

パイロット孔壁変形法による 三次元岩盤応力測定に関する研究

学位論文内容の要旨

地下構造物の計画・施工・管理において岩盤応力の評価は重要である。本研究では、応力解放法に基づいた、軟岩や水没孔などの悪条件下でも迅速に実施でき、信頼できる三次元岩盤応力測定法の開発を目的としている。

応力解放法ではオーバーコアリング時の変位やひずみを計測し、岩盤応力を評価する。現在までに応力解放法に基づく多くの手法が提案されている。変位を測定する手法は、ひずみを測定する手法に比べて、穿孔などによる線粉がある水中でも、ひずみゲージの貼付にかかる時間や接着剤の硬化不足などによるトラブルを考えずに測定できる利点がある。一方、一回の応力解放で三次元応力を求めるために、孔軸に直交する面に対する面外せん断応力による変形成分を測定する必要があるが、これは実技的に難しい。たとえば、グラウトにより斜距離の変位センサーを埋設して三次元岩盤応力を評価する方法では、グラウトと岩盤の弾性定数が異なるためインクルージョン問題となってしまう。グラウト不要のプロープ (Ghimire et al., 2004) ではオーバーコアリング径が大きく、また、プロープ設置のときに孔壁に変位センサーをひきずってしまうといった欠点を有する。

本研究では、Ghimire et al.(2004) のプロープを改良し、ボアホール孔底から穿孔したパイロットホールの3方向の直径変化とボアホール孔底からの4つの測線に沿う軸変位を変位計で測定する。これによりオーバーコアリング(146 mm から 86 mm)とプロープ(40 mm から 30 mm)を小径化した。また、変位センサーにも改良を加え、主に軟岩を対象とした迅速な測定ができるようにした。

測定された変位は三次元 FEM で計算した観測方程式に代入して三次元岩盤応力を逆算する。等方均質なアクリルや二種類の岩盤ブロックを用いた室内試験では十分な測定精度が得られた。軟岩で構成された岩盤における原位置試験では、水没孔の中にプロープを設置し、実技的なトラブルなく迅速に岩盤応力を測定することができた。測定結果は過去の孔壁変形法や DRA 法による計測結果と調和的であった。

すなわち、軟岩や水没孔といった悪条件下でも迅速に実施でき、信頼できる三次元岩盤応力測定法の開発に成功したものと考える。

論文の構成と内容を以下に示す。

第1章では、従来の岩盤応力測定方法について、原位置でボアホールやパイロットホールを用いる方法を中心にレビューするとともに、研究の目的・背景について明らかにした。

第2章では、軟岩や水没孔でも三次元応力状態を迅速に把握することを目的として開発したパイロット孔壁変形法の理論を示す。一回のオーバーコアリングにおける変位から三次元岩盤応力を評価するための観測方程式を示した。パイロットホール長を 100 mm に固定し、パイロットホールの

壁面やボアホールの底面に配置される測点の最適配置を、観測方程式のマトリクス of の性質に基づいて決定した。応力解放に必要なオーバーコアリング深さを数値解析により 200 mm と決定した。

第 3 章では、プローブの構造について説明し、軟岩にも適用できるように改良を行った変位センサーの仕様について詳述し、キャリブレーションした感度係数を示すとともにプローブの設置方法などについて述べた。

第 4 章で、均質・等方なアクリル供試体の変位を測定し、数値解析結果と比較したところセンサー自体の変位の測定誤差は最大 3% であった。次に、支笏溶結凝灰岩、来待砂岩ブロックの二軸圧縮試験により、岩盤に作用する応力の測定精度を検討したところ、主応力値の計測誤差は前者で最大 10%、後者で最大 6% であった。

第 5 章では、札幌市常盤の溶結凝灰岩採石場において、水没した下向きの測定孔と側面に水平な測定孔で原位置岩盤応力測定を実施し、パイロット孔壁変形法の実用性について検討した。測定深度は最大 2 m であり、応力解放時のトラブルはなかった。水平孔における結果では、最小主応力は -3 MPa ~ 1 MPa で側壁にほぼ垂直であった。中間主応力はほぼ鉛直で 4 MPa 程度、最大主応力は 7 MPa ~ 9 MPa で側壁にほぼ平行、かつ、ほぼ水平であった。後二者は、採掘に伴う応力集中によるものであり、当該採石場の側壁における過去の数度の山はねの原因であると考察した。下向き測定では、いずれもほぼ水平な、最大主応力 1~3 MPa、最小主応力 1 MPa 程度を得た。これらは、過去の孔壁変形法や DRA 法による計測結果と、方向は異なっていたものの、大きさは類似していた。

第 6 章は本研究の結論であり、研究で得られた主な結果について総括し、今後の展望や課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 井 義 明
副 査 教 授 三 田 地 利 之
副 査 教 授 三 浦 清 一
副 査 准教授 児 玉 淳 一

学 位 論 文 題 名

パイロット孔壁変形法による 三次元岩盤応力測定に関する研究

地下構造物の計画・施工・管理において岩盤応力の評価は重要である。本論文では、応力解放法に基づいた、軟岩や水没孔などの悪条件下でも迅速に実施でき、信頼できる三次元岩盤応力測定法の開発を目的としたものである。

応力解放法ではオーバーコアリング時の変位やひずみを計測し、岩盤応力を評価する。現在までに応力解放法に基づく多くの手法が提案されている。変位を測定する手法は、ひずみを測定する手法に比べて、穿孔などによる練粉がある水中でも、ひずみゲージの貼付にかかる時間や接着剤の硬化不足などによるトラブルを考えずに測定できる利点がある。一方、一回の応力解放で三次元応力を求めるために、孔軸に直交する面に対する面外せん断応力による変形成分を測定する必要があるが、これは実技的に難しい。たとえば、グラウトにより斜距離の変位センサーを埋設して三次元岩盤応力を評価する方法では、グラウトと岩盤の弾性定数が異なるためインクルージョン問題となってしまう。グラウト不要のプロープ (Ghimire et al., 2004) ではオーバーコアリング径が大きく、また、プロープ設置のときに孔壁に変位センサーをひきずってしまうといった欠点を有する。

本研究では、Ghimire et al.(2004) のプロープを改良し、ボアホール孔底から穿孔したパイロットホールの3方向の直径変化とボアホール孔底からの4つの測線に沿う軸変位を変位計で測定する。これによりオーバーコアリング(146 mm から 86 mm)とプロープ(40 mm から 30 mm)を小径化した。また、変位センサーにも改良を加え、主に軟岩を対象とした迅速な測定ができるようにした。一回のオーバーコアリングにおける変位から三次元岩盤応力を評価するための観測方程式は三次元有限要素法によって求めた。パイロットホール長を 100 mm に固定し、パイロットホールの壁面やボアホールの底面に配置される測点の最適配置を、観測方程式のマトリクスの性質に基づいて決定した。応力解放に必要なオーバーコアリング深さを数値解析により 200 mm と決定した。

均質・等方なアクリル供試体の変位を測定し、数値解析結果と比較したところセンサー自体の変位の測定誤差は最大 3% であった。次に、支笏溶結凝灰岩、来待砂岩ブロックの二軸圧縮試験により、岩盤に作用する応力の測定精度を検討したところ、主応力値の計測誤差は前者で最大 10%、後者で最大 6% であった。つまり、岩盤応力の測定に十分な測定精度が得られた。

札幌市常盤の溶結凝灰岩採石場において、水没した下向きの測定孔と側面に水平な測定孔で原位置岩盤応力測定を実施し、パイロット孔壁変形法の実用性について検討した。測定深度は最大2 mであり、応力解放時のトラブルはなかった。水平孔における結果では、最小主応力は-3 MPa～1 MPaで側壁にほぼ垂直であった。中間主応力はほぼ鉛直で4 MPa程度、最大主応力は7 MPa～9 MPaで側壁にほぼ平行、かつ、ほぼ水平であった。後二者は、採掘に伴う応力集中によるものであり、当該採石場の側壁における過去の数度の山はねの原因であると考察した。下向き測定では、いずれもほぼ水平な、最大主応力1～3 MPa、最小主応力1 MPa程度を得た。これらは、過去の孔壁変形法やDRA法による計測結果と、方向は異なっていたものの、大きさは類似していた。

すなわち、軟岩や水没孔といった悪条件下でも迅速に実施でき、信頼できる三次元岩盤応力測定法の開発に成功したものと考える。

これを要するに、著者は、応力解放法に基づく岩盤応力測定において、新しい測定方法を開発したものであり、岩盤力学に対して貢献するところ大なるものがある。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。