

氏名	北川 隆
----	------

(論文内容の要旨)

本研究は、近年施工された新幹線のトンネル群を対象に、小土被り未固結地山トンネルの掘削時の地山挙動や各種沈下対策工の効果について調査・分析を行い、小土被り未固結地山トンネル掘削時の地表面沈下対策工の選定基準を提案するものである。さらに、脚部補強工のひとつとして現地における計測結果から沈下抑制効果が認められており、施工性がよく経済的なサイドパイルに着目し、室内模型実験および数値解析により、その沈下抑制効果のメカニズムを明らかにするとともに、実トンネルにおけるサイドパイルの適用性を検討し、小土被り未固結地山トンネルにおける沈下対策工の選定の考え方の確立した。

本論文は8章よりなる。

「第2章 既往の研究」では、小土被り未固結地山トンネルの掘削時の力学的挙動、地表面沈下挙動や沈下対策工に関する既往の研究の中で、本論文に関連する現地計測、模型実験や数値解析によるトンネル掘削時の地山挙動や沈下対策工の既往の研究についてその内容を述べた。これらから、トンネル横断面水平方向に実施される対策工に関しての既往の研究については、ほとんどなされていないことが判明した。

「第3章 小土被り未固結地山トンネルにおける沈下対策と地山挙動」では、小土被り未固結地山トンネルにおけるNATMの適用経緯と本論文において沈下対策工や掘削時の地山挙動の調査対象とした東北新幹線(八戸・七戸間)の小土被り未固結地山トンネルの概要について述べた。さらに、小土被り未固結地山トンネルにおいて、採用された沈下対策工の実績データを調査分析した。土被りが極端に小さい場合の地山改良工法を除くと、小土被りの場合には先受工だけでなく、脚部補強工を併用することで、切羽安定や沈下対策を図っていることが実証された。以上のことより、小土被り未固結地山トンネルでは、沈下に対する対策工の採用条件としては土被りに依存することが判明した。さらに、計測された多くのデータの分析を行い、土被り、地表面沈下、天端沈下、脚部沈下、内空変位、切羽地質、沈下形状等に注目して、地山挙動について考察を行い、地表面沈下の抑制に際しては、グラウンドアーチの形成と脚部沈下を抑制することが重要であることを明らかにした。

「第4章 サイドパイルによるトンネル沈下抑制効果に関する模型実験」では、対策工の中で坑内から施工が可能で経済的であり、地山条件によってはその効果が確認されているサイドパイルについて、その沈下抑制効果の作用メカニズムについて明らかにすることを目的として室内模型実験を実施した。その結果、すべり線と交差するような形でサイドパイルを打設することにより、地表面の沈下抑制効果が得られることが確認された。また、サイドパイルの設置条件を変えた実験により、サイドパイルについて、一定の長さ以上確保すること、トンネル支保工に十分固定すること、材質の剛性が高めることによりその効果が高まることを確認した。

第5章「サイドパイルによるトンネル沈下抑制効果に関する数値解析」では、第4章の結果を検証するために数値解析を実施した。まず、模型実験を再現するため剛塑性有限要素法によりシミ

氏名	北川 隆
----	------

ュレーション解析を行った。さらに、パラメーター解析を実施し、サイドパイルの作用メカニズム及び沈下抑制効果を発揮する条件について、つまりサイドパイルの長さ、トンネルとの結合、地盤条件について検討を行った。さらに、実際のトンネルを想定した数値解析を行い、サイドパイルの沈下抑制効果の検討を行った。

「第6章 サイドパイルの実トンネルへの適用性の検討」では、実トンネルを想定した剛塑性有限要素法を用いた数値解析により、サイドパイルの沈下抑制効果の検討を改めて行った結果、実トンネルを想定した数値解析においても、前章の模型実験・数値解析の結果と同様に、地山のすべり線をサイドパイルが跨ぐことにより、すべり線をトンネルから離れた方向に向け、地表まで及ぶ沈下を小さくする効果が有ることを確認した。また、パラメーター解析から、内部摩擦角が小さいほどサイドパイルの効果は非常に小さく、大きくなるほど効果が増加することを明らかにした。

以上の結果をまとめると、第3章では、過去事例から沈下対策工と土被りの関係について分析を行った結果、沈下対策工の採用条件としては土被りに依存することが判明した。そして、第4章、第5章、第6章の模型実験及び数値解析より、サイドパイルの作用メカニズムは次のことと解明できた。つまり、サイドパイルの作用メカニズムは、「トンネルの掘削により生じるすべり線を跨ぐようにサイドパイルを打設することにより、すべり線の位置をトンネルから離れた場所に移動させ、地盤のすべりを起こしにくくし、地表面の沈下を減少させる」というものであると結論づけることができた。

そこで「第7章 小土被り未固結地山トンネルにおける沈下対策工選定」では、これまでの各章の検討結果から、小土被り未固結地山トンネルにおけるとも下がり現象の発生する条件を、グラウンドアーチ効果とすべり線の発生面から整理した。また、サイドパイルの概念として脚部補強工と一般に整理されていたが、すべり線の発達を弱め、土圧を軽減し、沈下量を減少させる効果もあることを明らかにした。さらに、このサイドパイルは、主としてトンネル横断方向に発生するひずみ線をコントロールするものであり、今後の小土被り未固結地山トンネルの設計施工を行うにあたっては、このトンネル横断方向の地山の緩みについても十分注意を払う必要があると提言した。また、小土被り未固結地山トンネルの施工において、対策工の設計・施工については、主に現地における担当技術者の判断により決定されているのが現状であるが、過去事例から沈下対策工と土被りの関係について分析を行い、沈下対策工の選定基準を提案した。これについては、詳細な地質条件や環境条件により、該当できない場合も有るが、概ね標準的な基準として使用できることを明らかにした。

「第8章 結論」では、各章において得られた結論を取りまとめ、本研究の全体の結論を述べている。

氏名	北川 隆
----	------

(論文審査の結果の要旨)

近年、小土被り未固結地山におけるトンネルでは、地表面の沈下対策として支保工脚部補強工等の各種補助工法が施工されているが、それらの沈下抑制効果について、そのメカニズム等、具体的な検証がなされていない部分が多い。小土被り未固結地山における補助工法の効果については、数多くの研究が行われているものの、現状では、どのような地形・地質にどのような補助工法が適するのかが、補助工法をどの程度施工すればどの程度の効果が上がるといった定量化された判定指標については、まだ十分な知見が得られていない。このため、実設計における補助工法の選定基準、設計手法についても確立されておらず、補助工法の設計は、試行錯誤的、経験的になされることが多いのが現状である。このような背景から、小土被りの未固結地山におけるトンネルの掘削については、地表面の沈下対策が重要な要素となることから、脚部補強工等の沈下対策工について、その有効性・メカニズムの検証、設計・施工に当たっての選定基準の確立が待たれている状況にある。

本研究は、近年施工された新幹線のトンネル群を対象に、小土被り未固結地山トンネルの掘削時の地山挙動や各種沈下対策工の効果について調査・分析を行い、小土被り未固結地山トンネル掘削時の地表面沈下対策工の選定基準を提案している。さらに、脚部補強工のひとつとして現地における計測結果から沈下抑制効果が認められており、施工性がよく工事費も安価であるサイドパイルに着目し、室内模型実験および数値解析により、その沈下抑制効果のメカニズムを明らかにするとともに、実トンネルにおけるサイドパイルの適用性を検討し、小土被り未固結地山トンネルにおける沈下対策工の選定の考え方の確立した。すなわち、本論文は、わが国のトンネル工学の水準を高めるものとして、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平21年7月21日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。