

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	地山物性の不均質性がトンネル掘削時の挙動に及ぼす影響に関する基礎的研究
氏 名	岡崎 泰幸
<p>コンピュータの発達と数値計算技術の向上により、現在、数値解析は様々な分野で活用されている。トンネルなどの地下構造物の分野においても、トンネルの設計などを目的として数値解析が用いられる場合が多々ある。しかしながら、トンネルの設計時に数値解析を用いたとしても、その解析結果が実際の挙動と異なることは珍しいことではなく、場合によっては予想をはるかに超える挙動が生じ、人身事故などの発生を余儀なくすることもある。このような困難を克服するために、トンネルなどの地下構造物の分野においては、不連続体と連続体の観点から、地山の不連続性や異方性を考慮した地山のモデル化が積極的に行われ、それらが地下構造物の挙動や安定性に及ぼす影響に関する予測・評価が数多く実施されてきた。</p> <p>その一方で、地山は、天然材料であるがゆえに同一地層内においても地山物性が空間的にばらつき（不均質性）を有しているという特徴も有している。この特徴は、不連続体の範疇で解析しうる地山の場合、不連続面に起因する挙動が卓越することから問題となることが少ないが、連続体の範疇で解析しうる地山の場合は、地山物性の不均質性に依存した挙動となり、構造物の安定性などに問題を及ぼす場合がある。しかしながら、トンネルなどの地下構造物の分野では、連続体の範疇で解析しうる地山を取り扱う場合であったとしても、地山が本来有する同一地層内における地山物性の不均質性を考慮して、地山物性の不均質性が地下構造物の挙動や安定性に及ぼす影響に関する予測・評価が行われた例は非常に少ないのが現状である。それに加え、実設計において連続体解析を用いる場合、地山を均質と仮定できる条件についてはあまり議論がなされていないに関わらず、地山物性の不均質性はモデル化に反映せず、地山の各地層を均質な材料と仮定するのが一般的である。そのため、現状の連続体解析による地下構造物の設計は、地山物性の不均質性が地下構造物の挙動や安定性に及ぼす影響に関するリスク評価を十分にできていないと考えられる。したがって、連続体の範疇で解析しうる地山を取り扱う場合の数値解析による地下構造物の設計をより高度なものとし、施工時の安全性などを適切に確保するためには、トンネルなどの地下構造物の分野においても、地山が本来有する地山物性の不均質性を考慮し、地山物性の不均質性がトンネルなどの地下構造物の挙動や安定性に及ぼす影響を予測・評価していく必要があると考えられる。</p> <p>そこで、本論文では、地山物性の不均質性が地下構造物の挙動や安定性に及ぼす影響を予測・評価していくための基礎的な知見を得ることを目的とし、地山物性の不均質性を考慮した連続体解析を用いて、地山物性の不均質性がトンネル周辺挙動に及ぼす影響に関する基礎的研究を行った。まず、本論文では、トンネル掘削解析を行う際に、どの程度の地山物性の不均質性であれば地山を均質と仮定してもよいかを明らかにする1つの試みとして、同一地層内における地山の変形特性の不均質性を考慮したトンネル掘削解析を実施し、それより得られたトンネル周辺変位を用いて地山を均質と仮定した逆解析を行った。そして、これらの解析結果のばらつきや違いを評価することにより、同一地層内におけるトンネル掘削時において不均質な地山を均質と仮定できる地山条件について検討した。その結果、地山物性の不均質性に関するパラメータである変動スケールの平均がトンネル直径に対して約0.1以下であれば、不均質な地山を大域的にはほぼ均質と仮定できることが示され、地山物性の不均質性がトンネル周辺地山の挙動に及ぼす影響を予測・評価していくためには、トンネル直径に対する変動スケールの大きさ</p>	

が重要なファクターとなりうることが明らかとなった。次に、現場データを用いて同一地層内における地山物性の不均質性を考慮したトンネル掘削解析を実施し、現場で実際に得られている支保工応力計測結果の局所的な増加を地山物性の不均質性の観点から評価できるかを検討した。また、トンネル掘削解析から得られる支保工応力のばらつきを統計処理することにより、同一地層内における地山物性の不均質性がトンネル支保工応力に及ぼす影響の定量的な評価を試みた。これらの取り組みにより、局所的に増加した支保工応力計測結果が、地山物性の不均質性の観点から評価できる可能性があることが示され、地山物性の不均質性がトンネル支保工応力に及ぼす影響を予測・評価していくためには、トンネル直径に対する変動スケールの大きさが重要なファクターになりうることが明らかとなった。また、同一地層内における地山物性の不均質性がトンネル支保工応力に及ぼす影響を確率的に評価した定量的な値を示すことができた。

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 0768 号	氏名	岡崎 泰幸
最終試験担当者	主 査 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員 審 査 委 員	進 士 正 人 清 水 則 一 麻 生 稔 彦 鈴 木 素 之 吉 武 勇	
<p>【論文題目】地山物性の不均質性がトンネル掘削時の挙動に及ぼす影響に関する基礎的研究 A fundamental study on the effects of heterogeneity of geomechanical properties on behavior of tunnels during excavation</p>			
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>山岳トンネルを構成する主な支保材料は、天然材料である地山である。トンネルを合理的かつ経済的に設計するには、地山が有する性質である不連続性や異方性、不均質性などがトンネル掘削時の地山や支保工の挙動に与える影響を事前に把握しておくことが重要である。そのため、さまざまな地盤調査や試験が実施されると共に、数値解析をもちいて地山や支保工の挙動予測が実施される。しかし、数値解析結果と実際の挙動が異なることは珍しいことではなく、場合によっては予想をはるかに超える挙動が生じ人身事故の発生をつながる事例も報告されている。地山の不均質性は、不連続性や異方性に比較してトンネル掘削時の地山挙動や支保工の挙動に与える影響を予測・評価した事例は非常に少なく、不均質性のリスク評価は現状十分ではない。</p> <p>本論文は、地山が本来有している特徴のひとつである同一地層内においても物性が空間的にばらつき(不均質性)を有するという特徴に着目し、地山の不均質性を表現する評価指標として変動スケールの平均をトンネル直径で除したパラメータを新たに提案した。その上で、地山物性の不均質性を考慮したトンネル掘削解析のモンテカルロシミュレーション結果を逆解析し、数値解析を実施する場合の均質な地山の仮定できる条件を明らかにした。そして、過大なトンネル支保工応力が計測された現場計測結果を地山の不均質性を評価することで統計的に説明できることを明らかにした。学位論文では、それらの成果を以下の5章にまとめている。</p> <p>第1章では、研究背景として数値解析によるトンネルや地下構造物の設計の現状とその課題について述べ、本論文の目的と概要およびその構成を示した。</p> <p>第2章では、トンネルなどの地下構造物が建設される地山の力学的な挙動をモデル化するための基本的な考え方を解説し、これらの分野において提案されている代表的な数値解析手法をとりまとめた。そして、従来、着目されるこなかった地山物性の不均質性を考慮した地山のモデル化とその解析方法に関する既往研究について解説した。</p> <p>第3章では、トンネル掘削解析を行う際に、どの程度の地山物性の不均質性であれば地山を均質と仮定してもよいかを明らかにすることを目的として、同一地層内における地山の変形特性の不均質性を考慮したトンネル掘削解析モンテカルロシミュレーションを実施し、シミュレーションにより得られたトンネル周辺変位を用いて地山を均質と仮定した逆解析を実施した。そして、逆解析結果のばらつきを評価することにより、トンネル掘削解析において不均質な地山を均質と仮定できる地山条件について提案した。さらに、地盤物性の不均質性がトンネル掘削時の挙動に及ぼす影響を予測・評価するには変動スケールの平均をトンネル直径で除したパラメータが重要なファクターになることを示した。</p>			

第4章では、幌延深地層研究施設建設時の原位置試験データを用いて第3章と同様な方法によって同一地層内における地山物性の不均質性を考慮したトンネル掘削解析のモンテカルロシミュレーションを実施した。そして、深度350m水平坑道掘削時のトンネルの現場計測結果（トンネル支保工応力）として得られた局所的な応力増加を地山物性の不均質性の観点から検討した。その結果、トンネル掘削解析モンテカルロシミュレーションから得られる支保工応力のばらつきを統計処理することにより、地山物性の不均質性がトンネル支保工応力に及ぼす影響を明らかにし、局所的な現場計測結果（トンネル支保工応力）の増加に対し統計的な解釈を試みた。

第5章では、本研究を通して得られた知見と課題について整理し、本論文の結論とした。

公聴会では、学内外から30名程度の参加者があり、①地山の不均質性を表現する方法として変動スケールの平均をトンネル直径で除したパラメータが重要であることがわかったが、実務者として数値解析実施時に地山の変動スケールを入力するために、ボーリング調査などから事前に地山の変動スケールを測定するにはどうすればよいか？②地山の不均質性を簡易に調査する方法としてどのような調査法を想定しているか？③礫混じり地山を想定する場合、変動スケールをどのように設定すればよいか、例えば礫と地山の強度比と等価な地山強度をどのように設定すればよいか？④逆解析を用いて地山の弾性係数を推定しているがモデル全体の強度試験シミュレーションによる弾性係数を求めるケースとの違いはあるか？⑤地山の物性値調査が十分になされていない場合の地盤物性の評価方法に関する見解などの研究全般に関する実務的な質問が多数あり、いずれの質問に対しても発表者から適切に回答がなされた。

以上より、本論文は多くの知見を与えると共に学術上きわめて重要な研究であり、独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分に値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する対応などを総合的に判断して、最終審査は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は以下のとおりである（関連論文計2編）。

- (1) 岡崎泰幸, 熊坂博夫, 進士正人: トンネル掘削解析において地山の不均質性を考慮すべき条件, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学), 第71巻, 第2号, pp.66~77, 2015.
- (2) 岡崎泰幸, 青柳和平, 熊坂博夫, 進士正人: トンネル掘削時のトンネル支保工応力に地山の不均質性が与える影響, 土木学会論文集 F1 (トンネル工学) 特別号, 第72巻, 第3号, pp.I_1~I_15, 2017.