HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Field Measurement and Numerical Analysis of Long-term Deformation of Rock Slope at Higashi-shikagoe Limestone Qaurry, Japan [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Amagu, Amagu Clement
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15627号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90916
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Amagu_Amagu_Clement_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　Amagu Amagu Clement

審査担当者　主　査　准教授　児玉 淳一
副　査　特任教授　藤井 義明
副　査　教　授　川崎 了
副　査　教　授　石川 達也

学位論文題名

Field Measurement and Numerical Analysis of Long-term Deformation of Rock Slope at Higashi-shikagoe Limestone Qaurry, Japan
(東鹿越鉱山における岩盤斜面の長期変位計測と数値解析)

露天掘りの石灰石鉱山である東鹿越鉱山では,1996 年に起きた岩盤斜面 (残壁) の崩壊を契機に,2002 年から Automated Polar System (APS) による残壁の動態監視を行ってきている。そして, 光波の発射点と残壁に設置したミラーとの間の距離 (斜距離) の減少速度の分析により,2004 年に発生した 2 回目の岩盤崩落の予知に成功し, 斜距離等の変位のモニタリングは残壁の安定性監視に有効であることを実証した。2007 - 2009 年には, 残壁の安定性を高めるために, 崩落箇所上部の残壁を切り直すなどの対策を講じたが, その後も斜距離は減少し続けるという問題が見つかった。2009 年以降の斜距離の減少速度は,2 回目の崩落時の値に比べてかなり小さいものの, 今後の残壁の安定性評価には, 斜距離の減少などの残壁変位の原因を解明することが重要である。本研究は,APS による変位計測の結果の分析と数値応力解析により, 東鹿越鉱山で観測されている残壁変位の原因について考察したものである。

まず, 残壁変位の特徴を明らかにするために,3 次元成分の分析が可能になった 2014 年からの計測結果を対象に, 斜距離に加えて, 鉛直方向や水平方向の変位成分の分析を行っている。そして, 水平方向の変位成分が大きく, 残壁は全体的に前方に変位していること, 斜距離の減少の大きさは残壁内の位置により異なり, 北部と中央部では, 残壁中腹で斜距離が大きくなるのに対して, 南部では残壁脚部の斜距離が大きくなることを見出している。そして, このような変位が生じる原因として,(1) 残壁の脚部に賦存している粘土混じりの石灰岩の劣化,(2) 残壁全体のせん断滑り,(3) 採掘による水平応力の解放が考えられることを指摘している。

次に, これらの 3 つの因子が残壁の変位に与える影響を把握するために, 室内試験と Geological Strength Index(GSI) から地盤のヤング率を推定したうえ, 東鹿越鉱山の 2 次元数値モデルを製作し, 応力解析を実施している。そして, 上記 (1) と (2) のみでは, 計測結果を十分には説明できず, 上記 (3) が残壁の変位に大きく関与している可能性を指摘している。さらに, 掘削変位の定量的な評価には, 粘土混じりの石灰岩の塑性変形の影響を考慮する必要があることを指摘している。

続いて, 採掘に伴う水平応力の解放による残壁の変位を適切に評価するために, 地盤の弾性係数と鉱山の周囲の広域的な応力場の推定を行っている。2014-2017 年における鉱山の 3 次元モデルを製作し, この期間の水平成分の変位の計測結果に対して, 逆解析を行うことにより, 地盤のヤング率と主応力の方向と大きさを求めている。まず, モデルサイズの影響について検討し, モデル全体の寸

法は採掘領域の寸法のおよそ 4 倍に設定すれば良いことを明らかにした後, 残壁脚部の粘土含有石灰岩のヤング率の影響について検討している。そして, 粘土含有石灰岩は広域応力の推定にはほとんど影響を与えないこと, 逆解析により推定したヤング率は室内試験と GSI から推定した結果とほぼ同じ大きさであること, 最大主応力の方向は, 現場計測で評価された方向と概ね一致し, 太平洋プレートの動きの方向とも矛盾しないことを見出している。

最後に, 推定した広域応力場のもとで, 粘土含有石灰岩の塑性変形を考慮した 3 次元数値解析を実施し, 採掘に伴う残壁の変位を推定したうえ, 計測結果との比較を行っている。まず, 広域応力場において弾塑性解析を実施するために,3 次元モデルの側面の法線が推定した広域応力の主応力の方向と一致するようにモデルを回転させる手法を考案し, その妥当性を検証している。次に, 粘土含有石灰岩を完全弾塑性体と仮定して, 弾塑性解析を実施し,2014-2017 年における残壁の掘削変位を推定している。そして, 弾性解析による推定値に比べて, 弾塑性解析による推定値は計測結果に近いことを明らかにし, 東鹿越鉱山で観測されている継続的な残壁の変位は, 採掘の影響によるものであること, 粘土含有石灰岩は塑性変形していることなど, 残壁の変位の原因を解明している。さらに, 斜距離の減少速度が 2018 年以降に小さくなっていることから,2018-2019 年に実施されたモルタル吹付工などの対策工により, 粘土含有石灰岩の塑性変形が抑制されている可能性を指摘している。

これを要するに, 著者は, 露天掘り鉱山で観測されている残壁の変位の特徴を明らかにするとともに, 残壁の変位の原因を解明することに成功しており, また, 弱層が存在する場合の広域応力の推定方法や広域応力場における 3 次元弾塑性解析の手法を構築するなど, 岩盤工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があるものと認める。