

| | |
|---------|-----------------------------|
| 氏名 | にし おか たか はる 西 岡 敬 治 |
| 学位の種類 | 博士 (工学) |
| 学位記番号 | 論工博第 3751 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 15 年 9 月 24 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当 |
| 学位論文題目 | 複雑な地質状況下におけるトンネル情報化施工に関する研究 |

論文調査委員 (主査) 教授 大西有三 教授 小野紘一 教授 嘉門雅史

論文内容の要旨

山岳トンネルの施工においては、工事の安全性と経済性を確保するために、観測と計測結果を次段階の施工に反映する情報化施工が用いられる。しかし近年、特に道路トンネルではさまざまな制約から従来の山岳地域のみならず、市街地の近傍や低土被り地域でのトンネル計画が多くなってきている。また通行車両の大型化や道路機能の拡充からトンネル断面が、大断面になる傾向にある。さらにトンネルルート周辺の自然環境や社会環境などの環境保全問題にも十分な配慮が要求されている。このような都市部周辺における山岳工法によるトンネル施工では、非常に複雑でかつ厳しい条件の下で工事を行わざるを得なくなっており、そのため従来の情報化施工では不十分であると認識されており、新たな情報化設計・施工法が要求されている。

本論文は、都市部周辺によく見られる複雑な地質状況下で安全かつ合理的な施工を行うために、単に観測・計測に基づく状況把握にとどまらず、観測・計測結果を積極的に次施工にフィードバックさせる新しい情報化設計・施工法を提案するので、序論・結論を含め、以下の6章からなっている。

第1章は序論であり、断層破砕帯などの不連続面が数多く存在する複雑な地質状況下においては、合理的かつ経済的な支保設計や周辺地下水への影響負荷の検討が求められることを示し、地下構造物やトンネルの施工を継続するための情報化設計・施工の必要性を論じている。トンネル進捗段階ごとに得られる情報を、的確に次施工にフィードバックすることで信頼性の高い施工が可能となることを述べ、本研究の目的と内容の概要を示している。

第2章では、まずトンネル情報化設計・施工の必要性と、本研究における情報化設計・施工をトンネル施工時の意思決定支援システムと定義するとともに、既往の情報化設計・施工について概要および課題について整理している。特にトンネル情報化設計・施工に求められる新たなニーズとして、既存の施工経験が従来のままでは適応できない大断面拡幅・交差部掘削や既設地下構造物との近接施工といったトンネル特殊部での設計・施工法あるいは周辺地下水環境への配慮が求められており、これらに対応する場合の課題について述べている。

第3章では、第2章の情報化設計・施工法の必要性および既往の情報化施工法の課題を踏まえ、新しい情報化設計・施工法を提案している。まず大断面拡幅・交差部においては応力分布が複雑となることから高度な3次元解析と簡易の2次元解析を組み合わせた予測解析手法を提案している。またライフライン等の既設地中構造物との近接施工において直接変状が計測できない場合の影響評価検討手法を提案するとともに、逆解析を用いた評価手法について論じている。さらに周辺地下水影響検討として、トンネル施工の進捗段階ごとに得られる観測・計測結果を的確に次段階の施工にフィードバックする新しい地下水情報化設計・施工法を提案している。ここでは、施工実績に基づく観測データを用いた3次元浸透流解析モデルを援用することで、事前に影響発生メカニズムを把握できる利点があることを示し、より定量的な影響予測、評価が可能となると結論づけている。

第4章では、第3章で提案した情報化設計・施工法の具体的な適用事例として、京都高速道路新十条通の新十条トンネル

(仮称)を取り上げ、その有用性を検討している。新十条トンネルは京都市の東部の東山山地に位置するが、数多くの断層破碎帯が介在する非常に複雑な地質状況の下での施工になる。加えて①トンネル西端部で、シールドマシンを転換させる大断面拡幅・交差部を有しており、②トンネル東側坑口から約260m付近で老朽化した上水用導水路トンネルと近接交差をし、③トンネル周辺には複数の「行者の滝」を有する三の橋川や新池といった貯水池など重要な水文物件が存在しているなど、従来の情報化施工法では対応が難しい場所での施工である。

まず大断面拡幅・交差部では、新しい情報化設計・施工の考えに基づき、既掘削データからの逆解析により得られた地盤物性地を用い、3次元、2次元FEM解析および3次元シェル解析を行うことにより、3次元的地山の応力状態、支保工応力の分布状況を把握することを提案し、合理的な支保構造の設計を可能にした。

次に地下水情報化設計・施工法についての適用事例として、三の橋川表流水や新池への影響評価を行うため、トンネル工事の実績値を基に検証解析を行い、新十条トンネルの地山特性や地下水挙動についての実態を評価した。そして解析も用いた事前予測の結果、三の橋川については枯渇状況になることが予想されたため、工事中の応急対策工を施した。稲荷山西側の新池への影響予測評価では、稲荷山断層以西をNATMで施工した場合、その影響が大きいと判断されたため、手前で本坑掘削を停止することとした。

複数の断層破碎帯が存在する区間での導水路トンネルとの近接施工では、近接施工影響として、導水路トンネルからの引水影響と導水路トンネル構造体への影響が懸念された。引水量に対しては3次元浸透流解析による影響解析を実施し、導水路トンネル構造体の変状については計測可能な管理値の設定、既掘削データから逆解析により得られた地盤定数を用いた影響解析を実施した。その結果、特別な止水対策を講じることなく引水量は誤差の範囲に抑えることができ、適切な支保工のグレードアップで有意な変状を与えることなく本トンネルを施工できた。こうした一連の成果は、本研究で提案した新しい情報化設計・施工法の有用性を実証するものであり、今後のトンネル施工へ及ぼす影響は大きいと結論づけている。

第5章では前章までで実施した情報化設計・施工の事例から今後の情報化設計・施工への提言を行っている。トンネル掘削完成時に観察計測データの整理は当然行うが、それらを使用した設計の見直しと新しい計測手法、解析手法およびシステムの開発を提言している。

第6章は結論であって、本研究で新たに提案した情報化設計・施工の有用性が大きく、他のトンネル工事に対する汎用性が高いことを示して、研究成果をまとめるとともに、今後の課題について言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、断層破碎帯等が狭在する複雑な地盤状況下で、地下水等の自然環境保全や大断面拡幅・交差部などの地下構造物施工時の安全性、経済性を向上させることを目的として、施工中のモニタリングデータを取り込み、予測と対策効果の検証を行うトンネル情報化施工を提案し、適用した研究成果をまとめたものであり、その主な成果は以下のとおりである。

(1) 提案した情報化施工法は、トンネル掘削進捗段階ごとに得られる情報を、的確に次段階の施工へフィードバックさせるもので、より信頼性が高く安全な施工を行なうことを可能とする。特に新開発の地下水情報化施工は、従来のモニタリングデータで影響評価を行なう方法に対して、施工実績に基づく解析モデルを採用することで事前に影響発生メカニズムを把握できる利点があり、限られたモニタリングデータだけでは得ることの難しい定量的な影響予測・評価ができることを示した。

(2) トンネル工事において地下水環境問題を現実に対応可能なレベルの問題として捉えるには、定量的評価、予測精度、迅速対応、地下水制御、経済性評価などが課題であると指摘されてきた。本手法はこれらの課題に対する解決策を導く手法として、実用レベルで有効であることが認められた。特にコントロールが困難とされる地下水に対して、トンネルの掘進に伴う地山の地下水挙動を予測するとともに、適切な影響解析、評価および保全対策が合理的に実施できることを確認した。地下水挙動の同定に関しては、観測井による地下水低下観測および掘削中のトンネル湧水量のモニタリングデータが有効であり、地表における沢水や湖沼などが重要な保全要素となる場合においては、それら観測データを解析に反映させることによって、保全目的を拡大した予測・評価が可能となることを示した。

(3) 地下水に対する環境保全対策は事前に評価することが困難であることから、これまでは工事後の影響を確認して事後

補償されるケースが多かった。しかしながら、近年の環境保全に対する要求は、問題が起きる前の対応を強く求められており、その意味からも本研究で提案した手法は、地下水挙動メカニズムに基づく事前評価が可能であることを示した。

(4) トンネル等地下構造物における大断面拡幅・交差部の掘削や重要工作物との近接施工時においても、従来は事前情報の不足や解析結果の信頼性に問題があることから、過大な支保構造を選択することが多かった。本研究では適切な管理基準の設定および2次元有限要素解析、3次元有限要素解析および3次元シェル解析を組み合わせた情報化設計施工を実施することによって、3次元的な応力状態や支保工応力の分布状況を把握したものであり、合理的な支保構造を設計することができた。

以上、要するに本論文はこれまで工事着手前の地盤の情報や諸条件を見極めることが困難である複雑な地質状況下におけるトンネル等の設計・施工において、施工段階におけるモニタリング結果を分析し、これらを反映した影響発生メカニズムを把握するとともに、次段階の施工にフィードバックさせる新たな情報化設計・施工法を確立したものであり、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、平成15年9月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。