



Title	宇根鉦山における地下水位および水質の挙動分析と残壁安定化を目的とした降雨対策〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	近藤, めぐみ
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第7124号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81282
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Megumi_Kondo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 近藤 めぐみ

学 位 論 文 題 名

宇根鉱山における地下水位および水質の挙動分析と残壁安定化を目的とした降雨対策
(Analysis of groundwater level fluctuation and its quality around rock slopes and countermeasures
against rainfall toward stabilizing the slope at the Une mine)

本論文は、石灰岩残壁の安定性確保を目的として、残壁変位に与える地下水挙動と残壁変位挙動の分析を行い、それに基づき実施した降雨対策工事の効果の検証を行った。また、残壁地下水の水質分析を行うとともに水質の特徴を分析し、地下水挙動の評価手法としての水質分析の有効性について論じた。

第2章では、研究の対象となる武甲山残壁の概況として、武甲山の地質および残壁規格、残壁のモニタリング結果について述べた。武甲山の残壁は日本最大級となることから、安全を考慮した残壁設計を行い、表面変位計測を始めとした様々な手法を取り入れながら残壁挙動のモニタリングを行ってきた。また、これまで武甲山で実施しているモニタリングである表面変位計測および挿入式傾斜計、調査坑道計測の計測手法について述べた後、それぞれのモニタリング結果から読み取れる残壁の全体的な挙動について考察するとともに、各計測手法の特徴と精度について考察した。また、調査坑道内の亀裂変位計測は高精度かつ安定した連続データを取得可能であるとともに、残壁表面計測結果との相関性が高いことから、残壁変位の分析に有用であることを明らかにした。亀裂変位計測の結果を利用することにより、残壁変形を高精度に分析することが可能になった。

第3章では、各計測手法によるモニタリング結果において、降雨時に残壁変位の著しい増加が確認できることから、岩盤に浸透した降雨が何らかの影響を与えていると考え、地下水位が変位に及ぼす影響を分析し、その要因を考察した。まず、残壁に設置した間隙水圧計の計測データから、岩相ごとの地下水位挙動を分析し、それぞれの岩相が有する地下水挙動の特徴を考察した。その結果、石灰岩の地下水位は、互層帯や緑色岩類と比較して、降雨時に急激に上昇し、上昇幅も大きいことを明らかにした。また、複数の降雨時の投げ込み式水位計の結果から、降雨と水位上昇の関係を分析し、特に水位上昇が大きい宇根鉱山東側において、旧沢地形や断層が水位上昇に与える影響について論じた。更に、調査坑道内の亀裂に設置した亀裂変位計を用いて、地下水位と亀裂変位速度の関係性を分析し、降雨パターンによる残壁変位挙動メカニズムの相違や残壁変位に支配的な地下水位の特定を行った。その結果、降雨時には残壁上部の地下水位が残壁変位に支配的で、豪雨時は残壁下部の地下水位が支配的であることが明らかになった。また、亀裂変位計が地表面変位と相関性があることから、地下水位は残壁全体の変位に大きな影響を与えていることを具体的に論じた。

第4章では、地下水位挙動の考察に基づき実施した、宇根鉱山の残壁安定化工事の事例を示した後、その効果について論じた。残壁安定化工事には、浸透防止対策、水抜き対策、せん断面対策の3種類があり、この中で浸透防止対策と水抜き対策を降雨対策工事としている。まず、各工事の目的と施工方法を示した後、工事の工程とモニタリングデータを比較分析し、各工事の効果を検証した。浸透防止を目的とした舗装工では、降雨時の地下水位の上昇抑制効果を確認し、降雨による変位の抑制効果を明らかにした。また、水抜き対策工事として実施した揚水工に関しては、地下水位の明確な低

下や、全体的な亀裂変位速度の低減効果を確認した。各対策工事は緊急性があるために同一期間で実施しているものもあり、それぞれの効果を個別に判別することは現状では困難であるが、施工時期や水位低下状況を考慮すると、せん断面対策工事の効果より降雨対策工事の効果が大きいことが明らかになった。更に、重回帰モデルを用いて過去の最大降雨量を大幅に上回るような豪雨が襲来した場合を想定したシミュレーションを行い、一連の降雨対策工事により、水位上昇が抑制されることを示した。これにより対策工事の効果と妥当性が検証された。

上述の降雨対策工事の効果により、武甲山の残壁は安定方向に向かっていると判断されているが、将来にわたる長期的安定性を確保するためには、地下水理の実態を把握した上で、残壁の安定化のための管理手法を構築する必要がある。しかし、石灰岩地帯の地下水理は複雑であり、残壁の安定化に直接影響する地下水を同定し、その水頭を低下させることは難しい。そこで、第5章では、新たな水抜き対策工事の評価手法として、残壁内の地下水を採取・分析し、降雨や岩種によって水質がどのように変化するかを分析した。湧水量、pH、ECなどの現場計測結果から、当該残壁内の地下水は、石灰岩層中の地下水、下盤の緑色岩類中の地下水、互層帯中の地下水に分類されることが判明した。更に、各種イオンなどの水質分析により、岩種と地下水の水質との対応がより明瞭となり、石灰岩、緑色岩類、互層帯のそれぞれに由来する地下水の判別が可能となることを指摘した。次に、第4章で述べた水抜き対策工事の一つである揚水工の水質変化を詳細に分析し、各岩相に由来する地下水の混合比率を求めたところ、揚水された地下水は、石灰岩層と互層帯のそれぞれに由来する地下水が混合していることがわかり、由来する地下水の混合比率を評価することができた。また、揚水工による残壁中の亀裂変位速度の低下は、互層帯からの湧水量の減少に起因していることが明らかになった。この結果から、地下水の水質分析により地下水流動経路などが推定可能であることを示し、水質分析が残壁管理計測として有効であると結論付けた。

終掘後も含めた長期的かつ恒久的な対策に関しては、今後さらなる検討が必要と考える。今後もこれまで実施してきた水抜き効果を確認しながら、より効果的な浸透防止対策、水抜き対策の検討が求められる。また、水質調査を継続し、どこから地下水が流入し、残壁変位にどのような影響を与えているかを解明する必要がある。これらを通じて、長期的な武甲山残壁の安定管理が期待される。