

(Ⅲ-20) 三次元弾塑性有限要素法による山岳工法トンネルの逐次掘削解析

大成建設（株）	正会員	○町田 晋
大成建設（株）	正会員	亀村 勝美
大成建設（株）	正会員	瀧 治雄
大成建設（株）	正会員	宮上 正男

1 はじめに

山岳工法トンネルの逐次掘削解析は、二次元で行われる場合が多い。しかし、有限要素法による二次元の予測解析の結果が現実のトンネルの変形挙動を忠実に再現できているとは言い難い場合が少なからず存在する。本報文では、同一断面の二次元と三次元モデルで、弾性および弾塑性解析を実施し、その違いについて考察する。

2 解析条件

図-1に示す解析モデルにおいては、トンネル断面形状を標準的な二車線道路トンネルとして設定し、掘削幅を12m、土被りを20mとする。地山の物性値については、都市部の未固結地山を想定して、その変形係数を50N/mm²、側圧係数をK=0.5とする。支保部材に関しては、吹付けコンクリート（吹付け厚：30cm）及び鋼製支保工（H-250）を考慮し、ロックボルトについてはモデル化しないこととする。なお、解析においては、一間（1.0m）ごとの掘削、ならびに支保部材設置のサイクルを忠実に再現した三次元逐次掘削解析を上半掘削の過程のみを対象として実施し、解析ケースとしては、解析モデル、支保部材の有無により、①弾性解析-素掘り、②弾性解析-支保部材設置、③弾塑性解析-支保部材設置の3ケースとする。

3 解析結果

図-2に、各ケースでの天端沈下履歴を示し、図-3には、各ケースにおける天端沈下量をケース①の最終変位量で正規化したものを示す。また、この三次元弾性・弾塑性解析に併せて、同一断面での二次元掘削解析を行い、その結果を図-2に示す。この二次元解析の掘削解放率については、弾性、弾塑性それぞれについて、支保設置時（当該位置より切羽が1m進行した時）の天端沈下量が三次元解析時のそれと合うように設定し、支保設置後に、残りの解放率による荷重を戴荷することとした。設定した掘削解放率は、以下の通りである。

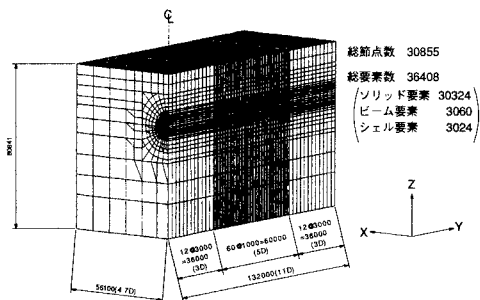


図-1 三次元解析モデル

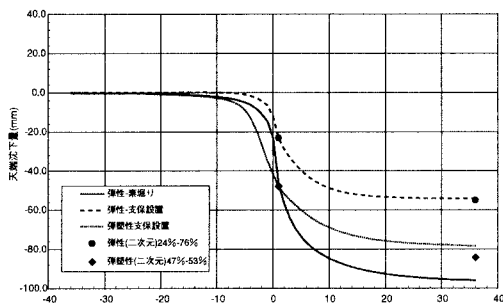


図-2 解析結果-天端沈下

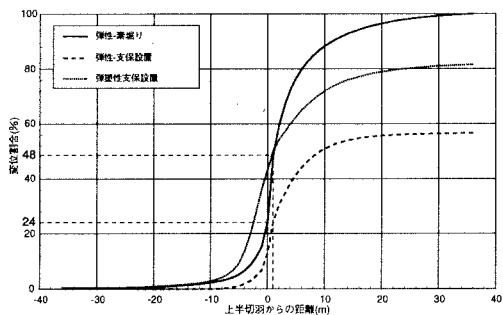


図-3 解析結果-変位割合（天端沈下）

キーワード：三次元解析、弾塑性モデル、逐次掘削解析、応力解放法、掘削解放率

連絡先：東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設（株）本社土木設計第一部解析技術室

- ・ 弾性解析 24% (素掘り) -76% (支保設置)
- ・ 弾塑性解析 47% (素掘り) -53% (支保設置)

図-4、図-5 には、各ケースでの、上半掘削時における内空変位および脚部沈下の履歴および二次元掘削解析結果を示す。なお、掘削解放率については、天端沈下量で設定したものと同じとした。

図-2 より、二次元弾性解析においては、支保設置時の掘削解放率を三次元弾性解析時のそれと合うように設定すれば、最終変位量についても、両者がほぼ一致することが分かる。また、図-4、図-5 から分かるように、同一の解放率の設定で、内空変位、脚部沈下の履歴も、二次元の弾性解析で三次元のそれとほぼ同様の結果が得られた。よって、二次元の弾性解析においては、支保設置時の掘削解放率を適切に設定すれば、三次元解析の結果とはほぼ同一の変位値を得られることが分かる。

二次元弾塑性解析の場合は、図-2 から分かるように、三次元弾塑性解析における上半掘削時の天端沈下量に合わせて掘削解放率を 47% に設定しても、最終沈下量は二次元と三次元とで異なる値を示す。また、図-4、図-5 より、この解放率による内空変位および脚部沈下値は、上半掘削時において既に、二次元と三次元の結果が大きく異なっていることが分かる。

4 考察

本条件下の二次元弾性解析において、同一の掘削解放率で、支保設置時変位量および最終変位量を三次元の結果にフィッティングすることができたのは、弾性の地山要素において、地山の変位と作用する応力との間には線形の相関があるためである。それに対し、弾塑性解析では、支保設置時の天端沈下量をフィッティングしても最終変位量は一致せず、また、それと同一の解放率における内空変位量、脚部沈下量については、最終変位量はおろか、素掘り時の変位量も二次元解析と三次元解析とで異なる結果となる。これは、解放率の比と、支保設置前後の変位の割合にもはや線形関係がないことによるものである。すなわち、塑性域がトンネル周辺地山に生じるような場合では、弾性域、塑性域の分布状況に変位が大きく影響されるため、弾塑性二次元解析に、応力解放法、すなわち、特性曲線を用いた掘削解放率を決定する手法を用いる場合には、その結果の評価に十分留意する必要がある。

5 今後の課題

本報告では、応力解放法による二次元解析の掘削解放率に着目して、弾性、弾塑性要素および二次元、三次元解析における変位の違いを示した。一方、三次元解析によっても、現実のトンネル挙動を忠実に再現できているとは言い難い。例えば、図-4 から分かるように、ケース②で内空変位が拡大傾向を示しているが、通常、多くの計測結果では縮小傾向を示す。今後は、三次元解析について、より現実に近い解析モデルを探究していく予定である。

参考文献

- 1) 田中忠次、鶴飼恵三、河邑眞、阪上最一、大津宏康：地盤の三次元弾塑性有限要素法解析、1996
- 2) 桶土井清裕、森川誠司：NATM トンネルの二次元および三次元弾塑性 FEM 解析の比較、地盤破壊の三次元的評価に関するシンポジウム発表論文集、pp297~300、1995

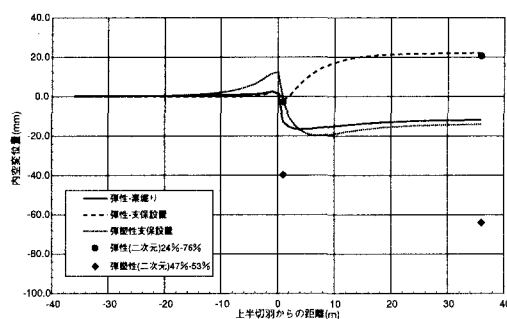


図-4 解析結果-内空変位

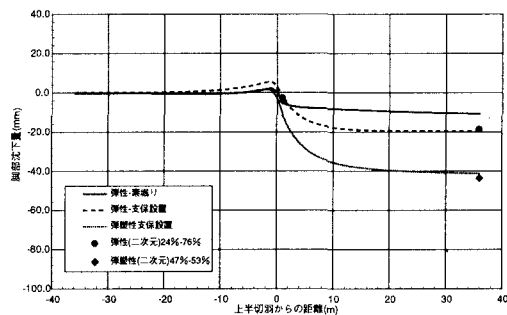


図-5 解析結果-脚部沈下