HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ザンビア共和国の深部銅鉱山における山はね
Author(s)	西原, 正泰; Sinkala, P; 藤井, 義明 他
Description	2019年度資源・素材学会北海道支部総会および春季講演会、2019年6月15日、JAEA 幌延深地層研究センター、幌延町
Citation	資源・素材学会北海道支部春季講演会要旨集, 2019, 3-4
Issue Date	2019-06-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/76059
Type	conference paper
File Information	MMIJ-H_2019S_p3-4.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ザンビア共和国の深部銅鉱山における山はね

北大工　西原正泰・Sinkala, P.・藤井義明・児玉淳一・福田大祐、
Mopani Copper Mines Plc, Chanda, E.

1. はじめに

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では、Chalcocite（輝銅鉱）、Chalcopyrite（黄銅鉱）、Bornite（斑銅鉱）といった高品位な鉱石が採鉱され、国の経済を支えている。しかし近年この地下深部における採鉱に伴い山はねが頻発している（図 1、表 1）。

図1　1440 m レベルの山はね（2018 年 3 月 14 日撮影）

表1　山はねの発生状況（2016 年 6 月~2018 年 1 月）

日/月/年	時刻	マグニチュード
10/6/2016	12:34	2.4
10/6/2016	01:05	1.7
30/8/2016	14:07	1.4
10/9/2016	16:54	1.4
19/9/2016	06:48	2.2
19/9/2016	10:53	1.4
13/11/2016	19:33	1.3
14/11/2016	19:19	1.7
28/1/2017	3:50	1.6
1/7/2017	17:26	1.6
12/7/2017	8:43	2.2
16/1/2018	17:07	2.8

山はねとは、坑道やトンネルの表面または表面近傍の岩盤が急激に破壊する現象であり、一般に地下深部の硬岩で構成される空洞で発生しやすく、しばしば微小地震として観測される。山はねが生じると機材が損傷し、鉱山の操業に悪影響を及ぼす。幸いなことに過去三年間における負傷者はいない。

本研究の目的は、山はねの発生メカニズムを明らかにし山はねの防止方法について検討するために、山はね発生の背景を明らかにすることである。そのため、山はね発生地点付近で採取した岩石を用いて一軸圧縮試験と圧裂引張試験を行い。求められた物性値を用いて応力解析を行なった。

2. 岩石試験

鉱体と下盤の転石をボーリングマシンで直径30 mmにボーリングし、平面研削盤を用いて精度0.02 mmで長さ60 mm(一軸圧縮）または30 mm(圧縮引張）の供試体を整形した。供試体は湿度100%、室温295Kの環境に2週間保管、その後岩石の直径・長さ・質量を測定、一軸圧縮試験（図2）と圧裂引張試験を行った。試験結果を表2に示す。

表2　岩石の物性値。平均値（供試体数）±標準偏差で示す）

サンプル	圧裂引張強度（MPa)	一軸圧縮強度（MPa)	ヤング率（GPa)	ポアソン比（GPa)
鉱体	13.9(4) ± 1.3	253(4) ± 20	69.5(4) ± 1.3	0.241(4) ±0.04
下盤	14.4(5) ± 3.2	265(5) ± 16	57.5(5) ± 5.4	0.222(5) ±0.030

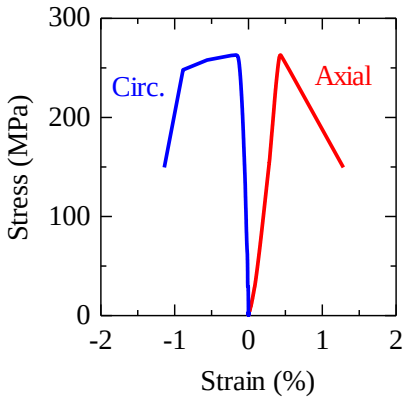


図 2　一軸圧縮応力－軸ひずみ線図の例

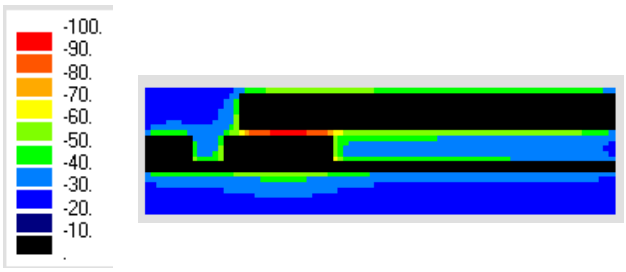
3. 応力解析結果

境界要素法の一種で板状鉱床採掘問題に特化した変位くい違い法（Fujii et al., 1997)を用いて弾性応力解析を行った。解析では1423 m~1457 mレベルの採掘跡と坑道を辺長3.33mの要素でモデル化（図3）、ヤング率とポアソン比 ν は、一軸圧縮試験の平均値である、岩盤で57.5 GPa、0.222、鉱体で69.5 GPa、0.241を与えた。鉛直応力は27 kN/m^{3}に対するかぶり圧、水平応力はかぶり

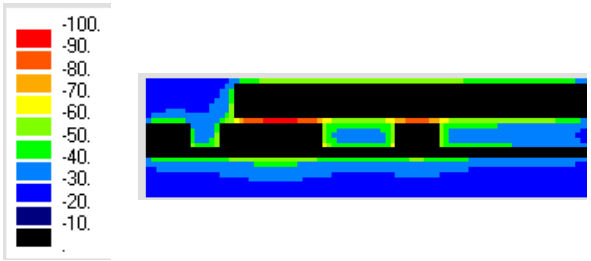
圧のν/(1-ν)倍で与えた。パネルは下盤からみることになるので傾斜を136.02°とした。

鉱体の垂直応力分布を図4に示す。1423 mレベルと1440 mレベルのパネルの間のピラーに大きな応力集中が予想されているが、実際はここは既に採掘のための発破により既に破壊しているものと思われる(Fujii et al. 1997)。40～50 MPaの応力が集中している山はね現場はちょうど弾塑性境界のようになり、採掘に伴う小さな応力増加(図5)により、激しい破壊が生じたものと思われる。

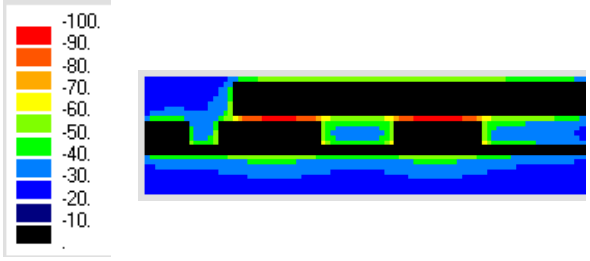
図 3 坑道のレイアウト(0 既採鉱 1 未採鉱)



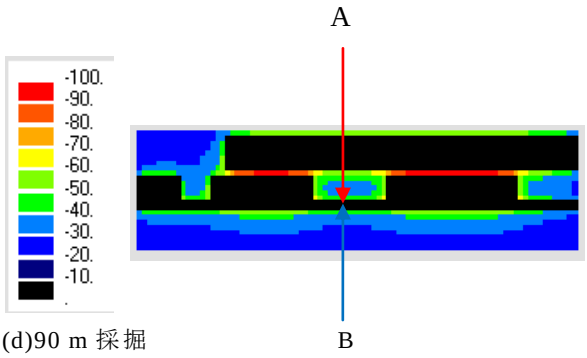
(a)採掘前



(b)30 m 採掘



(c)60 m 採掘



(d)90 m 採掘

図 4 垂直応力の分布(MPa)

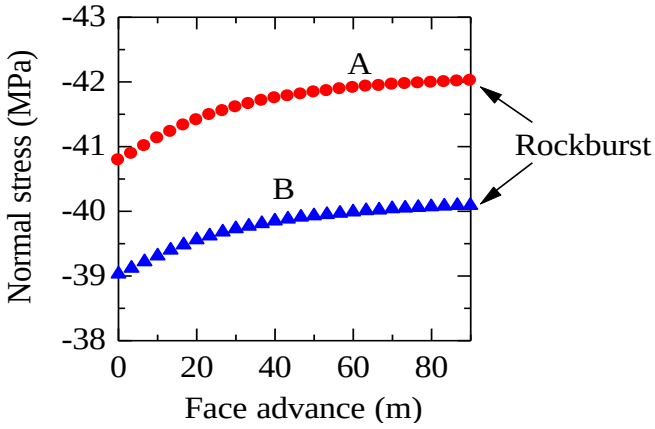


図 5 鉱体の垂直応力と採掘地点の関係図

4. 結言

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で頻発する山はね発生の背景について検討した。

一軸圧縮試験において、岩石の強度は大きく、破壊は非常にぜい性的であった。

応力解析では、山はね発生地点周辺に、ある程度の応力集中がみられた。

山はねが起きた現場の岩盤は採掘前には比較的健全であり、採掘に伴う緩やかな応力増加がおこり、その結果山はねが起きたものと思われる。

今後はさらに多くの事例について分析し、理解を深め、山はねの現実的な回避方法について検討したい。

参考文献

Fujii, Y., Ishijima, Y. and Deguchi, G.(1997), Prediction of Coal Face Rockbursts and Microseismicity in Deep Longwall Coal Mining, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 34, No. 1, pp. 85-96