

[ 別紙 2 ]

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 外木場 康将

近年、地上部の土地利用形態を停止させることなく大規模な地中構造物を構築する需要が高まっており、特に、低土被り条件下での地中水平非開削工法の需要が増えると予想される。ところが、この非開削工法に伴う地盤挙動予測のための数値計算手法には弱点があり、これを適用すると、施工中に想定外の被害が生じたり、もしくは過度の安全を想定した不経済な施工が行われたりする。そこで、本研究は、低土被り条件下での非開削水平掘削に伴う地中構造物への影響について、室内実験で地盤崩壊メカニズムを解明し、同時にその現象を事前予測するための数値計算手法を確立すること、を目的とした。

本論文は、6章で構成されている。第1章は序論、第2章は数値解析モデルの内容、第3章はルーフたわみから想定される土層の崩壊実験と数値解析、第4章は掘削施工から想定される土層の崩壊実験と数値解析、第5章は鏡ボルトによる補助工法の有効性に関する土層実験と数値解析、第6章は結論である。

第1章では、大規模な地中構造物を必要としている社会的背景を述べた。特に、施工後40～50年経過している農業用排水路が全国に存在していて、地上部の土地利用形態を阻害せずに地中水平掘削工事を必要としている場面が急速に広がっていること、しかし、この新しい工法に対応する地盤の変形・破壊・安定問題の理論が追い付いていない状況を論じた。

第2章では、新たな数値計算手法として土の特性を考慮した弾塑性有限要素解析の適用性を検討した。使用した有限要素コードの特徴は、①地盤の限界荷重解析に適している1点積分のアイソパラメトリック一次要素の使用、②地盤のひずみ硬化・軟化およびせん断帯の影響を考慮した構成式の適用、③implicit-explicit 混合型の動的緩和法の採用による収束性が良くかつ精度の高い非線形解析、の3点である。

第3章では、先受ルーフ工法において最もリスクが大きいと予測される状況、すなわち、ルーフたわみの結果地盤が崩壊する現象を想定し、やや小型の室内モデル実験と数値解析とを行った。その際、先受ルーフの先受長や剛性を変化させ、解析の適用性を確認した。その結果、実験で得られた地盤・ルーフの変形ならびにせん断帯の発達位置による破壊過程につき、数値解析は良い再現性を示し、本数値解析モデルの有効性が確認できた。特に、実験・解析結果から、せん断帯の発生部位を的確に予測することができた。すなわち、せん断帯は、先受ルーフの剛性が小さいときは、ルーフ最大たわみ箇所直下、ルーフ先端、

切羽部に発生し、ループの剛性が大きいときは、ループ最大たわみ箇所直下、切羽部に発生することが確認できた。なお、先受長の違いによる土層の破壊モードの差異はほとんどないことも確認できた。

第 4 章では、先受ループ工法で通常の施工中に生じる被害、すなわち、ループが変形せずに傾斜しつつ地盤が崩壊する現象を想定し、やや大型の室内モデル実験と数値解析とを行った。その結果、数値解析は良い再現性を示し、本数値解析モデルの有効性が確認できた。また、室内モデル実験においてロッド式地中変位計（沈下計）、傾斜計、土圧計を用いた計測を行ったところ、沈下計は地盤の崩壊の前兆を確認することできないこと、しかし、傾斜計と土圧計は地盤の崩壊の前兆確認に有効であることを明らかにした。

第 5 章では、非開削工法に用いられる鏡ボルトによる掘削補助工法の有効性を確かめるため、室内モデル実験と数値解析とを行った。これまで、非開削工法で掘削面が自立しないときは、切羽面に土留めを施すなどの対策を行っていたが、非常に煩雑であった。そこで、切羽面にファイバーボルトを直角に挿入する鏡ボルト工法の適用を新たに考案した。数値解析は、弾塑性有限要素解析に鏡ボルトをトラス要素でモデル化することで実行した。その結果、鏡ボルトの適用はループ変形を抑制し、地盤崩壊も抑制することが明らかになった。具体的には、鏡ボルトを設置しないときは、地表面から切羽へひずみが集中するのに対して、鏡ボルトを設置するときは、切羽から地表面へひずみが集中することも確認できた。ただし、鏡ボルトをトラス要素でモデル化することは、有効性は高いが、せん断による幾何学的な変形には寄与できないなどの弱点もあり、今後の研究課題であることを示した。

以上要するに、本論文は、近年その必要性が急速に高まっている非開削工法について、低土被り条件下の水平掘削に伴う地盤崩壊過程を、室内モデル実験で詳細に測定してそのメカニズムを解明し、また同時に、これまでは過度な単純化により行われていた計算手法を見直し、室内実験を良く再現する新たな数値計算手法を構築したものであり、学術上寄与することが大きい。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。