

既設トンネルに及ぼす近接施工（上部切土）の影響について

独立行政法人 土木研究所 正会員 蒲田 浩久  
 同上 正会員 真下 英人

1 はじめに

既設トンネルに対する近接施工の影響予測は、地質状態、境界条件（周辺地山のゆるみ、背面空洞）、覆工状態、施工順序、施工方法などが複雑に影響し合うため難しく、また、詳細な計測結果も少ないため、そのメカニズムは十分解明されていない。本研究では、既設トンネルの上部切土を行った、二つの計測結果について報告するとともに、数値解析結果との比較を行うことにより、上部切土工事のトンネル覆工への影響検討における、数値解析の適用性について考察を行うものである。

2 計測現場概要

現場計測を実施したトンネル概要を表-1に示す。いずれのトンネルも道路拡幅工事に伴い、開削工法により既設トンネルを撤去する工事である。両トンネルとも、地表面は水平で、土被りがほぼ同じであり、上部から水平に掘削して行く上部切土である。また、応力解放法により、覆工全体に初期応力として圧縮応力（Aトンネル 0.6~1.5N/mm<sup>2</sup>, Bトンネル:1.5~3.0 N/mm<sup>2</sup>）が作用していることが分かっている。相違点としては、Aトンネルは周辺に崩積土や数 m 程度のゆるみ域があり、軟らかい地盤(孔内水平載荷試験から求めた変形係数 E=50Mpa 程度)であるが、Bトンネルは天端に自立した空洞があるものの（施工時は、エアモルタル注入を実施）、周辺は良く締まった硬い地盤(E=2000Mpa 程度)である。

3 計測結果

① 覆工応力

図-1、図-2にA、Bトンネルの内側覆工応力と土被りの変化の関係をそれぞれ示す。応力は切土前を初期値としている。Aトンネルは、土被り 1.5D~1.0D の間に応力が発生するが、その後、切土が進行しても応力増加はほとんど認められない。一方、Bトンネルは、0.7D 程度から切土の進行にともなって単調に増加している。また、周方向の応力分布もAトンネルは、肩部 C2 で引張、C4 で圧縮応力が発生するが、Bトンネルは、両肩部で引張応力および天端部で圧縮応力が発生しているように、異なる結果となった。

② 覆工鉛直変位

図-3にAトンネルの縦断方向3断面の覆工天端鉛直変位と土被りの変化の関係を示す。応力変化と異なり、土被りが 1.0D より小さくなると、その後、単調に増加する。また、縦断的な違いも

表-1 対象トンネル概要

	Aトンネル	Bトンネル
既設トンネル工法	在来工法 底設導坑先進 1961 竣工	在来工法 1938 竣工
寸法	延長 126m 内空幅 8.0m 内空高 6.1m 覆工厚 70cm	延長 34m 内空幅 6.0m 内空高 5.0m 覆工厚 40~45cm
地質	砂礫層	頁岩
変形係数	30~60 Mpa	2000 Mpa
最大土被	23m	25m
開削方法	(機械掘削)	(機械掘削)

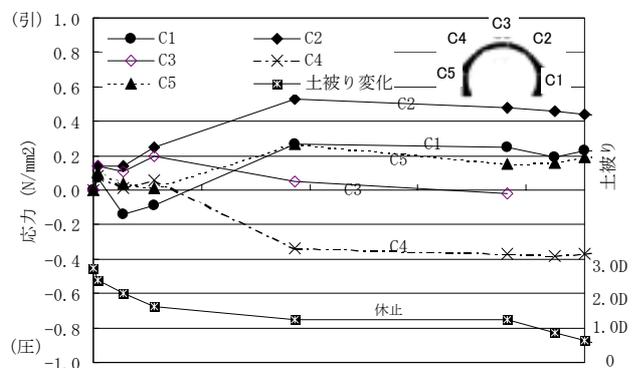


図-1 土被りの変化と覆工応力 (A トンネル)

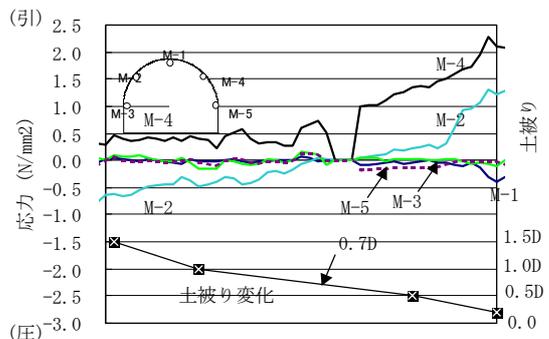


図-2 土被りの変化と覆工応力 (B トンネル)

キーワード：トンネル 近接施工 切土

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 tel0298-79-6791

小さい。なお、Bトンネルは、1mm以下で有意な変化は計測されなかった。地山の变形係数と最終的な天端鉛直変位との関係は、变形係数に反比例して、Aトンネル(15mm)がBトンネル(1mm以下)に比べ大きい、応力は、变形係数の小さなAトンネルの方が小さな値であった。

4 解析結果との比較

(1) 解析方法

变形係数、覆工と地山の接触状態を変化させた数値パラメータ解析を実施した。解析手法は、二次元有限差分法 (FLAC Ver4.0) を用いた。解析モデルを図-4 に示す。初期応力を再現した後、上部から番号順に掘削を行った。地山は弾性体 ( $E=50,500,2000\text{Mpa}$ ) とし、地山と覆工の間には、圧縮力は伝達するが引張力は伝達しないようなジョイント要素を入れた。なお、ジョイント要素のバネ値を変化させることで、覆工と周辺地山の接触状態 (空洞の有無、ゆるく崩積土が溜まっているなど) をある程度評価出来ると考えられるため、 $K_v, K_s$  の値を変化させた解析を行った。

(2) 解析結果

变形係数  $E=2000\text{Mpa}$  (バネ値  $K_v=1.0\text{E}+10$ ) の場合(Bトンネルに相当)の覆工内側応力の周方向分布、天端鉛直変位量の切土にともなう変化を図-5 に示す。覆工応力は、側壁部 (SL) で最大となるが、Step2 以降、変化は見られない。

一方、天端鉛直変位は、若干増加勾配は変わるが、切土にともない、最終ステップまで単調に増加している。なお、 $50,500\text{Mpa}$  も同じ傾向である。計測結果と比較すると、応力の増加パターンは、むしろAトンネルに近い結果となったが、応力、変位量の大きさは、Bトンネルと比較的良好一致を示した。

図-6 に变形係数と解析結果の関係を示す (バネ値  $K_v=1.0\text{E}+10$ )。バネ値一定の条件では、鉛直変位、応力とも、变形係数が小さくなると、大きくなり、応力に関しては、計測結果とは逆の傾向になっている。次に、図-7 に  $E=500,2000\text{Mpa}$  の条件で、それぞれバネ値を変化させた場合の覆工応力と天端鉛直変位の結果を示す。いずれの变形係数も、発生応力は、バネ値がある値以下になると、小さな値となる事が分かる。このことは、周辺地山と覆工の接触状態によっては、变形係数が小さくても、覆工応力が小さくなる可能性があることを示している。一方、鉛直変位 (隆起) に関しては、あまりバネ値の影響を受けない結果となった。

5 まとめ

現場計測結果から、上部切土の場合、覆工に影響が出る土被り量は、軟らかい地盤で  $1.5D\sim 1.0D$ 、硬い地盤で  $0.7D$  程度であった。数値解析から、数値解析による覆工発生応力は、覆工と周辺地山の接触状況に大きく影響するが、覆工天端鉛直変位量 (隆起) は变形係数に反比例し、周辺地山との接触状況には、あまり影響を受けないことが分かった。

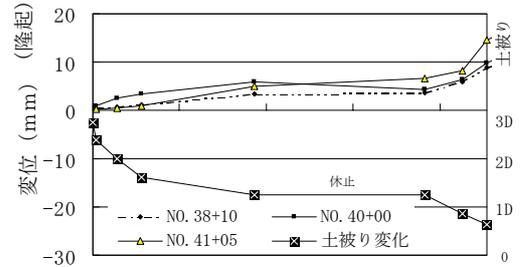


図-3 土被りの変化と覆工天端鉛直変位 (Aトンネル)

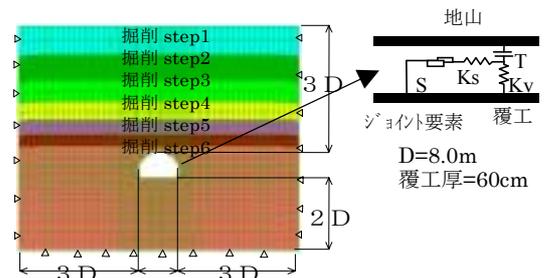


図-4 解析モデル図

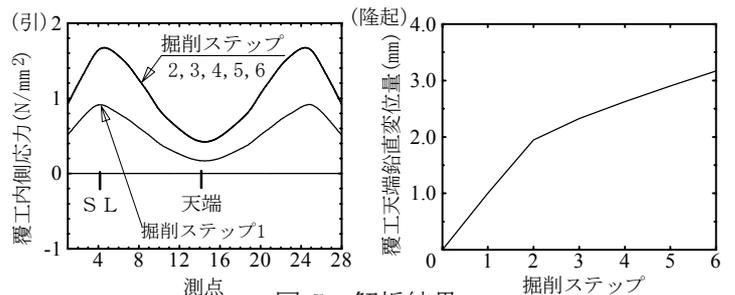


図-5 解析結果

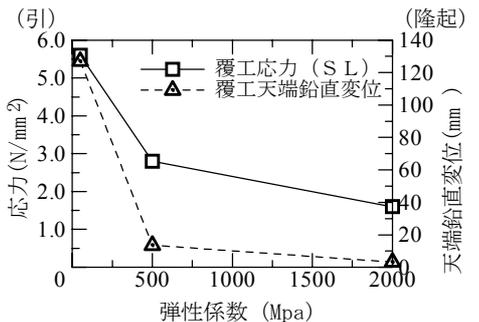


図-6 解析結果と变形係数の関係

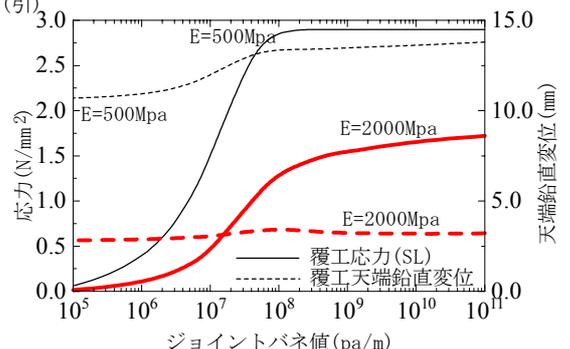


図-7 解析モデル図