

(様式2)

学位論文の概要及び要旨

氏 名 文村 賢一 印

題 目 トンネル掘削に伴う周辺地盤の変形と数値解析に基づく安定性評価に関する研究

学位論文の概要及び要旨

トンネルや地下空洞を掘削すると空洞周辺にはゆるんだ領域が発生する。この「ゆるんだ」という単語が意味する力学的な内容は極めて曖昧であり、初期応力レベルに比して応力が低下したとするのか？または、弾性域から塑性域に移行した領域があることを言うのか？など、様々な定義が存在する。これまで、この領域に対する具体的なかつ力学的な解釈に関する様々な議論が続けられてきた。それは、ゆるんだ領域、すなわち「ゆるみ領域」と称せられる領域を把握することが、支保工の設計や空洞安定性評価に必要なだとされるからであろう。最近では、数値シミュレーションを用いることで、実際には想定できない地山条件や物性に対しても、空洞掘削に伴う地山の変形挙動を求めることが出来るようになってきているが、地盤の不均質性や不連続性に起因する複雑な地山の挙動を予測することには、未だ解決すべき点が多く残存している。しかし、それら残存する課題解決を目指して極めて精緻な数値解析法が開発されたとして、果たしてそれが施工現場における空洞の安定性評価に対して決定的な手法となり得るであろうか？おそらく、それらを用いるためには、かなりの入力資料を準備せねばならず、正確性といった意味では価値があるかもしれないが、利便性や経済性、そして汎用性といった面では、理論解や簡略化（モデル化）した条件下での数値解に基づく判断の方が、合理性が高い場合があり得ると考えられる。初期応力条件（主応力方向、側圧係数）と地山の変形および強度定数に深く関係する変形・破壊現象の事前想定には、変位量を把握するよりも変形モード（例えば、トンネル断面内斜交2方向の変位の比など）を把握する方が有効であると思われ、変形モードを知るには、簡略化（モデル化）した条件下での数値解で十分であろう。このような観点から、本論文第1章、第2章では、トンネル掘削に伴う地盤の変形に関する既往の研究を概観するとともに、研究の目的と意義について記した。

本研究では、まず初めに、トンネルを対象として（特に土被りが浅い場合を対象として）空洞掘削時の力学的安定性に初期応力条件（主応力方向、側圧係数）が与える影響について有限要素解析（弾性解析、弾塑性解析）を用いて考察した。第3章では、トンネル施工で必須の坑口部を対象を絞り解析を実施している。トンネル変形解析は、通常2次元平面ひずみ解析として実施することが多く、この場合主応力は鉛直断面内（切羽面内）に存在する。ところが、坑口部では主応力方向が切羽面に斜交しており、2次元平面ひずみ条件を仮定することには無理があること、ならびに平面応力条件を仮定することも場合によっては有意であることを示した。また、主応力方向が切羽面に斜交する初期応

力条件下でのトンネル変形解析手順について、モール円を用いた新たな手法を提案した。そして、提案した新たな手法を取り入れた弾性解析の結果では、鉛直荷重の設定に際して、地表面傾斜角に応じて最大土被り圧の5%~39%相当の鉛直応力を見込む必要があることや、坑口部トンネル脚部に応力集中領域が発生しており、これまで経験的に坑口付けで実施してきた坑口部トンネル脚部への対策工の必要性を確認することが出来た。また、これらの結果について、ポアソン比に関する考察を行った。

次に、同じ解析条件における弾塑性解析では、応力解放率と切羽距離の関係に着目した検討を行い、切羽進行に伴う塑性領域の広がり方や、切羽周辺で地山が急激に不安定化する現象、ならびに塑性領域の進展から想定される破壊形態について記述した。但し、これらは全て地山が連続体として挙動することを前提とした検討であり、トンネルの力学的安定性評価に際しては、地山が持つ不連続性に関する検討を加える必要があることを指摘した。

トンネル掘削に伴い周辺地盤が変形し、そして破壊に至るような場合、その破壊域の広がりについて事前想定を持つことは、現場を預かるトンネル技術者にとって、極めて有効な情報である。この類の予測解析には、質点系や剛体系解析において要素の分離を許しながら、解析を進める手法が望ましいとされてきた。例えば個別要素法に代表される手法が、地盤工学・岩盤工学分野でこれまで多用されてきたことが、それらを物語っている。これらの手法の適用に際して注意することは、(1)ばねの剛性係数を如何にして決めるか、(2)解析領域内の(任意点)の応力を如何に求めるかの2点を挙げることができる。しかしこれらについては、これまで数値解析的な観点から議論が進められているが、有効な手法が存在していないのが現状である。そこで、本研究の後半部では、これら不連続体解析における2つの課題について研究を進めた。その研究成果として、第4章では、3次元質点系解析法を対象として(1)ヤング率、ポアソン比と(質点同士をつなぐ)ばね係数の関係式の誘導、(2)質点上での応力の算出が可能、という2点を備えた新たな解析手順(3次元格子ばね解析法)を得た。そして、開発した解析手法を用いた供試体レベルの岩石試験を模擬した数値解析を実施し、解析結果と理論解を比較することで解析手法の精度を確認した。これらの結果から、3次元格子ばね解析法が地盤の変形・破壊現象に適用可能であることを明らかにした。

第5章では、3次元格子ばね解析法を用いた土被りの浅いトンネルを対象とした変形および破壊解析を実施し、トンネル掘削に伴う周辺地山の応力や変形について取りまとめるとともに、変形から破壊までを連続的に評価し、トンネル周辺地山の変形モードと破壊モードの違いについて取りまとめた。そして最後に、土被りの浅いトンネルを取上げ、変形、破壊解析結果から得た知見に基づき見解を取りまとめた。

本研究は、一次的には数値解析法によるトンネル周辺地盤の変形・破壊現象の表現に焦点を当てたものであるが、数値解析的な観点のみならず、特に切羽部の安定性についてトンネル工学の面からも多くの知見を取りまとめている。