

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
山口県岩国土木建築事務所	正会員	小島 磨
西松建設(株)	正会員	千々和辰訓
山口大学大学院	正会員	進士正人

1. はじめに

トンネル掘削時に地山は三次元変形挙動を生じる。したがって、特に土被りが小さいトンネル等の場合には、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変形地山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、詳細な地形形状を表現するために要求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場合が多いが、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で作成された平面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

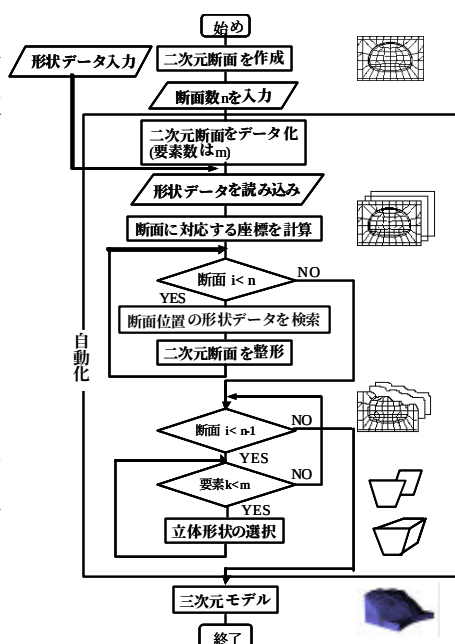


図-1 モデル作成フロー

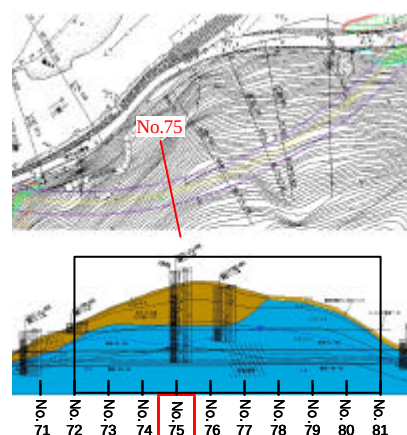


図-2 平面・縦断面図

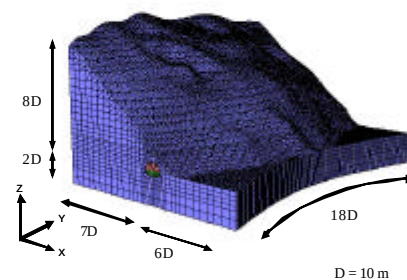


図-3 解析モデル

キーワード:モデル化 偏圧地山 〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1 山口大学工学部 TEL (0836)85-9011

前後の区間のトンネル直上には古い地すべり地形が認められている。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ブロックはトンネル領域まで達しておらず、地すべりとトンネルの間には1D程度あることが確認されている。トンネル掘削により発生する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。そこで、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、地表面形状を高精度に再現したモデル化が要求される。

3.2 数値シミュレーション

(1) 解析範囲・解析条件

偏圧地山で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でモデル化した。作成した三次元解析モデルを図-3に示す。なお、古い地すべりブロックの三次元的な分布状況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連続体として表現している。すなわち、偏圧地形でのトンネル掘削時の変形挙動を三次元解析で予測値を管理基準と考え、現場計測値と比較した。なお、解析物性値は事前の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のトンネル周辺の拡大図を示す。図中の青色部分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発生していない。従って、トンネル掘削に伴う地山のゆるみ領域の発生は限定的であると考えられる。

b) 天端沈下について

切羽位置が測点No.72+7における各計測断面の天端沈下量を解析値と計測値の比較を図-6に示す。なお、図中の曲線は計測値の近似曲線である。この図からわかるように境界付近以外は比較的解析値と計測値はよく一致している。境界付近の差が大きいのは、坑口付近の地山の物性値が設定したもののよりも小さいためと考えられる。

c) 内空変位について

切羽位置が測点No.72+7における各計測断面の内空変位量を解析値と計測値の比較を図-7に示す。図からわかるように予測される内空変位量は全体を通して約5.5mm程度であるのに対し、計測量はそれより小さいことがわかる。

以上により、現場計測値と予測値はほぼ一致し、現時点では、トンネル掘削による地すべりへの影響は小さいと考えられる。

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三次元解析を実施した。その結果、計測値と解析値はよく一致し、Wトンネルは事前予測の範囲内で施工されていることを確認できた。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することができた。今後は、トンネル坑口付近、地山内の地層構造などのモデル化を検討していきたい。

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
支保工	24.00	4000	0.2		

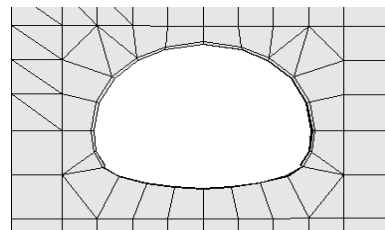


図-4 トンネル周辺拡大図



図-5 切羽位置(4/5)

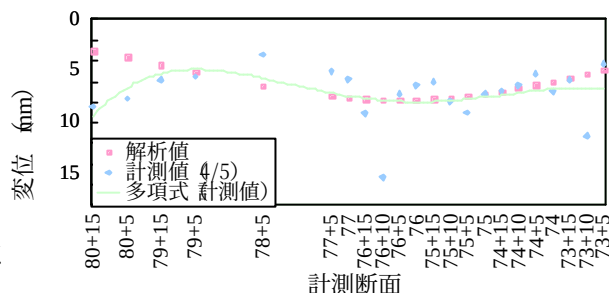


図-6 天端沈下分布

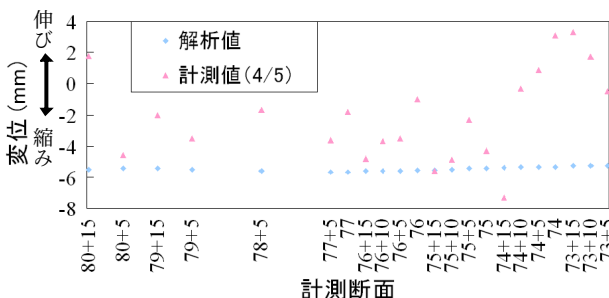


図-7 内空変位分布