

## 学位論文題名

## 山留め壁に作用する側圧の評価法に関する研究

## 学位論文内容の要旨

従来、山留め構造物は、側圧(土圧と水圧の和)に抵抗し、地盤の崩壊を防ぐことが目的であったが、最近では都市部で掘削工事を行う際に、周辺地盤や近接構造物の沈下や移動を最小限にとどめることが最大の目的となっている。山留め構造物の合理的な設計を行うには、山留め壁に作用する側圧の大きさをその変化性状をも含めて正しく推定することが重要である。

評価や推定を必要とする問題は、①掘削前の側圧と②掘削に伴って山留め壁の変形が進むことにより生じる側圧の変化である。掘削前の側圧の推定には静止土圧( $K_0$ )状態を仮定することが多いが、 $K_0$ 状態か否かの検証や $K_0$ 値の合理的な設定方法の確立がなされていない。また、掘削に伴う側圧の変化は、多くの工事で実測されているが、定量化されていないのが現状である。

対象となる地盤は、①側圧が大きく安全上大きな問題となる沖積粘性土地盤と②地下構造物の大型化や大深度化に伴って掘削対象となってきた洪積砂地盤である。沖積粘性土地盤は、そのほとんどが未圧密か正規圧密状態にあり、不安定な軟弱地盤である。洪積砂地盤は、過去に応力履歴を受けているとともに、地中の深部にあることから大きな側圧が予測されるが、掘削対象となってから歴史が浅く、その物性は明らかにされていない。

山留め壁に作用する側圧に関する既往の研究では、初期 $K_0$ 状態を評価する主な手法として、①Jaky式あるいは②原位置実測に基づく経験値がある。前者は正規圧密土の場合にだけ適用できることが確認されているが、原位置で内部摩擦角を決定するのが困難である。また、任意の側方変位に伴う土圧の変化を評価する手法としては、③既往の実測値に基づく経験的手法、④弾塑性論などの構成関係に基づく手法、⑤要素試験に基づく手法がある。既往の実測値に基づく経験的手法は普遍性に乏しく、評価結果のばらつきが大きい。弾塑性論などの構成関係に基づく手法は、理論上合理的であるが、原地盤のパラメータを決定することが難しい。

以上のように、山留め壁に作用する側圧とその変化を評価するための簡便で合理的な方法の開発が望まれていることに鑑み、本研究は、原位置計測手法、要素試験方法、土質パラメータ決定法および側圧推定法から構成された実用的評価法と設計法を提案し、この妥当性を原位置計測結果で検証したものである。具体的には、実工事で良く用いられている地中連続壁に代表される鉄筋コンクリート山留め壁およびソイルセメント柱列壁を対象に、まず、側圧の減少について定量化されていない沖積粘性土地盤について、実測値に基づく

評価方法を検討している。次いで、深い掘削を行う場合に問題とされる洪積砂地盤の土圧の評価方法について、原位置実測からその性状を検討するとともに、要素試験の導入についても考察を加えている。

本論文は10章で構成される。

第1章では、研究の背景、既往の研究の問題点を示し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、山留め設計における側圧の重要性を明らかにする目的で、弾塑性解析を用いて、実工事を例に側圧、地盤反力および山留め壁と切ばりの剛性を変化させ、これらが山留め壁の変形に与える影響についてパラメトリックに検討した。この検討から、側圧設定が山留め設計に最も大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。

第3章では、3現場で実施した沖積粘性土地盤における実測から、掘削に伴う側圧および山留め壁の変形の性状を検討している。

第4章では、第3章の実測に基づき、掘削に伴う減少も含めた側圧の評価方法を検討している。その結果、沖積粘性土地盤における側圧減少量は、山留め壁の変形から計算した回転角で表現できることを明らかにしている。

第5章では、洪積砂地盤における実測に基づき、掘削前の側圧は、土圧係数0.5として計算した土圧と水圧の和より小さいこと、また掘削に伴う側圧減少が顕著には認められないことを明らかにしている。さらに、この原因を検討するため、山留め壁の構築をモデル化したFEM解析を行い、洪積砂地盤では山留め壁構築時の応力解放により、掘削前にすでに $K_0$ 状態から主動状態に移行しつつあることを明らかにしている。

第6章では、洪積砂地盤の側圧を評価するための新しい要素試験方法を提案している。洪積砂の $K_0$ 値、および $K_0$ 圧密後軸応力一定で側方応力を除荷した際の側方応力とひずみの関係の検討結果から、 $K_0$ 試験および側方応力除荷試験が、洪積砂地盤の側圧の評価に有効であることを示している。

第7章では、第4章および第6章の検討結果を整理し、沖積粘性土地盤および洪積砂地盤に対する側圧評価方法を提案している。

第8章では、第7章で提案した側圧の推定方法を原位置実測結果により検証している。

沖積粘性土地盤の側圧測定には、新たに開発した土圧計を用いている。掘削に伴う側圧の減少を、山留め壁の変形量を壁下端からの距離で除した回転角で推定した結果、側圧の変化性状をよく表現できることを明らかにしている。

洪積砂地盤については、要素試験および側圧と水圧の原位置実測値に基づき検討している。その結果、実測値に基づく掘削前の土圧係数は0~0.25であり、一般の設計に用いられている静止土圧係数0.5よりはるかに小さいこと、 $K_0$ 試験の載荷時の $K_0$ 値(0.1~0.3)よりもやや小さいが、側方応力解放時の $5 \times 10^{-4}$ ひずみのときの側方応力とほぼ一致し、両者の深さ方向の分布性状は良く対応していることがわかった。このことから、洪積砂地盤で原位置の土圧を推定するには、少なくとも $K_0$ 圧密試験を行う必要があり、厳密に推定するには、側方応力除荷試験が有効であることを明らかにしている。

第9章は本研究の結論であり、得られた知見を総括している。

第10章は、山留めにおける今後の研究課題を述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 田 地 利 之  
副 査 教 授 土 岐 祥 介  
副 査 教 授 角 田 興 史 雄  
副 査 教 授 石 山 祐 二

## 学位論文題名

### 山留め壁に作用する側圧の評価法に関する研究

山留め壁は従来、地盤の掘削に伴って生じる側圧(土圧と水圧の和)に抵抗し、一時的に地盤の崩壊を防ぐことを主目的に用いられて来たが、近年の都市部での掘削工事の大規模化・大深度化に伴い、周辺地盤や近接構造物の沈下および移動を最小限にとどめることが最大の目的となっている。したがって合理的な設計のためには、山留め壁に作用する側圧の大きさをその変化性状をも含めて正しく推定することが必要不可欠である。しかし従来の設計法では、掘削前の側圧の推定において静止土圧( $K_0$ )状態を仮定することが多いが、 $K_0$ 状態か否かの検証や $K_0$ 値の合理的な設定方法の確立がなされていない。また、掘削に伴う側圧の変化は、多くの工事で実測されているが、定量化されていないのが現状である。

研究対象となる地盤は、側圧が大きく安全上大きな問題となる沖積粘性土地盤および地下構造物の大型化や大深度化に伴って掘削対象となってきた洪積砂地盤である。沖積粘性土地盤は、そのほとんどが未圧密か正規圧密状態にあり、不安定な軟弱地盤である。洪積砂地盤は、過去に応力履歴を受けているとともに、地中の深部にあることから大きな側圧が予測されるが、掘削対象となってから歴史が浅く、その物性は明らかにされていない。

本研究は以上のような背景の下に、実工事で良く用いられている地中連続壁に代表される鉄筋コンクリート山留め壁およびソイルセメント柱列壁を対象として行われたものである。まず、側圧の減少について定量化されていない沖積粘性土地盤について、実測値に基づく評価方法を検討している。次いで、深い掘削を行う場合に問題とされる洪積砂地盤の土圧の評価方法について、原位置実測からその性状を検討するとともに、要素試験の導入についても考察を加え、側圧の実用的評価法を提案している。

本論文は10章で構成されるが、研究の成果を章毎に要約すると以下のようなものである。

第1章では研究の背景、既往の研究の問題点を示し、本研究の目的を明らかにしている。

第2章では、実工事を例に側圧、地盤反力および山留め壁と切ばりの剛性を変化させた弾塑性解析を行い、これらの要因が山留め壁の変形に与える影響について検討している。その結果、側圧設定が山留め設計に最も大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。

第3章では、新たに開発した土圧計を用いて3現場で実施した沖積粘性土地盤における実測から、掘削に伴う側圧および山留め壁の変形の性状を検討し、これに基づいて第

4章では、掘削に伴う減少も含めた側圧の評価方法を検討している。その結果、沖積粘性土地盤における側圧減少量は、山留め壁の変形から計算した回転角で表現できることを明らかにしている。

第5章では、洪積砂地盤における実測に基づき、掘削前の土圧係数は0～0.25であり、一般の設計に用いられている静止土圧係数0.5よりはるかに小さいこと、また掘削に伴う側圧減少が顕著には認められないことを明らかにしている。さらに、この原因を検討するため、山留め壁の構築をモデル化したFEM解析を行い、洪積砂地盤では山留め壁構築時の応力解放により、掘削前にすでにK<sub>0</sub>状態から主働状態に移行しつつあることを明らかにしている。

第6章では、洪積砂地盤の側圧を評価するための新しい要素試験方法を提案している。洪積砂のK<sub>0</sub>値、およびK<sub>0</sub>圧密後軸応力一定で側方応力を除荷した際の側方応力とひずみの関係の検討結果から、洪積砂地盤で原位置の土圧を推定するには、少なくともK<sub>0</sub>圧密試験を行う必要があり、さらに掘削に伴う側圧の変化を厳密に評価するには、K<sub>0</sub>圧密後の側方応力除荷試験が有効であることを明らかにしている。

第7章では、第4章および第6章の検討結果を整理して沖積粘性土地盤および洪積砂地盤における山留め壁に作用する側圧評価方法を提案し、第8章では、その妥当性を原位置実測結果により検証している。

第9章は本研究の結論であり、得られた知見を総括し、第10章では、山留めにおける今後の研究課題を述べている。

これを要するに著者は、山留め壁に作用する側圧とその変化を評価するための簡便で合理的な方法の開発を目的に、原位置計測手法、要素試験方法、土質パラメータ決定法および側圧推定法から構成された実用的評価法と設計法を提案し、その妥当性を原位置計測結果で検証しており、地盤工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。