

採掘空洞前方の岩盤中での大規模亀裂の形成を示唆する微小破壊の震源分布 Microfracture distributions indicating formation of large-scale cracks in the rock mass ahead of the mining front

直井 誠^{1*}; 森谷 祐一²; 中谷 正生¹; 村上 理³; Thabang Kgarume⁴; Thabang Masakale⁵; Luiz Ribeiro⁶; 矢部 康男²; 川方 裕則³; Anthony Ward⁶; Ray Durrheim⁴; 小笠原 宏³
NAOI, Makoto^{1*}; MORIYA, Hirokazu²; NAKATANI, Masao¹; MURAKAMI, Osamu³; THABANG, Kgarume⁴; THABANG, Masakale⁵; LUIZ, Ribeiro⁶; YABE, Yasuo²; KAWAKATA, Hironori³; ANTHONY, Ward⁶; RAY, Durrheim⁴; OGASAWARA, Hiroshi³

¹ 東京大, ² 東北大, ³ 立命大, ⁴ CSIR, ⁵ OHMS, ⁶ SeismoGen

¹ Univ. of Tokyo, ² Tohoku Univ., ³ Ritsumeikan Univ., ⁴ CSIR, ⁵ OHMS, ⁶ SeismoGen

採掘によって平板状空洞が形成され、それによる応力集中で誘発地震が多発する南アフリカ Cooke 4 鉱山 (旧 Ezulwini mine) の地表下 1km において Mw-4 程度まで検知可能な微小破壊 (Acoustic Emission; 以下 AE) 観測網を展開した。観測網は 24 台の AE センサと 6 台の 3 軸加速度計からなる。Naoi et al. (2013; Pageoph) では、この観測により得られた約 3 ヶ月分のトリガー波形データを用いて約 36 万イベントからなる震源カタログを作成し、その 90 % 以上が採掘前線から 10m 程度の領域内に密集していることを報告した。

本研究では、この観測網で得られた 9 ヶ月分のデータに対して、Naoi et al. (2013) と同様の手法で約 100 万イベントからなる AE カタログを作成し、さらに Double Difference 法による相対震源決定 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) を行い、採掘前線付近の AE の空間分布の詳細を調べた。震源決定には、Horiuchi et al (2011) の自動走時検出・震源決定プログラムを用いた。相対震源決定に用いる走時差もこの検測結果を使用している。また、大量のイベントを効率よく再決定するために、解析領域を互いに重複する小領域に分割し、各領域中のイベントに対して再決定を行ってから重複して計算された震源を平均化する手法 (Hauksson and Shearer, 2005) を用いた。この処理により、上記 100 万個の震源の約 96% が再決定された。

得られた震源分布から、採掘前線前方に密集している AE は 3 次元的に広がった分布をしているのではなく、Dip, strike 方向に数十 m の広がりをもつ、複数の 2 次元的な AE 集中域 (以下 tabular cluster) で構成されていることがわかった。各 Tabular Cluster は AE 密度が低い領域で隔たれており、それぞれの cluster を空間的にひとまとまりの group として認識することができる。採掘域前方で起こる AE は空洞の存在による高差応力領域中でまんべんなく起こるのではなく、板状の Zone でのみ発生するようである。Tabular cluster は採掘前線に平行な走向を持ち、60-80 度程度傾斜している。これは採掘前線周辺で視認される、最大剪断応力の方向にできる同程度に大規模な剪断亀裂 (Gay and Ortlepp, 1979; Adams and Jager, 1980; Adams et al. 1981) に類似している。解析期間中、40m 程度採掘が進行した採掘パネル前方では、このような Tabular zone が平均 5m 間隔で 10 個形成された。

この観測では、地質調査によって断層の存在が確認された場所で、厚み数十 cm 程度の領域に強く密集した、非常に薄い面状分布を示す AE 活動も確認されているが (直井・他; 2013 連合大会)、Tabular cluster は、1-2m 程度の厚みのなかに散らばったような分布を示しており、その密集度は既存断層面上の活動とは明らかに異なる。Tabular cluster 内の AE 活動は、採掘が近づくと共に徐々に増加し、採掘前線が通過すると活動がなくなるという時間発展を示しており、既存の弱面を利用して起こった破壊というよりは、採掘にともなって形成される大規模 shear crack の形成過程で生じる AE と解釈できそうである。

キーワード: 微小破壊, 誘発地震, 岩石破壊

Keywords: Acoustic Emission, Induced Earthquake, Rock fracture