

京都大学	博士（工 学）	氏名	向井寛行
論文題目	大阪中之島地盤における開削施工での土留・地盤の変形解析		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、層厚の厚い軟弱粘土地盤の大規模掘削に関して、大阪市中心部の中之島線建設の開削工事を取り上げ、十分な安全性をもつ設計・施工を行うために実施した開削工事影響調査，実施設計，現場計測および弾粘塑性モデルによる有限要素解析による変形と地盤と構造物との相互作用についての研究の成果をまとめたものであり、序論、結論を含め6章から成る。</p> <p>第1章は序論であって、本研究の背景となる軟弱地盤での大規模掘削に関する諸問題、および従来の研究成果について述べるとともに、本研究の目的および各章の概要を示している。</p> <p>第2章では、中之島線付近の地形・地質概要について既存の土質調査データをまとめて整理した。中之島線の開削工事のうち、中之島駅～なにわ橋駅間では沖積粘土層を掘削する地盤条件にあり、特に中之島駅～大江橋駅間では層厚約15mの沖積粘土層が堆積し、その下層には地下水位が高く、透水性が大きい第1洪積砂礫層が堆積している。このような地盤条件下における開削工事では、層厚の厚い軟弱粘土層における現行の設計法の適用性および土留め壁の遮水性の確保が設計・施工上の課題として挙げられた。試験空洞掘削に当たり実施した地質調査結果，試験空洞の設計内容について述べるとともに、情報化設計施工としての計測管理の考え方，計測内容及び計測データをもとに行なった解析モデルの改良点について示した。</p> <p>第3章では、開削工事影響調査結果より各種土留め工法の施工性，変形性，遮水性などの性能評価を行い，中之島線の施工条件における適用性を示した。また，層厚の厚い軟弱粘土地盤を掘削する場合の土留め設計法の問題点を明らかにした。</p> <p>各種土留め工法の変形性については，試験工事の矩形形状による変位拘束効果も考慮して評価を行った結果，その効果は，SC連壁>SMW(UD)≒ONS-8≧SMW(従来)であり，遮水性についてはいずれの土留め工法も十分な遮水性を有する結果であった。これらから評価すると，いずれの土留め工法も本現場に対して十分な品質を確保することが確認されたが，本現場における施工性，経済性，周辺環境への影響を考慮するとSMW(UD)の適用性が高いと判断し，本工事においてSMW(UD)の優位性を明らかにした。</p> <p>土留め設計法については，掘削に伴う沖積粘土層の強度・剛性低下が生じることが考えられ，試験工事においてサイスミックコーン試験により掘削前後の強度変化を調査した結果，掘削前後の強度・剛性に大きな変化は見られなかったが，これは，試験工事では狭い区間の掘削で掘削時間が短かったことや重機を移動することなく掘削されたためと考えられた。さらに，3工区（渡辺橋駅）の掘削工事では，スウェーデン式サウンディング試験により掘削前後における強度・剛性の変化を調べた結果，掘削底面下1.5～2.5mでは重機の走行による掘削底面付近の強度低下を確認した。</p>			

第4章では、層厚の厚い沖積粘土層を掘削した開削工事事例より現行設計法の適用性を調査した結果、土留め変形の計測値が設計値を上回る事例があり、現行の土留め設計法が十分な安全性を確保されていないと判断された。その要因としては、①除荷に伴う吸水による強度低下、②土留め変位の増加に伴う地盤反力係数の低下、③土留め壁構築時の削孔に伴う沖積粘土地盤の乱れなどがあることを明らかにした。その結果、中之島線の実施設計では沖積粘土層における地盤反力係数および地盤強度の25%低減を考慮して設計を行った。

現場計測結果と実施設計値を比較すると、2,3工区では比較的良い一致が見られたが、1工区では計測値は設計値よりも大きな変形を示した。これは軟弱粘土地盤を掘削する段階では掘削が進行していない期間においても粘土層の圧密・クリープ変形により土留め変位が発生する現象があること、1工区では工程上、長期の放置期間が生じ、設計値よりも大きな変形が発生したことを見出した。掘削工程によっては沖積粘土の圧密・クリープ変形を考慮した設計を行う必要、すなわち粘性を考慮した構成式による有限要素解析が必要であることを明らかにしている。

また、土留め壁の計測結果がいずれの工区においても南側の変位に比べて北側の変位が大きく、左右非対称の変位形状であることを見出した。これは、北側は河川に近接し、江戸時代から護岸の改修工事が繰返し行われたため、地盤が緩く、背面土圧が大きいこと、周辺ビルの基礎部の地盤改良や杭基礎の設置により、水平荷重が小さいことが要因であることを明らかにした。

第5章では、3工区(渡辺橋駅)の開削現場を対象として、弾粘塑性モデルを用いた有限要素圧密変形解析の方法とその結果について述べた。有限要素解析に先立ち、中之島粘土の非排水三軸圧縮試験を弾粘塑性構成式による要素シミュレーションを行い、ひずみ速度依存性挙動、ひずみ硬化-軟化挙動を良く表現する結果を得ている。また、掘削工事の有限要素解析では根入れ部の挙動を除けば、土留め壁の水平変位計測で得られた土留め壁の変形モードを良く再現した結果である。これは、土留め壁の根入れ部下端を固定点と仮定した水平変位の計測結果は切梁軸力の計測結果と矛盾している。土留め壁根入れ部の変位を仮定して補正した土留め壁の水平変位は、切梁軸力の計測結果と整合することから、実際には掘削による応力解放とリリースウェルによる掘削構内側地盤の土圧低下および遮水層であるMa12のヒービングに伴って、土留め壁の根入れ部が掘削構内側に変位していると推定された。その結果、大規模掘削工事において土留め壁の水平変位を精度良く評価するには、根入れ部の変位に注意し、土留め壁の絶対水平変位量を計測し、工事管理を行う必要がある。また、事前詳細解析によって変位モードを予測することも有効であることを明らかにしている。

第6章は結論として、本研究によって得られた結果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、新たな地下鉄の駅部の建設に関連した軟弱で鋭敏な大阪中之島地盤での幅約 17m、長さ 175m、深さ約 25m の大規模開削に関するものである。試験開削による影響調査と開削時の計測に基づき、掘削の施工方法の選定を評価するとともに、実際の地盤開削での土圧、土留の変形を数値シミュレーションによって解析し、掘削に伴う地盤や構造物の変形についての研究の成果をまとめたものであり、5 章と付録よりなっている。得られた成果は以下のとおりである。

1. まず、中之島地区の地盤特性に関して原位置試験や室内試験を行いその特性を把握するとともに、軟弱地盤の開削にあたって、小規模な試験開削を行い、地盤と土留の変形挙動、間隙水圧や地下水の変動について計測し、連続壁の施工方法の評価を行っている。その上で、新たな施工方法を決定し、その施工に成功している。
2. さらに、施工中原位置での計測に基づき掘削に伴う沖積粘土層の強度剛性の低下を明らかにしている。次に、沖積地盤の開削と土留の構築時に計測を行ない、その結果より開削工程による変形特性の変化、特に開削休止期間における圧密・クリープ変形、間隙水圧の変化及び土留変形モードを解明している。
3. 次に、室内三軸圧縮試験によって中之島沖積および洪積粘土の材料パラメータを決定し、弾粘塑性構成式でモデル化している。特に用いた構成式はひずみの進行に伴う劣化をよく表現するものであり、提案モデルはひずみ軟化と粘塑性特性を表現することに成功している。水一土連成の有限要素法を用いた解析では、updated Lagrangian 法による有限変形解析法を用いており、掘削に伴う変形の局所化現象をよく説明している。
4. 計測において、土留の変形が左右対称になる現象が見られたが、シミュレーションによってこの点が明らかになった。この結果は変形しないと考えられていた洪積砂礫地盤が変形していることを示している。切り梁の変形と軸力の変化を詳細に検討し、データを補正するとともに、数値解析によって定量的にも左右非対称な変形が発生したことを説明することに成功している。
5. さらに、本研究に基づき、軟弱で鋭敏な地盤での大規模開削施工と設計手法に関する提案を行っている。

以上、要するに本論文は、軟弱で鋭敏な地盤の大規模開削にともなう地盤と土留の変形の施工性と評価を行うとともに、事前調査、計測と間隙水を考慮した変形解析手法によって設計施工に新たな知見を与えたものであり、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 22 年 1 月 29 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。