

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 高橋 浩一

本研究は、洪積層における地中掘削工事の合理的な設計・施工管理手法を、ひずみレベル依存性を考慮した数値解析により予測した施工過程での構造物と地盤の応力度とひずみに基づいて行う方法に関するものである。本研究の背景として、東京地域での地下鉄工事やビルの基礎工事等に関連して、高被水圧下にある東京礫層での掘削工事を行った場合、掘削面からの出水により地盤が崩壊する事故がかなり多い事実がある。許容値以内の荷重状態でもわずかな地盤変形により出水の危険性があるが、これはシールド掘削面や土留構造物の変形に伴って地盤が過大に変形して水みちができることが原因と考えられている。従って、掘削面近傍地盤の変形の予測が重要であるが、従来は完成系の地盤・構造物の解析が行われ、施工過程の解析は一般的でなかった。また、地盤の剛性を標準貫入試験によるN値から経験式を用いて推定して線形解析を行うのが一般的であるが、この方法で推定した地盤変形は実測値よりも過大である傾向が強い。その場合は、過大設計となりコストパフォーマンスが劣ることになる。また、特に止水目的の確実な地盤改良工事が必要であるが、巨礫が存在するために地盤改良工事が不完全なケースが多いことから、地盤改良効果の確認が重要であるが、その合理的な方法は確立していない。具体的な止水工法としては凍結工法の信頼性が高いが、工期とコストの上で問題があり薬液注入工法の信頼度を上げる必要がある。そのためには、施工中の地盤の変形量の実測値を予測値と比較することにより適切に施工管理を行う必要があるが、その方法は確立されていない。

本研究では、りんかい線大井町駅におけるシールドと立坑構造物の地中連結と言う極めて困難な工事において、施工過程を考慮した地盤と構造物の応力度と変形を二次元と三次元FEMで解析している。N値から換算式を用いて求めた大ひずみレベルでの値とPS検層から求めた微小ひずみレベルでの値に基づいた上で剛性のひずみレベル依存性に考慮して地盤剛性を推定して、事前の数値解析を行っている。更に、施工中に詳細な動態観測を行って、地盤掘削により生じた構造物の応力度変化とひずみを計測して、その結果を対象として事後解析を行うことで、上記の地盤剛性の評価法が妥当であるかどうかを検証している。その結果、洪積層を対象とした場合では、土の応力-ひずみ曲線を線形弾性体と簡略化しても、掘削によるひずみレベルの増加を考慮してひずみの関数として地盤剛を設定すれば、実務上合理的な結果が得られることを確認している。その中で、掘削領域近傍に対しては掘削に伴う拘束圧の減少の影響を考慮する必要があることを見出している。また、薬液注入工法による地盤改良効果の確認は、ボーリング孔を利用した透水試験・PS検層・比抵抗トモグラフィ法による改良範囲の確認が重要であることを示している。また、各施工段階での数値解析による変形・荷重予測値を施工管

理基準値とするが、数値解析値を動態観測結果と比較して検証しつつ次のステップへ進む情報化施工により安全に施工を実施できることを実証している。

第1章は序論であり、本研究の背景と本論文の目的と構成を説明している。

第2章では、本研究テーマに関連した既往の研究と鉄道地下構造物を対象とした地盤・構造物の応力度・変形解析に関する設計基準と施工管理手法とともに、洪積層地盤の高被圧水を持つ礫層内の掘削工事に伴う事故・トラブルの事例をまとめている。

第3章では、本研究を行った臨海副都心線（りんかい線）の大井町付近での工事を説明している。狭い幅員の都道下に地下駅を構築するため、ホームと本体に分離し、直径10 mに拡張したシールドを上下2段構造とし、それぞれのシールドと駅部立坑を立坑連続壁とシールドセグメントを撤去して連結して連絡通路を建設している。建設コストと工期に配慮した上で事故リスクを最小限にすることを目指した設計・施工計画を説明している。

第4章では、大井町駅での薬液注入工法による地盤止水工事の計画と施工、その効果の確認工事、それに付随した揚水工事の計画と結果をまとめている。トンネル・立坑と周辺地盤の応力度と変形の詳細な動態観測の計画と、新たに開発した地盤ひずみ計の詳細を説明している。

第5章は、施工過程でのトンネル・立坑と周辺地盤の応力度と変形のFEMによる解析の方法とその結果と、それに基づいた施工過程ごとの施工管理基準値の設定について説明している。非線形性を考慮した地盤の剛性の設定、二次元・三次元解析による結果の相違を説明している。

第6章では、動態観測によって得られた施工過程でのシールドセグメントに作用した荷重、シールドトンネルの変形、シールドトンネルと立坑構造物を連結した横坑構造物の支保部材の荷重、周辺地盤の変位と土圧、地盤内ひずみの測定結果を解析した結果をまとめている。

第7章では、事前数値解析の結果と動態観測結果の比較を行い、観測結果を説明できるような解析に用いる地盤の剛性としては、PS 陰層による値は大きすぎる傾向にあり、N 値から経験式によって求めた値は小さすぎる傾向にあることを示している。また、掘削面周辺では拘束圧の低下による剛性の低下も生じていることも指摘している。

第8章では、以上示した検討結果に基づいて、洪積層中の掘削におけるより合理的な設計・施工管理手法を提言し、掘削時の出水事故のリスクを軽減する具体的手法を提案している。

第9章は、結論である。

以上要するに、鉄道トンネル等地下構造物を高被圧水を持つ洪積砂礫地盤内で安全かつ経済的に施工するための重要な項目である施工中の構造物・地盤の応力度・ひずみの予測に関する研究結果をまとめ、新しい方法を提案している。今後の本研究分野の発展及び実務設計の改善に寄与する新しい知見を与えている。これらは、土質工学の分野において貢献することが大である。よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。