HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effect of increased near-fault fracture stiffness on seismic source parameters of induced seismicity
Author(s)	Mingwei, Gang
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16856号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16856
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99701
Type	doctoral thesis
File Information	Mingwei_Gang_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

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　Mingwei Gang

審査担当者　主　査　特任教授　児玉 淳一
副　査　教　授　川﨑 了
副　査　特任教授　藤井 義明
副　査　准教授　福田 大祐
副　査　准教授　才ノ木 敦士　（熊本大学大学院自然科学教育部土木建築学専攻）

学位論文題名

Effect of increased near-fault fracture stiffness on seismic source parameters of induced seismicity
(断層近傍のき裂剛性増加が誘発地震の震源パラメータに与える影響)

地下資源や地熱の開発に伴って発生する誘発地震は, 生産の安定性や操業の安全性に深刻な影響を与えるため, 誘発地震の抑制は喫緊の課題となっている。とりわけ, 深部鉱山における誘発地震は, 採掘切羽の近傍だけではなく, 切羽からかなり離れた位置でも発生しうるが, これは断層コアやその周囲の破砕帯 (ダメージゾーン;DZ) の存在により不均質な応力状態になり, 応力集中ゾーンが広範囲に散在することが原因と考えられる。誘発地震の抑制のために, デストレス発破や水圧破砕などにより応力集中を緩和させる手法が広く用いられきているが, これらの手法では狭い範囲でしか応力を解放できないため, その有効性には限界がある。

これまでの研究から, 地震エネルギーは断層周辺岩盤の剛性の影響を受けることが判明しており,DZ の剛性を高めると, 地震エネルギーが低減し, 誘発地震が抑制されることを示唆しているが, これまで検証されたことはない。この全く新しい誘発地震抑制手法の有効性を科学的に検証するには,DZ 内における応力やひずみの不均質性を十分に考慮した上で, 誘発地震抑制に影響を与える因子を明らかにする必要がある。以上の背景を踏まえ, 本研究では, 新たに開発した実験システムにより,DZ 内の不均質なひずみ状態を把握するとともに, き裂スケールのモデルを用いて, 地震パラメータを推定し,DZ の剛性増加により誘発地震が抑制できることを検証している。続いて, 鉱山規模のモデルを用いて, 誘発地震の抑制に影響を与える因子について検討している。各章の内容は次のとおりである。

第 1 章では, 研究の背景と目的, 意義について述べるとともに, 関連する既往の研究について概説している。

第 2 章では, スリップ・ウィークニング理論に基づき, DZ の剛性, 断層のすべり挙動, ならびに地震エネルギーの関係について検討している。そして,DZ の剛性を高めることにより, 地震エネルギーは減少し, 誘発地震の規模を低減できることを理論的に導いている。

第 3 章では, 断層近傍の力学的状態を把握するために, 3D プリンターにより作製した模擬断層コアと DZ を有する供試体を用いて実験的な検討を行っている。X 線 CT 装置の中で供試体に載荷できるシステムを新たに製作したうえ, デジタル体積相関法により供試体中のひずみ分布を可視化・定量化している。そして, 断層コアと DZ のひずみ分布の不均質性を明らかにし, ダメージゾーンのモデル化にはき裂の存在による応力やひずみの不均質性を十分に考慮すべきであることを示して

いる。

第 4 章では,DZ のき裂分布を 3 次元離散き裂ネットワークによりモデル化し, き裂スケールのモデルを用いて, 誘発地震の発生に関する数値シミュレーションを実施している。そして, DZ を高剛性化するプロセスを考慮した解析を実施し,DZ の剛性増加による地震エネルギーなどの震源パラメータの減少を確認するとともに, 垂直剛性に比べせん断剛性の影響が大きいことを明らかにし, 誘発地震の抑制には,DZ の剛性の増加が効果的であるという 2 章の推論の妥当性を検証している。

第 5 章では, 鉱山スケールにおいて誘発地震の解析を実施するため, クラックテンソル理論に基づき,DZ を等価連続体によりモデル化している。そして, 鉱山スケールにおいても,DZ の剛性の増加により, 地震震源パラメータの減少を検証するとともに,DZ 内のき裂密度が高いほど, また, より断層コアに近い DZ の剛性を増加させるほど, 地震震源パラメータの低下率が大きく, 誘発地震の抑制には効果的であることを見出している。

第 6 章は結論であり, 本研究で得られた成果をまとめるとともに, 今後の課題について述べている。

これを要するに, 著者は, ダメージゾーン内の応力分布の不均一性を考慮したフィールドスケールの数値シミュレーションにより, 震源パラメータを低減させるダメージゾーンの高剛性化が誘発地震の抑制に効果があることを解析的に明らかにしており, 岩盤工学ならびに資源開発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。