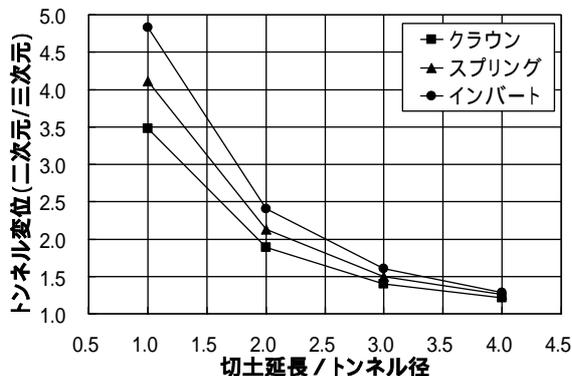
二次元および三次元解析結果の比較結果から切土の影響検討を行う場合の留意点として以下の事項を得た。

- (1) 切土延長が4D以上であれば、切土延長の影響を考慮しない二次元FEMで検討しても概ね三次元解析とその変形挙動は一致する。
- (2) 切土延長4Dにおいて、覆工応力では二次元および三次元解析で10～20%程度の違いがあり、着目部位によっては、逆に二次元解析よりも三次元解析のほうが大きくなる場合もある。影響予測では、10～20%の増加応力は変位以上にその影響が大きいため、FEMから直接得られた断面力を用いて覆工への影響を検討する際には注意を要する。

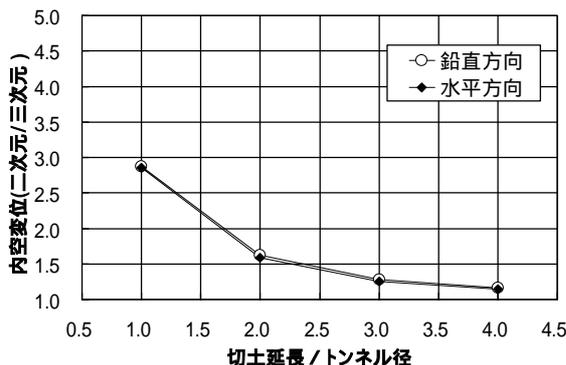
以上の結果を踏まえ、今後は切土延長4D以下の場合において、二次元解析に三次元効果を反映させる手法について検討していく予定である。

参考文献

1)「NATM設計施工指針」日本鉄道建設公団 1996.2, 2)「コンクリート標準示方書」土木学会 1996.6



(1)各部位の変位（+：隆起）



(2)内空変位（+：縮小）

図2 切土延長とトンネル変位の関係

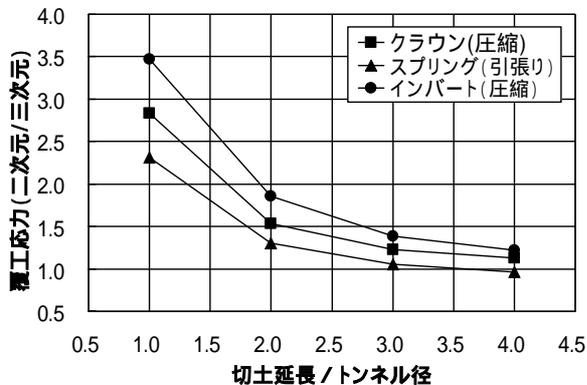


図3 切土延長と覆工応力の関係