HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Prediction of Rockburst at Mufulira Mine, Copperbelt, Zambia [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Sinkala, Pardon
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15382号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89748
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Pardon_Sinkala_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　Pardon Sinkala

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

学位論文題名

Prediction of Rockburst at Mufulira Mine, Copperbelt, Zambia
(ザンビア共和国カッパーベルトに位置するムフリラ鉱山における山はねの予測)

本論文は、ザンビア共和国のカッパーベルトに位置するムフリラ鉱山における山はねを予測する方法の開発をテーマとしている。山はねというのは、主に地下深部の硬岩中のトンネルや鉱山等の地下空洞において、表面または表面近くの岩盤が示す、激しいぜい性破壊のことであり、大音響や激しい振動、岩片の飛散を伴い、ときに物的・人的被害を及ぼす。したがって、山はねの発生を予防することができれば、深部鉱山の安全で安定した操業のために大変役に立つ。山はねの対策としては支保の重装備化や緩め発破などが試みられているが、これらを広範囲に施すことはコスト的に困難である。しかし、山はねの危険性が高い区域が予測できれば、その部分のみに対策を施すことができ、トータルコストの改善が期待できる。

本論文では、上記鉱山における山はねの事例を取り上げ、数値解析による予測を試みている。山はねの発生には、採掘に伴う応力変化が大きく影響し、これを正確に評価するには山はね発生現場近傍のみならず、ある程度広範囲な三次元解析が欠かせない。数値解析法として一般的な有限要素法や岩盤の数値応力解析として広く用いられている商用有限差分法の FLAC3D 等による広範囲三次元解析には、莫大なメモリーや解析時間が必要と予想される。そこで、解析には、板状鉱床の解析に特化した境界要素法の一種である変位くい違い法が用いられた。初期モデルから、1 採掘ステップあたり、切羽を 3 m 進行させ、約 300 ステップで最後の山はね発生時の採掘レイアウトとした。

まず、鉱床に作用する直応力の値と山はね発生との相関が調査された。弾性解析では、

最も高い直応力が採掘レベル間のチェーンピラーに生じるが、山はねは、鉱柱やマイニングドライブ沿いで生じており、相関は見いだせなかった。次に、三次元弾性解析の結果得られた応力状態を再現できるような境界条件の下で、有限要素法による山はね発生断面の詳細な二次元解析が行われたが、採掘に伴う破壊接近度の顕著な増加は認められなかった。

そこで、クリープ損傷の概念が導入された。破壊接近度の n 乗として評価されるクリープ損傷速度を累積し、クリープ損傷が 1 に達すると破壊するという仮定を用い、変位くい違い法で得られた直応力を基に、鉱床要素の破壊を解析した。解析の結果、山はねが発生したタイミングにおける山はねが発生した位置での新たな鉱床要素の破壊として、山はねを概ね再現することができた。また、鉱柱を部分的に取り除くことによって山はねリスクが高まることを数値的に確認し、採掘方向を変えることで山はねリスクを低下させ得る可能性を示した。

クリープ破壊の解析では、山はねが起きた箇所以外でも鉱床要素の破壊が予想されたため、この欠点を克服するために鉱床要素の破壊に伴う変形を考慮した弾塑性解析方法が提案された。山はねの再現には至らなかったものの、弾性解析よりも実際に近い応力分布が得られた。

これを要するに、著者は、深部鉱山における山はねの予測方法の開発に成功し、山はねの発生や山はねリスク低減に関する新知見を得たものであり、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あるものと認める。