

機関番号：34315

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740332

研究課題名（和文） 岩石破壊にともなう微小破壊のスケーリング則の確立

研究課題名（英文） Study on the scaling law for micro-fracture during rock fracture experiments

研究代表者

川方 裕則（KAWAKATA HIRONORI）

立命館大学・理工学部・准教授

研究者番号：80346056

研究成果の概要（和文）：岩石が破壊する際に発生する微小破壊にともなう弾性波（アコースティック・エミッション；AE）はその発生頻度の高さから，明瞭な破壊の直前過程が確認されており，破壊の前兆という観点から注目されてきた．本研究では室内実験における AE の広帯域連続観測記録および鉱山において取得された極微小地震の波形記録を通じて，AE から自然地震までが同一のスケーリング則に従うことが示唆された．

研究成果の概要（英文）：Micro-fracture occurs accompanied by acoustic emission (AE) during a rock fracture experiment. Owing to a high activity of AE, clear increasing phase has been observed just before the main fracture, which attracts the attention in the view point of precursory phenomena. In this study, using waveforms from broadband continuous recording of AE during rock fracture experiments and high frequency recording of ultra-micro seismic events in mine, it is suggested that AE and mining induced ultra-micro seismic events follow the same scaling law for natural earthquakes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：震源物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：岩石破壊試験・アコースティック=エミッション・広帯域計測・破壊スケーリング・連続集録

1. 研究開始当初の背景

（1）地殻内部で発生する地震は，断層において，せん断応力の高速低下をともなう破壊（すべり）が高速に伝播する現象である．実験室内では，この高速破壊に先行して，微小破壊にともなう AE が多数観測されることがよく知られている．また，破壊直前には AE の震源が岩石試料内のある限られた面内に集中し，これが震源の核となり後続の破壊が

発生することも分かってきた．さらに，観測された AE の振幅から，破壊発生前に相対的に大きい AE が発生しやすくなることが報告されている．同様の傾向は自然地震でも報告されており，AE は地震と多数のよく似た性質を示している．

（2）しかしながら，これまでの AE 計測では，共振型の狭帯域のセンサーが用いられてきていたため，限られた周波数窓の中の波形

を見ていた．そのため，振幅，到着時刻以外には波形を利用した解析ができなかった．

(3) AE は，地震のような岩石中で発生する破壊の最小要素である．そのため，AE は地震と同じスケーリング則を満たすのか，近年に自然地震観測により発見された低周波微動のようなスケーリング則を満たさないゆっくりとした現象が岩石破壊試験時にも発生しているか否か，といった問題は重要かつタイムリーなものである．これを明らかにするためには，周波数帯を絞らない広帯域の連続観測によって，すべての AE を取りこぼしなく集録し，解析することが必要である．

2. 研究の目的

(1) 岩石が破壊する際に発生する微小破壊にともなう AE はその発生頻度の高さから，明瞭な破壊の直前過程が確認されており，破壊の前兆という観点から注目されてきたが，その正体は明らかになっていない．AE は自然地震の素単位とでも言うべき小破壊であるか，すなわち自然地震というマクロな破壊現象と AE というミクロな破壊現象が同一のスケーリング則で支配されているか否かを明らかにすることが本研究の目的である．また近年，自然地震観測において従来のスケーリングを破る現象が発見されたが，それに類似した現象が AE でも見られるか否かを検討することも目的とする．AE から自然地震までの階層性を明らかにすることは，地震破壊の物理過程解明の大きな鍵となる．

(2) 岩石試料が高速破壊に至る過程で，徐々に進行する破壊にともなって発生する AE を広い周波数帯域でもれなく集録し，そのスケーリングと震源核の成長との関係を明らかにする．

3. 研究の方法



図 1．三軸伸張試験に使用した砂岩試料．上下はエンドピース．

(1) 円筒形の花崗岩や砂岩試料を用意し，さまざまな条件下で，破壊の進展が完全に制御された岩石破壊実験を実施し，試料全体に加えらるる応力・試料の変形と同時に AE を計測する．AE については，広周波数帯域をもつ弾性波センサーを用いて高速サンプリングで高感度 (14bit) 連続集録をおこなう．使用する広帯域センサーの応答特性は絶対感度校正により求めておく．震源距離と観測された波形のエネルギーから相対的な規模を推定し，卓越周波数との関係からスケーリングを求める．

(2) 南アフリカの金鉱山で取得された，極微小地震の波形を用いて，その規模と卓越周波数の関係からマグニチュード - 3 程度の規模におけるスケーリングを求める．

4. 研究成果

(1) センサー・キャリブレーション：独自設計したエンドピースに，広周波数帯域の弾性波センサーを封入し，エンドピース端面から 30ns 程度で立ち上がる階段状の電圧パルスを送信し，センサー・アセンブリで受信することによって，構成されたセンサー・アセンブリの応答特性を調べた．

(2) データ集録：20~80MS/s で AE データの集録をおこなった．一部試験により，トリガー集録と連続集録のいずれか，もしくは双方をおこなった．

(3) 一軸圧縮試験：無垢な花崗岩試料の表面に，低感度ながら広周波数帯域の弾性波センサーと従来型の圧電センサーを貼り，一軸圧縮破壊試験を実施した．集録された広帯域波形からは，従来型の圧電センサーでは得られない AE の周波数特性が得られることが明らかになり，大規模な AE はより小規模な AE に比べて低周波が卓越する可能性が示唆された．

(4) 三軸伸張試験：AE センサーを貼り付けた来待砂岩試料を用いて封圧 80MPa 下で三軸伸張試験を実施した．本試験では，専用のエンドピースを使用するため，従来型の圧電セ

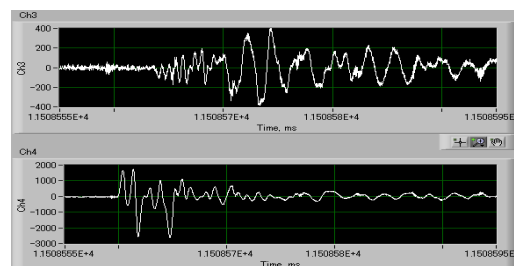


図 2．三軸伸張試験で得られた初動極性が押し引き異なる波形の例．せん断型の微小破壊が発生していることが示唆している．

ンサーのみを貼り付けた。砂岩では AE の発生頻度が低く、センサーの感度が十分でなかったため、震源決定が可能なほどの多チャンネルで同時に得られたイベントは少なかった。そのため、スケールを明らかにするには至らなかったが、伸張試験時においても開口型だけでなくせん断型の微小破壊が発生していることが示唆されるという派生的な成果を得た。

(5) 三軸圧縮試験：エンドピース内に広帯域弾性波センサーを封入し、花崗岩試料を用いて三軸圧縮破壊試験を実施した。2点計測のため、震源は推定できなかったが、低周波帯域で相関の高い波形をもつ AE のペアが得られた。これらの波形をデコンポリューションした結果、AE が数マイクロ秒の震源継続時間を持つことが推定され、自然地震のスケール則を外挿したものと矛盾しないことが示された。

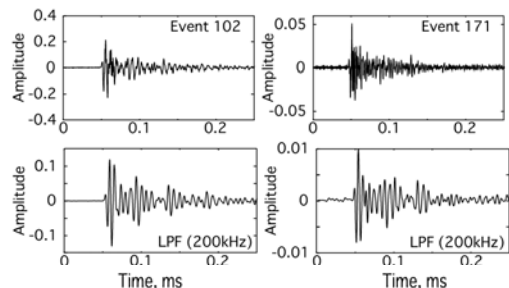


図3．低周波帯域で相関の高い波形をもつ AE のペア。

(6) 鉱山微小地震解析：南アフリカの金鉱山で得られた高周波数サンプリング記録（毎秒5万サンプル弱）を解析した結果、マグニチュード - 3 程度の非常に小さい地震においても自然地震の破壊スケール則が外挿可能であることが示された。

(7) AE から鉱山地震を介して、自然地震まで同一のスケール則に支配されていることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計5件)

発表者名：吉光奈奈、川方裕則、柳谷俊、
発表標題：広帯域連続集録から得られた岩石圧縮試験における AE の震源特性、
学会名：日本地球惑星科学連合 2011 年

大会、発表年月日：2011 年 5 月 27 日、
発表場所：幕張メッセ国際会議場（千葉県）

発表者名：川方裕則、高橋直樹、高橋学、
吉光奈奈、発表標題：三軸伸張試験時における AE の発生様式、学会名：日本地球惑星科学連合 2011 年大会、発表年月日：2011 年 5 月 27 日、発表場所：幕張メッセ国際会議場（千葉県）

発表者名：和田直也、川方裕則、村上理、
小笠原宏、土井一生、吉光奈奈、中谷正生、
矢部康男、直井誠、宮川幸治、三宅弘恵、
井出哲、五十嵐俊博、G. Morema、E. Pinder、
発表標題：コーダ波スペクトル比法による極微小地震 ($-3 < M < -1$) のコーナー周波数の推定、
学会名：日本地震学会 2010 年秋季大会、発表年月日：2010 年 10 月 29 日、発表場所：
広島国際会議場（広島県）

発表者名：和田直也、小笠原宏、川方裕則、
中谷正生、矢部康男、直井誠、宮川幸治、
安武剛太、吉光奈奈、三宅弘恵、井出哲、
五十嵐俊博、Gilbert Morema、Eugene Pinder、
発表標題：48kHz サンプリング距離 200m 以内で観測された $-3 < M < 0$ の地震の応力降下量、
学会名：日本地球惑星科学連合 2010 年大会、
発表年月日：2010 年 5 月 27 日、発表場所：
幕張メッセ国際会議場（千葉県）

発表者名：川方裕則、吉光奈奈、奥野喬也、
発表標題：共振型ならびに広帯域圧電型弾性波センサーの較正、
学会名：日本地球惑星科学連合 2010 年大会、
発表年月日：2010 年 5 月 25 日、発表場所：
幕張メッセ国際会議場（千葉県）

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川方 裕則 (KAWAKATA HIRONORI)
立命館大学・理工学部・准教授
研究者番号：80346056

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：