

Ⅱ期線施工によるⅠ期線トンネルと周辺地山挙動の三次元的評価

山口大学大学院 学 ○田中信次 村田洋一 青木宏一
日本技術開発(株) 正 河原幸弘 山口大学工学部 正 中川浩二

1. はじめに

近年、我が国では交通量の増加に伴い、高速道路などで双設トンネルの施工事例が増加している。双設トンネルとは、複数のトンネルが上下左右に並行して、同時あるいは段階的に施工されるものであり、その設計にあたっては、相互のトンネルに及ぼす影響について十分に調査、検討することが重要である。特に、双設トンネルの中でも暫定2車線で供用中のⅠ期線トンネルに隣接してⅡ期線トンネルの施工が行われる事例が数多くある。Ⅱ期線施工の際には、Ⅰ期線の変位、応力などの影響を最小限に抑える必要があるため、数値解析による地山挙動の把握が重要となる。また、数値解析の多くは二次元の平面ひずみ問題で行われており、三次元で行われた事例はあまりみられない。しかし、三次元解析には二次元解析では表現が困難な切羽進行に伴う三次元挙動の把握が可能という特徴がある。そこで、本研究では、三次元解析ソフトのFLAC3Dを用い、Ⅱ期線トンネル掘削に伴うⅠ期線トンネル及び周辺地山への影響を三次元的に評価、検討しようとするものである。

2. 数値解析における一括掘削と逐次掘削の比較

数値解析を行う際、解析ステップを実際の施工ステップと同様とするのが理想的であるが、解析結果が大きく変われば施工ステップを簡略化したモデルで解析したほうが時間的およびコスト的にも有利である。そこで表-1に示す解析ステップについて比較検討を行った。なお、両モデルともⅡ期線掘削前を変位の初期値とした。

表-1 解析ステップ

モデル	掘削方式	解析方法	計測方法
モデル1	逐次掘削	Ⅱ期線トンネルを5m掘削・支保設置を20回繰り返し、100m掘削	計測位置を固定
モデル2	一括掘削	Ⅱ期線トンネルを50m掘削・支保設置	Ⅱ期線切羽位置を基準とし、計測位置を変化

2.1 解析条件

解析モデルは図-1に示すようにⅠ・Ⅱ期線トンネル中心間距離3D（D：トンネル外径）とし、底面および側面を拘束し土被り100m、上載荷重と初期応力を設定した。

2.2 解析結果

Ⅰ・Ⅱ期線トンネルの天端沈下・内空変位と切羽位置の関係を図-2に示す。これらの結果からモデル2はモデル1に比べ変位量は少なく、切羽進行に伴い、モデル1とモデル2の変位量の差は広がっていく傾向がみられた。これはモデル2が1ステップで掘削するのに対し、モデル1はステップを何回も繰り返し掘削していくことから、各ステップごとの変位が蓄積され、変位量が大きくなったためと考えられる。また、変位推移に着目すると、ほぼ同様の傾向がみられた。

従って、一括掘削では逐次掘削に比べ変位量が過小評価されることを考慮すれば、施工ステップを簡略化したモデルで解析を行っても、Ⅱ期線施工に伴うⅠ期線トンネルおよび周辺地山の挙動を大まかに推測することは可能と考えられる。

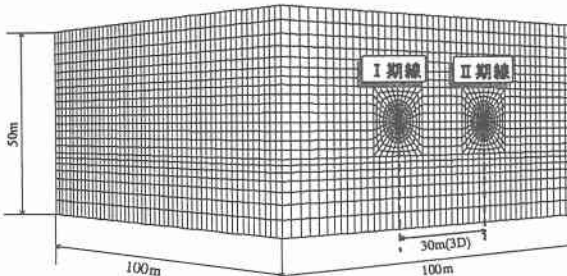


図-1 解析メッシュ

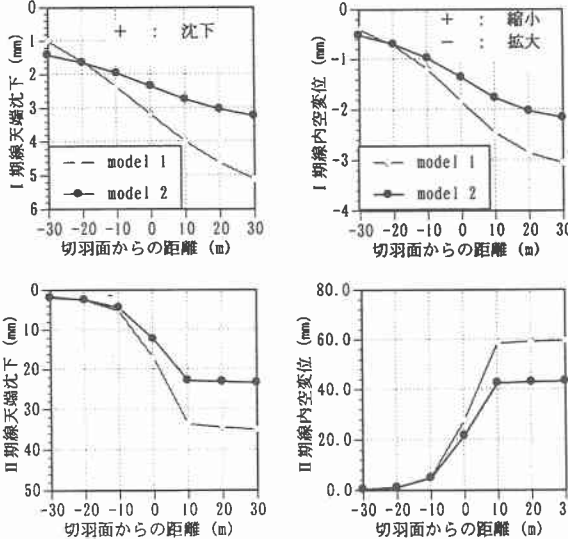


図-2 天端沈下・内空変位

3. II期線施工によるI期線および周辺地山の弾性力学的挙動の把握

2. で得られた結果より、施工ステップを一括掘削として、II期線施工によるI期線および周辺地山への影響を検討した。本解析ではトンネル断面をDII断面とし、解析条件は2. で使用したものと同様とした。また地山弾性係数の変化による影響の傾向についても検討するため、地山弾性係数を1500 ~ 250 kgf/cm² (147 ~ 24.5 MPa) と変化させ解析を行った。

図-3 にI期線覆工の変形挙動を示す。この図からII期線施工によりI期線覆工はII期線トンネル側に変位し、その変位量も切羽進行に伴い増加する傾向が見られる。図-4(a) に切羽進行に伴うI期線覆工の天端沈下と内空変位の推移を示す。この図から天端沈下量は切羽進行に伴い増加する傾向がみられる。内空変位は弾性係数の差異により変位量は異なるものの、II期線の切羽到達の約10m前から変位の傾向に変化がみられる。

図-4(b) にII期線施工によるI期線覆工の増加応力を示す。応力も変位と同様に切羽到達の約10m前から圧縮力が増加する傾向が見られる。

次に周辺地山の挙動について検討する。図-5 にトンネル間地山の水平変位を示す。この図よりII期線トンネルに近い地山ほどII期線側への変位量が大きくなる傾向が認められる。切羽到達の10m前までは、ほとんど動きがみられないが、切羽がそれより進むとII期線側壁から約10mの範囲の地山が急激にII期線側へ変位している。図-6 に周辺地山の変位ベクトルを示す。周辺の地山全体がII期線トンネルの方に向かって動いており、II期線トンネルを中心とし、ほぼ左右対称に変位している。

本解析結果よりII期線トンネルを施工することでI期線はII期線側へ変位し、その影響はII期線切羽到達の約10m前から顕著に現れることが分かる。

4. 計測データと解析結果の比較

本研究における解析モデルの信頼性を確かめるため、Aトンネルの地中変位計測データと解析結果を比較した。なお、解析にはAトンネルの地山物性値と土被りを用いた。図-7 にトンネル間地山の水平方向変位を比較した結果を示す。解析結果および計測データともに切羽到達の10m前からII期線側へ変位し始め、II期線に近いほど変位量が大きくなる傾向もほぼ同様であった。Aトンネルの計測結果に対しては本解析のモデル化は妥当なものであったものと考えられる。

5. おわりに

本研究により施工ステップを簡略化したモデルにおいてII期線施工による地山やI期線トンネルの大まかな挙動の傾向を把握することができた。

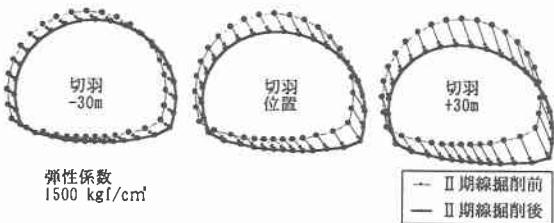
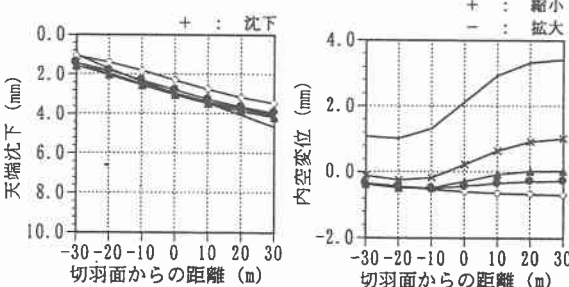
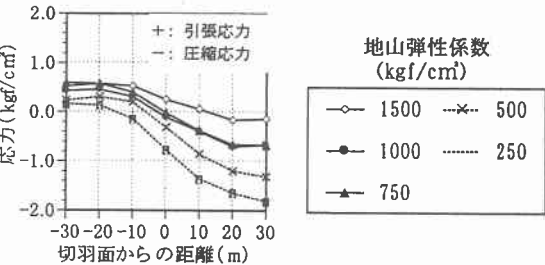


図-3 I期線覆工変形図



(a) I期線天端沈下・内空変位



(b) I期線覆工増加応力(天端部)

図-4 I期線覆工変位・応力

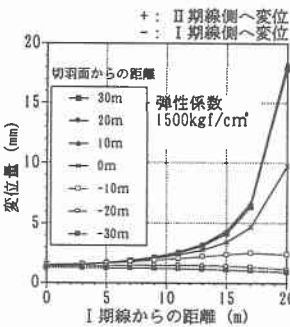


図-5 地中水平変位推移

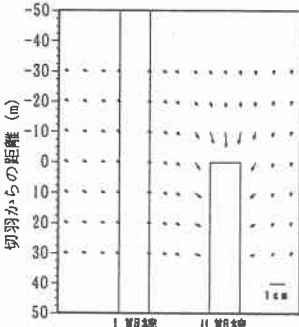


図-6 地山変位ベクトル

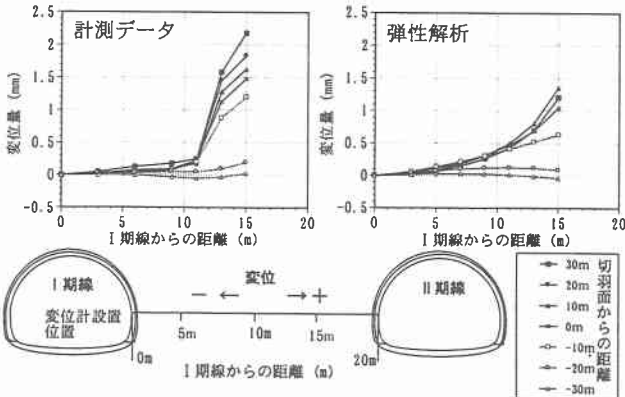


図-7 計測データと解析結果の比較