

3次元トンネル掘削問題のモデル化とその解決方法

山口大学大学院 学生会員 ○岸田展明
 山口大学大学院 正会員 進士正人
 西松建設(株) 正会員 千々和辰訓

1. はじめに

トンネル掘削時に地山は三次元に変形挙動を生じる。したがって、土被りが小さいトンネル等の場合、厳密なトンネル掘削時の挙動予測を行うためには三次元解析を行う必要がある。しかし、地山の複雑性や不均質性などの三次元解析に取り組む以前に解決すべき課題が多いために二次元解析が主流となっているのが現状であろう。それに加えて、地形面の表現やトンネル形状や線形などを三次元解析モデルに表現する手間と精度の確保が三次元解析普及のボトルネックのひとつになっていると思われる。

本研究では、二次元断面モデルの組み合わせから簡便に地形面やトンネル形状の三次元モデルを作成するプログラムを開発し、三次元解析モデル作成の簡略化した。そして、開発したプログラムの適応性を検討するために地すべり直下に建設される二車線道路トンネルの三次元変形挙動予測を実施した。

2. 三次元モデルの作成法

従来の方法を用いて複雑な三次元モデルの作成を行う場合、細かい座標計算やモデル形状の選定を行わなければならない、滑らかな地形形状を現すためには必要とされる情報量は膨大となる。そこで、いかに入力する情報量を低減し、精度の高いモデル作成を行うことができるかが課題となる。そのため、一般的には三次元CADを利用してモデル化するが多いが、本研究では二次元解析モデルをうまく拡張することで複雑な三次元のモデル化を行うプログラムを作成した。すなわち図-1のモデル作成のフローチャートを示すように二次元解析ソフト(ISNA)で作成された1断面の二次元モデルデータと入力された形状座標データ(地形、トンネル線形)から三次元モデルを作成までの作業をすべて自動化することで必要な操作を簡略化した。また、スプライン補間法を用いることで離散的な座標データから必要な座標データを推測し、地形データなどの形状データの入力量を低減させることが可能になった。

3. 適用結果

3.1 トンネル概要

適用性を検討したWトンネルは延長242mの道路トンネルである。Wトンネルの平面・縦断面図を図-2に示す。図からわかるようにトンネルは河川沿いの急崖を迂回するように計画されており、偏圧地形・地すべり直下のトンネル施工という問題を抱えている。トンネルは、概ねCI~CII領域の比較的良好な地山を掘削する予定である。しかし、測点No.75を中心とした50m前後の区間のトンネル直上に古い地すべり地形が存在している。測点No.75を横断的に調査した地質調査(ボーリング)や弾性波探査では地すべりはトンネル領域まで達しておらず、地すべりとトンネルとの間は1D程度あることが確認されているが、この断面で安全率の概算を行うと安全率は1.04であった。トンネル掘削によりゆ

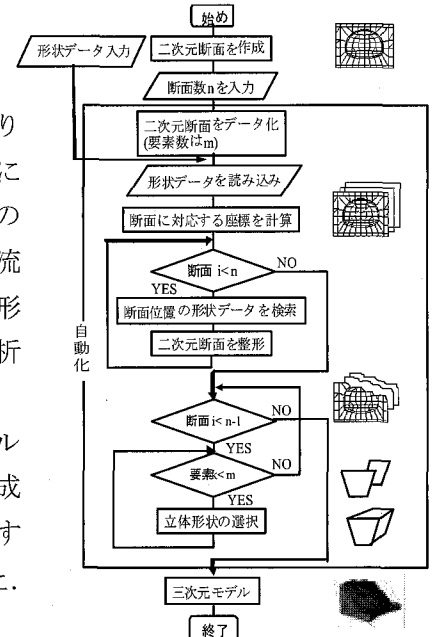


図-1. 平面・縦断面図

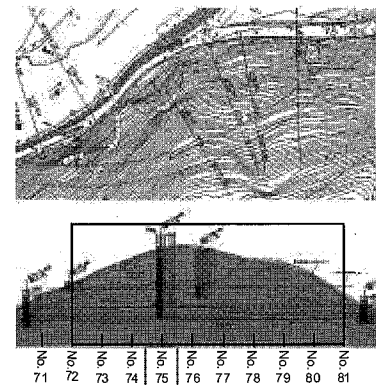


図-2. 平面・縦断面図

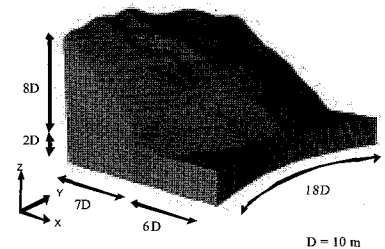


図-3. 解析モデル

表-1. 解析物性値

	単位体積質量 d (kN/m ³)	変形係数 E (MN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 φ (度)
地山	22.33	1000	0.3	2886	30
吹付コンクリート	24.00	4000	0.2		

1D程度あることが確認されているが、この断面で安全率の概算を行うと安全率は1.04であった。トンネル掘削によりゆ

るみ領域がすべり面に達し、すべり面の強度が低下すれば地すべりを誘発する可能性を有する。この場合、対象トンネルが偏圧地山であることと地すべりへの影響を検討するため、高精度の地表面形状を考慮したモデル化が必要となる。

3.2 解析シミュレーション

(1) 解析範囲・解析条件

懸念されている地すべりへのトンネル掘削による影響を検討するため、図-2に示すNo.72～No.81までの区間を三次元のモデル化を行った。作成した解析モデルを図-3に示す。なお、地すべり土塊の三次元的な分布状態を精度よくモデルに表現することが難しいのでここでは、地山をまず一様な物性値を有するものとして表現している。すなわち、トンネル掘削により地すべりの挙動が発生しない場合の地山のトンネル掘削時の変形挙動を三次元解析で調べ、現場計測でそれ以上の変形が発生した場合は何らかの対策が必要となる基準値を検討した。また、解析物性値は地質調査の結果から表-1のように設定した。

(2) 解析結果

a) トンネル周辺地山の状態について

図-4に測点No.75のトンネル周辺の塑性領域を示す。青色の部分には塑性していない部分で、この結果ではトンネル周辺には緩みがほとんど発生していない。従って、トンネル掘削に伴うゆるみ領域の発生は限定的であると考えられる。

b) 地表面の変位について

測点No.75の地表面に10m間隔で図-5のように伸縮計を設置したと仮定し、トンネルを掘削する際の伸縮量の変化(圧縮を-, 引張を+)を図-6に示す。この図から地山が弾性的な挙動を呈する場合、トンネル掘削とともに計測点②～⑥区間には縮みが発生し、⑥～⑪は伸びが発生する。伸縮量が最も大きく、最大の縮みは③に発生し-0.6mmとなることが予測される。

c) すべり土塊のひずみ

測点No.75断面で傾斜計が設置されるとした場合(トンネルの中心から-D)のトンネル掘削に伴う水平方向変位を図-7に示す。トンネル周辺ではトンネル方向に向けて、最終的に1.3mm変位した。また、地表面とすべり面の位置での最終変位は、それぞれトンネル方向に0.49mm, 0.21mm変位した。もし地すべりが発生しない場合には連続的な変形挙動が生じるものと推測される。

d) 天端沈下と内空変位について

内空変位と天端沈下の予測を行う。地すべりが最も懸念されている測点No.75よりも-2D手前の測点No.77で行うことにより、実施工においての地すべり予測を行うための判断材料になると考えた。その結果を図-8に示す。内空変位は天端沈下に比べ小さく、最終変位はそれぞれ鉛直方向に7.79mm, 水平方向に5.42mm変位した。この結果より地すべりとは関係なく1cm程度の変形は発生すると考えられる。

4. まとめ

開発した三次元モデル作成プログラムの適用性を検討するため、実トンネルのモデル化を行い解析シミュレートした。その結果、実施工において地山の挙動が解析によって得られた結果に比べて小さいようであれば、地すべりが発生することはないと考えられ、数値目標を事前に決定することができた。以上のことから、二次元解析モデルを作成するのとはほぼ同作業で三次元のモデル化を行い、地山やトンネルの三次元変形挙動の予測を可能にしたこのモデル作成プログラムの優位性を確認できた。今後は、地すべり形状を地山内に表現する方法をしていきたい。

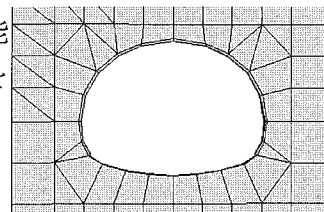


図-4. 塑性領域

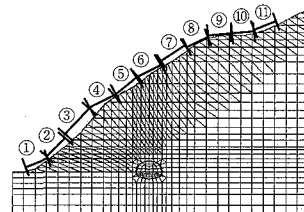


図-5. 伸縮量の測定地点

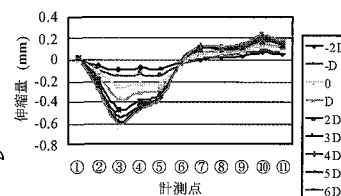


図-6. 伸縮量

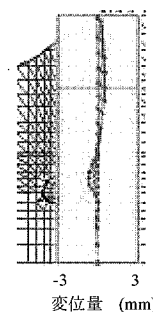


図-7. ひずみ測定地点

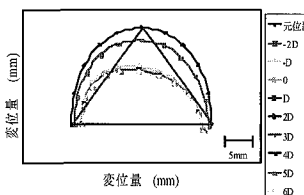


図-8. 天端沈下と内空変位