

上部切土による既設トンネルの変形挙動

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 小島芳之・西山達也
(株) ダイヤコンサルタント 正会員 重田佳幸・木村英雄

1. はじめに

近年、既設トンネルに近接した大規模な造成工事やトンネル工事などの近接施工が増加しており、トンネルに対する適切な影響予測を行うことが重要となっている。既設トンネルへの影響評価に関する事例が多く報告されている中で、これらの貴重なデータが統一的に論議されることは少なく、現時点においては、それぞれの個別の問題として評価されていることが多い。これまで、著者らは、トンネル上部の切土施工実績を収集・整理し分析を実施してきた。本報告は、パラメータを切土幅と地山弾性係数、覆工と地山の接触状態とする2次元有限要素法によるシミュレーション解析を実施し、トンネルの変形挙動の特徴を整理したものである。

2. 切土によるトンネル変形挙動の実態

(1) 収集事例

本報告で取り扱った事例は、著者らが独自に収集したものと文献調査により収集した23件である。トンネル施工法は、山岳工法が17件（うちNATM4件）、シールド工法が6件である。また、地質は、中・古生代から第四紀更新世の硬岩・軟岩・土砂の広範囲のものである。

(2) トンネル内空変位の傾向

図-1は、内空変位計測が行われている17事例について、切土により発生した内空変位 u をトンネル掘削外径 D で除した値 u/D (以下、内空変位率という) と $B/2(h+D)$ (以下、切土幅比という) との関係を示したものである。

図-1により、上部切土によるトンネル覆工の変形挙動には、以下の傾向があることが分かる。

- ①内空変位率 u/D は、最大でも 1000μ 程度である。このことは、覆工剛性を無視すれば、トンネル周辺の地山は弾性範囲内で挙動していることを示唆するものである。ちなみに、内空変位量の最大値は、水平方向 $\pm 5\text{mm}$ 、鉛直方向 7mm 程度である。
- ②内空断面は、水平方向に縮小し鉛直方向に拡大する事例が多い。但し、水平方向にも拡大するすなわちトンネル全体が拡大する事例も認められる。

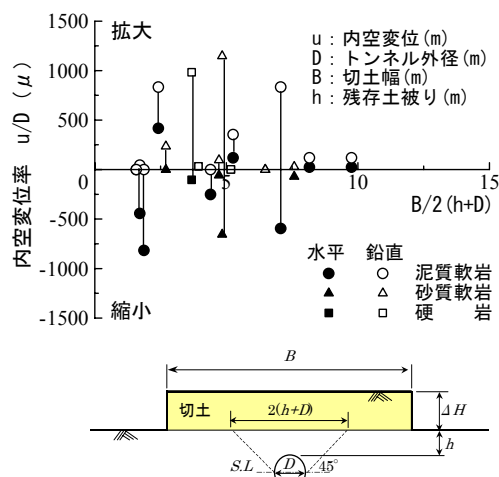


図-1 残存土被りと内空変位率の関係

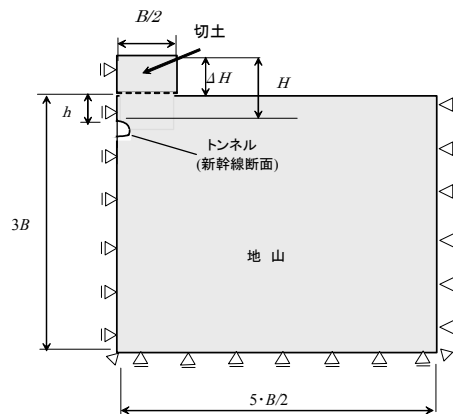


図-2 検討モデル概要図

3. 2次元有限要素法による切土幅とトンネル変形挙動の検討

(1) 解析モデル

解析で想定するトンネルは、新幹線断面である。図-2に解析モデルを示す。モデルは、トンネル直上にある幅 B 、高さ ΔH の切土を行うものとし、初期土被り $H=40\text{m}$ 、切土高さ $\Delta H=30\text{m}$ 、残存土被り $h=10\text{m}$ とした。解析領域は、解析モデル境界の影響が及ばない範囲とし、切土幅 B を基準とする水平方向 $5B$ 、鉛直方向 $3B$ とした(図-2は半断面モデルである)。

(2) 解析パラメータ

解析パラメータは、表-1に示した。TypeⅢのトンネルのタイプは、地山との間に引張力が伝達しない覆工を想定した。なお、覆工とインバートは梁要素としてモデル化し、覆工厚 0.7m 、インバート厚 0.5m で弾性係数 20000MPa とした。地山剛性については、土砂、軟岩、硬岩を大まかに想定して、弾性係数は $50, 500, 5000\text{MPa}$ とし、単位体積重量は 20kN/m^3 、ポアソン比 0.3 とした。また、TypeⅢにおける覆工の部分には地山との接触条件としてジョイント要素を設置した。ジ

表-1 解析パラメータ

トンネルのタイプ (覆工の有無、地山との接触条件)	切土幅 B	地山の弾性係数 E (MPa)
TypeⅠ：覆工なし(無普請)	1D	50
TypeⅡ：地山と一体の覆工	2D	500
TypeⅢ：地山と一体でない覆工	4D	5000
	8D	
	16D	

キーワード トンネル、近接施工、影響予測、2次元有限要素法、計測

連絡先 〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3, Tel : 048-654-1909, Fax : 048-654-1949

ジョイント要素の法線方向剛性率は地山と同等とし、接線方向剛性率は、法線方向剛性率の1/10とした。

(3) 解析結果

図-3には、切土後のトンネルの水平内空変位、鉛直内空変位と切土幅比との関係を地山弾性係数毎に示し、図-4には、解析値を計測値と比較するため、横軸には切土幅比 $B/2(h+D)$ をとり、縦軸には以下で定義する「単位内空変位率 α ($\alpha = (u/D/\Delta H) \cdot E$)」との関係を示した。

これらの結果により以下のことが分かる。

- ① トンネルの変形モードは、 $B/2(h+D)=0.5$ を境として異なり、このとき水平変位は縮小側の最大値をとり、鉛直変位は拡大側の最大値をとる。
- ② Type I に着目すると、変形モードは $B/2(h+D)=0.5$ で縮小側の最大値をとり、 $B/2(h+D)=2$ を超えると拡大側へ転じる。
- ③ Type III に着目すると、Type II と比較して、全体的に変形の程度が軽減されることが分かる。
- ④ 弾性係数の違いに対しては、 E の大きさにほぼ比例して内空変位が生じることが確認される。
- ⑤ 図-4 で、水平方向内空変位率 α については、解析値は計測値に近い値となっているが、鉛直方向内空変位率 α については、計測値の殆どが0.01以下になっているのに対し、解析値は0.03以下程度となっている。

4. まとめ

本報告で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 切土がトンネル直上で局所的 ($B/2(h+D)=0.5$) に行われる場合の方が、切土幅が大きい場合より、トンネル変形に対する影響度が高い。
- ② 広い範囲を切土すると、無普請の場合などでは、水平方向にも拡大する場合がある。
- ③ 切土によるトンネルの影響解析にあたっては、覆工と地山の接触条件をモデル化する必要がある。覆工と地山との間にジョイント要素をモデル化することで、切土によるトンネルの変形挙動を良く表現できる。

5. おわりに

本報告では、切土によるトンネル変形挙動の計測事例の整理・分析を実施し、解析では、2次元有限要素法を用い、切土幅と地山弾性係数、覆工と地山の接触状態をパラメータとする解析を実施した。

今後は、収集事例を蓄積し分析の精度向上を図り、数値解析においては、切土の形状、方向についても検討を進めたい。

参考文献

- 1) 小島芳之, 吉川和行, 重田佳幸, 木村英雄, 朝倉俊弘: トンネル上部の切土による影響事例の分析, 第11回岩の力学国内シンポジウム, 2002.1.
- 2) 小島芳之, 朝倉俊弘, 吉川和行, 重田佳幸, 土屋敬, 中川浩二: 上部地山の切土による既設トンネルの変形挙動, 材料 別冊, 第52巻第8号, 2003.8.

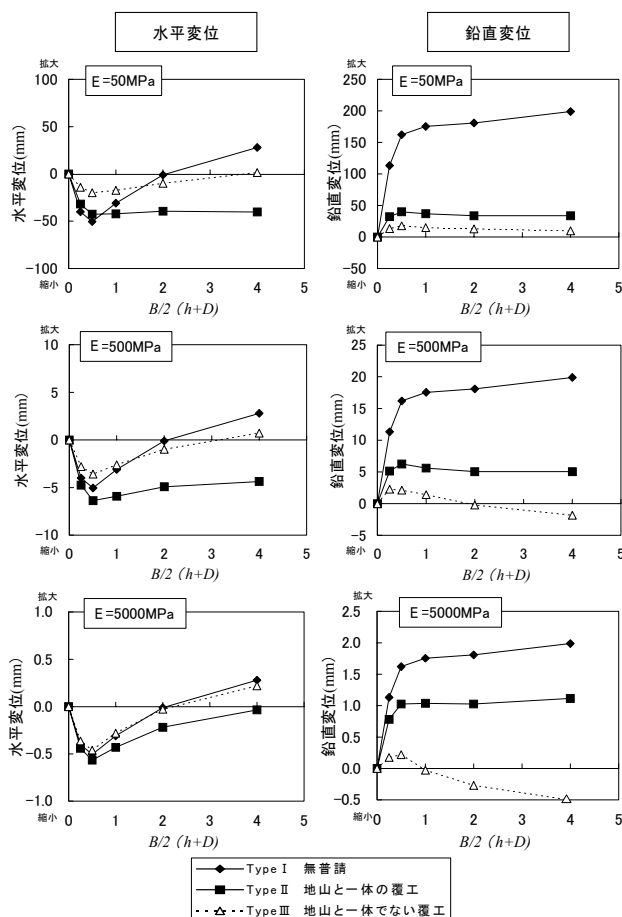


図-3 切土幅比 $B/2(h+D)$ と内空変位との関係

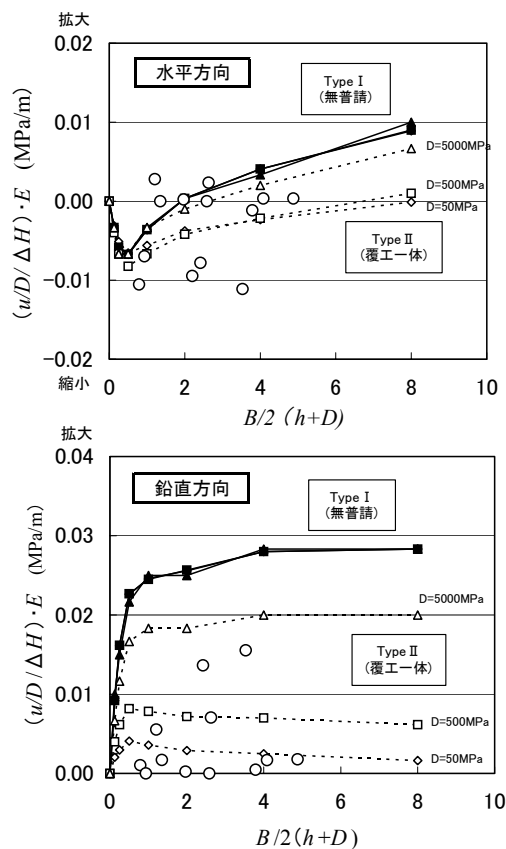


図-4 解析値と計測値との比較