

III-343

パソコンによる3次元弾性解析プログラムの開発

西松建設(株) ○正会員 平野 享
西松建設(株) 正会員 平田篤夫
熊本大学工学部 正会員 尾原祐三

1 はじめに

トンネルの掘削にともなう岩盤の力学的挙動は、一般に平面ひずみ問題として解析されることが多い。しかしトンネル切羽の近傍を解析の対象とすると、3次元的な取り扱いが必要になる。これまで3次元的な解析手法は、2次元の場合と比較して計算の負荷がかなり大きくなるので、トンネル施工に関する検討のための手軽な道具とは呼べなかった。ところでトンネルの断面は一般に馬蹄形をしており、数種類の断面形が規格化されている。そこで対象を、道路トンネルとして採用されることの多い馬蹄形状を有するトンネルに限定し、さらに周辺岩盤を弾性体と仮定した、パソコン上で実行可能な3次元弾性解析プログラムを開発した。

2 3次元弾性解析プログラムの概要

本システムは、岩盤を弾性体とみなし、特定の形状を有するトンネルが任意の初期応力状態で掘削された場合の、周辺岩盤およびトンネル壁面の応力-変形解析を行うプログラムである。

岩盤を弾性体とみなす場合、その解析に必要な入力値はポアソン比、ヤング率、初期応力値である。このような性格から、トンネルの掘削問題について最も汎用性に富む手法と位置づけられる。もっとも、岩盤を厳密にみると不連続体かつ非弾性体であるので実情にそぐわない場合もありうる。しかし変形量が微小な領域では近似的に弾性体におきかえて解析してもその差は小さいと考えられる。たとえ弾性領域を越えて大きく変形する領域が現れても、それが一部であるならトンネル周囲の定性的な応力状態は記述されると考えられる。

図1に全体の手順の流れを示す。はじめに6つの3次元地山応力成分 σ_i^j が1式のような6ケースの場合の岩盤の応答を求めておく。以後、これら合計で6組の解を基礎データと呼ぶことにする。つぎに実際の解析段階では、準備された基礎データを利用して、目的の岩盤における地山応力分だけ基礎データに重みを加え、これらを重ね合わせて岩盤挙動を算定する。ここで変位については重ね合わせのあと、さらに目的の岩盤に関するヤング率にしたがって補正される。以上の作業は2式と3式で表すことができる。ここで応力 t_i と変位 u_i は算定された岩盤挙動で、添字 i はその成分を表す。また応力 T_i^j と変位 U_i^j は重ね合わせに利用した基礎データであり、その添字 j は基礎データの算定時に入力した地山応力の0でない成分を表わす。さらに F_j^∞ は地山応力、 E は地山のヤング率、 E_0 は基礎データ算定時に用いた単位ヤング率である。

$$\begin{aligned} \sigma_i^1 &= (1, 0, 0, 0, 0, 0)^T & \sigma_i^2 &= (0, 1, 0, 0, 0, 0)^T & \sigma_i^3 &= (0, 0, 1, 0, 0, 0)^T \\ \sigma_i^4 &= (0, 0, 0, 1, 0, 0)^T & \sigma_i^5 &= (0, 0, 0, 0, 1, 0)^T & \sigma_i^6 &= (0, 0, 0, 0, 0, 1)^T \end{aligned} \quad (1)$$

$$t_i = \sum_{j=1}^6 F_j^\infty T_i^j \quad (2)$$

$$u_i = (E_0/E) \sum_{j=1}^6 F_j^\infty U_i^j \quad (3)$$

3 解析プログラムの構成

基礎データの準備段階では大型計算機上で境界要素法を利用してそのデータを構築した。境界要素法による弾性解析法は本論からはずれるので割愛する。図2～4に基礎データの構築例を示す。この解析モデルは道路トンネルを対象としており、図2のように要素が分割され、全要素数は934個である。さらに、図3のようにトンネルの切羽前方20mから切羽より坑口側20mまでの2mおきの、トンネル掘削軸と直交した面内の図4に示す位置に解析点を設けた。これら解析点の合計は3150点となる。このモデルにおいてポアソン比を0.1、0.2、0.3、0.4とした4ケースの基礎データを作成する。

実解析段階に用いるパソコンプログラムは基礎データを合わせておよそ20MBのディスク容量を必要とし、その入力力は地山の応力値とヤング率である。また目的の岩盤のポアソン比が基礎データ計算上のポアソン比と一致しないときは、基礎データ間の線形補間により重ね合わせが行われる。プログラム実行時間のほとんどは計算時間よりもむしろ基礎データの検索時間と言える。ハードディスクに基礎データを格納する場合およそ10分で計算が終了する。結果は、応力、変位、主応力とその方向余弦が全ての解析点につき出力される。

4 おわりに

トンネル掘進における3次元解析が手軽にパソコン上で実行できるシステムを開発した。これにより現場でトンネルに加わる外力を任意に設定した検討が可能になる。さらに断面形を変更した基礎データを準備すれば、道路トンネル以外にもその適用範囲がひろがると考えられる。

基礎データの準備段階

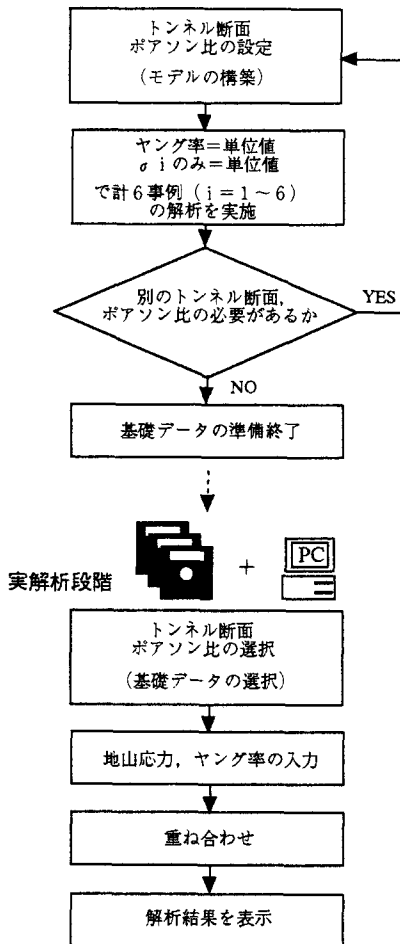


図1 手順の流れ

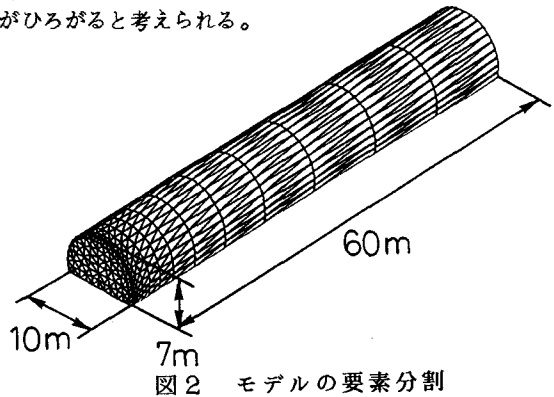


図2 モデルの要素分割

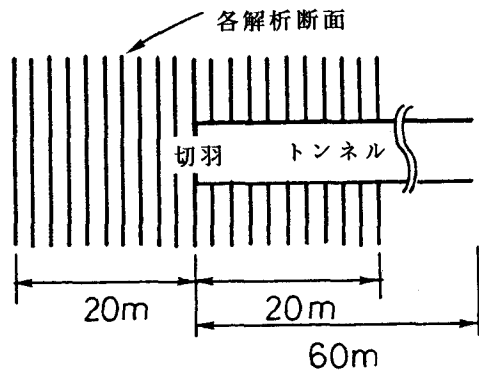


図3 解析断面の配置

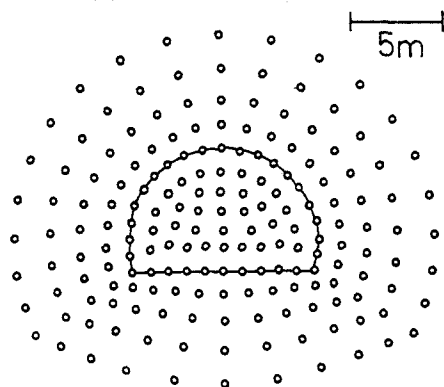


図4 解析点の配置