

博士 (工 学) ギミレ ヘム ナトゥ

学 位 論 文 題 名

Development of Stress Measurement System by Overcoring Method Suitable for Soft Rock

(軟岩に適したオーバーコアリング法による地圧測定システムの開発)

学位論文内容の要旨

Although the measurement of rock stresses has become more common in recent years, most of the data are from hard or moderately hard rock, with very few from soft rock. It has been felt necessary to develop a convenient method for stress measurement in soft rock. Overcoring methods, although the most reliable methods of rock stress measurement, require much time as well as heavy equipment and a skilled technician. This research aims to develop a system that measures in-situ rock stresses in hard, moderately hard and soft rock, while affording greater efficiency than existing methods, keeping in mind that the expense and measuring period be small as possible.

A stress meter has been developed that measures seven components of diametrical deformation and axial deformation in a pilot borehole during overcoring and records the measurements on a small data logger installed within it. From these deformation data, three-dimensional stress states in rock are determined using the observation equation derived from the analytical elastic solution. The stress meter is inserted into a 40-mm pilot borehole that can range in water content from dry to completely wet. The advantages of this stress meter are its smallness, ease of use, reusability, ability to measure at any borehole depth, and efficiency, since very little time is required for insertion and withdrawal and no time is needed to shift from insertion to overcoring. Moreover, elastic properties of the rock can be measured using the core in which the stress meter sits. Although the system is particularly suited to soft rock, it is applicable to any type of rock since the stress meter is highly sensitive.

Laboratory experiments were conducted to confirm the functioning of the stress measuring system by using three welded tuff blocks (40 x 40 x 40 cm) with boreholes of 40 mm in diameter at different orientations. The stress meter was inserted into the borehole and two cycles of uniaxial loading and unloading were carried out to simulate the stress relief. At the same time, elastic properties of the rock were measured using the radial and axial deformation data recorded by the data logger during the loading and unloading cycles. The calculated stresses were found to correlate closely with the applied stresses in all the three cases, indicating that the stress meter functions well.

A vertical borehole of 50m depth was drilled in the diatomaceous mudstone, which is classified as weak

rock, at Horonobe, Hokkaido and stress measurement by the borehole deformation method was carried out at different depths. The rock is massive with density as low as 1.48 g/cm^3 , reflecting high porosity of 45%, and mean value of the compressive strength is 3.21MPa. Fresh water and bentonite was inevitably used as the drilling fluid to maintain the fragile borehole wall.

In spite of the frequent occurrence of fracturing of the core due to overcoring, six measuring results were obtained. Maximum principle stress directs EW and the stress is almost uniaxial in the subsurface region of Horonobe district. This characteristic of stress condition is in harmony with the direction of the active folds distributed in the vicinity of this district. Two types of fractures, longitudinal and cross, frequently developed in the thick walled cylindrical core could have been induced by overcoring under relatively high stress condition with low rock strength. Effect of these cracks to the accuracy of the measured stress has been discussed.

The efficiency of measurement was highly dependent on the condition of borehole and three sets of measurements were taken within eight hours working period, at section where fewer cracks occurred. It has been proved that the stressmeter is applicable in weak rock and that the measuring system adopted is practical, although the stressmeter suffered some damages at sections where the core was highly fractured.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 島 洋 二

副 査 教 授 金 子 勝 比 古

副 査 教 授 三 田 地 利 之

副 査 教 授 三 浦 清 一

学 位 論 文 題 名

Development of Stress Measurement System by Overcoring Method Suitable for Soft Rock

(軟岩に適したオーバーコアリング法による地圧測定システムの開発)

せん断応力を蓄える能力のある岩盤内は、過去に受けた様々な履歴の下で3次元応力状態になっている。この初期地圧は、種々の地下開発を合理的に進める際に必要となる基本的な情報であるが、測定する以外に詳細は知れない。地圧応力は硬岩や中硬岩に対しては測定可能になっているが、軟岩に対しては有効な方法がないのが現状である。軟岩は強度が小さいために、そこに空洞を設けると種々の変状が現れる。もし地圧がわかれば適切な対応が可能となる。とりわけ軟岩の占める割合が多いわが国においては、軟岩に適した地圧測定法の出現が望まれる。

本研究では、軟岩に適用し得る地圧測定法の開発を目的として、軟岩中で地圧測定をする際に現れる諸問題を考察し、それに基づいて1回の測定で3次元地圧応力を決定できる地圧測定器ならびに周辺機器を設計・製作し、室内試験と原位置試験によって、開発した地圧測定システムが所期の性能を有し実用に耐えることを明らかにしている。以下、本論文各章の成果を要約する。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を示し、地圧測定技術に関する既往の研究を示した上で本研究の位置付けをしている。

第2章では、軟岩に適した地圧測定システムを開発するに際して考慮すべき諸条件について検討している。工学的に有用な情報であるためには3次元応力を知る必要があること、軟岩を測定対象とするためには、時間依存性の変形を測定できること、迅速な作業が望まれること、孔壁が泥で覆われた状況の下でも正常に作動する測定方式を採用する必要があること、などを指摘している。そして、孔の変形を計測対象とするオーバーコアリング法(孔変形法)が上記の条件を満たすこと、センサーとして片持ち梁式変位計ならびに π 型変位計が有利であることを明らかにしている。

第3章では、まず著者が設計した径 40mm の観測孔に挿入して使用する地圧測定器について、孔の径方向と軸方向の伸縮を7成分測定し、測定結果を小型データロガーに記録する構造になっていること、孔壁は測定器から僅かな荷重しか受けないこと、

任意方向の孔に適用可能なこと、耐水性があることなどを説明している。つぎに7成分の測定値から3次元地圧応力を評価する観測方程式を導出し、本方程式の係数マトリックスが他の類似の測定法に比べて各応力成分が格段に精度よく評価される特性を持っていることを見出している。またセンサーの検定作業を行い、センサーの感度が十分に高いために本地圧測定器が軟岩だけでなく硬岩に対しても使えることを明らかにしている。さらに地圧測定器を挿入した厚肉円筒形コアを一軸載荷する試験を軟岩を用いて行い、本試験法が地圧を評価する際に必要なヤング率とポアソン比を合理的に求める手段として、また地圧測定器が測定対象岩石に対して正常に機能することを検定する手段として有用なことを確かめている。

第4章では、孔が水平、鉛直、斜めに作孔された凝灰岩ブロックを用意し、ブロックに地圧測定器を挿入した後、載荷する試験について述べている。地圧測定器で得られた測定値を観測方程式に代入して求めた値と負荷応力は15%以内の誤差で一致し、6応力成分のいずれも同一の正確さで評価されているので、地圧測定器が期待通りの性能を有していることを明らかにしている。

第5章は、地圧測定システムを構成する地圧測定器以外の要素技術について述べている。地圧測定器を挿入する観測孔の作孔作業は、一連の測定作業の中で最も困難であり、この作業を短時間で確実に済ませるために作孔長を50cmとした。この制約条件のために、観測方程式を改めて誘導したが、係数マトリックスの特性は実質的な影響を受けないことを確認している。つぎに観測孔に地圧測定器を挿入した後に切り離す機構は、圧縮空気を利用しているために水没状態にある下向き孔の場合には、水深が70mになると水压に対抗できずに機能しなくなるために、測定深度の限界を与えることを原位置実験により確かめている。

第6章では、幌延の軟弱地層を対象に露頭部において地表から下向きに作孔した50m長の孔に沿って実施した地圧測定の事例について述べている。岩石強度に対して地圧が相対的に大きいため、オーバーコアリング中にコアに割れ目が入るなど、測定作業は劣悪な環境下で行われたが、それにもかかわらず、決定的な不都合は生じなかったこと、割れ目の頻度が小さい場合には1日に3回の測定が可能で高い作業能率が得られたこと、など実用性に優れていることを明らかにしている。各深度で得られた地圧測定結果は互いに似ており、これは当該地域における広域地圧応力場とも調和的であるので、信頼性の高い測定結果が得られたことを確かめている。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

これを要するに、著者は、軟岩に適用しえる地圧測定方法を開発し、原位置での測定でその有効性を実証したもので、岩盤力学ならびに地盤工学の発展に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。